

Determination of salinity stress tolerance threshold of quinoa genotypes under field conditions

M. Salehi*, F. Dehghany

National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

Received 13 May 2022; Accepted 14 June 2022

Extended abstract

Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a beneficial plant with high nutritional value with high tolerance to salinity and drought stress. Most of the experiments performed on the study of quinoa salinity stress tolerance in pot and greenhouse conditions were not comparable to the results of cereal experiment such as wheat and barley performed in field conditions. The purpose of this experiment is to determine the threshold value of quinoa to salinity stress under field conditions.

Materials and methods

An experiment was performed as a split plot in a randomized complete block design with three replications on August 7, 2017 at Sadough Salinity Research Station of Yazd National Salinity Research Center. Experimental treatments including five quinoa genotypes including three quinoa lines (NSRCQE, NSRCQB, NSRCQC) with Titicaca and Sadough cultivars as subplots and irrigation water salinity at five levels of 2, 5, 10, 15 and 17 dS m⁻¹ in the main plot. During the growing season, soil samples were taken from the plant root development area. Seed yield and yield components were measured. The percentage of saponin, seed vigor, 1000-seed weight and grain size were also measured.

Results and discussion

The results of analysis of variance of the measured traits showed that the effect of salinity stress on plant height, 1000-seed weight and grain yield was significant at the level of 1%. The effect of salinity stress on grain size was not significant. Differences between genotypes in terms of plant height, grain yield, 1000-seed weight, biomass and grain size were significant at the level of 1% and panicle length and number of lateral panicles at the level of 5%. The interaction effect of genotype and salinity on biomass was not significant at 5% level and on other traits was not significant. The percentage of saponin between genotypes was significant at the level of 5%. The interaction effect of salinity and genotype on biomass and saponin percentage was significant at 5% level. The percentage of grain saponin increased significantly with increasing salinity in NSRCQB genotype and was not affected by salinity stress in other genotypes. Biomass of all genotypes except Titicaca was not significantly different up to salinity of 10 dS m⁻¹. The highest biomass production in non-saline conditions was related to NSERCQE and Sadough cultivar and These two genotypes had the lowest decrease in biomass production with increasing salinity. Seed viability was not affected by salinity increase except in NSRCQB genotype seed vigour decreased by 15%. The lowest 1000-seed weight in non-saline conditions was related to NSRCQB

* Corresponding author: Masoumeh Salehi; E-Mail: salehimasomeh@gmail.com



genotype and the trend of 1000-seed weight loss with increasing salinity was similar to all genotypes and decreased by an average of 16%. The results of mean comparison showed that the highest yield at all salinity levels was observed in Sadough cultivar. Based on the results of the fitted linear equation, changes in quinoa seed yield to salinity showed that the salinity tolerance thresholds of quinoa genotypes were 4.3, 8.7, 4.1, 4.8, and 6.8 dS m⁻¹ of electrical conductivity of saturated soil extracts, respectively. The soil and slope of the line were 3.5, 2.4, 0.1, 0.7 and 0.9%. Fifty percent reduction in wheat yield of Kavir and barley cultivars of Marvdasht cultivar has been reported at 15 and 20 dS m⁻¹ of soil salinity, while Quinoa Sadough cultivar at 24 dS m⁻¹ of electrical conductivity of soil saturated extract was 80% seed yield in non-saline conditions. Sadaogh cultivar not only have suitable agronomic characteristics and high production potential in saline conditions, but also has a higher salinity tolerance.

Conclusion

Quinoa has a higher tolerance to salinity stress than wheat and barley and can be a promising plant for using saline water and soil resources that are not economically viable for crop production. There is also a good variety among quinoa genotypes to select for using saline water.

Acknowledgments

This project has been done with the financial support of the Researchers Support Fund and the Agricultural Education and Extension Research Organization (AREEO).

Keywords: Biosaline agriculture, *Chenopodium quinoa*, Genetic diversity, Saline water



تعیین آستانه تحمل به تنش شوری ژنوتیپ‌های کینوا در شرایط مزرعه

معصومه صالحی^{*}، فرهاد دهقانی

مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: آب شور تنوع ژنتیکی کشاورزی شورزیست <i>Chenopodium quinoa</i>	کینوا (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) یک گیاه فراسودمند با ارزش غذایی بالا است که تحمل مناسبی به تنش‌ها شوری و خشکی دارد. بیشتر آزمایش‌های انجام‌شده بر روی بررسی تحمل به تنش شوری کینوا در شرایط گلدانی و گلخانه بوده و این نتایج با نتایج مزرعه‌ای تعیین آستانه غلات مانند گندم و جو قابل‌مقایسه نیست. هدف از این آزمایش تعیین آستانه تحمل به تنش شوری کینوا در شرایط مزرعه و معرفی ژنوتیپ برتر است. بدین منظور آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در تاریخ ۱۶ مرداد ۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات شوری صدوق مرکز ملی تحقیقات شوری یزد کشت شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۵ ژنوتیپ کینوا شامل ۳ لاین کینوا و دو رقم به ترتیب (NSRCQB, Sadogh, NSRCQE, NSRCQC) و تیتیکاکا) به‌عنوان کرت فرعی و شوری آب آبیاری در ۵ سطح ۲، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۱۷ دسی زیمنس بر متر در کرت اصلی قرار گرفت. نتایج نشان داد بالاترین میزان عملکرد در کلیه سطوح شوری در رقم صدوق مشاهده شد. درصد سایونین دانه با افزایش شوری در ژنوتیپ NSRCQB افزایش معنی‌دار داشت و در سایر ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش شوری قرار نگرفت. بر اساس نتایج معادله خطی برازش شده تغییرات عملکرد دانه کینوا به شوری نشان داد که آستانه تحمل به شوری ژنوتیپ‌های کینوا به ترتیب 4.3 dS m^{-1} ، 8.7 ، 4.1 ، 4.8 ، 6.8 عصاره اشباع خاک و شیب خط $0.3/5$ ، $2/4$ ، $1/0$ ، $0.7/9$ و 0.9 درصد بود. کینوا رقم صدوق در شوری 1 dS m^{-1} عصاره اشباع خاک قادر است ۸۰ درصد عملکرد دانه در شرایط غیر شور را داشته باشد. این رقم علاوه بر خصوصیات زراعی مناسب و پتانسیل تولید بالا در شرایط شور دارای تحمل به شوری بالاتری نیز هست. نتایج نشان می‌دهد که کینوا می‌تواند گیاه مناسبی جهت بهره‌برداری از منابع آب‌و خاک شور بدون تداخل با تولید گیاهان استراتژیک موردتوجه قرار گیرد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۴	
تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۲ ۱۱۳۷-۱۱۲۳ (۴): ۱۶	

مقدمه

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa*, Willd یک گیاه شورزیست اختیاری است (Adolf et al., 2012). گیاه دولپه آلوتتراپلوئید ($2n=4X=36$) از خانواده Amaranthacea و جزو گیاهان سه کرنبه است. ارتفاع گیاه از ۰/۵ تا ۲ متر و اندازه دانه ۲ میلی‌متر و بذور آن میوه و دارای ژنوتیپ‌های حساس به طول روز و روزخنثی است (Murphy and Matanguihan, 2015). طول دوره زندگی بسته به رقم و اقلیم بین ۱۰۰ تا ۲۴۰ روز است. تنوع بالای کینوا به تنش شوری و خشکی موجب شده است که این گیاه سازگاری وسیعی به شرایط مختلف اقلیمی داشته باشد (Bhargava, et al., 2015). کینوا یک گیاه خودگرده‌افشان است و میزان دگرگرده‌افشانی آن بین ۱۰ تا ۱۷ درصد است (Gomez-Pando, 2015). کینوا به‌عنوان یک گیاه جدید در مناطق مختلفی از قاره اروپا، آمریکای شمالی، آفریقا، پاکستان، چین و هند با موفقیت کشت شده است (FAO, 2014). بذور کینوا قابلیت استفاده در تغذیه انسان را دارد و منبع خوبی از آنتی‌اکسیدانت و مواد غذایی مفید و عاری از گلوتن می‌باشند و پتانسیل استفاده برای تهیه نان، سوپ، سالاد، غذای نوزادان و غذای مناسب افراد سلیاک را دارد (Bazile, et al., 2015). بذور این گیاه غنی از پروتئین است برگ‌های

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa*, Willd یک گیاه شورزیست اختیاری است (Adolf et al., 2012). گیاه دولپه آلوتتراپلوئید ($2n=4X=36$) از خانواده Amaranthacea و جزو گیاهان سه کرنبه است. ارتفاع گیاه از ۰/۵ تا ۲ متر و اندازه دانه ۲ میلی‌متر و بذور آن میوه و دارای ژنوتیپ‌های حساس به طول روز و روزخنثی است (Murphy and Matanguihan, 2015). طول دوره زندگی بسته به رقم و اقلیم بین ۱۰۰ تا ۲۴۰ روز است. تنوع بالای کینوا به تنش شوری و خشکی موجب شده است که این گیاه سازگاری وسیعی به شرایط مختلف اقلیمی داشته باشد (Bhargava, et al., 2015). کینوا یک گیاه خودگرده‌افشان است و میزان دگرگرده‌افشانی آن بین ۱۰ تا ۱۷ درصد است (Gomez-Pando, 2015). کینوا به‌عنوان یک گیاه جدید در مناطق مختلفی از قاره اروپا، آمریکای شمالی، آفریقا، پاکستان، چین و هند با موفقیت کشت شده است (FAO, 2014). بذور کینوا قابلیت استفاده در تغذیه انسان را دارد و منبع خوبی از آنتی‌اکسیدانت و مواد غذایی مفید و عاری از گلوتن می‌باشند و پتانسیل استفاده برای تهیه نان، سوپ، سالاد، غذای نوزادان و غذای مناسب افراد سلیاک را دارد (Bazile, et al., 2015). بذور این گیاه غنی از پروتئین است برگ‌های

۱۴ ژنوتیپ کینوا را در شرایط شور بررسی کردند در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دو ژنوتیپ *Pandela rosada* و *Utusaya* از بولیوی و *Amarilla de Marangani* از پرو کمتر تحت تنش شوری قرار گرفتند (Adolf et al., 2012). گرچه زیست‌توده و ارتفاع این ژنوتیپ‌ها در شرایط غیر شور پایین‌تر بود که دلیل آن می‌تواند سازگاری به شرایط تنش باشد. رقم کینوای *Hualhuas* در پرو و تیتیکاکا در دانمارک که از منابع ژنتیکی جنوب شیلی است قادر هستند تا شوری ۵۰۰ میلی‌مولار چرخه زندگی خود را کامل کنند. یازر و همکاران عملکرد کینوا در طول سه سال در شوری (۳۰، ۲۰، ۱۰) را بررسی کردند و بیان کردند که تأثیر شوری بر کاهش عملکرد دانه تا بالاترین سطح شوری معنی‌دار نبود و همچنین بیان کردند که در شرایط مدیترانه‌ای می‌توان کینوا را تا شوری ۳۰ dS/m آبیاری نمود (Yazar et al., 2015). اطلاعات زیادی در مورد عملکرد دانه در شرایط شور در مزرعه وجود ندارد. با توجه به تحمل بالای کینوا به تنش شوری و تولید اقتصادی با منابع آبی که قابل‌استفاده برای گیاهان زراعی معمول نیست، این گیاه برای کشت با منابع آب نامتعارف انتخاب شد.

مواد و روش‌ها

آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در تاریخ ۱۶ مرداد ۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات شوری صدوق مرکز ملی تحقیقات شوری یزد کشت شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۳ لاین کینوا (NSRCQE, NSRCQB, NSRCQC) همراه با رقم تیتیکاکا و صدوق به‌عنوان کرت فرعی و شوری آب آبیاری در ۵ سطح ۲، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۱۷ دسی‌زیمنس بر متر در کرت اصلی قرار گرفت. در ابتدای کاشت به میزان ۱۰۰ کیلو در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیز کود اوره بعد از سبز شدن داده شد و کوددهی در مرحله غنچه‌دهی و گرده‌افشانی به میزان ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار اعمال گردید.

هر وارسته در ۴ 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 مراقب‌های زراعی شامل آبیاری، تغذیه و مبارزه با علف‌های هرز انجام شد. تیمارهای آبیاری به‌صورت یکسان و هم‌زمان در ۵ سطح ۲، ۵، ۱۰، ۱۵

آن نیز در سالاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. برگ‌های کینوا نسبت به اسفناج و آمارانت دارای میزان بالایی پروتئین (۳۷ گرم در ۱۰ گرم ماده خشک) با ترکیب مناسبی از اسیدهای آمینه ضروری است و همچنین ترکیب مناسبی از عناصر پتاسیم، فسفر، منیزیم، روی و کلسیم است (Pathan et al., 2019). میزان پروتئین بذر این گیاه بین ۱۳/۸۱ تا ۲۱/۹ درصد است و تنها گیاهی است که کل آمینواسیدهای ضروری بدن را تأمین می‌کند (FAO, 2011). تعادل آمینواسیدهای کینوا بهتر از گندم، جو و سویا و سرشار از ویتامین E و امگا ۳ است (Abugoch James, 2009). میزان سدیم آن پایین‌تر و پروتئین و مواد معدنی آن به‌مراتب بالاتر از گندم، جو و ذرت می‌باشد. بذور گیاه دارای میزان قابل‌توجهی آهن و اسیدفولیک بوده و غذای مناسبی برای افرادی است که دسترسی کمی به پروتئین حیوانی دارند و ناچار هستند پروتئین موردنیاز خود را از منابع گیاهی تأمین نمایند زیرا کینوا غنی از لیزین و اسیدهای آمینه سولفوردار است درحالی‌که پروتئین غلات از لحاظ این آمینواسیدها کمبود دارد (Abugoch James, 2009). آرد کینوا در هنگام ترکیب با آرد گندم یا پودر ذرت، به‌عنوان توسعه‌دهنده نشاسته عمل می‌کند که در تولید بیسکویت، نان و غذاهای فرآوری شده استفاده می‌شود. از کینوا، آرد غلات صبحانه، و سوپ تهیه می‌شود این آرد به‌تنهایی عاری از گلوتن است. میزان روغن کینوا (۱/۸ تا ۹/۵ درصد) بالاتر از ذرت (۳-۴ درصد) است. حدود ۷۰ درصد روغن کینوا غیراشباع بوده و ۵۵ تا ۶۳ درصد آن امگا ۳، لینولئیک و لینولنیک اسید است (Vega-Gálvez et al., 2010).

رشد مناسب کینوا در شوری $10-20 \text{ dS m}^{-1}$ مشاهده می‌شود (Hariadi, et al., 2011). زیست‌توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت کینوا در شرایط تنش متوسط شوری بالاتر از شرایط بدون تنش است و بهترین سطح تنش شوری برای کینوا را ۱۵ dS/m را بیان کردند (Bazile et al., 2016; Jacobsen, et al., 2003). جکوبسون و همکاران (Jacobsen et al., 2001) بیان کردند که حساس‌ترین صفت کینوا به تنش شوری ارتفاع بوته است گرچه مطالعات آدلف و همکاران نشان داد که ارتفاع بوته همبستگی بالایی با عملکرد دانه ندارد (Adolf et al., 2012). بررسی ۱۵ ژنوتیپ در پرو نشان داد که در شرایط شور ارتفاع برخی ژنوتیپ‌ها کاهش یافت ولی بر برخی ژنوتیپ‌ها تأثیر منفی نداشت (Gómez-Pando et al., 2010). آدلف و همکاران

اختلاط آب شیرین و شوری را فراهم می‌کند. شوری آب چاه 19.97 dS m^{-1} بود (جدول ۱).

و ۱۷ دسی زمینس بر متر بعد از سبز در تمام مراحل رشد اعمال گردید. ایستگاه تحقیقات شوری صدوق دارای دو منبع آب است که هر منبع آب دارای یک حوضچه بوده که قابلیت

Table 1. Irrigation water quality

جدول ۱. کیفیت آب آبیاری مورد استفاده

منبع آب	EC	pH	SAR	Na	Ca	Mg	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Water Resources	dS m ⁻¹				meq l ⁻¹					
آب شور Saline water	19.970	7.42	28.50	150.37	16.98	38.82	0	3.64	180.06	13.83

Y_r به عنوان تابع شوری عصاره اشباع خاک با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد که در آن ece هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک برحسب a_0 آستانه و I شیب کاهش است. ضرایب معادلات با استفاده از نرم افزار SAS با استفاده از رویه NLIN و REG برآورد شد. مقایسه میانگین با استفاده از روش LSD با برنامه SAS v9.1 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده نشان داد که تأثیر تنش شوری بر ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). تأثیر تنش شوری بر سایزبندی دانه‌ها، تعداد پانیکول جانبی و طول پانیکول معنی دار نبود. بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ ارتفاع بوته، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، زیست توده و سایز دانه‌ها در سطح ۱ درصد و طول پانیکول و تعداد پانیکول جانبی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری داشتند. اثر متقابل ژنوتیپ و شوری بر زیست توده در سطح ۵ درصد معنی دار و بر سایر صفات معنی دار نبود. درصد ساپونین بین ژنوتیپ‌ها در سطح ۵ درصد معنی دار بود. اثر متقابل شوری و ژنوتیپ بر زیست توده و درصد ساپونین در سطح ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات ساده (شوری و ژنوتیپ) بر ارتفاع بوته نشان داد تا سطح شوری 10 dS m^{-1} شوری تأثیر معنی داری بر کاهش ارتفاع بوته نداشت و با افزایش شوری تا 17 m^{-1} ارتفاع بوته ۲۲ درصد کاهش یافت (جدول ۳). عملکرد دانه تا سطح شوری 5 dS m^{-1} اختلاف معنی داری نداشت و در سطح شوری 10 dS m^{-1} کاهش معنی دار داشت و میزان کاهش نسبت به شرایط غیر شور ۱۲ درصد بود. شوری عصاره اشباع خاک در محدوده توسعه ریشه در طول فصل در این سطح شوری 14 dS m^{-1} بود در این سطح شوری

در طول فصل رشد به منظور تعیین شوری عصاره اشباع خاک در مراحل سبز شدن، غنچه دهی، گرده افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک تا عمق توسعه ریشه نمونه خاک تهیه شد. در نهایت سه متر وسط کرت در اواخر آبان برداشت و عملکرد و اجزای عملکرد اندازه گیری گردید. بذور با دستگاه الک و شیکر با سایز طبقات ۲، ۱/۷ و ۱/۴ میلی متر درجه بندی شد و از طبقه ۱/۷ میلی متر نیم گرم برای اندازه گیری ساپونین جدا گردید. جهت اندازه گیری میزان ساپونین از روش کوزیول (Koziol, 1991) استفاده شد و میزان ساپونین بر اساس ارتفاع کف برحسب سانتی متر گزارش گردید. وزن هزار دانه بذور نیز با استفاده از دستگاه بذر شمار اندازه گیری شد.

به منظور بررسی واکنش ژنوتیپ‌های کینوا به شوری عصاره اشباع خاک از معادلات ۱، ۲ و ۳ استفاده گردید. در معادله ۱ عملکرد نسبی (Y_r) که در آن Y عملکرد در شرایط شور و Y_m تولید در شرایط غیر شور و یا شوری کم است.

$$Y_r = Y/Y_m \quad [1]$$

به عنوان تابع شوری عصاره اشباع خاک با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد که در آن C هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک برحسب 50 dS m^{-1} C_{50} میزانی از شوری که عملکرد نسبی ۰/۵ باشد و s شیب کاهش منحنی و شاخص تحمل به تنش شوری (STI) بر اساس معادله ۳ محاسبه شد (Steppuhn et al., 2005).

$$Y_r = \frac{I}{1 + (C/C_{50})^{\exp(sC_{50})}} \quad [2]$$

$$TI = C50 + sC50 \quad [3]$$

به منظور محاسبه شیب خط و آستانه تحمل به تنش شوری از معادله دوتکه‌ای استفاده شد (معادله ۴).

$$Y_r = 100 - (I(ece - a_0)) \quad [4]$$

بود. بیشترین زیست‌توده در سطح شوری 5 dS m^{-1} و سپس در شوری 10 dS m^{-1} مشاهده شد و در سایر سطوح شوری کاهش معنی‌داری داشت. وزن هزار دانه با افزایش شوری کاهش معنی‌دار داشت در شوری 17 dS m^{-1} وزن هزار دانه 0.4 گرم کاهش یافت البته بین سطوح شوری از لحاظ سایز بذور اختلافی مشاهده نشد.

خاک میزان کاهش عملکرد گندم رقم کویر ۴۰ درصد و جو رقم رودشت ۲۷ درصد بود، لازم به ذکر است آزمایش‌های تعیین آستانه گندم و جو نیز در شرایط اقلیمی یزد با روش آزمایش مشابه انجام شده بود (Anaghali and Tabatabaee, 2019; Ranjbar and Banakar, 2011). با افزایش شوری از 5 dS m^{-1} در شوری‌های 10 ، 15 و 17 میزان کاهش عملکرد به ترتیب 12 ، 17 و 17 درصد

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات بررسی‌شده ژنوتیپ‌های کینوا در سطوح مختلف شوری

Table 2. Analysis of variance of measured traits of quinoa genotypes under saline condition

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	ارتفاع بوته	طول پانیکول	تعداد پانیکول جانبی	عملکرد	زیست توده	وزن هزار دانه
			Plant height	Panicule Height	Lateral Panicule No.	Seed yield	Biomass	1000 Kernel weight
Replication	تکرار	2	358.28 ^{ns}	11.9 ^{ns}	5.5 ^{ns}	36.37 ^{ns}	31563 ^{ns}	0.004 ^{ns}
Salinity (S)	شوری	4	1216.9 ^{**}	7.5 ^{ns}	7.5 ^{ns}	22544 ^{**}	634590 [*]	0.400 ^{**}
Error a	خطا a	8	168.5	23.6	23.6	2501	147606	0.008
Genotype (G)	ژنوتیپ	4	570.5 ^{**}	9.9 [*]	5.3 [*]	23885 ^{**}	1239085 ^{**}	0.930 ^{**}
G × S	ژنوتیپ × شوری	16	51.2 ^{ns}	2.9 ^{ns}	2.6 ^{ns}	3292 ^{ns}	368571 [*]	0.02 ^{ns}
Error b	خطا b	40	42.9	3.0	1.6	1982	155128	0.016
C.V (%)	ضریب تغییرات		8.9	15.3	13.2	11.2	25.4	5.4

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	جوانه‌زنی	بیشتر از ۲ میلی‌متر	۱/۷-۲ میلی‌متر	۱/۴-۱/۷ میلی‌متر	کمتر از ۱/۴ میلی‌متر	ساپونین
			Germination	More than 2 mm	1.7-2 mm	1.4-1.7 mm	Less than 1.4 mm	Saponin
Replication	تکرار	2	1.49 ^{ns}	0.07 ^{ns}	58.11 ^{ns}	28.1 ^{ns}	0.57 ^{ns}	1.64 ^{ns}
Salinity (S)	شوری	4	201.8 ^{ns}	0.59 ^{ns}	255.06 ^{ns}	240.7 ^{ns}	0.83 ^{ns}	3.81 [*]
Error a	خطا a	8	63.9	1.69	116.46	1200.1	1.68	0.59
Genotype (G)	ژنوتیپ	4	266.8 ^{**}	8.47 ^{**}	1719.4 ^{**}	1972.6 ^{**}	1.69 ^{**}	6.11 ^{**}
G × S	ژنوتیپ × شوری	16	80.7 ^{ns}	0.51 ^{ns}	67.32 ^{ns}	87.7 ^{ns}	0.24 ^{ns}	1.76 [*]
Error b	خطا b	40	57.0	0.31	69.25	49.5	0.34	0.80
C.V (%)	ضریب تغییرات		8.3	30.6	14.4	20.6	27.3	18.6

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات ساده صفات بررسی شده ژنوتیپ های کینوا در سطوح مختلف شوری

Table 3. Mean comparison of measured traits of quinoa genotypes under different saline condition

شوری آب آبیاری Irrigation water Salinity	ارتفاع بوته Plant height	طول پانیکول Panicule Height	تعداد پانیکول جانبی Lateral Panicule No.	عملکرد دانه Seed yield	زیست توده Biomass	وزن هزار دانه 1000 Kernel weight
dS m ⁻¹	cm	cm		g m ⁻²	g m ⁻²	g
2	79.7 ^a	11.8 ^a	9.7 ^a	436.3 ^a	1481 ^b	2.5 ^a
5	83.1 ^a	11.4 ^a	9.7 ^a	437.0 ^a	1902 ^a	2.4 ^b
10	75.3 ^{ab}	12.1 ^a	9.5 ^a	383.7 ^b	1545 ^b	2.2 ^c
15	65.9 ^{bc}	10.8 ^a	9.3 ^a	360.8 ^b	1412 ^b	2.2 ^c
17	61.9 ^c	10.4 ^a	9.4 ^a	359.8 ^b	1403 ^b	2.1 ^d
Genotype						
NSRCQE	72.1 ^b	11.1 ^b	9.8 ^a	387.6 ^b	1693 ^{ab}	2.2 ^b
NSRCQC	76.9 ^a	11.5 ^{ab}	9.9 ^a	410.4 ^b	1375 ^{bc}	2.4 ^a
Sadogh	74.9 ^{ab}	10.8 ^b	9.9 ^a	451.2 ^a	1931 ^a	2.5 ^a
NSRCQB	78.9 ^a	12.6 ^a	8.5 ^b	86.7 ^b	1559 ^{abc}	1.9 ^c
Titicaca	63.1 ^c	10.4 ^b	9.4 ^{ab}	41.6 ^c	1184 ^c	2.5 ^a

جدول ۳. ادامه

شوری آب آبیاری Irrigation water Salinity	جوانه زنی Germination	بیشتر از ۲ میلی متر More than 2 mm	۱/۷-۲ میلی متر 1.7-2 mm	۱/۴-۱/۷ میلی متر 1.4-1.7 mm	کمتر از ۱/۴ میلی متر Less than 1.4 mm	ساپونین Saponin
dS m ⁻¹	%					cm
2	96.5 ^a	5.8 ^a	61.7 ^a	30.5 ^a	3.6 ^a	4.2 ^b
5	92.2 ^{ab}	3.5 ^a	51.8 ^a	39.9 ^a	6.4 ^a	4.74 ^b
10	87.4 ^b	3.1 ^a	55.8 ^a	36.6 ^a	6.1 ^a	4.72 ^b
15	88.0 ^b	4.6 ^a	61.2 ^a	30.7 ^a	4.3 ^a	7.83 ^b
17	91.4 ^{ab}	4.1 ^a	58.4 ^a	33.1 ^a	5.2 ^a	5.61 ^a
Genotype						
NSRCQE	92.2 ^a	10.1 ^a	68.2 ^a	20.8 ^c	3.3 ^c	5.19 ^a
NSRCQC	94.1 ^a	5.4 ^b	67.4 ^a	25.4 ^c	3.8 ^c	4.68 ^a
Sadogh	92.2 ^a	2.3 ^c	55.9 ^b	37.3 ^b	5.1 ^{bc}	5.21 ^a
NSRCQB	83.7 ^b	2.2 ^c	55.9 ^b	36.9 ^b	6.0 ^{ab}	3.76 ^b
Titicaca	93.3 ^a	1.2 ^c	41.9 ^c	50.0 ^a	7.3 ^a	5.26 ^a

در هر ستون اعداد دارای حروف مشابه در سطح ۵٪ اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD ندارند.

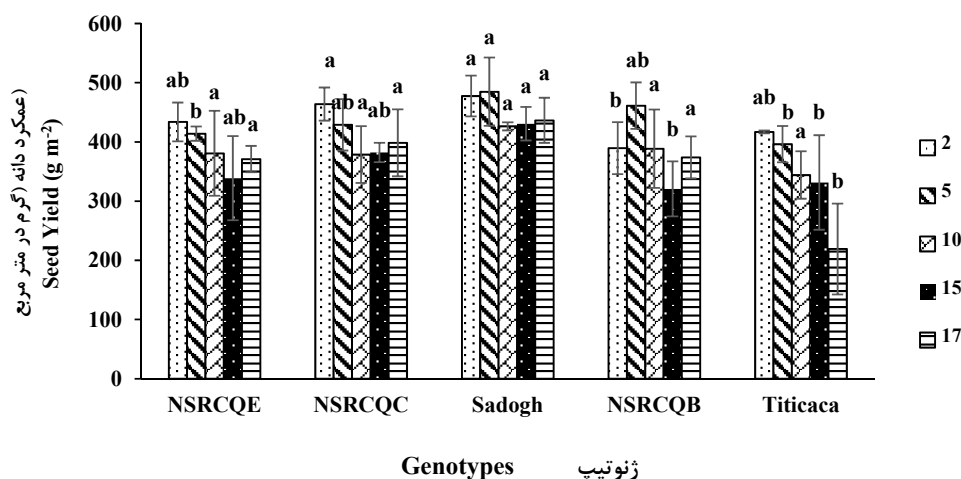
Means within the same column followed by the same letters are not significantly different (p < 0.05)

بودند و NSRCQB وزن هزار دانه ۱/۹ گرم داشت. در ژنوتیپ NSRCQE و NSRCQC حدود ۶۸ درصد بذور در طبقه بین ۱/۷-۲ میلی متر بود و در سایز بین ۱/۴-۱/۷ میلی متر بیشترین درصد مربوط به رقم تیتیکاکا بود (۵۰ درصد) و کمترین میزان در ژنوتیپ NSRCQE و NSRCQC مشاهده شد. بیشترین میزان افت مربوط به رقم تیتیکاکا با میزان ۷ درصد بود. درصد جوانه زنی بذور تولیدی در سطوح مختلف شوری ژنوتیپ های مختلف بیشتر از ۸۸ درصد بود و بیشتر بذور در ۲۴ ساعت اول جوانه زدند. تأثیر شوری، ژنوتیپ و اثر متقابل شوری و ژنوتیپ بر درصد ساپونین معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین درصد

مقایسه میانگین بین ژنوتیپ ها نشان داد که کمترین ارتفاع بوته مربوط به رقم تیتیکاکا و بیشترین ارتفاع با اختلاف ۱۶ سانتی متر مربوط به NSRCQB بود (جدول ۳). بیشترین طول پانیکول و کمترین تعداد پانیکول جانبی مربوط به NSRCQB بود. بیشترین عملکرد دانه با ۴۵۱ گرم در مترمربع مربوط به رقم صدوق بود که اختلاف معنی داری با سایر ژنوتیپ ها داشت و کمترین عملکرد دانه با اختلاف یک تن در هکتار مربوط به رقم تیتیکاکا بود. بیشترین وزن زیست توده نیز مربوط به رقم صدوق بود و کمترین مقدار در رقم تیتیکاکا مشاهده شد (جدول ۳). ژنوتیپ های NSRCQC، صدوق و تیتیکاکا دارای وزن هزار دانه ۲/۵ گرم

در گیاهان دولپه دیده می‌شود تاکنون ۲۰ نوع مختلف ساپونین در کینوا شناخته شده است. میزان بالای ساپونین در بذر کینوا موجب ایجاد مزه تلخ شده و برای مصرف انسان مناسب نیست (Van Loo et al., 2016). میزان تجمع ساپونین در کینوا ۲۴ روز بعد از گرده‌افشانی به حداکثر می‌رسد و عوامل مختلفی در طول این مدت موجب بیان ژن سنتز ساپونین می‌شود ولی میزان آن فقط به وسیله یک ژن کنترل می‌شود (Jarvis et al., 2017).

ساپونین با اختلاف معنی‌دار در سطح شوری 5 dS m^{-1} مشاهده شد. در بین ژنوتیپ‌ها کمترین درصد ساپونین با اختلاف معنی‌دار در لاین NSRCQB مشاهده شد. در اغلب گیاهان بیوسنتز ساپونین توسط جاسمونات انجام می‌شود و ژن AOS ژن کلیدی در بیوسنتز جاسمونات است و میزان بیوسنتز ساپونین تحت تأثیر تنش‌های محیطی مانند شوری، خشکی و سرما افزایش می‌یابد (Fiallos-Jurado et al., 2016). ساپونین تری‌تریپنوییدیک یک متابولیت ثانویه است که



شکل ۱. تأثیر تنش شوری بر عملکرد دانه (گرم در مترمربع) ژنوتیپ‌های کینوا، مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در هر سطح شوری جداگانه انجام شده است. در هر سطح شوری داشتن حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

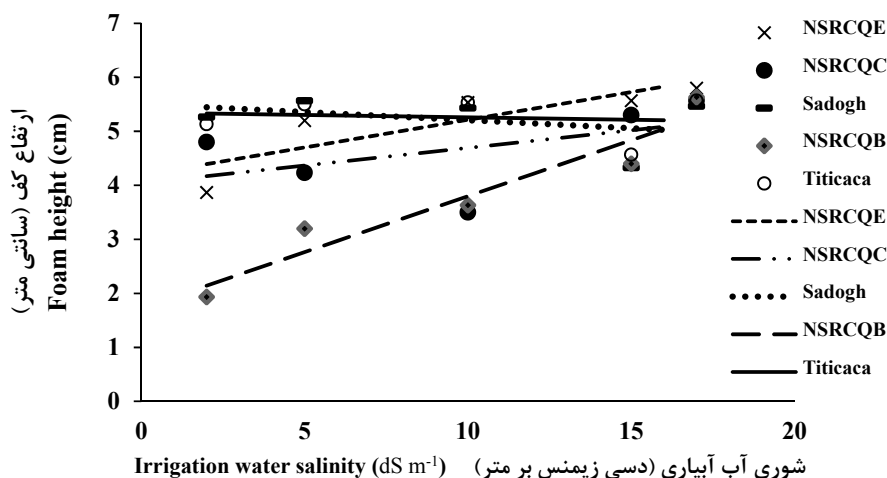
Fig. 1. Effect of salt stress on seed yield (g m^{-2}) of quinoa genotypes. Mean comparison of genotypes evaluated in each salinity levels. At each salinity level, having similar letters indicates no significant difference.

(جدول ۳). میزان ساپونین در رقم صدوق و تیتیکاکا تحت تأثیر قرار نگرفتند.

بررسی صفات ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف شوری نشان داد که در محیط غیر شور کمترین ارتفاع بوته مربوط به رقم تیتیکاکا بود و با افزایش شوری در سطح شوری 5 dS m^{-1} ارتفاع بوته تا حدی افزایش یافت بیشترین ارتفاع در ژنوتیپ NSRCQB (۸ سانتی‌متر افزایش) مشاهده شد (جدول ۴). گرچه بیشترین میزان کاهش ارتفاع با افزایش شوری در ژنوتیپ NSRCQB مشاهده شد. در سطح شوری 5 dS m^{-1} ارتفاع بوته ژنوتیپ‌ها به ترتیب ۱۰، ۸، ۰/۲ و ۳ سانتی-متر کاهش یافت. بیشترین کاهش ارتفاع در ژنوتیپ NSRCQE مشاهده شد. در بالاترین سطح شوری ارتفاع بوته ژنوتیپ‌ها به ترتیب ۲۹، ۱۷، ۱۴، ۲۰ و ۹ سانتی‌متر کاهش یافت.

اثر متقابل بین ژنوتیپ‌ها و سطوح شوری معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده روند کاهش عملکرد ژنوتیپ‌ها در سطوح مختلف شوری است با این حال تأثیر تنش شوری بر ژنوتیپ‌های مختلف یکسان نبود. عملکرد ژنوتیپ‌های NSRCQE، NSRCQC، صدوق و NSRCQB با افزایش شوری کمتر از تیتیکاکا کاهش یافت. در ژنوتیپ صدوق و NSRCQB با افزایش شوری به 5 dS m^{-1} افزایش جزئی عملکرد دانه نیز مشاهده شد (شکل ۵). بیشترین عملکرد دانه در کلیه سطوح شوری مربوط به رقم صدوق بود که نشان داد این رقم علاوه بر تحمل بالا به تنش شوری دارای پتانسیل تولید بالاتری در این اقلیم است.

تأثیر تنش شوری بر میزان ساپونین (ارتفاع کف) در ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بود (شکل ۲). ارتفاع کف در ژنوتیپ NSRCQB، ۱۷۳ درصد افزایش یافته است و بیشترین شیب افزایش ساپونین با افزایش شوری داشت



شکل ۲. اثر متقابل شوری (dS m^{-1}) و ژنوتیپ بر ارتفاع کف (سانتی متر) کینوا

Fig. 2. Interaction effect of salinity (dS m^{-1}) and genotypes on foam height (cm)

جدول ۳. نتایج حاصل از برازش خط راست به داده‌های ارتفاع کف در مقابل شوری برای هر ژنوتیپ کینوا

Table 3. Result of linear regression of foam height in comparison of salinity for each genotype

ژنوتیپ Genotype	عرض از مبدأ Intercept	شیب Slop	R ²
NSRCQE	4.18±0.41**	0.12±0.03*	72*
NSRCQC	4.04±0.74*	0.06±0.06 ^{ns}	24 ^{ns}
Sadogh	5.50±0.48*	-0.03±0.04	14 ^{ns}
NSRCQB	1.72±0.4**	0.20±0.03**	92**
Titicaca	5.34±0.43**	-0.008±0.03 ^{ns}	1.7 ^{ns}

ns, * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵، ۱ درصد و معنی‌دار نیست.

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

رقم تیتیکاکا و صدوق بیشتر بود. افزایش تعداد پانیکول جانبی موجب عدم هم‌زمانی رسیدگی و کاهش کیفیت دانه از نظر سایز دانه می‌شود؛ بنابراین تعداد کمتر پانیکول جانبی صفت مناسبی برای گزینش و مدیریت زراعی کینوا است. قوه نامیه بذور تولیدی با افزایش شوری تحت تأثیر قرار نگرفت تنها در ژنوتیپ NSRCQB به میزان ۱۵ درصد کاهش یافته است. کمترین وزن هزار دانه در شرایط غیر شور مربوط به ژنوتیپ NSRCQB بود و روند کاهش وزن هزار دانه با افزایش شوری در کلیه ژنوتیپ‌ها مشابه بود و به‌طور متوسط ۱۶ درصد وزن هزار دانه کاهش یافت. با افزایش شوری تا 15 dS m^{-1} در NSRCQC کاهش ۷ درصدی در طبقه دوم سایز بذور افزایش ۱۲ درصدی در طبقه سوم مشاهده شد، بنابراین بذور ریزتر شدند. در رقم تیتیکاکا و NSRCQE اختلافی مشاهده نشد، ولی در ژنوتیپ NSRCQB در طبقه دوم ۶ درصد افزایش مشاهده شد. اختلافی در درصد افت ژنوتیپ‌ها با افزایش شوری مشاهده نشد (شکل ۳).

زیست‌توده کلیه ژنوتیپ‌ها به جز تیتیکاکا تا شوری 10 m^{-1} کاهش معنی‌دار نداشت. بیشترین زیست‌توده تولیدی در شرایط غیر شور مربوط به NSERCQE و رقم صدوق بود و کمترین میزان کاهش تولید زیست‌توده با افزایش شوری در NSRCQB و رقم صدوق مشاهده شد. ژنوتیپ NSRCQE بیشترین میزان کاهش زیست‌توده با افزایش شوری را داشت. با افزایش شوری تا سطح ۱۷ دسی زیمنس بر متر زیست‌توده تولید ژنوتیپ‌ها به ترتیب ۳۰، ۲۶، ۷، ۱ و ۲۳ درصد کاهش داشت. رقم تیتیکاکا کمترین میزان زیست‌توده را در شرایط غیر شور تولید کرد و میزان کاهش زیست‌توده تولیدی نیز ۲۳ درصد بود همین عامل موجب می‌شود این رقم در شرایط شور بسیار کوتاه مانده و برداشت مکانیزه را مشکل می‌کند.

بیشترین طول پانیکول مربوط به ژنوتیپ NSRCQB بود و بیشترین کاهش با افزایش شوری در این ژنوتیپ مشخص شد. ژنوتیپ NSRCQB کمترین تعداد پانیکول جانبی را داشت و روند کاهش تعداد پانیکول فرعی با افزایش شوری در

جدول ۱. اثر متقابل تنش شوری و ژنوتیپ بر صفات اندازه‌گیری شده کینوا

Table 4. Interaction effect of salinity and genotypes on measured traits of quinoa

شوری آب آبیاری Irrigation water salinity dS m ⁻¹	ژنوتیپ Genotype	جوانه‌زنی Germination %	تعداد پانیکول				وزن هزار دانه 1000 Kernel weight g
			ارتفاع بوته Plant height cm	طول پانیکول Panicle length cm	جانبی Lateral Panicule No.	زیست توده Biomass g m ⁻²	
2	NSRCQE	96.0 ^a	85.5 ^a	11.4 ^a	10.1 ^a	1709.7 ^a	2.4 ^b
	NSRCQC	94.7 ^a	82.9 ^a	12.5 ^a	9.9 ^a	1351.0 ^a	2.7 ^a
	Sadogh	100.0 ^a	80.6 ^a	11.0 ^a	10.5 ^a	1726.7 ^a	2.9 ^a
	NSRCQB	96.0 ^a	84.7 ^a	13.3 ^a	8.1 ^b	1433.0 ^a	2.1 ^c
	Titicaca	96.0 ^a	65.0 ^b	11.1 ^a	10.0 ^a	1185.0 ^a	2.7 ^a
5	NSRCQE	88.0 ^{ab}	80.2 ^{bc}	10.0 ^a	9.2 ^a	1860.0 ^a	2.5 ^b
	NSRCQC	97.3 ^a	85.3 ^{ab}	11.3 ^a	8.8 ^a	1676.0 ^a	2.5 ^{ab}
	Sadogh	89.3 ^{ab}	85.7 ^{ab}	11.1 ^a	9.9 ^a	2628.7 ^a	2.6 ^{ab}
	NSRCQB	92.0 ^{ab}	93.7 ^a	13.5 ^a	10.2 ^a	1787.0 ^a	2.0 ^c
	Titicaca	94.7 ^{ab}	70.7 ^c	11.2 ^a	10.5 ^a	1559.0 ^a	2.7 ^a
10	NSRCQE	92.0 ^a	75.6 ^{ab}	14.3 ^a	10.2 ^a	2034.7 ^a	2.2 ^b
	NSRCQC	94.7 ^a	81.2 ^{ab}	11.9 ^{abc}	10.7 ^a	1594.0 ^{ab}	2.4 ^{ab}
	Sadogh	93.3 ^a	72.2 ^{bc}	10.3 ^c	11.2 ^a	1535.3 ^{ab}	2.6 ^a
	NSRCQB	69.3 ^b	84.9 ^a	13.3 ^{ab}	6.9 ^b	552.3 ^{ab}	1.8 ^c
	Titicaca	88.0 ^a	82.6 ^c	10.8 ^{bc}	8.5 ^{ab}	1039.0 ^b	2.5 ^{ab}
15	NSRCQE	86.7 ^a	62.4 ^{ab}	11.0 ^{ab}	10.1 ^a	1890.7 ^a	2.1 ^{bc}
	NSRCQC	92.0 ^a	69.8 ^a	11.1 ^{ab}	10.0 ^a	1179.0 ^b	2.5 ^a
	Sadogh	88.0 ^a	69.3 ^{ab}	10.7 ^{ab}	8.8 ^a	1284.0 ^{ab}	2.4 ^{ab}
	NSRCQB	80.0 ^a	66.8 ^{ab}	12.1 ^a	8.8 ^a	1284.7 ^{ab}	1.9 ^c
	Titicaca	93.3 ^a	61.5 ^b	9.5 ^b	8.9 ^a	1325.7 ^{ab}	2.5 ^a
17	NSRCQE	98.7 ^a	56.8 ^a	9.1 ^c	9.5 ^a	972.3 ^b	2.1 ^{bc}
	NSRCQC	92.0 ^a	65.5 ^a	10.9 ^{ab}	10.3 ^a	1075.7 ^{ab}	2.1 ^{ab}
	Sadogh	90.7 ^{ab}	66.8 ^a	11.4 ^a	9.5 ^a	2483.3 ^a	2.3 ^a
	NSRCQB	81.3 ^{ab}	64.7 ^a	10.8 ^{ab}	8.7 ^a	1673.0 ^{ab}	1.9 ^c
	Titicaca	94.7 ^a	55.9 ^a	9.7 ^{bc}	9.3 ^a	814.0 ^b	2.3 ^{ab}

حروف مشابه در هر سطح شوری نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها است.

In each salinity level, similar letters indicate no significantly differences between genotypes

۰/۷ و ۰/۹ درصد بود (جدول ۵، شکل ۴). بر اساس تقسیم‌بندی فائو کینوا جزو گیاهان متحمل به شوری قرار می‌گیرد. بالاترین شاخص تحمل به تنش شوری در ژنوتیپ-های صدوق و NSRCQB و کمترین میزان در ژنوتیپ NSRCQE مشاهده شد (جدول ۵).

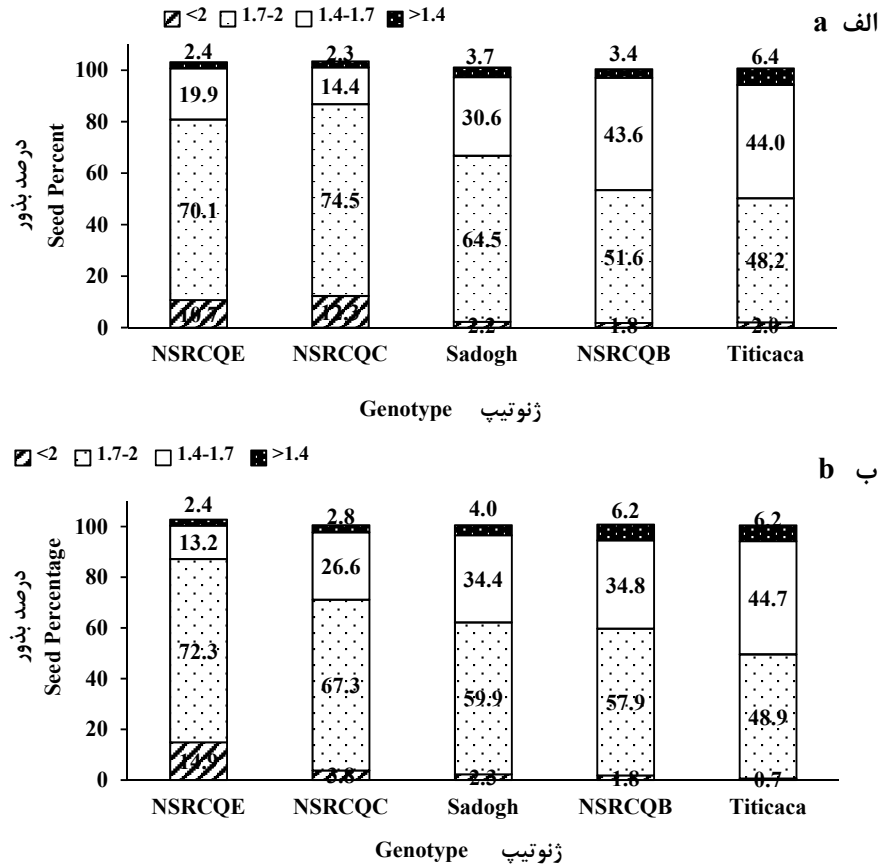
در بین غلات، گندم و جو تحمل بالاتری نسبت به شوری دارند. ۵۰ درصد کاهش عملکرد گندم رقم کویر و جو رقم مرودشت در شوری ۱۵ dS m⁻¹ و ۲۰ گزارش شده است (Anaghli and Tabatabaee, 2019; Ranjbar and Banakar, 2011) درحالی‌که در شوری عصاره اشباع خاک ۲۵ dS m⁻¹ عملکرد کینوا ۶۵-۱۸ درصد بسته به ژنوتیپ کاهش یافت اگرچه آستانه کاهش عملکرد کینوا و غلات مورد اشاره باهم تفاوت زیادی ندارد ولی کاهش عملکرد به ازای واحد افزایش شوری در کینوا بسیار کمتر از غلات دیگر

نگیون (Nguyen et al., 2021) تأثیر تنش شوری (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ dS m⁻¹) را بر شش ژنوتیپ کینوا بررسی کردند و بیان کردند که دو ژنوتیپ Moradas و Verde در شرایط شور توانایی تولید بیوماس بیشتر، وزن هزار دانه و عملکرد بالاتری داشتند و رقم Pasto کمترین میزان کلیه صفات اندازه‌گیری شده داشت. سای و گوا (Cai and Gao, 2020) تأثیر تنش شوری در ۵ سطح شوری (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ dS m⁻¹) میلی مولار NaCl) بررسی کردند و بیان کردند افزایش تنش شوری موجب کاهش ارتفاع بوته، طول ریشه و نسبت ریشه به ساقه می‌شود.

بر اساس نتایج معادله خطی برازش شده تغییرات عملکرد دانه کینوا به شوری نشان داد که آستانه تحمل به شوری ژنوتیپ‌های کینوا در سال اول ۳/۴، ۳/۷، ۴/۱، ۴/۸، ۶/۸ عصاره اشباع خاک و شیب خط ۳/۵، ۲/۴، ۱/۰،

۳۲ m⁻¹ نشان داد که درصد کاهش عملکرد بین ۴۳-۶۵ درصد با نمک NaCl و ۵۲-۱۱ درصد با نمک Na₂SO₄ است (Peterson and Murphy, 2015).

است (شکل ۴) و همین عامل موجب می شود کینوا جزو گیاهان شورزیست اختیاری دسته بندی گردد. بررسی میزان درصد کاهش عملکرد چهار ژنوتیپ کینوا که منشأ آن نواحی جنوبی شیلی است در شرایط غیر شور نسبت به شوری dS



شکل ۳. تأثیر تنش شوری ۲ dS m⁻¹ (الف) و ۱۵ dS m⁻¹ (ب) بر سایزبندی دانه ها ژنوتیپ های کینوا. در هر قسمت اعداد درصد بذور در هر سایز بذر می باشد.

Fig. 3. Salt stress effect on seed size of quinoa genotypes at 2 dS m⁻¹ (a) and 15 dS m⁻¹ (b). In each part, the numbers in each section are the percentage of seeds in each seed size.

در مرحله سبز شدن، گرده افشانی و دانه بستن به ترتیب ۸، ۲۰ و ۱۵ دسی زیمنس بر متر شوری آب آبیاری است (Maleki et al., 2018).

کینوا دارای مکانیسم های مختلفی برای مقابله با تنش شوری است. یکی از راهکارهای جالب گیاه، وجود کیسه های نمکی در سطح و زیر برگ و بر روی پانیکول است که موجب دفع نمک اضافی جذب شده می شود (Kiani-Pouya, Rasouli et al., 2019; et al., 2021).

رزاقی و همکاران (Razzaghi et al., 2011) نشان دادند که آستانه تحمل به تنش شوری کینوا رقم تیتیکاکا در آزمایش گلدانی در گلخانه ۵ dS m⁻¹ و شیب خط آن ۱/۸ درصد به ازای هر واحد افزایش شوری می باشد و ۵۰ درصد کاهش عملکرد در شوری ۲۴ dS m⁻¹ عصاره اشباع خاک مشاهده شده است. نتایج آزمایش مزرعه ای نشان داد که ۵۰ درصد کاهش عملکرد کینوا رقم تیتیکاکا در شوری ۱۰ dS m⁻¹ ۲۰ عصاره اشباع خاک مشاهده شد (شکل ۴). میزان تحمل به تنش شوری کینوا در مراحل مختلف رشدی متغیر است

تابع کاهشی تغییر یافته برای ارزیابی تأثیر تنش شوری بر تولید بذر ژنوتیپ‌های مختلف کینوا استفاده شد. رگرسیون برازش شده با معادله ۴ دارای ضریب تبیین ۰/۹۸ یا بالاتر بود (جدول ۳، شکل ۵). بر مبنای این معادله ۵۰٪ کاهش عملکرد

جدول ۲. ضریب تبیین (R^2)، میانگین مربعات (MSER) و ۹۵٪ حدود اطمینان (95% CI) و C_{50} (بر حسب $dS m^{-1}$) حاصل $\exp(C_{50} \times s)$ ، s شیب خط و شاخص تحمل به تنش (STI) در تابع کاهشی تغییر یافته، I آستانه و a_0 شیب خط تابع دو تکه‌ای در ژنوتیپ‌های مختلف برای عملکرد نسبی کینوا در مقابل شوری عصاره اشباع خاک

Table 5. Coefficient of determination (R^2), mean square error (MSER) and 95% confident interval (95% CI) and C_{50} (in $dS m^{-1}$), S of nonlinear regression fitted and STI of modified discount function, I threshold, a_0 slope of two piece linear function for relative seed yield of quinoa genotypes in response of saturated extract of soil salinity

ژنوتیپ Genotypes	ضریب Coefficient	تخمین estimation	انحراف معیار SE	حدود اطمینان ۹۵٪ 95% CI		ضریب تبیین R^2	MSER	شاخص تحمل به تنش STI
NSRCQE	I	3.53	1.31	0.70	6.37	98**	185.2	18.60
	a_0	6.53	2.87	0.33	12.73	98**		
	C_{50}	18.45	1.81	14.54	22.37			
	p	4.30	2.00	-0.01	8.62			
NSRCQC	I	2.45	1.85	-1.54	6.45		99**	78.5
	a_0	8.71	4.89	-1.87	19.29	99**		
	C_{50}	25.76	8.28	7.86	43.67			
	p	3.18	1.98	-1.1	7.46			
Sadogh	I	1.06	0.59	-0.22	2.34		99**	93.6
	a_0	4.10	4.91	-6.51	14.72	99**		
	C_{50}	73.22	111.8	-168.3	314.8			
	p	1.30	1.99	-1.27	3.88			
NSRCQB	I	0.77	0.44	-1.84	1.73		99**	51.9
	a_0	4.84	4.67	-5.2	14.95	99**		
	C_{50}	51.23	61.77	-82.23	184.7			
	P	1.98	1.94	-2.2	6.18			
Titicaca	I	0.99	1.92	-3.15	5.14		98**	214
	a_0	6.85	15.20	-25.99	39.71	98**		
	C_{50}	47.25	103.4	-176.1	270.6			
	P	2.09	4.01	-6.57	10.76			

***، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵ درصد و معنی‌دار نیست.

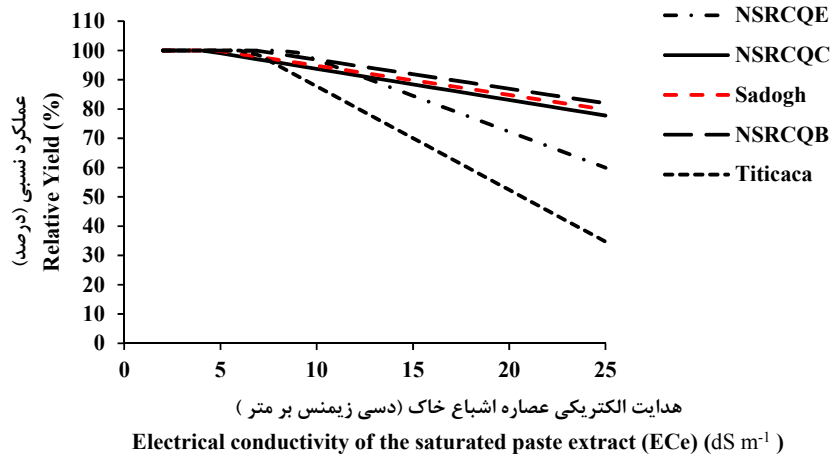
ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

نتیجه‌گیری نهایی

کینوا نسبت به گندم و جو تحمل بالاتری به تنش شوری داشت و می‌تواند گیاهی امیدبخش به‌منظور بهره‌برداری از منابع آب‌و خاک شور که برای تولید گیاهان استراتژیک اقتصادی نیست، باشد. همچنین در بین ژنوتیپ‌های کینوا نوع مناسبی جهت گزینش به‌منظور افزایش تحمل به تنش شوری وجود دارد.

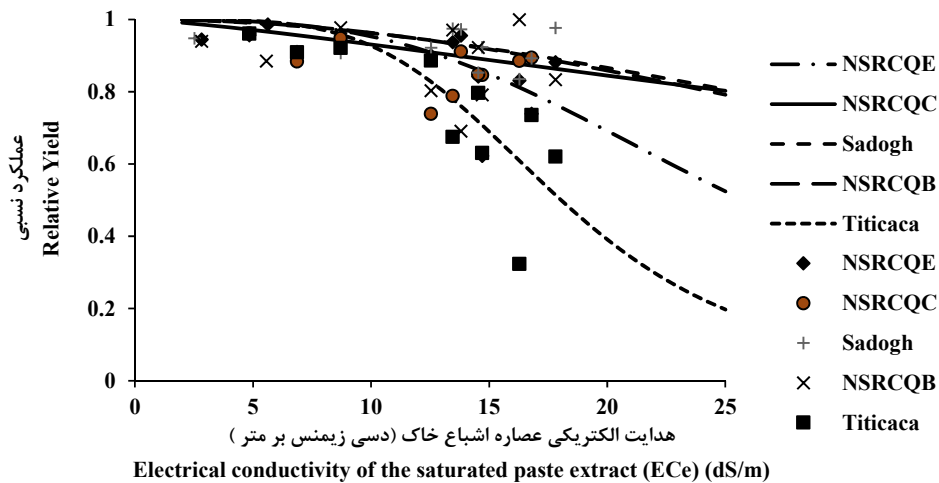
تشکر و قدردانی

این طرح با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی انجام گردیده است.



شکل ۱. تأثیر هدایت الکتریکی شوری عصاره اشباع خاک (دسی زیمنس بر متر) بر عملکرد نسبی دانه (درصد) ژنوتیپ های کینوا با استفاده از تابع دوتکه ای

Fig. 4. Electrical conductivity of saturated paste extract of soil salinity (dS m^{-1}) on relative seed yield (%) of quinoa genotypes based on two piece linear function



شکل ۲. تأثیر هدایت الکتریکی شوری عصاره اشباع خاک (دسی زیمنس بر متر) بر عملکرد نسبی دانه (درصد) ژنوتیپ های کینوا بر اساس معادله منحنی کاهش تغییر یافته

Fig. 5. Electrical conductivity of saturated paste extract of soil salinity (dS m^{-1}) on relative seed yield (%) of quinoa genotypes based on modified discount function

منابع

Abugoch James, L.E., 2009. Chapter 1 Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties. In: Steve, L.T. (ed), Advances in Food and Nutrition Research. Academic Press. p. 1-31. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)58001-1](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1)

Adolf, V.I., Jacobsen, S.E., Shabala, S., 2012. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environmental and Experimental Botany. 92, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.004>

Adolf, V.I., Shabala, S., Andersen, M.N., Razzaghi, F., Jacobsen, S.E., 2012. Varietal differences of quinoa’s tolerance to saline conditions. Plant and Soil. 357, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1133-7>

- Anaghali, A., Tabatabaee, S.A., 2019. Salinity Tolerance Indices of Barley, Cotton, Canola, and Forage Sorghum Cultivars. Iranian Journal of Soil Research. 33, 45-59. [In persian]. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2019.119055>.
- Bazile, D., Bertero, H.D., Nieto, C., 2015. State of the art report on quinoa around the world in 2013FAO. 560p. ISBN: 978-92-5-108558-5
- Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M.S., Ba, D., Breidy, J., 2016. Worldwide evaluations of quinoa: preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in 9 countries. Frontiers in Plant Science. 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00850>.
- Bhargava, A., Shukla, S., Ohri, D., 2007. Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Field Crops Research. 101, 104-116. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.10.001>
- Cai, Z.-Q., Gao, Q., 2020. Comparative physiological and biochemical mechanisms of salt tolerance in five contrasting highland quinoa cultivars. BMC Plant Biology. 20, 1-15. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-2279-8>
- FAO. 2011. Quinoa, an ancient crop to contribute to world food security. <https://www.fao.org/neareast/news/view/en/c/260126/>
- FAO., 2014. GIEWS (global information and early warning system on food and agriculture) Country Briefs. <http://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?code=IRN>.
- Fiallos-Jurado, J., Pollier, J., Moses, T., Arendt, P., Barriga-Medina, N., Morillo, E., 2016. Saponin determination, expression analysis and functional characterization of saponin biosynthetic genes in *Chenopodium quinoa* leaves. Plant Science. 250, 188-197. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.05.015>
- Gomez-Pando, L., 2015. Quinoa Breeding. Quinoa: Improvement and Sustainable Production, 87-108. <https://doi.org/10.1002/9781118628041>
- Gómez-Pando, L., Álvarez-Castro, R., Eguiluz-de la Barra, A., 2010. Effect of salt stress on Peruvian germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd.: A promising crop. Journal of Agronomy and Crop Science. 196, 391-396. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00429.x>
- 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, 185-193. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq257>
- Jacobsen, S.E., Mujica, A., Jensen, C., 2003. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. Food Reviews International. 19, 99-109. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018872>
- Jacobsen, S.E., Quispe, H., Mujica, A., 2001. Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. Scientist and farmer: partners in research for the 21st Century. Program Report 1999-2000, 403-408.
- Jarvis, D.E., Ho, Y.S., Lightfoot, D.J., Schmöckel, S.M., Li, B., Borm, T.J., 2017. The genome of *Chenopodium quinoa*. Nature. 542, 307. <https://doi.org/10.1002/aps3.11300>
- 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, 103885. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103885>
- Kozioł, M.J., 1991. Afrosimetric estimation of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of the Science of Food and Agriculture. 54, 211-219. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740540206>
- Maleki, P., Bahrami, H.A., Saadat, S., Sharifi, F., Dehghany, F., Salehi, M., 2018. Salinity threshold value of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) at various growth stages and the appropriate irrigation method by saline water. Communications in Soil Science and Plant Analysis 49, 1815-1825. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1474917>
- Murphy, K.S., Matanguihan, J., 2015. Quinoa: Improvement and sustainable production John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118628041>
- Nguyen, L.V., Bertero, D., Hoang, D.T., Long, N.V., 2021. Variation in quinoa roots growth responses to drought stresses. Journal of

- Agronomy and Crop Science. 7, 1-11. <https://doi.org/10.1111/jac.12528>.
- 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 Research. 8, 55-65. <https://doi.org/10.5539/jfr.v8n6p55>
- Peterson, A., Murphy, K., 2015. Tolerance of lowland quinoa cultivars to sodium chloride and sodium sulfate salinity. Crop Science. 55, 331-338. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.04.0271>
- Ranjbar, G.H., Banakar, M.H., 2011. Salt tolerance threshold of four commercial wheat (*Triticum Aestivum* L.) cultivars. Iranian Journal of Soil Research (formerly Soil and Water Sciences) 24, 237-242. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijrsr.2011.126637>
- Rasouli, F., Kiani-Pouya, A., Zhang, H., Shabala, S., 2021. Mechanisms of Salinity Tolerance in Quinoa. Biology and Biotechnology of Quinoa. Springer. p, 221-242. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3832-9_11
- Razzaghi, F., Ahmadi, S.H., Jensen, C.R., Jacobsen, S.-E., Andersen, M.N., 2011. The salt tolerance of quinoa measured under field conditions. International Congress on Irrigation and Drainage. Teheran, Iran. p, 149-153. [In Persian].
- Steppuhn, H., Van Genuchten, M.T., Grieve, C.M., 2005. Root-zone salinity. II. Indices for tolerance in agricultural crops. Crop Science. 45, 221-232. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0221>
- Van Loo, E., Trindade, I.L.L., Borm, T.T., 2016. Marker Development for Bitter-Tasting-Saponin Gene in Quinoa (*Chenopodium quinoa*). MSc thesis Plant Sciences - Breeding and Genetic Resources, Wageningen UR.
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., Martínez, E.A., 2010. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review. Journal of the Science of Food and Agriculture. 90, 2541-2547. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4158>.
- Yazar, A., Incekaya, Ç., Sezen, S.M., Jacobsen, S.E., 2015. Saline water irrigation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under Mediterranean conditions. Crop and Pasture Science. 66, 993-1002. <https://doi.org/10.1071/CP14243>