



Investigating the physiological traits of quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the germination stage under salt stress conditions

Hadi Kianinezhad¹✉, Mohammad Naghi Safarzadeh Vishekaei²

¹✉ Master of Seed Science and Technology, Faculty of Agriculture, Guilan University, Guilan, Iran. E-mail: hadi.kiani1990@gmail.com

² Assistant Professor, Department of Plant Cultivation and Breeding, Islamic Azad University, Rasht Branch, Guilan, Iran. E-mail: mnsafarad@gmail.com

ABSTRACT

Introduction: One of the primary challenges that exist all over the world is the reduction of plant yield due to soil salinity. 5.97% of the world's water is saline, and also many areas have saline land. Human activities exacerbate this challenge. Salinity is one of the main issues affecting the yield of crops worldwide, and more than 7% of flat land is salty. The nutritional superiority of quinoa has been known since ancient times in the Inca Empire. The importance that quinoa can play in nutrition is emphasized not only in developing countries but also in developed countries. Quinoa seeds have a higher nutritional value than most grains and contain high-quality protein and large amounts of carbohydrates, fat, vitamins, and minerals. Quinoa shows high levels of resistance to prevailing adverse factors such as soil salinity, drought, cold, diseases, and pests.

Materials and methods: In this study, the physiological effects of salinity stress on two quinoa genotypes in the germination stage were investigated. The studied genotypes were Sajama and Titicaca. The salinity stress (NaCl) was applied at 0, 4, 6, 8, 10, and 12 decisions per meter. This experiment was carried out using a factorial design based on the completely randomized design in the laboratory of Guilan University in 2015. The measured traits were germination percentage, root length, shoot length, plant weight, Malondialdehyde (MDA) concentration, catalase, and peroxidase.

Results: The results obtained from the analysis of variance showed that the effects of genotype, salinity, and interactions were significant for different traits. According to the results, germination percentage, root length, shoot length, and plant weight decreased with increasing salinity levels. The germination percentage of the Sajama genotype showed a response at 10 and 12 decimes/m salinity, while the germination percentage of the Titicaca genotype decreased at the salinity level of 6 decimes/m. Increasing the level of salinity stress resulted in increasing the accumulation of malondialdehyde, peroxidase, and catalase activity in the examined genotypes. At salinity levels of 6 and 4 dS/m, the highest amount of catalase was obtained for Sajama genotype in comparison with other genotypes.

Conclusion: Sajama is introduced as a salinity tolerant genotype for further studies due to the superiority of indicators such as the activity of antioxidant enzymes. It can be said that the Sajama genotype under the effect of salt stress can reduce the harmful effects of salt stress by removing oxygen-free radicals and cleaning the cell environment from them.

Keywords: catalase, germination, salinity, quinoa, peroxidase.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 30/03/2022, Revised: 12/05/2022, Accepted: 14/06/2022, Published online: 26/06/2022

Cite this article: Kianinezhad, H., Safarzadeh Vishekaei, M. N. (2022). Investigating the physiological traits of quinoa genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the germination stage under salt stress conditions. Cereal Biotechnology and Biochemistry, 1 (2), 233-248. DOI: [10.22126/cbb.2022.7927.1013](https://doi.org/10.22126/cbb.2022.7927.1013)





بررسی صفات فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در مرحله جوانه زنی تحت شرایط تنش شوری

هادی کیانی نژاد^۱✉، محمد نقی صفرزاده ویشکایی^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران. رایانامه: hadi.kiani1990@gmail.com

^۲ استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، گیلان، ایران. رایانامه: mnsafarzad@gmail.com

چکیده

مقدمه: یکی از چالش‌های اساسی در مقیاس جهانی کاهش عملکرد گیاهان به دلیل شوری خاک است. ۵/۹۷ درصد آب جهان شور است و همچنین بسیاری از نواحی زمین‌های شور دارند. فعالیت‌های انسانی این چالش را شدیدتر می‌کند. شوری یکی از مسائل اصلی تأثیرگذار روی میزان عملکرد گیاهان زراعی در سطح جهان بوده و بیش از هفت درصد زمین‌های مسطح شور هستند. برتری تغذیه‌ای کینوا از زمان‌های قدیم در امپراتوری اینکا شناخته شده است. اهمیتی که کینوا می‌تواند در تغذیه ایفا کند نه تنها در کشورهای در حال توسعه بلکه در کشورهای توسعه یافته مورد تأکید است. بذره‌های کینوا دارای ارزش غذایی بالاتر از بسیاری از دانه‌های غلات و حاوی پروتئین با کیفیت بالاتر و مقادیر زیادی از کربوهیدرات‌ها، چربی، ویتامین‌ها و مواد معدنی است. کینوا سطوح بالایی از مقاومت در برابر تعدادی از عوامل نامطلوب غالب مانند شوری خاک، خشکسالی، سرما، بیماری‌ها و آفات را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه اثرات فیزیولوژیک تنش شوری بر دو رقم کینوا در مرحله جوانه زنی مورد بررسی قرار گرفت. ژنوتیپ‌های مورد بررسی شامل Sajama و Titicaca بودند و سطوح شوری (NaCl) صفر، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر اعمال گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۵ در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان اجرا گردید. صفات درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر گیاهچه، تجمع مالون دی‌آلدهید، کاتالاز و پراکسیداز اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که برای صفات مختلف اثرات رقم، شوری و اثرات متقابل معنی‌دار شدند. طبق نتایج درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن تر گیاهچه با افزایش سطوح شوری کاهش یافتند. درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ Sajama در شوری ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر واکنش نشان داد در حالی که، درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ Titicaca از سطح شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت. افزایش سطوح تنش شوری منجر به افزایش تجمع مالون دی‌آلدهید، فعالیت پراکسیداز و کاتالاز در ژنوتیپ‌های مورد بررسی گردید. در سطوح شوری ۶ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر بالاترین میزان کاتالاز برای ژنوتیپ Sajama در مقایسه با ژنوتیپ دیگر بدست آمد.

نتیجه‌گیری: ژنوتیپ Sajama به دلیل برتری شاخص‌هایی نظیر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت به‌عنوان ژنوتیپی متحمل به شوری جهت بررسی‌های تکمیلی معرفی می‌گردد. می‌توان گفت ژنوتیپ Sajama تحت تأثیر تنش شوری قادر است با حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پاکسازی محیط سلول از آن‌ها اثرات مخرب تنش شوری را تخفیف دهد.

واژه‌های کلیدی: کاتالاز، جوانه‌زنی، شوری، کینوا، پراکسیداز.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۰ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۲/۲۲ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۴ انتشار آنلاین: ۱۴۰۱/۰۴/۰۷

استناد: کیانی نژاد، ه. صفرزاده ویشکایی، ص. و. (۱۴۰۱). بررسی صفات فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در مرحله

جوانه‌زنی تحت شرایط تنش شوری. بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات. ۱ (۲)، ۲۳۱-۲۴۸. DOI: [10.22126/cbb.2022.7927.1013](https://doi.org/10.22126/cbb.2022.7927.1013)



مقدمه

افزایش تقاضای جهانی برای مواد غذایی به همراه محدودیت اراضی مستعد و قابل کشت، محققین بخش کشاورزی را با چالش‌های بزرگی روبه‌رو ساخته است. بر این اساس، در شرایطی که عملاً توسعه اراضی کشاورزی مقدور نیست، بیشتر نگاه‌ها به افزایش عملکرد در واحد سطح معطوف شده است (Vessey, 2003). عملیات فشرده کشاورزی به منظور افزایش عملکرد، نیاز به کودهای شیمیایی دارد که پرهزینه بوده و آلودگی محیط زیست را در بر خواهد داشت. بنابراین در حال حاضر کشاورزی پایدار توجه زیادی را به خود معطوف کرده است (Orhan et al., 2006).

یکی از چالش‌های اساسی که در سراسر جهان وجود دارد، کاهش عملکرد گیاهان به دلیل شوری خاک است (Munns and Tester, 2008). (۵/۹۷ درصد آب جهان شور است و همچنین بسیاری از نواحی زمین‌های شور دارند).

فعالیت‌های انسانی این چالش را شدیدتر می‌کند. شوری یکی از مسائل اصلی تأثیر گذار روی میزان عملکرد گیاهان زراعی در سطح جهان بوده و بیش از هفت درصد زمین‌های مسطح شور است (Hariadi et al., 2011). بنابراین بررسی روش‌های جدید برای کاهش این چالش‌ها ضروری است. یکی از این روش‌ها کاشت گیاهان نمک‌رست (هالوفیت) است که به سطوح بالایی از شوری خاک متحمل هستند (Koyro et al., 2008).

برتری تغذیه‌ای کینوا از زمان‌های قدیم در امپراتوری اینکا شناخته شده است. اهمیتی که کینوا می‌تواند در تغذیه ایفا کند نه تنها در کشورهای در حال توسعه بلکه در کشورهای توسعه یافته مورد تأکید است. بذره‌های کینوا دارای یک ارزش غذایی بالاتر از بسیاری از دانه‌های غلات و حاوی پروتئین با کیفیت بالاتر و مقادیر زیادی از کربوهیدرات‌ها، چربی، ویتامین‌ها و مواد معدنی است. پریسپرم، جنین و اندوسپرم سه منطقه‌ای هستند که در آن اندوخته مواد غذایی در بذر کینوا ذخیره شده است (Prego et al., 1998).

کینوا سطوح بالایی از مقاومت در برابر تعدادی از عوامل نامطلوب غالب مانند شوری خاک، خشکسالی (Jensen et al., 2000; González et al., 2009, 2011; Jacobsen et al., 2009; Fuentes and Bhargava, 2011) سرما (et al., 2005, 2007) بیماری‌ها و آفات (Jacobsen et al., 2003; Bhargava et al., 2003) را نشان می‌دهد. با توجه به ماندگاری آن تحت شرایط نامطلوب آب و هوایی، کینوا ممکن است یکی از گزینه‌های تولید غذا تحت محدودیت‌های غیر زنده نامطلوب مختلف باشد (FAO, 1988). کینوا گونه‌ای شورپسند است که به‌عنوان یک متحمل به شوری غیر معمول در نظر گرفته می‌شود. برخی از ارقام مقاومت قابل توجه‌ای به نمک در مرحله جوانه نشان می‌دهند. بسیاری از ارقام این محصول می‌توانند در غلظت‌های بالای نمک که در آب دریا (40

شامل پتانسیل اسمزی پایین، نسبت کم وزن آماس دار به وزن خشک، قابلیت ارتجاعی کم و توانایی حفظ ورم مثبت حتی در پتانسیل کم آب برگ می‌شود (Andersen *et al.*, 1996). مشاهده شده است که هدایت روزنه‌ای در کینوا در ازاء مقدار کم شوری نسبتاً ثابت باقی می‌ماند اما تبادل گاز تحت شرایط بسیار خشک و پتانسیل کم آب برگ در حال انجام است (Vacher, 1978). کینوا راندمان بالای مصرف آب برگ را جهت جبران کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه بهینه سازی افزایش کربن با به حداقل رساندن از دست دادن آب حفظ می‌کند. جنسن و همکاران (Jensen *et al.*, 2000) اثرات خشک شدن خاک در روابط آب برگ و تبادل گاز در کینوا را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که مقادیر بالای فتوسنتز خالص و سطح ویژه برگ (SLA) در اوایل طول دوره رشد رویشی منجر به قدرت اولیه گیاه، حمایت از جذب آب زود هنگام و متعاقب آن تحمل خشکی می‌شود. گارسیا و همکاران عملکرد فصلی پاسخ به فاکتور (Ky) برای کینوا را محاسبه و مشاهده کردند که مقدار آن پایین‌تر از بادام زمینی و پنبه بود. این مقدار پائین Ky برای کینوا نشان داد که تنش خشکی جزئی به کاهش بزرگ در عملکرد منتج نمی‌شود (Garcia *et al.*, 2003). در پژوهشی که بر روی دو رقم کینوا (Puno و A1) انجام شد، تیمارهای شوری ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار نمک سدیم کلرید بود و اعمال آنها منجر به تغییراتی بر روی صفت ارتفاع در رقم Puno (۱۹، +۲۱.۴- و

mS/cm) یافت می‌شود رشد کنند (Jacobsen *et al.*, 2001, 2003; Wilson *et al.*, 2002; Jacobsen *et al.*, 2007; Delatorre-Herrera and Pinto, 2009; Adolf *et al.*, 2012). این ویژگی آن را به محصولی جذاب برای مناطقی که شوری را به‌عنوان یک مشکل عمده کشاورزی به رسمیت شناخته شده تبدیل می‌کند (Prado *et al.*, 2000). کینوا چند مکانیسم دارد که به سازگاری موفق این گیاه در محیط‌های شور کمک می‌کنند. در مرحله کوتیلدون، سازگاری بالا به شوری خاک وجود دارد که احتمالاً به دلیل بهبود کنترل متابولیک بر اساس جذب یون، تجمع اسمولایت و تنظیم اسمزی است (Ruffino *et al.*, 2010). همچنین تجمع یون‌های نمک در بافت کینوا و در نتیجه تنظیم پتانسیل آب برگ، گیاه را برای حفظ ورم سلولی و محدود کردن تعرق تحت شرایط شوری را قادر می‌سازد (Jacobsen *et al.*, 2001; Hariadi *et al.*, 2011). علاوه بر این، کینوا قادر به حفظ انتخاب‌پذیری K^+/Na^+ و Ca^{2+}/Na^+ در شرایط شور است (Rosa *et al.*, 2009). مقاومت به خشکی در کینوا نسبت داده شده به صفات ظاهری از قبیل سیستم ریشه‌ای گسترده، کاهش سطح برگ از طریق افتادن برگ، سلول‌های دیواره سلولی کوچک و ضخیم سازگار با تلفات آب زیاد، و حضور وزیکول‌های حاوی اگزالات کلسیم که موجب رطوبت پسندی در طبیعت و کاهش تعرق هستند (Canahua, 1977; Jensen *et al.*, 2000; Jacobsen *et al.*, 2003). خصوصیات فیزیولوژیکی نشان می‌دهد مقاومت به خشکی

این تحقیق در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان انجام گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در پتری دیش اجرا شد. عامل اول شامل ژنوتیپ‌های گیاه کینوا (Titicaca و Sajama) و عامل دوم شامل پنج سطح شوری شامل ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به همراه شاهد (آب مقطر) بودند. برای اعمال تنش شوری از نمک کلرید سدیم آزمایشگاهی (ساخت شرکت Merk آلمان) استفاده شد. بدین‌منظور، با استفاده از رابطه (پارکلی) میزان نمک مورد نیاز برای تهیه محلول‌های شوری با هدایت الکتریکی مورد نظر تعیین گردید:

$$\text{TDS (mg / lit)} = \text{EC (ds / m)} \times 640$$

در این فرمول‌ها TDS عبارت است از میزان نمک حل شده در یک لیتر آب و EC نیز هدایت الکتریکی مورد نظر است. قبل از شروع آزمایش ابتدا بذور با محلول سه درصد هیپوکلریت سدیم به مدت دو دقیقه ضدعفونی شدند. جوانه‌زنی بذور هر رقم در پتری‌دیش‌های ۱۱ سانتیمتری با استفاده از ۳۰ بذر انجام گردید. پتری‌دیش‌ها قبل از شروع آزمایش در آون با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت استریل شدند و در هر پتری‌دیش یک عدد کاغذ صافی قرار داده شد. به تیمارهای شاهد و شوری به‌ترتیب ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر و محلول کلرید سدیم افزوده شد. در این آزمایش درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر گیاه‌چه، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت کاتالاز و

۵۲.۴- درصد) و رقم A1 (+۸.۴، -۱۵.۹ و -۴۰.۸- درصد) شد (لازم به ذکر است که اعداد مثبت و منفی به‌ترتیب بیانگر افزایش و کاهش صفت است) (Riaz et al., 2020). نتایج پژوهشی دیگر که بر روی دو رقم (Q2 و Q7) کینوا در مناطق فیصل‌آباد و پیندی بهاتیان پاکستان انجام شد، نشان داد که اعمال تنش شوری منجر به کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن هزار دانه شد (Iqbal et al., 2019). نتایج پژوهش‌های مختلف بیانگر اثر شوری آب آبیاری بر کاهش وزن هزار دانه، عملکرد دانه، تعداد پانیکول، وزن خشک پانیکول، طول پانیکول، تعداد برگ، ارتفاع گیاه، تعداد پانیکول در ارقام مختلف کینوا بوده است (Manaa et al., 2019; Maleki et al., 2019; Mahmoud et al., 2019; Khalili et al., 2019; Jamali et al., 2018; Maleki et al., 2018).

با توجه به اهمیت گیاه کینوا از نظر ارزش غذایی و نیاز به افزایش تولید مواد غذایی به دلیل افزایش جمعیت از یک سو و با توجه به کم‌آبی و محدودیت آب‌های شیرین از سوی دیگر لازم است تا تأمین امنیت غذایی و استفاده از آب‌های نامتعارف (شور و لب‌شور) بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. از این رو در این تحقیق واکنش جوانه‌زنی دو رقم گیاه کینوا شامل Sajama و Titicaca به شوری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پراکسیداز و تجمع مالوندی‌آلدهید اندازه‌گیری شد. بذرهایی جوانه زده به مدت ۱۰ روز شمارش شدند و هنگامی بذر جوانه زده محسوب گردید که ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر جوانه زده بود. درصد جوانه‌زنی بر اساس تعداد بذر جوانه زده هنگامی اندازه‌گیری شد که سه روز پشت سر هم جوانه‌زنی جدیدی انجام نشد.

$$GP = Ni / N \times 100$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس کلیه صفات حاکی از معنی‌دار بودن اثرات شوری، رقم و اثر متقابل شوری و رقم بود (جدول ۱).

GP درصد جوانه‌زنی، Ni تعداد بذرهایی جوانه زده، N تعداد کل بذرها است. سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شامل کاتالاز بر اساس روش سینها (Sinha, 1972)،

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های کینوا تحت شرایط تنش شوری

Table 1-Analysis of variance for measured traits of Quinoa genotypes under salt stress condition

Mean Squares							درجه آزادی	منابع تغییرات
درصد جوانه‌زنی	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	وزن تر گیاهچه	تجمع MDA	فعالیت CAT	فعالیت POD		
Germination percentage	Shoot length	Radicle length	Seedling fresh weight	MDA accumulation	CAT activity	POD activity	df	S.O.V
1871 **	1667.1 ^{ns}	2765.1 **	1.78 **	767.2 **	445.7 **	511.1 **	1	رقم variety
865.1 **	1743.9 **	1999.4 **	1.66 **	601 **	398.8 **	401 **	5	شوری salinity
798 **	1041.1 **	1006.2 **	0.94 *	322.3 **	221 **	322.1 **	5	رقم * شوری * variety salinity
81.8	61.9	198.1	0.31	51.1	26.1	65.9	24	خطای Error
12	7.5	25.8	22	9.1	13.8	14.6	-	ضریب تغییرات (%) CV(%)

**، * و^{ns} به ترتیب دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و یرمعنی دار

** , * and ^{ns}, indicate a significant difference at 1% probability level, 5% probability level and no significant difference, respectively.

درصد جوانه‌زنی

مطالعات نشان داده است که تحمل کینوا در مرحله جوانه‌زنی نسبت به شرایط تنش شوری بالا است (Jamali et al., 2016). نتایج این تحقیق نشان داد که تنش شوری، درصد جوانه‌زنی ارقام کینوا را کاهش داد (جدول ۲). نتایج جکاب و همکاران و حاج غنی و همکاران نیز در بررسی ژنوتیپ‌های گلرنگ نشان داد که مرحله جوانه‌زنی این گیاه نسبت به شوری حساس‌تر است (Jakab et al., 2005; Hajghani et al., 2008). در سطح شوری ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ Sajama کاهش یافت ولی در ژنوتیپ Titicaca درصد جوانه‌زنی از سطح شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر روند کاهشی را نشان داد، به عبارتی آستانه شوری برای کاهش درصد جوانه‌زنی در این ژنوتیپ پایین‌تر از رقم Sajama بود. کمترین درصد جوانه‌زنی در بذور Titicaca در شوری سطح ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر (۴۲٪) به دست آمد ولی در همین سطح شوری ژنوتیپ Sajama ۸۱٪ جوانه‌زنی را نشان داد (جدول ۳). بنابراین درصد جوانه‌زنی نمی‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب برای تحمل شوری در ارقام مورد بررسی مطرح گردد. شوری با ایجاد سه عامل اصلی شامل کاهش پتانسیل اسمزی محلول، تولید یون‌های سمی و تغییر در تعادل عناصر غذایی، جوانه‌زنی گیاه را کاهش می‌دهد. غلظت نمک و یون‌های تشکیل دهنده محلول، عوامل اصلی در کاهش درصد جوانه‌زنی هستند. تحقیقات انجام گرفته

این مسأله را تأیید می‌کند که ترکیبات حاوی عنصر کلر بیشترین تأثیر را در کاهش جوانه‌زنی دارند (Gill et al., 2003; Garcarrabio et al., 1997; Sharma et al., 2004). در غلظت‌های متوسط یا کم، کاهش پتانسیل اسمزی عامل محدود کننده جوانه‌زنی است اما در غلظت‌های بالا سمیت یونی و به دنبال آن با افزایش جذب یون‌ها بخصوص کلرور سدیم، عدم تعادل بین عناصر غذایی از عوامل مهم ایجاد اختلال و کاهش درصد جوانه‌زنی محسوب می‌شود. کاهش درصد جوانه‌زنی تحت تأثیر بالا رفتن سطوح شوری را می‌توان به افزایش یون‌ها در اطراف بذر و ایجاد تنش آبی تحت تأثیر به هم خوردن تعادل اسمزی (Safarnejad and Hamidi, 2006; Meeking et al., 1997; Shalhevet, 1993) و کاهش جذب آب نسبت داد. در پژوهشی دیگر که به‌منظور بررسی تأثیر دما بر جوانه‌زنی گیاه کینوا رقم Titicaca تحت تنش شوری صورت گرفت، چهار سطح شوری (۰، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح شوری (بجز سطح ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) درصد جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند (Mamedi et al., 2015).

وزن‌تر گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

تنش شوری موجب کاهش وزن‌تر گیاهچه ژنوتیپ‌های کینوا گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد در سطوح بالای شوری، (۸، ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس) بالاترین وزن‌تر گیاهچه برای

رقم Sajama در مقایسه با Titicaca بدست آمد (جدول ۳). کایا و دی، در تحقیقی که روی جوانه‌زنی ارقام مختلف آفتابگردان انجام دادند، بیان نمودند که با افزایش شوری طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و همچنین وزن خشک گیاه‌چه به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش یافت، ولی نمی‌توان به درستی عنوان کرد که کدام یک از عوامل، نقش مهم‌تری را در بازداري جوانه‌زنی بذرها تحت شرایط تنش شوری دارا می‌باشد (Kaya and Day, 2008). کم‌ترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در شوری سطح ۱۲ دسی‌زیمنس به‌دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات ساده ویژگی‌های جوانه‌زنی دو رقم کینوا تحت تنش شوری

Table 2- Average comparison of simple effects of germination characteristics of two quinoa cultivars under salt stress

شوری salinity	فعالیت POD (mgH ₂ O ₂ /g.pro/min)	فعالیت CAT (mgH ₂ O ₂ /g.pro/min)	MDA تجمع (μ mol/g)	وزن تر گیاهچه (g)	طول ریشه‌چه (cm)	طول ساقه‌چه (cm)	درصد جوانه‌زنی
	POD activity (mgH ₂ O ₂ /g.pro/min)	CAT activity (mgH ₂ O ₂ /g.pro/min)	MDA accumulation (μ mol/g)	Seedling fresh weight (g)	Radicle length (g)	Shoot length (g)	Germination percentage
شاهد	16.1 ^b	5.4 ^d	11 ^d	0.21 ^a	4.2 ^a	2.5 ^a	93.1 ^a
4 ds/m	21.2 ^{ab}	7 ^c	15 ^c	0.19 ^{ab}	3.8 ^a	2.5 ^a	92 ^a
6 ds/m	15.7 ^b	12.2 ^b	22.5 ^b	0.13 ^b	3 ^b	1.65 ^b	86 ^{ab}
8 ds/m	16 ^b	14.2 ^b	29.1 ^{ab}	0.10 ^c	2.2 ^{bc}	0.95 ^c	81.3 ^b
10 ds/m	22.7 ^a	18 ^{ab}	32.5 ^a	0.11 ^c	1.7 ^c	0.68 ^{bc}	67 ^c
12 ds/m	26.1 ^a	26.1 ^a	40.4 ^a	0.9 ^c	1.2 ^d	0.43 ^d	61.6 ^d
Sajama	26.5 ^a	15 ^a	18 ^b	0.15 ^a	2.9 ^a	1.9 ^a	88.5 ^a
Titicaca	16 ^b	10.66 ^b	31.66 ^a	0.12 ^b	2.5 ^b	1.1 ^b	72 ^b

ارقام دارای حروف مشابه در یک ستون اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Numbers with similar letters in a column do not have a significant difference.

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد در سطوح بالای تنش (۸، ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در ژنوتیپ Sajama در مقایسه با Titicaca بیشتر بود. در واقع تحت سطوح شوری ۱۰ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در ژنوتیپ Titicaca خروج ساقه‌چه صورت نگرفت، اما در همین سطح شوری در Sajama طول ساقه‌چه ۱/۳ و ۰/۸۲ سانتی‌متر بود. همچنین در این سطوح طول ریشه‌چه در Titicaca در مقایسه با Sajama کاهش یافت. سیدشریفی (Seyedsharifi, 2008) در بررسی واکنش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ارقام گلرنگ اذعان کرد، کاهش پتانسیل اسمزی به‌طور معنی‌داری موجب کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گردید، ضمن آن که میزان کاهش طول ساقه‌چه به مراتب بیشتر از ریشه‌چه بود. یون کلر تأثیر منفی بر رشد طولی گیاهچه دارد (Hordegrete et al., 1990) حساسیت رشد گیاهچه به یون‌های مضر ما را به این باور می‌رساند که این یون‌ها بر نفوذپذیری غشا تأثیر منفی می‌گذارند و

گیاهانی که گیاهچه قوی‌تری دارند تحت شوری از پوشش گیاهی بهتری برخوردار هستند.

آنزیم‌هایی از جمله آمیلاز و لیپاز مانع از تجزیه مواد اندوخته بذر شده و در نتیجه انرژی لازم جهت خروج ریشه‌چه و ساقه‌چه و رشد آنها فراهم نمی‌شود (Niu *et al.*, 1995)

بنابراین با افزایش سطح شوری، میزان رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافته است.

شوری با کاهش جذب آب و با ایجاد اختلال در ترشح

(Yapsania *et al.*, 1994; Allen *et al.*, 1995) تنش

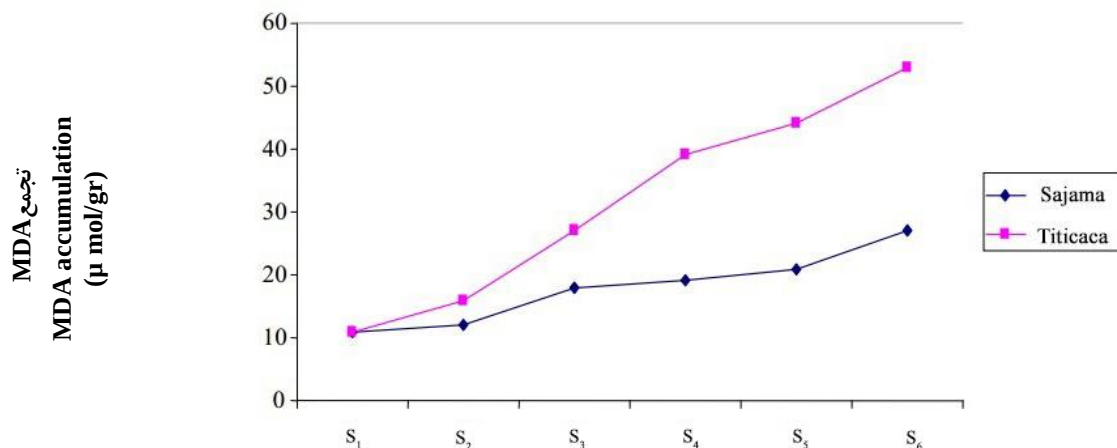
جدول ۳- مقایسه میاتگین اثرات متقابل ویژگی‌های جوانه‌زنی دو رقم کینوا تحت تنش شوری

Table 3- Comparative comparison of mutual effects of germination characteristics of two quinoa cultivars under salt stress

رقم	شوری	وزن تر گیاهچه (g)	طول ریشه‌چه (cm)	طول ساقه‌چه (cm)	درصد جوانه‌زنی
variety	salinity	Seedling fresh weight (g)	Radicle length (g)	Shoot length (g)	Germination percentage
Sajama	شاهد	0.213 ^a	4.1 ^a	2.6 ^a	93 ^a
	4	0.211 ^a	3.8 ^a	2.4 ^a	93 ^a
	6	0.136 ^d	2.9 ^b	2.1 ^{ab}	90 ^a
	8	0.123 ^d	2.6 ^b	1.5 ^b	91.1 ^a
	10	0.111 ^e	2.1 ^c	1.3 ^c	83.1 ^b
	12	0.10 ^e	1.7 ^d	0.8 ^c	81.1 ^b
Titicaca	شاهد	0.214 ^a	4.2 ^a	2.5 ^a	93.1 ^a
	4	0.183 ^b	3.9 ^a	2.6 ^a	91.1 ^a
	6	0.145 ^c	3.2 ^{ab}	1.2 ^{bc}	82.1 ^b
	8	0.093 ^{ef}	1.8 ^{cd}	0.39 ^d	73.1 ^c
	10	0.051 ^g	1.3 ^e	0 ^e	51.1 ^d
	12	0.018 ^h	0.8 ^f	0 ^e	42.1 ^e

ارقام دارای حروف مشابه در یک ستون اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

Numbers with similar letters in a column do not have a significant difference.



سطوح تنش شوری (ds/m)

Salinity stress levels (ds/m)

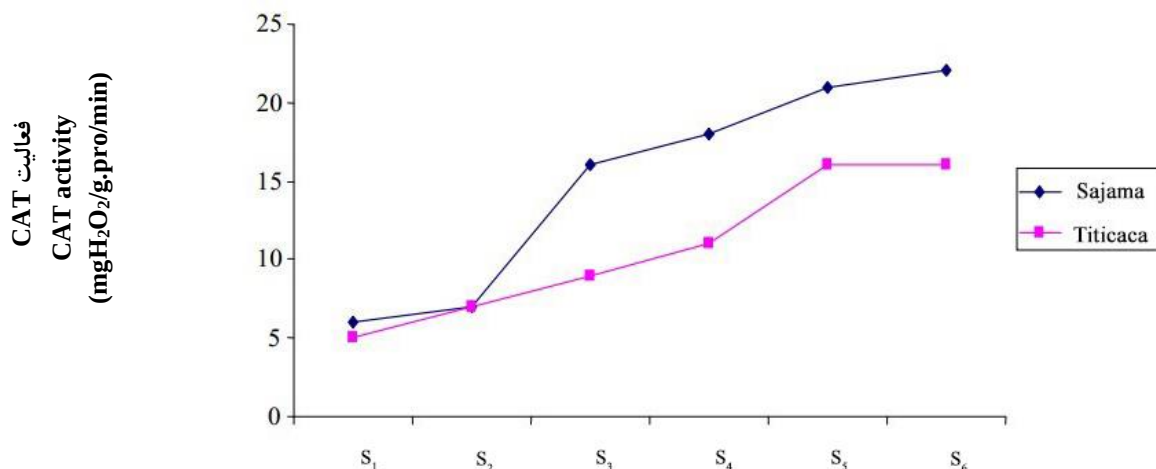
شکل ۱- اثرات تنش شوری بر تجمع مالون دی آلدئید بذرها

Figure 1- Effects of salinity stress on Malondialdehyde accumulation in seeds
(S₁:control, S₂:4 ds/m, S₃:6 ds/m, S₄:8 ds/m, S₅:10 ds/m, S₆:12 ds/m)

تجمع مالون دی آلدئید

افزایش سطوح شوری منجر به افزایش تجمع مالون دی آلدئید در گیاهچه ژنوتیپ‌های کینوا گردید (جدول ۲). اثر افزایش تنش شوری بر تولید مالون دی آلدئید در گیاهچه‌های دو ژنوتیپ کینوا در شکل ۱ نشان داده شده است. با افزایش سطوح تنش شوری میزان مالون دی آلدئید در ارقام Sajama و Titicaca افزایش یافته است ولی در Sajama تجمع آن در مقایسه با Titicaca کمتر بود. در

بالاترین سطح شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) ژنوتیپ Titicaca بالاترین میزان مالون دی آلدئید را داشت (شکل ۱). نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تنش شوری موجب کاهش رشد گیاهچه و وزن تر گیاهچه شده ولی سبب افزایش تجمع مالون دی آلدئید گیاهچه و فعالیت آنزیمی آنتی اکسیدانت می‌گردد (جدول ۲). نتایج مشابهی برای چندین گیاه گزارش شده است که نشان می‌دهد جوانه‌زنی بذور و رشد گیاهچه در شرایط تنش شوری کاهش یافته است (Farhudi *et al.*, 2007).

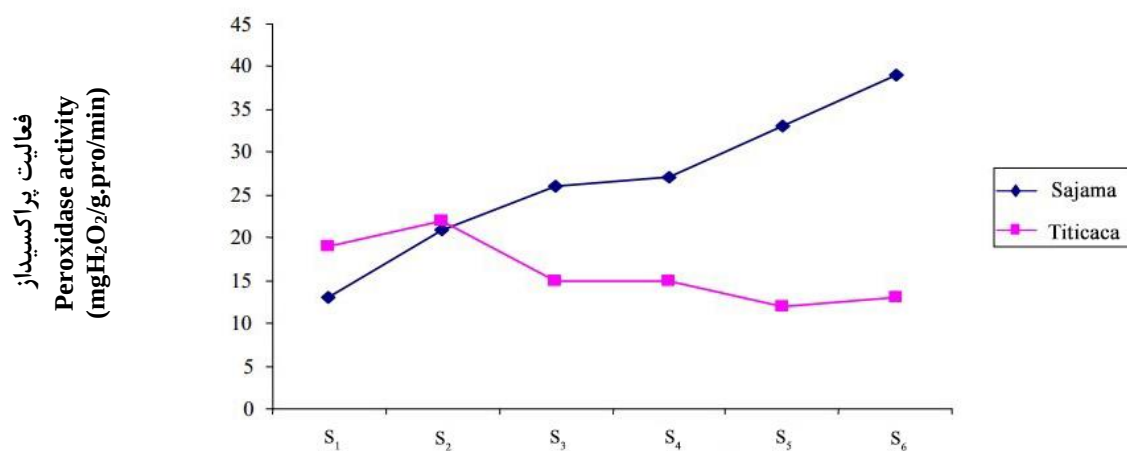


سطوح تنش شوری (ds/m)

Salinity stress levels (ds/m)

شکل ۱- اثرات تنش شوری بر فعالیت کاتالاز بذرها

Figure 1- Effects of salinity stress on Catalase activity in seeds
(S₁:control, S₂:4 ds/m, S₃:6 ds/m, S₄:8 ds/m, S₅:10 ds/m, S₆:12 ds/m)



سطوح تنش شوری (ds/m)

Salinity stress levels (ds/m)

شکل ۱- اثرات تنش شوری بر فعالیت پراکسیداز بذرها

Figure 1- Effects of salinity stress on Peroxidase activity in seeds
(S₁:control, S₂:4 ds/m, S₃:6 ds/m, S₄:8 ds/m, S₅:10 ds/m, S₆:12 ds/m)

فعالیت کاتالاز و پراکسیداز

نتایج نشان داد که با افزایش سطوح تنش شوری فعالیت پراکسیداز و کاتالاز نیز در ژنوتیپ‌های مورد بررسی افزایش یافت (جدول ۲). در سطوح شوری ۶ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر بالاترین میزان کاتالاز برای ژنوتیپ Sajama در مقایسه با ژنوتیپ دیگر به‌دست آمد (شکل ۲). افزایش فعالیت کاتالاز می‌تواند ناشی از کاهش غلظت یون سدیم در محیط برگ باشد. کاهش کاتالاز نشانگر تخریب این آنزیم تحت تأثیر تنش شوری است. نتو و همکاران با بررسی واکنش ارقام ذرت به تنش شوری کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز را در ارقام حساس به شوری ذرت مشاهده نمودند و استدلال نمودند که کاهش فعالیت کاتالاز تحت تأثیر شوری ناشی از تأثیر منفی یون سدیم بر فعالیت آن است. ایشان همچنین همبستگی معنی‌دار و منفی میان غلظت یون سدیم در برگ ارقام ذرت با میزان فعالیت آنزیم کاتالاز مشاهده نمودند که حاکی از تأثیر منفی یون سدیم بر فعالیت این آنزیم است (Neto et al., 2006). نمودار ۳ بیانگر آن است که افزایش سطوح تنش شوری موجب افزایش فعالیت پراکسیداز در ژنوتیپ Sajama گردید؛ اما رابطه منفی برای ژنوتیپ Titicaca وجود دارد و با افزایش سطوح شوری فعالیت پراکسیداز در ژنوتیپ Titicaca کاهش یافت. بعضی از محققین گزارش نموده‌اند که فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر تنش شوری افزایش یافت. در عین حال پاره‌ای از محققین نیز کاهش یا عدم تغییر فعالیت آنزیم کاتالاز تحت

تأثیر شوری را گزارش نموده‌اند. نتایج تحقیقات بنده‌اوقلو (Bandeoglu et al., 2004) نشان داد که تنش شوری هر چند که سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در برگ عدس شد اما فعالیت آنزیم کاتالاز به میزان معنی‌داری در مقایسه با شاهد تغییر نکرد. دیگر مطالعاتی دیگر نیز تنش شوری سبب کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه‌چه‌های برنج شد. در واقع که هر چند شوری فعالیت این آنزیم را در مقایسه با سایر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تحت شرایط تنش شوری کاهش داد اما این کاهش در رقم حساس به شوری در مقایسه با ارقام مقاوم به شوری بارزتر بود (Bhattacharjee and Mukherjee, 2002). بسیاری از محققین فعالیت این آنزیم‌ها را به عنوان یک عامل کلیدی جهت حفاظت گیاهان در مقابل تنش‌های محیطی عنوان نموده‌اند (Meloni et al., 2003). نتایج مقایسه میانگین در مرحله جوانه‌زنی نشان داد که شوری سبب کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم پراکسیداز در Titicaca شد در حالی که شوری سبب افزایش فعالیت این آنزیم در Sajama گردید (شکل ۳) به‌عبارتی کاهش پراکسیداز و از طرفی افزایش تولید مالون دی‌آلدهید وجود داشته است. همچنین افزایش غلظت مالون دی‌آلدهید و تخریب غشای سلولی در این رقم می‌تواند منجر به کاهش فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای گردد. بنابراین محققان نقش این آنزیم را در حفظ ساختار گیاه در مقابل تنش اکسیداتیو، کلیدی می‌دانند. با توجه به نتایج

افزایش تنش شوری در مقایسه با شاهد افزایش یافت و در رقم SC13 (مقاوم به شوری)، فعالیت آنزیم تا سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار افزایش و شوری بیشتر از ۲۰۰ میلی‌مولار سبب کاهش فعالیت آنزیم شد، درحالی‌که در رقم SC155 (حساس به شوری)، تنش شوری سبب کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز شد (Azooz et al., 2009). تنش شوری سبب کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و محتوای پروتئین محلول در ذرت می‌شود (Parvaiz, 2013) درحالی‌که افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش شوری در ذرت نیز گزارش شده است (Kaya et al., 2013). تغییرات در فعالیت کاتالاز ممکن است به گونه گیاهی، مرحله نمو، جایگاه متابولیسم گیاه و همچنین مدت و شدت تنش وابسته باشد (Mane et al., 2011). فعالیت کاتالاز در برخی گیاهان زراعی مورد مطالعه از جمله ذرت، برنج، گندم و کنجد تحت شرایط تنش، متفاوت بوده است. افزایش فعالیت پراکسیداز، سوپراکسیداز دیسموتاز و پلی فنل اکسیداز تحت تنش شوری، احتمالاً از افزایش ظرفیت مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن و حفاظت از غشای سلولی ناشی می‌شود و این موضوع ارتباط بین تحمل به شوری و سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی را نشان می‌دهد (Agarwal and Pandey, 2004). در مطالعه‌ای گزارش شده است که تنش شوری به‌طور معنی‌داری سبب کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز، کاتالاز و افزایش فعالیت پلی‌فنولاکسیداز در ذرت شد (Kaya et al., 2013). این

حاصل از آزمایش می‌توان گفت آنزیم پراکسیداز نیز مانند آنزیم کاتالاز نقش کلیدی در حذف گونه‌های فعال اکسیژن دارد (Farhoudi et al., 2007). به‌طوریکه همبستگی مثبتی میان فعالیت این آنزیم با فتوسنتز و وزن خشک اندام هوایی و سایر صفات گزارش شده است. نتایج تحقیقات (Neto et al., 2006) روی گیاه‌چه‌های ذرت حاکی از افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تأثیر شوری بود به‌طوری‌که ارقام مقاوم به شوری همواره سطح بیشتری از فعالیت این آنزیم را نشان دادند. تنش شوری و دیگر تنش‌های محیطی غیر زنده می‌توانند از طریق تولید گونه‌های مختلف احیاگرهای اکسیژن (ROS) سبب تنش اکسیداتیو نیز شوند (Ashraf and Ali, 2008) جهت کاهش اثرات سوء تنش اکسیداتیو در طی بروز تنش شوری، گاه‌ها میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در سلول بالا می‌رود. از این آنزیم‌ها می‌توان به کاتالاز (CAT)، گلوکاتیون پراکسیداز (GPX)، اسکوربات پراکسیداز (APX) اشاره کرد. این آنزیم‌ها نقش بسیار مهمی در غیر فعال کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول گیاهان دارند (Appel and Hirt, 2004)، در ارقام حساس به تنش شوری، فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز مهار می‌شود که ممکن است حاصل تجمع H_2O_2 (Bowler et al., 1992) یا کاهش بیان ژن‌های رمزکننده آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، در واکنش به افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن باشد. در مطالعه‌ای فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم SC129 (مقاوم به شوری) با

نتایج به‌وضوح نشان دهنده این موضوع است که اثرات تنش شوری بر فعالیت آنزیم‌ها متفاوت است.

با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان گفت ژنوتیپ Sajama که تحت تأثیر تنش شوری همواره سطوح بالاتری از فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت مطرح شده را داشته، قادر است با حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پاکسازی محیط سلول از آن‌ها اثرات مخرب تنش شوری را تخفیف دهد. ملونی و همکاران (Meloni *et al.*, 2003) با بررسی فتوسنتز پنبه تحت تأثیر شوری گزارش نمودند که دلیل حساسیت رقم حساس به شوری پنبه عدم افزایش سطح فعالیت این دو آنزیم تحت تأثیر تنش شوری بیان نمودند بطوریکه همبستگی معنی‌داری میان افزایش تولید مالون دی‌آلدئید (میزان پراکسیده شدن و تخریب غشای سلولی) و کاهش فعالیت این دو آنزیم در رقم حساس دیده شد. سیرام و همکاران (Sairam *et al.*, 2005) همبستگی مثبت و معنی‌داری میان تولید آب اکسیژنه با تولید مالون دی‌آلدئید مشاهده نمودند که حاکی از تخریب غشاهای تحت تأثیر آب

اکسیژنه بود. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت جهت حذف آب اکسیژنه را ضروری و یکی از فاکتورهای اصلی تحمل به تنش‌های محیطی در گیاهان می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل نشان داد که تنش شوری سبب کاهش درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و وزن تر گیاه‌چه ارقام کینوا شد. در واقع تنش شوری با تأثیرگذاری بر صفات تعیین کننده در مراحل ابتدای رشد گیاه مانع استقرار سریع و مطلوب گیاه می‌گردد. در ضمن واکنش ارقام کینوا در مقابل شوری یکسان نبود. رقم Sajama به دلیل برتری شاخص‌هایی نظیر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، به‌عنوان ژنوتیپی متحمل به شوری جهت بررسی‌های تکمیلی در مطالعات آزمایشگاهی و مزرعه ای معرفی می‌گردد. هم‌چنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت پراکسیداز و کاتالاز رابطه ویژه‌ای جهت حفظ کارایی گیاه کینوا تحت تأثیر تنش شوری داشت. در ارقام متحمل به شوری فعالیت این دو آنزیم بیشتر است.

References

- Adolf, V. I., Shabala, S. N., Andersen, M. N., Razzaghi, F. and Jacobsen, S. E. 2012. Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. *Plant and Soil* 357, 117 -129. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1133-7>
- Agarwal, S. and Pandey, V. 2004. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. *Biology of Plant*, 48: 555-560. <https://doi.org/10.1023/B:BIOP.0000047152.07878.e7>
- Andersen, S.D., Rasmussen, L., Jensen, C.R., Mogensen, V.O., Andersen, M.N. and Jacobsen, S.-E. 1996 Leaf water relations and gas exchange of field grown *Chenopodium quinoa* Willd. during drought. In: Stolen, O., Pithan, K. and Hill, J. (eds) *Small Grain Cereals and Pseudocereals*. Workshop at KVL, Copenhagen, Denmark.

- Allen, G.J., Wynjones, R.G. and Leigh, R.A. 1995. Sodium transport measured in plasma membrane vesicles isolated from wheat genotypes with differing K/Na discrimination traits. *Plant Cell and Environmental*, 18: 105-115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1995.tb00344.x> (Journal)
- Ashraf, M. and Q. Ali. 2008. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 63: 266-273. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.11.008>
- Appel, K. and Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55: 373-399. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>
- Azooz, M., Ismail, A. and Elhamd, F. A. 2009. Growth, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities as a selection criterion for the salt tolerance of three maize cultivars grown under salinity stress. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11: 21-26.
- Bhargava, A., Shukla, S., Katiyar, R.S. and Ohri, D. 2003. Selection parameters for genetic improvement in *Chenopodium* grain on sodic soil. *Journal of Applied Horticulture* 5, 45-48. <https://doi.org/10.37855/jah.2003.v05i01.13>
- Bandeoglu, E., F. Eyidogan, M. Yucel and H.A. Oktem. 2004. Antioxidant response of shoots and roots of lentil to NaCl salinity stress. *Plant Growth Regulation*, 42: 69-77. <https://doi.org/10.1023/B:GROW.0000014891.35427.7b>
- Bhattacharjee, S. and A.K. Mukherjee. 2002. Salt stress induced cytosolute accumulation, antioxidant response and membrane deterioration in three rice cultivars during early germination. *Seed Science and Technology*, 30: 279-287.
- Bowler, C., Van Montagu, M. and Inze, D. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiol and Plant Molecular Biology*, 43:83-116.
- Canahua, M.A. 1977. Observaciones del comportamiento de quinoa a la sequia. In: Primer Congreso Internacional sobre cultivos Andinos, Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Ayacucho, Peru, pp. 390-392.
- Chance, B., and Maehly, A. 1955. "Assay of catalases and peroxidases." *Methods in Enzymology*. 2: 764-775.
- Delatorre-Herrera, J. and Pinto, M. 2009. Importance of ionic and osmotic components of salt stress on the germination of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) selections. *Chilean Journal of Agricultural Research* 69, 477-485. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392009000400001>
- Fuentes, F.F. and Bhargava, A. 2011. Morphological analysis of quinoa germplasm grown under lowland desert conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197, 124-134. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00445.x>
- FAO, 1988. Salt-affected soils and their management. *FAO soils bulletin* 39, Rome, Italy, 131 p.
- Farhoudi, R., F. Sharifzadeh, K. Poustini, M.T. Makkizadeh, M. Kochak pour. 2007. The effects of NaCl priming on salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.) seedlings grown under saline conditions. *Seed Science and Technology*, 35: 754-759. <https://doi.org/10.15258/sst.2007.35.3.23>
- González, J.A., Gallardo, M., Hilal, M., Rosa, M. and Prado, F.E. 2009. Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. *Botanical Studies* 50, 35-42.
- González, J.A., Bruno, M., Valoy, M. and Prado, F.E. 2011. Genotypic variation of gas exchange parameters and leaf stable carbon and nitrogen isotopes in ten quinoa cultivars grown under drought. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197, 81-93. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00446.x>
- Garciaarubio, A., Legaria, J. P., & Covarrubias, A. A. (1997). Absciscic acid inhibits germination of mature *Arabidopsis* seeds by limiting the availability of energy and nutrients. *Planta*, 203(2), 182-187. <https://doi.org/10.1007/s004250050180>. (Journal)
- Garcia, M., Raes, D. and Jacobsen, S.-E. 2003. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. *Agricultural Water Management* 60, 119-134. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00162-2](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00162-2)
- Gill, P.K., Sharma, A.D., Singh, P. and Bnullar, S.S. 2003. Changes in germination, growth and soluble sugar contents of sorghum bicolor Moench seeds under various abiotic stresses. *Plant Growth Regulation*, 40: 157-162. <https://doi.org/10.1023/A:1024252222376> (Journal)
- Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S.E. & Shabala, S. 2011. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. *Journal of experimental botany*, 62(1), 185-193. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq257>

- Hajghani, M., M. Safari and A. Maghsoudi Mud. 2008. The effect of salinity on germination and growth seedling safflower cultivars. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources of Iran*, 45: 449-457.
- Hordegrec, S.P. and Emmerich, W.E. 1990. Partitioning water potential and specific salt effects on seed germination of four grasses. *Annals of Botany*, 66: 587-595. (Journal)
- Iqbal, S., Basra, S. M., Afzal, I., Wahid, A., Saddiq, M. S., Hafeez, M. B., and Jacobsen, S. E. 2019. Yield potential and salt tolerance of quinoa on salt-degraded soils of Pakistan. *Journal of Agronomy and Crop Science* 205 (1): 13-21. <https://doi.org/10.1111/jac.12290>
- Jacobsen, S.-E., Monteros, C., Christiansen, J.L., Bravo, L.A., Corcuera, L.J. and Mujica, A. 2005. Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy* 22, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.01.003>
- Jacobsen, S.-E., Monteros, C., Corcuera, L.J., Bravo, L.A., Christiansen, J.L. and Mujica, A. 2007. Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy* 26, 471-475. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.01.006>
- S.-E. Jacobsen, A. Mujica & C. R. Jensen 2003. The Resistance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Adverse Abiotic Factors, *Food Reviews International*, 19:1-2, 99-109, DOI: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018872>
- Jacobsen, S.-E., Quispe, H. and Mujica, A. 2001. Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. In: *Scientists and Farmer-Partners in Research for the 21st Century*. CIP Program Report 1999-2000, pp. 403-408.
- Jacobsen, S.-E., F. Liu and C.R. Jensen. 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*, 122: 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.019>
- Jamali, s., Sharifan, H., Hezarjaribi, A., Sepahvand, N.A., 2016. The effect of different levels of salinity on germination and growth indices of two cultivars of Quinoa. *Journal of Water and Soil Conservation*. 6(1), 87-98. [In Persian].
- Jamali, S., and Sharifan, H. 2018. Investigation the effect of different salinity levels on yield and yield components of Quinoa (Cv. Titicaca). *Water and Soil Conservation* 25 (2): 251-266. (in Persian with English abstract).
- Jakab, G., J. Ton, V. Flors, L. Zimmerli, J.P. Metraux and B. Mauch-Mani. 2005. Enhancing Arabidopsis salt and drought stress tolerance by chemical priming for its ABA Response. *Plant Physiology*, 139: 267-274. <https://doi.org/10.1104%2Fpp.105.065698>
- Jensen, C.R., Jacobsen, S.-E., Andersen, M.N., Nunez, N., Andersen, S.D., Rasmussen, L. and Mogensen, V.O. 2000. Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *European Journal of Agronomy* 13, 11-25. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00055-1](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00055-1)
- Koyro, H. and Eisa, S. 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant Soil* 302: 79-90.
- Kaya, M.D. and S. Day. 2008. Relationship between seed size and NaCl on germination, seed vigor and early seedling growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 3(11): 787-791.
- Kaya, C., Sonmez, O., Aydemir, S. and Dikilitas, M. 2013. Mitigation effects of glycinebetaine on oxidative stress and some key growth parameters of maize exposed to salt stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37: 188-194. <https://doi.org/10.3906/tar-1205-18>
- Khalili, S. Bastani, A., and Bagheri, M. 2019. Effect of different levels of irrigation water salinity and phosphorus on some properties of soil and Quinoa plant. *Iranian Journal of Soil Research* 33 (1): 155-167. <https://dx.doi.org/10.22092/ijsr.2019.119757>
- Meeking, J.F., Egan, T.P., Irwin, A. and Ungar A. 1997. The Effect of different Salts of Sodium and Potassium. *Nutrition*, 20(123): 1723 – 1730. <https://doi.org/10.1080/01904169809365554> (Journal)
- Meloni, D.A., M.A. Oliva, C.A. Martinez and J. Cambraia. 2003. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, POD and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 15(2): 12-21. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(02\)00058-8](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00058-8)
- Mahmoud, A. H., Atteya, M. G., El-Damarawy, Y. A., and Saleh, M. E. 2019. Effects of water salinity and nitrogen fertilization on the production of quinoa grown in clay and sandy soils. *The Middle East Journal* 8 (2) 746-754.
- Manaa, A., Goussi, R., Derbali, W., Cantamessa, S., Abdelly, C., and Barbato, R. 2019. Salinity tolerance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by chloroplast ultrastructure and photosynthetic

- performance. *Environmental and Experimental Botany* 162: 103-114.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.012>
- Maleki, P., Saadat, S., Bahrami, H. A., Rezaei, H., and Esmaeelnejad, L. 2019. Accumulation of ions in shoot and seed of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 50 (6): 782-793. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1589486>
- 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 (15): 1815-1825.
<https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1474917>
- Mamedi A., Tavakkol Afshari R., Sepahvand, N.A., 2015. Quantifying seed germination response of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under temperature and drought stress regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 48(3), 615-623. [In Persian].
<https://dx.doi.org/10.22059/ijfcs.2017.128439.653907>
- Mane, A. V., Deshpande, T. V., Wagh, V. B., Karadge, B. A. and Samant, J. S. 2011. A critical review on physiological changes associated with reference to salinity. *International Journal of Environmental Science*, 1 (6): 1192-1216.
- Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651-681.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Niu, X., Bressan, R.A., Hasegawa, P.M. and Pardo, J. M. 1995. Ion homeostasis in NaCl stress environment. *Plant Physiology*, 109: 735- 742. <https://doi.org/10.1104%2Fpp.109.3.735> (Journal)
- Neto, A.D.A., J.T. Prisco, J. Eneas-Filho, C.E.B. Abreu and E. Gomes-Filho. 2006. Effect of salt stress on antioxidant enzymes and lipid per oxidation in leaves and roots of salt-tolerance and salt-sensitive maize genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 56: 87-94.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.01.008>
- Orhan, E., A. Esitken, S. Ercisli, M. Turan and F. Sahin. 2006. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. *Sci. Horti*. 111: 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.09.002>
- Parvaiz, M. 2013. Response of maize to salt stress a critical review. *International Journal of Healthcare Science*, 1: 13-25.
- Prado, F.E., Boero, C., Gallardo, M. and Gonzalez, J.A. 2000. Effect of NaCl on germination, growth, and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* (Willd.) seeds. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 41, 27-34. 192.
- Prego, I., Maldonado, S. and Otegui, M. 1998. Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany* 82, 481-488.
- Riaz, F., Abbas, G., Saqib, M., Amjad, M., Farooq, A., Ahmad, S., Naeem, M. A., Umer, M., Khalid, M. S., Ahmad, Kh., and Ahmad, N. 2020. Comparative effect of salinity on growth, ionic and physiological attributes of two quinoa genotypes. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 57 (1): 115-122.
- Rosa, M., Hilal, M., González, J.A. and Prado, F.E. 2009. Low temperature effect on enzyme activities involved in sucrose-starch partitioning in salt-stressed and salt acclimated cotyledons of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry* 47, 300-307.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.12.001>
- Ruffino, A.M.C., Rosa, M., Hilal, M., González, J.A. and Prado, F.E. 2010. The role of cotyle-don metabolism in the establishment of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings growing under salinity. *Plant and Soil* 326, 213-224. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9999-8>
- Sharma, A.D., Thakur, M., Rana, M. and Singh, K. 2004. Effect of plant growth hormones and abiotic stresses on germination, growth and phosphates activities in sorghum bicolor L. Moench seeds. *African Journal of Biotechnology*, 3: 308-312. <https://doi.org/10.5897/AJB2004.000-2057> (Journal)
- Safarnejad, A. and Hamidi, H. 2006. Effects of salinity on seed germination and seedling growth of some medicinal plants. National conference of sustainable development of medicinal plants. (In Persian) (Conference).
- Shalhevet, J. 1993. Plant under salt and water stress. In: plant adaptation to environmental stress, Chaoman and Hall. 133- 154. (Part of Book)
- Seyedsharifi, R. 2008. Evaluation the effect of PEG on germination and growth seedling carthamus cultivars. *Biology Journal of Iran*, 3: 400-410.
- Sairam, R.K., G.C. Srivastava, S. Agarwal and R.C. Meena. 2005. Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. *Biological Plantarum*, 49: 85-91. <https://doi.org/10.1007/s10535-005-5091-2>

- Sinha, A. K. 1972. "Colorimetric assay of catalase". Analytical Biochemistry 47(2): 389-394.
- Valentovic, P., M. Luxova, L. Kolarovi and O. Gasparikora. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, memberane stability and water relation in two maize. Plant Soil Environment. 52 (4):186-191.
- Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant Soil. 255(2): 571-586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>
- Vacher, J.J. 1998. Responses of two main Andean crops, quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and papa amarga (*Solanum juzepczukii* Buk.) to drought on the Bolivian Altiplano: significance of local adaptation. Agriculture Ecosystems and Environment 68, 99-108.
- Wilson, C., Read, J.J. and Abo-Kassem, E. 2002. Effect of mixed-salt salinity on growth and ion relations of a quinoa and a wheat variety. Journal of Plant Nutrition 25, 2689-2704. <https://doi.org/10.1081/PLN-120015532>
- Yapsania, T., Moustakas, M. and Domiandou, K. 1994. Protein Phasporylation dephosphorylution in alfalfa seeds germinating under salt stress. Journal of plant physiology, 143: 234-240. (Journal)