نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 29، شماره 3، پاییز 1394، ص. 425-416
شاپا: 4730 - 2008

Journal of Horticultural Science
Vol. 29, No. 3, Fall 2015, P. 416-425
ISSN: 2008 - 4730

بررسی تأثیر تنش شوری روی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های مرکبات

بهروز گلعین[1*]- ولی ربیعی[2]- فائزه میرعباسی[3]- رضا فیفایی[4]- محمد فاضل حلاجی ثانی[5]

تاریخ دریافت: 1392/11/02
تاریخ پذیرش: 1394/03/19

چکیده

مرکبات جزء گیاهان حساس به شوری هستند، اما میزان تحمل ارقام مختلف در این گروه به شوری متفاوت است. در این پژوهش با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های مرکبات متحمل به شوری، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها در چهار سطح کلرید سدیم (صفر، 2، 4 و 6 دسی‌زیمنس بر متر) روی دانهال‌های شش‌ماهه 10 ژنوتیپ ناشناخته مرکبات همراه با نارنگی کلئوپاترا و سیترومِلو، به‌ترتیب به‌عنوان شاهد متحمل و حساس به شوری بوده است. بستر حاوی نسبت‌های برابر از پرلیت، ماسه و خاک باغچه بودند. صفات اندازه‌گیری شده شامل: وزن‌تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه، میزان نسبی آب‌برگ، تعداد روزنه، کلر و سدیم برگ و ریشه، کلروفیل کل، پرولین، پراکسیداسیون لیپیدها و فعالیت آنزیم پراکسیداز بوده است. نتایج نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ و سطح شوری در میزان نسبی آب‌برگ، تعداد روزنه و سدیم ریشه اختلاف معنی‌داری نداشت ولی صفات دیگر در سطح 1 درصد و میزان کلروفیل کل در سطح 5 درصد معنی‌دار شدند. با افزایش سطوح شوری، کمترین میزان تجمع سدیم برگ در ژنوتیپ G9 با 0/28 درصد و بیشترین مربوط به ژنوتیپ G6 با 0/53 درصد تعلق داشت. بیشترین میزان کلر برگ در ژنوتیپ G6 با 3/1 درصد و کمترین در ژنوتیپ G11 با 1/7 درصد بدست آمد. همچنین در ژنوتیپ G9، مقدار پراکسیداسیون لیپیدها با مقدار 14 میلی‌مولار، نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها افزایش کمتری داشت. از میان ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ G9 تحمل بیشتری در برابر تنش شوری از خود نشان داد که از آن می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی بهره جست.

واژه‌های کلیدی: بیوتیپ، پرولین، تحمل، کلرید سدیم، نارنگی کلئوپاترا

مقدمه

مرکبات از محصولات مهم باغبانی به‌شمار می‌روند که از دیر باز به عنوان بخشی از رژیم غذایی، دارای ارزش فراوانی بوده است (9). شوری یکی از تنش‌های غیرزیستی مهم است که بر تولید و کیفیت محصولات کشاورزی و باغبانی اثرات زیانباری دارد. محدودیت بارندگی، کاهش شستشوی خاک، آب حاوی املاح زیاد، زهکشی نامناسب خاک، هوازدگی سنگ‌ها، بالا آمدن سفره‌های آب زیرزمینی و استفاده بیش از حد کودها، همگی سبب شوری خاک می‌شوند (21).

مرکبات جزء گیاهان حساس به شوری هستند اما میزان تحمل پایه‌های مختلف مرکبات به شوری، تفاوت‌های واضحی با یکدیگر نشان می‌دهند. به عنوان مثال شوری در رافلمون (*C. jambhiri*) و نارنج سه‌برگ (*Poncirus trifoliata*) در مقایسه با پایه‌های نارنج (*C. aurantium*) و نارنگی کلئوپاترا (*C. reshni*)، باعث کاهش بیشتری در رشد می‌شود؛ در این گیاهان رشد تاج درخت بیشتر از سیستم ریشه تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد (10 و 14). شوری سبب تجمع و ذخیره سطوح سمی عناصر سدیم و کلر در سلول‌های برگ و سوختگی و ریزش برگ‌ها می‌شود (7). بر اساس گزارش رومرو-آراندو و همکاران (22) اختلال در رشد و فتوسنتز تا حد زیادی به تجمع کلر در برگ‌ها مربوط است. توانایی مرکبات برای رشد در خاک‌های شور، بیشتر به دفع یون‌ها مربوط است؛ اگر چه واکنش مرکبات به شوری با توجه به سن آنها متفاوت است (24). پایه‌های مرکبات اثر زیادی روی مقدار تجمع کلر و سدیم در شاخ و برگ درختان پیوند شده دارند (8). تحت تنش شوری، افزایش غلظت نمک درون سلول سبب تخریب ساختمان کلروپلاست و صدمه به سیستم فتوسنتزی می‌شود (15). رومرو- آراندو و همکاران (22) دریافتند که تنش شوری در شرایط مزرعه و گلخانه و شدت نور بالا، سبب کاهش غلظت کلروفیل برگ می‌شود. تجمع اسید آمینهٔ پرولین طی تنش‌های شوری، خشکی،

1، 4 و 5- به ترتیب دانشیار و مربیان پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، رامسر
(*- نویسنده مسئول: (Email: bgoleincitrus@yahoo.com
2 و 3- دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشگاه زنجان

تنش آب، عناصر سنگین، سرما، اشعهٔ فرابنفش و آلودگی به پاتوژن‌ها گزارش شده است (25). از طرفی تنش شوری همچون سایر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌تواند منجر به تنش اکسیداتیو شود که با تخریب پروتئین‌ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک همراه است. اسیدهای چرب غیراشباع حساس‌ترین بخش غشاء به اکسید شدن و تخریب توسط تنش اکسیداتیو هستند. تجزیهٔ این اسیدها توسط اکسیژن‌های فعال، تولید ترکیباتی مثل مالون‌دآلدئید می‌کند که برای سلول ایجاد مسمومیت می‌کند (20). گیاهان با استفاده از سیستم‌های آنزیمی و غیرآنزیمی در برابر انواع اکسیژن‌های فعال از خود محافظت می‌کنند. از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی متداول سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و گلوتاتیون پراکسیداز را می‌توان نام برد (15).

تعیین اختلاف میان تحمل به شوری در گیاهان کار دشواری است چرا که با توجه به بسیاری از عوامل محیطی مثل حاصل‌خیزی خاک و شرایط فیزیولوژی آن، پراکندگی نمک در پروفیل خاک، روش‌های آبیاری و شرایط آب و هوایی و هم‌چنین عوامل گیاهی مثل مرحله رشد، واریته و پایه، میزان تحمل تغییر می‌کند (14). یکی از مهم‌ترین روش‌های کاهش صدمات شوری، استفاده از پایه‌های متحمل است. اگرچه پایه‌هایی مثل کلئوپاترا و رانگپورلایم (*C. limonia*) به عنوان متحمل شناخته شده‌اند (9)، شاید در میان ژنوتیپ‌های طبیعی مرکبات، گیاهانی متحمل‌تر وجود داشته باشند که بتوان پس از شناسایی و ارزیابی، آن‌ها را مورد استفاده قرار داد. هدف از این پژوهش، تعیین آستانه تحمل ژنوتیپ‌های مرکبات نسبت به شوری و شناسایی منابع متحمل در برابر شوری از میان ژنوتیپ‌های جمع‌آوری شده در موسسه تحقیقات مرکبات کشور است تا بتوان در برنامه‌های به‌نژادی این محصولات بهره جست.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و دو نهال در هر تکرار در موسسه تحقیقات مرکبات کشور (رامسر) به اجرا در آمد. تیمارها با دو عامل متغیر شامل چهار سطح کلرید سدیم (صفر، 2، 4 و 6 دسی‌زیمنس بر متر) و 10 ژنوتیپ طبیعی ناشناخته مرکبات شش ماهه همراه با نارنگی کلئوپاترا و سیترومله، به‌ترتیب به‌عنوان شاهد متحمل و حساس به شوری (جدول 1) بوده است.

پس از رشد گیاهچه‌ها به مدت شش ماه در گلدان‌های با قطر دهانه 12/5 سانتی‌متر، که حاوی ترکیبی با نسبت‌های برابر از پرلیت، ماسه و خاک باغچه بود، آبیاری به حجم 100 میلی‌لیتر با استفاده از آب دارای غلظت‌های مختلف کلرید سدیم هر پنج روز یکبار (با توجه به شرایط جوی و نیاز گیاه پس از رویت خاک و تماس دست با سطح خاک گلدان) و به مدت 16 هفته صورت گرفت. کلیه مراقبت‌ها شامل وجین و سمپاشی به طور یکسان برای همه گیاهان انجام شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل کل، پس از تهیه عصاره از برگ سالم گیاهان با استفاده از استن 80 درصد و قرائت میزان جذب در طول موج 663 و 645 نانومتر، غلظت کلروفیل کل محاسبه شد (4). مقدار رطوبت نسبی آب برگ با استفاده از یکی از برگ‌های بالایی گیاه با روش بار و وترلی (6) انجام گرفت. تعداد روزنه برگ نیز با افزودن یک لایه نازک از برق ناخن روی سطح پشتی برگ و پس از خشک شدن آن، نوار چسب شیشه‌ای روی آن چسبانیده شد که پس از جدا کردن چسب از برگ، به روی لام منتقل و تعداد روزنه‌ها شمارش شد. همچنین وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه پس از پایان دوره تنش شوری مشخص شد. در پایان آزمایش، نهال‌ها از گلدان خارج و برگ، ریشه و ساقه آنها پس از شستشو با آب مقطر، تعدادی درون فریزر 80- درجه سلسیوس نگهداری شدند و تعدادی در آون با دمای 80 درجه سلسیوس خشک شدند. اندازه‌گیری میزان عنصر سدیم به روش شعله‌سنجی و غلظت یون کلر به روش تیتراسیون و با استفاده از نیترات نقره انجام شد (12). هم‌چنین میزان پرولین برگ بر اساس روش بیتز و همکاران (7) در طول موج 520 نانومتر، میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء با روش هیت و پکر (11) و تعیین غلظت مالون‌دآلدئید در طول موج 532 نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (NanoDrop ND-1000) انجام شد. برای سنجش فعالیت POD از طول موج 470 نانومتر طبق روش کالیر و همکاران (13) استفاده شد. بافر استخراج برای این آنزیم در چهار درجه سلسیوس، بافر پتاسیم فسفات 50 میلی‌مولار با pH=7 شامل EDTA 0/5 میلی‌مولار بود. تجزیهٔ‌آماری داده‌ها توسط نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن، با سطح احتمال 1 درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اثر شوری بر وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه

جدول تجزیه واریانس (جدول 2) اختلاف معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها، سطوح تیمار شوری و اثر متقابل آنها بر صفات وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه در سطح 1 درصد نشان داد. نتایج حاکی از آن است که میان ژنوتیپ‌ها درجات متفاوتی از حساسیت (و یا تحمل) وجود دارد. افزایش سطح شوری در تمام گیاهان سبب کاهش وزن تر و خشک شد (جدول 4) که با نتیجه پژوهش‌های انجم (2) و ملگار و همکاران (16) که در گونه‌های مختلف مرکبات انجام شده است، مطابقت دارد. نمک کلرید سدیم با اثر بر فعالیت‌های متابولیکی، سبب کاهش تقسیم سلول‌های جدید و در نتیجه کاهش وزن در مقایسه با شرایط طبیعی می‌شود. نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه هم متفاوت بود

(جدول 4)؛ به‌طوری‌که در تعدادی از ژنوتیپ‌ها تمایل به افزایش و در تعدادی دیگر رو به کاهش بود. این مساله احتمالاً به دلیل اثر تنش شوری بر رشد ریشه و عکس‌العمل و حساسیت بافت‌های مختلف گیاه به این تنش می‌باشد. رشد ریشه معمولاً کمتر از رشد برگ تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد (14). در پی کاهش رشد قسمت هوایی، که بیشتر و سریع‌تر از رشد ریشه تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد، ریشه‌ها از ترکیبات غذایی موجود استفاده بیشتری کرده و رشد بیشتری داشته‌اند. افزایش این نسبت در برخی ژنوتیپ‌ها می‌تواند ناشی از کاهش رشد ریشه‌ها، همزمان و یا کمی پس از کاهش رشد اندام‌های هوایی باشد.

اثر شوری بر مقدار نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس مقدار نسبی آب برگ در جدول 2 نشان داده شده است. ژنوتیپ و سطوح مختلف شوری به ترتیب در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد برای این صفت اثر معنی‌داری نشان دادند، به‌طوری که با افزایش سطح شوری در تمامی ژنوتیپ‌ها از میزان نسبی آب برگ کاسته شده است. این کاهش می‌تواند به علت کاهش پتانسیل آب در محلول خاک در اثر افزایش نمک‌ها به‌ویژه کلرید سدیم باشد. هم‌چنین شوری با اثر بر نفوذپذیری غشاء سبب افزایش نشت یونی می‌شود که بر پتانسیل آب و فشار تورژسانس اثرگذار است (20). با توجه به نتایج، بین میزان نسبی آب برگ و افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلر همبستگی منفی وجود دارد (شکل 1) و یکی از دلایل کاهش میزان نسبی آب سلول‌های برگ می‌تواند اثر یون‌ها بر ساختار سلول و غشای سلولی باشد.

اثر شوری بر تعداد روزنه برگ

تجزیه واریانس اطلاعات (جدول 2) بیانگر این است که ژنوتیپ و سطوح مختلف شوری بر تعداد روزنه برگ در سطح احتمال 1 درصد اثر معنی‌داری داشته ولی اثر متقابل شوری در رقم معنی‌دار نشده است. با افزایش شوری از تعداد روزنه در واحد سطح برگ کاسته می‌شود. گزارش شده است که تنش شوری علاوه بر اینکه بر ضخامت برگ‌ها و اندازه سلول‌های برگ اثر می‌گذارد، احتمال اثر (مستقیم یا غیر مستقیم) بر تعداد روزنه‌ها نیز وجود دارد؛ چرا که گیاهان سطح برگ، تعداد ساقه، تعداد ریشه، تعداد روزنه و ... را برای سازگاری با شرایط مختلف تغییر می‌دهند (20). تراکم روزنه‌ها و نحوهٔ قرارگیری آنها همانند توسعهٔ برگ تحت تأثیر شرایطی همچون مقدار آب قابل دسترس، شدت نور، دما و غلظت دی‌اکسید کربن قرار می‌گیرند (14).

اثر شوری بر عناصر برگ و ریشه

جدول تجزیه واریانس 3، اثر معنی‌دار ژنوتیپ، سطوح شوری و اثر متقابل آن‌ها را بر میزان کلر در برگ و ریشه ژنوتیپ‌ها، در سطح احتمال 1 درصد نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، میزان سدیم برگ و ریشه نیز تحت تأثیر ژنوتیپ و شوری قرار گرفت ($p\leq 0/01$). نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش شوری، عناصر کلر و سدیم در برگ‌ها و ریشه‌ها افزایش می‌یابد. این افزایش در تمامی ژنوتیپ‌ها مشاهده شد، اما مقدار افزایش در میان آن‌ها متفاوت بود (جدول 4). افزایش در میزان سدیم و کلر در برگ مرکبات می‌تواند به این علت باشد که برگ‌ها آخرین مسیر جذب و انتقال هستند (24). افزایش عناصر سدیم و کلر در ریشه و برگ در این آزمایش، با یافته‌های پژوهشگران دیگر (1 و 23) در ارقام مختلف مرکبات مطابقت دارد. تفاوت میان ژنوتیپ‌ها از نظر میزان تجمع یون‌ها شاید به دلیل تفاوت در عادت رشد، سیستم‌های انتقال و آوندها، ویژگی‌های آناتومی ریشه، توانایی محدودیت جذب و انتقال عناصر و میزان مصرف آب و تعرق گیاه باشد (5). در میان ژنوتیپ‌های مورد آزمایش، تنها کلئوپاترا و سیترومله از نظر رفتار و واکنش مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، سایر ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مرفولوژی و فیزیولوژی ناشناخته بوده و اطلاعی در مورد ویژگی‌های آن‌ها وجود ندارد. سیترومله در گروه دفع‌کننده‌های سدیم و ذخیره‌کننده‌های کلر قرار دارد، در حالیکه در مورد کلئوپاترا عکس این مطلب صادق است (23). بر اساس پژوهش‌های دیگر، بیشترین صدمه شوری به مرکبات مربوط به یون کلر است (8). تحمل در برابر شوری به توانایی در کنترل جذب و انتقال یون‌های نمک از ریشه به شاخه مربوط است و گیاهانی که دارای قابلیت دفع‌کنندگی سدیم و کلر هستند، مقدار بیشتری از این عناصر را در ریشه ذخیره می‌کنند تا بافت‌های برگ و ساقه. در پایه‌هایی مانند کلئوپاترا که تحمل بیشتری نسبت به شوری دارند، مقاومت بیشتر ریشه در جذب کلر مشاهده شده است (16). کلئوپاترا سیستم ریشه‌ای با کارآیی پائین‌تر برای جذب آب دارد، نسبت شاخه به ریشه در این رقم بالا است و در مقایسه با پایه‌های حساس مانند سیترنج (*C. sinensis* × *P. trifoliata*) و سیترومله، دارای تعداد عناصر آوندی کمتری می‌باشد. بنابراین در پایه‌های حساس، علت تجمع غلظت بالای کلر در برگ را می‌توان ناشی از مصرف بیشتر آب، وجود سیستم ریشه کارآمد برای جذب آب و نسبت پایین شاخه به ریشه دانست (16). ژنوتیپ‌های G9، G10 و G11 که میزان کلر کمتری در برگ ذخیره کردند، احتمالاً دارای سیستم‌هایی مشابه کلئوپاترا و یا ویژگی‌هایی که سبب جذب پائین‌تر و یا انتقال کمتر کلر می‌شوند، هستند. بین غلظت یون‌های کلر و سدیم در برگ و وزن‌تر بخش هوایی (شکل 2) و ریشه (شکل 3) همبستگی منفی وجود دارد.

اثر شوری بر کلروفیل کل

با توجه به جدول تجزیه واریانس 3، مقدار کلروفیل برگ، میان ژنوتیپ‌ها و سطوح شوری در سطح 1 درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد. اثر متقابل شوری و ژنوتیپ بر کلروفیل در سطح 5 درصد معنی‌دار

شد. در این پژوهش، افزایش شوری باعث کاهش کلروفیل در تمام ژنوتیپ‌ها شد (جدول 4)، که با گزارش ابوطالبی و همکاران (1) مطابقت دارد. نتایج بیانگر همبستگی منفی بین سدیم و کلر برگ و کلروفیل کل است (شکل 4). شوری و به ویژه تجمع یون کلر در کلروپلاست با اثرگذاری بر ساختار این اندامک و تیلاکوئیدها و انتقال الکترون فتوسنتزی، فعالیت فتوسیستم II جلوگیری می‌کند. کلرید سدیم باعث کاهش عناصر منیزیم (Mg) و نیتروژن (N) می‌شود. این عناصر از اجزای ساختمان کلروفیل‌ها هستند و بنابراین کمبود آنها می‌تواند بر مقدار کلروفیل اثرگذار باشد. پیامد کاهش مقدار کلروفیل، کاهش مقدار فتوسنتز خواهد بود. اثری که شوری بر پتانسیل آبی گیاه و تقسیم و رشد سلول‌ها دارد باعث کوچک شدن برگ‌ها و کاهش سطح برگ شده که خود سبب کاهش سطح فتوسنتزکننده و در نتیجه کاهش مقدار فتوسنتز می‌گردد (25).

جدول 1- ژنوتیپ‌های مرکبات استفاده شده در آزمایش و برخی صفات مرفولوژی آن‌ها

Table 1- List of the citrus genotypes with their morphological traits

کد گیاه Plant code	نام علمی گیاه Scientific name	نام عمومی Common name	زمان رسیدن میوه Fruiting season	رنگ میوه Fruit skin color	شکل میوه Fruit shape	تعداد بذر Seed number	تعداد جنین در بذر Seed embryony	رنگ گل Flower color	شکل پهنک برگ Leaf lamina shape	رنگ نوک شاخه Shoot tip color	شکل درخت Tree shape
G1	*Citrus* sp	نامشخص Unknown	میان‌رس Midseason	سبز-زرد Green-yellow	پخت Obloid	20-50	چندجنین Polyembryonic	سفید White	تخم‌مرغی Ovate	سبز Green	پهن Obloid
Citromelo	*C. paradisi* × *P. trifoliata*	سیترومیلو Citrumelo	میان‌رس Midseason	زرد Yellow	گلابی‌شکل Pyriform	20-50	چندجنین Polyembryonic	سفید White	بیضی و کشیده Elliptic	سبز Green	کروی Spheroid
G3	*C.* sp	نامشخص Unknown	میان‌رس Midseason	نارنجی‌روشن Light orange	پخت Obloid	20-50	چندجنین Polyembryonic	سفید White	نیزه‌ای Lanceolate	سبز Green	کروی Spheroid
G4	*C.* sp	نامشخص Unknown	دیررس Late	سبز-زرد Green-yellow	کروی Spheroid	20-50	چندجنین Polyembryonic	سفید White	بیضی و کشیده Elliptic	ارغوانی Purple	پهن Obloid
G5	*C.* sp	نامشخص Unknown	دیررس Late	زرد Yellow	کروی Spheroid	10-19	چندجنین Polyembryonic	سفید White	نیزه‌ای Lanceolate	سبز Green	بیضی Ellipsoid
G6	*C.* sp	نامشخص Unknown	دیررس Late	نارنجی Orange	کروی Spheroid	20-50	چندجنین Polyembryonic	سفید White	نیزه‌ای Lanceolate	سبز Green	کروی Spheroid
G7	*C.* sp	نامشخص Unknown	دیررس Late	زرد Yellow	بیضی Ellipsoid	10-19	چندجنین Polyembryonic	سفید White	بیضی و کشیده Elliptic	سبز Green	بیضی Ellipsoid
Cleopatra	*C. reshni*	نارنگی کلئوپاترا Cleopatra	میان‌رس Midseason	نارنجی Orange	پخت Obloid	20-50	چندجنین Polyembryonic	سفید White	بیضی و کشیده Elliptic	سبز Green	کروی Spheroid
G9	*C.* sp	نامشخص Unknown	میان‌رس Midseason	نارنجی‌روشن Light orange	پخت Obloid	10-19	چندجنین Polyembryonic	سفید White	بیضی و کشیده Elliptic	سبز Green	بیضی Ellipsoid
G10	*C.* sp	نامشخص Unknown	دیررس Late	زرد Yellow	بیضی Ellipsoid	20-50	چندجنین Polyembryonic	سفید White	بیضی و کشیده Elliptic	سبز Green	پهن Obloid
G11	*C.* sp	نامشخص Unknown	دیررس Late	زرد Yellow	پخت Obloid	10-19	چندجنین Polyembryonic	سفید White	بیضی و کشیده Elliptic	سبز Green	پهن Obloid
G12	*C.* sp	نامشخص Unknown	میان‌رس Midseason	زرد Yellow	گلابی شکل Pyriform	10-19	چندجنین Polyembryonic	سفید White	بیضی و کشیده Elliptic	سبز Green	بیضی Ellipsoid

منبع: گلعین و عدولی، 1390

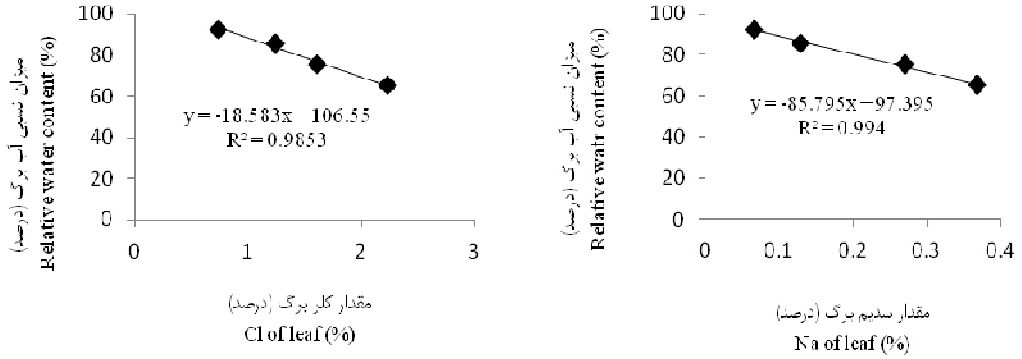
Reference: Golein & Adouli, 2011

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار شوری بر صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های مرکبات
Table 2- Variance analysis of salinity treatment on studied traits in citrus genotypes

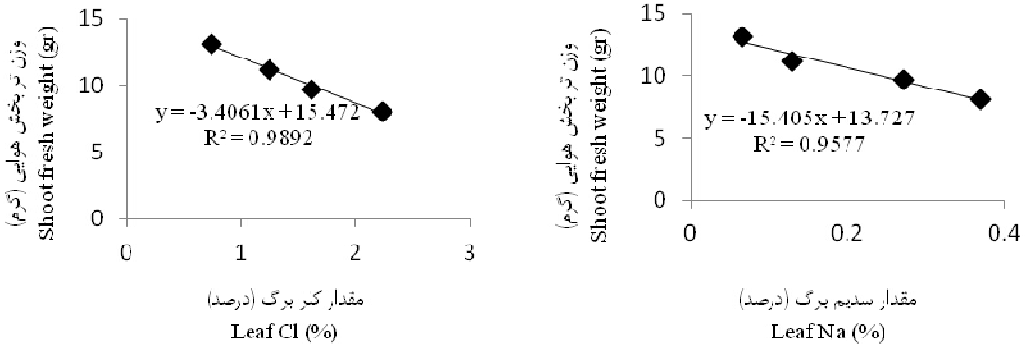
		میانگین مربعات Mean of square						
منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن تر بخش هوایی Shoot fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک بخش هوایی Shoot dry weight	نسبت وزن خشک بخش هوایی به ریشه Shoot/Root dry weight	مقدار نسبی آب برگ Relative water content	تعداد روزنه Stomatal density
ژنوتیپ (Genotype)	11	21.51**	83.01**	7.32**	13.46**	1.63**	155.25*	4874.30**
شوری (Salinity)	3	73.95**	166.30**	25.88**	46.98**	1.68**	4922.23**	71862.60**
ژنوتیپ× شوری (Salinity × Genotype)	33	1.62**	5.95**	0.49**	0.52**	0.68**	24.23ns	621.03ns
خطا (Error)	96	0.22	0.50	0.13	0.09	0.25	68.22	785.65
ضریب‌تغییرات (%) CV		9.83	6.75	15.10	8.33	29.44	10.37	11.76

**: معنی‌دار در سطح احتمال 1%
*: معنی‌دار در سطح احتمال 5%
ns: غیرمعنی‌دار

Significant at the 1% level
Significant at the 5% level
Non significant



شکل 1- همبستگی منفی بین: مقدار سدیم برگ (راست) و کلر برگ (چپ) با میزان نسبی آب برگ
Figure 1- Negative correlation between: Leaf Na (right) and Leaf Cl (left) with relative water content



شکل 2- همبستگی منفی بین: مقدار سدیم برگ (راست) و کلر برگ (چپ) و وزن‌تر بخش هوایی
Figure 2- Negative correlation between: Leaf Na (right) and Leaf Cl (left) with shoot fresh weight

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار شوری بر صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های مرکبات
Table 3- Variance analysis of salinity treatment on studied traits in citrus genotypes

منبع تغییر (Source of variation)	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات (Mean of square)							
		سدیم ریشه (Root Na)	سدیم برگ (Leaf Na)	کلر ریشه (Root Cl)	کلر برگ (Leaf Cl)	کلروفیل کل (Total chlorophyll)	پرولین (Proline)	پراکسیداسیون لیپیدها (Lipid peroxidation)	فعالیت آنزیمی (Enzyme activity)
ژنوتیپ (Genotype)	11	0.11**	0.02**	1.13**	0.54**	0.13**	1519.58**	618.26**	2.24**
شوری (Salinity)	3	0.02**	0.67**	15.23**	14.25**	2.72**	9386.25**	2932.98**	13.33**
ژنوتیپ× شوری (Salinity × Genotype)	33	0.001^{ns}	0.01**	0.20**	0.18**	0.02*	210.71**	122.02**	0.27**
خطا (Error)	96	0.002	0.001	0.03	0.01	0.01	37.11	6.36	0.03
ضریب تغییرات (%) CV		22.6	13.12	9.14	7.92	12.42	13.80	10.56	15.20

**: معنی‌دار در سطح احتمال 1%
*: معنی‌دار در سطح احتمال 5%
ns: غیرمعنی‌دار

Significant at the 1% level
Significant at the 5% level
Non significant

اثر شوری بر میزان پرولین

میان ژنوتیپ‌ها، سطوح شوری و اثر متقابل آن‌ها در مقدار پرولین برگ، در سطح 1 درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول 3). با افزایش سطح شوری در تمامی ژنوتیپ‌ها، افزایش پرولین مشاهده شد (جدول 4) که با نتایج مورکوت و همکاران (18) در کشت بافت مرکبات مطابقت دارد. افزایش پرولین در شرایط تنش، می‌تواند ناشی از سنتز پرولین، کاهش اکسید شدن پرولین به گلوتامات و یا کاهش مصرف آن در سنتز پروتئین و یا افزایش تجزیه پروتئین‌ها باشد (20). تجمع پرولین در ژنوتیپ‌هایی که حساسیت به شوری نشان دادند، می‌تواند به دلیل اثرات زیانبار شوری بر فعالیت‌های متابولیکی و در نتیجه تخریب پروتئین‌ها باشد و نه یک مکانیسم دفاعی برای مقابله و تحمل تنش.

در کلئوپاترا و ژنوتیپ‌های G3، G9، G10 و G11 که تحمل بیشتری در تنش شوری از خود نشان دادند، غلظت بالای تنش شوری سبب افزایش معنی‌دار در مقدار پرولین آن‌ها شد. شاید این تجمع بیشتر با اثر بر پتانسیل اسمزی و جذب بیشتر آب سبب تداوم فرایندهای درون سلولی شده و هم‌چنین با حفظ آب سلول‌ها و رقیق‌سازی نمک‌ها، از شدت صدمات شوری کاسته باشد.

اثر شوری بر پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء

تجزیه واریانس داده‌ها مؤید آن است که سطوح مختلف شوری، ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل آن‌ها بر این صفت در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 3). اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع، ترکیباتی مثل مالون‌دآلدئید تولید می‌کند که شاخصی از میزان صدمه اکسیداتیو به‌شمار می‌رود. با افزایش غلظت شوری، غلظت مالون‌دآلدئید در برگ همه ژنوتیپ‌ها، افزایش یافت (جدول 4). این اطلاعات با نتیجه پژوهش آربونا و همکاران (3) که در پایه کاریزو سیترنج انجام شده، همخوانی دارد، اما با یافتهٔ مونتولیو و همکاران (17) در کشت بافت مرکبات که افزایشی در غلظت مالون‌دآلدئید در ژنوتیپ‌های مورد آزمایش مشاهده نکردند، تناقض دارد. شاید، نوع ژنوتیپ، تفاوت در شرایط آزمایش و تیمارهای به‌کار رفته، علت این نتیجهٔ متفاوت باشد. از طرفی میان عناصر سدیم و کلر برگ و غلظت مالون‌دآلدئید همبستگی مثبت وجود دارد (شکل 5).

اثر شوری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز

میان ژنوتیپ‌ها و سطوح شوری و اثر متقابل آن‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح 1 درصد در میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز وجود دارد (جدول 3). فعالیت آنزیم پراکسیداز با افزایش شوری در ژنوتیپ‌های مورد آزمایش، افزایش پیدا کرد (جدول 4). افزایش در فعالیت آنزیم پراکسیداز در اثر تنش شوری در گیاهان مختلف مشاهده شده است و طبق نتایج تعدادی از این پژوهش‌ها، در رقم‌های متحمل‌تر و در سطوح بالای شوری، فعالیت آنزیم مذکور بیشتر بود (15 و 20). در تیمار شاهد، بیشترین فعالیت آنزیمی به ژنوتیپ‌های نسبتاً متحملی چون G10 و G11 تعلق داشت. شاید این فعالیت اولیه در ادامه روند فعالیت آنتی‌اکسیدانی و عملکرد آنزیم‌ها در شرایط شدیدتر تنش، مؤثر بوده و واکنشی از نظر تحمل و سازگاری به شوری تلقی شود. اگرچه در ژنوتیپ‌های ظاهراً حساس با افزایش شوری، فعالیت آنزیمی افزایش یافت، این پدیده می‌تواند واکنشی در

مقابل تنش بوده و یک رفتار سازگارانه نباشد. در چنین ژنوتیپ‌هایی علاوه بر افزایش فعالیت آنزیمی و بعضاً افزایش پرولین، باز هم سطح تحمل بسیار پائین بود و این مسأله می‌تواند ناشی از صدمات عناصر به اجزای سلولی، اندامک‌ها و غشاء مربوط شود که اثر فعالیت‌های دفاعی را کاهش داده و یا خنثی می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

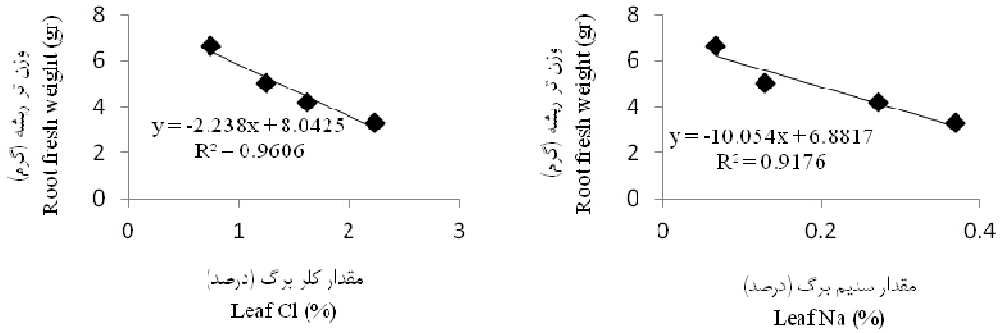
در مجموع، این مطالعه نشان داد که ژنوتیپ‌های G4، G6 و G7 حساسیت بیشتری به تنش شوری دارند. در ژنوتیپ‌های مذکور، مقدار کلر برگ با افزایش شوری، بیش از سایر ژنوتیپ‌ها افزایش یافت و از آنجا که بیشترین صدمه در مرکبات به افزایش غلظت کلر در قسمت‌های هوایی گیاه نسبت داده می‌شود، یکی از دلایل کاهش رشد و صدمات شدیدتر می‌تواند همین مسأله باشد.

ژنوتیپ‌های G9، G10، G11 و G12 خسارت کمتری در تنش شوری داشتند. در این ژنوتیپ‌ها، مقدار پراکسیداسیون لیپیدها (که نشانه‌ای از صدمه اکسیداتیو به غشای سلولی است) افزایش کمتری داشت و تجمع یون کلر در برگ آن‌ها نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در سطح پائین‌تری بود.

با توجه به نتایج، از نظر میزان خسارت اکسیداتیو و صدمه به غشاء، ژنوتیپ G9 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها، آسیب کمتری دیده است. همین ژنوتیپ پس از کلئوپاترا، کمترین افزایش را در مقدار کلر برگ داشت و مقدار تجمع یون سدیم در برگ‌های این گیاه پس از ژنوتیپ G3 و کمتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. بنابراین ژنوتیپ G9 قابلیت بالایی در دفع یون کلر، که یکی از عوامل اصلی صدمه ناشی از کلرید سدیم به شمار می‌رود، دارد و این ویژگی در میزان تحمل گیاه در مقابل شوری دارای اهمیت بسیاری است. با توجه به داده‌های بدست آمده، ژنوتیپ G9 در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر، در موقعیت بهتری قرار دارد و آسیب کمتری دیده است که از آن می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی بهره جست.

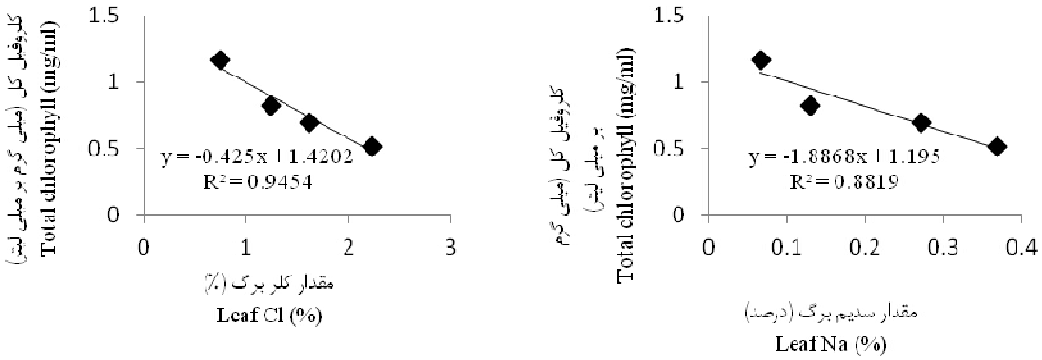
سپاسگزاری

از پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری به خاطر در اختیار قرار دادن مواد گیاهی و مواد آزمایشگاهی تشکر می‌شود.



شکل 3- همبستگی منفی بین: مقدار سدیم برگ (راست) و کلر برگ (چپ) و وزن‌تر ریشه

Figure 3- Negative correlation between: Leaf Na (right) and Leaf Cl (left) with root fresh weight



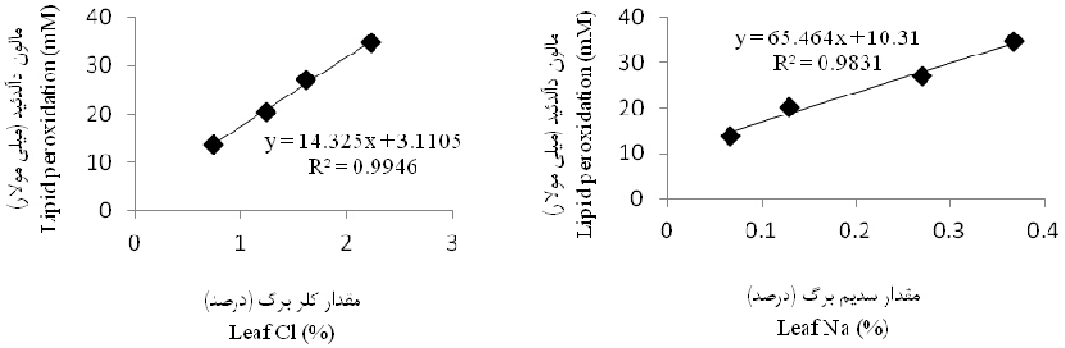
شکل 4- همبستگی منفی بین: مقدار سدیم برگ (راست) و کلر برگ (چپ) و کلروفیل کل

Figure 4- Negative correlation between: Leaf Na (right) and Leaf Cl (left) with total chlorophyll

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های مرکبات

Table 4- Comparison mean of the studied traits in citrus genotypes

سطح شوری (Salinity level)	G1	سیتروملو (Citrumelo)	G3	G4	G5	G6	G7	کلوپاترا (Cleopatra)	G9	G10	G11	G12	
0	8.8±0.46 a	6.2±0.03b	5.7±0.25bc	8.5±0.34 a	5.1±0.32 c	5.9±0.15 bc	4.9±0.12 c	4.3±0.12 cd	6.6±0.10 b	5.5±0.15 bc	7.8±0.77 ab	10.5±0.24 a	وزن تر ریشه (گرم) (Root fresh weight) (gr)
2	5.7±0.07 bc	5.7± 0.50 bc	4±0.12 de	6.4±0.21 b	3.9±0.07 e	4.6±0.18 e	3.1±0.03 cd	3.1±0.06 ef	5.6±0.11 b	5.2±0.20 c	6.1±0.70 c	7.4±0.24 b	
4	5.4±0.44 cd	5.5±0.10 cd	2.7±0.32 ef	5.3±0.14 c	2.9±0.60 f	3.2±0.15 f	2.5±0.22 g	2.5±0.60 g	4.5±0.80 c	4.3±0.15 d	5.5±0.12 de	6.0±0.30 c	
6	5.1±0.25 d	3.9±0.49 e	2.3±0.12g	1.6±0.17 g	2.3±0.60 g	2.7±0.35 g	1.8±0.90 g	2.6±0.21 g	4.0±0.07 cd	3.9±0.14 e	4.6±0.27e	5.6±0.26 cd	
0	17.3±0.31 a	14.2±0.72 ab	9.7±0.37 c	14.5±0.55 ab	9.9±0.78 c	10.8±0.38 bc	9.3±0.17 c	9.9±0.06 c	16.6±0.29 a	14.1±0.12 ab	13.9±0.96 ab	17.4±0.29 a	وزن تر شاخساره (گرم) (Shoot fresh weight) (gr)
2	14.1±0.55 b	11.9±0.53 bc	7.6±0.21 d	12.2±0.39 bc	9.3±0.39 d	9.4±0.38 d	7.0±0.17 d	9.6±0.09 cd	12.8±0.29 b	13.5±0.48 bc	12.6±0.34 bc	13.7±0.15 b	
4	13.6±0.23 bc	10.8±0.39 c	6.1±0.70 e	10.5±0.28 de	8.5±0.28 de	4.3±0.12 ef	6.9±0.24 de	8.9±0.23 de	10.7±0.21 c	12.8±0.43 cd	12.3±0.24 cd	11.3±0.14 c	
6	13.0±0.57 c	9.3±0.70 cd	5.7±0.33 ef	3.1±0.41 f	7.5±0.32 e	2.9±0.18 g	6.2±0.26 e	7.3±0.43 f	10.0±0.18 d	10.8±0.44 e	11.0±0.12 e	10.1±0.15 d	
0	4.7±0.03 a	3.3±0.11 ab	2.8±0.30 ab	4.6±0.18 a	2.7±0.16 bc	3.1±0.06 ab	2.6±0.05 bc	2.5±0.10 bc	2.8±0.80 ab	2.6±0.12 bc	4.2±0.23 a	5.6±0.09 a	وزن خشک ریشه (گرم) (Root dry weight) (gr)
2	2.8±0.31 bc	2.9±0.25 c	2.0±0.06 c	3.3±0.15 b	2.1±0.12 d	2.4±0.10 c	1.6±0.03 d	1.6±0.03 d	2.5±0.03 bc	2.4±0.69 cd	2.8±0.33 b	4.9±0.12 b	
4	2.7±0.04 c	2.5±0.05 c	1.5±0.25 de	2.4±0.12 cd	1.4±0.03 e	1.5±0.08 d	1.2±0.10 e	1.4±0.03 de	2.2±0.29 cd	2.1±0.15 d	2.2±0.07 cd	3.7±0.02 c	
6	2/3± 0.14 d	1.5±0.27 e	1.0±0.02 f	0.60±0.07 fg	1.0±0.03 f	1.0±0.04 fg	0.60±0.08 fg	1.0±0.04 f	2.0±029 de	1.5±0.06 e	2.1±0.21 d	3.0±0.31 d	
0	6.8±0.13 a	5.8±0.23 a	3.9±0.15 ab	5.8±0.24 a	3.9±0.26 b	4.3±0.15 ab	4.2±0.04 ab	3.9±0.15 ab	6.8±0.12 a	5.7±0.10 a	5.2±0.15 ab	7.2±0.18 a	وزن خشک شاخساره (گرم) (Shoot dry weight) (gr)
2	4.9±0.23 b	4.2±0.16 b	2.6±0.06 b	4.2±0.14 b	3/3±0.10 c	2.7±0.33 cd	2.7±0.08 cd	3.3±0.10 c	4.5±0.06 b	4.8±0.20 b	4.0±0.10 cd	6.1±0.16 b	
4	4.1±0.17 c	3.5±0.08 c	1.9±0.07 e	3.3±0.23 c	2.6±0.06 d	1.3±0.04 ef	2.0±0.04 e	3.1±0.04 cd	4.1±0.09 c	4.0±0.15 c	4.0±0.12 cd	5.1±0.05 c	
6	3.8±0.49 d	2.7±0.22 d	2.1±0.12 ef	1.5±0.27 f	2.2±0.12 e	0.9±0.04 g	1.3±0.15 f	2.5±0.33 d	3.8±0.08 cd	3.1±0.14 d	3.2±0.06 c	4.4±0.24 d	
0	1.4±0.12 bc	1.8±0.06 d	1.4±0.22 bc	1.3±0.12 bc	1.4±0.04 bc	1.4±0.07 bc	1.6±0.20 c	1.6±0.03 c	2.4±0.03 f	2.2±0.06 e	1.2±0.04 b	1.4±0.07 bc	سدیم برگ (درصد) (%L.eaf Na)
2	1.8±0.08 d	1.4±0.32 bc	1.3±0.30 bc	1.3±0.09 bc	1.6±0.27 c	1.1±0.04 ab	1.7±0.27 cd	2.1±0.03 e	1.8±0.18 d	2.0±0.03 de	1.4±0.22 bc	1.3±0.26 bc	
4	1.5±0.27 c	1.4±0.30 bc	1.3±0.02 bc	1.4±0.36 bc	1.9±0.11 d	0.9±0.21 a	1.7±0.13 cd	2.2±0.15 e	1.9±0.03 d	1.9±0.17 d	1.8±0.05 d	1.4±0.31bc	
6	1.7±0.01 cd	1.8±0.11 d	2.1±0.03 e	2.5±0.03 f	2.1±0.03 e	0.9±0.11 a	2.1±0.33 e	2.5±0.14 f	1.9±0.35d	2.1±0.23 e	1.5±0.20 c	1.5±0.36 c	
0	0.06±0.02 a	0.08±0.001 a	0.09±0.01 a	0.07±0.01 a	0.05±0.01 a	0.07±0.02 a	0.07±0.02 a	0.05±0.001 a	0.06±0.01 a	0.05±0.01 a	0.07±0.01 a	0.07±0.02 a	سدیم برگ (درصد) (%L.eaf Na)
2	0.12±0.01 b	0.17±0.01 b	0.13±0.01 b	0.13±0.02 b	0.14±0.01 b	0.13±0.01 b	0.13±0.01 b	0.11±0.01 b	0.12±0.01 b	0.11±0.01 b	0.12±0.01 b	0.13±0.01 b	
4	0.26±0.01 c	0.33±0.02 c	0.26±0.01 c	0.28±0.01 c	0.25±0.01 c	0.29±0.02 c	0.31±0.03 c	0.23±0.02 c	0.26±0.01 cd	0.25±0.01 c	0.27±0.01 c	0.25±0.01 c	
6	0.34±0.02 d	0.44±0.03 de	0.32±0.01 d	0.43±0.04 de	0.32±0.02 d	0.53±0.01 def	0.46±0.04 de	0.33±0.01 d	0.28±0.03 d	0.31±0.01 d	0.33±0.01 d	0.34±0.03 d	
0	0.7±0.06 a	0.8±0.04 a	0.9±0.02 a	1.0±0.11 a	0.7±0.13 a	1.4±0.01 bc	1.8±0.01 c	1.1±0.01 ab	1.1±0.01 ab	1.2±0.09 ab	1.1±0.04 ab	1.1±0.09 ab	کلر برگ (درصد) (%Root Cl)
2	1.3±0.31 b	1.3±0.02 b	1.4±0.11 bc	1.4±0.12 bc	1.1±0.02 ab	2.2±0.09 de	2.0±0.01 d	1.5±0.01 c	1.6±0.03 c	2.0±0.04 d	2.0±0.03 d	1.8±0.01 cd	
4	1.3±0.06 b	1.7±0.06 cd	1.7±0.21 cd	2.1±0.12 d	2.3±0.01 de	2.4±0.03 e	2.0±0.01 d	2.0±0.01 d	2.1±0.17 d	2.2±0.01 de	2.4±0.05 e	2.1±0.04 d	
6	1.7±0.01 cd	1.9±0.06 cd	2.5±0.09 e	2.5±0.01 e	2.5±0.01 e	2.7±0.26 ef	3.2±0.01 f	3.4±0.24 f	3.2±0.99 f	2.8±0.09 f	2.6±0.01 ef	2.3±0.01 de	
0	0.8±0.01 a	0.8±0.02 a	0.7±0.01 a	0.7±0.01 a	0.6±0.02 a	0.9±0.02 ab	0.6±0.01 a	0.9±0.01 ab	0.9±0.02 ab	0.7±0.02 a	0.6±0.02 a	0.7±0.01 a	کلر برگ (درصد) (%L.eaf Cl)
2	1.2±0.04 ab	1.5±0.01 b	0.8±0.01 a	1.0±0.01 ab	1.1±0.08 ab	1.7±0.05 bc	1.3±0.01 ab	1.6±0.02 bc	1.1±0.03 ab	1.3±0.03 ab	1.1±0.01 ab	1.2±0.03 ab	
4	1.5±0.01 c	1.8±0.02 c	1.5±0.12 b	1.5±0.07 b	1.5±0.03 b	2.1±0.01 d	1.7±0.03 bc	1.6±0.02 bc	1.6±0.02 bc	1.5±0.07 b	1.3±0.03 ab	1.8±0.09 c	
6	2.3±0.05 d	2.8±0.02 d	2.0±0.03 d	2.6±0.03 d	2.0±0.05 d	3.1±0.01 e	2.8±0.01 de	1.8±0.03 c	1.8±0.33c	1.8±0.03 c	1.7±0.05 bc	2.0±0.08 d	
0	1.1±0.09 a	1.0±0.15 ab	1.2±0.06 a	1.2±0.05 a	1.2±0.03 a	1.2±0.06 a	1.0±0.08 ab	1.1±0.03 a	1.4±0.05 a	1.3±0.08 a	1.4±0.06 a	1.0±0.03 ab	کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم) (Chlorophyll) (mg/ml)
2	0.8±0.06 b	0.8±0.09 b	0.7±0.02 bc	0.8±0.09 b	0.8±0.02 b	0.7±0.05 bc	0.7±0.13 bc	0.7±0.02 bc	1.0±0.01 ab	0.9±0.02 b	1.0±0.05 ab	0.9±0.07 b	
4	0.7±0.01 bc	0.6±0.12c	0.6±0.02 c	0.6±0.04 c	0.7±0.01 bc	0.5±0.02 cd	0.7±0.04 bc	0.7±0.04 bc	1.0±0.01 ab	0.8±0.04 b	0.8±0.03 b	0.8±0.04 b	
6	0.4±0.06 d	0.4±0.02 d	0.4±0.04 d	0.4±0.04 d	0.6±0.04 c	0.4±0.03 d	0.4±0.01 d	0.5±0.01 cd	0.7±0.07 bc	0.7±0.04 bc	0.7±0.08 bc	0.6±0.06 c	
0	28.5±3.70 b	14.8±0.72 a	22.0±1.68 a	22.7±0.52 a	24.8±0.87 a	22.6±2.65 a	32.2±3.39 ab	13.0±0.03 a	39.2±4.66 ab	11.4±0.25 a	54.6±2.56 bc	35.2±0.5 ab	پرولین (میلی‌مول بر گرم) (Proloine) (mM/gr)
2	15.1±1.23 a	28.7±0.93 b	36.0±3.2 bc	37.3±2.63 bc	44.0±0.5 bc	32.9±2.60 b	48.0±0.66 c	23.0±1.80 bc	49.3±5.04 bc	30.1±3.87 bc	40.1±0.46 a	53.7±2.99 c	
4	44.6±1.61 c	23.8±1.76 ab	51.7±2.11 d	64.1±1.18 e	64.0±7.1 bc	41.2±3.62 b	39.4±3.79 d	26.3±1.73c	57.0±2.15 cd	39.3±6.36 cd	60.9±5.57 cd	69.5±2.01 d	
6	55.3±5.45 d	39.3±1.01 c	75.3±0.61 e	59.7±5.68 d	74.9±2.56 e	45.6±8.40 de	80.3±5.21 e	55.8±3.19 d	73.2±1.28 e	56.3±7.88 e	33.6±0.14 e	75.5±3.66 e	
0	16.0±1.15 a	12.7±1.76 a	15.0±0.58 a	15.3±0.55 ab	18.0±1.0 ab	13.5±0.50 a	16.3±2.4 ab	11.0±0.58 ab	11.0±0.58 ab	13.2±0.55 a	11.0±1.0 a	11.8±0.29 a	فعالیت آنزیم پراکسیداسیون لیپیدها (واحد فعالیت) (Enzyme activity) (IU/g FW)
2	25.7±2.4 b	27.7±4.10 b	17.0±2.0 ab	23.0±1.33 c	15.3±0.51 b	18.3±0.37 b	24.8±0.92 b	11.7±1.20 b	12.0±1.0 b	20.0±0.58 bc	18.7±0.47 b	19.0±0.4 bc	
4	29.4±3.29 bc	31.0±1.0 bc	22.6±1.48 c	41.5±0.69 d	28.0±2.4 cd	31.7±1.20 cd	40.0±0.12 cd	13.0±0.33 bc	13.7±0.44 bc	25.1±0.49 cd	28.9±1.51 cd	20.2±0.44 c	
6	33.9±1.76 cd	39.3±2.03 d	49.0±0.5 de	54.3±2.73 e	33.0±0.8 de	52.3±2.03 e	49.6±1.21e	16.3±2.71 c	14.0±0.30 c	24.4±0.42 cd	30.4±0.40cd	20.7±0.88c	
0	0.3±0.53 ab	0.3±0.51 a	0.6±0.14 ab	0.4±0.36 ab	0.3±0.12 ab	0.8±0.34 ab	0.5±0.23 ab	0.5±0.68 ab	0.4±0.12 ab	0.6±0.06 ab	0.8±0.62 ab	0.3±0.25 ab	فعالیت آنزیم کاتالاز (واحد فعالیت) (Enzyme activity) (IU/g FW)
2	0.3±0.73 b	0.9±0.33 cd	0.6±0.25 ab	1.1±0.08 cd	0.5±0.49 c	0.2±0.51 ab	1.2±0.25 cd	0.5±0.21 ab	1.0±0.27 cd	1.2±0.36 cd	1.5±0.36 cd	0.4±0.18 bc	
4	0.7±0.20 cd	1.4±0.28 de	0.7±0.06 bc	1.5±0.07 c	1.4±0.44 de	0.7±0.02 c	1.8±0.16 e	0.8±0.77 cd	1.2±0.38 d	2.3±0.24 ef	2.6±0.31 efg	1.0±0.43 d	
6	0.7±0.19 cd	2.0±0.11 f	1.3±0.4 d	2.0±0.75 f	1.9±0.28 f	1.0±0.26 d	2.0±0.09 f	1.9±0.10 f	1.5±0.21 e	3.0±0.02 g	2.7±0.13 efg	1.5±0.16 e	



شکل 5- همبستگی مثبت بین: مقدار سدیم برگ (راست) و کلر برگ (چپ) و غلظت مالون‌دآلدئید

Figure 5- Positive correlation between: Leaf Na (right) and Leaf Cl (left) with lipid peroxidation

منابع

1- Abutalebi A.H., Tafazoli E., Kholdebarin B., Karimian N.A., and Emam Y. 2007. Effect of salinity on chlorophyll, solute leakage and relative water content in five citrus rootstocks. Journal of Science and Agricultural Process, 21(10):3-11. (in Persian with English abstract)

2- Anjum M.A. 2008. Effect of NaCl concentrations in irrigation water on growth and polyamine metabolism in two citrus rootstocks with different levels of salinity tolerance. Acta Physiologiae Plantarum, 30:43-52.

3- Arbona V., Flors V., Jacas J., Garcia-Agustin P., and Gomez – Cadenas A. 2003. Enzymatic and non - enzymatic antioxidant responses of Carrizo citrange, a salt-sensitive citrus rootstock, to different levels of salinity. Plant Cell Physiology, 44:388-394.

4- Arnon D.I. 1949. Copper Enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24:1-15.

5- Ballester F.G., Sanchez G.F., Cerda A., and Martinez V. 2003. Tolerance of citrus rootstock seedling to saline stress based on their ability to regulate ion uptake and transport. Tree Physiology, 23:265-271.

6- Barr H.D., and Weatherley P.E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. Australian Journal of Biological Sciences, 15:413-428.

7- Bates L.S., Waldron R.P., and Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39:205-208.

8- Gimno V., Syvertsen J.P., Nieves M., Simo I., Martinez V., and Sanchez F.G. 2009. Additional nitrogen fertilization affects salt tolerance of lemon trees on different rootstocks. Scientia Horticulturae, 3235:10-16.

9- Golein B., and Adouli B. 2011. Citrus. Novin Poya Press, Tehran. (in Persian).

10- Gomez C.A., Arbona V., Jacas J., Primo-Millo E., and Talon M. 2003. Abscisic acid reduces leaf abscission and increases salt tolerance in citrus plants. Journal of Plant Growth Regulator, 21:234-240.

11- Heath R.L., and Packer L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics, 125:189–198.

12- Jones B., and Case V.W. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. p. 338-420. In R.L. Westerman (ed.) Soil Testing and Plant Analysis. Soli Science Society of America.

13- Kalir A., Omri G., and Poljakoff-Mayber A. 1984. Peroxidase and catalase activity in leaves of *Halimione portulacoides* exposed to salinity. Physiologia Plantrum, 62:238–244.

14- Kozlowski T.T. 2007. Responses of woody plants to flooding and salinity. Tree Physiology Monograph, 1:1-29.

15- Li Y. 2008. Kinetics of the antioxidant response to salinity in the halophyte *Limonium bicolor*. Plant Soil Environment, 54:493-497.

16- Melgar J.C., Syvertsen J.P., Martinez V., and Sanchez G.F. 2008. Leaf gas exchange, water relations, nutrient content and growth in citrus and olive seedlings under salinity. Biologia Plantarum, 52:385-390.

17- Montoliu A., Lopez- Climent M.F., Arbona V., Perez- Clemente R.M., and Gomez- Cadenas A. 2009. A novel In vitro tissue culture approach to study salt stress responses in citrus. Plant Growth Regulation, 59:179-187.

18- Murkute A.A., Satyawati S.H., and Singh S.K. 2010. Biochemical alteration in foliar tissues of citrus genotypes screened in vitro for salinity tolerance. Journal Plant Biochemistry and Biotechnology, 19:19-25.

19- Nair V., Oneil C.L., and Wang P.G. 2008. Malondialdehyde Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis. John Wiley & Sons, New York.

20- Nasir khan M., Siddiqui M.H., Mohammad F., Masroor M., Khan A., and Naeem M. 2007. Salinity induced changes in growth, enzyme activities, photosynthesis, proline accumulation and yield in Linseed genotypes. World

Journal of Agricultural Sciences, 35:685-695.
21- Neto A.D.A., Prisco J.T., Eneas-Filho J., Abreu C.E.B.A., and Gomes-Filho E. 2005. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. Environmental and Experimental Botany, 56:87-94.
22- Romero-Arando R., Moya J.L., Tadeo F.R., Legaz F., Primo-Millo E., and Talon M. 1998. Physiological and anatomical disturbances induced by chloride salts in sensitive and tolerant citrus: beneficial and detrimental effects of cations. Plant Cell Environment, 21:1243-1253.
23- Sanchez G.F., Peres J.G., Botina P., and Martinez V. 2006. The response of young mandarin trees grown under saline conditions depends on the rootstock. European Journal of Agronomy, 24:129-139.
24- Storey R., and Walker R.R.1999. Citrus and salinity. Scientia Horticulturae, 78:39-81.
25- Yokoi S.H., Bressan R.A., and Hasegawa P.M. 2002. Salt stress tolerance of plants. Jircas Working Report, 25-33.