فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی
جلد ۱۵، شماره ۳، صفحات ۶۹-۵۹
(پاییز ۱۳۹۸)

اثر تنش شوری بر صفات مرتبط با جوانه‌زنی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)

هادی سالک‌معراجی، افشین توکلی✉، سهیلا غنیمتی، پروین کشیرلو
گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
✉ Tavakoli@znu.ac.ir (مسؤول مکاتبات)

چکیده شوری یکی از مهمترین تنش‌های غیرزنده بوده که سبب کاهش عملکرد گیاهان زراعی می‌شود. گیاه کینوا اهمیت زیادی در تغذیه انسان داشته و مقاومت بالایی به تنش شوری دارد. به‌منظور بررسی اثرات تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی رقم Q26 کینوا، آزمایشی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل غلظت‌های مختلف کلریدسدیم (۰، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر) بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر کینوا تحت شرایط آزمایشگاهی بود. شوری اثرات نامطلوبی بر صفات مورد مطالعه مانند درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه، نسبت ساقه‌چه به ریشه‌چه، یکنواختی جوانه‌زنی و مدت زمان لازم جهت رسیدن به ٪۵۰ جوانه‌زنی داشت. درصد جوانه‌زنی بین تیمار شاهد تا غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری تفاوتی نداشت ولی در غلظت ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش و به ٪۷۵ رسید. با افزایش سطوح شوری مدت زمان لازم جهت جوانه‌زنی ۵۰٪ بذر، افزایش معنی‌داری داشت. سرعت جوانه‌زنی نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح شوری کاهش یافت. نسبت ساقه‌چه به

ریشه‌چه با افزایش شوری تا غلظت ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت ولی در غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر به حداکثر رسید. نتایج نشان داد که رقم Q26 کینوا در مرحله جوانه‌زنی، می‌تواند شوری ۳۰ دسی‌زیمنس را تحمل نماید. بنابراین، می‌توان عنوان کرد که این رقم مقاومت خوبی تا غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر کلریدسدیم داشته و می‌تواند پس از ارزیابی مزرعه‌ای و با توجه به شرایط اقلیمی مناسب رقم مطلوبی برای کشت در شرایط شور باشد.

شناسه مقاله
نوع مقاله: پژوهشی
تاریخ پژوهش: ۱۳۹۶
تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۰۸
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۱۰

واژه‌های کلیدی
- تندش
- تنش
- درصد جوانه‌زنی
- سرعت جوانه‌زنی
- کلریدسدیم

این مقاله با دسترسی آزاد تحت شرایط و قوانین The Creative Commons of BY - NC - ND انتشار یافته است.
10.22034/AEJ.2019.673021

مقدمه تنش شوری از تنش‌های مهم غیرزیستی است که فیزیولوژی گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد.[۱۲] شوری، تمام فرآیندهای اصلی مانند رشد، فتوسنتز، ساخت پروتئین، متابولیسم چربی‌ها و انرژی گیاه از مرحله جوانه‌زنی تا تولید دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.[۳۰] جوانه‌زنی پدیده‌ای پیچیده مشتمل بر تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بوده که حاصل فعال شدن جنین است. در بسیاری از گیاهان، جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه حساس‌ترین مراحل به تنش شوری هستند. شوری در مرحله اول سبب کاهش پتانسیل اسمزی شده و جذب آب توسط بذرها را کاهش می‌دهد و در مرحله دوم باعث سمیت یونی و ایجاد تغییر در فعالیت‌های آنزیمی درون بذر می‌گردد.[۲۹] شوری ممکن است موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی گردد که این امر منجر به کاهش رشد گیاه و عملکرد محصول نهایی می‌شود.[۶] نمک‌های محلول در آب و خاک از طریق کاهش پتانسیل اسمزی محیط رشد و سمیت یون‌های خاص باعث تأخیر در جوانه‌زنی، کاهش درصد و سرعت جوانه-زنی، کاهش رشد گیاهچه شده[۵] و فعالیت بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بذر را از طریق ممانعت از تنفس هوازی یا تحریک مراحل کاتابولیسمی تغییر می‌دهد.[۱۱]

گیاهان خانواده اسفناجیان[۱]، اکثراً گیاهانی کم‌توقع بوده و توانایی رشد و تولید در شرایط تنش‌زا و خاک‌های فقیر را دارا هستند. یکی از مهمترین گیاهان این خانواده کینوا می‌باشد.[۹] کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)، گیاهی یکساله، پهن برگ و دارای ریشه عمیق بوده که مقاومت بالایی در برابر تنش‌های غیرزنده مانند خشکی، سرما[۲۵] و شوری[۱] دارد. بیشتر ارقام کینوا به‌خوبی قابلیت رشد در شوری با غلظت ۴۰ دسی‌زیمنس‌برمتر[۲] و حتی بیشتر را هم دارند که این میزان شوری برای بیشتر گیاهان زراعی بیش از حد آستانه است.[۲۴] البته گزارش‌ها حاکی از آن است که مقاومت ارقام مختلف کینوا به شوری بسیار متفاوت است.[۱۷،۳۷] با توجه به روند شور شدن زمین‌های کشاورزی و همچنین گسترش خشکی، کینوا بهترین گیاه برای تأمین امنیت غذایی جوامع انسانی معرفی شده، به‌طوری که سال ۲۰۱۳ میلادی توسط سازمان خوار و بار جهانی[۳]، سال کینوا نام‌گذاری شد.[۱۳] کینوا یکی از مغذی‌ترین گیاهان دانه‌ای محسوب می‌شود.[۳۶] به‌دلیل دارا بودن ارزش غذایی بالا[۱۶] و همچنین تحمل به شرایط نامساعد محیطی، کینوا را اصلی‌ترین منبع جایگزین غلات عنوان کرده‌اند.[۴۵] یکی از دلایل علاقه‌مندی جهانی به این گیاه، خصوصیات تغذیه‌ای و مقاومت آن به تنش‌هاست.[۱۶] اگرچه کینوا به‌عنوان یک گیاه شورزیست اختیاری[۴] شناخته شده است، ولی گیاهان شورزیست[۵] نیز در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه بیشترین حساسیت را به تنش شوری دارند.[۱۸]

آزمایش‌های متعددی در ارتباط با تأثیر شوری روی خصوصیات جوانه‌زنی کینوا انجام گرفته است. غلظت بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم[۶] در جوانه‌زنی اکثر ژنوتیپ‌های کینوا تأثیرگذار نیست.[۳۸،۱۰،۲۰،۱۴] با این حال، غلظت‌های ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم شروع جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد.[۳۲،۳۵] در آزمایشی گزارش شد که سرعت جوانه‌زنی کینوا در غلظت‌های پایین شوری نسبت به آب خالص بیشتر است.[۳۳] در پژوهش دیگری، *مامدی و همکاران (۲۰۱۶)* گزارش کردند که درصد جوانه‌زنی بذرهای کینوا در غلظت‌های مختلف شوری با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت ولی سرعت جوانه‌زنی با افزایش سطوح شوری کاهش

[1] Chenopodiaceae
[2] decisiemens per meter (dS/m)
[3] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
[4] facultative halophyte
[5] halophytes
[6] NaCl

یافت.[۲۸] سطوح مختلف شوری بر سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن‌تر گیاهچه اثر نامطلوبی داشته و مقاومت ارقام مختلف به شوری متفاوت است.[۲۶]

با توجه به اهمیت کینوا در تغذیه انسان، حساس بودن مرحله جوانه‌زنی گیاهان به تنش شوری و متفاوت بودن تحمل به شوری در ارقام مختلف کینوا، آزمایش حاضر به‌منظور ارزیابی میزان تحمل به شوری رقم Q26 در مرحله جوانه‌زنی و معرفی ارقام مناسب جهت کاشت در خاک‌هایی با شوری مشخص اجرا گردید.

مواد و روش‌ها به‌منظور بررسی تحمل به شوری کینوای رقم Q26 در مرحله جوانه‌زنی آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار تحت شرایط آزمایشگاهی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف نمک کلریدسدیم (۰، ۴، ۸ ، ۱۲ ، ۱۶، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس‌برمتر) بود. به‌منظور انجام این آزمایش ابتدا بذرها با هیپوکلریت‌سدیم ۵٪ به‌مدت سه دقیقه ضدعفونی و سپس دو مرتبه با آب مقطر آبشویی شدند. ضدعفونی ظروف پتری و کاغذ صافی نیز در اتوکلاو با دمای ۱۲۱ سلسیوس انجام شد. بذرها پس از ضدعفونی در زیر هود قرار داده شد تا کاملاً خشک شوند. در محیط کاملاً استریل در درون هر ظرف پتری ۵۰ عدد بذر قرار داده شد و سپس سطوح مختلف شوری همراه با آب به تیمارها اضافه گردید. کل نمک محلول[۱] مورد نیاز برای تهیه غلظت‌های زیر ۵ دسی‌زیمنس بر متر از رابطه ۱ و برای غلظت‌های بالای ۵ دسی‌زیمنس بر متر از رابطه ۲ استفاده شد و هدایت الکتریکی[۲] نهایی مجدداً با هدایت سنج[۳] اندازه‌گیری گردید.[۲۱، ۴۰]

$$TDS_{(mg\ NaCl)} = EC \times 640 \qquad \text{رابطه ۱}$$

$$TDS_{(mg\ NaCl)} = EC \times 840 \qquad \text{رابطه ۲}$$

پس از اعمال تیمارها، ظرف‌های پتری در داخل اتاقک رشد با دمای ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۴۰٪ و نور ۲۷۰ تا ۳۷۰ لوکس قرار داده شدند و هر ۱۲ ساعت تعداد بذرهای جوانه‌زده شمارش گردید. معیار جوانه‌زنی بذر، خروج ریشه‌چه به طول تقریبی ۲ میلی‌متر بود. در پایان روز هفتم، درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن‌تر و خشک گیاهچه اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، از هر تیمار به صورت تصادفی ۱۰ بذر جوانه‌زده انتخاب و طول آنها اندازه‌گیری شد.[۲۲] درصد جوانه‌زنی[۴] طریق رابطه ۳ محاسبه گردید. [۳۴]

$$GP=100 \times NG / NT \qquad \text{رابطه ۳}$$

NG[۵] تعداد بذور جوانه‌زده، NT[۶] تعداد کل بذرها و GP درصد جوانه‌زنی بذر می‌باشد. سرعت جوانه‌زنی[۷] نیز از رابطه ۴ برآورد گردید.[۳۴]

$$GR= \Sigma N / DN \qquad \text{رابطه ۴}$$

که در آن GR سرعت جوانه‌زنی، N تعداد بذرهای جوانه‌زده در یک روز و DN تعداد روزها از زمان شروع جوانه‌زنی است. تعداد ۱۰ عدد دانهال[۸] انتخاب شده برای اندازه‌گیری طول ساقه‌چه و ریشه‌چه درون فویل‌های آلومینیومی گذاشته و به‌مدت ۲۴ ساعت در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و سپس وزن خشک دانهال‌ها با ترازوی دقیق و با دقت

[1] total dissolved solids (TDS)
[2] electrical conductivity (EC)
[3] EC meter
[4] germination percent (GP)
[5] germination number
[6] number total
[7] germination rate (GR)
[8] seedling

۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.[۲۳] پس از اتمام آزمایش، ۱۰ گیاهچه از هر ظرف پتری انتخاب و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با خط‌کش اندازه‌گیری گردید. [۲۲] یکنواختی جوانه‌زنی[1] نیز با استفاده از رابطه ۵ محاسبه گردید.[۴۳]

$$GU= D_{10} - D_{90}$$ رابطه ۵

که در آن D_{10} بیانگر مدت زمان تا ۱۰٪ جوانه‌زنی و D_{90} مدت زمان تا ۹۰٪ جوانه‌زنی می‌باشد. مدت زمان لازم جهت رسیدن به ۵۰٪ حداکثر جوانه‌زنی بذرها توسط برنامه Germin در محیط نرم‌افزار Excel محاسبه شد.[۴۲] ضریب آلومتری[2] نیز طبق رابطه ۶ از نسبت ساقه‌چه به ریشه‌چه به‌دست آمد.[۳۶]

$$CA= L_S / Lr$$ رابطه ۶

L_r طول ریشه چه و L_s طول ساقه‌چه را معرفی می‌نماید. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از برنامه SAS ver. 9.1 مورد تجزیه قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام گردید.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی نتایج بیانگر تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف شوری روی درصد جوانه‌زنی در سطح ۱٪ بود (جدول ۱). از نظر آماری درصد جوانه‌زنی تا غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر با تیمار شاهد تفاوتی نداشت ولی در غلظت ۴۰ دسی‌زیمنس‌برمتر کاهش قابل توجهی پیدا کرد (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان استنباط نمود که بذرهای رقم Q26 کینوا در مکش‌های پائین قادر به جذب آب بوده و تا غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس‌برمتر تحت تأثیر پتانسیل اسمزی قرار نمی‌گیرد. سرعت جوانه‌زنی بیانگر سرعت خروج ریشه‌چه از بذر بوده و با گونه گیاهی و ترکیبات موجود در بذر ارتباط نزدیکی دارد. پتانسیل آب در محیط، مؤثرترین عامل در جذب آب و آماس بذر است و تنش شوری جذب آب را کاهش می‌دهد. با کاهش جذب آب توسط بذر، قابلیت جوانه‌زنی کاهش و درصد جوانه‌زنی کم شود.[۲۷] مقاومت ژنوتیپ‌های کینوا به شوری متغییر است[۳،۳۹] و درصد جوانه‌زنی بذر کینوا تحت تأثیر غلظت‌های مختلف شوری قرار ندارد[۲۸] که با نتایج پژوهش حاضر تا غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس‌برمتر، همخوانی دارد. *پاناسیو و همکاران (۲۰۱۴)* نیز گزارش کردند که درصد جوانه‌زنی بذر کینوا تحت شرایط شوری نسبت به تیمار شاهد تفاوتی نداشت که همسو با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. ولی در پژوهشی کاهش درصد جوانه‌زنی بذر کینوا گزارش گردیده[۴] که برخلاف نتایج حاضر می‌باشد که به احتمال زیاد یک ژنوتیپ حساس به شوری بوده است.

طول ساقه‌چه و ریشه‌چه تأثیر سطوح مختلف شوری بر طول ساقه‌چه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). طول ساقه‌چه در غلظت ۸ دسی‌زیمنس‌برمتر به بالاترین مقدار و در غلظت ۴۰ دسی‌زیمنس‌برمتر به صفر تنزل یافت. طول ریشه‌چه نیز با افزایش شوری افزایش یافت و در غلظت ۱۲ دسی‌زیمنس‌برمتر به حداکثر خود رسید ولی در غلظت‌های بالاتر از ۱۲ دسی‌زیمنس‌برمتر، روند کاهشی داشت. کینوا یک گیاه شورزیست اختیاری است[۱۹] و شرایط مطلوب برای رشد کینوا شوری بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم است.[۲۰، ۴۴] به نظر می‌رسد که رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه در کینوا

[1] germination uniformity (GU)

[2] coefficient of allometry (CA)

در حضور غلظت‌های کم نمک در مقایسه با شرایط بدون شوری افزایش می‌یابد. ولی احتمالاً با افزایش یافتن غلظت نمک، حالت سمیت در گیاه اتفاق می‌افتد به‌همین دلیل رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه کاهش پیدا کرده است. نتایج نشان داد که رشد ساقه‌چه نسبت به ریشه‌چه از حساسیت بیشتری برخوردار است. پژوهشگران گزارش کرده‌اند که کاهش طول ساقه‌چه در اثر شوری می‌تواند به‌علت کاهش رشد سلول و ساخت مواد دیواره‌ای باشد.[۱۵] همچنین به‌نظر برخی از پژوهشگران، کاهش طول ساقه‌چه به‌دلیل تأثیر شوری بر فتوسنتز و فرآیندهای جانبی آن می‌باشد.[۷] *جمالی و همکاران (۲۰۱۶)* گزارش کردند که در شرایط تنش شوری طول ساقه‌چه و ریشه‌چه ارقام کینوا کاهش می‌یابد که با نتایج پژوهش حاضر هماهنگ است. همچنین گزارش‌ها حاکی از کاهش طول گیاه کینوا در اثر تنش شوری است.[۴] تحت تنش شوری عملکرد هورمون سیتوکینین در ریشه‌چه متوقف می‌شود بنابراین طول ریشه‌چه معیار مناسبی برای اندازه گیری تحمل به تنش شوری در گیاهان مختلف است.[۳۱] گزارش ها حاکی از آن است که مقدار اندک نمک در برخی گیاهان سبب افزایش رشد ریشه‌ها گردد که این احتمال بیشتر در مورد گیاهان شورزیست صادق است.[۴۶]

وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه اثر غلظت‌های نمک بر نسبت ساقه‌چه به ریشه‌چه از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بین تیمار شاهد تا غلظت ۱۲ دسی‌زیمنس‌برمتر تفاوتی در وزن خشک ساقه‌چه مشاهده نگردید ولی با افزایش غلظت نمک، وزن خشک کاهش یافت (جدول ۲). کاهش رشد و تقسیم سلولی در شرایط تنش می‌تواند سبب کاهش وزن خشک ساقه‌چه گردد. یکی دیگر از دلایل کاهش تجمع ماده خشک در گیاه تحت تنش شوری، کاهش غلظت کلروفیل و در نتیجه کاهش ساخت مواد فتوسنتزی لازم جهت رشد می‌باشد. وزن خشک ریشه‌چه در غلظت ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس‌برمتر بالاترین مقدار را داشت و با افزایش غلظت نمک روندی نزولی داشت (جدول ۲) که به‌نظر می‌رسد در غلظت‌های کم نمک، رشد ریشه‌چه بهبود یافته و در غلظت‌های بالا رو به کاهش می‌رود. همچنین می‌توان عنوان کرد که در شرایط شور بذر بیشترین اندوخته غذایی خود را به ریشه‌چه اختصاص می‌دهد تا بتواند از شرایط شور فرار کند به همین جهت رشد ریشه‌چه و در نهایت وزن خشک ریشه‌چه افزایش پیدا می‌کند. سمیت یون‌ها و جذب بیش از حد سدیم دلیل کاهش رشد گیاه در شرایط تنش شوری است و افزایش غلظت سدیم و کلر بر جذب رقابتی بسیاری از عناصر ضروری و انتخاب‌پذیری یونی در غشاء تأثیر گذاشته و منجر به کاهش وزن خشک گیاه می‌گردد.[۴۱] از سوی دیگر، کاهش در وزن خشک در پاسخ به شوری می‌تواند در نتیجه کاهش در وزن مواد مصرف شده در بذر و درصد کاهش در مواد ذخیره‌ای بذر باشد.[۸] وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه ارقام کینوا در شرایط تنش شوری کاهش می یابد.[۲۶] در پژوهش‌های دیگر گزارش کردند که در شرایط تنش شوری طول ریشه و ساقه کینوا کاهش می‌یابد[۴،۳۳] که همسو با نتایج پژوهش حاضر است.

نسبت ساقه‌چه به ریشه‌چه (ضریب آلومتری) سطوح مختلف شوری بر نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه اثرات متفاوتی

داشت. نسبت طول ساقه‌چه به ریشه‌چه در تیمار شاهد و غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس-برمتر با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشت. غلظت‌های پایین نمک سبب کاهش نسبت ساقه‌چه به ریشه‌چه گردید ولی در غلظت‌های ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس‌برمتر شوری این نسب افزایش پیدا کرد و در غلظت ۴۰ به حداقل خود رسید. افزایش ضریب آلومتری بر اثر کاهش در طول ریشه‌چه یا افزایش در طول ساقه‌چه حاصل می‌شود. افزایش ضریب آلومتری در غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس‌برمتر را می‌توان به‌دلیل افزایش طول ریشه‌چه نسبت به ساقه‌چه عنوان کرد. به نظر می‌رسد که در گیاه کینوا حساسیت ساقه‌چه به شوری بیشتر از ریشه‌چه باشد و از آنجا که در فرآیند جوانه‌زنی ابتدا ریشه‌چه ظاهر می‌شود می‌توان این گونه استنباط کرد که گیاه کینوا برای فرار از تنش شوری بیشترین اندوخته بذر را برای توسعه ریشه‌چه اختصاص می‌دهد. دلیل دیگر افزایش نسبت ساقه‌چه به ریشه‌چه در شرایط تنش شوری می‌تواند به‌علت کاهش بیشتر طول ریشه‌چه نسبت به ساقه‌چه باشد.

سرعت جوانه‌زنی سطوح شوری بر سرعت جوانه‌زنی اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱). با افزایش غلظت نمک، سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت به‌طوری که در غلظت ۴۰ دسی‌زیمنس‌برمتر به حداقل خود رسید (جدول ۲). *جمالی و همکاران (۲۰۱۶)* کاهش سرعت جوانه‌زنی ارقام کینوا تحت شرایط شوری را گزارش کرده-اند[۲۶] که همسو با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. کاهش در سرعت جوانه‌زنی به‌سبب تنش شوری، یک حد بحرانی در مناطق شور می‌باشد بنابراین یکی از مهمترین جنبه‌های زراعی استقرار گیاه، سرعت جوانه‌زدن تعداد مناسب بذر و استقرار آنها در مدت زمانی است که شرایط محیطی مناسب می‌باشد.[۲]

یکنواختی جوانه‌زنی غلظت نمک بر صفت یکنواختی جوانه‌زنی اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱). با افزایش غلظت نمک یکنواختی جوانه‌زنی بذر کاهش پیدا کرد (جدول ۲). کاهش یکنواختی جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری می‌تواند به‌علت کاهش سرعت جذب آب و کاهش سرعت خروج ریشه‌چه و ساقه‌چه باشد.

مدت زمان لازم تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی

مدت زمان لازم تا ۵۰٪ جوانه‌زنی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف شوری قرار داشت (جدول ۲). با افزایش سطوح شوری مدت زمان لازم تا ۵۰٪ جوانه‌زنی نیز افزایش یافت. تیمار شاهد کمترین و تیمار ۴۰ دسی‌زیمنس‌برمتر بیشترین زمان را نیاز داشت تا ۵۰٪ جوانه‌زنی بذرها در آن کامل شود. کاهش پتانسیل آب، علت اصلی تأخیر در جوانه‌زنی بذرها می‌باشد و فرآیند جذب آب تحت شرایط تنش شوری به کندی انجام می‌شود که این می‌تواند دلیل اصلی طولانی بودن زمان جوانه‌زنی بذر باشد.

نتیجه‌گیری کلی وجود نمک در محیط سبب کاهش صفاتی مانند درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه، نسبت ساقه‌چه به ریشه‌چه، یکنواختی جوانه‌زنی و مدت زمان لازم جهت رسیدن به ۵۰٪ جوانه‌زنی گردید ولی میزان کاهش این صفات در مقایسه با تیمار شاهد ناچیز بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که رقم Q26 کینوا به غلظت ۳۰ دسی‌زیمنس‌برمتر کلریدسدیم متحمل بوده و می‌تواند به راحتی در آن غلظت جوانه بزند، لذا جهت کشت در

مناطقی که با مشکل شوری مواجه هستند این رقم نیز می‌تواند پس از ارزیابی در مزارع مختلف و کسب نتایج مطلوب با ملاحظات اقتصادی لازم، جهت کشت در مناطقی که با مشکل شور بودن خاک یا آب مواجه هستند، توصیه گردد.

جدول ۱) تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف شوری بر خصوصیات جوانه زنی کینوا رقم Q26

Table 1) Variance analysis of effect of concentration salinity on germination characteristics in quinoa cultivar Q26

Source of Variation	Degrees of freedom	Germination percent	Shoot of length	Root of length	Dry weight of Shoot	Dry weight of root	Ratio shoot/ root	Germination rate	Germination uniformity	Time to 50 percent germination
Salinity level	7	216**	609**	1880**	0.107**	0.271**	2.48**	0.009**	552.72**	560.23**
error	24	31.66	14.62	164.89	0.003	0.011	0.23	0.0001	25.04	16.56
C.V %	-	6.11	16.72	31.22	16.43	30.18	40.43	9.67	21.17	29.56

* ، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۵ و ۱٪ عدم معنی‌داری

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

جدول ۲) مقایسات میانگین اثر غلظت‌های مختلف شوری بر خصوصیات جوانه زنی کینوا رقم Q26

Table 2) Mean comparisons of the effect of concentration salinity on germination characteristics in quinoa cultivar Q26

Treatment (salinity)	Germination percent (%)	Shoot of length (mm)	Root of length (mm)	Dry weight of Shoot (g)	Dry weight of root (g)	Ratio shoot/ root	Germination rate	Uniformity germination	Time to 50 percent germination
0 ds/m	96 a	26.05 dc	42.25 c	0.47 a	0.23 cd	2.09 a	0.15 a	-10.47 a	6.5 c
4 ds/m	98 a	29.85 bc	51.55 abc	0.45 a	0.41 b	1.12 bc	0.14 a	-13.56 b	6.69 c
8 ds/m	97 a	36.50 a	62.55 ab	0.47 a	0.74 a	0.64 cd	0.13 b	-20.94 cb	7.59 c
12 ds/m	94 a	33.90 ab	67.05 a	0.40 ab	0.73 a	0.60 cd	0.13 b	-17.74 c	7.61 c
16 ds/m	92 a	25 c	45.85 bc	0.32 bc	0.29 cb	1.16 cd	0.12 b	-22.43 cde	8.31 c
20 ds/m	90 a	21.82 d	40.85 c	0.31 c	0.21 cd	1.60 ab	0.09 c	-24.83 cd	11.04 c
30 ds/m	94 a	9.80 e	12.40 d	0.21 d	0.09 d	2.33 a	0.04 d	-31.10 ed	22.20 b
40 ds/m	75 b	0 f	6.45 d	0 de	0.08 d	0 d	0.02 e	-47.9 e	40.11 a

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

References

1. Adolf VI, Jacobsen SE, Shabala S (2013) Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environmental and Experimental Botany 92: 43–54.
2. Ajmal Khan M, Gulzar S (2003) Light, salinity and temperature effects on the seed germination of perennial grasses. American Journal of Botany 90:131-134.

3. Aloisi I, Parrotta L, Ruiz KB, Landi C, Bini L, Cai G, Biondi S, Del Duca S (2016) New insight into quinoa seed quality under salinity: changes in proteomic and amino acid profiles, phenolic content, and antioxidant activity of protein extracts. Frontiers in plant science 18(7): 1-21.
4. Arshadullah M, Suhaib M, RaheelBaber MU, Badar-uz-Zaman IAM, Hyder SI (2017) Growth of *Chenopodium quiona* willd. under naturally salt affected soils. Malaysian Journal of Sustainable Agriculture 1(1): 1-3.
5. Ashraf M, Harris PJC (2004) Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Science 160: 3-16.
6. Ashraf M, Foolad MR (2005) Pre-sowing seed treatment a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. Advances in Agronomy 88: 223–271.
7. Badger KS, Unger IA (1989) The effect of salinity and temperature on the germination of the inland halophyte *Hordeum japonicum*. Canadian Journal of Botany 67: 1420-1425.
8. Bavarsadi M, Modhej A, Majdam M (2017) Investigation the effect of salinity tension on germination, seedling growth and ionic content of alfalfa genotypes (*Medicago sativa* L.). Crop Physiology Journal 9(35):121-136.
9. Bhargava A, Shukla S, Ohri D (2006) *Chenopodium quinoa*: an Indian perspective. Industrial Crops and Products 23:73–87.
10. Delatorre-Herrera J, Pinto M (2009) Importance of ionic and osmotic components of salt stress on the germination of four quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) selections. Chilean Journal of Agricultural Research 69: 477-485.
11. Ejazrasll AW, Rehman A (1997) Germination response of sensitive and tolerant sugarcane lines to sodium chloride. Seed Science Technology 25: 465-471.
12. Fakhri Sh, Rahnama A, Meskarbashi M (2017) Effect of salinity stress on growth and distributions of tissue-specific ion in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences. 18(4): 302-318. [in Persian with English abstract]
13. FAO (2013) Nutritional value- International Year of Quinoa 2013. Available on-line as <http://www.fao.org/quinoa-2013/iyq/en/?no_mobile=1> on 22 December 2011.
14. Fischer S, Wilckens R, Jara J, Aranda M, Valdivia W, Bustamante L, Graf F, Obal I (2017) Protein and antioxidant composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sprout from seeds submitted to water stress, salinity and light conditions. Industrial Crops and Products 107, 558–564.
15. Francois LE (1994) Growth, seed yield and oil content of canola grown under saline conditions. Agronomy Journal 86: 233 - 234.
16. Fuentes F, Paredes-Gonzales X (2015) Nutraceutical perspectives of quinoa: biological properties and functional applications. Chapter 3.5. In FAO & CIRAD. State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013. FAO: 286–299.
17. Gómez-Pando LR, Álvarez-Castro R, de la Barra E (2010) Effect of salt stress on Peruvian germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd. a promising crop. Journal of Agronomy and Crop Science 196: 391–396.
18. Gul B, Ansari R, Flowers TJ, Khan MA (2013) Germination strategies of halophyte seeds under salinity. Environmental and Experimental Botany 92: 4–18.
19. Gunes A, Inal A, Alpaslan M, Eraslan F, Bagci EG, Cicek N (2007) Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. Journal of Plant Physiology 164: 728–736.
20. Hariadi Y, Marandon K, Tian Y, Jacobsen SE, 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.
21. Hanson BR, Grattan SR, Fulton A (1997) Electrical conductivity. Agricultural Salinity and Drainage. University of California irrigation program. Division of Agriculture and Natural Resources Publication: California.
22. International Seed Testing Association (ISTA) (2002) ISTA News Bulletin No. 124. Switzerland: Zurich.
23. International Seed Testing Association (ISTA) (1995) Handbook of Vigor test methods. International

Seed Testing Association. Switzerland: Zurich.
24. Jacobsen SE, 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. CIP Program Report: 403-408.
25. Jacobsen SE, Jensen CR, Liu F (2012) Improving crop production in the arid Mediterranean climate. Field Crops Research 128: 34-47.
26. Jamali S, Sharifan H, Hezarjaribi A, Sepahvand NA (2016) The effect of different levels of salinity on germination and growth indices of two cultivars of Quinoa. Journal of Water and Soil Resources Conservation 6(1):87-98. [in Persian with English abstract]
27. Khammari I, Sarani Sh, Dahmardeh M (2007) The effect of salinity on seed germination and growth in six medicinal plants. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 23: 331-339. [in Persian with English abstract]
28. Mamedi A, Tavakkol Afshari R, Sepahvand NA, Oweyse M (2016) Evaluation of various temperatures on Quinoa plant seeds under salinity stress. Iranian Journal of Field Crop Science 46(4): 583-589. [in Persian with English abstract]
29. Massai R, Remorin D, Tattini M (2004) Gas exchange, water relation and osmotic adjustment in tow scion/rootstock combinations of prunus under various salinity concentrations. Plant and Soil 259:153-162.
30. Naidoo G, Naidoo Y (2001) Effects of salinity and nitrogen on growth, ion relations and proline accumulation in *Triglochin bulbosa*. Wetlands Ecology and Management 9: 491-497.
31. Noor E, Azhar FM, Khan AL (2001) Differences in responses of *gossypium hirsutum* L. varieties to NaCl salinity at seedling stage. International Journal of Agriculture and Biology 3(4): 345-347.
32. Orsini F, Accorsi M, Gianquinto G, Dinelli G, Antognoni F, Carrasco KBR, Martinez EA, Alnayef M, Marotti I, Bosi S (2011) Beyond the ionic and osmotic response to salinity in *Chenopodium quinoa*: Functional elements of successful halophytism. Functional Plant Biology 38: 818–831.
33. Panuccio MR, Jacobsen SE, Akhtar SS, Muscolo A (2014) Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. Journal of the Annals of Botany Plants, 6:1-18.
34. Pirasteh Anoshe H, Sadeghi H, Emam, Y (2011) Chemical priming with urea and KNO_3 enhances maize hybrids (*Zea mays* L.) seed viability under abiotic stress. Journal of Crop Science and Biotechnology 14: 289-295. [in Persian with English abstract]
35. Prado FE, Boero C, Gallardo M, González JA (2000) Effect of NaCl on germination, growth, and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds. Botanical Bulletin- Academia Sinica Taipei 41: 27–34.
36. Reddy YTN, Khan MM (2001) Effect of osmopriming on germination, seedling growth and vigour of khirni (*Mimusops hexandra*) seeds. Seed Science Research 29(1): 24-27.
37. Ruiz KB, Biondi S, Oses R, Acuña-Rodríguez IS, Antognoni F, Martinez-Mosqueira EA, Coulibaly A, Canahua-Murillo A, Pinto M, Zurita-Silva A, Bazile D (2014) Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change: A review. Agronomy for Sustainable Development 34: 349–359.
38. Ruiz-Carrasco K, Antognoni F, Coulibaly AK, Lizardi S, Covarrubias A, Martínez EA, Molina-Montenegro MA, Biondi S, Zurita-Silva A (2011) Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. Plant Physiology and Biochemistry 49:1333–1341.
39. Shabala S, Hariadi Y, Jacobsen SE (2013) Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na^+ loading and stomatal density. Journal of Plant Physiology 170: 906–914.
40. Shainberg I, Oster JD (1978) Quality of irrigation water. International Irrigation Information Centre. IIIC Publication No. 2. Israel: Bet Dagan.
41. Shiyab S (2011) Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on macro and micro elements and protein content of hot pepper (*Capsicum annuum* L.). Journal of Food, Agriculture and Environment 9: 350-356.
42. Soltani A, Maddah V (2010) Simpie, applied programs for education and research in agronomy. Ecological Agriculture Association. Shahid Beheshti University press: Tehran. [in Persian]
43. Soltani A, Galeshi S, Zenali E, Latifi N (2001) Germination seed reserve utilization and growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Science and Technology 30:51-60.

44. Sun Y, Lindberg S, Shabala L, Morgan S, Shabala S, Jacobsen SE (2017) A comparative analysis of cytosolic Na^+ changes under salinity between halophyte quinoa (*Chenopodium quinoa*) and glycophyte pea (*Pisum sativum*). Environmental and Experimental Botany 141: 154–160.
45. Vega-Gálvez A, Miranda M, Vergara J, Uribe E, Puente L, Martínez EA (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(15): 2541-2547.
46. Wang Y, Li K, Li X (2009) Auxin redistribution modulates plastic development of root system architecture under salt stress in *Arabidopsis thaliana*. Journal of Plant Physiology 166(15): 1637-1645.

The effect of salinity stress on traits related to germination of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Agroecology Journal

Vol. 15, No. 3 (59-69)
(autumn 2019)

Hadi Salek Mearaji, Afshin Tavakoli ✉, Soheila Ghanimati, Parvin Kasirlou

Department of Production Engineering and Plant Genetics, University of Zanjan, Zanjan, Iran

✉ Tavakoli@znu.ac.ir **(corresponding author)**

Received: 29 June 2019 **Accepted:** 01 November 2019

Abstract Salinity is one of the most abiotic stress that cased reduce the yield of crops. Quinoa has role importance in human nutrition and have a high resistance to salinity stress. In order to investigate the effects of salinity stress on germination characteristics of quinoa cultivar Q26, experiment was conducted based a complete randomized design (CRD) with four replication. The treatments consisted of different concentrations of sodium chloride (NaCl) (0, 4, 8, 12, 16, 20, 30 and 40 dS/m) on the germination seed of quinoa under laboratory conditions. Salinity have undesirable effects on traits study such as germination percentage, germination rate, shoot and root length, shoot and root dry weight, stem-to-root ratio (Coefficient of Allometry), germination uniformity and time to 50 percent germination. The percent germination significantly reduce in 30 dS/m salinity, but many traits reduced in concentration 40 dS/m of NaCl. The percentage of germination was not significant between control and 30 dS/m treatment, but at 40 dS/m concentration reduced to 75 percent. With increase salinity levels, time to 50 percent germination increased significantly. Germination rate also reduced significantly by salinity levels. The shoot- to- root ratio decreased with increasing salinity up to 20 dS/m but reached a maximum at 30 dS/m The results showed that quinoa cultivar Q26 has high resistance to salinity stress in germination stage, therefore it can be said that this cultivar have a good resistance to 30 dS/m of sodium chloride and can be the best cultivar for saline condition after field evaluation and appropriate climate.

Keywords

- Germination
- Germination percent
- Germination rate
- NaCl
- Stress

This open-access article is distributed under the terms of the Creative Commons-BY-NC-ND which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

10.22034/AEJ.2019.673021