نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد هفتم، شماره اول، ۱۳۹۶
http://ejsms.gau.ac.ir

اثر سطوح مختلف کلریدپتاسیم و دما بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دانهال نارنج

*اسماعیل دردی‌پور[۱]، زینب رفیعی‌راد[۲]، یحیی تاجور[۳]، محسن علمایی[۱] و علیرضا شیخ‌اشکوری[۴]

[۱]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی گرگان، [۲]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی گرگان، [۳]استادیار مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، سازمان، تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، [۴]عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر

تاریخ دریافت: ۹٤/۱/۳۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۳

چکیده

سابقه و هدف: مرکبات از مهم‌ترین مجصولات نواحی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری و حساس به تنش دمای پایین می‌باشد که به‌واسطه بروز این تنش، دچار آسیب فراوان می‌شوند. نارنج یکی از ارقام تجاری مرکبات است که به‌عنوان یک پایه مقاوم به تنش زیستی و غیرزیستی مورد توجه قرار گرفته است. از جمله تنش‌های محیطی مهم که رشد، تولید و پراکنش گیاه را محدود می‌کند، دمای پایین است. تنش دمای پایین موجب از بین رفتن استحکام غشای سلولی و افزایش تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن می‌گردد که منجر به تخریب و نشت الکترولیت‌های برگ می‌شود. یکی از راهکارهای افزایش مقاومت گیاهان به دمای پایین، واکنش تعادل اسمزی برای حفظ آب گیاه است. این فعالیت‌ها توسط ترکیبات تنظیم‌کننده فشار اسمزی مانند یون‌های معدنی پتاسیم، تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. پتاسیم، مقاومت سلول را در مقابل تنش دمای پایین افزایش می‌دهد و می‌تواند در مقابله با آن به گیاه کمک کند. هدف این پژوهش بررسی مکانیسم‌های افزایش تحمل‌پذیری گیاهان در برابر تنش یخبندان می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر، اثرات مصرف کلریدپتاسیم با غلظت‌های مختلف (۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار) و در دماهای صفر، ۳- و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر پاسخ‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی شاخساره‌های جوان نارنج به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و با استفاده از بستر کشت بدون خاک در مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری کشور (رامسر) و در سال ۲۰۱۳ مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که محتوی آب برگ در غلظت ۱۰ میلی‌مولار کلریدپتاسیم نسبت به تیمار شاهد ۱۳ درصد افزایش یافت. همچین در بالاترین غلظت کلریدپتاسیم، مقدار پراکسیداسیون لیپیدها نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. با کاهش دما، میزان نشت یونی برگی در همه تیمارها نسبت به شاهد افزایش یافت. با کاهش دما در میزان محتوی آب برگی کاهش ۳۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید. با کاهش دما مقدار پراکسیداسیون لیپیدها افزایش معنی‌داری را نشان داد و مقدار آن در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد ۷۰ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد افزایش یافت.

* مسئول مکاتبه: e.dordipour@yahoo.com

حداکثر مقادیر کارتنوئید و پراکسیداسیون لیپیدها در تیمار شاهد و دمای ۳- درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. حداکثر مقادیر کلروفیل a، b و کل در بالاترین غلظت کلریدپتاسیم و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید. حداکثر میزان پرولین نیز در تیمار شاهد و دمای ۳- درجه سانتی‌گراد مشاهد شد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، پتاسیم با افزایش محتوی آب برگ، کاهش متابولیت‌های ثانویه‌ای مانند پرولین و همچنین کاهش پتانسیل آب برگ، موجب افزایش پایداری غشاء سلولی و تحمل‌پذیری نارنج به تنش دمای پایین می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداسیون لیپیدها، پرولین، کلریدپتاسیم، نارنج

مقدمه

مرکبات یکی از محصولات گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است که در عرض جغرافیایی ٤٠ درجه شمالی و جنوبی به‌استثناء ارتفاعات رشد می‌کند. دمای پایین از جمله تنش‌های غیرزیستی محدودکننده رشد مرکبات می‌باشد و حساسیت به آن به نوع و پایه درخت بستگی دارد (۲۵). اثرات منفی تنش اغلب منجر به رشد ضعیف درخت و کاهش عملکرد و کیفیت میوه درخت می‌گردد (٤٤). یکی از ارقام تجاری مرکبات، نارنج با نام علمی (*Citrus aurantium*) می‌باشد که دارای پتانسیل بالایی برای مصرف در زمینه‌های مختلف است. نارنج از جمله ارقامی است که به‌عنوان پایه مقاوم به تنش‌های زیستی و غیرزیستی محسوب می‌گردد (۲۵). سرمای شدید و ناگهانی (افت درجه حرارت به پایین‌تر از نقطه انجماد) و متعاقب آن بروز پدیده یخبندان موجب خسارت یا نابودی مرکبات می‌شود. تنش دمای پایین با ایجاد تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک باعث عدم تعادل متابولیسمی، کاهش رشد، کاهش عملکرد و در بعضی موارد مرگ در گیاهان حساس می‌گردد (۱۰). کاهش دما منجر به ایجاد تغییرات شدید در سیالیت غشاء می‌شود. این عامل به شرایط ویژه سلول و ترکیبات نسبی فسفولیپیدها بستگی دارد (۸). تنش دمای پایین یا انجماد منجر به تخریب و خسارات فتواکسیداتیو در کلروپلاست می‌گردد و ظرفیت تثبیت دی‌اکسیدکربن را کاهش می‌دهد (۳۲). پتاسیم یکی از عناصر بسیار مهم است که بعد از نیتروژن به مقدار زیادی توسط گیاهان مورد نیاز می‌باشد. به‌منظور رشد مطلوب و قابلیت تولید بیش‌تر، گیاهان نیازمند مقادیر زیادی پتاسیم به‌ویژه طی مراحل رشد تولیدمثلی خود می‌باشند (۳٤). کلریدپتاسیم یکی از منابع مهم کود پتاسیمی است. پتاسیم و کلر از مهم‌ترین مواد و ترکیبات فعال اسمزی غیرآلی در سلول‌ها و بافت‌های گیاهی می‌باشند (۱۲). تغذیه بهینه پتاسیم می‌تواند با تأثیرگذاری بر برخی فرایندهای فیزیولوژیکی مانند افزایش سطح برگ و به دنبال آن افزایش رنگدانه‌های کلروفیل و میزان فتوسنتز، بر تحمل‌پذیری گیاهان نسبت به تنش دمای پایین مؤثر گردد (۲۷). برینگر وترولدنیر (۱۹۷۸) نشان دادند که غلظت بهینه پتاسیم سلولی از طریق کاهش پتانسیل اسمزی موجب افزایش مقاومت به سرما می‌گردد (۸). کمبود پتاسیم موجب افزایش اثرات منفی تنش سرمایی می‌شود. پتاسیم با اثر بر اسمولیت‌ها، پایین آوردن نقطه انجماد شیره سلولی و ممانعت از دهیدراتاسیون سلول، تحمل‌پذیری گیاه را به تنش دمای پایین افزایش می‌دهد (۲۷). در مجموع در شرایط دمای پایین و

غلظت‌های کم‌پتاسیم، خسارات برگی شدت می‌یابد (۲۲). موارد مشابهی نیز توسط دووی و همکاران (۲۰۱۲) در گیاه جینسینگ گزارش گردید (۱٦). در مطالعه‌ای که روی درختان شش‌ساله پرتقال هاملین روی پایه نارنج در فلوریدا انجام گرفت نشان داد که با مصرف پتاسیم، تحمل‌پذیری درخت به تنش دمای پایین (٤ درجه سانتی‌گراد) افزایش یافت (١٤). سولوریا (١٩٧٤) نیز گزارش کرد که استفاده از کلریدپتاسیم بر افزایش تحمل‌پذیری درختان سیب نسبت به تنش یخبندان زمستانه (۲- درجه سانتی‌گراد) و بهبود عملکرد آن‌ها تأثیرگذار می‌باشد (٤۳). با توجه به کاشت وسیع پایه نارنج در ایران به‌خصوص نواحی شمال و مرکزی کشور و وقوع دوره‌ای تنش یخبندان، بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشمیایی دانهال‌های نارنج تحت تغذیه پتاسیم و در دمای پایین امری ضروری به‌نظر می‌رسد. این پژوهش تلاش دارد تا حد آستانه تحمل‌پذیری دانهال نارنج را از طریق بررسی واکنش‌ها و پاسخ‌های دانهال‌های یکساله نارنج در دامنه مختلف دمایی و تحت‌تأثیر تغذیه کلریدپتاسیم بررسی کند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی دانهال‌های بذری یکساله نارنج با صفات مشابه با والد مادری تحت تیمار تغذیه‌ای کلریدپتاسیم با سطوح غلظتی صفر، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار در دماهای صفر، ۳- و ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. این دانهال‌ها دارای ساقه‌های به قطر ۰/۳±۰/۹ و ارتفاع ۱۰±۹۰ سانتی‌متر بودند. در این پژوهش از کلریدپتاسیم به‌دلیل حلالیت زیاد به‌خصوص در محیط‌های کشت بدون خاک و همچنین دارا بودن مقدار زیادی پتاسیم (٦۰ تا ٦۲ درصد) نسبت به سایر منابع کود پتاسیمی استفاده گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. دانهال‌های نارنج در محیط بدون خاک کشت و با محلول غذایی هوگلند تغذیه شدند (٢٤). تیمارهای تغذیه‌ای از اول شهریور تا نیمه آبان سال ۱۳۹۲ به‌مدت ۷۵ روز بر روی دانهال‌های یکساله نارنج در مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری کشور (رامسر) انجام گرفت. قبل از شروع تیمارهای تغذیه‌ای به‌منظور سازگاری ترکیبات گیاهی به کاهش دما، دانهال‌ها به‌درون انکوباتوری با رطوبت نسبی ٥±٦٥ درصد و شدت نور ۱۵۰۰۰ لوکس (۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی) منتقل شدند (مبنای این رطوبت و شدت نور، میزان رطوبت و شدت نور خورشید مورد نیاز برای رشد نارنج در مناطق شمالی کشور می‌باشد، زیرا که متوسط رطوبت نسبی در مناطق شمالی کشور برای رشد و پرورش مرکبات ۷۰ درصد و متوسط شدت نور خورشید معادل نوری است که طی ۱۲ ساعت روشنایی ساطع می‌گردد). کاهش دمای محیط از دمای طبیعی رشد به‌صورت تدریجی روزانه یک درجه سانتی‌گراد بود و سپس دانهال‌ها به‌مدت ٢٤ ساعت در هر تیمار دمایی قرار داده شدند. در حقیقت گیاه طی مدت زمان ۸ تا ۱۲ ساعت قرارگیری در شرایط دمای پایین، تمامی تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشمیایی خود را نشان می‌دهد. مدت زمان ٢٤ ساعت به‌منظور حصول اطمینان از انجام کامل تغییرات مذکور می‌باشد (۳٦). بعد از ۷۵ روز اعمال تیمار تغذیه‌ای و بلافاصله بعد از اعمال تنش سرمایی، نمونه‌برداری از برگ‌های انتهایی و جوان گیاه انجام شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی: بلافاصله بعد از اعمال تنش دمای پایین، شاخص‌های پتانسیل آب برگ با استفاده از دستگاه محفظه فشاری[1] (۱۸) و میزان نشت یونی با روش کامپوز و همکاران (۲۰۰۳) اندازه‌گیری شد (۱۳). با محاسبه وزن تر و خشک برگ، محتوی آب برگ با روش ورسلوئس و همکاران (۲۰۰۶) اندازه‌گیری شد (٤٦). به‌منظور اندازه‌گیری کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید، میزان جذب عصاره استخراج شده با استفاده از اسپکتروفوتومتر نانودراپ (مدل ND-1000 ساخت آمریکا) به‌ترتیب در طول موج‌های ٦٦٣، ٦٤٥ و ٤٧٠ نانومتر قرائت و محاسبه گردید (۳٦). برای محاسبه شاخص پراکسیداسیون لیپیدها، غلظت مالوندآلدئید[2] ارزیابی گردید. محصول واکنش کمپلکس رنگی است که در طول موج ۵۳۲ نانومتر جذب آن ثبت و سپس جذب سایر رنگیزه‌های غیراختصاصی نیز در ٦۰۰ نانومتر تعیین و از جذب ۵۳۲ نانومتر کسرگردید (٤). برای سنجش پرولین، ۲ میلی‌لیتر از عصاره برگ‌های جوان و انتهایی (استخراج از طریق محلول سولفوسالیسیلیک اسید ۱۰ درصد) با ۲ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید مخلوط و به حمام آب گرم (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت یک ساعت) منتقل شدند. بعد از اضافه کردن ٤ میلی‌لیتر تولوئن و جداسازی دوفاز از طریق ورتکس، میزان جذب فاز رویی عصاره استخراج شده در طول موج ۵۲۰ نانومتر محاسبه گردید (۷). تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

1- Pressure chamber
2- MDA

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول‌های ۱ و ۲) نشان داد که اثر کلریدپتاسیم بر دانهال‌های نارنج در شرایط دمای پایین، بر میزان کلروفیل a و پراکسیداسیون لیپیدها ($P\leq ۰/۰۵$) و بر محتوی آب برگ، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید و پرولین برگ ($P\leq ۰/۰۱$) معنی‌دار بود. ولی اثر آن بر شاخص‌های نشت یونی و پتانسیل آب برگ معنی‌دار نبود. اثر دمای پایین نیز بر تمام شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به غیر از کلروفیل b و کارتنوئید معنی‌دار بود ($P\leq ۰/۰۱$). در بررسی اثرات متقابل کلریدپتاسیم و دما نیز مشاهده شد که شاخص‌های نشت یونی و پرولین ($P\leq ۰/۰۵$) و محتوی آب برگ ($P\leq ۰/۰۱$) معنی‌دار شد.

اثر کلریدپتاسیم بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی: همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، محتوی آب برگ در غلظت ۱۰ میلی‌مولار کلریدپتاسیم نسبت به تیمار شاهد ۱۳ درصد افزایش داشت. سیکک و کاکیر لار (۲۰۰۲) بیان کردند که با افزایش غلظت پتاسیم و کلر، میزان مواد محلول در سلول‌های برگ افزایش می‌یابد (۱۱). در این شرایط گیاه قدرت حفظ ساختار خود را پیدا کرده و نشت مواد کم‌تر صورت می‌گیرد و محتوی آب برگ افزایش می‌یابد. بانولس و پریمومیلو (۱۹۹۲) در پژوهشی بر روی پرتقال شیرین نشان دادند که غلظت‌های بالای کلریدپتاسیم باعث افزایش محتوی آب برگ گیاه شد (٦). همچنین نتایج پژوهش کافی و همکاران (۲۰۱۰) روی اثر کلریدپتاسیم بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه کوشیا[3] (*Kochia scoparia*) نشان داد که غلظت ۱۰ میلی‌مولار کلریدپتاسیم موجب

3- Kochia

افزایش معنی‌دار محتوی آب برگ گردید (۲۶). نتایج نشان داد که افزایش غلظت کلریدپتاسیم موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل a، b و کل گردید اما از نظر آماری اختلاف میان سطوح کلریدپتاسیم معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار کلروفیل a، b و کل در غلظت ۱۰ میلی‌مولار کلریدپتاسیم به‌ترتیب با (۱۶/۸، ۳۰/۸ و ۱۹ درصد) افزایش نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید. به‌طورکلی مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل با افزایش غلظت پتاسیم افزایش یافت و این افزایش در میزان کلروفیل کل عمدتاً مربوط به کلروفیل نوع a بود (جدول ۳). دگل این نوستیا و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که کمبود پتاسیم موجب کاهش تثبیت دی‌اکسیدکربن فتوسنتزی و کاهش تولید رنگدانه‌های کلروفیل گردید (۱۵). افزایش مقدار کلروفیل در غلظت‌های بهینه کلریدپتاسیم توسط پژوهش‌گران دیگری نیز گزارش شد (۵۰). همچنین دمای پایین با تأثیر بر میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی و در نتیجه تخریب این رنگدانه‌ها در غشای تیلاکوئیدها موجب کاهش رنگدانه‌های کلروفیل گردید (۳۶). در پژوهشی که بر روی گیاه برنج انجام گرفت تغذیه پتاسیم با غلظت‌های بهینه، موجب افزایش مقدار کلروفیل در برگ‌های برنج گردید (۴۹). همچنین در مطالعه دیگری روی گیاه ذرت نیز به اثرات مثبت پتاسیم در حفظ سبزینه و کلروفیل برگ اشاره گردید (۲۹).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی دانهال نارنج.

Table 1. ANOVA results of some physiological indices in *Citrus aurantium* seedling.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares		
		نشت یونی Electrolyte leakage	پتانسیل آب برگ Leaf water potential	محتوی آب برگ Leaf water content
کلریدپتاسیم KCl	3	67.5^{ns}	0.003^{ns}	171**
دما Temperature	2	3514**	4.9**	2076**
کلریدپتاسیم × دما KCl×Temperature	6	118.9^{ns}	0.013^{ns}	82.4**
خطا Error	36	37.3	0.013	21.8
ضریب تغییرات (٪) C.V.		28.4	7.7	7.8

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

* and ** i.e. Significant at the P≤0.05 and 0.01, respectively and ^{ns} Not significant.

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی شاخص‌های بیوشیمیایی دانهال نارنج.

Table 2. ANOVA results of some biochemical indices in *Citrus aurantium* seedling.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares					
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کارتنوئید Carotenoid	پراکسیداسیون لیپیدها Lipid Peroxidation	پرولین Proline
کلریدپتاسیم KCl	3	1.9*	0.61**	4.7**	0.006**	0.53*	1.59**
دما Temperature	2	5.1**	0.18^{ns}	7**	0.001^{ns}	3.08**	0.22**
کلریدپتاسیم × دما KCl×Temperature	6	1^{ns}	0.11^{ns}	1.6^{ns}	0.001^{ns}	0.2^{ns}	0.7**
خطا Error	36	0.6	0.13	0.9	0.001	0.12	0.032
ضریب تغییرات (٪) C.V.		15	19.3	13.3	15.6	29.8	19.03

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

* and ** i.e. Significant at the P≤0.05 and 0.01, respectively and ^{ns} Not significant.

جدول ۳- آزمون مقایسه‌های میانگین کلروفیل، کارتنوئید، پراکسیداسیون لیپیدها و پرولین.

Table 3. Mean comparisons test of chlorophyll, carotenoid, lipid peroxidation and proline.

کلریدپتاسیم KCl	کلروفیل a chlorophyll a	کلروفیل b chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوی‌آب برگ Leaf water content	کارتنوئید Carotenoid	پراکسیداسیون لیپیدها Lipid peroxidation	پرولین Proline
mM	mg/gFW	mg/gFW	mg/gFW	%	mg/g FW	µmol/gFW	mg/g FW
0	4.39^{b}	1.59^{b}	5.99^{b}	55.21^{c}	0.21^{a}	1.16^{a}	1.43^{a}
2.5	5.13^{a}	1.97^{a}	7.10^{a}	57.31^{bc}	0.18^{b}	0.91^{ab}	0.88^{b}
5	5.21^{a}	2.06^{a}	7.27^{a}	61.56^{ab}	0.17^{b}	^{b}0.73	0.91^{b}
10	5.28^{a}	2.30^{a}	7.40^{a}	63.41^{a}	0.16^{b}	^{b}0.71	0.55^{c}

میانگین‌هایی درهر ستون که دارای حروف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at P≤0.05 via LSD Test.

در غلظت صفر میلی‌مولار کلریدپتاسیم بیش‌ترین مقدار رنگدانه کارتنوئید با میانگین ۰/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد (جدول ۳). در بقیه سطوح کلریدپتاسیم نیز از لحاظ میزان کارتنوئید تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. به‌نظر می‌رسد که افزایش مقدار کارتنوئید، به‌دلیل تأثیر آنزیم‌های کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد که موجب تخریب کلروفیل می‌گردد (۴۲). همچنین افزایش کارتنوئیدها می‌تواند به‌علت اکسیده‌شدن این رنگدانه توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن باشد (۹). در پژوهشی که میکلسون (۲۰۰۵) بر روی گیاه گوجه‌فرنگی انجام داد این‌گونه بیان کرد که، مقدار کارتنوئید کل با افزایش مقدار پتاسیم کاهش چشمگیری یافت (۳۳).

بیش‌ترین مقدارپراکسیداسیون لیپیدها در غلظت صفر میلی‌مولار کلریدپتاسیم و با میانگین ۱/۱۶

میکرومول بر گرم وزن تربرگ مشاهده شد. همچنین با افزایش غلظت کلریدپتاسیم، مقدار پراکسیداسیون لیپیدها نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار کاهش یافت (جدول ۳). پتاسیم با تأثیر بر نفوذپذیری غشاء سلول و تنظیم پتانسیل اسمزی سلول‌های گیاهی و در نتیجه تأثیر بر سنتز و حفظ غشای سلولی بر پایداری ساختارهای سلولی تأثیر می‌گذارد و مقدار پراکسیداسیون لیپیدها را کاهش می‌دهد (٤٠). گونگ و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی بر روی گیاه ذرت نشان دادند که در شرایط کمبود پتاسیم، نفوذپذیری غشاء سلولی گیاه و در نتیجه مقدار مالون‌دآلدئید که شاخص مهمی در تعیین پراکسیداسیون لیپیدها بوده، افزایش یافت (۲۰). هافسی و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیان کردند که کمبود پتاسیم با افزایش گونه‌های آزاد اکسیژن در گیاه موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی در برگ‌های گیاه جو گردید (۲۱).

نتایج همچنین نشان داد که حداکثر مقدار پرولین در غلظت صفر میلی‌مولار کلریدپتاسیم با میانگین ۱/٤۳ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ مشاهده گردید. همچنین با افزایش غلظت کلریدپتاسیم کاهش معنی‌داری در مقدار پرولین برگ مشاهده شد (جدول ۳). تجمع پتاسیم طی فرآیند تنظیم اسمزی، عمدتاً محدود به واکوئل‌ها می‌شود و مواد تنظیم‌کننده دیگر مانند پرولین در سیتوپلاسم تجمع می‌یابند تا تعادل پتانسیل آب بین دو بخش سلول برقرار شود (٢٦). در حقیقت غلظت کم پتاسیم موجب کاهش محتوی آب برگ می‌گردد و این کاهش با افزایش میزان پرولین برگ همبستگی دارد (٤١). آهیره و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی بر روی گیاه *Bacopa monnieri* (L.)، نشان دادند که تیمارهای تغذیه‌شده با کلریدپتاسیم مقدار پرولین کم‌تری نسبت به تیمار شاهد داشت (۱).

اثر دما بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی: نتایج به‌دست آمده نشان داد که با کاهش دما میزان نشت یونی در برگ‌ها نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. حداکثر میزان نشت یونی با میانگین ۳۲/۸۸ درصد در تیمار دمایی ۳- درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (جدول ٤). در تمامی تیمارها نیز با کاهش دما روند افزایشی معنی‌داری در میزان نشت یونی مشاهده گردید. دانهال‌های نارنج، در مرحله بازگشت از تنش تا دمای ۳- درجه سانتی‌گراد، به رشد عادی خود ادامه دادند. نشت الکترولیت در برگ‌ها، مقدارتجمع گونه اکسیژن فعال (ROS) را افزایش می‌دهد. این تجمع موجب از بین رفتن استحکام غشای سلول‌های برگی می‌گردد (۳۷). دمای پایین با کاهش سیالیت غشاء سلولی که در نتیجه آسیب‌های مکانیکی ناشی از کریستال‌های یخ اتفاق می‌افتد، می‌تواند در تخریب غشاء سلولی و خروج آب و یون‌ها از فضای درون سلول به خارج آن مؤثر باشد و در نهایت موجب افزایش نشت یونی گردد (٤). کامپوز و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی بر روی نهال قهوه، نشان دادند که تنش دمای پایین به‌علت کاهش سیالیت غشاء و همچنین تخریب ساختار غشاء سلولی گیاه موجب افزایش نشت یونی در برگ گیاه گردید (۱۳). در پژوهش دیگری که بر روی میزان درصد نشت یونی بر روی پایه نارنج انجام گرفت معلوم شد که بیش‌ترین میزان درصد نشت یونی در دمای پایین رخ داد (٤٥).

جدول ٤- آزمون مقایسه‌های میانگین نشت یونی، پتانسیل آب برگ، محتوی آب برگ، کلروفیل a و کل و پرولین.

Table 4. Mean comparisons test of electrolyte leakage, leaf water potential, leaf water content, chlorophyll a, total chlorophyll and proline.

پرولین Proline	کلروفیل کل Total chlorophyll	کلروفیل a chlorophyll a	محتوی‌آب‌برگ Leaf water content	پتانسیل آب برگ Leaf water potential	نشت یونی Electrolyte leakage	دما Temperature
mg/gFW	mg/gFW	mg/gFW	%	MPa	%	°C
0.83 [b]	7.64 [a]	5.62 [a]	71.8 [a]	-1.08 [a]	5.45 [b]	25
0.92 [b]	6.76 [b]	4.81 [b]	56.8 [b]	-1.26 [b]	9.42 [b]	0
1.07 [a]	6.35 [b]	4.53 [b]	49.5 [c]	-2.12 [c]	32.88 [a]	-3

میانگین‌هایی در هر ستون که دارای حروف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

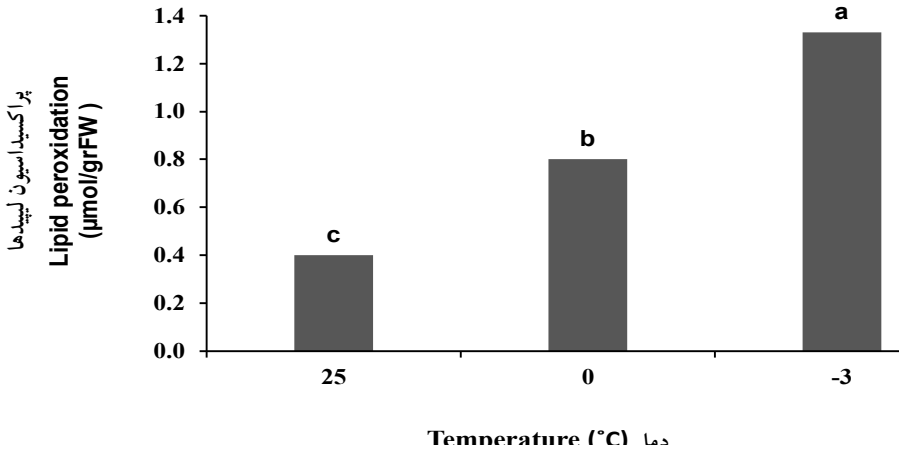
Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at P≤0.05 via LSD Test.

اثر دما بر میزان پتانسیل آب برگ نشان داد که کاهش دما موجب افزایش معنی‌دار پتانسیل آب برگ گردید و در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد بیش‌ترین مقدار آن با میانگین ۱/۰۸- مگاپاسکال مشاهده شد (جدول ٤). دمای پایین به‌علت تخریب ساختار سلولی برگ و خروج آب از داخل سلول به خارج آن، موجب افزایش پتانسیل آب در غشای سیتوپلاسمی می‌گردد (۳۵). افزایش مقدار پتانسیل آب برگ در گیاه نارنج با نتایج پژوهش‌گران دیگر روی گیاه منداب (۳)، پنبه (۳۹)، برنج (۲۳) و یونجه (۲) مطابقت داشت.

با کاهش دما میزان محتوی آب برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد کاهش ۳۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ٤). این کاهش می‌تواند به‌علت افزایش نشت یونی و کاهش جذب آب توسط ریشه‌ها باشد (۱۳). در پژوهش‌های انجام‌شده روی برگ درختان والنسیا و ساقه گردو تحت تنش دمای پایین، کاهش محتوی آب برگ مشاهده شد (٤۸ و ۳۸). کم‌ترین میزان رنگدانه‌های کلروفیل a و کل در تیمار دمایی ۳- درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (جدول ٤). کاهش رنگدانه‌های کلروفیل در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد می‌تواند به‌علت اکسیداسیون این رنگدانه‌ها در غشاء تیلاکوئید و افزایش تجمع رادیکال‌های فعال اکسیژن باشد که در شرایط افت دما موجب افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز می‌گردد (٤۵). پژوهش‌های انجام گرفته بر روی گیاهچه بذری لیموی شیراز تحت تنش دمای پایین، کاهش کلروفیل را نشان داد (۱۹).

همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، با کاهش دما مقدار پراکسیداسیون لیپیدها افزایش معنی‌داری نشان داد و در تیمار دمایی ۳- درجه سانتی‌گراد نسبت به تیمار شاهد ۷۰ درصد افزایش داشت. افزایش پراکسیداسیون لیپیدها نشان‌دهنده افزایش رادیکال‌های فعال اکسیژن و تخریب بیش‌تر غشاء سلولی است که در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد این تخریب بیش‌تر بود. رادیکال‌های فعال اکسیژن بسیار واکنش‌گر می‌باشند و قادر به شروع واکنش‌های زنجیره‌ای پراکسیداسیون لیپیدها هستند. تداوم این وضعیت موجب تخریب غشاء سلولی و از هم گسیختگی ساختار غشاء و در نتیجه خروج آب از سلول‌ها می‌گردد (۵). در پژوهش‌های انجام گرفته بر روی گیاهچه هلو و زیتون در دمای پایین، افزایش پراکسیداسیون لیپیدها تأیید گردید (۳۱ و ٤). افزایش میزان پرولین برگ با کاهش دما در جدول ٤ نشان

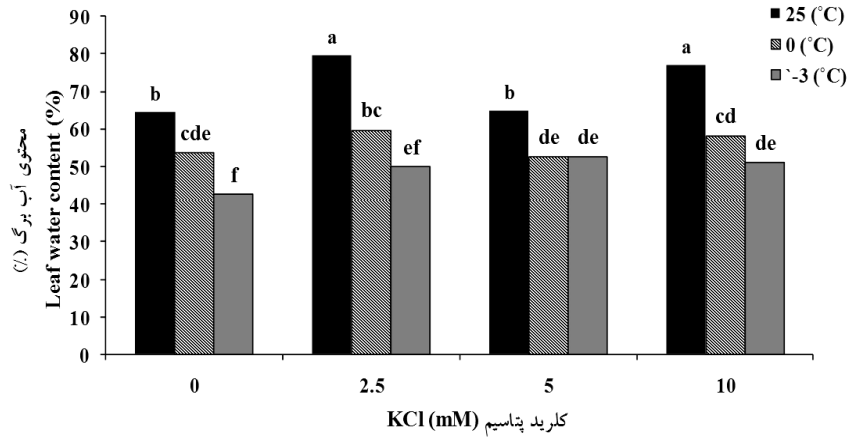
داده شده است. در تیمار دمایی ۳- درجه سانتی‌گراد حداکثر میزان پرولین با میانگین ۱/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد. پرولین به‌دلیل دخالت در تعادل اسمزی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ذخیره و تبادل انرژی بر پایداری و تحمل گیاه در برابر تنش مؤثر است. سانئوکا و همکاران (۲۰۰٤) در گزارشی عنوان کردند که تجمع پرولین رابطه مثبت و مستقیمی بر افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی غیرزنده مانند سرما، خشکی و شوری دارد (٤۰). در پژوهش دیگری نیز اثر افزایش پرولین تحت تنش دمای پایین روی نهال نارنج و سرو کوهی گزارش گردید (۳۰ و ٤۸).



شکل ۱- اثر دما بر میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی برگ دانهال نارنج.

Figure 1. The Effect of temperature on lipid peroxidation of *Citrus aurantium* leaf.

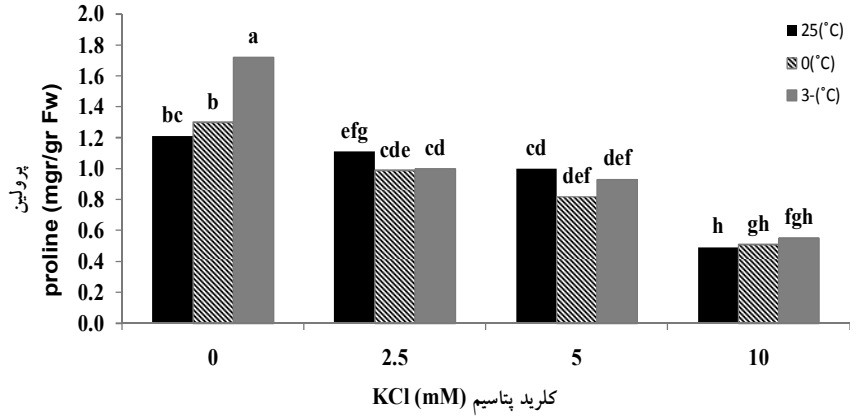
اثرات متقابل کلریدپتاسیم در دما بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی: تنش دمای پایین موجب کاهش درصد محتوی آب برگ گردید که این کاهش با غلظت صفر میلی‌مولار کلریدپتاسیم با میانگین ٤۳/۵۷ درصد تشدید شد. در حالی‌که بیش‌ترین محتوی آب برگ در دمای محیطی ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در غلظت ۱۰ میلی‌مولار کلریدپتاسیم مشاهده شد (شکل ۲). شیب غلظت پتاسیم در درون و بیرون سلول‌های نگهبان روزنه، پتانسیل آب گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در پژوهش حاضر غلظت بهینه پتاسیم، با تنظیم اسمزی، کاهش پتانسیل سلول، حفظ تورژسانس سلولی، کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش نسبت تنفس در گیاه، منجر به افزایش محتوی آب برگ گردید. در پژوهشی بر روی گیاه ذرت نشان داده شد که پتاسیم می‌تواند با تنظیم اسمزی، محتوی آب گیاه را حتی در شرایط یخبندان افزایش دهد (۱۷). پژوهش دیگری نشان داد که محتوی آب برگ در غلظت‌های بالای پتاسیم حداکثر بود، بنابراین غلظت مناسب و بهینه پتاسیم، با تأثیر بر سیالیت غشای سلولی محتوی آب برگ را در گیاه علف هرز اسقف در حد بحرانی حفظ کرد (٤۷).



شکل ۲- اثر سطوح مختلف کلریدپتاسیم و دما بر میزان محتوی آب برگ دانهال نارنج.

Figure 2. The effect of potassium chloride different levels and temperature on *Citrus aurantium* leaf water content.

غلظت پرولین برگ دانهال‌های نارنج نیز تحت‌تأثیر دمای پایین و غلظت کلریدپتاسیم بود. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بیش‌ترین میزان پرولین بامقدار ۱/۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار دمایی ۳- درجه سانتی‌گراد و غلظت ۰ میلی‌مولار کلریدپتاسیم نسبت به سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت. کمبود پتاسیم (غلظت صفر) و تنزل دما به زیر صفر درجه سانتی‌گراد، کاهش محتوی آب بافت گیاهی را به همراه داشت که نتیجه این امر افزایش بیان ژن‌های مرتبط با سنتز پرولین بود. در پژوهشی روی اثرات تغذیه پتاسیم و تنش دمای پایین روی خربزه نشان داده شد که مقدار پرولین در برگ‌های گیاهان شاهد در اثر تغییر وضعیت اسمزی ناشی از تنش غیرزیستی افزایش یافت. این در حالی است که در نمونه گیاهی مشابه‌ای که تحت تیمار تغذیه پتاسیم بودند به‌دلیل اثر مثبت پتاسیم بر تعادل اسمزی و حفظ محتوی آب، تولید پرولین کاهش داشت که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد (۲۸). یافته‌های ما با داده‌های حاصل از پژوهش گونگ و همکاران (۲۰۱۱) روی گیاه ذرت نیز مطابقت داشت. گونگ بیان داشت که تجمع پرولین در نشاهای ذرت با کمبود پتاسیم افزایش پیدا کرد (۲۰).



شکل ۳- اثر سطوح مختلف کلریدپتاسیم و دما بر میزان پرولین برگ دانهال نارنج.

Figure 3. The effect of potassium chloride different levels and temperature on *Citrus aurantium* seedling proline content.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین میزان رنگدانه‌های کلروفیل و محتوی آب برگ در بالاترین غلظت کلریدپتاسیم مشاهده شد. همچنین دمای پایین موجب کاهش رنگدانه‌های کلروفیل و محتوی آب برگ و افزایش شاخص‌های نشت یونی، پتانسیل آب برگ و میزان پرولین برگ گردید. شاخص‌های محتوی آب برگ و میزان پرولین نیز تحت‌تأثیر اثر متقابل کلریدپتاسیم و دما قرار گرفت. در بالاترین غلظت کلریدپتاسیم در تمام سطوح دمایی بیش‌ترین میزان محتوی آب برگ مشاهده شد که به‌نظر می‌رسد پتاسیم با تنظیم اسمزی و حفظ تورژسانس سلول‌های گیاهی حتی در شرایط دمای پایین محتوی نسبی آب گیاه را حفظ می‌کند. بنابراین، پتاسیم به‌منظور سازگاری با شرایط تنش دمای پایین با تنظیم اسمزی، سنتز اسمولیت‌ها و حفظ تورژسانس سلولی، تحمل‌پذیری گیاه را به دمای پایین ارتقاء داد.

منابع

1.Ahire, M.L., Laxmi, S., Walunj, P.R., Kavi Kishor, P.B., and Nikam, T.D. 2013. Effect of potassium chloride and calcium chloride induced stress on in vitro cultures of (*Bacopa monnieri* L.) Pennell and accumulation of medicinally important bacoside. J. Plant Biochem. Biotechnol. 23: 366-378.

2.Antolin, M.C., and Sanchez–Diaz, M. 1993. Photosynthetic nutrient use efficiency, nodule activity and solute accumulation in drought stressed alfalfa plants. Photosynthetica. 27: 595-604.

3.Ashraf, M. 1994. Breeding for salinity tolerance in plants. Crit. Rev. Plant Sci. 13: 42-17.

4.Azzarello, E., Mugnai, S., Pandolfi, C., Masi, E., Marone, E., and Mancuso, S. 2009. Comparing image (fractal analysis) and electrochemical (impedance spectroscopy and electrolyte leakage) techniques for the assessment of the freezing tolerance in olive. Trees. 23: 159-167.

5.Bandyopadhyay, U., Das, D., and Banerjee, R.K. 1999. Reactive oxygen species: Oxidative damage and pathogenesis. Current Sci. 77: 658-666.

6.Banuls, J., and Primo-Millo, E. 1992. Effect of chloride and sodium on gas exchange parameters and water relations of citrus plants. Physiol. Plant. 86: 115-123.

7.Bates, L.S., Waldren, R.P., and Tears, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil. 39: 205-207.

8.Beringer, H., and Troldenier, G. 1980. The influence of K nutrition on the response of plants to environmental stress. Potassium research–Review and trends, 11th Congress of the International Potash Institute, Bern, Switzerland, Pp: 189-222.

9.Berova, M., Zlatev, Z., and Stoeva, N. 2002. Effect of Paclobutrazol on wheat seedling under low temperature stress. Plant Physiology. 28: 75-84.

10.Chen, Y., Zhang, M., Chen, T., Zhang, Y., and An, L. 2006. The relationship between seasonal changes in anti –oxidative system and freezing tolerance in the leaves of evergreen woody plans of Sabina. South Afr. J. Bot. 72: 272-279.

11.Cicek, N., and Cakirlar, H. 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. BULG. J. Plant Physiol. 28: 66-74.

12.Clarkson, D.T., and Hanson, J.B. 1980. The mineral nutrition of higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 31: 239-298.

13.Compose, P.S., Quartin, V., Ramalho, J.C., and Nunes, M.A. 2003. Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of Coffeasp. Plant J. Plant Physiol. 160: 283-292.

14.Davies-Fs, M.M.A. 1991. Fertilization of freezing-damaged Hamlin orange tree. Proceedings of the Florida state Horticultural society. 103: 9-12.

15.Degl' Innocentia, E., Hafsib, C., Guidia, L., and Navari-Izzoa, F. 2009. The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. J. Plant Physiol. 166: 1968-1981.
16.Devi, B.S.R., Kim, J.Y., Selvi, S.K., Lee, S., and Yang, D.C. 2012. Influence of potassium nitrate on antioxidant level and secondary metabolite genes under cold stress in Panax ginseng. Rus. J. Plant Physiol. 59: 318-325.
17.Ding, Y.C., Chang, C.R., Luo, W., Wu, Y.S., Ren, X.L., Wang, P., and Xu, G.H. 2008. High potassium aggravates the oxidative stress induced by magnesium deficiency in rice leaves. Pedosphere. 18: 316-327.
18.Farooq, M., Aziz, T., Chemma, Z.A., Hussian, M., and Khaliq, A. 2008. Activation of antioxidant system by KCl improves the chilling tolerance in hybrid maize. J. Agron. Crop Sci. 194: 438-448.
19.Ferrat, I.L., and Lovat, C.J. 1999. Relation between relative water content, Nitrogen pools and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius*, A. Gray during water deficit. Crop Science. 39: 467-474.
20.Fotouhi Ghazvini, R., Baghbanha, M.R., Hatamzadeh, A., and Heidari, M. 2008. Effect of water stress on freezing tolerance of Mexican lime (*Citrus aurantifolia* L.) seedling. Hort. Environ. Botechnol. 49: 267-280.
21.Gong, X., Chao, L., Zhou, M., Hong, M., Luo, L., Wang, L., Ying, W., Cai, J., Songjie, G., and Hong, F. 2011. Oxidative damages of maize seedlings caused by exposure to a combination of potassium deficiency and salt stress. Plant Soil, 340: 443-452.
22.Hafsi, C., Romero-Puertas, M.C., del-Río, L.A., Sandalio, L.M., and Abdelly, C. 2010. Differential antioxidative response in barley leaves subjected to the interactive effects of salinity and potassium deprivation. Plant Soil, 334: 449-460
23.Hakerlerler, H., Oktay, M., Eryuce, N., and Yagmur, B. 1997. Effect of potassium sources on the chilling tolerance of some vegetable seedlings grown in hotbeds. P 317-327, In: A.E. Johnston (Ed.), Food Security in the WANA Region, the Essential Need for Balanced Fertilization, Basel, Switzerland.
24.He, D.Y., and Yu, S.W. 1995. In vitro selection of a high proline producing variant rom rice callus and studies on its salt tolerance, Acta phytophysiol. Sin. 21: 65-72.
25.Hoagland, D.R., and Arnon, D.I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil, California Agricultural Experiment Station Circular, 337p.
26.Kaanane, A., Kane, D., and Labuza, T.P. 1998. Time and temperature effect on stability of Moroccan processed orange juice durind storage. J. Food Sci. 53: 1470-1473.
27.Kafi, M., Zand, E., Kamkar, B., Mahdavi-Damghani, A., and Abbasi, F. 2010. Plant physiology 2 (translate). Jihad-e-Daneshgahi of Mashhad press, 676p.
28.Kafkafi, U. 1990. The functions of plant K in overcoming environmental stress situations. 22nd Colloquium, International Potash Institute, Bern, Switzerland, Pp: 81-93.
29.Kaya, C., Ashraf, M., Dikilitas, M., and Atilla, L. 2013. Alleviation of salt stress-induced adverse effects on maize plants by exogenous application of indole-3-acetic acid (IAA) and inorganic nutrients – A field trial-AJCS. 72: 249-254.
30.Kaya, C., Tuna, A.L., Ashraf, M., and Altunlu, H. 2007. Improved salt tolerance of melon (*Cucumismelo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate. Environmental and Experimental Botany. 60: 397-403.
31.Kushad, M.M., and Yelenosky, G. 1987. Evaluation of Polyamine and proline levels during low temperature acclimation of citrus. Plant Physiol. 84: 692-695.
32.Leng, P., and Qi, J.X. 2003. Effect of anthocyanin on David peach (*Prunus davidiana Franch*) under low temperature stress. Sci. Hortic-Amsterdam. 97: 27-39.
33.M. Oosterhuis, D., A. Loka, D., M. Kawakami, E., and Pettigrew William, T. 2014. The Physiology of Potassium in Crop Production. Advances in Agronomy. 126: 84-93.
34.Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic press, London, UK, Pp: 213-255.

35.Mikkelson, R.L. 2005. Tomato Flavor and Plant Nutrition: A Brief Review. Better crops. 89: 14-16.
36.Pearce, R.S. 2001. Plant freezing and damage. Ann Bott –London. 87: 417-424.
37.Pietrini, F., Chaudhuri, D., Thapliyal, A.P., and Massacci, A. 2005. Analysis of chlorophyll fluorescents in mandarin leaves during photo-oxidative cold shock and recovery. Agr. Eco. Environ. 106: 189-198.
38.Poirier, M., Lacointe, A., Ameglo, T., and Ball, M. 2010. Semi physiological model of cold hardening and dehardening in walnut stem. Tree Physiol. 30: 1555-1569.
39.Prasad, T.K., Anderson, M.D., Martin, B.A., and Stewart, C.R. 1994. Evidence of chilling-induced oxidative stress in maize seedlings and a regulatory role for hydrogen peroxide. Plant Cell. 6: 65-74.
40.Rathert, G. 1983. Effects of high salinity stress on mineral and carbohydrate metabolism of two cotton varieties. Plant Soil. 73: 247-256.
41.Saneoka, H., Moghaieb, R.E.A., Premachandra, G.S., and Fujita, K. 2004. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relation. Environmental and Experimental Botany. 52: 131-138.
42.Shabala, L., Cuin, T.A., Newman, I.A., and Shabala, S. 2005. Salinity induced ion flux patterns from the excised roots of Arabidopsis SOS mutants. Planta. 222: 1041-1050.
43.Silva, M.A., Jifon, J.L., Silva, J.A.G., and Sharma, V. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Brazil. J. Plant Physiol. 19: 193-201.
44.Soloviera, M.A. 1974.Winter hardiness of fruit plants. Proc. XIX Int. Hort. Cong. 3: 92-104.
45.Syvertsen, J.P., and Garcia–Sanchez, F. 2014. Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. Environmental and Experimental Botany. 103: 128-137.
46.Tajvar, Y., Fotouhi, G.R., Hamidoghli, Y., and Sajedi, R.H. 2010. Evaluation of some biochemical and physiological responses in two Citrus cultivars under freezing stress. 4rd Intl, Symp, Biol., University of Ferdowsi, Mashhad, Iran, Pp: 120-135.
47.Verslues, P.E., Agrawal, M., Katiyar–Agrwal, S., Zhu, J., and Zhu, J.K. 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. Plant J. 45: 523-539.
48.Wen Xu, Y., Ting Zoua, Y., M. Husaini, A., Wei Zeng, J., Liang Guan, L., Liu, Q., and Wu, W. 2011. Optimization of potassium for proper growth and physiological response of Houttuynia cordata Thunb. Environmental and Experimental Botany. 71: 292-297.
49.Yelenosky, G., and Guy, C.L. 1989. Freezing tolerance of Citrus, Spinach and Petunia leaf tissue osmotic adjustment and sensitivity to freeze induced cellular dehydration. Plant Physiol. 89: 444-451.
50.Yurtseven, E., Kesmez, G.D., and Unlukara, A. 2005. The effect of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central Anatolian tomato species (*Lycopersicon esculantum*). Agric. Water Manage. 78: 128-135.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 7(1), 2017
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effect of different levels of potassium chloride and temperature on some physiological and biochemical characteristics of *Citrus aurantium* seedling

***E. Dordipour[1], Z. Rafie-Rad[2], Y. Tajvar[3], M. Olamaee[1] and A.R. Sheikheshkevari[4]**

[1]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Horticultural Science Research Institute, Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization, Ramsar, [4]Scientific Staff Member, Horticultural Science Research Institute, Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization, Ramsar

Received: 04/20/2015; Accepted: 09/24/2016

Abstract

Background and Objectives: Citrus is the most important crops of the tropical and subtropical areas and is sensitive to low temperature stress that suffered from enormous damage by this stress occurrence. *Citrus Aurantium* is one of commercial citrus varieties that considered as a biotic and abiotic stress tolerant rootstock. Of the major environmental stress that limits plant growth, productivity and distribution is low temperature. Low temperature stress results in loss in membrane integrity and increase of active oxygen radical productions, which leads to leaf damage and electrolyte leakage. One of strategies to increase tolerance of plants under low temperature is osmotic balance reaction to maintain plant water content. These activities are affected by osmotic pressure regulators compounds such as some of inorganic ions like potassium. Potassium increase cell tolerance against low temperature and can help to plant against it. Purpose of this study was to investigate mechanisms that increased plants tolerability against frost stress.

Materials and Methods: In this study, the effects of KCl application with different concentrations (0, 2.5, 5 and 10 mM) and temperatures of 0, -3 and 25 °C on physiological and biochemical responses of young shoots of citrus were evaluated as a factorial in a completely randomized design with four replications using the soilless culture in Horticultural Science Research Institute, Citrus and Subtropical Fruits Research Center (Ramsar) in 2013.

Results: Results showed that leaf water content increased 13% by concentration of 10 mM potassium chloride in comparison with the control treatment. Also, the amount of lipid peroxidation reduced in the highest concentration of potassium chloride compared to the control treatment. Leaf electrolyte leakage content increased with declining the temperature in all treatments compared to control. By decreasing the temperature, 31% reduction in leaf water content observed compared to control. A significant increase was observed in lipid peroxidation amount with decreasing temperature and it was increased 70% more than control treatment in -3 °C. The maximum amounts of carotenoid and lipid peroxidation were observed in control treatment and temperature of -3 °C. The maximum contents of chlorophyll a, b and total were observed in highest concentration of potassium chloride and temperature of 25 °C. The highest proline content was occurred in the control treatment and temperature of -3 °C.

Conclusion: In general, potassium by increasing of leaf water content, decreasing secondary metabolites such as proline, as well as reducing the leaf water potential, causes to increase of cell membrane stability and citrus tolerability to low temperature stress.

Keywords: Lipid peroxidation, Proline, Potassium chloride, *Citrus aurantium*

* Corresponding Author; Email: e.dordipour@yahoo.com