تبادلات گازی و نرخ نورساخت برگی ترکیب‌های پیوندی پایه لیموی آب با پیوندک‌های خودی و غیرخودی در پاسخ به تنش خشکی و آبیاری مجدد

پدرام عصار*[۱،۲]، اختر شکافنده[۱]، لیلا تقی‌پور[۲]

[۱] گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

[۲*] گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، صندوق پستی: ۱۱۱-۷۴۱۳۵، جهرم، ایران

*نویسنده مسئول: Pedramassar@gmail.com, Pedramassar@jahromu.ac.ir

چکیده

تبادلات گازی و نرخ نورساخت دانهال‌های ۲۴ ماهه لیموی آب غیرپیوندی، پیوندی با پیوندک خودی، پیوندک نارنگی کینو و پیوندک پرتقال واشنگتن ناول در پاسخ به تنش خشکی و پس از آبیاری مجدد در آزمایش گلخانه‌ای ارزیابی شد. رژیم آبیاری به صورت هشت روز قطع کامل آبیاری و سپس چهار روز آبیاری در حد ظرفیت مزرعه بود. نرخ فتوسنتز خالص (A)، هدایت روزنه‌ای (gs)، نرخ تعرق (E) و غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه (Ci) برگ‌های جوان توسعه یافته سه مرتبه (نیمه دوره تنش، پایان دوره تنش و پس از آبیاری مجدد) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که ترکیب پیوندی با پیوندک پرتقال به دلیل دارا بودن بیش‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای و تعرق برگی و در نتیجه مصرف سریع‌تر آب گلدان‌ها و رویارویی با شرایط کم‌آبی شدیدتر در اواخر دوره تنش خشکی، ناکارآمدترین سازوکارهای تحمل تنش و بیش‌ترین آسیب اکسیداتیو تشکیلات نورساخت را دارا بود. از طرف دیگر، ترکیب پیوندی با پیوندک نارنگی کینو از طریق کاهش زودهنگام و بیش‌تر هدایت روزنه‌ای توانمندی فوق‌العاده‌ای در تحمل تنش خشکی دارا بود. چنین به نظر رسید که تفاوت‌های فیزیولوژیک مرتبط با وجود محل پیوند و در نتیجه کاهش هدایت هیدرولیکی، دلیل وقوع آسیب اکسیداتیو شدید تشکیلات نورساخت در ترکیب پیوندی لیموی آب با پیوندک خودی در نیمه دوره تنش بود که فاقد توانمندی بهبودیابی کامل نرخ فتوسنتز پس از آبیاری مجدد بود. در مقابل، دانهال غیرپیوندی لیموی آب، آسیب اکسیداتیو را در پایان دوره تنش تجربه کرد که پس از آبیاری مجدد بهبود حاصل شد.

واژه‌های کلیدی : تنش خشکی، لیموی آب، نارنگی کینو، ترکیب پیوندی، واشنگتن ناول.

مقدمه

لیموی آب (مکزیکن لایم، *Citrus aurantifolia* Swingle cv. Mexican Lime) دارای میوه پر آب، بسیار اسیدی، با تعداد بذر محدود است. درخت آن چتری و پر محصول و از رشد زیادی برخوردار است (فتوحی قزوینی و فتاحی مقدم، ۱۳۸۵). سال‌های زیادی است که این رقم در جنوب کشور کشت می‌شود و علاوه بر کاربرد به‌عنوان پیوندکی محبوب، به‌مرور به‌عنوان پایه غالب در منطقه جایگاه ویژه‌ای پیداکرده است. دسترسی آسان به بذرهای این رقم و نیز رشد و عملکرد زیاد و کیفیت خوب محصول ارقام پیوند شده روی آن را می‌توان از دلایل محبوبیت آن به‌عنوان پایه نزد باغ داران مناطق جنوبی کشور دانست. پرتقال واشنگتن ناول (Washington navel) و نارنگی کینو (Kinnow) از پیوندک‌های محبوب و رایج در جنوب کشور هستند. پرتقال واشنگتن ناول به‌طور گسترده‌ای در اکثر کشورهای مرکبات خیز دنیا کشت می‌شود. دارای میوه درشت به وزن حدود ۲۰۰ تا ۵۰۰ گرم با پوستی کلفت و بسیار خوش‌خوراک و بازارپسند است. نارنگی کینو نیز از ارقام خوب پاکستانی است که پر محصول و دیررس است و میوه آن دارای اندازه متوسط، کمی پخ، و نوک و قاعده میوه پهن و کمی تورفته است. پوست میوه ظاهری چرمی و براق دارد و گوشت آن به رنگ زرد نارنجی پررنگ، پرآب، سفت و معطر است (فتوحی قزوینی و فتاحی مقدم، ۱۳۸۵). با توجه به این‌که در زمان حاضر و در پی خشکسالی‌های مستمر، مرکبات استان فارس با کاهش کیفیت و میزان محصول مواجه است و بخش زیادی از باغ‌ها خشک‌شده‌اند و یا در معرض تهدید هستند شایسته است پژوهش‌های بومی بیش‌تری در زمینه ارزیابی پاسخ‌های فیزیولوژیک ترکیبات پیوندی رایج پایه لیموی آب در منطقه، مانند ارقام پرتقال واشنگتن ناول و نارنگی کینو در مواجهه با خشکی انجام شود. یافته‌های این پژوهش‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های آینده برای

انتخاب ترکیب‌های پیوندی برتر برای احداث باغ در شرایط تنش کمک نماید. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر ارزیابی وضعیت تبادلات گازی و نرخ نورساخت دانهال لیموی آب و ترکیبات پیوندی آن با پیوندک‌های خودی، نارنگی کینو و پرتقال واشنگتن‌ناول در شرایط تنش خشکی و پس از آبیاری مجدد بود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش، نهال‌های پیوندی لیموی آب، نارنگی کینو و پرتقال واشنگتن ناول روی پایه بذری لیموی آب، و دانهال غیرپیوندی لیموی آب به‌عنوان مواد گیاهی استفاده شدند. نهال‌ها در سن ۱۸ ماهگی از نهالستان تجاری و نمونه پارس نیلوفران واقع در روستای صغاده شهرستان خفر (عرض جغرافیایی ′۲۹°۲۸ شمالی، طول جغرافیایی ′۳۲°۵۳ شرقی و ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا) در استان فارس تهیه شدند. نهال‌ها پس از انتقال به گلدان‌های پلاستیکی ۱۵ لیتری مناسب و فاقد زهکش، پرشده از مخلوط خاکی شامل ماسه‌بادی، خاک و خاک‌برگ پوسیده به نسبت حجمی مساوی (همراه با لایه‌ای از سنگریزه در کف گلدان)، برای استقرار کامل به مدت حدود ۶ ماه در گلخانه ای پلاستیکی (عرض جغرافیایی ′۳۶°۲۹ شمالی، طول جغرافیایی ′۳۲°۵۲ شرقی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) نگهداری شدند. آبیاری گلدان‌ها به‌صورت مستمر و در حد ظرفیت مزرعه و کلیه مراقبت‌های باغبانی از قبیل کوددهی و مبارزه با آفات و بیماری‌ها برای همه نهال‌ها به‌صورت یکسان اجرا شد. در طول مدت آزمایش، محدوده دمایی شبانه و روزانه گلخانه به ترتیب، ۱۶ الی ۱۹ و ۳۲ الی ۳۶ درجه سلسیوس بود و میانگین رطوبت نسبی گلخانه حدود ۵۰ درصد بود. پس از ۶ ماه، نهال‌های مشابه از نظر اندازه و وضعیت سلامت ظاهری انتخاب شدند. بر اساس پیش‌تیماری که قبل از شروع آزمایش انجام شد، طول دوره‌های تنش خشکی و آبیاری مجدد تعیین شد. شروع آزمایش با فلاش رشدی تابستانه در شهریورماه همزمان بود. در این زمان، ۱۲ گیاه از هر نوع نهال با قطع کامل آبیاری در معرض تنش خشکی هشت روزه (تا زمان مشاهده کاهش آشکار در شادابی و تورژسانس نهال‌ها و وقوع پژمردگی قسمت اعظم برگ‌ها) و سپس آبیاری مجدد چهار روزه (در حد ظرفیت مزرعه، تا زمان برطرف شدن علائم ظاهری یاد شده) قرار گرفتند. در مورد نهال‌های شاهد نیز، با انجام آبیاری روزانه در حد ظرفیت مزرعه، وضعیت بهینه میزان آب در خاک در طول دوره اجرای آزمایش تأمین و حفظ شد. ارزیابی‌ها در سه زمان انجام شدند: الف. نیمه دوره تنش خشکی (S/2) برای نهال‌های شاهد (S/2C) و تنش دیده (S/2D). ب. پایان دوره تنش (S) در نهال‌های شاهد (SC) و تنش دیده (SD). پ. پس از دوره آبیاری مجدد (R) در نهال‌های شاهد (RC) و تنش دیده (RD). با استفاده از دستگاه سنجش فتوسنتز (LCi portable photosynthesis system, (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, Herts, UK) و بر طبق دستورالعمل شرکت سازنده، شاخص‌های نرخ فتوسنتز خالص (*A*)، هدایت روزنه‌ای (*gs*)، نرخ تعرق (*E*) و غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه (*Ci*) در برگ‌های جوان به‌طور کامل توسعه یافته مورد ارزیابی قرار گرفتند. تمام اندازه‌گیری‌ها در بازه زمانی ۸ تا ۱۰ صبح انجام شدند. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر اساس طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار (۳ گیاه در هر تکرار) انجام شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار (SAS institute, Cary, NC, USA) SAS 9.1.3 service pack 4 انجام شد و به کمک آزمون LSD، تفاوت‌های موجود بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد تعیین شد.

نتایج و بحث

در نیمه دوره تنش خشکی، تمام نهال‌های تیمار شده به‌جز پرتقال واشنگتن ناول نسبت به شاهد خود کاهش معنی‌داری در نرخ فتوسنتز خالص نشان دادند. در پایان دوره تنش، این روند بدون استثنا در مورد همه نهال‌های آزمایشی وجود داشت. در پایان دوره آبیاری مجدد، فقط نهال‌های تنش‌دیده نارنگی کینو و لیموی آب غیر پیوندی قادر به بازیابی کامل این شاخص بودند و نهال‌های تنش دیده لیموی‌آب پیوندی و پرتقال واشنگتن ناول نسبت به شاهد خود همچنان نرخ فتوسنتز خالص کم‌تری داشتند که اختلاف‌های موجود معنی‌دار بودند (شکل ۱).

در نیمه دوره تنش خشکی، تمام نهال‌های تیمار شده نسبت به شاهد خود کاهش معنی‌داری در نرخ تعرق برگی و هدایت روزنه‌ای نشان دادند. بیش‌ترین تعرق برگی و هدایت روزنه‌ای مربوط به نهال‌های پرتقال واشنگتن ناول بود و پس از آن، به ترتیب، نهال‌های لیموی‌آب غیرپیوندی، لیموی‌آب پیوندی و نارنگی کینو در رتبه‌های بعدی قرار داشتند و تمام اختلاف‌های موجود معنی‌دار بودند. در پایان دوره تنش، کاهش شدیدتری در میزان شاخص‌های مذکور در نهال‌های تیمار شده نسبت به شاهدها ثبت شد، که البته در تضاد با نیمه

دوره تنش، کم‌ترین میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای مربوط به نهال‌های پرتقال واشنگتن ناول بود. در پایان دوره آبیاری مجدد، تمام نهال‌های تنش‌دیده قادر به بازیابی کامل این شاخص‌ها بودند و اختلاف معنی‌داری بین نهال‌های تنش‌دیده و شاهد وجود نداشت (شکل ۱).

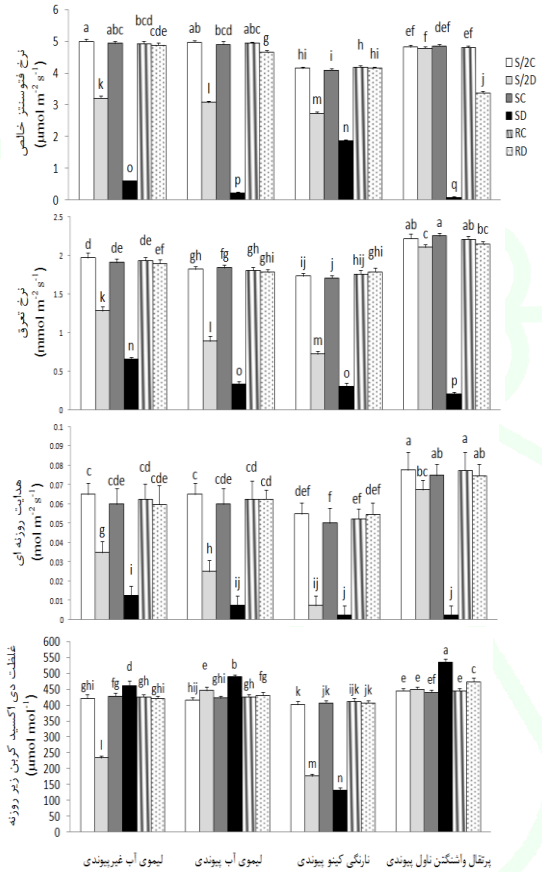
در نیمه دوره تنش خشکی، غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه در برگ‌های نهال‌های تیمار شده لیموی‌آب غیرپیوندی و نارنگی کینو نسبت به نهال‌های شاهد به صورت معنی‌داری کاهش یافت، اما افزایشی معنی‌دار در مقدار این شاخص در نهال‌های تنش‌دیده لیموی‌آب پیوندی نسبت به شاهد ثبت شد. افزون بر این، تفاوت معنی‌داری بین نهال‌های تنش‌دیده و شاهد پرتقال واشنگتن ناول وجود نداشت. در پایان دوره تنش خشکی، به جز نارنگی کینو، در تمام نهال‌های تنش‌دیده افزایشی معنی‌دار در شاخص *Ci* نسبت به نهال‌های شاهد اتفاق افتاد و در مورد نهال‌های تنش‌دیده نارنگی کینو، کاهش شدیدتر این شاخص نسبت به نیمه دوره تنش ثبت شد. در پایان دوره آبیاری مجدد، از نظر آماری تفاوتی بین نهال‌های آزمایشی تیمار شده و شاهدها وجود نداشت و فقط در مورد نهال‌های تنش‌دیده پرتقال واشنگتن ناول افزایشی معنی‌دار در مقدار این شاخص مشاهده شد (شکل ۱).

کاهش میزان هدایت روزنه‌ای، سازوکار حیاتی رویارویی درختان مرکبات با تنش‌های آبی ملایم است و در پژوهش‌های متعددی، کاهش در میزان هدایت روزنه‌ای، نرخ تعرق برگی و فتوسنتز خالص درختان مرکبات در شرایط کمبود آب گزارش شده است (García-Sánchez *et al*., 2007; Melgar *et al*., 2010). بررسی نتایج نشان داد که در روز چهارم (نیمه دوره تنش)، تفاوت معنی‌داری در میزان شاخص‌های نرخ فتوسنتز خالص (*A*) و غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه (*Ci*) نهال‌های تنش دیده و شاهد پرتقال واشنگتن ناول وجود نداشت و علی‌رغم کاهش معنی‌دار میزان هدایت روزنه‌ای (*gs*) و نرخ تعرق (*E*) در نهال‌های تیمار شده نسبت به شاهد، میزان این کاهش به صورت قابل توجهی نسبت به سایر نهال‌های تنش دیده کم‌تر بود. بنابراین، چنین نتیجه‌گیری شد که در شرایط یکسان تنش، به احتمال به دلیل پیام ضعیف‌تر ارسال شده از ریشه به برگ، میزان هدایت روزنه‌ای نهال‌های تیمار شده پرتقال واشنگتن ناول به اندازه سایر نهال‌های تنش دیده کاهش نیافت و در نتیجه شتاب مصرف آب بیش‌تر و مدیریت مصرف آب ضعیف‌تری داشتند. چنین بیان شده است که معمولا پیام‌های شیمیایی در مراحل اولیه تنش و قبل از ایجاد پیام‌های هیدرولیکی، غالب هستند و با تشدید شرایط تنش و افت پتانسیل آبی برگ‌ها و با پژمرده شدن آن‌ها از اهمیت پیام‌های شیمیایی کاسته می‌شود و پیام‌های هیدرولیکی که محرک تولید آبسایزیک اسید در برگ‌ها هستند غالب می‌شوند (Christmann *et al*., 2007). بخشی از وقوع محدودیت روزنه‌ای در شرایط تنش می‌تواند با میزان بیوسنتز آبسایزیک اسید در سلول‌های مزوفیل برگی در ارتباط باشد (Hopkins and Hüner, 2009). بنابراین این احتمال وجود دارد که در روز چهارم از دوره تنش، نقش قدرت پیام‌های شیمیایی ارسالی از ریشه در کیفیت رفتار روزنه‌ای غالب بوده باشد و بنابراین به دلیل عدم ارسال پیامی محکم از ریشه به برگ‌ها، محدودیت روزنه‌ای چندانی نسبت به سایر نهال‌های تنش دیده ایجاد نشده باشد. البته ماهیت دقیق پیام ارسالی از ریشه به برگ‌ها مشخص نیست (Schachtman and Goodger, 2008).

افزایش غلظت CO_2 زیر روزنه همراه با کاهش هدایت روزنه‌ای به معنی کاهش نرخ تثبیت CO_2 و نشانه‌ای از وقوع بازدارندگی نوری و تنش اکسیداتیو در تشکیلات فتوسنتزی است (Degl'Innocenti *et al*., 2008). از آن جایی که در نیمه دوره تنش کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای برگ‌های پرتقال واشنگتن ناول با تغییر معنی‌دار در غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه همراه نبود، چنین نتیجه‌گیری شد که در این روز هنوز پدیده آسیب‌دیدگی تشکیلات فتوسنتزی در اثر بازدارندگی نوری اتفاق نیفتاده است. در پایان دوره تنش، مقادیر ارزیابی‌شده تمام شاخص‌های مذکور، به جز *Ci*، به صورت معنی‌داری در نهال‌های تنش دیده پرتقال واشنگتن ناول کاهش یافتند که در میان مقادیر مربوط به تمام انواع نهال‌های تیمار شده کمینه بودند. البته شاخص *Ci* با افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد همراه بود و بنابراین، مجموع یافته‌های مذکور دال بر وقوع صدمات شدید اکسیداتیو به تشکیلات فتوسنتزی برگ‌ها در اثر تنش بود. در پایان دوره آبیاری مجدد، نهال‌های تنش دیده پرتقال واشنگتن ناول قادر به بازیابی کامل شاخص *A* نبودند و همچنان میزان شاخص *Ci* آن‌ها به صورت معنی‌داری از نهال‌های شاهد بیش‌تر بود در حالی که میزان هدایت روزنه‌ای و نرخ تعرق آن‌ها تفاوت معنی‌داری با نهال‌های شاهد نداشت. بنابراین، چنین استنباط شد که به دنبال آبیاری مجدد، علی‌رغم برطرف شدن محدودیت روزنه‌ای فتوسنتز برگ‌ها، اثرات مخرب تنش اکسیداتیو بر ساختار و تشکیلات فتوسنتزی به طور کامل برطرف نشد و بنابراین، در شرایط این آزمایش و از منظر شاخص‌های مذکور، نهال‌های تحت تنش پرتقال واشنگتن ناول قادر به بهبودی کامل نبودند.

نرخ فتوسنتز خالص برگ‌های نهال‌های نارنگی کینو در پاسخ به تنش خشکی به صورت معنی‌دار کاهش یافت و از نیمه دوره تنش اختلاف‌های آماری موجود بین نهال‌های تنش دیده و شاهد مشهود بود. کاهش معنی‌دار و بیشینه میزان هدایت روزنه‌ای و نرخ تعرق برگی در نهال‌های تنش دیده نارنگی کینو (نسبت به شاهد و سایر نهال‌های تنش دیده) مؤید کاهش میزان فتوسنتز به دلیل محدودیت روزنه‌ای ایجاد شده در شرایط تنش بود. افزون بر آن، میزان شاخص Ci نیز از روز چهارم دوره تنش با کاهش شدید در نهال‌های تیمار شده نسبت به شاهد همراه بود که می‌تواند مؤید سلامت و کارآمدی تشکیلات فتوسنتزی در شرایط محدودیت منابع آبی و محدودیت روزنه‌ای ناشی از آن باشد (Degl'Innocenti *et al*., 2008).

علی‌رغم کاهش معنی‌دار شاخص‌های E و gs از نیمه دوره تنش در برگ‌های نهال‌های تنش دیده لیموی آب غیر پیوندی و پیوندی، افزایش معنی‌دار شاخص Ci برای نوع پیوندی در روز چهارم و برای نوع غیر پیوندی در روز هشتم ثبت شد. بنابراین، بر اساس یافته‌های مذکور به نظر می‌رسد که وقوع آسیب اکسیداتیو به تشکیلات فتوسنتزی لیموی آب پیوندی زودتر اتفاق افتاد و نوع غیر پیوندی توان تحمل بیش‌تری نسبت به آن داشت. پس از آبیاری مجدد، شاخص A در برگ‌های نوع پیوندی به طور کامل بازیابی نشد ولی در مورد نوع غیرپیوندی، بازیابی کامل هر دو شاخص مذکور اتفاق افتاد.



شکل ۱- نرخ فتوسنتز خالص (A)، نرخ تعرق (E)، هدایت روزنه‌ای (gs) و غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه (Ci) برگ‌های نهال‌های مرکبات در شرایط تنش خشکی و پس از انجام آبیاری مجدد. لیموی آب، پایه مورد استفاده در ترکیب تمام نهال‌های پیوندی بود. نشانه‌های S/2، S، R، C و D به ترتیب معرف: نیمه دوره تنش خشکی، پایان دوره تنش خشکی، پایان دوره آبیاری مجدد، نهال‌های شاهد و تنش دیده هستند. بارهای عمودی انحراف معیار از میانگین‌ها را نشان می‌دهند. بر اساس آزمون LSD، ستون‌های دارای حروف مشابه فاقد تفاوت‌های معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

بر اساس یافته‌ها و مشاهدات، نهال‌های نارنگی کینو نسبت به سایر نهال‌های آزمایشی دارای توانمندی فوق‌العاده‌ای در تحمل تنش خشکی اعمال شده بودند. سازوکار آن از طریق کاهش زودهنگام و بیش‌تر میزان هدایت روزنه‌ای و میزان سطح برگ تعرق کننده فعال بود. لازم به بیان است که در پاسخ به تنش خشکی، به سرعت برگ‌های نهال‌های نارنگی کینو به فرم لوله‌ای درآمدند و از این طریق میزان سطح برگ تعرق کننده فعال به میزان زیادی کاهش یافت. از سوی دیگر، در میان انواع نهال‌های آزمایشی، ناکارآمدترین سازوکار رویارویی با تنش به پرتقال واشنگتن ناول مربوط بود. دلایل این ناکارآمدی، دارا بودن بیش‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای و تعرق برگی در مقایسه با سایر نهال‌ها و مصرف سریع‌تر میزان آب موجود در گلدان‌ها و قرار گرفتن در شرایط کم‌آبی شدیدتر در اواخر دوره تنش خشکی و در نتیجه فراهم شدن زمینه وقوع تنش اکسیداتیو شدیدتر نسبت به سایر نهال‌ها بود. به احتمال، دلیل کاهش معنی‌دار و بیش‌تر میزان هدایت روزنه‌ای و نرخ تعرق نهال‌های پیوندی لیموی آب نسبت به نوع غیرپیوندی در نیمه دوره تنش، کاهش میزان آب در دسترس اندام هوایی است که خود معلول وجود محل پیوند و تفاوت‌های فراساختاری این منطقه (از نظر میزان پیوستگی و کارآمدی ارتباطات و اتصالات آوندی و توان هدایت هیدرولیکی) نسبت به وضعیت نرمال است. بنابراین، در مورد نهال‌های پیوندی لیموی آب زمینه برای وقوع تنش اکسیداتیو شدید در نیمه دوره تنش فراهم شد که در نهایت پس از آبیاری مجدد نیز بهبودیابی کامل نرخ فتوسنتز مشاهده نشد. در مقابل، آسیب‌های اکسیداتیو برگ نهال‌های پیوندی لیموی آب در پایان دوره تنش مشاهده و پس از آبیاری مجدد برطرف شد.

منابع

فتوحی قزوینی، ر.، فتاحی مقدم، ج. ۱۳۸۵. پرورش مرکبات در ایران. انتشارات دانشگاه گیلان. ۳۰۵ ص.

Christmann, A., Weiler, E.W., Steudle, E., Grill, E. 2007. A hydraulic signal in root-to-shoot signaling of water shortage. The Plant Journal, 52: 167–74.

Degl'Innocenti, E., Guidi, L., Stevanovic, B., Navari, F. 2008. CO_2 fixation and chlorophyll a fluorescence in leaves of Ramonda serbica during a dehydration–rehydration cycle. Journal of Plant Physiology, 165: 723–733.

García-Sánchez, F., Syvertsen, J., Gimeno, V., Botía, P., Perez-Perez, J.G. 2007. Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use efficiency. Physiologia Plantarum, 130: 532–542.

Hopkins, W.G., Hüner, N.P.A. 2009. Introduction to Plant Physiology, 4th edition. John Wiley & Sons. Inc., NY, USA. 503 p.

Melgar, J.C., Dunlop, J.M., Syvertsen, J.P. 2010. Growth and physiological responses of the citrus rootstock Swingle citrumelo seedlings to partial rootzone drying and deficit irrigation. The Journal of Agricultural Science, 148: 593–602.

Schachtman, D.P., Goodger, J.Q.D. 2008. Chemical root to shoot signaling under drought. Trends in Plant Science, 13: 281–287.

Leaf Gas Exchanges and Photosynthetic Rate in Homograft and Heterografts of Mexican Lime Rootstock Under Drought Stress and Rewatering

Pedram Assar[1,2]*, Akhtar Shekafandeh[1], Leila Taghipour[2]
[1] Department of Horticultural Science, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
[2*] Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Jahrom University, PO BOX: 74135-111, Jahrom, Iran
[*]*Corresponding Author: Pedramassar@gmail.com; Pedramassar@jahromu.ac.ir*

Abstract

Gas exchanges and photosynthetic rate of 24-month-old seedlings of Mexican limes; non-grafted, self-grafted, or grafted with Kinnow mandarin and Washington navel orange scions; were evaluated in a greenhouse experiment under water stress and recovery. Watering regime was water withholding for 8 days and then 4 days rewatering at field capacity. Net photosynthetic rate (*A*), stomatal conductance (*gs*), transpiration rate (*E*), and sub stomatal CO_2 concentration (*Ci*) of young expanded leaves were measured three times (mid-stress, end-of-stress, and after rewatering). The results showed that the graft combination with the orange scion had the lowest efficiency for related mechanisms in withstanding stress and the highest oxidative damage to photosynthetically apparatus, mainly due to higher stomatal conductance and transpiration rate, resulting in rapid depletion of the water in the containers and more water shortage at the end of water stress. Graft combination with mandarin scion, on the other hand, had a superior ability to withstand stress due to earlier and greater reductions in stomatal conductance. The physiological differences associated with the presence of grafting site and as a result, reduction in hydraulic conductance appeared to be the cause of severe oxidative damage to photosynthetically apparatus in the middle of the stress period for self-grafted Mexican lime, which was unable to fully recover the photosynthetic rate after rewatering. Conversely, non-grafted Mexican lime seedling experienced oxidative damage at the end of the stress period which recovered after rewatering.

***Keywords*:** Drought stress, Mexican lime, Kinnow mandarin, Graft combination, Washington Navel.