تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰
۱۱۰۵-۱۱۱۳
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3198.1817

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم آب آبیاری بر خصوصیات رشدی و عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)

فرهاد دهقانی[1*]، پریسا ملکی[2]، معصومه صالحی[1]، سعید سعادت[3]، حسینعلی بهرامی[4]

۱. استادیار و عضو هیئت‌علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز ملی تحقیقات شوری، یزد
۲. دانش‌آموخته مقطع دکتری دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳. دانشیار و عضو هیئت‌علمی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج
۴. استاد و عضو هیئت‌علمی دانشگاه تربیت مدرس، تهران

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۱۵

چکیده

محدودیت منابع خاک و آب موجب شده است که استفاده از منابع شور برای تولید محصولات کشاورزی و تأمین نیاز غذایی جمعیت جهان امری اجتناب‌ناپذیر باشد. اگرچه شوری موجب کاهش رشد و عملکرد در گیاهان می‌شود اما میزان شدت تأثیر منفی آن نه‌تنها به نوع و گونهٔ گیاه بلکه به مراحل رشد گیاه و ترکیب یونی آب در شرایط شور نیز بستگی دارد. نسبت کلسیم به منیزیم یکی از نسبت‌های مهم تعیین‌کنندهٔ کیفیت آب‌های شور و خیلی شور زیرزمینی یا زه‌آب‌های برگشتی و آب دریا برای استفاده در مصارف کشاورزی است؛ بنابراین، پژوهش حاضر با هدف تعیین اثر نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم آب آبیاری بر رشد و عملکرد گیاه کینوا در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح از نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم آب آبیاری برحسب میلی اکی والان بر لیتر شامل ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ بود که به‌صورت محلول غذایی پایه هوگلند و استفاده از نمک‌های سولفات منیزیم و کلرید سدیم تهیه شد. شوری محلول، متناسب با حد آستانه تحمل به شوری گیاه در همان مرحله رشد تنظیم گردید که شامل الف: سبز شدن (با شوری ۸ دسی زیمنس بر متر)، ب: گلدهی (با شوری ۱۵ دسی زیمنس بر متر) و ج: پر شدن دانه (با شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر) در محیط کشت بدون خاک بود. نتایج نشان داد درصد و غیریکنواختی سبز شدن بذور کینوا به نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم آب آبیاری واکنش نداشت، ولی افزایش میزان منیزیم سرعت سبز شدن بذور کینوا را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید. هرچند نتایج نشان داد که وزن تر و خشک بوته در مرحله گلدهی تحت تأثیر معنی‌دار نسبت کلسیم به منیزیم آب آبیاری قرارگرفته اما اثر بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود؛ بنابراین، رشد و عملکرد گیاه کینوا تحت تأثیر ترکیب یونی آب آبیاری از دیدگاه پایین بودن نسبت کلسیم به منیزیم قرار نگرفت، اما ترکیب یونی جذب‌شده و انباشته‌شده در درون بافت‌های گیاهی به‌طور معنی‌دار تغییر کرد. پس کینوا در مقایسه با سایر گیاهان زراعی مرسوم پتانسیل تولید عملکرد اقتصادی در شرایط شور را دارد و تحت تأثیر نسبت کلسیم به منیزیم منابع آب نیز قرار نمی‌گیرد؛ بنابراین با توجه به اینکه رشد و عملکرد کینوا با کاهش نسبت کلسیم به منیزیم آب آبیاری کاهش نیافته، می‌توان تولید اقتصادی این محصول را با استفاده از منابع با کیفیت پایین ازجمله زه آب‌های کشاورزی و یا ترکیب آب شیرین با آب دریا خصوصاً در شمال کشور را با لحاظ کردن مسائل مرتبط با حفظ کیفیت خاک امکان‌پذیر دانست

واژه‌های کلیدی: **ترکیب یونی، شورورزی، خاویار گیاهی**

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که کیفیت منابع خاک و آب زمین‌های کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در چنین شرایطی، امکان کشت گیاهانی ارزشمند با استفاده از منابع آب‌وخاک شور موجود، فرصتی برای بهره‌برداری

* نگارنده پاسخگو: فرهاد دهقانی. پست الکترونیک: dehghany47@gmail.com

پایدار و تأمین نیاز غذایی جامعه محسوب می‌شود. کینوا (Chenopodium quinoa Willd.) گیاه شورپسند اختیاری با سازگاری بسیار بالا به شرایط آب و هوایی گوناگون و ارزش غذایی بسیار بالا است. گزارش شده است که ارقام مختلف این گیاه می‌تواند در شرایط بسیار حاد محیطی همچون تحمل بسیار عالی در برابر سرما و یخبندان (Jacobsen et al., 2007)، تنش خشکی بلندمدت و شدید (Jacobsen et al., 2009)، تنش شوری (Wu et al., 2016 and Adolf et al., 2012)، تنش شوری و خشکی توأم (Razzaghi et al., 2011) و دامنه وسیعی از دما و تنش‌های زنده و غیرزنده (Jacobsen et al., 2003) رشد نموده، بنابراین می‌تواند درآمدزایی و تولید محصول در زمین‌هایی که امکان کشت بسیاری از محصولات در آن‌ها وجود ندارد را برای بسیاری از کشاورزان امکان‌پذیر می‌کند.

استفاده از منابع آب‌وخاک غیرمتعارف (آب‌وخاک شور) برای کشاورزی نیازمند مدیریتی صحیح و آگاهانه است. چراکه گزارش شده است تنش شوری تأثیر منفی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی و غیر زراعی داشته و بهره‌وری محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد (Babaie Zarch et al., 2018) و حتی گیاهی شورزیست مانند کینوا نیز از این قاعده مستثنا نیست و با افزایش شوری کاهش رشد و عملکرد آن گزارش شده است. در این راستا رزاقی و همکاران (Razzaghi et al., 2011) گزارش دادند که کینوا قادر است در شوری‌های شدید رشد کند، اما عملکرد دانه آن با افزایش شوری کاهش‌یافته و آستانه تحمل به شوری آن را بین ۳ تا ۶ دسی زیمنس بر متر است و در شوری ۲۴ دسی‌زیمنس بر متر با کاهش ۵۰ درصدی عملکرد دانه همراه بوده و در شوری ۵۱/۵ دسی‌زیمنس بر عملکرد اقتصادی آن به صفر می‌رسد. ملکی و همکاران (Maleki et al., 2018) گزارش دادند که گیاه کینوا در مرحله استقرار گیاهچه حساسیت نسبی بیشتری به شوری دارد و حد آستانه تحمل به شوری آن ۸ دسی‌زیمنس بر متر است. این در حالی است که حساسیت این گیاه نسبت به شوری با گذشت زمان کاهش یافته و حد آستانه تحمل به شوری آن در مرحله گلدهی و پر شدن دانه به ترتیب ۱۵ و ۲۰ دسی-زیمنس بر متر گزارش شد. هرچند نتایج تحقیقات دیگران اهمیت شوری خاک در کاهش کیفیت و کمیت محصولات زراعی را بیان کرده‌اند اما افزون بر شوری به‌عنوان شاخص اصلی کیفیت آب، ترکیب یونی آب نیز ممکن است به‌شدت متفاوت باشد. در شرایط شور، علاوه بر فشار اسمزی، گیاه مستعد صدمات ناشی از سمیت اختصاصی یون‌ها و یا ناهنجاری‌های تغذیه‌ای نیز هست. نوع و شدت عکس‌العمل گیاه به شوری به گونه گیاهی، نوع و غلظت یون‌ها، سطح شوری و شرایط محیطی بستگی دارد (Grattan and Grieve, 1999). ترکیب شیمیایی آب آبیاری و خاک بر یکدیگر اثرات متقابل دارند و مجموعاً بر جذب و انتقال آب و عناصر غذائی توسط گیاه اثر می‌گذارند. در بیشتر آب‌های شور کاتیون‌های غالب شامل Na^{+}، Ca^{2+} و Mg^{2+} و آنیون‌های غالب شامل Cl^{-}، SO_4^{2-} و HCO^{3-} است. جدا از تغییر در ترکیب شیمیایی، روابط جالبی نیز بین شوری و نسبت کاتیون‌ها در آب‌های جهان وجود دارد. نسبت سدیم به مجموع کلسیم و منیزیم (SAR) در آب آبیاری و یا عصاره خاک از معروف‌ترین و پرکاربردترین این نسبت‌هاست. در معرفی این نسبت توسط آزمایشگاه شوری خاک آمریکا، یون‌های کلسیم و منیزیم ازلحاظ تأثیر بر بهبود و حفظ ساختمان خاک مشابه فرض شده‌اند؛ اما همواره این حساسیت نیز وجود داشته که منیزیم می‌تواند باعث تخریب ساختمان خاک و ایجاد سولنتزهای منیزیمی شود. مطالعات آزمایشگاهی نیز دلالت بر این امر دارد که منیزیم تحت شرایط خاصی می‌تواند مخرب باشد (Bresler et al., 2012).

نسبت کلسیم به منیزیم از جمله شاخص های کیفی آب آبیاری است که مستقل از سطح شوری می‌تواند بر شرایط فیزیکی خاک و جذب عناصر تأثیر داشته باشد. نسبت کلسیم به منیزیم کوچکتر از یک و یا منیزیم تبادلی بالاتر از ۲۵ درصد به اندازه کافی برای کاهش کیفیت خاک و عملکرد محصول زیاد در نظر گرفته می‌شوند. (Chhabra, 2017; Qadir et al., 2018). خشک‌سالی‌های مکرر و برداشت بی‌رویه آب موجب افت شدید سطح آب و کاهش نسبت کلسیم به منیزیم در آب‌های زیرزمینی اغلب مناطق خشک کشور (یزد، فارس، کرمان، همدان و ...) شده است (Jalali and Moharrami, 2007; Dehghani et al., 2012) از سوی دیگر کمبود منابع آب غیرشور کشاورزان را بر آن داشته که از منابع آب نامتعارف (آب دریا، آب‌های شور برگشتی، آب فاضلاب و آب‌های شور فصلی) نیز در کشت و کار خود بهره گیرند؛ بنابراین، این پارامتر بسیار مهمی است که برای جلوگیری از خسارت به محصولات کشاورزی، در هنگام استفاده از آب‌های شور برای کشت و

کار باید مدنظر قرار گیرد. نسبت کلسیم به منیزیم بالاتر از عدد یک، در منابع حد مناسبی دانسته شده است؛ بنابراین استفاده از آب آبیاری دارای نسبت کلسیم به منیزیم کوچک‌تر از یک، به‌ویژه در شرایط شور بایستی بااحتیاط صورت گیرد. کلسیم به‌شدت با منیزیم رقابت می‌کند چون محل‌های پیوند موجود در غشاء پلاسمایی ریشه تمایل کمتری برای جذب یون منیزیم هیدراته نسبت به کلسیم دارند. ازاین‌رو زیادی غلظت کلسیم در محلول خاک منجر به افزایش کلسیم برگ و نهایتاً کاهش قابل‌توجه یون منیزیم خواهد شد؛ که در این راستا کارتر و همکاران (Carter et al., 1979) نشان داد که تحت تنش شوری، افزایش نسبت کلسیم به منیزیم میزان فتوسنتز و راندمان مصرف آب را در ذرت کاهش می‌دهد. از سویی، آبیاری گندم با آبی با شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر با نسبت کلسیم به منیزیم برابر با ۴ نیز موجب کاهش عملکرد دانه شده است.

در حال حاضر گیاه کینوا یکی از گزینه‌های اصلی تولید و بهره‌وری در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا که اغلب از شوری خاک رنج می‌برند، به شمار می‌آید و تاکنون پژوهش‌هایی بسیاری در این زمینه صورت گرفته و گزارش شده است که برخی ژنوتیپ‌های این گیاه تا شوری‌های ۵۰ دسی زیمنس بر متر نمک NaCl (شوری نزدیک آب دریا) نیز توانایی تولید دانه را دارند. این در حالی است که نسبت کلسیم به منیزیم یکی از نسبت‌های مهم و تعیین‌کننده در کیفیت آب‌های نامتعارف است. با توجه به پتانسیل بالایی که گیاه کینوا برای کشت با این منابع آب دارد، تاکنون تأثیر نسبت کلسیم به منیزیم بر رشد و عملکرد کینوا موردبررسی قرار نگرفته است؛ بنابراین هدف از اجرای این تحقیق بررسی اثر نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم در آب آبیاری بر پارامترهای رشد و عملکرد گیاه کینوا بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم آب آبیاری بر رشد و عملکرد گیاه کینوا، سه آزمایش جداگانه در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب (دمای روزانه و شبانه ۲۰ و ۱۶ درجه سانتی‌گراد با طول روز ۱۴ ساعت) در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول غذایی با سه سطح از نسبت‌های مولی کلسیم به منیزیم شامل ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ بود که با استفاده از ترکیب پایه محلول هوگلند (Hoagland et al., 1950) و نمک‌های سولفات منیزیم و کلرید سدیم تهیه شد (جدول ۱). آزمایش با روش کشت بدون خاک و در بستر پرلیت صورت گرفت.

جدول ۱. ترکیب عناصر غذایی موجود در محلول غذایی با پایه هوگلند

Table 1. The combination of the nutrients based on Hoagland solution

Nutrients	عناصر غذایی	مقدار عناصر غذایی در تیمارهای آزمایش The amount of nutrients in the treatments Ca/Mg=0.25	Ca/Mg=0.5	Ca/Mg=1
		---------- g/100lit ----------		
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	نیترات کلسیم	15.08	15.08	15.08
KNO_3	نیترات پتاسیم	6.45	6.45	6.45
KH_2PO_4	مونوفسفات پتاسیم	2.65	2.65	2.65
$MgSO_4.7H_2O$	سولفات منیزیم	62.93	31.46	15.73
K_2SO_4	سولفات پتاسیم	2.78	2.78	2.78
$FeNO_3.9H_2O$	نیترات آهن	0.125	0.125	0.125
$FeCl_3$+HEDTA	کلرید آهن + HEDTA	0.783	0.783	0.783
$MnCl_2.4H_2O$	کلرید منگنز	0.017	0.017	0.017
$ZnSO_4.7H_2O$	سولفات روی	0.025	0.025	0.025
$CuSO_4.5H_2O$	سولفات مس	0.0008	0.0008	0.0008
$Na_2MO_4.2H_2O$	مولیبدات سدیم	0.0007	0.0007	0.0007
H_3BO_3	بوریک اسید	0.0042	0.0042	0.0042
Ca	کلسیم	2.55	2.55	2.55
Mg	منیزیم	12.59	6.30	3.14

در هر یک از مراحل رشد شوری محلول متناسب با حد آستانه تحمل به شوری گیاه در همان مرحله (Maleki et al., 2018) تنظیم شد. این تحقیق در سه مرحله مختلف رشد گیاه کینوا شامل الف: سبز شدن (با شوری ۸ دسی زیمنس بر متر)، ب: گلدهی (با شوری ۱۵ دسی زیمنس بر متر) و ج: پر شدن دانه (با شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر) صورت گرفت. در این تحقیق هر یک از واحدهای آزمایشی با ۲/۵ کیلوگرم پرلیت شسته و خشک‌شده، پر شدند. برای اجرای این تحقیق ۱۰۰ عدد بذر کینوا در گلدان‌ها کشت شد و آبیاری گلدان‌ها با شوری ۸ دسی زیمنس بر متر به همراه تیمارهای موردنظر انجام شد. پس از استقرار گیاهچه‌های کینوا و تنک کردن آن‌ها به ۶ بوته در گلدان، آبیاری هر گلدان با شوری ۱۵ دسی زیمنس بر متر به همراه تیمارهای موردنظر انجام شد و درنهایت بعد از اطمینان از پایان مرحله گلدهی آبیاری گلدان‌های باقی‌مانده تا رسیدگی فیزیولوژیک کینوا با شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر به همراه تیمارهای موردنظر انجام گرفت.

محلول‌های غذایی پس از تنظیم شوری و نسبت کلسیم به منیزیم به مخزن¬های مجزا انتقال داده شد. آبیاری با استفاده از چهار نازل در هر گلدان و استفاده از روش قطره‌ای صورت گرفت. تنظیم نازل‌ها با توجه به مقدار آب موردنیاز برای آبیاری گیاه در کل دورهٔ رشد به‌صورت میلی‌لیتر در ساعت و با فشار پمپ انجام شد. انتهای هر خط آبیاری به‌گونه‌ای طراحی شد که آب و محلول غذایی اضافی از سیستم خارج شده و مجدداً به داخل مخزن مربوطه برگشت یابد. آبیاری به‌صورت روزانه انجام شد و پس از هر مرحله آبیاری، حجم، شوری و pH زه‌آب گلدان‌ها اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری در این تحقیق به‌صورت تخریبی بود. در مرحله سبز شدن بذور سبز شده به‌صورت روزانه شمارش و درصد، سرعت و غیریکنواختی سبز شدن محاسبه شد. در آزمایش تا انتهای مرحله گلدهی، پس از برداشت گیاهان صفات رویشی گیاه و غلظت کاتیون‌هایی همچون پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در کل گیاه اندازه‌گیری شد. در آزمایش تا پر شدن دانه نیز پس از برداشت گیاهان در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک عملکرد دانه و وزن هزار دانه موردبررسی قرار گرفت.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و رویه GLM انجام گرفت و مقایسه میانگین با LSD محافظت‌شده در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

مرحله سبز شدن

نتایج نشان داد که حداکثر درصد و غیریکنواختی سبز شدن بذور کینوا تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار نگرفته است (جدول ۲)؛ اما سرعت سبز شدن بذور کینوا تحت تأثیر معنی‌دار نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم آب آبیاری قرار گرفت. نتایج نشان داد که سرعت سبز شدن در نسبت ۰/۵ کلسیم به منیزیم بیش از دو تیمار دیگر بود. چراکه گزارش شده است وجود منیزیم در غلظت‌های کم موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌شود؛ اما در غلظت‌های زیاد از طریق ایجاد سمیت سرعت جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد و در غلظت‌های بسیار زیاد موجب مرگ گیاهچه می‌شود (Brandenburg and Kleier, 2011). توکلی و همکاران (Tavakoli et al., 2016) نیز گزارش دادند که افزایش منیزیم در محیط کشت موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی بذور کنجد (*Sesamum indicum* L.) شده است.

مرحله گلدهی

نتایج نشان داد که نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم آب آبیاری تأثیر معنی‌داری بر تعداد ساقه جانبی، طول پانیکول، وزن تر ریشه گیاه نداشت (جدول ۳ و ۴)؛ اما تفاوت معنی‌دار تعداد برگ، ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک پانیکول و وزن تر و خشک کل بوته و همچنین غلظت عناصر کلسیم، منیزیم، پتاسیم، فسفر و سدیم در بافت‌های گیاه در زمان گلدهی بود (جدول ۳، ۴ و ۵).

نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که در سطح ثابتی از شوری (۱۵ دسی زیمنس بر متر) با وجود تغییر بسیار معنی‌دار ترکیب عناصر جذب‌شده توسط گیاه تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم، تغییر معنی‌داری بر برخی پارامترهای مربوط به رشد گیاه همچون تعداد ساقه جانبی و طول پانیکول وجود نداشته است و با کاهش نسبت کلسیم به منیزیم از ۱ به ۰/۵ تعداد برگ در بوته کینوا ۲۲ درصد افزایش داشته است. هرچند ارتفاع بوته کاهش یافت. برخلاف بسیاری از گیاهان غیرهالوفیت که ترکیب عناصر تشکیل‌دهندهٔ شوری نیز بر میزان آسیب‌دیدگی آن‌ها از تنش تأثیرگذار است، گیاه کینوا به‌عنوان یک گیاه هالوفیت اختیاری نسبت به ترکیب املاح ایجادکنندهٔ شوری از دیدگاه نسبت کلسیم به منیزیم متحمل به نظر می‌رسد.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مرتبط با سبز شدن و عملکرد دانه کینوا

Table 2. Mean square of traits under irrigation regime, superabsorbent and micronutrient

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مرحله سبز شدن Emergence stage			پر شدن دانه Grain filling stage	
		سبز شدن Emergence (%)	غیریکنواختی سبز شدن Non-uniformity of emergence (Hours)	سرعت سبز شدن Emergence rate (Seed hour^{-1})	وزن هزار دانه grain 1000 weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (g p^{-1})
تیمار (Treatment)	2	40.14^{ns}	373.02^{ns}	0.001*	0.074*	0.074^{ns}
خطا (Error)	9	33.25	327.38	0.0001	0.018	0.028
ضریب تغییرات (%) (CV)		*10.15*	*21.17*	*11.62*	*4.49*	*5.02*
تیمار آزمایش Treatments Ca/Mg	0.25	60^{a}	77.88^{a}	0.016^{b}	2.95^{b}	3.38^{a}
	0.5	53.67^{a}	77.73^{a}	0.020^{a}	3.17^{a}	3.46^{a}
	1	56.67^{a}	83.16^{a}	0.016^{b}	2.92^{b}	3.20^{a}

**: معنی‌داری در سطح ۱٪ *: معنی‌داری در سطح ۵٪ ns: غیر معنی‌دار

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، ازلحاظ آزمون FLSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

**: significant at 1% *: significant at 5% ns: non-significant

In each column means with at least one similar letter do not have significant differences based on FLSD test at 5% level

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات رویشی کینوا در مرحله گلدهی

Table 3. Analysis of variance and mean comparison of vegetative traits of quinoa in flowering stage

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	مرحله گلدهی Flowering Stage					
			تعداد برگ Leaves number	تعداد ساقه shoot number	طول سنبله پانیکول length	ارتفاع بوته Plant height	وزن تر ریشه Fresh root weight	وزن خشک ریشه Dry root weight
				g p^{-1}	----------cm----------		----------g.p^{-1}----------	
Treatment	تیمار	2	7.41**	0.001^{ns}	1.25^{ns}	99.51*	0.0013^{ns}	0.002*
Error	خطا	9	0.728	0.0061	1.06	20.98	0.0013	0.0003
CV. (%)	ضریب تغییرات		*6.21*	*7.85*	*6.04*	*9.96*	*2.5*	*1.38*
Treatments Ca/Mg	تیمار	0.25	13.72^{b}	1^{a}	16.53^{a}	41.83^{b}	1.46^{a}	1.37^{a}
		0.5	15.11^{a}	1^{a}	16.3^{a}	44.66^{ab}	1.48^{a}	1.38^{a}
		1	12.38^{b}	1^{a}	15.46^{a}	51.53^{a}	1.45^{a}	1.33^{b}

**: معنی‌داری در سطح ۱٪ *: معنی‌داری در سطح ۵٪ ns: غیر معنی‌دار

میانگین‌ها در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، ازلحاظ آزمون FLSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

**: significant at 1% *: significant at 5% ns: non-significant

In each column means with at least one similar letter do not have significant differences based on FLSD test at 5% level

نتایج این تحقیق نشان داد بیشترین مقدار عناصر فسفر، منیزیم و کمترین مقدار عناصر کلسیم و سدیم در تیمار نسبت ۰/۲۵ کلسیم به منیزیم وجود داشته است (جدول ۴). نکته قابل‌توجهی که درباره نسبت کلسیم به منیزیم در بافت‌های گیاه کینوا وجود دارد این است که این نسبت در داخل بافت‌های گیاه با نسبت این دو عنصر در محلول غذایی متفاوت بود. نتایج نشان داد که نسبت کلسیم به منیزیم در داخل بافت‌های گیاه در تیمار نسبت ۱ که در آن کلسیم برابر با منیزیم بود، به ۱/۱۸ افزایش یافته است؛ یعنی گیاه کلسیم بیشتری را نسبت به منیزیم جذب کرده است؛ اما با تغییر نسبت کلسیم به منیزیم به ۰/۵ که در آن کلسیم نصف منیزیم بود به ۰/۸۶ افزایش یافته است؛ یعنی

در داخل گیاه به‌جای اینکه منیزیم دو برابر کلسیم باشد ۱/۱۶ برابر کلسیم است. پس در این تیمار هم گیاه کلسیم بیشتری در مقایسه با منیزیم جذب کرده است. این در حالی است که در تیمار (۰/۲۵) که در آن منیزیم چهار برابر کلسیم بود، در داخل گیاه این نسبت به ۰/۶۳ افزایش یافته است؛ یعنی منیزیم تنها ۱/۵۹ برابر کلسیم است. در این راستا ویلسون و همکاران (Wilson et al., 2002) گزارش دادند که در شرایط شور گیاه کینوا دارای قابلیت جذب و انتقال انتخابی عناصر است. آن‌ها به این نکته اشاره داشتند که افزایش غلظت منیزیم در آب آبیاری موجب افزایش جذب کلسیم شده است؛ اما جذب منیزیم در برگ‌ها تا شوری ۱۹ دسی‌زیمنس بر متر و در ساقه تا شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر تغییر معنی‌داری نشان نداد. همچنین در این پژوهش به این نکته اشاره شده است که با افزایش شوری، قابلیت جذب انتخابی کلسیم به منیزیم هم در ساقه و هم در برگ افزایش یافت.

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین ترکیب یونی انباشته‌شده در بافت گیاه کینوا در مرحله گلدهی

Table 4. Analysis of variance and mean comparison of ion accumulated in the plant tissue of quinoa in flowering stage

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	مرحله گلدهی Experiment B: Flowering Stage				
			K	Mg	Ca	P	Na
			---------- (%) ----------				
Treatment	تیمار	2	0.6068**	0.0977**	0.0327**	0.00174*	0.1823**
Error	خطا	9	0.0435	0.0008	0.0007	0.00040	0.0084
(CV) (%)	ضریب تغییرات		*6.04*	*3.53*	*3.72*	*3.85*	*4.73*
تیمار آزمایش Treatments Ca/Mg		0.25	3.596a	0.991a	0.62c	0.547a	1.708b
		0.5	3.747a	0.829b	0.7125b	0.508b	1.987a
		1	3.009b	0.679c	0.800a	0.516ab	2.128a

**: معنی‌داری در سطح ۱٪ *: معنی‌داری در سطح ۵٪ ns:غیر معنی‌دار

میانگین‌ها در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، ازلحاظ آزمون FLSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

**: significant at 1% *: significant at 5% ns: non-significant

In each column means with at least one similar letter do not have significant differences based on FLSD test at 5% level

توانایی گیاه کینوا در جذب انتخابی عناصر موجب شده است که نسبت کلسیم به منیزیم در داخل بافت‌های گیاه تنظیم‌شده و مانع از آسیب به گیاه شود. به نظر می‌رسد دلیل جذب بیشتر کلسیم توسط گیاه کینوا نیاز زیاد این گیاه به کلسیم در شرایط وجود تنش شوری است. چراکه در سطوح بالای شوری، بلورهایی از اکسالات کلسیم در سطح بیرونی برگ کینوا شکل می‌گیرد که این مکانیسمی برای مبارزه با از دست رفتن آب (دهیدراسیون) (Garcia, 2003; Riccardi et al., 2014; De Pascale et al., 2003) و یکی از مکانیسم‌های تحمل به تنش شوری در گیاهان شورزیست ازجمله کینوا است. در پژوهشی به توانایی گیاه کینوا در تنظیم اسمزی و جذب انتخابی عناصر به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های تحمل به شوری در این گیاه اشاره شده است. در همین پژوهش به توانایی گیاه کینوا در تنظیم اسمزی از طریق نسبت سدیم به پتاسیم نیز اشاره شده است (Hariadi et al., 2010). در شرایط شور و با افزایش شوری، غلظت سدیم در بافت‌های گیاهی افزایش می‌یابد؛ بنابراین، گیاه برای جلوگیری از تجمع بیش‌ازحد املاح در بافت‌ها و آسیب، مقداری پتاسیم را آزاد می‌کند و غلظت پتاسیم در بافت‌ها کاهش می‌یابد. این مسئله در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد. به‌طوری‌که در تیمار نسبت کلسیم به منیزیم ۱ که غلظت سدیم زیاد بود غلظت پتاسیم کم و بالعکس در تیمار نسبت کلسیم به منیزیم ۰/۲۵ غلظت سدیم کم و پتاسیم بیشتر بود. از سویی جذب پتاسیم توسط گیاه به‌شدت تحت تأثیر غلظت کلسیم است. چراکه بین این دو عنصر اثرات آنتاگونیستی وجود دارد و درجایی که کلسیم بیشتر است پتاسیم کمتری جذب می‌شود.

یکی از پارامترهایی که تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم آب آبیاری تغییر کرد، وزن خشک بوته و اندام‌های مختلف گیاه (ریشه، ساقه و پانیکول) در زمان گلدهی بود. در این تحقیق با تغییر نسبت کلسیم به منیزیم

آب آبیاری از ۱ به ۰/۲۵، وزن خشک پانیکول، ریشه، ساقه و کل بوته در زمان گل‌دهی به ترتیب ۵/۴، ۳/۲، ۱۷/۵، ۱۰/۴۹ درصد افزایش و وزن تر پانیکول، ریشه، ساقه و کل بوته در زمان گل‌دهی به ترتیب ۱۱/۲، ۱/۲، ۱۵/۰۳ و ۱۲/۰۵ درصد افزایش داشته است. کمتر بودن وزن خشک ساقه در تیمار نسبت کلسیم به منیزیم ۱ (میزان مولی کلسیم و منیزیم آب آبیاری برابر است) با توجه به وجود تفاوت معنی‌دار بین وزن تر نشان می‌دهد که این تیمار دارای مقدار آب بیشتری در بافت‌های گیاهی خود بوده است. علت این امر را می‌توان با غلظت بیشتر املاح کلسیم و سدیم در بافت‌های گیاهی این تیمار مرتبط دانست (جدول ۴). بیشتر بودن غلظت این دو عنصر در بافت‌های گیاهی موجب شده است که گیاه در طی رشد آب بیشتری را جذب کند. در این راستا ساواس و همکاران (Savvas et al., 2015) به بررسی میزان جذب آب در سطوح مختلف تجمع کلریدسدیم در خیار در یک سیستم بستهٔ هیدروپونیک پرداخت؛ که گزارش شد که مقدار جذب آب توسط گیاه خیار بستگی به مقدار املاح در بافت‌های گیاه دارد. در سطوح برابر شوری در محیط ریشه، هرقدر تجمع املاح در بافت‌های گیاه بیشتر باشد پتانسیل اسمزی در داخل بافت گیاه کاهش می‌یابد. درنتیجهٔ این کاهش، پتانسیل هیدرولیکی در داخل گیاه در مقایسه با محیط ریشه کاهش یافته و موجب افزایش جذب آب توسط گیاه می‌شود. تجمع یون‌ها در شیره گیاهی آوند چوبی موجب کاهش شدید پتانسیل شیره‌ی گیاهی می‌شود. همین مسئله موجب افزایش جذب آب توسط گیاه می‌گردد (Shabala et al., 2010).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین وزن تر و خشک اندام‌های هوای کینوا در مرحله گلدهی

Table 5. Analysis of variance and mean comparison of Shoot fresh and dry weight of quinoa in flowering stage

		مرحله گلدهی Experiment B: Flowering Stage					
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر پانیکول Fresh Spike weight	وزن خشک پانیکول Dry Spike weight	وزن تر ساقه Fresh shoot weight	وزن خشک ساقه Dry shoot weight	وزن تر کل بوته Fresh plant weight	وزن خشک بوته Dry plant weight
		---------- g.pl^{-1} ----------					
تیمار Treatment	2	0.022**	0.0012*	1.220*	0.137**	1.536**	0.206**
خطا Error	9	0.002	0.0002	0.241	0.005	0.228	0.006
ضریب تغییرات (%) (CV)		*3.01*	*2.26*	*7.77*	*3.42*	*5.21*	*1.81*
تیمار آزمایش Treatments Ca/Mg	0.25	1.45^{a}	0.7^{a}	6.54^{a}	2.21^{a}	9.47^{a}	4.29^{a}
	0.5	1.36^{b}	0.68^{ab}	6.72^{a}	2.19^{a}	9.57^{a}	4.26^{a}
	1	1.30^{b}	0.66^{b}	5.69^{b}	1.88^{b}	8.45^{b}	3.88^{b}

** معنی‌داری در سطح ۱٪ *: معنی‌داری در سطح ۵٪، ^{ns}: غیر معنی‌دار

میانگین‌ها در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، ازلحاظ آزمون FLSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

**: significant at 1% *: significant at 5% ^{ns}: non-significant

In each column means with at least one similar letter do not have significant differences based on FLSD test at 5% level

پر شدن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم تأثیر معنی‌داری بر وزن دانه نداشته اما وزن هزار دانه کینوا معنی‌دار بود (جدول ۲). در این تحقیق بیشترین وزن هزار دانه و عملکرد دانه در تیمار نسبت ۰/۲۵ و ۰/۵ کلسیم به منیزیم مشاهده شد، به نظر می‌رسد توانایی گیاه کینوا در تنظیم جذب عناصر مانع از جذب بیش‌ازحد منیزیم توسط گیاه شده و به همین طریق از آسیب منیزیم به‌تمامی بخش‌های گیاه ازجمله دانه جلوگیری کرده است و عملکرد دانه تحت تأثیر قرار نگرفته است.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان داد که منیزیمی شدن آب آبیاری و کاهش نسبت کلسیم به منیزیم آن در محدوده مشاهده‌شده

در اکثر منابع آبی کشور، موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه کینوا نمی‌شود؛ بنابراین، درصورتی‌که حد آستانه تحمل به شوری گیاه رعایت شود، پایین بودن کیفیت آب از دیدگاه غلظت بالای منیزیم موجب آسیب به گیاه نخواهد شد و همین امر می‌تواند کشت این گیاه را با منابع آب‌شور ازجمله آب مخلوط با آب دریا را امکان‌پذیر نماید.

منابع

Adolf, V.L., Shabala, S., Anderson, M., Razzaghi, F., Jacobsen, S.V., 2012. Vertical differences of quinoa's tolerance to saline conditions. Plant and Soil. 357, 117-129.

Babaie Zarch, M.J., Mahmoodi, S., Eslami, S.V., Zamani, G.R., 2019. Evaluating the competition of tumble pigweed (*Amaranthus albus* L.), common purslane (*Portulaca oleracea* L.) and common millet (*Panicum miliaceum* L.) competition under salinity stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 573-583. [In Persian with English Summary].

Brandenburg, W., Kleier, C., 2011. Effect of $MgCl_2$ on germination, growth and biomass allocation of the radish CV. "Cherry Belle". American Journal of Environmental Sciences. 7, 132.135.

Bresler, E., McNeal, B.L., Carter, D.L., 2012. Saline and Sodic Soils: principles-dynamics-modeling (Vol. 10). Springer Science and Business Media.

Carter, M.R., Webster, G.R., Cairns, R.R., 1979. Calcium deficiency in some Solonetzic soils of Alberta. Journal of Soil Science. 30, 161–174.

Chhabra, R. 2017. Soil salinity and water quality. A.A. Balkema Publishers. USA. 53p.

De Pascale, S., Ruggiero, C., Barbieri, G., Maggio, A. 2003. Physiological responses of pepper to salinity and drought. Journal of the American Society for Horticultural Science. 128, 48-54.

Dehghani, F., Rahnemaie, R., Malakouti, M.J., Saadat, S., 2012. Investigating Calcium to Magnesium Ratio Status in Some Irrigation Water in Iran. Journal of water research in agriculture. 26, 113-125.

Garcia Cardenas, M., 2003. Agroclimatic study and drought resistance analysis of quinoa for an irrigation strategy in the Bolivian Altiplano. Phd dissertation Faculty of Bioscience Engineering. Catholic University of Leuven. Belgium.

Grattan, S., Grieve, C., 1999. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessarakli, M. (ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. New York: Marcel Dekker. 203-229.

Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S.E., Shabala S., 2010. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. Journal of Experimental Botany. 62, 185-193.

Hoagland, D.R., Arnon, D.I., 1950. The water-culture method for growing plants without soil." Circular. California agricultural experiment station 347. 2nd edit.

Jacobsen, S.E., Liu F., Jensen, C.R., 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Scientia Horticulturae. 122, 281-287.

Jacobsen, S.E., Monteros, C., Christiansen, J.L., Bravo, L.A., Corcuera, L.J., Mujica, A., 2007. Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). European Journal of Agronomy. 26, 471-475.

Jacobsen, S.E., Mujica, A., Jensen, C.R., 2003. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. Food Reviews International. 19, 99–109.

Jalali, M., Moharrami, S., 2007. Competitive adsorption of trace elements in calcareous soils of western Iran. Geoderma. 140, 156–163.

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(15), 1815-1825.

Qadir, M., Schubert, S., Oster, J.D., Sposito, G., Minhas, P.S., Cheraghi, S.A.M., Murtaza, G., Mirzabaev, A., Saqib, M., 2018. High magnesium waters and soils:

Emerging environmental and food security constraints .Science of the Total Environment. 642, 1108-1117.

Razzaghi, F., Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., Andersen, M.N., 2015. Ionic and photosynthetic homeostasis in quinoa challenged by salinity and drought–mechanisms of tolerance. Functional Plant Biology. 42, 136-148.

Riccardi, M., Pulvento, C., Lavini, A., d'Andria, R., Jacobsen, S.E., 2014. Growth and ionic content of quinoa under saline irrigation. Journal of Agronomy and Crop Science. 200, 246-260.

Savvas, D., Meletiou, G., Margariti, S., Tsirogiannis, I., Kotsiras, A., 2005. Modeling the relationship between water uptake by cucumber and NaCl accumulation in a closed hydroponic system. HortScience. 40, 802-807.

Shabala, S., Shabala, S., Cuin, T.A., Pang, W., Percey, Z., Chen, S., Conn, C., Eing, H., Wegner, L.H., 2010. Xylem ionic relations and salinity tolerance in barley. The Plant Journal. 61, 839-853.

Tavakoli, N., Ebadi, A., Tavakoli, H., Tizfahm, P., 2016. Pretreatment of sesame seed (*Sesamum indicum* L.) with proline and its effective on seed germination and plant physiological defense systems under different temperature regimes. Journal of Crop Ecophysiology. 38, 509-528. [In Persian with English Summary].

Wilson, C., Read, J.J., Abo-Kassem, E., 2002. Effect of mixed-salt salinity on growth and ion relations of a quinoa and a wheat variety. Journal of Plant Nutrition. 25, 2689-2704.

Wu, G., Peterson, A.J., Morris, C.F., Murphy, K.M., 2016. Quinoa seed quality response to sodium chloride and sodium sulfate salinity. Frontiers in plant science. 7, 1-8.