عکس‌العمل فتوسنتزی، تغذیه‌ای و رویشی دو پایه مرکبات تحت‌تأثیر تنش شوری

داوود خوشبخت[۱*]، میترا میرزایی[۲] و علی اکبر رامین[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۲۲)

چکیده

پژوهش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار سطح شوری شامل: شاهد (۰ میلی‌مول)، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌مول نمک کلرید سدیم و دو پایه بکرایی و نارنج سه برگ در سه تکرار با هدف بررسی مکانیزم تأثیر تنش شوری بر فاکتورهای فتوسنتزی، تغذیه‌ای و رشدی پایه‌های مرکبات انجام پذیرفت. پس از ۸ هفته از اعمال تیمار شوری فاکتورهای وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، طول ریشه، تعداد و سطح برگ، میزان کلروفیل کل برگ، میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، کارآیی مصرف آب، میزان سدیم، کلر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در ریشه و برگ اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که تنش شوری باعث کاهش فاکتورهای رویشی و فتوسنتزی در هر دو پایه می‌شود. این کاهش در نارنج سه برگ نسبت به بکرایی بیشتر بود. نتایج نشان داد که نارنج سه برگ در سطوح پایین شوری از طریق تجمع سدیم در ریشه، سدیم کمتری را به اندام هوایی انتقال داد. بکرایی در مقایسه با نارنج سه برگ در هر سه سطح شوری، کلر کمتری را در ریشه و برگ تجمع نمود. تیمار شوری باعث کاهش منیزیم، کلسیم و افزایش میزان پتاسیم در برگ در هر دو پایه گردید. پایه بکرایی در مقایسه با نارنج سه برگ با جذب و انتقال کمتر کلر و سدیم، حفظ بهتر شاخص‌های فتوسنتزی و تغذیه‌ای و جلوگیری از آسیب شدید به کلروفیل برگ تحمل بیشتری به تنش شوری نشان داد.

واژه‌های کلیدی: کلرید سدیم، کلروفیل، مرکبات، مکانیزم مقاومت به شوری

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار

۳. استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: davod.khoshbakht@gmail.com

مقدمه

مرکبات جزء گیاهان حساس به شوری می‌باشند به‌طوری‌که شوری‌های کم تا متوسط نیز باعث کاهش رشد و ایجاد عوارض فیزیولوژی در آنها می‌شود (۲۳). از آن‌جایی‌که گونه‌های تجاری مرکبات به‌صورت پیوند تکثیر می‌شوند، میزان تحمل پیوندک به شوری، بستگی زیادی به نوع پایهٔ آن دارد (۱۳). شوری آب و خاک از بزرگ‌ترین مشکلات مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شوند به‌طوری‌که در حدود ۲۰ درصد کل زمین‌های زیر کشت دنیا و ۵۰ درصد زمین‌های آبیاری شده با مشکلات شوری مواجه هستند (۶). مهم‌ترین تغییرات فیزیولوژیکی و آسیب‌های ناشی از تنش شوری عبارت‌اند از: کاهش در رشد، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق، هدایت آبی ریشه، آسیب به برگ‌ها و ریزش برگ‌ها می‌باشد (۲۱).

تنش شوری باعث کاهش در رشد طولی ریشه، سطح برگ و افزایش در ضخامت برگ می‌گردد که سبب ایجاد بی‌نظمی‌های آناتومیک در گیاه می‌شود (۳۰). تعدادی از این اثرات فیزیولوژیکی به‌وسیله هورمون‌هایی مانند آبسیزیک اسید و اتیلن ایجاد می‌گردد (۱۱). هنگامی‌که تجمع کلر در برگ‌ها افزایش می‌یابد افزایش تولید اتیلن منجر به ریزش برگ‌ها در گیاه می‌گردد (۲۱). بنابراین مقاومت نسبی برخی از ارقام مرکبات با شوری می‌تواند به‌علت توانایی آنها در محدود سازی جذب و یا کاهش انتقال یون‌های سمی به برگ‌ها باشد (۱۷). پاسخ‌های هورمونی عکس‌العمل ثانویه‌ای می‌باشند که به‌علت اثرات اولیه تنش شوری یعنی تغییرات اسمزی و تجمع یون‌های سمی ایجاد می‌شوند (۱۸). مشخص شده است که تحمل در برابر تنش شوری با توانایی گیاه جهت ممانعت از جذب و یا جداسازی یون‌های سمی از مراکز فتوسنتزی در برگ‌ها همراه است (۱۵). مکانیزم‌های مختلفی جهت تحمل به تنش شوری وجود دارد که شامل هدایت یون‌های سمی به واکوئل (۲۷)، تجمع یون‌های متعادل‌کننده فشار اسمزی در سیتوپلاسم (۱۲)، توانایی در کاهش جذب یون‌های کلر و سدیم توسط ریشه‌ها (۲۵) و کاهش انتقال کلر و سدیم به شاخه (۲۸) می‌باشد. پایه‌های مرکبات از نظر تحمل به تنش شوری با هم تفاوت دارند (۱۳). غلظت بالای کلر و سدیم در برگ‌ها می‌تواند باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز در مرکبات گردد (۹ و ۲۶). یون‌های دخیل در تنش شوری می‌توانند در جذب مواد تغذیه‌ای در گیاه از طریق ایجاد رقابت در جذب بین یون‌ها و یا توسط تأثیر بر جذب انتخابی غشاء اثر بگذارند. به‌عنوان مثال کمبود کلسیم و منیزیم در شرایط تنش شوری در گیاه می‌تواند ایجاد شود (۲۴). در ارقام حساس، تنش شوری هم‌چنین باعث کاهش محتوای کلروفیل، کاهش انتقال الکترون‌های فتوسنتزی، کاهش کارآیی فتوسیستم دو در گیاه به‌وسیله تجمع یون‌های سمی در پروتوپلاست می‌گردد (۱۵).

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر شوری بر رشد، تبادلات گازی و جذب مواد تغذیه‌ای در دو پایه مرکبات می‌باشد. از آنجا که پایه بکرایی بومی ایران بوده و در جنوب کشور به‌عنوان پایه استفاده می‌گردد، میزان تحمل به تنش شوری در این پایه در مقایسه با نارنج سه برگ اندازه‌گیری خواهد شد. در این پژوهش فرضیه ما این می‌باشد که پایه‌های با تحمل بیشتر، کلر و سدیم کمتری را در برگ‌هایشان تجمع داده و هم‌چنین تغییرات در میزان کلروفیل و شاخص‌های فتوسنتزی و تغذیه‌ای در شرایط تنش در آنها کمتر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط رشد

دانهال‌های پنج ماهه بکرایی (*Citrus* sp.) و نارنج سه برگ (*Poncirus trifoliata*) در گلدان‌های پلاستیکی به قطر سی سانتی‌متر و ارتفاع بیست و پنج سانتی‌متر در بستر شن ریز و در محیط گلخانه در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان نگهداری شدند. به‌منظور تأمین عناصر مورد نیاز گیاه از مخلوط کودی Floral (محصول کشور ایتالیا و شرکت CIFO) به میزان دو در هزار همراه با آب آبیاری استفاده گردید. برای تهیهٔ محلول‌های شوری، از نمک NaCl با درجه خلوص ۹۹/۵٪ [MERCK] استفاده گردید و محلول‌های برابر با غلظت‌های

۰،۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌مول نمک در لیتر تهیه گردید. به‌منظور جلوگیری از وارد آمدن تنش ناگهانی به دانهال‌ها، غلظت‌های شوری به‌تدریج و در طی سه نوبت اعمال گردید. از این مرحله به بعد دانهال‌ها به‌مدت هشت هفته تحت تیمار شوری قرار گرفتند. اعمال تیمار شوری هر سه روز یکبار به گونه‌ای انجام گردید که مقدار یک سوم آب از طریق زه‌کش گلدان خارج گردد تا از هر گونه تجمع نمک در گلدان ممانعت شود.

شاخص‌های اندازه‌گیری شده

تعداد برگ

تعداد کل برگ‌های موجود در پایه‌های مورد بررسی در انتهای آزمایش شمارش گردید.

وزن تر ریشه، ساقه و برگ

در پایان آزمایش، وزن تر ریشه، ساقه و برگ توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم محاسبه گردید.

شاخص سطح برگ

جهت اندازه‌گیری سطح برگ در پایان آزمایش سطح همه برگ‌های روی گیاه با استفاده از دستگاه مساحت‌سنج تصویر بردار H.P.2 (نسخه ۴/۱۰) اندازه‌گیری و متوسط سطح برگ در هر گیاه از تقسیم عدد حاصل از اندازه‌گیری دستگاه، بر تعداد کل برگ‌ها، برحسب سانتی‌مترمربع محاسبه گردید.

وزن خشک ریشه، ساقه و برگ

ریشه، ساقه و برگ پایه‌های مورد بررسی به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد تا زمان رسیدن به وزن ثابت، خشک و پس از آن وزن خشک ریشه، ساقه و برگ توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین گردید.

طول ریشه

جهت اندازه‌گیری طول ریشه پایه‌های مورد بررسی، در پایان آزمایش پس از جدا کردن ریشه دانهال‌ها، با استفاده از دستگاه Delta – T Scan image اندازه‌گیری گردید.

صفات مرتبط با تبادلات گازی برگ

اندازه‌گیری صفات مربوط به تبادلات گازی برگ (فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای برگ و تعرق) پس از هشت هفته از اعمال تنش شوری در انتهای آزمایش صورت پذیرفت. این اندازه‌گیری‌ها توسط دستگاه قابل حمل اندازه‌گیری فتوسنتز برگ، (مدل L.C.I. نسخه نرم‌افزاری ۱/۱۰) ساخت کشور انگلستان، بر روی جوان‌ترین برگ بالغ در هر گیاه و در حالت اتصال برگ به گیاه انجام گردید. اندازه‌گیری در روزهای صاف و آفتابی، بین ساعات ۱۰ تا ۱۳ انجام گردید. در طول اندازه‌گیری‌ها دما حدود سی و دو درجه سانتی‌گراد و فشار بخار هوای داخل به بیرون حدود ۳/۲ کیلو پاسکال و غلظت دی اکسید کربن حدود ۴۳۰ مایکرومول بود.

کلروفیل برگ

پس از اندازه‌گیری شاخص‌های تبادلات گازی میزان کلروفیل برگ‌ها توسط حلال استون ۸۰٪ استخراج گردید و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (UV-600 A) میزان جذب نور در دو طول موج ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت گردید. سپس میزان کلروفیل کل برگ محاسبه گردید (۱۴).

اندازه‌گیری محتوای کاتیون‌های گیاهی

بدین‌منظور پودر گیاهی برگ و ریشه مربوط به هر یک از تکرارها با ترازوی دیجیتال به دقت یک هزارم گرم وزن گردید و عصاره‌گیری توسط اسیدکلریدریک دو نرمال انجام گردید (۳). از عصاره حاصل جهت قرائت مقدار عناصر سدیم و پتاسیم، توسط دستگاه شعله‌سنج (مدل PFP 7) و مقدار عناصر کلسیم و منیزیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Perkin Elmper A Analyst 200) استفاده گردید (۴).

جدول۱. تأثیر پایه و شوری (۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌مول) بر درصد وزن تر اندام هوایی (گرم)، درصد وزن تر ریشه (گرم)، درصد وزن خشک اندام هوایی (گرم)، درصد وزن خشک ریشه (گرم)، درصد طول ریشه (سانتی‌متر)، درصد تعداد برگ و درصد سطح برگ (سانتی‌مترمربع) در دو پایه بکرایی و نارنج سه برگ پس از ۸ هفته از اعمال تیمار شوری

پایه	شوری (میلی‌مول)	درصد وزن تر اندام هوایی	درصد وزن تر ریشه	درصد وزن خشک اندام هوایی	درصد وزن خشک ریشه	درصد طول ریشه	درصد تعداد برگ	درصد سطح برگ
بکرایی	۰	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}
	۲۰	۸۷^{b}	۷۰^{b}	۸۹^{b}	۷۶^{b}	۶۴^{b}	۹۵^{a}	۸۷^{b}
	۴۰	۸۰^{c}	۶۲^{c}	۷۰^{c}	۶۰^{c}	۵۵^{c}	۸۵^{b}	۸۰^{b}
	۶۰	۵۷^{e}	۵۰^{d}	۵۴^{e}	۴۸^{d}	۴۱^{d}	۸۰^{b}	۶۵^{c}
نارنج سه برگ	۰	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}
	۲۰	۶۴^{d}	۴۸^{d}	۶۰^{d}	۵۰^{d}	۴۵^{d}	۷۰^{c}	۶۶^{c}
	۴۰	۴۳^{f}	۳۰^{e}	۴۸^{f}	۴۰^{e}	۳۴^{e}	۴۰^{d}	۵۳^{d}
	۶۰	۲۸^{g}	۲۱^{f}	۲۰^{g}	۲۴^{f}	۲۲^{f}	۲۸^{e}	۴۲^{e}
ANOVA, *F*-Values								
شوری		۳۵۱۷/۴**	۴۷۹۴/۴**	۴۲۱۵/۵**	۴۵۲۹/۵**	۵۳۲۰/۳**	۲۵۷۰/۴**	۲۱۱۷/۴**
رقم		۲۹۷۰/۴**	۲۵۸۳/۴**	۲۷۰۹/۳**	۱۸۳۷/۵**	۱۳۰۵/۴**	۵۶۱۲**	۱۸۹۰/۴**
شوری × رقم		۳۷۹/۴**	۳۱۳/۴**	۳۳۷/۳*	۲۱۳/۵**	۱۴۶/۴**	۸۲۳/۷**	۲۱۹/۴**
CV (٪)		۹/۳	۸/۸	۹	۱۱/۹	۸/۵	۷/۵	۱۰/۵

در هر ستون اعداد دارای حروف غیرمشابه در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

**و*: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن منابع تغییرات در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

اندازه‌گیری میزان کلر

بدین‌منظور عصاره‌گیری توسط اسیدنیتریک ۰/۱ نرمال انجام گردید و سپس توسط تیتراسیون با نیترات نقره میزان کلر محاسبه گردید (۳ و ۴).

روش‌های پردازش آماری

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در چهار سطح شوری، دو پایه و سه تکرار (۲۴ گلدان) انجام گردید. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به هر صفت به کمک نرم‌افزار سیستم پردازش آماری SAS و میانگین اثرات متقابل توسط نرم‌افزار MSTATC مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

اثر سطوح مختلف شوری بر شاخص‌های رشد

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، طول ریشه، تعداد و سطح برگ به‌عنوان معیارهای رشد گیاه در نظر گرفته شدند. با افزایش غلظت شوری شاخص‌های رویشی در پایه‌های مورد بررسی کاهش یافت و این کاهش بسته به نوع پایه متفاوت بود. کمترین میزان کاهش شاخص‌های رشد در پایه بکرایی و بیشترین میزان کاهش، در پایه نارنج سه برگ مشاهده گردید (جدول۱). وجود اختلاف در وزن خشک ریشه و اندام هوایی مرکبات در شرایط تنش شوری تأکید بر این دارد که بین پایه‌های مختلف مرکبات تفاوت‌های آشکاری در محدود کردن

ورود کلر و سدیم وجود دارد (۲۹). تحقیقات والکر و همکاران (۲۵) نشان داد که بین تجمع کلر در برگ و شدت خسارت روابط دقیقی وجود دارد. بسیاری از پژوهشگران کاهش سطح برگ گیاه بر اثر تنش شوری را دلیل اصلی کاهش رشد گیاهان گزارش نموده‌اند (۲۲). در این پژوهش نیز سطح برگ در معرض تنش شوری، متناسب با نوع پایه کاهش یافت که این کاهش در پایه بکرایی کمتر بود. کاهش سطح برگ گیاه می‌تواند به‌دلیل تولید برگ‌های کوچک‌تر باشد، این امر نشانگر آن است سلول‌های برگ در شرایط تنش شوری به حداکثر رشد خود نمی‌رسند. برخی از محققان گزارش کرده‌اند که اندازه سلول‌ها در گیاهان تحت تنش شوری در مقایسه با سلول‌های گیاهان شاهد کاهش نشان می‌دهد و علاوه بر این تقسیم سلولی نیز در گیاهان تحت تنش شوری نسبت به گیاهان شاهد کاهش چشمگیری دارد (۱۹). فرانکویس و برین استین (۷) گزارش نمودند که اولین عکس‌العمل فیزیولوژی که گیاه بعد از افزایش شوری خاک از خود نشان می‌دهد، کاهش آب درون ریشه می‌باشد و با توجه به این‌که در محیط‌های شور انرژی زیادی جهت فائق آمدن بر پتانسیل پایین در محیط ریشه جهت جذب نمودن یون توسط ریشه صرف می‌شود، این امر خود سبب کم شدن انرژی مورد نیاز جهت رشد و نمو می‌گردد و نهایتاً منجر به کاهش ارتفاع گیاه، سطح برگ و وزن تر برگ می‌شود (۲۲). هم‌چنین در شرایط تنش شوری، کاهش در میزان کلروفیل از یک سو و اثرات سمیت یون‌های کلر و سدیم از سوی دیگر، باعث اختلال در فعالیت فتوسنتزی گیاه شده، و در نتیجه مواد غذایی لازم جهت رشد و گسترش سلول‌ها فراهم نشده و توسعه برگ به کندی صورت گرفته و بدین ترتیب کاهش در وزن تر وخشک گیاه مشاهده می‌گردد (۱۵).

در این آزمایش هم‌چنین همراه با افزایش غلظت نمک و زمان آزمایش ریزش برگ مشاهده گردید. ریزش برگ در پایه حساس نارنج سه برگ با شدت بالاتری مشاهده گردید. این امر سبب کاهش شدید تعداد برگ در این پایه در سطوح بالای شوری گردید. در نتیجه در این رقم، سطح فتوسنتزکننده گیاه به‌شدت با کاهش مواجه گردید که این امر می‌تواند دلیل دیگری بر کاهش در خصوصیات رشدی گیاه در ارقام حساس به تنش شوری باشد. لازم به ذکر است که ریزش برگ در پایه بکرایی با شدت کمتری مشاهده گردید. مشخص شده است که اولین نشانه‌های ظاهر شده از شوک اسمزی حاصل از تنش شوری، ریزش ناگهانی برگ‌ها می‌باشد. شوک اسمزی حاصل، تولید آبسیزیک اسید و اتیلن را افزایش داده و در نتیجه ریزش برگ‌ها تحریک می‌گردد (۱۳).

اثر سطوح مختلف شوری بر عناصر تغذیه‌ای در برگ و ریشه

نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری میزان تجمع سدیم در ریشه و برگ در هر دو پایه افزایش می‌یابد. از این نظر پایه بکرایی و نارنج سه برگ واکنش‌های متفاوتی را نشان دادند. در سطح شوری ۲۰ میلی‌مول، پایه نارنج سه برگ در مقایسه با بکرایی با تجمع سدیم بیشتر در ریشه، سدیم کمتری را به برگ‌هایش انتقال داد. متناسب با افزایش غلظت نمک به ۴۰ و ۶۰ میلی‌مول، تجمع سدیم در برگ هر دو پایه افزایش نشان داد. در این دو سطح شوری پایه بکرایی سدیم کمتری را در مقایسه با نارنج سه برگ در برگ‌هایش تجمع نمود. این موضوع نشان داد که با افزایش غلظت نمک توانایی نارنج سه برگ در محدود کردن انتقال سدیم به برگ‌ها از بین می‌رود (جداول ۲ و ۳).

با توجه به جداول ۲ و ۳ مشخص گردید که، افزایش سطح شوری باعث افزایش میزان کلر در ریشه و برگ بکرایی و نارنج سه برگ می‌گردد و میزان این افزایش بسته به نوع پایه متفاوت می‌باشد. در هر سه سطح شوری، پایه بکرایی در مقایسه با نارنج سه برگ میزان کلر کمتری را در ریشه و برگ تجمع نمود.

با افزایش سطح شوری تا ۴۰ میلی‌مول، غلظت پتاسیم برگ در هر دو پایه افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد، در حالی‌که با افزایش غلظت نمک به ۶۰ میلی‌مول، میزان پتاسیم برگ در هر دو پایه نسبت به سطح ۴۰ میلی‌مول کاهش نشان

جدول۲. تأثیر پایه و شوری (۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌مول) بر غلظت عناصر برگ (درصد وزن خشک) در دو پایه بکرایی و نارنج سه برگ پس از ۸ هفته از اعمال تیمار شوری

پایه	شوری (میلی‌مول)	کلر	سدیم	منیزیم	کلسیم	پتاسیم
بکرایی	۰	۰/۵^{g}	۰/۱۵^{e}	۰/۴۴^{bc}	۳/۹^{b}	۲/۳^{c}
	۲۰	۱/۲^{e}	۱/۸^{e}	۰/۴^{cd}	۳/۵^{c}	۲/۴^{b}
	۴۰	۲/۱^{d}	۲^{d}	۰/۳۸^{d}	۳/۱^{d}	۲/۴۴^{b}
	۶۰	۳/۸^{b}	۲/۶^{b}	۰/۳^{e}	۳/۴^{cd}	۱/۹^{e}
نارنج سه برگ	۰	۱^{f}	۰/۱۲^{g}	۰/۵۴^{a}	۴/۵^{a}	۱/۸^{f}
	۲۰	۲/۳^{c}	۱/۱^{f}	۰/۴۶^{b}	۳/۱^{d}	۲/۴^{b}
	۴۰	۳/۷^{b}	۲/۳^{c}	۰/۳۵^{de}	۲/۴^{e}	۳^{a}
	۶۰	۵/۲^{a}	۳/۳^{a}	۰/۲^{f}	۱/۷^{f}	۲/۲^{d}
ANOVA, *F*-Values						
شوری		۱۵/۵۶**	۸/۵۳**	۰/۰۶**	۳/۲۷**	۰/۶۲**
رقم		۷/۹۳**	۰/۰۳**	۰/۰۰۰۳^{ns}	۱/۸۱**	۰/۰۴**
شوری × رقم		۰/۳۵**	۰/۵۱**	۰/۰۱**	۱/۳۴**	۰/۳۱**
CV (٪)		۸/۶	۱۰/۵	۹/۸	۸/۲	۹/۵

در هر ستون اعداد دارای حروف غیرمشابه در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

**، * و ns: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن منابع تغییرات در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

داد. غلظت منیزیم برگ در بکرایی و نارنج سه برگ با افزایش سطح شوری کاهش یافت. هم‌چنین نتایج نشان داد که غلظت کلسیم برگ در پایه بکرایی در شرایط شور تا تیمار ۴۰ میلی‌مول کاهش یافته ولی در تیمار ۶۰ میلی‌مول با افزایش روبرو می‌شود. در نارنج سه برگ غلظت کلسیم برگ با افزایش سطح شوری کاهش معنی‌داری را نشان داد (جداول ۲ و ۳). در هر دو پایه غلظت پتاسیم ریشه با افزایش سطح شوری نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. غلظت کلسیم ریشه در بکرایی با افزایش شوری تا ۴۰ میلی‌مول در مقایسه با شاهد افزایش یافت ولی در سطح شوری ۶۰ میلی‌مول کاهش نشان داد ولی این کاهش در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار نبود. غلظت کلسیم ریشه در پایه نارنج سه برگ با افزایش سطح شوری تا ۶۰ میلی‌مول، کاهش معنی‌داری را نشان داد. میزان منیزیم ریشه در بکرایی با افزایش سطح شوری نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد، در حالی‌که در پایه نارنج سه برگ غلظت منیزیم در مقایسه با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جداول ۲ و ۳).

به عقیده والکر و همکاران (۲۶) عوامل مختلفی مانند سطح شوری، ترکیب پایه و پیوندک، ترکیب و اجزاء یونی خاک در تجمع سدیم دخالت دارند. در سطوح مختلف شوری میزان تحمل و قدرت دفع پایه‌های مختلف، می‌تواند اثرگذار باشد و این پایه‌ها از ورود سدیم اضافی به درون بافت‌های خود بکاهند. با مقایسه میزان سدیم موجود در ریشه پایه بکرایی و نارنج سه برگ، مشخص گردید که در سطح شوری ۲۰ میلی‌مول پایه نارنج سه برگ که سدیم بالاتری را در

جدول۳. تأثیر پایه و شوری (۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌مول) بر غلظت عناصر ریشه (درصد وزن خشک) در دو پایه بکرایی و نارنج سه برگ پس از ۸ هفته از اعمال تیمار شوری

پایه	شوری (میلی مول)	کلر	سدیم	منیزیم	کلسیم	پتاسیم
بکرایی	۰	۰/۲۸^{h}	۰/۱۴^{f}	۰/۸^{c}	۲/۲^{c}	۳^{a}
	۲۰	۰/۶^{f}	۰/۶^{e}	۱/۰۶^{b}	۲/۴^{b}	۲/۱^{c}
	۴۰	۱/۱^{e}	۱/۸^{b}	۱/۳^{a}	۲/۷^{a}	۱/۷^{d}
	۶۰	۲/۵^{c}	۲/۴^{a}	۱/۰۶^{b}	۲/۲^{c}	۱/۵^{e}
نارنج سه برگ	۰	۰/۵^{g}	۰/۲^{f}	۰/۵^{d}	۱/۵^{d}	۲/۷^{b}
	۲۰	۱/۴^{d}	۱^{d}	۰/۴۴^{d}	۱/۴^{d}	۱/۴^{ef}
	۴۰	۲/۸^{b}	۱/۵^{c}	۰/۴۶^{d}	۱^{e}	۱/۳^{f}
	۶۰	۳/۴^{a}	۱/۹^{b}	۰/۴۹^{d}	۰/۸۵^{f}	۰/۷^{g}
ANOVA, F-Values						
شوری		۷/۵۳**	۴/۶۵**	۰/۰۵**	۰/۱۷**	۳/۳۷**
رقم		۴/۹۱*	۰/۰۴**	۲/۰۳**	۸/۴۶**	۱/۸۱**
شوری × رقم		۰/۵۵**	۰/۲۴**	۰/۰۷**	۰/۲۸**	۰/۲۵**
CV(٪)		۸/۶	۷/۴	۱۳/۱	۶/۴	۹/۹

اعداد دارای حروف غیرمشابه در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

** و *: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن منابع تغییرات در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

ریشه‌های خود تجمع داد، دارای سدیم پایین‌تری در برگ‌هایش بود. میزان تجمع سدیم در برگ‌های پایه‌های نارنج سه برگ در سطوح بالای شوری افزایش شدیدی نشان داد. این ممکن است گویای این نکته باشد که در این پایه در شوری پایین توانایی محدود کردن انتقال سدیم به برگ‌ها وجود دارد. به نظر می‌رسد که در سطوح شوری بالا، این پایه‌ها توانایی خود را در ممانعت از انتقال سدیم به اندام هوایی، از دست داده باشد. مشخص شده است که بسیاری از گیاهان با جذب نکردن سدیم و یا عدم انتقال آن از ریشه به شاخساره، در شرایط شور مقاومت می‌کنند (۲۳). در رابطه با پایه‌های مرکبات گزارش شده است که بسیاری از آنها توان دفع یون سدیم را در ریشه‌های خود دارند ولی سازوکار این خصوصیت کاملاً مشخص نشده است (۹).

گارسیا – سانچز و همکاران (۱۰) گزارش نمودند که در پایه‌های حساس در معرض تنش شوری، دوره‌ای که غلظت یون‌های سمی به یک وضعیت ثابت می‌رسد طولانی‌تر می‌باشد (۱۰). اختلاف در غلظت یون کلر در برگ پایه‌های مختلف مرکبات در معرض تنش شوری با نتایج به‌دست آمده توسط دیگر محققین مطابقت دارد (۲ و ۲۵). نتایج به‌دست آمده توسط لوپز– کلیمنت و همکاران (۱۵) نشان داد که آسیب شوری به مرکبات اساساً همراه با تجمع کلر و سدیم بالا در برگ‌هاست. در این آزمایش ملاحظه شد که رقم حساس نارنج سه برگ بیشترین مقدار کلر را در ریشه و اندام هوایی خود نسبت به بکرایی داشته است. با توجه به مطالب فوق به نظر می‌رسد که ارقام متحمل مرکبات در برابر شوری از جذب کلر در ریشه و نیز انتقال آن از ریشه به اندام هوایی جلوگیری می‌کنند که این

امر می‌تواند مکانیزمی برای تحمل به شوری باشد. کامارا و همکاران (۲) نیز محدود کردن انتقال کلرید به اندام هوایی را مرتبط با تحمل به شوری دانسته‌اند. در پژوهش حاضر، غلظت پتاسیم در برگ‌ها ابتدا در سطوح پایین شوری افزایش نشان داده و سپس کاهش یافت. به نظر می‌رسد یکی از مکانیزم‌های مقابله با سطوح شوری متوسط در مرکبات، افزایش غلظت پتاسیم در برگ‌ها باشد. تحت شرایط شوری نه تنها رقابت یون سدیم با یون پتاسیم بلکه تغییر در نفوذپذیری غشاء سلول‌های ریشه نیز ممکن است باعث کاهش جذب یون پتاسیم شود (۱۶). در این آزمایش غلظت یون پتاسیم در ریشه با افزایش شوری کاهش معنی‌داری داشت که با نتایج به‌دست آمده توسط ذکری و پارسونز (۲۹) و گارسیا سانچز و همکاران (۹) مطابقت دارد. در این رابطه عنوان شده است که تحت شرایط شوری ممکن است یون سدیم جانشین کلسیم در غشاء سلول‌های ریشه شود که این امر نشت یون پتاسیم از ریشه را به دنبال خواهد داشت (۲۹).

از آنجایی که پتاسیم مشارکت زیادی در کاهش پتانسیل اسمزی در نوک ریشه دارد و این کاهش پتانسیل، پیش نیازی برای فشار تورژسانس و نیروی رانش محلول در آوند چوبی می‌باشد، کاهش پتاسیم در ریشه ممکن است منجر به کاهش انتقال مواد و عناصر غذایی به اندام هوایی گردد (۱۶). کاهش مقدار کلسیم در اندام هوایی می‌تواند به‌علت اثر رقابتی یون‌های موجود در آوندهای گیاه با کلسیم باشد که انتقال این عنصر را مختل می‌نماید (۱). هم‌چنین گزارش شده است که کاهش در میزان کلسیم جذب شده در محیط شور بر اثر زیاد شدن نسبت سدیم به کلسیم است؛ که در این شرایط جایگزینی سدیم به جای کلسیم در ریشه گیاه، نشت پتاسیم از ریشه را نیز افزایش می‌دهد (۲۹). کامارا و همکاران (۲) کاهش غلظت منیزیم را تحت تأثیر شوری در برگ‌های پرتقال گزارش نموده‌اند. توزلو و همکاران (۲۴) عنوان نمودند که براساس نقش منیزیم در ساختمان کلروفیل و فتوسنتز، کاهش در مقدار منیزیم می‌تواند باعث تخریب کلروفیل و آسیب به گیاه گردد. در پژوهش حاضر شوری باعث کاهش کلروفیل و ایجاد زردی در برگ‌های پایه‌های مورد آزمایش گردید. عنوان شده است که کمبود منیزیم ممکن است یکی از دلایل کلروز مشاهده شده در برگ‌های مرکبات در شرایط تنش شوری باشد (۲۴).

اثر سطوح مختلف شوری بر میزان کلروفیل

میزان کلروفیل کل در برگ هر دو پایه تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت. در هر دو پایه‌ها با افزایش سطح شوری میزان کلروفیل کاهش یافت و این کاهش در پایه نارنج سه برگ در مقایسه با بکرایی بیشتر بود (جدول ۴). مشخص شده است که تنش شوری موجب مختل شدن تبادلات یونی و کاهش جذب نیترات به‌علت افزایش یون کلر در محیط ریشه و یا کاهش جذب منیزیم می‌شود که این عوامل، کاهش سنتز کلروفیل را به دنبال دارند (۹). کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری به‌دلیل فعالیت بیشتر آنزیم کلروفیلاز گزارش شده است. هم‌چنین بعضی از مواد تنظیم‌کننده رشد نظیر آبسیزیک اسید، اتیلن موجب تحریک فعالیت این آنزیم می‌شوند و در شرایط تنش غلظت آنها افزایش می‌یابد (۵).

اثر سطوح مختلف شوری بر شاخص‌های تبادلات گازی

در هر دو پایه شاخص‌های فتوسنتزی با افزایش سطح شوری کاهش یافت (جدول ۴). میزان فتوسنتز با تجمع یون‌های سدیم و کلر در برگ در هر دو پایه همبستگی منفی نشان داد. هم‌چنین نتایج نشان داد که فتوسنتز با وزن خشک اندام هوایی همبستگی مثبت دارد (شکل ۱، ۲ و ۳). بنابراین یکی از دلایل کاهش فتوسنتز در اثر تنش شوری می‌تواند آسیب ناشی از تجمع یون‌های کلر و سدیم در برگ باشد و در نتیجه این کاهش وزن خشک گیاه نیز کاهش می‌یابد. تنش شوری منجر به کاهش بیشتر فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای نارنج سه برگ در مقایسه با بکرایی گردید. به‌عنوان مثال در پایه نارنج سه برگ تحت

جدول۴. تأثیر تنش شوری (۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌مول) بر میزان کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن تر)، درصد فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، و تعرق نسبت به شاهد در دو پایه بکرایی و نارنج سه برگ پس از ۸ هفته از اعمال تیمار شوری.

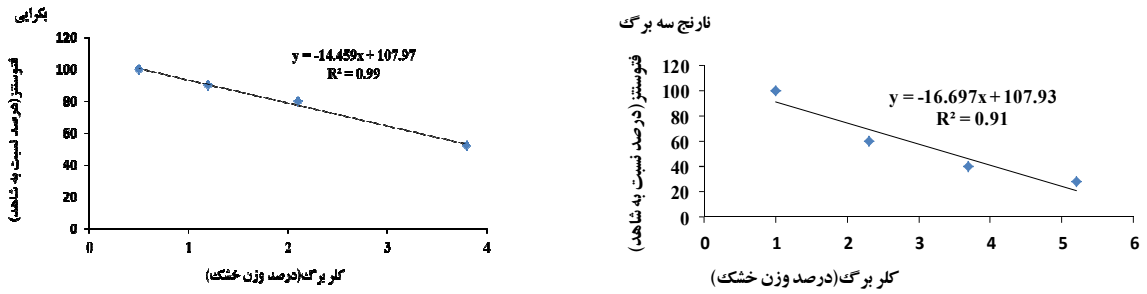
پایه	شوری (میلی‌مول)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن تر)	فتوسنتز (٪)	هدایت روزنه‌ای (٪)	تعرق (٪)
بکرایی	۰	۰/۹۳^{ab}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}
	۲۰	۰/۹^{b}	۹۰^{b}	۸۰^{b}	۸۷^{b}
	۴۰	۰/۷۸^{c}	۸۰^{c}	۶۰^{c}	۶۶^{c}
	۶۰	۰/۶۲^{e}	۵۲^{d}	۴۰^{d}	۶۰^{d}
نارنج سه برگ	۰	۰/۹۵^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}	۱۰۰^{a}
	۲۰	۰/۷۲^{d}	۶۰^{d}	۴۰^{d}	۷۰^{c}
	۴۰	۰/۴۲^{f}	۴۰^{e}	۳۰^{de}	۵۰^{e}
	۶۰	۰/۲۲^{g}	۲۸^{f}	۲۰^{e}	۴۰^{f}
ANOVA, F-Values					
شوری		۰/۳۱۲**	۳۸۳۷/۵**	۵۴۳۷/۵**	۳۰۱۱/۴**
رقم		۰/۳۱۷*	۳۳۱۳/۵**	۳۰۳۷/۴**	۱۰۵۳/۴*
شوری × رقم		۰/۰۵۵*	۴۳۳**	۴۳۷/۵*	۱۲۱/۲*
CV (٪)		۱۱/۱	۸/۵	۱۰/۳	۹

در هر ستون اعداد دارای حروف غیرمشابه در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

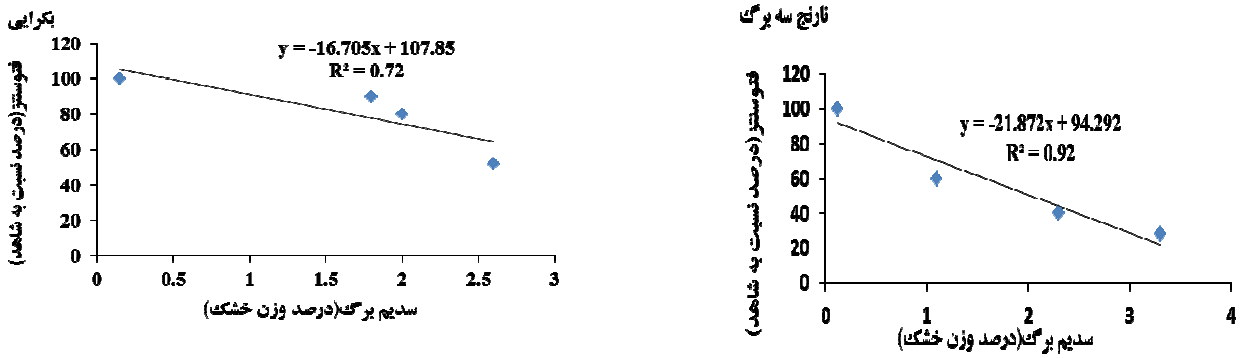
** و *: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن منابع تغییرات در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

متوسط پارامترهای فتوسنتزی بین هر دو پایه در تیمار شاهد: فتوسنتز ۶ میکرومول (CO_2) بر مترمربع بر ثانیه، هدایت روزنه‌ای ۰/۱۲ مول بر مترمربع بر ثانیه، و تعرق ۲/۴ میلی‌مول (آب) بر مترمربع بر ثانیه

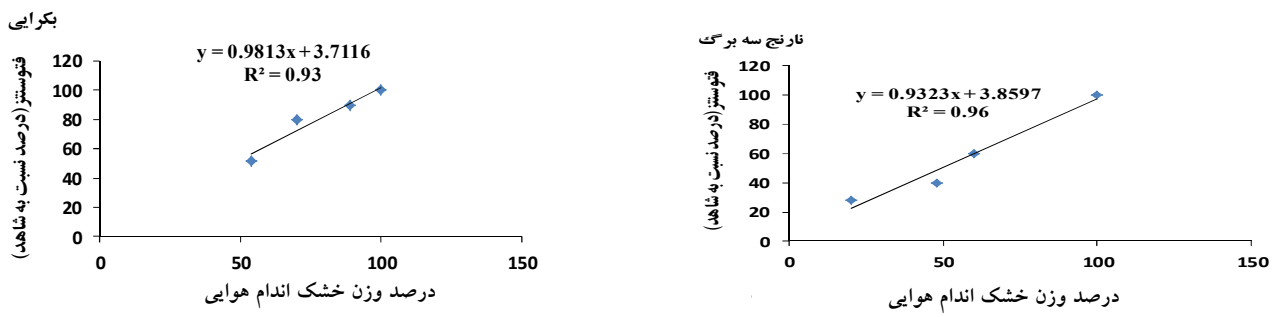
شرایط شوری ۶۰ میلی‌مول میزان کاهش فتوسنتز در مقایسه با تیمار شاهد ۷۲ درصد بود در حالی‌که این کاهش در بکرایی برابر با ۴۸ درصد بود. مطالعات انجام شده نشان داده است که تنش شوری فتوسنتز را که یکی از مهم‌ترین فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه محسوب می‌شود تحت تأثیر قرار می‌دهد. این بررسی‌ها میزان کاهش فتوسنتز تحت تنش شوری را به نوع شوری، مدت زمان در معرض شوری قرار گرفتن، سن و نوع گیاه مربوط دانسته‌اند (۸). نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نیز مؤید همین نکته می‌باشد. از آنجا که کاهش در میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ، به‌طور بسیار معنی‌داری با کاهش رشد رابطه دارد می‌توان اظهار کرد که علت پایین بودن شاخص‌های رشدی در شرایط تنش شوری، پایین بودن میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ می‌باشد. هم‌چنین پایین بودن شاخص‌های رشدی رقم حساس به شوری نارنج سه برگ را می‌توان به افت شدید شاخص‌های فتوسنتزی این رقم نسبت داد. از دلایل کاهش در هدایت روزنه‌ای در شرایط شوری را می‌توان به تولید سیگنال‌هایی از طریق ریشه گیاهان در معرض تنش شوری، مانند تولید آبسیزیک اسید در ریشه و انتقال آن به شاخه‌ها، هم‌چنین تجمع کربوهیدرات‌ها، پتاسیم، کلسیم و کلر در سلول‌های نگهبان روزنه نسبت داد (۲۰). از جمله دلایل



شکل ۱. همبستگی بین فتوسنتز با کلر برگ در در دو پایه بکرایی و نارنج سه برگ پس از ۸ هفته از اعمال تیمار شوری



شکل ۲. همبستگی بین فتوسنتز با سدیم برگ در در دو پایه بکرایی و نارنج سه برگ پس از ۸ هفته از اعمال تیمار شوری



شکل ۳. همبستگی بین فتوسنتز با وزن خشک اندام هوایی در در دو پایه بکرایی و نارنج سه برگ پس از ۸ هفته از اعمال تیمار شوری

کاهش تبادلات گازی در شرایط شوری، کاهش در فشار تورگر، وارد آمدن آسیب به چرخه کلوین و ایجاد سمیت توسط تجمع یون‌های سدیم و کلر می‌توان نام برد (۲۳). در این پژوهش مشاهده گردید که فتوسنتز در پایه بکرایی با کاهش کمتری روبرو شده است و در نتیجه کاهش فاکتورهای رشدی آن در مقایسه با نارنج سه برگ کمتر بود. مطالعات گذشته نشان داده است که در برخی از پایه‌ها مکانیزم‌هایی برای ایجاد تحمل در برابر شوری از جمله: تخصیص یون‌های سمی نمک در واکوئل، تجمع یون‌های اسمتیک متعادل‌کننده در سیتوپلاسم، توانایی کاهش دادن جذب کلر و یا سدیم به‌وسیله ریشه و کم کردن انتقال کلر و سدیم به شاخه وجود دارد (۸).

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد مرکبات حساسیت بالایی به شوری دارند زیرا همه شاخص‌های اندازه‌گیری شده تحت تأثیر سطوح پایین تنش شوری قرار گرفتند. مهم‌ترین یون‌های شوری (سدیم و کلر) می‌توانند از طریق اثرات متقابل رقابتی و یا اثر بر مکانیزم انتخابی یون در غشاء بر جذب مواد تغذیه‌ای اثر بگذارند و باعث عدم تعادل غذایی گردند. هم‌چنین تنش شوری از طریق تجمع یون‌های کلر و سدیم در برگ باعث تخریب کلروفیل و آسیب رساندن به شاخص‌های فتوسنتزی در مرکبات می‌گردد. پایه نارنج سه برگ در شوری متوسط توانایی جلوگیری از انتقال سدیم به برگ از طریق تجمع این یون در ریشه را دارد ولی این خصوصیت در سطوح بالای شوری از بین می‌رود. پایه بکرایی از طریق جذب و انتقال کمتر کلر، تخصیص بهتر یون‌های سمی به مناطقی که کمتر به شاخص‌های فتوسنتزی آسیب می‌رساند، حفظ کلروفیل و فتوسنتز و ایجاد تعادل تغذیه‌ای با تنش شوری مقاومت می‌کند.

منابع مورد استفاده

1. Botella, M. A., V. Martinez, J. Pardines and A. Cerda. 1997. Salinity induced potassium deficiency in maize plant. *Plant Physiology* 150: 200-205.
2. Camara, J. M., F. Garsia-Sanchez, M. Nieres and A. Cerda. 2003. Effect of interstock (Salustano Orange) on growth, leaf mineral composition and water relations of one year old citrus under saline conditions. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 78: 161-167.
3. Chapman, H. D and P. F. Pratt. 1961. Method of analysis for Soils, plant and waters, Berkeley, C A: University of California, Division of Agricultural Sciences.
4. Cottenie, A., M. Verloo, L. Kiekens, G. Velghe and R. Camerhyne. 1982. Chemical Analysis of Plants and Soils, Laboratory of Analytical and Agrochemistry. State University of Ghenta, Ghent Belgium.
5. Drazkiewice, M. 1994. Chlorophyllase: occurrence, function, mechanism of action, effect of external and internal factors. *Photosythetica* 30: 321-331.
6. Flowers, T. J. and A.R. Yeo. 1995. Breeding for salinity resistance in crop plants: where next? *Journal of Plant Physiology* 22:875-884.
7. Francois, L. E. and L. Bernstein. 1964. Salt tolerance of safflower. *Agronomy Journal* 56: 38-40.
8. Garcia-Sanchez, F. and J. P. Syvertsen. 2006. Salinity tolerance of cleopatra mandarin and carrizo citriange citrus rootstock seedlingsin is affected by CO_2 enrichment during growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 131: 24-31.
9. Garcia- Sanchez, F., J. L. Jifon, M. Garrajal and J. P. Syvertsen. 2002. Gas exchange, chlorophyll and nutrient content in relation to Na^+ and Cl^- accumulation in sunburst mandarin grafted on different rootstock. *Plant Science* 162: 705-712.
10. Garcia-Sanchez, F., P. Botia, G. Fernadez-Ballester, A. Cerda and M. Lopez. 2005. Uptake, transport, and concentrations of chloride and sodium in three citrus rootstock seedlings. 2005. *Journal of Plant Nutrition* 28: 1933-1945.
11. Gomez-Cadenas, A., F. R. Taeo, E. Primo-Millo and M. Talon. 1998. Involvement of abscisic acid and ethylene in the responses of citrus seedlings to salt shock. *Physiologia Plantarum* 103: 475-484.
12. Hare, P. D., W. A. Cress and J. Van Staden. 1998. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell and Environment* 21: 535-553.
13. Levy, Y. and J. Syvertsen. 2004. Irigation water quality and salinity effects in citrus trees. *Hortcultural Reviews* 30: 37-82.
14. Lichtenthaler, R. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids–pigments of photosynthetic biomembranes. pp.350 – 382 – *In*: S. P. Colowick, N. O Kaplan, (Ed) Methods in Enzymology.. Academic Press, San Diego – New York – Berkeley – Boston – London – Sydney – Tokyo – Toronto.
15. Lopez-Climent, M. F., M. V. A. Rosa and P. C. A. Gomez-Cadenas. 2008. Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performation in citrus. *Environmental and Experimental Botany* 62: 176-184.
16. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plant. Academic press. USA.
17. Moya, J. L., A. Gomez-Cadenas, E. Primo-Millo and M. Talon. 2003. Chloride absorption in salt-sensitive carrizo citrange and salt-tolerant cleopatra mandarine citrus rootstocks is linked to water use. *Journal of Experimental Botany* 54: 825-833.

18. Munns, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soil: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell and Environment* 16: 15-24.
19. Papp, J. C., M. C. Ball and N. Terry. 1983. A comparative study of the effect of NaCl salinity on resoiration , photosynthesis and leaf extension growth in *Beta vulgaris* L. *Plant Cell and Environment* 6: 675-677.
20. Paranychianakis, N. V. and K. S. Chartzoulakis. 2005. Irigation of Mediterranean crops with saline water: from physiology to management practices. *Agriculture Ecosystems and Environment* 106: 171-187.
21. Romero-Aranda, R., J. L. Moya, F. R. Tadeo, F. Legaz, E. Primo-millo and M. Talon. 1998. Physiological and anatomical disturbances induced by chloride salts in sensitive and tolerant citrus: beneficial and detrimental effects of cations. *Plant Cell and Environment* 21: 1243-1253.
22. Srivastava, J. P. and S. C. Gupta. 1988. Effect of salt stress on physiologica and biochemical parameters in wheat. *Journal of Annual and Arid Zone* 27: 197-204.
23. Storey, R. and R. R. Walker. 1999. Citrus and salinity. Scientia Horticulturae 78: 39-81.
24. Tozlu, I., G. A. Moore and C. L. Guy. 2000. Effect of increasing NaCl concentration on stem elongation, dry mass production, and macro- and micro- nutrient accumulation in Poncirus trifoliate. *Australian Journal of Plant Physiology* 27: 35-42.
25. Walker, R. R. and T. J. Douglas. 1983. Effect of salinity level on uptake and distribution of chloride,sodium and potassium ions in Citrus plants. *Australian Journal of Agricultural Research* 34: 145-153.
26. Walker, R. R., D. H. Blackmore and Q. Sun, 1993.Carbon dioxide assimilation and foliar ion concentrations in leaves of lemon (Citrus limon L.) trees irrigated with NaCl or Na_2SO_4. *Australian Journal of Plant Physiology* 20: 173-185.
27. Yeo A. R. 1998. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole plant physiology. *Journal of Experimental Botany* 49: 915-929.
28. Zekri, M. 1991. Effect of NaCl on growth and physiology of Sour orange and Cleopatra mandarin seedlings. *Scientia Horticulturae* 47: 305-315.
29. Zekri, M. and L. P. Parsons. 1992. Salinity tolerance in citrus rootstock: Effect of salt on root and leaf mineral concentrations. *Plant and Soil* 147: 171-181.
30. Zekri, M. and L. R. Parsons. 1990. Response of split-root sour orange seedlings to NaCl and polyethylene glycol stresses. *Journal of Experimental Botany* 41: 35-40.