




Effects of salinity stress on some morpho-physiological traits and grain yield of quinoa cultivars under greenhouse conditions

Mojtaba Kaboodkhani¹, Hadi Salek Mearaji² , Keyvan Aghaei^{3*} , Afshin Tavakoli⁴ 

1. M.Sc. Graduated, Department of Biology, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2. Assistant Professor, Visiting Professor Department of Agricultural Science, Faculty of Shariati & Bahonar Pakdasht, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
4. Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Citation: Kaboodkhani, M., Salek Mearaji, H., Aghaei, K., Tavakoli, A. (2024) Effects of salinity stress on some morpho-physiological traits and grain yield of quinoa cultivars under greenhouse conditions. *Plant Productions*, 47(2), 213-227

Abstract

Introduction

Since plants cannot move, they face many environmental stresses. Salinity is a major threat to modern agriculture, causing inhibition and impairment of crop growth and development. Salinity stress affects all vital plant processes such as photosynthesis, protein and metabolism of fat in the plant, causing changes in morphological, physiological, biochemical and molecular functions of the plant, which ultimately decreases plant yield. Due to high nutritional value and high resistance to abiotic stresses such as salinity and drought, quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) has been proposed to ensure food security in the world. Quinoa genotypes have different morphological and physiological mechanisms in terms of germination, growth and grain yield under salinity stress. Considering the differences in salinity resistance in different quinoa cultivars, this study was carried out for investigating the physiological responses and seed yield of three quinoa cultivars with different origins under salinity stress.

Materials and Methods

This experiment carried out as random complete block design with three replications in the greenhouse of the Faculty of Agriculture of Zanjan University during the year 2019. The experimental treatments included three salinity levels of 0, 15 and 30 dS m⁻¹ and three quinoa varieties (Giza1, Titicaca and Q26) with different origins. First, soil with a ratio of 50% sieved farm soil, 30% sand and 20% rotted manure was added inside the 1 kg pots. Inside each pot, 10 seeds were planted then irrigated with desired concentrations of salinity. The temperature of the greenhouse during the day was 27±2 and at night 19±2 °C, and the relative humidity was 65-75%. After the seedlings were fully established, four plants were kept in each pot and the rest were removed. The volume of irrigation water was 400 cc for each pot with the desired concentration of salinity. In the following, the desired traits were measured based on the

* **Corresponding Author:** Keyvan Aghaei
E-mail: keyvanaghaei@znu.ac.ir



mentioned protocols in specific stages. After measuring the desired traits, variance analysis of the data was done with SAS software version 9.1, comparison of average data was done using Duncan's multiple range test ($P > 0.05$).

Results and Discussion

Salinity stress had a significant effect on all the traits studied except the potassium concentration of the root. Salinity reduced the plant height, leaf area, greenness index, grain yield, dry weight shoot and root, but salinity caused increase in the amount of sodium in the root, stem and leaves. The highest and lowest grain yields, with 0.87 and 0.56 g plant⁻¹ were observed in the control and 30 dS m⁻¹ salinity treatments, respectively. The Titicaca cultivar with 25.7 cm, had the lowest plant height. The highest shoot dry weight, stem sodium concentration, Na⁺/K⁺ ratio in root and Na⁺/K⁺ ratio in stem were observed in the Giza 1 cultivar. The Q26 cultivar had highest height of plant (33.8 cm), leaf area (3865.8 cm²plant⁻¹), root sodium (0.30 mg.g⁻¹ dry weight) and potassium (0.16 mg.g⁻¹ dry weight) concentration, while it had the lowest Na⁺/K⁺ ratio in leaf with 0.67 mg.g⁻¹ dry weight. Traits such as leaf potassium concentration and grain yield were similar among the studied cultivars. Also, cultivar Q26 had the lowest Na⁺/K⁺ ratio in the leaves with 0.67 mg.g⁻¹ dry weight. The leaf greenness index in the control and salinity of 15 dS.m⁻¹ was the same among all studied cultivars, but in the salinity of 30 dS.m⁻¹, the Titicaca cultivar had the lowest amount. Among the studied cultivars, Giza 1 cultivar had the lowest root dry weight, while it had the highest Na⁺/K⁺ ratio in root and stem (8.27 and 3.6 mg.g⁻¹ dry weight, respectively) among all salinity treatments. The Titicaca cultivar had the highest stem potassium concentration of all salinity levels in studied cultivars.

Conclusions

The results obtained from this research showed that high salinity concentrations decreased the grain yield of quinoa. In general, the results showed that the cultivars examined in this research (Giza1, Titicaca and Q26) were different from each other in terms of traits related to salinity resistance. The results showed that the origin of cultivars probably plays a role in the resistance to salinity. Also, despite the difference in the concentration of elements potassium, sodium and Na⁺/K⁺ ratio in the stem, root and leaf organs, and no significant difference was observed in terms of grain yield among the studied cultivars. Therefore, it is suggested to consider their origin in the selection of cultivars for future research.

Keywords: *Chenopodium quinoa*, Greenness index, Leaf area, Potassium, Root dry weight, Sodium.

تأثیر تنش شوری بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه ارقام کینوا در شرایط گلخانه

مجتبی کبودخانی^۱، هادی سالک معراجی^۲، کیوان آقائی^{۳*}، افشین توکلی^۴

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، ایران.
- ۲- استادیار، استاد مدعو گروه علوم کشاورزی، دانشکده دختران شریعی و باهنر پاکدشت، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.
- ۳- استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، ایران.
- ۴- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

چکیده

تنش شوری از مهمترین عوامل غیرزنده کاهش‌دهنده عملکرد گیاهان محسوب می‌شود. کینوا گیاهی با ارزش غذایی بالا و متحمل به شوری بوده که این تحمل در بین ارقام کینوا بسیار متفاوت است. آزمایش حاضر به منظور بررسی اثر تنش شوری بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه ارقام کینوا، به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح شوری صفر، ۱۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر و سه رقم کینوا (Giza 1، Titicaca و Q 26) بود. رقم Titicaca در شوری ۳۰ دسی‌زیمنس، کمترین ارتفاع بوته (۲۳ سانتی‌متر) و شاخص سبزیگی (۳۴/۷) را داشت. رقم Giza 1 بالاترین وزن خشک اندام هوایی (۱/۲ گرم در بوته) و کمترین وزن خشک ریشه (۰/۱۱ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) را دارا بود. همچنین رقم Q 26 کمترین وزن خشک اندام هوایی و بالاترین سطح برگ و وزن خشک ریشه را داشت. همچنین با وجود تفاوت در غلظت عناصر پتاسیم، سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام‌های ساقه، ریشه و برگ، تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه در بین ارقام مورد بررسی مشاهده نشد. بالاترین غلظت سدیم و پتاسیم ریشه به ترتیب با ۰/۳۰ و ۰/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک در رقم Q 26 مشاهده گردید، در حالی که کمترین نسبت سدیم به پتاسیم برگ (۰/۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) را داشت. به طور کلی نتایج نشان داد که ارقام کینوا در شرایط شوری، واکنش متفاوتی داشته که احتمالاً منشأ ارقام در این امر دخیل باشد. بر همین اساس پیشنهاد می‌گردد که در انتخاب ارقام در پژوهش‌های آتی، منشأ آن‌ها نیز مد نظر قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: پتاسیم، سدیم، سطح برگ، شاخص سبزیگی، کینوا، وزن خشک ریشه.

* نویسنده مسئول: کیوان آقائی

مقدمه

رشد سریع جمعیت، نیاز به تولیدات کشاورزی در جهان را به طور قابل توجهی افزایش داده است به طوری که طبق پیش‌بینی‌ها جهت تأمین نیاز غذایی جمعیت رو به رشد انسانی، تولیدات کشاورزی تا سال ۲۰۵۰ باید به میزان ۸۷ درصد افزایش یابد (Kromdijk *et al.*, 2016). این در حالی است که وقوع انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی، تولیدات کشاورزی را محدود کرده است (Wani and Sah, 2014). تنش‌های غیرزیستی از عوامل اصلی کاهش عملکرد گیاهان بوده و در این بین، شوری یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی محسوب می‌شود که امنیت غذایی در جهان را به مخاطره انداخته است (Sanghera *et al.*, 2011). تنش شوری تمام فرآیندهای حیاتی گیاه مانند فتوسنتز، ساخت پروتئین و متابولیسم چربی گیاه را تحت تأثیر قرار داده و سبب ایجاد تغییراتی در کارکردهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاه می‌شود که در نهایت با کاهش عملکرد گیاه همراه است (Sogoni *et al.*, 2021).

کینوا به دلیل ارزش غذایی بالا و همچنین تحمل بالا به تنش‌های غیرزیستی مانند شوری و خشکی جهت تأمین امنیت غذایی در جهان مطرح شده است (Fuentes *et al.*, 2013) به طوری که سال ۲۰۱۳ میلادی توسط سازمان خوار و بار جهانی، سال کینوا نام‌گذاری شد (FAO, 2013). آزمایش‌های متعدد نشان داده که گیاه کینوا تحمل بالایی به تنش شوری دارد. به طور کلی کینوا شوری‌های متوسط تا خیلی زیاد (۱۵ تا ۷۵ دسی‌زیمنس بر متر) را تحمل می‌کند (Orsini *et al.*, 2011). کینوا از نظر تنوع ژنتیکی بسیار گسترده بوده به همین دلیل تحمل آن به تنش‌های غیرزیستی متفاوت است (Tapia, 2015). ژنوتیپ‌های مختلف کینوا از نظر جوانه‌زنی، رشد و عملکرد دانه در شرایط شور سازوکارهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک متفاوتی

از خود بروز می‌دهند (Biondi *et al.*, 2015). تنوع زیادی بین ژنوتیپ‌های کینوا از نظر میزان تحمل به تنش شوری وجود دارد و ژنوتیپ‌هایی که منشأ آنها مناطق ساحلی است تحمل بیشتری به تنش شوری دارند (Kiani-Pouya *et al.*, 2019; Saad-Allah *et al.*, 2018). با این حال، گیاه کینوا نیز همانند سایر گیاهان، بهترین رشد، نمو و عملکرد خود را در شرایط مطلوب داشته و در شرایط تنش شوری، ممکن است تغییراتی در مورفولوژی، فیزیولوژی و یا مولکولی گیاه به وجود آید و در نهایت عملکرد کاهش یابد.

پژوهش‌های مختلفی در رابطه با تأثیر تنش شوری بر ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام مختلف کینوا انجام گرفته است. در پژوهشی گزارش گردیده است که تنش شوری سبب کاهش ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد دانه رقم Q5 کینوا گردید (Toderich *et al.*, 2020). در پژوهش دیگری، جارامیلو رومن و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که تنش شوری ۳۰۰ میلی‌مولار سبب کاهش سطح برگ ارقام sel Riobamba و Pasto گردید (Jaramillo Roman *et al.*, 2021). ارتفاع بوته ارقام کینوا در شرایط تنش شوری کاهش یافت و میزان تجمع یون سدیم، کلر و پتاسیم در برگ‌ها و ریشه ژنوتیپ‌های Atlas Jessie, Pasto و Riobamba با یکدیگر متفاوت بود (Jaramillo Roman *et al.*, 2021). در پژوهش انجام یافته روی رقم Sajama کینوا گزارش شده که تنش شوری سبب کاهش سطح برگ و شاخص سبزی‌نگی برگ شد (Sharifan *et al.*, 2018). در پژوهشی Hatami *et al.*, (2022) گزارش کردند که تنش شوری سبب کاهش ارتفاع بوته، افزایش سدیم اندام هوایی، کاهش غلظت پتاسیم، کاهش نسبت پتاسیم به سدیم گیاه، کاهش شاخص سبزی‌نگی برگ، وزن هزار دانه، قطر ساقه، عملکرد دانه و شاخص برداشت رقم Titicaca کینوا گردید.

مورفوفیزیولوژیک و عملکرد سه رقم کینوا با منشأهای متفاوت (شیلی، مصر و دانمارک) تحت شرایط تنش شوری طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۹ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح شوری صفر، ۱۵ و ۳۰ دسی-زیمنس بر متر و سه رقم کینوا (Giza 1, Q 26, Titicaca) با منشأهای مختلف بود. منشأ رقم Q 26 کشور شیلی، رقم Giza 1 کشور مصر و رقم Titicaca کشور دانمارک بود که دو رقم اول (Giza 1 و Q 26) از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و رقم Titicaca از مرکز ملی تحقیقات شوری استان یزد تهیه گردید.

رقم Titicaca رقمی متحمل به شوری، زودرس، مناسب برای کشت بهاره و روز از نظر گل‌دهی روز خنثی می‌باشد. رقم Q 26 نیمه متحمل به شوری و متوسط‌رس، مناسب برای کشت بهاره و از نظر گل‌دهی گیاهی روز خنثی بوده و رقم Giza 1 نیمه متحمل به شوری، زودرس، مناسب برای کشت بهاره و روز از نظر گل‌دهی روز خنثی می‌باشد.

جهت اجرای آزمایش، مقدار ۷۰۰ گرم از خاک تهیه شده با نسبت ۵۰ درصد خاک الک شده مزرعه، ۳۰ درصد ماسه و ۲۰ درصد کود دامی پوسیده داخل گلدان‌های پلاستیکی یک کیلوگرمی اضافه گردید. سپس داخل هر گلدان ۱۰ عدد بذر در عمق یک سانتی-متری کاشته شد و بلافاصله با غلظت‌های مورد نظر شوری، آبیاری گردید. دمای گلخانه در روز 27 ± 2 و در شب 19 ± 2 درجه سانتی‌گراد و میزان رطوبت نسبی ۷۵-۶۵ درصد بود. بعد از استقرار کامل گیاهچه‌ها، داخل هر گلدان چهار بوته حفظ و بقیه بوته‌ها حذف شدند. حجم آب آبیاری در هر نوبت برای هر گلدان ۴۰۰ سی‌سی (به

همچنین گزارش شده که تنش شوری سبب کاهش تعداد برگ، سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی رقم Chipaya کینوا گردید (Algozaibi et al., 2015). شوری ۴۰۰ میلی‌مولار نیز سبب کاهش ارتفاع بوته، تعداد برگ و میزان کلروفیل ارقام کینوا گردید (Shabala and Cuin, 2008). همچنین گزارش شده که تنش شوری سبب کاهش ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و عملکرد کینوا (رقم Titicaca) شد (Jamali and Sharifan., 2018). Cai and Gao (2020) گزارش کردند که تنش شوری سبب کاهش ارتفاع، سطح برگ، طول ریشه، نسبت ریشه به ساقه ارقام BR2, R1, B2, W23 و Y2 گردید. آن‌ها همچنین گزارش کردند که تجمع یون‌های سدیم و پتاسیم در برگ افزایش ولی نسبت پتاسیم به سدیم در برگ‌ها و ریشه کاهش داشت. آن‌ها نتیجه گرفتند که تحمل به شوری ارقام مختلف کینوا با یکدیگر متفاوت بوده و بستگی به سازوکارهای فعال هر رقم دارد. گزارش شده که زمانی که کینوا در معرض تنش شوری قرار می‌گیرد با تغییر در ساختار مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمی اندام‌های خود سبب کاهش اثرات تنش می‌گردد که از جمله این تغییرات می‌توان به تجمع نمک در برگ‌های پیر، افزایش تنظیم‌کننده‌های اسمزی در برگ‌ها، کاهش تعداد و اندازه روزنه‌های برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای (Shabala and Cuin, 2008)، رسوب سدیم در واکوئل، بارگیری سدیم در آوندهای چوبی، تحمل بالا به ترکیبات دارای اکسیژن واکنش‌گر، حفظ نسبت پتاسیم به سدیم و کیسه‌های نمکی اشاره کرد (Adolf et al., 2013).

پژوهش‌های مختلف روی کینوا نشان داده که سازوکارهای تحمل به شوری در ارقام کینوا بسیار متفاوت است. با توجه به اهمیت گیاه کینوا در تأمین امنیت غذایی و مقاومت متفاوت ارقام کینوا به تنش شوری، پژوهش حاضر با هدف بررسی ویژگی‌های

از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمار شوری و رقم قرار گرفت (جدول ۱). تنش شوری سبب کاهش ارتفاع بوته گردید به طوری که غلظت ۱۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس شوری، ارتفاع بوته را به ترتیب ۲۸/۹ و ۴۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۲). رقم Titicaca با ۲۵/۷ سانتی‌متر، کم‌ترین ارتفاع بوته را دارا بود. همچنین ارتفاع بوته رقم Giza 1 و Q 26 از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش شوری را می‌توان به کاهش جذب آب، سرعت فتوسنتز و همچنین جذب عناصر غذایی ارتباط داد (Parihar *et al.*, 2015). گزارش شده است که در شرایط تنش شوری، ارتفاع ارقام کینوا کاهش می‌یابد که این کاهش در بین ارقام مختلف متفاوت بود (Jaramillo Roman *et al.*, 2021). کاهش ارتفاع بوته ارقام کینوا در شرایط تنش شوری در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Hariadi *et al.*, 2011; Jamali and Sharifan, 2018; Cai and Gao, 2020; Shabala *et al.*, 2012; Toderich *et al.*, 2020; Jaramillo Roman *et al.*, 2020; Hatami *et al.*, 2022) که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سطح برگ گیاه به طور معنی‌داری ($P \leq 0.01$) تحت تأثیر تنش شوری و رقم قرار گرفت ولی اثر متقابل شوری \times رقم معنی‌دار نبود (جدول ۱). غلظت ۱۵ دسی‌زیمنس شوری بر سطح برگ اثر معنی‌داری نداشت ولی غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس، سطح برگ را به میزان ۲۲ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۲). از بین ارقام مورد بررسی، رقم Q 26 بیش‌ترین سطح برگ (۳۸۶۵ سانتی‌متر مربع) را داشت و ارقام Giza 1 و Titicaca با یکدیگر تفاوت

گونه‌ای که از ته گلدان‌ها خارج شود) با غلظت‌های مورد نظر شوری بود که پس از هر آبیاری زه‌آب خارج شده از کف گلدان‌ها مجدداً به داخل گلدان برگردانده شد. همچنین دفعات آبیاری بر اساس خشک شدن سطح خاک گلدان‌ها تا عمق دو الی سه سانتی‌متری در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ (شاخص سبزیگی برگ) با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (SPAD) مدل CCM-200 OPTI-SCIENSES در مرحله گل‌دهی و از برگ‌های میانی گیاه انجام شد (Lawlor *et al.*, 2002). سطح برگ نیز در مرحله گل‌دهی و از یک بوته در هر گلدان اندازه‌گیری شد، به این صورت که ابتدا برگ‌های بوته جدا گردید سپس سطح برگ‌های جدا شده به کمک دستگاه اسکنر (مدل Delta-T Devices Cambridge, UK) اسکن گردید. در ادامه سطح اسکن شده توسط نرم‌افزار Image J محاسبه شد.

ارتفاع دو بوته از هر گلدان با کمک خط‌کش اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به عنوان ارتفاع هر تیمار در نظر گرفته شد. وزن خشک ساقه و ریشه نیز پس از رسیدگی کامل گیاه اندازه‌گیری شد. غلظت سدیم و پتاسیم ریشه، ساقه و برگ در مرحله رسیدگی گیاه انجام شد. پس از خاکستر کردن نمونه‌ها و هضم آن‌ها با هیدروکلریک اسید، غلظت پتاسیم و سدیم توسط شعله-سنج نوری (فلیم فتومتر) مدل Techne 500 701 Pfp7 به ترتیب در طول موج ۶۶۷/۵ و ۵۸۹ نانومتر قرائت شد (Emami, 1996).

به منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه، پس از رسیدگی فیزیولوژیکی دانه، بوته‌ها برداشت و به مدت ۲۴ ساعت در آن با ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس دانه‌ها توسط ترازوی دقیق ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری و بر حسب گرم در بوته بیان گردید. پس از اندازه‌گیری صفات مورد نظر، تجزیه واریانس داده‌ها به کمک نرم افزار SAS نسخه ۹/۱، مقایسات میانگین داده‌ها با استفاده

متفاوت بود (Cai and Gao, 2020). کاهش سطح برگ کینوا در شرایط تنش شوری در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Cai and Gao, 2020; Sharifan *et al.*, 2018; Algozaibi *et al.*, 2015) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت.

معنی‌داری از این نظر نداشتند (جدول ۲). یکی از دلایل اصلی کاهش سطح برگ، کاهش محتوای نسبی آب برگ‌ها در شرایط تنش شوری می‌باشد که سبب کاهش فشار تورژسانس برگ‌ها شده و در نهایت سطح برگ کاهش پیدا می‌کند چرا که در شرایط تنش شوری پتانسیل آب کاهش می‌یابد (Khan *et al.* 2013). کاهش جذب عناصر غذایی، تعداد برگ در بوته و فتوسنتز از دیگر دلایل کاهش سطح برگ تحت شرایط تنش شوری است (Parihar *et al.*, 2015). گزارش Jaramillo Roman *et al.*, (2021) کرده‌اند که در شرایط تنش شوری سطح برگ ارقام کینوا کاهش یافته و در ارقام حساس درصد کاهش بیشتر بود. در پژوهش دیگری گزارش شده است که کاهش سطح برگ ارقام کینوا در شرایط تنش شوری با یکدیگر

Table 1. Analysis of variance of the effect salinity on studied traits of quinoa cultivars.

Sources of variation	df	Means of squares					
		Plant height	Leaf area	SPAD value	Shoot dry weight	Root dry weight	Grain yield
Repeat	2	11.14 ^{ns}	47685 ^{ns}	132.40**	0.019*	0.0016 ^{ns}	0.0019 ^{ns}
Salinity	2	670.81**	1505766**	1709.88**	0.186**	0.042**	0.21**
Cultivar	2	156.92**	2887168**	42.55 ^{ns}	0.017*	0.013**	0.02 ^{ns}
Salinity × Cultivar	4	28.59 ^{ns}	13712 ^{ns}	59.28*	0.005 ^{ns}	0.002**	0.009 ^{ns}
Error	16	11.02	38643	16.68	0.005	0.0003	0.010
C.V (%)	--	10.91	6.10	4.08	6.15	10.28	13.64

*, **, and ^{ns} represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.

Table 2. Mean comparisons of the main effect of salinity and cultivar on evaluated traits of quinoa

Treatment	Plant height (cm)	Leaf area (cm ² .plant)	Shoot dry weight (g.plant ⁻¹)	Grain yield (g.plant ⁻¹)
Salinity (ds.m)				
0	39.88a	3237.98a	1.28a	0.87a
15	28.33b	3361.48a	1.18b	0.75b
30	23.01c	2757.95b	1.01c	0.56c
Cultivar				
Titicaca	25.77b	2979.89b	1.15ab	0.67a
Q 26	33.88a	3865.89a	1.11b	0.76a
Giza 1	31.55a	2811.63b	1.20a	0.75a

In each column, Means with similar letters are not significantly different based on Duncan's test at the 5% level.

شاخص سبزی‌نگی

تیمار شوری و اثر متقابل شوری × رقم به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد بر شاخص سبزی‌نگی اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱). شاخص سبزی‌نگی تیمار شاهد (صفر دسی‌زیمنس) و ۱۵ دسی‌زیمنس در همه ارقام با یکدیگر مشابه بود ولی در غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس رقم Titicaca کم‌ترین (۲۵/۱۵) و ارقام Q 26 و Giza 1 بالاترین شاخص سبزی‌نگی برگ را دارا بودند (جدول ۴). یکی از پدیده‌های رایج گزارش شده در شرایط تنش شوری، کاهش محتوای کلروفیل و سبزی‌نگی گیاه است که در مطالعات مختلف، از غلظت کلروفیل به‌عنوان شاخص حساسی از وضعیت متابولیک سلولی استفاده می‌شود (Chutipaijit et al., 2011). شاخص سبزی‌نگی گیاه بیانگر وضعیت مناسب سطح سبز برگ‌ها بوده و پژوهش‌ها در جهت افزایش شاخص سبزی‌نگی گیاهان می‌باشد چرا که افزایش سبزی‌نگی برگ می‌تواند بر عملکرد نهایی تأثیرگذار باشد (Jagła et al., 2019). پژوهش‌های انجام شده روی گیاه کینوا نشان داده است که شاخص سبزی‌نگی ارقام کینوا در شرایط تنش شوری کاهش می‌یابد (Shabala et al., 2012). کاهش سبزی‌نگی برگ کینوا در شرایط تنش شوری توسط Sharifan et al., (2018) و Hatami et al., (2022) نیز گزارش شده است.

وزن خشک شاخساره

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار تیمار شوری ($P \leq 0/01$) و رقم ($P \leq 0/05$) بر وزن خشک اندام هوایی گیاه بود (جدول ۱). شوری ۱۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس وزن خشک اندام هوایی را به ترتیب به میزان $7/8$ و $21/8$ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۲). رقم Giza 1 و Q 26 با $1/20$ و $1/11$ گرم (وزن تک بوته) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک اندام هوایی را

دارا بودند (جدول ۲). کاهش فتوسنتز در شرایط تنش شوری سبب کاهش رشد گیاه شده در نتیجه زیست‌توده گیاه کاهش می‌یابد (Hao et al., 2021). به نظر می‌رسد که تنش شوری با کاهش ارتفاع گیاه، تعداد و سطح برگ در نهایت سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی ارقام کینوا شده باشد. (Toderich et al., 2020) گزارش کرده‌اند که تنش شوری سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی گیاه کینوا شد. در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است که شوری سبب کاهش وزن اندام هوایی ارقام کینوا می‌شود (Algozaibi et al., 2015; Shabala et al., 2012; Jaramillo Roman et al., 2020; Jamali and Sharifan, 2018; Panuccio et al., 2014).

وزن خشک ریشه

تیمار شوری، رقم و اثر متقابل شوری × رقم در سطح احتمال یک درصد، بر وزن خشک ریشه اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱). در غلظت صفر و ۱۵ دسی‌زیمنس شوری، رقم Q 26 بالاترین وزن خشک ریشه را داشت در حالی که در غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس، رقم Giza 1 با $0/13$ میلی‌گرم در بوته، بالاترین وزن خشک را دارا بود (شکل ۲). تنش شوری با ایجاد خشکی فیزیولوژیکی و سمیت یونی سبب کاهش تعداد ریشه و گسترش آن‌ها می‌شود (Parihar et al., 2015). کاهش وزن خشک ریشه کینوا در شرایط تنش خشکی توسط Jamali and Sharifan, (2018) نیز گزارش شده است که همسو با یافته‌های نتایج این پژوهش است. در پژوهش دیگری گزارش شده است که طول ریشه در شوری ۱۰۰ میلی-مولار نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت اما در شوری های بالاتر کاهش یافت (Hariadi et al., 2011).

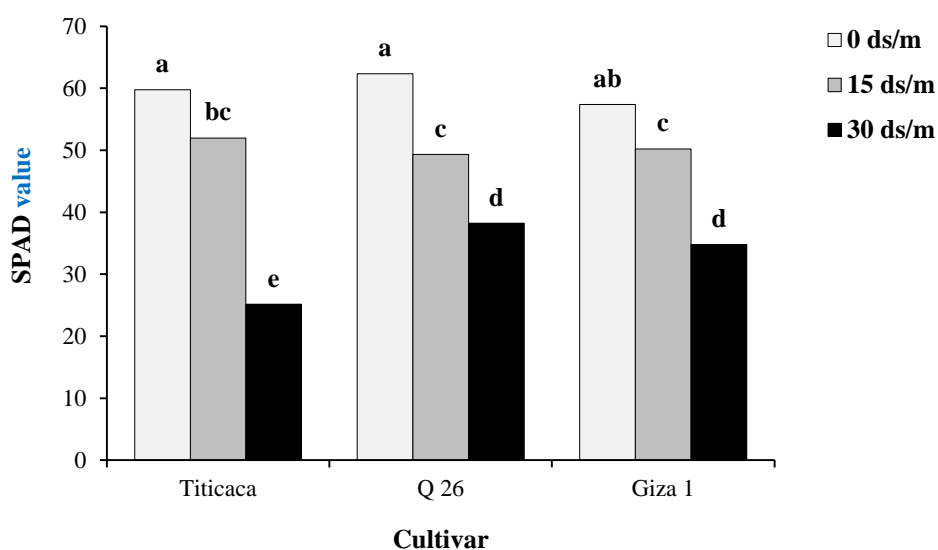


Figure 1. Mean comparisons of interaction effect of salinity and cultivar on greenness index (SPAD value) of quinoa; Means with similar letters are not significantly different based on Duncan's test at the 5% level.

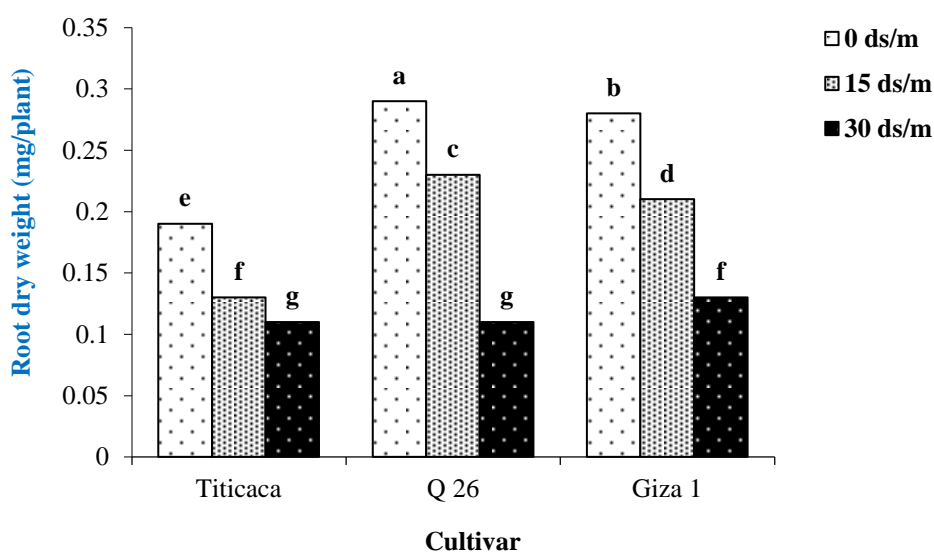


Figure 2. Mean comparisons of interaction effect of salinity and cultivar on root dry weight of quinoa; In each column, Means with similar letters are not significantly different based on Duncan's test at the 5% level.

(جدول ۱). عملکرد دانه در غلظت ۱۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس به‌ترتیب به میزان ۱۳/۸ و ۳۵/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (جدول ۲). تمام تغییرات به‌وجود آمده در مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه در شرایط تنش

عملکرد دانه

عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمار شوری قرار گرفت در حالی که رقم و اثر متقابل شوری × رقم بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌داری نداشتند

ریشه را داشت (جدول ۲). افزایش شوری سبب افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه گردید به طوری که رقم Giza 1 در سطح شوری ۳۰ دسی‌زیمنس بالاترین نسبت سدیم به پتاسیم را داشت (جدول ۲). ریشه، اولین و تنها اندامی از گیاه است که در تماس مستقیم با محیط شور قرار دارد، لذا، تغییرات آناتومیکی و سازگاری‌های این اندام می‌تواند نقش مهمی در تعیین تحمل به شوری گیاه بر عهده داشته باشد. ریشه می‌تواند نقش تنظیم‌کننده در ورود یون‌ها به داخل سیستم آوندی ایفا کند و به‌عنوان اولین مانع، سد راه ورود یون‌ها به داخل گیاه باشد (Shelden et al., 2013). در پژوهشی گزارش گردید که در شرایط تنش شوری غلظت سدیم و پتاسیم در ریشه کینوا افزایش ولی نسبت سدیم به پتاسیم کاهش یافت (Cai and Gao, 2020). آن‌ها بیان کردند که نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه می‌تواند به‌عنوان شاخص تحمل به شوری در ارقام کینوا در نظر گرفته شود و در انتخاب ارقام متحمل کینوا سودمند باشد (Cai and Gao, 2020).

غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم ساقه

غلظت سدیم ساقه تحت تأثیر شوری ($P \leq 0/01$) و رقم ($P \leq 0/05$) قرار داشت (جدول ۳). همچنین اثر تیمار شوری، رقم و اثر متقابل شوری \times رقم بر غلظت پتاسیم ساقه و نسبت سدیم به پتاسیم ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). غلظت سدیم در ساقه نیز با افزایش سطح شوری افزایش پیدا کرد به گونه‌ای که غلظت ۱۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس شوری به‌ترتیب سبب افزایش ۷۱/۱ و ۱۳۳/۳ درصدی غلظت سدیم در ساقه شد (جدول ۲). بالاترین غلظت پتاسیم ساقه (۰/۹۴ میلی-گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار شاهد رقم Titicaca و کم‌ترین مقدار آن (۰/۳۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در شوری ۳۰ دسی‌زیمنس رقم Giza 1 مشاهده شد (جدول ۴). شوری باعث افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در ساقه گردید (جدول ۴). رقم Giza 1 در سطح

شوری در نهایت ممکن است منجر به کاهش عملکرد گیاه شود. کاهش در صفاتی مانند تعداد برگ، سطح برگ، جذب عناصر غذایی، محتوای نسبی آب برگ، فتوسنتز، تعداد دانه در نهایت سبب کاهش عملکرد گیاه تحت تنش شوری می‌گردد. تنش شوری با ایجاد خشکی فیزیولوژیکی سبب کاهش جذب آب توسط ریشه شده، در نتیجه تولید هورمون آبسزیک اسید در گیاه افزایش می‌یابد، بالارفتن آبسزیک اسید سبب بسته شدن روزنه های برگ شده در نتیجه ورود دی اکسید کربن به داخل گیاه کاهش می‌یابد به همین جهت فتوسنتز گیاه کاهش و در نهایت عملکرد کاهش می‌یابد (Roy et al., 2014). کاهش عملکرد کینوا در شرایط تنش شوری در پژوهش‌های متعددی گزارش شده و مشخص گردید که تحمل ارقام کینوا به شوری با یکدیگر متفاوت بوده در نتیجه درصد کاهش عملکرد نیز در بین ارقام متفاوت است (Heidari et al., 2020; Toderich et al., 2020; Jaramillo Roman et al., 2020; Beyrami et al., 2020; Roman et al., 2020; González et al., 2021; Hatami et al., 2022).

غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر شوری ($P \leq 0/01$) و رقم ($P \leq 0/05$) بر غلظت سدیم بود (جدول ۳). غلظت پتاسیم ریشه نیز فقط تحت تأثیر ارقام قرار داشت (جدول ۳). نتایج نشان داد که تیمار شوری، رقم و اثر متقابل شوری \times رقم بر نسبت سدیم به پتاسیم ریشه اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). تنش شوری سبب افزایش غلظت سدیم ریشه گردید و از بین ارقام مورد بررسی رقم Q 26 و Giza 1 با ۰/۳۰ و ۰/۲۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک، بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت سدیم در ریشه را دارا بودند (جدول ۲). تا غلظت ۱۵ دسی-زیمنس، تغییر معنی‌داری در محتوای پتاسیم ریشه وجود نداشت ولی غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس سبب کاهش ۳۱/۷ درصدی پتاسیم ریشه گردید (جدول ۲). رقم Q 26 با ۰/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک، بیش‌ترین پتاسیم

انتقال می‌دهد تا بتواند با منفی نگه داشتن پتانسل خود، جذب آب توسط ریشه و انتقال آن به اندام هوایی خود را تداوم بخشد (Cai and Gao, 2020).

شوری ۳۰ دسی‌زیمنس بالاترین نسبت سدیم به پتاسیم در ساقه (۳/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) را داشت (جدول ۴). این احتمال جود دارد که گیاه نمک‌های وارد شده به داخل ریشه را به انداهایی مانند برگ و ساقه

Table 3. Analysis of variance of the effect salinity on studied traits of quinoa cultivars.

Sources of variation	d.f	Means of squares								
		Root sodium concentration	Root potassium concentration	Na ⁺ /K ⁺ ratio in root	Stem sodium concentration	Stem potassium concentration	Na ⁺ /K ⁺ ratio in stem	Leaf sodium concentration	Leaf potassium concentration	Na ⁺ /K ⁺ ratio in leaf
Repeat	2	0.0001ns	0.0002ns	0.52ns	0.21ns	0.0007ns	0.13ns	0.20ns	0.002ns	0.09ns
Salinity	2	0.096**	0.004 ^{ns}	37.81**	0.79**	0.18**	7.22**	1.55**	0.365**	4.72**
Cultivar	2	0.004*	0.020**	12.54**	0.06*	0.39**	4.86**	0.128**	0.037 ^{ns}	0.53*
Salinity × Cultivar	4	0.004 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	4.92**	0.02 ^{ns}	0.02*	0.39**	0.035 ^{ns}	0.017 ^{ns}	0.19 ^{ns}
Error	16	0.001	0.001	0.32	0.01	0.008	0.06	0.014	0.031	0.14
C.V (%)	--	11.83	23.09	17.93	14.66	14.52	17.18	15.71	18.81	24.93

*, **, and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.

Table 4. Mean comparisons of the main effect of salinity and cultivar on evaluated traits of quinoa

Treatment	Root sodium concentration (mg.g ⁻¹ dry weight)	Root potassium concentration (mg.g ⁻¹ dry weight)	Stem sodium concentration (mg.g ⁻¹ dry weight)	Leaf sodium concentration (mg.g ⁻¹ dry weight)	Leaf potassium concentration (mg.g ⁻¹ dry weight)	Na ⁺ /K ⁺ ratio in leaf (mg.g ⁻¹ dry weight)
Salinity (ds.m)						
0	0.18c	0.129a	0.45c	0.33c	1.10a	0.30c
15	0.27b	0.122ab	0.77b	0.79b	1.02a	0.81b
30	0.39a	0.088b	1.05a	1.16a	0.71b	1.73a
Cultivar						
Titicaca	0.28ab	0.10b	0.68b	0.88a	0.93a	1.11a
Q 26	0.30a	0.16a	0.75ab	0.64b	1.01a	0.67b
Giza 1	0.26b	0.07b	0.84a	0.75b	0.88a	1.06a

In each column, Means with similar letters are not significantly different based on Duncan's test at the 5% level.

Table 5. Mean comparisons of interaction effect salinity × cultivar on evaluated traits of quinoa

Salinity (ds/m)	Cultivar	Na ⁺ /K ⁺ ratio in root (mg.g ⁻¹ dry weight)	Stem potassium content (mg.g ⁻¹ dry weight)	Na ⁺ /K ⁺ ratio in stem (mg.g ⁻¹ dry weight)
0	Titicaca	1.71±0.03ed	0.94±0.13a	0.45±0.02f
	Q 26	1.31±0.47e	0.81±0.04c	0.53±0.07ef
	Giza 1	1.86±0.16de	0.48±0.09g	1.08±0.25d
15	Titicaca	2.51±0.13cd	0.73±0.11d	0.79±0.26def
	Q 26	1.66±0.17de	0.90±0.09b	0.88±0.19de
	Giza 1	2.95±0.88c	0.39±0.04h	2.36±0.22b
30	Titicaca	5.17±0.80b	0.51±0.08f	2.05±0.64bc
	Q 26	3.02±0.25c	0.61±0.07e	1.74±0.35c
	Giza 1	8.27±0.09a	0.30±0.03i	3.6±0.39a

In each column, Means with similar letters are not significantly different based on Duncan's test at the 5% level.

بین ارقام مورد بررسی رقم Q 26 با ۰/۶۷ میلی گرم بر گرم وزن خشک، کمترین نسبت سدیم به پتاسیم را در برگ‌ها داشت (جدول ۲). (Hariadi *et al.*, (2011). گزارش کردند که برگ‌های جوان گیاه کینوا (ژنوتیپ ۵۲۰۶) در مقایسه با برگ‌های پیر، بالاترین غلظت پتاسیم و کمترین غلظت سدیم را داشت. (Cai and (2020) Gao, گزارش کردند که غلظت سدیم و پتاسیم برگ در شرایط تنش شوری افزایش ولی نسبت سدیم به پتاسیم کاهش پیدا کرد در پژوهش دیگری، Hatami *et al.*, (2022) گزارش کردند که در شرایط تنش شوری، غلظت سدیم در برگ افزایش ولی میزان پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم کاهش یافت. به نظر می‌رسد که انتقال نمک به برگ‌های پیر یک راهکار اساسی گیاه در هدایت نمک‌های وارد شده به برگ‌ها باشد تا از خسارت آن‌ها جلوگیری کند.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان داد که غلظت‌های بالای نمک سبب کاهش عملکرد مطلوب کینوا می‌گردد. نتایج نشان داد که ارقام مورد بررسی در این پژوهش از نظر صفات مرتبط با متحمل به شوری با یکدیگر متفاوت بودند و به نظر می‌رسد که منشأ ارقام در این امر دخیل بوده و شاید همین تفاوت‌ها میزان تحمل

غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار شوری و رقم بر محتوای سدیم برگ بود (جدول ۳). محتوای پتاسیم برگ نیز تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت (جدول ۳). همچنین نسبت سدیم به پتاسیم در برگ ارقام کینوا تحت شرایط تنش شوری قرار داشت (جدول ۳). با افزایش غلظت شوری، مقدار سدیم تجمع یافته در برگ‌ها نیز افزایش یافت به طوری که در شوری ۱۵ دسی‌زیمنس شوری، سدیم تجمع یافته در برگ ۰/۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک و در شوری ۳۰ دسی‌زیمنس ۱/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ بود (جدول ۲). از بین ارقام مورد بررسی، رقم Titicaca با ۰/۸۸ میلی‌گرم در گرم وزن خشک، بالاترین مقدار سدیم را دارا بود (جدول ۴). تا شوری ۱۵ دسی‌زیمنس شوری، تغییری در محتوای پتاسیم برگ‌ها مشاهده نگردید ولی غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس شوری سبب کاهش ۳۵/۴ درصدی پتاسیم برگ شد درحالی که محتوای پتاسیم برگ در بین ارقام مورد بررسی یکسان بود (جدول ۲). نسبت سدیم به پتاسیم با افزایش شوری افزایش یافت. نسبت سدیم به پتاسیم در غلظت ۱۵ دسی‌زیمنس برابر ۰/۸۱ و در غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس ۱/۷۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ بود (جدول ۲). از

آن‌ها به شوری مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان حداکثر بهره‌وری از این ارقام حاصل گردد.

سپاس‌گزاری

نگارندگان از همکاری مسئولین آزمایشگاه فیزیولوژی دانشکده کشاورزی و آزمایشگاه زیست-شناسی دانشکده علوم دانشگاه زنجان، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

به شوری بین ارقام را تعیین می‌نماید. با وجود تفاوت در غلظت عناصر پتاسیم، سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام‌های ساقه، ریشه و برگ، از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری در بین ارقام مورد بررسی مشاهده نشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده پیشنهاد می‌گردد که ارقام مهم و تجاری کینوا گزینش شده و سازوکارهای تحمل

References

- Adolf, V.I., Jacobsen, S.E., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, 43-54.
- Algozaibi, A.M., El-Garawany, M.M., Badran, A.E., & Almadini, A. M. (2015). Effect of irrigation water salinity on the growth of quinoa plant seedlings. *Journal of Agricultural Science*, 7(8), 205-214.
- Alizadeh, A. 2014. Soil, water and plant relationship. Sajad University of technology press. 876 p. [In Persian]
- Beyrami, H., Rahimian, M.H., Salehi, M., & Yazdani-Biouki, R. (2020). Effect of different levels of irrigation water salinity on quinoa (*Chenopodium quinoa*) yield and yield components in spring planting. *Journal of Crop Production*, 12(4), 111-120. [In Persian]
- Biondi, S., Ruiz Karina, B., Martinez Enrique, A., Zurita-Silva, A., Orsini, F., Antognoni, F., Dinelli G., Marotti, I., Gianquinto, G., Maldonado, S., Burrieza, H., Bazile, D., Adolf, V.I., & Jacobsen, S.E. (2015). Chapter book in: State of the art report on quinoa around the world in 2013. Bazile, D., Bertero, H. D., & Nieto, C. (Ed.), pp. 143-156.
- Cai, Z.Q., & Gao, Q. (2020). Comparative physiological and biochemical mechanisms of salt tolerance in five contrasting highland quinoa cultivars. *BMC plant biology*, 20(1), 1-15.
- Chutipaijit, S., Cha-um, S., & Sompornpailin, K. (2011). High contents of proline and anthocyanin increase protective response to salinity in *Oryza sativa* L. spp. indica. *Australian Journal of Crop Science*, 5(10), 1191-1198.
- Emami, A. (1996). Plant decomposition methods. Vol. 1. Technical leaflet No. 982. Soil and Water. Research Institute, Tehran, Iran. [In Persian]
- FAO. (2013). Nutritional value- International Year of Quinoa 2013. <http://www.fao.org/quinoa-2013/what-isquinoa/nutritional-value/en>.
- Fuentes, F., & Paredes-González, X.I.M.E.N.A. (2013). Nutraceutical perspectives of quinoa: biological properties and functional applications. FAO and CIRAD: state of the art report of quinoa in the world, pp. 286-299.
- González, J.A., Hinojosa, L., Mercado, M.I., Fernández-Turiel, J.L., Bazile, D., Ponessa, G.I., Eisa, S., González, D.A., Rejas, M., Hussin, S., & Ebrahim, M.E. (2021). A long journey of CICA-17 quinoa variety to salinity conditions in Egypt: Mineral concentration in the seeds. *Plants*, 10(2), 407-419.
- Hao, S., Wang, Y., Yan, Y., Liu, Y., Wang, J., & Chen, S. (2021). A review on plant responses to salt stress and their mechanisms of salt resistance. *Horticulturae*, 7(6), 132-161.

- 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.
- Hatami A. A., Aminian, R., Mafakheri, S., & Soleimani Aghdam, M. (2022). Effect of gamma amino butyric acid on morpho-physiological traits and seed yield of quinoa under salinity stress. *Plant Productions*, 44(4), 559-572. doi 10.22055/ppd.2021.35988.1960
- Jagła, M., Szulc, P., Ambroży-Deręgowska, K., Mejza, I., & Kobus-Cisowska, J. (2019). Yielding of two types of maize cultivars in relation to selected agrotechnical factors. *Plant, Soil and Environment*, 65(8), 416-423.
- Jamali, S., & Sharifan, H. (2018). Investigation the effect of different salinity levels on yield and yield components of quinoa (cv. Titicaca). *Journal of Soil and Water Conservation* 25(2): 251-266. [In Persian]
- Jaramillo Roman, V., van de Zedde, R., Peller, J., Visser, R.G., van der Linden, C.G., & van Loo, E.N. (2021). High-resolution analysis of growth and transpiration of quinoa under saline conditions. *Frontiers in plant science* 1-18.
- Khan, M. M., Al-Mas'oudi, R.S., Al-Said, F., & Khan, I. (2013). Salinity effects on growth, electrolyte leakage, chlorophyll content and lipid peroxidation in cucumber (*Cucumis sativus* L.). In *International Conference on Food and Agricultural Sciences Malaysia: IACSIT Press*, 55, 28-32.
- Kiani-Pouya, A., Rasouli, F., Bazihizina, N., Zhang, H., Hedrich, R., & Shabala, S. (2019). A large-scale screening of quinoa accessions reveals an important role of epidermal bladder cells and stomatal patterning in salinity tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 168, 1-10.
- Kromdijk, J., & Long, S.P. (2016). One crop breeding cycle from starvation? How engineering crop photosynthesis for rising CO₂ and temperature could be one important route to alleviation. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1826), 1-8.
- Lawlor, D.W., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, cell & environment*, 25(2), 275-294.
- Orsini, F., Accorsi, M., Gianquinto, G., Dinelli, G., Antognoni, F., Carrasco, K.B.R., Martinez E.A., Alnayef, M., Marotti, I., Bosi, S., & Biondi, S. (2011). Beyond the ionic and osmotic response to salinity in *Chenopodium quinoa*: functional elements of successful halophytism. *Functional Plant Biology*, 38(10), 818-831.
- Panuccio, M.R., Jacobsen, S.E., Akhtar, S.S., & Muscolo, A. (2014). Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. *AoB Plants*, 6, 1-18.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., & Prasad, S.M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental science and pollution research*, 22(6), 4056-4075.
- Roman, V.J., den Toom, L.A., Gamiz, C.C., van der Pijl, N., Visser, R.G., van Loo, E.N., & van der Linden, C.G. (2020). Differential responses to salt stress in ion dynamics, growth and seed yield of European quinoa varieties. *Environmental and Experimental Botany*, 177, 104-146.
- Roy, S.J., Negrão, S., Tester, M., 2014. Salt resistant crop plants. *Current opinion in Biotechnology* 26: 115-124.
- Saad-Allah, K.M., & Youssef, M.S. (2018). Phytochemical and genetic characterization of five quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes introduced to Egypt. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24, 617-629.

- Sanghera, G.S., Wani, S.H., Hussain, W., & Singh, N.B. (2011). Engineering cold stress tolerance in crop plants. *Current genomics*, 12(1), 30-43.
- Shabala, S., & Cuin T.A., (2008). Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiologia Plantarum*, 133, 651–669.
- Shabala, L., Mackay, A., Tian, Y., Jacobsen, S. E., Zhou, D., & Shabala, S. (2012). Oxidative stress protection and stomatal patterning as components of salinity tolerance mechanism in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Physiologia Plantarum*, 146(1), 26-38.
- Sharifan, H., Jamali, S., & Sajadi, F. (2018). Investigation the effect of different salinity levels on the morphological parameters of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) under different irrigation regimes. *Journal of Water and Soil Science*, 22 (2), 15-27. [In Persian]
- Shelden, M.C., Roessner, U., Sharp, R.E., Tester, M., & Bacic, A. (2013). Genetic variation in the root growth response of barley genotypes to salinity stress. *Functional Plant Biology*, 40(5), 516-530.
- Sogoni, A., Jimoh, M. O., Kambizi, L., & Laubscher, C.P., (2021). The impact of salt stress on plant growth, mineral composition, and antioxidant activity in *Tetragonia decumbens* mill.: An underutilized edible halophyte in South Africa. *Horticulturae*, 7(6), 1-13.
- Tapia, M. (2015). The Long Journey of Quinoa: Who wrote its history? In *State of the Art Report on Quinoa around the World 2013*; Bazile, D., Bertero, H.D., Nieto, C., Eds.; FAO: Santiago, Chile; CIRAD: Montpellier, France, 1, 1-7.
- Toderich, K.N., Mamadrahimov, A.A., Khaitov, B.B., Karimov, A.A., Soliev, A.A., Nanduri, K. R., & Shuyskaya, E.V. (2020). Differential Impact of Salinity Stress on Seeds Minerals, Storage Proteins, Fatty Acids, and Squalene Composition of New Quinoa Genotype, Grown in Hyper-Arid Desert Environments. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1-15
- Wani, S.H., & Sah, S.K. (2014). Biotechnology and abiotic stress tolerance in rice. *Journal of Rice Research*, 2(2), 100-105.