Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Evaluation the effect of salinity stress on the protein and micronutrient elements content of quinoa seeds

Masoumeh Salehi[1*], Farhad Dehghani[2]

[1] Associate Professor, National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran. Email: salehimasomeh@gmail.com

[2] Assistant Professor, National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran,Emai: dehghany47@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2023-4-27
Revised:
Accepted: 2023-10-20

Keywords:
Chenopodium quinoa Willd
Protein
Iron
Zinc

ABSTRACT

Introduction: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) belongs to the Amaranth family and is native to the Andes. In recent decades, the cultivation of this plant has extended. One of the reasons for paying attention to this plant is its ability to adapt to harsh climatic conditions. It has a higher protein content than wheat, barley, corn and rice. On the other hand, plant seeds supply all the essential amino acids (including lysine, methionine and cysteine) needed by humans. The aim of this experiment was to investigate the effect of salinity stress on the amount of micronutrients and protein percentage in quinoa seeds.

Material and Methods: An experiment was planted as a split plot in a randomized complete block design with three replications on August 7, 2017. Experimental treatments included three superior genotypes (Sadough, Titicaca and NSRCQB). Genotype in sub-plot and irrigation water salinity at 3 levels of 2, 10 and 17 dS/m were located in the main plot. Finally, grain yield, saponin content (foam height), grain size and amount of micronutrients in grain and grain protein percentage were measured after saponification.

Results: The effect of salinity stress on 1000-grain weight, grain yield, grain size (1.7-2, 1.4-1.7 mm), foam height, iron, zinc, calcium content and protein yield were significant. Sadough cultivar had the highest 1000-seed weight and grain yield. Sadough and Titicaca cultivar had the highest percentage of large seeds and small seeds, respectively. With increasing salinity, seed yield of Titicaca cultivar decreased by 13% per unit increasing irrigation water salinity, while in Sadough and NSRCQB genotypes, there was no significant difference with non-saline level. With increasing salinity, the lowest foam height was related to NSRCQB genotype. The interaction effect of salinity stress and genotype on grain yield, foam height, percentage of iron, zinc, calcium, protein and protein yield was significant. With increasing salinity, iron content in Titicaca cultivar, zinc content in all three genotypes, nitrogen in Sadough and NSRCQB, calcium in Titicaca, protein percentage in Sadough and NSRCQB increased significantly compared to non-saline conditions. With increasing salinity, the highest increase slope among micronutrients was related to grain. The increase in salinity stress at the salinity level of 10 and 17 dS/m compared to non-saline conditions caused an increase of 11 and 26% of grain iron, 56 and 94% of zinc and 13 and 20% of grain protein content. Protein yield in Sadough and NSRCQB cultivars was not affected by salinity increase, while in Titicaca cultivar decreased by 13% per unit of irrigation water salinity.

Conclusion: With increasing salinity up to 10 dS/m, the seed yield of three quinoa genotypes was not affected and this plant is recommended for exploitation of saline water resources. Sadough cultivar was the best among the three genotypes. The percentage of micronutrients iron, calcium, zinc and grain protein increased under saline conditions and despite the decrease in grain yield, the protein yield per square meter was not affected. The rate of increase in micronutrients and decrease in yield with increasing salinity of irrigation water is affected by genotype. Since the quantity and quality of quinoa seed production (unlike glycophyte plants such as wheat) is not affected by irrigation water salinity, it can be a promising plant in improving food security in marginal areas.

Cite this article: Salehi, M., 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.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2024.20228.2509
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۷۳۹x-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۳-۲۰۰۸

بررسی اثر تنش شوری بر میزان عناصر ریز مغذی و پروتئین دانه کینوا

معصومه صالحی[1*]، فرهاد دهقانی[2]

[1] دانشیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران، رایانامه: salehimasomeh@gmail.com
[2] استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران، رایانامه: dehghany47@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۷
تاریخ ویرایش:
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۲۸

واژه‌های کلیدی:
آهن
پروتئین
روی
کینوا

چکیده

مقدمه: کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) متعلق به خانواده آمارانتاسه و بومی منطقه آند می‌باشد. در دهه‌های گذشته کشت این گیاه در بسیاری از مناطق گسترده شده است. یکی از دلایل توجه به این گیاه توانمندی سازگاری به شرایط سخت اقلیمی می‌باشد. علاوه بر این دارای میزان پروتئین بالاتری نسبت به گندم، جو، ذرت و برنج است. از طرفی دانه گیاه تامین کننده کل اسیدهای آمینه ضروری (شامل لیزین، میتونین و سیستئین) مورد نیاز انسان است. هدف این آزمایش بررسی اثر تنش شوری بر میزان ریز مغذی‌ها و درصد پروتئین در دانه تولیدی کینوا است.

مواد و روش: آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در تاریخ ۱۶ مرداد ۱۳۹۶ کشت شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۳ ژنوتیپ برتر (صدوق، تیتیکاکا و NSRCQB) بود. ژنوتیپ در کرت فرعی و شوری آب آبیاری در ۳ سطح ۲، ۱۰ و ۱۷ دسی‌زیمنس بر متر در کرت اصلی قرار گرفت. در نهایت عملکرد دانه، میزان ساپونین، سایز بندی دانه و میزان عناصر ریز مغذی موجود در دانه و درصد پروتئین دانه بعد از ساپونین گیری اندازه‌گیری شد.

نتایج: تاثیر تنش شوری بر وزن هزار دانه، عملکرد دانه، سایز دانه ۲-۱/۷، ۱/۷-۱/۴ میلی‌متر، ارتفاع کف، میزان آهن، روی، کلسیم و عملکرد پروتئین معنی‌دار بود. رقم صدوق بیشترین وزن هزار دانه و عملکرد دانه را داشت. رقم صدوق بیشترین درصد بذور درشت و تیتیکاکا بیشترین درصد بذور ریز را داشت. با افزایش شوری عملکرد رقم تیتیکاکا به ازای هر واحد شوری ۱۳ درصد کاهش یافت در حالی که در ژنوتیپ صدوق و NSRCQB اختلاف معنی‌داری با سطح غیر شور نداشت. با افزایش شوری کمترین ارتفاع کف مربوط به ژنوتیپ NSRCQB بود. اثر متقابل تنش شوری و ژنوتیپ بر عملکرد دانه، ارتفاع کف، درصد آهن، روی، کلسیم، پروتئین و عملکرد پروتئین معنی‌دار بود. با افزایش شوری میزان آهن در رقم تیتیکاکا، میزان روی در هر سه ژنوتیپ، نیتروژن در صدوق و NSRCQB، کلسیم در تیتیکاکا، درصد پروتئین در صدوق و NSRCQB افزایش معنی‌دار نسبت به شرایط غیر شور داشت. افزایش تنش شوری در سطح

شوری dS/m ۱۰ و ۱۷ نسبت به شرایط غیرشور موجب افزایش ۱۱ و ۲۶ درصد آهن دانه و ۵۶ و ۹۴ درصد روی و ۱۳ و ۲۰ درصد پروتئین دانه گردید. با افزایش میزان شوری بیشترین شیب افزایش در بین عناصر ریز مغذی مربوط به میزان روی دانه بود. عملکرد پروتئین در رقم صدوق و NSRCQB با افزایش شوری تحت تاثیر قرار نگرفت در حالی در رقم تیتیکاکا ۱۳ درصد به ازای هر واحد افزایش شوری آب آبیاری کاهش یافت.

نتیجه‌گیری کلی: با افزایش شوری تا dS/m ۱۰ عملکرد ژنوتیپ‌های بررسی شده کینوا تحت تاثیر قرار نگرفت و این گیاه به منظور بهره‌برداری از منابع آب شور توصیه می‌گردد و در بین سه ژنوتیپ مورد بررسی رقم صدوق برتر بود. درصد عناصر ریز مغذی آهن، کلسیم، روی و پروتئین دانه در شرایط شور افزایش یافت و علی رغم کاهش عملکرد دانه میزان عملکرد پروتئین در متر مربع تحت تاثیر قرار نگرفت. میزان افزایش عناصر ریز مغذی و کاهش میزان عملکرد با افزایش شوری آب آبیاری تحت تاثیر ژنوتیپ می‌باشد. از آنجایی که کمیت و کیفیت دانه تولیدی کینوا (برخلاف گیاهان گلیکوفیت مانند گندم) تحت تاثیر شوری آب آبیاری قرار نمی‌گیرد، می‌تواند گیاه امید بخش در بهبود امنیت غذایی مناطق حاشیه‌ای باشد.

استناد: صالحی، م.، دهقانی، ف. (۱۴۰۲). بررسی اثر تنش شوری بر میزان عناصر ریز مغذی و پروتئین دانه کینوا. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۶ (۳)، ۱۶-۱.

DOI: 10.22069/ejcp.2024.20228.2509

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) متعلق به خانواده آمارانتاسه و بومی منطقه آند می‌باشد (۱). زیستگاه طبیعی گیاه از مناطق شمالی کلمبیا تا جنوب شیلی می‌باشد و قابلیت کشت از سطح دریا تا ارتفاع ٤۰۰۰ متری را دارد (۲). در دهه‌های گذشته کشت این گیاه در بسیاری از مناطق گسترده شده است گرچه هنوز مهمترین تولید کننده آن پرو و بولیوی می‌باشد (۳). یکی از دلایل توجه به این گیاه توانمندی سازگاری به شرایط سخت اقلیمی بوده و قادر است شوری، خشکی، دمای پایین و بخبندان در برخی مراحل رشدی را تحمل کند (٤). به این دلایل این گیاه برای کشت در مناطق حاشیه‌ای بسیار ایده‌آل می‌باشد (۵). از طرفی، این گیاه فراسودمند بوده و دارای میزان پروتئین بالاتری نسبت به گندم، جو، ذرت و برنج می‌باشد. از طرفی، دانه این گیاه تامین کننده کل اسیدهای آمینه ضروری (شامل لیزین، میتونین و سیستئین) مورد نیاز انسان است. علاوه بر این تعادل اسیدهای آمینه آن در دانه کینوا نزدیک به میزان اسیدهای آمینه ضروری توصیه شده توسط FAO می‌باشد (٦). میزان بالای ویتامین‌ها (A، B و E) و پلی فنل‌ها مانند فلاونوئیدها و میزان بالای آنتی اکسیدانت‌ها که مانع سرطان، بیماری قلبی و عروقی می‌شود (۷). از طرف دیگر دانه کینوا بدون گلوتن است و همین عامل موجب می‌شود غذای مناسبی برای افراد سلیاکی باشد (۸). دانه کینوا دارای مواد ضد تغذیه‌ای مانند ساپونین نیز می‌باشد که قبل از مصرف باید حذف شود. به دلیل ارزش غذایی بالای کینوا و قابلیت رشد در مناطق مختلف اقلیمی موجب شده است که فائو به عنوان یک گیاه مهم در بهبود امنیت غذایی دنیا معرفی کند و به عنوان یک گیاه جایگزین در بسیاری از مناطق دنیا مورد توجه قرار گیرد (۹). به منظور بهبود سازگاری کینوا به اقلیم‌های مختلف برنامه اصلاحی با اهداف کاهش حساسیت به فتوپریود، ساپونین کمتر، تحمل به بیماری سفیدک، اندازه دانه و عملکرد دانه بالاتر در برنامه قرار گرفته است در حالی که به بهبود ارزش غذایی گیاه توجه کمتری شده است (۲). ارزش غذایی کینوا اثر متقابل ژنوتیپ و محیط است (۱۰).

افزایش میزان تنش شوری تا dS/m ۲۵ موجب افزایش تجمع سدیم و کلر به میزان ٤۳ و ۵۰ درصد و میزان منیزیم به میزان ۸ درصد افزایش یافت ولی میزان تجمع کلسیم تحت تاثیر قرار نگرفت (۱۱). از آنجایی که اثرات متقابل شرایط اقلیمی، خاکی، آب و ترکیب نمک‌ها بسیار پیچیده است، نیاز است این نتایج در شرایط مزرعه نیز بررسی شود. در حال حاضر اطلاعات در مورد اثر تنش شوری بر کیفیت و تجمع یون‌های دانه کینوا در شرایط مزرعه محدود است. هدف این آزمایش بررسی اثر تنش شوری بر میزان ریز مغذی‌های و درصد پروتئین دانه تولیدی کینوا است.

مواد و روش‌ها

آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در تاریخ ١٦ مرداد ١٣٩٦ در مزرعه تحقیقات شوری صدوق مرکز ملی تحقیقات شوری یزد کشت شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۳ ژنوتیپ برتر (صدوق، تیتیکاکا و NSRCQB) بود. ژنوتیپ در کرت فرعی و شوری آب آبیاری در ۳ سطح ۲، ۱۰ و ۱۷دسی زیمنس بر متر در کرت اصلی قرار گرفت. در ابتدای کاشت به میزان ۱۰۰ کیلو در هکتار از هر منبع کود پتاسیم و فسفر ازمنبع کود سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم داده شد و کوددهی سرک از منبع اوره در مرحله غنچه‌دهی و گرده افشانی به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار اعمال گردید.

هر ژنوتیپ در ٤ خط ۵ متری با فاصله خطوط کشت ۳۰ سانتی‌متر و یک خط نکاشت بین ژنوتیپ‌ها و با فاصله ۳-۵ سانتی‌متر روی خط کشت شد. فاصله کرت‌های اصلی از هم ۲ متر بود. در طول فصل رشد کلیه مراقبت‌های زراعی شامل آبیاری، تغذیه و مبارزه با علف‌های هرز انجام شد. ایستگاه تحقیقات شوری صدوق دارای دو منبع آب است که هر منبع آب دارای یک حوضچه بوده که قابلیت اختلاط آب شیرین و شوری را فراهم می‌کند (جدول ۱). خاک محل آزمایش بافت لومی شنی با ۰/۰۵ درصد کربن آلی (OC) و ۱۲ پی پی ام فسفر و ۲۵۰ پی‌پی‌ام پتاسیم بود. شوری عصاره اشباع خاک نیز در طول آزمایش اندازه گیری گردید و متوسط شوری عصاره اشباع خاک در طول آزمایش برای شوری ۲، ۱۰ و ۱۷ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری به‌ترتیب ۳/٦۳، ۱۳/٤۰ و ۱۷/۸۱ دسی‌زیمنس‌برمتر بود.

جدول ۱- کیفیت آب آبیاری مورد استفاده

Table 1. Irrigation water Quality

EC (dS/m) هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	pH اسیدیته	SAR نسبت جذب‌سدیم	Na سدیم	Ca کلسیم	Mg منیزیم	CO_3^{-2} کربنات	HCO_3^- بیکربنات	Cl^- کلر	SO_4^{-2} سولفات
			Meq L^{-1} میلی اکی والان بر لیتر						
2	7.3	2.85	15.06	1.70	3.89	0.00	0.36	18.03	1.39
10	7.3	14.27	75.30	8.50	19.44	0.00	1.82	90.17	6.93
17	7.43	24.26	128.01	14.45	33.05	0.00	3.10	153.28	11.77

به منظور تعیین عملکرد در نهایت سه متر وسط کرت در اواخر آبان برداشت و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. بذور با دستگاه الک و شیکر مدل Retsch با سایز طبقات ۲، ۱/۷ و ۱/٤ میلی‌متر درجه بندی شد و از طبقه ۱/۷ میلی‌متر نیم گرم برای اندازه‌گیری ساپونین جدا گردید. جهت اندازه‌گیری میزان ساپونین از روش کوزیل (۱۲) استفاده شد و میزان ساپونین بر اساس ارتفاع کف بر حسب سانتی‌متر گزارش گردید. وزن هزار دانه نیز بر حسب گرم با دستگاه بذر شمار PFEUFFER مدل Condator شمارش گردید.

برای تعیین کیفیت بذور تولیدی ژنوتیپ‌های کینوا شامل صفات درصد عناصر آهن، منیزیم، کلسیم، روی و پروتئین، بذور بعد از ساپونین گیری خشک و آسیاب شدند. دو گرم نمونه آسیاب شده در بوته چینی ریخته شد و در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت قرار گرفت و با ۱۰ سی سی اسید کلریدریک ۲ نرمال عصاره گیری شد. بر روی هیتر قرار داده می‌شود تا بخارات اسید دیده شود. میزان روی، آهن، منیزیم و کلسیم عصاره حاصل شده با استفاده از دستگاه اتمیک مدل AA-400 Analysis قرائت شد. جهت تعیین میزان پروتئین ۰/۳ گرم نمونه آسیاب شده به روش هضم تر آماده شده و با استفاده از دستگاه کجلدال درصد نیتروژن تعیین می‌شود. سپس درصد نیتروژن در عدد ٦/۲۵ ضرب شده و درصد پروتئین محاسبه شد (۱۳).

ضرایب معادلات با استفاده از نرم‌افزار SAS با استفاده از رویه NLIN و REG برآورد شد. بررسی اثرات متقابل در تجزیه پساواریانس با استفاده از روش برش‌دهی فیزیکی و با روش رگرسیون تعیین شد. مقایسه میانگین با استفاده از روش LSD با برنامه SAS ver9 انجام شد.

نتایج و بحث

تاثیر تنش شوری بر وزن هزار دانه، عملکرد دانه و ارتفاع کف و تاثیر ژنوتیپ بر وزن هزار دانه، سایز

دانه ۲-۱/۷ میلی‌متری، سایز دانه ۱/۷-۱/٤ میلی‌متری، عملکرد دانه و ارتفاع کف درسطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر متقابل شوری و ژنوتیپ بر عملکرد دانه و ارتفاع کف به ترتیب در سطح ۵ و یک درصد معنی‌دار بود. کمترین وزن هزار دانه بین ژنوتیپ‌ها مربوط به ژنوتیپ NSRCQB بود و بیشترین میزان مربوط به رقم صدوق بود. وزن هزار دانه با افزایش شوری ۰/٤ گرم کاهش یافت و اختلاف بین سطوح شوری معنی‌دار بود. رقم صدوق بیشترین درصد بذور در طبقه درشت را داشت و بیشترین میزان بذور ریز در تیتیکاکا مشاهده شد (جدول ۳). تا سطح شوری ۱۰ dS/m عملکرد دانه کاهش معنی‌دار نداشت. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در رقم صدوق و تیتیکاکا مشاهده شد. با افزایش شوری ارتفاع کف افزایش معنی‌دار داشت و در سطح شوری ۱۷ dS/m اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی کمترین ارتفاع کف مربوط به ژنوتیپ NSRCQB بود.

تاثیر تنش شوری بر درصد آهن و روی به‌ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌داری بود (جدول ۲). اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر درصد آهن، روی و کلسیم در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل ژنوتیپ و شوری بر درصد آهن، روی و کلسیم در سطح ۱ درصد و بر درصد پروتئین در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. میزان منیزیم و کلسیم با افزایش تنش شوری بدون تغییر بود. ملکی و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که تاثیر تنش شوری بر درصد کلسیم بدون تغییر و موجب افزایش ۸ درصد منیزیم دانه شد (۱۱).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش تنش شوری تا ۱۰ dS/m و ۱۷ موجب افزایش ۱۱ و ۲٦ درصد آهن دانه و ٥٦ و ۹٤ درصد روی و ۱۳ و ۲۰ درصد پروتئین دانه گردید (جدول ۳). افزایش تنش شوری تا ۱۰ dS/m و ۱۷ در رقم صدوق، ۸ و ۱۷ درصد و در NSRCQB بدون تغییر و در رقم تیتیکاکا، ۲۱ و ٦٤ درصد آهن دانه را افزایش داد (شکل ۱). با افزایش میزان شوری شیب خط افزایش تجمع آهن در دانه کینوا رقم تیتیکاکا تفاوت معنی‌داری را با صفر داشت در حالی که در رقم صدوق و NSRCQB اختلاف معنی‌دار نداشتند (شکل ۱). درصد افزایش روی دانه نیز بین ژنوتیپ‌ها متفاوت بود، افزایش تنش شوری تا ۱۰ dS/m و ۱۷ در رقم صدوق، ۲۷ و ٤۷ درصد، در ژنوتیپ NSRCQB، ۲٤ و ۲۲ درصد و در رقم تیتیکاکا، ۱۱٦ و ۲۱۷ درصد افزایش داشت (شکل ۲). میزان تجمع روی در سه ژنوتیپ اختلاف معنی‌داری با صفر داشت یعنی با افزایش میزان شوری میزان تجمع روی به‌طور معنی‌داری در هر سه ژنوتیپ افزایش یافت و اختلاف بین سه ژنوتیپ نیز معنی‌دار بود (جدول ۳).

در گندم با افزایش شوری میزان تجمع عناصر ریز مغذی مانند پتاسیم، کلسیم، فسفر، آهن، منیزیم و روی با افزایش تنش شوری کاهش یافت (۱٤). دلیل کاهش جذب عناصر در گیاهان را رقابت سدیم برای جایگزینی با پتاسیم و کلسیم دانسته‌اند و همچنین کاهش توانایی ریشه برای جذب آب همراه با کاهش جذب عناصر در گندم می‌گردد (۱۵). کاهش کیفیت دانه تولیدی در سطح شوری پایین‌تری از کاهش عملکرد در گندم اتفاق می‌افتد (۱٦). گیاهان گلیکوفیت قادر نیستند از تجمع سدیم و کلر در اندام‌های فتوسنتزی فرار کنند و نیاز است در برنامه‌های اصلاحی برای افزایش تحمل به تنش شوری گندم مدنظر قرار گیرد (۱۵). افزایش میزان تجمع نیتروژن در ژنوتیپ صدوق و NSRCQB معنی‌دار در حالی که در رقم تیتیکاکا معنی‌دار نبود. افزایش میزان کلسیم با افزایش شوری در رقم تیتیکاکا معنی‌دار بود ولی تاثیر معنی‌داری در دو ژنوتیپ دیگر نداشت (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده دانه کینوا

Table 2. Analysis of variance of measured traits of quinoa seed

منابع تغییر		درجه آزادی	وزن هزار دانه	بیشتر از ۲ میلی‌متر	بین ۲-۱/۷ میلی‌متر	بین ۱/۷- ۱/٤ میلی‌متر	کمتر از ۱/٤ میلی‌متر	عملکرد دانه	ارتفاع کف	آهن	روی	کلسیم	منیزیم	پروتئین	عملکرد پروتئین
S.O.V		df	Thousand Kernel weight	More than 2 mm	Between 1.7-2 mm	Between 1.4-1.7 mm	Less than 1.4 mm	Seed yield	Foam height	Fe	Zn	Ca	Mg	Protein	Protein yield
تکرار	Replication	2	0.004^{ns}	0.010^{ns}	8.44^{ns}	0.39^{ns}	0.33^{ns}	2048^{ns}	0.274^{ns}	45.00^{ns}	21.83ns	0.0008ns	0.0018^{ns}	1.505^{ns}	1.73^{ns}
شوری	Salinity	2	0.414**	0.0058^{ns}	71.67^{ns}	31.45^{ns}	0.49^{ns}	16180**	4.69*	546.74*	752.73**	0.00019^{ns}	0.0056^{ns}	15.70^{ns}	24.84^{ns}
خطا ۱	Error 1	4	0.007	0.244	1362.38	959.54	2.55	1063^{ns}	0.41	69.40	4.40	0.000092	0.0018	3.509	112.12
ژنوتیپ	Genotype	2	1.040**	0.298^{ns}	746.57**	694.97**	0.41^{ns}	32475**	8.3**	168.24**	875.87**	0.00047**	0.0075^{ns}	4.83^{ns}	396.8*
ژنوتیپ ×شوری	Genotype× Salinity	4	0.042^{ns}	0.150^{ns}	111.36^{ns}	157.45^{ns}	0.30^{ns}	8122*	2.9**	261.95**	309.09**	0.00059**	0.0075^{ns}	8.00*	579.0**
خطا ۲	Error 2	12	0.018	0.074	65.2	82.35	0.28	2267	0.43	25.70	21.39	0.000088	0.002	2.38	74.1
CV			5	19	15	22	23	12	13	7.39	15.9	17.9	17.49	10.69	15.5

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده صفات اندازه‌گیری شده دانه تولیدی کینوا در سطوح مختلف شوری

Table 3. Mean comparison of main effect of measured traits of quinoa under saline condition

شوری آب آبیاری (dS/m)	وزن هزار دانه	بیشتر از ۲ میلی‌متر	بین ۲-۱/۷ میلی‌متر	بین ۱/۷- ۱/٤ میلی‌متر	کمتر از ۱/٤ میلی‌متر	عملکرد دانه	ارتفاع کف	آهن	روی	کلسیم	منیزیم	پروتئین	عملکرد پروتئین
	---گرم---	----------درصد----------				گرم در مترمربع	سانتی‌متر	------ ppm----		----------درصد----------			(گرم درمترمربع)
Irrigation water salinity (dS/m)	Thousand Kernel weight	More than 2 mm	Between 2-1.7 mm	Between 1.4-1.7 mm	Less than 1.4 mm	Seed yield	Foam height	Fe	Zn	Ca	Mg	Protein	Protein yield
	---g-----	----------%----------				g m^{-2}	cm	----- ppm-----		----------%----------			(g m^{-2})
2	2.57a	2.02a	54.7a	39.4a	4.5a	427.9a	4.11b	61.17b	19.41c	0.048a	0.33a	12.99b	55.47a
10	2.27b	1.95a	49.6a	42.3a	6.9a	386.4a	4.8ab	67.7ab	30.21b	0.051a	0.28a	14.74ab	56.83a
17	2.15c	1.95a	54.1a	38.8a	5.6a	343.1b	5.5a	76.97a	37.6a	0.057a	0.28a	15.57a	53.57a
ژنوتیپ Genotype													
Sadogh	2.57a	2.40a	59.08a	34.02b	5.56a	446.79a	5.38a	70.84a	21.87b	0.045b	0.027b	14.06a	62.70a
NSRCQB	1.94b	2.12ab	57.06a	36.27b	5.10a	384.00b	3.73b	63.63b	25.02b	0.06a	0.33a	13.96a	53.37b
Titicaca	2.48a	1.41b	42.40b	50.24a	6.53a	326.69c	5.41a	71.36a	40.32a	0.052ab	0.30ab	15.25a	49.85b

میزان افزایش پروتئین با شوری با افزایش شوری در ژنوتیپ صدوق و NSRCQB در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود در حالی که در رقم تیتیکاکا معنی‌دار نبود (جدول ۳). عملکرد پروتئین با افزایش شوری در رقم تیتیکاکا کاهش معنی‌دار در حالی که در ژنوتیپ صدوق و NSRCQB اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). درصد افزایش پروتئین با افزایش تنش شوری تا dS/m ۱۰ و ۱۷ در رقم صدوق، به ترتیب ۱۰ و ۲۶ درصد، در ژنوتیپ NSRCQB، ٤٤ و ٤٣ درصد و در رقم تیتیکاکا بدون تغییر بود (شکل ٤). اختلاف بین ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل شوری و ژنوتیپ بر عملکرد پروتئین دانه معنی‌دار بود. افزایش پروتئین دانه موجب شد علی رغم کاهش عملکرد دانه میزان پروتئین تولیدی در متر مربع افزایش یابد (شکل ۵). بیشترین میزان پروتئین دانه در رقم صدوق مشاهده شد (جدول ۳). کینوا یک گیاه شورزیست اختیاری است و راهکارهای متنوعی برای مدیریت نمک دارد (۱۷). یکی از راهکارهای مدیریت نمک جلوگیری از جذب سدیم و تبعیض برای جذب سدیم نسبت به پتاسیم است (۱۸, ۱۹). راهکار دیگر این گیاه کیسه‌های نمکی سطح برگ است و افزایش تراکم این کیسه‌ها همبستگی مثبتی با تحمل به تنش شوری در کینوا داشت (۲۰). در گندم (گیاه گلیکوفیت) با افزایش شوری تجمع عناصر ضروری کاهش می‌یابد در حالی که در کینوا (گیاه شورزیست اختیاری) برعکس است. یکی از دلایل آن کمبود توانایی گیاهان برای جذب آب و رقابت بین عناصر برای جذب ذکر شده است (۱۵) در حالی که کینوا قادر است با تبعیض پتاسیم به سدیم و حفظ پتانسیل اسمزی، توانایی جذب آب بیشتری از گلیکوفیت‌ها در شرایط شور داشته باشد (۱۸).

در رژیم غذایی اروپایی‌ها ۵ درصد آهن و منیزیم، ۳۰ درصد مس و منیزیم و ۲۰ درصد روی و فسفر از غلات تامین می‌شود (۲۱). کینوا غنی از عناصر آهن، مس و منیزیم است و می‌تواند نیاز روزانه بشر به این عناصر را تامین کند. پتاسیم، فسفر و منیزیم موجود در جنین کینوا قرار دارد و در تشکیل فیتیک اسید نقش دارد (۲۲). کلسیم بیشتر در پریکارپ است و در تولید پکتین و افزایش ضخامت پوسته بذر نقش دارد. در نتیجه پوست‌گیری کینوا موجب کاهش کلسیم می‌شود (۲۲). گزارشات متعددی در شرایط گلخانه‌ای از بهبود اثر تنش شوری بر کیفیت دانه تولیدی کینوا وجود دارد (۱۱, ٢٤, ٢٥). کاریوتیس و همکاران (۲۰۰۳) تاثیر تنش شوری (٦/٥ dS/m) بر درصد پروتئین ۷ ژنوتیپ کینوا را بررسی کردند و گزارش کردند که تنش شوری موجب می‌شود درصد پروتئین ۳۳-۱۳ درصد افزایش یابد (٢٦). پولونتو و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که تنش شوری (۱:۱ آب دریا) موجب افزایش میزان ساپونین و فیبر کینوا می‌شود(۲۷). کویرو و ایسا (۲۰۰۸) افزایش معنی‌دار در درصد پروتئین دانه تحت تنش شوری ۵۰۰ میلی‌مولار مشاهده کردند (۲۵). تنش شوری با سولفات سدیم (۳۲ dS/m) موجب افزایش معنی‌دار پروتئین دانه در کینوا شد (۱۳). تاثیر تنش شوری بر عملکرد دانه تا سطح شوری ۱۷ dS/m آب آبیاری بر عملکرد دانه رقم تیتیکاکا معنی‌دار بود و بر دو ژنوتیپ NSRCQB و صدوق معنی‌دار نبود (جدول ۳). با افزایش شوری عملکرد دانه رقم تیتیکاکا به ازای هر واحد شوری ۱۳ درصد کاهش یافت در حالی که در ژنوتیپ صدوق و NSRCQB اختلاف معنی‌داری با سطح غیر شور نداشت. کاهش عملکرد دانه در سطح شوری dS/m ۱۷ نسبت به شرایط غیر شور، ۵۲ درصد بود (شکل ٦). ارتفاع کف با افزایش شوری در ژنوتیپ NSRCQB افزایش معنی‌دار داشت (جدول ٤). در دو رقم تیتیکاکا و صدوق اختلاف معنی‌داری با سطح غیر شور مشاهده نشد (جدول ۳). در سطح شوری dS/m ۱۷ ارتفاع کف ٦٥ درصد افزایش یافت (شکل ۷).

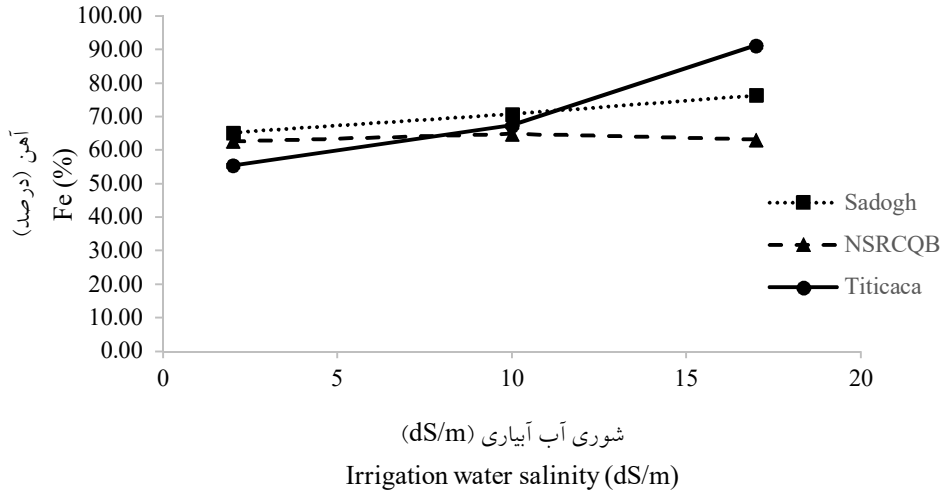
جدول ٤- مقایسه خطوط حاصل از برازش خط راست به داده‌های میزان یون‌های سه ژنوتیپ‌های کینوا تحت تنش شوری

Table 4. Comparison among lines of linear fitted on data of ions rate of three genotypes of quinoa under saline condition.

		آهن ------- Fe		روی ------- Zn		نیتروژن ------- N		کلسیم ------- Ca		پروتئین ----- Protien		عملکرد پروتئین Protein Yield		عملکرد دانه Seed Yield		ارتفاع کف Foam height	
		عرض از مبدا Intercept	شیب slope	عرض از مبدا Intercept	شیب slope	عرض از مبدا Intercept	شیب slope	عرض از مبدا Intercept	شیب slope	عرض از مبدا Intercept	شیب slope	عرض از مبدا Intercept	شیب slope	عرض از مبدا Intercept	شیب slope	عرض از مبدا Intercept	شیب slope
ژنوتیپ Genotype	Sadogh	63.60^{**}	0.74^{ns}	16.55^{**}	0.55^{**}	1.91^{**}	0.04^{*}	0.04^{**}	0.0002^{ns}	11.93^{**}	0.22^{*}	57.04^{**}	0.59^{ns}	474.08^{**}	-2.8^{ns}	5.25^{**}	0.01^{ns}
	NSRCQB	63.24^{**}	0.04^{ns}	21.85^{**}	0.33^{**}	1.74^{**}	0.05^{*}	0.07^{**}	-0.0006^{ns}	10.86^{**}	0.32^{*}	42.19^{**}	1.16^{ns}	393.88^{**}	-1.0^{ns}	1.35^{*}	0.24^{**}
	Titicaca	48.53^{**}	2.36^{**}	13.58^{**}	2.77^{**}	2.48^{**}	0.00^{ns}	0.03^{*}	0.0022^{**}	15.48^{**}	-0.02^{ns}	70.16^{**}	-2.1^{**}	453.13^{**}	-13.1^{**}	5.12^{**}	0.029^{ns}
R^2	Sadogh	38^{ns}		76^{**}		63^{*}		1.2^{ns}		63^{*}		20^{ns}		27^{ns}		6.3^{ns}	
	NSRCQB	1.08^{ns}		68^{**}		49^{*}		16^{ns}		49^{*}		35^{ns}		2.2^{ns}		77^{**}	
	Titicaca	81^{**}		90^{**}		1.06^{ns}		58^{*}		1.1^{ns}		80^{**}		77^{**}		26^{ns}	
اختلاف بین ژنوتیپ‌ها	Difference among lines	*	**	**	**	ns	*	*	**	ns	*	*	**	*	**	**	**

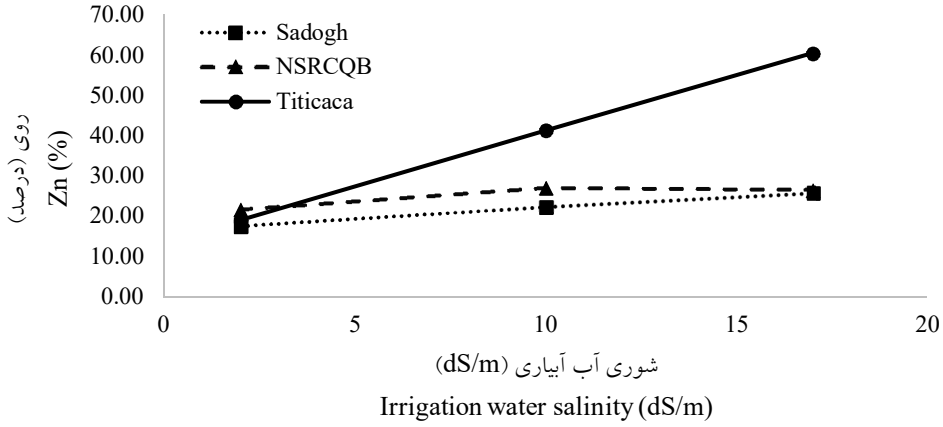
*معنی‌دار در سطح ۵ درصد، **معنی‌دار در سطح ۱ درصد، **ns** معنی‌دار نیست.

*Significant at 5%, ** at 1%, ns non significant



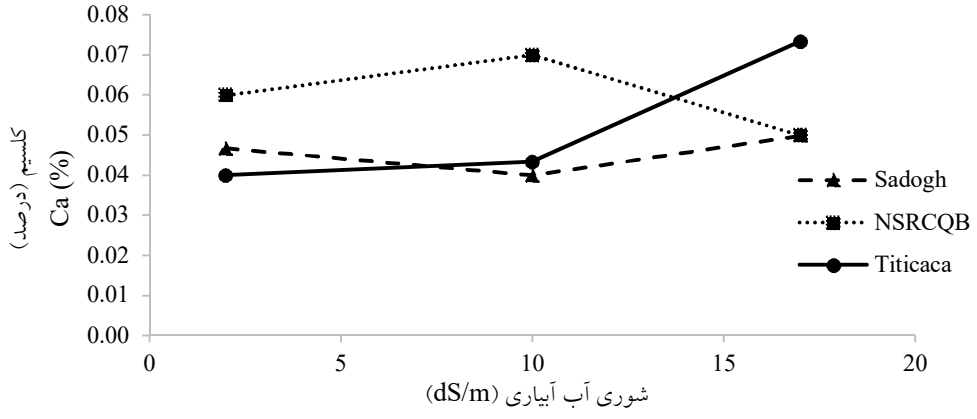
شکل ۱- اثر متقابل شوری آب آبیاری و سه ژنوتیپ (صدوق،تیتیکاکا و NSRCQB) بر میزان آهن (ppm)

Figure 1. Interaction effect of irrigation water salinity and genotypes of Fe (ppm) content



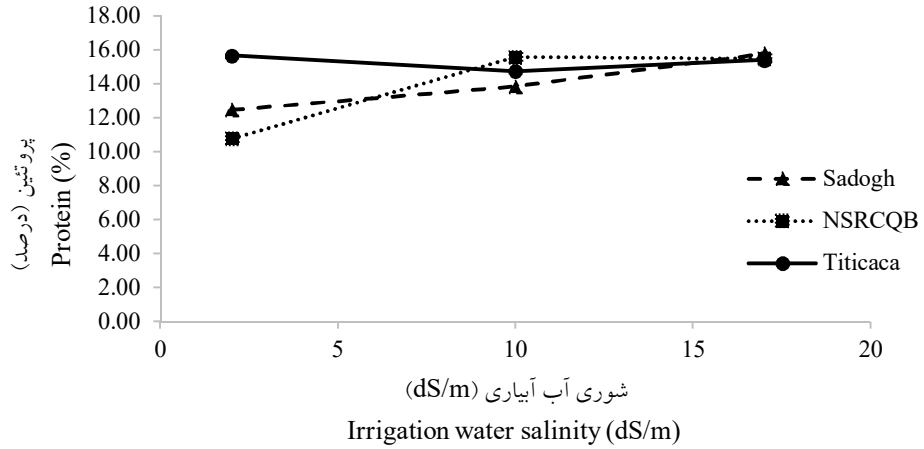
شکل ۲- اثر متقابل شوری آب آبیاری و سه ژنوتیپ (صدوق،تیتیکاکا و NSRCQB) بر میزان روی (ppm)

Figure 2. Interaction effect of irrigation water salinity and genotypes on Zn (ppm) content



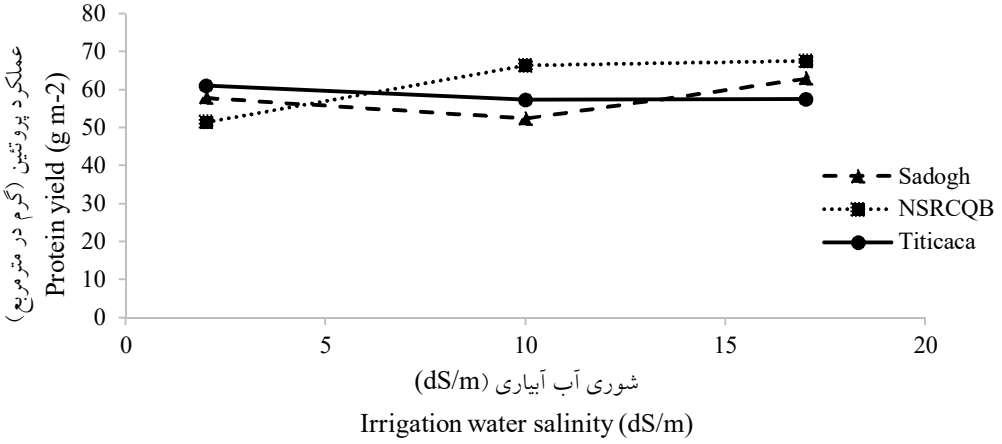
شکل ۳- اثر متقابل شوری آب آبیاری و سه ژنوتیپ (صدوق،تیتیکاکا و NSRCQB) بر درصد کلسیم

Figure 3. Interaction effect of irrigation water salinity and genotypes on Ca percent



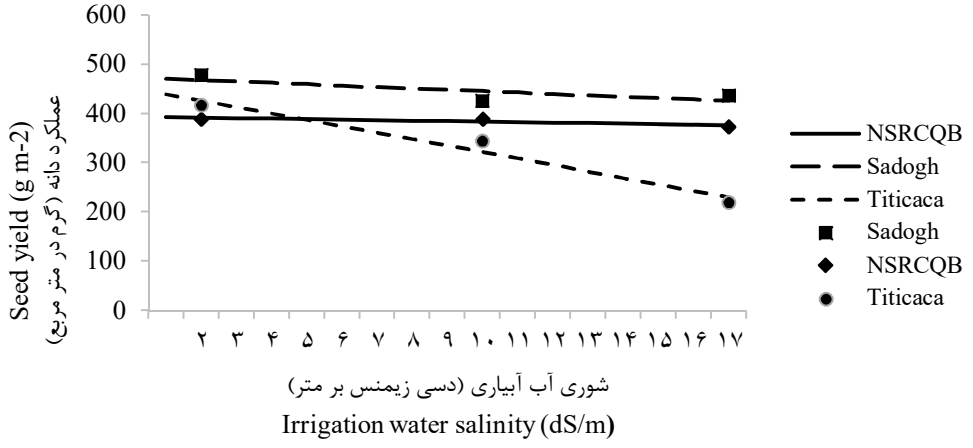
شکل ٤- اثر متقابل شوری آب آبیاری و سه ژنوتیپ (صدوق،تیتیکاکا و NSRCQB) بر درصد پروتئین

Figure 4. Interaction effect of irrigation water salinity and genotypes on Protein percent



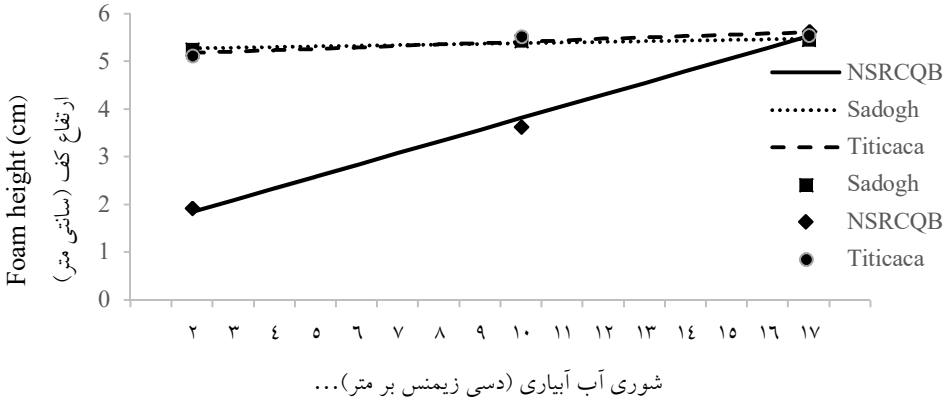
شکل ٥- اثر متقابل شوری آب آبیاری و سه ژنوتیپ (صدوق، تیتیکاکا و NSRCQB) بر عملکرد پروتئین (گرم در متر مربع)

Figure 5. Interaction effect of irrigation water salinity and genotypes on Protein yield (g m^{-2})



شکل ٦- اثر متقابل شوری آب آبیاری و سه ژنوتیپ (صدوق، تیتیکاکا و NSRCQB) بر عملکرد دانه (گرم در متر مربع)

Figure 6. Interaction effect of irrigation water salinity and genotypes on seed yield (g m^{-2})



شکل ۷- اثر متقابل شوری آب آبیاری و سه ژنوتیپ (صدوق،تیتیکاکا و NSRCQB) بر ارتفاع کف (سانتی‌متر)
Figure 7. Interaction effect of irrigation water salinity and genotypes on foam height (cm)

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج این آزمایش، کینوا می‌تواند در محدوده شوری آب آبیاری بالای ۱۰ دسی زیمنس بر متر که برای سایر گیاهان زراعی اقتصادی نیست عملکرد اقتصادی تولید کند، در بین سه ژنوتیپ مورد بررسی رقم صدوق برتر بود. درصد آهن، کلسیم، روی و پروتئین دانه در شرایط شور افزایش یافت و علی رغم کاهش عملکرد دانه میزان عملکرد پروتئین در متر مربع تحت تاثیر قرار نگرفت. میزان افزایش عناصر ریز مغذی در شرایط شور تحت تاثیر ژنوتیپ می‌باشد. گیاه فراسودمند کینوا برخلاف گیاهان گلیکوفیت مانند گندم قادر هستند در سطوح بالای شوری کیفیت دانه تولیدی را حفظ نموده یا حتی بهبود دهند. بنابراین کینوا می‌تواند با افزایش روند شوری منابع آب در حفظ امنیت غذایی در مناطق تحت تاثیر تغییرات اقلیمی و مناطق حاشیه‌ای موثر باشد.

تشکر و قدردانی

حمایت مالی این طرح توسط صندوق حمایت از پژوهشگران و سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی بوده است. نویسندگان بدینوسیله از همکاران مرکز ملی تحقیقات شوری و تامین کننده مالی تشکر و قدردانی می نمایند.

References

1. Murphy, K.S. & Matanguihan, J., (2015). Quinoa: Improvement and sustainable production. John Wiley and Sons.
2. Zurita-Silva, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, S.-E., & Schwember, A.R., (2014). Breeding quinoa *(Chenopodium quinoa* Willd.): *potential and perspectives. Molecular Breeding,* 34,1.13-30.
3. Bazile, D., Jacobsen, S.-E., & Verniau, A., (2016). The global expansion of quinoa: trends and limits. *Frontiers in Plant Science*, 7, 622 p.
4. Jacobsen, S.E., (2003). The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19, 167-177.
5. Choukr-Allah, R., Rao, N.K., Hirich, A., Shahid, M., Alshankiti, A., Toderich, K., Gill, S., & Butt, K.U.R., (2016). Quinoa for Marginal Environments: Toward Future Food and Nutritional Security in

MENA and Central Asia Regions. *Frontiers of Plant Science*, ,7, 346, 1-11.
6. Abugoch James, L.E., Chapter 1 Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties, in *Advances in Food and Nutrition Research*, L.T. Steve, Editor. (2009), Academic Press. p. 1-31.
7. Tang, Y. & Tsao, R., (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review. *Molecular Nutrition and Food Research,* (61), 1-16.
8. Pathan, S., Eivazi, F., Valliyodan, B., Paul, K., Ndunguru, G., & Clark, K., (2019). Nutritional composition of the green leaves of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Nutrition Research,* (8), 55-65.
9. Ruiz ,K.B., Biondi, S., Oses, R., Acuña-Rodríguez, I.S., Antognoni, F., Martinez-Mosqueira, E.A., Coulibaly, A., Canahua-Murillo, A., Pinto, M., & Zurita-Silva, A., (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for *food security under climate change*. A review. *Agronomy Sustainable Development,* (34), 349-359.
10. Granado-Rodríguez, S., Aparicio, N., Matías, J., Pérez-Romero, L.F., Maestro, I., Gracés, I., Pedroche, J.J., Haros, C.M., Fernandez-Garcia, N., & Del Hierro, J.N., (2021). Studying the Impact of Different Field Environmental Conditions on Seed Quality of Quinoa: The Case of Three Different Years Changing Seed Nutritional Traits in Southern Europe. *Frontier of Plant Science,* (12), 649132.
11. Maleki, P., Saadat, S., Bahrami, H.A., Rezaei, H., & Esmaeelnejad, L., (2019). Accumulation of ions in shoot and seed of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) under salinity stress. *Communication of Soil Science and Plant Analasis,* (50),782-793.
12. Koziol, M.J., (1991). Afrosimetric estimation of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (Chenopodium quinoa Willd). *Journal od Science and Food Agriculture,* (54), 211-219.
13. Wu, G., Peterson, A.J., Morris, C.F., & Murphy, K.M., (2016). Quinoa Seed Quality Response to Sodium Chloride and Sodium Sulfate Salinity. *Front Plant Sci*. 7.
14. Nadeem, M., Tariq, M.N., Amjad, M., Sajjad, M., Akram, M., Imran, M., Shariati, M.A., Gondal, T.A., Kenijz, N., & Kulikov, D., (2020). Salinity-induced changes in the nutritional quality of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *AGRIVITA, Journal of Agriculture Science.* (42),1-12.
15. Sabagh, A.E., Islam, M.S., Skalicky, M., Raza, M.A., Singh, K., Hossain, M.A., Hossain, A., Mahboob, W., Iqbal, M., & Ratnasekera, D., (2021). Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: adaptation and management strategies. *Frontier of Agronomy*. (3), 661932.
16. Farooq, S. & Azam, F., (2006). The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. *Journal of Plant physiology*. (163), 629-637.
17. Rasouli, F., Kiani-Pouya, A., Zhang, H., & Shabala, S., Mechanisms of Salinity Tolerance in Quinoa, *in Biology and Biotechnology of Quinoa*.(2021), Springer. p. 221-242.
18. Adolf, V.I., Jacobsen, S.E., & Shabala, S., (2012). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environoment of Experimental Botany,* (92), 43–54.
19. Salehi, M., Dehghany, F., Soltani Gerdfaramarzi, V., & Besharat, N., (2021). Identify the effective traits for the selection of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) lines in spring cultivation under saline condition. *Enviromental Stress in Crop Science*, (14),1041-1054.[In persian].
20. 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.

*Enviromental and Experimental of Bo*tany, (168), 103885.
21. Cotton, P.A., Subar, A.F., Friday, J.E., & Cook, A., (2004). Dietary sources of nutrients among US adults, 1994 to 1996. *Journal of American Diet Assocossian,* (104), 921-930.
22. Wu, G., Nutritional Properties of Quinoa, in Quinoa: Improvement and Sustainable Production. (2015) ,John Wiley and Sons, Inc. p. 193-210.
23. Wu, G., (2015). Nutritional Properties of Quinoa. Quinoa: *Improvement and Sustainable Production*: p. 193-210.
24. Karyotis, T., Iliadis, C., Noulas, C., & Mitsibonas, T., (2003). Preliminary research on seed production and nutrient content for certain quinoa varieties in a saline–sodic *soil. Journal of Agronomy and Crop Science,* (189), 402-408.
25. Koyro, H.W., Lieth, H., & Eisa, S.S., (2008). Salt Tolerance of Chenopodium quinoa Willd., Grains of the Andes: Influence of Salinity on Biomass Production, Yield, Composition of Reserves in the Seeds, Water and Solute Relations. Mangroves and Halophytes: *Restoration and Utilisation*: p. 133-145.
26. Katerji, N., van Hoorn, J.W., Hamdy, A., & Mastrorilli, M., (2003). Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural Water Management,* (62), 37-66.
27. Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., Iafelice, G., Marconi, E., & d'Andria, R., (2012). Yield and Quality Characteristics of Quinoa Grown in Open Field Under Different Saline and Non-Saline Irrigation Regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science,* (198), 254-263.