نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، ص. ۳۴۷-۳۳۶
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 30, No. 2, Summer 2016, P. 336-347
ISSN: 2008 - 4730

اثر پاکلوبوترازول بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و تبادلات گازی گلابی در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری

تیمور جوادی[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۰۷

چکیده

در نواحی خشک و نیمه خشک، گیاهان اغلب در معرض تنش آبی قرار می‌گیرند. تنش آبی رشد و نمو گیاهان را محدود می‌کند. هدف از این مطالعه بررسی اثر پاکلوبوترازول بر خصوصیات رویشی، فیزیولوژیکی و تبادلات گازی در گلابی رقم "شاه میوه" تحت رژیم‌های مختلف آبیاری بود. نهال‌ها در گلدان‌های بیست لیتری کشت شدند. پاکلوبوترازول به صورت خاکی به مقدار ۰، ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم در هر گلدان استفاده شد. تیمارهای تنش آبی سه ماه بعد از کشت در گلخانه اعمال شدند. سه تیمار آبیاری شاهد (آبیاری در حد ظرفیت زراعی)، ۰/۴ و ۰/۵ مگاپاسکال مکش خاک استفاده شدند. نتایج نشان داد که پاکلوبوترازول تمام صفات رویشی جز وزن خشک ریشه را کاهش داد. پاکلوبوترازول نسبت وزن خشک ریشه به قسمت هوایی را افزایش داد. تنش آبی محتوای نسبی آب برگ، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، شاخص پایداری غشاء و مقدار کلروفیل را کاهش و محتوای پرولین برگ، مواد جامد محلول کل و گازکربنیک زیر روزنه‌ای را افزایش داد. اثر متقابل معنی‌داری بین خشکی و پاکلوبوترازول در صفات مقدار کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، پرولین و گازکربنیک زیرروزنه‌ای مشاهده شد. گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول محتوای آب نسبی بیشتری نسبت به گیاهان تیمار نشده داشتند. آبیاری مجدد در گیاهان تحت تنش دو روز بعد منجر به برگشت تمامی صفات به حالت شد. فقط صفت محتوای نسبی آب برگ کمتر از شاهد بود. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که پاکلوبوترازول به گیاه اجازه می‌دهد تا از طریق تغییرات موفولوژیکی و فیزیولوژیکی تنش آبی را تحمل کند.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، صفات رویشی، فتوسنتز، کندکننده‌های رشد، گلابی

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی کنترل کننده رشد و تولید محصولات کشاورزی است(۲۱) و زمانی رخ می‌دهد که رطوبت ناکافی از رشد گیاه جلوگیری می‌کند. خشکی به دلایل مختلف مثل کمبود بارندگی رخ می‌دهد (۳۲). بسته به طول دوره و مقدار تنش خشکی، فرایندهایی گیاهی در سطح مولکولی، بیوشیمیایی، سلولی و کل گیاه تغییر می‌کند. بعضی از گیاهان دارای مکانیسم‌های هستند که اثر تنش خشکی را تعدیل می‌کنند. گزارشاتی نیز وجود دارد که تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی همانند تریازول‌ها (پاکلوبوترازول، یونیکونازول و تتراکونازول) اثرات تنش خشکی را تعدیل می‌کنند. مهم‌ترین اثر پاکلوبوترازول کاهش رشد رویشی می‌باشد. پاکلوبوترازول از طریق تاثیر بر سنتز جیبرلین باعث کاهش رشد رویشی گیاهان می‌شود. پاکلوبوترازول بعضی از مسیرهای متابولیکی در جریان چرخه ساخت جیبرلین را متوقف می‌کند. از آنجایی که جیبرلین باعث افزایش رشد می‌شود، لذا کاربرد پاکلوبوترازول رشد را کاهش می‌دهد (۳ و ۴).

محققین گزارش داده‌اند که گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول آب کمتری نسبت به گیاهان تیمار نشده مصرف می‌کنند (۵ و ۲۵). اما گزارشاتی نیز وجود دارد که حتی زمانی‌که رشد گیاه بطور قابل توجهی تحت تاثیر قرار نگرفته ، مصرف آب کمتر شده است (۲۴). کاهش مصرف آب بعد از تیمار پاکلوبوترازول به کاهش سطح برگ (۱)، اثر ضد تعرق پاکلوبوترازول و افزایش نسبت ریشه به قسمت هوایی (۲۸) نسبت داده شده است.

در تحقیقی که بر روی تاثیر پاکلوبوترازول بر روی پایه گیلاس

۱- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان
(*-نویسنده مسئول: Email: tjavadi@uok.ac.ir)

کلت[1] انجام شده، نتایج نشان داد که پاکلوبوترازول ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد برگ و مساحت برگ و وزن ساقه را نسبت به گیاهان شاهد کاهش داد. همچنین پاکلوبوترازول مصرف کلی آب و تعرق را در واحد سطح برگ کاهش و مقاومت روزنه‌ای را افزایش داد. همچنین گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول در شرایط خشکی دارای میزان تعرق کمتر و پتانسیل آب برگ بیشتری نسبت به گیاهان تیمار نشده بودند (۱).

کاربرد پاکلوبوترازول همزمان با رژیم‌های مختلف آبیاری روی دانهال‌های *Phillyrea angustifolia* در شرایط گلدانی نشان داد که ارتفاع و قطر ساقه یک‌ماه بعد از کاربرد خاکی پاکلوبوترازول کاهش یافت و پاکلوبوترازول به طور معنی‌داری وزن تاج و مساحت برگ را نسبت به گیاهان شاهد کاهش داد (۸)

از جمله ترکیباتی که در شرایط خشکی در گیاهان تجمع پیدا می‌کنند می‌توان پرولین را نام برد. میزان پرولین در گیاه تریتیکاله در شرایط تنش خشکی در گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول ۲۵ درصد افزایش یافت. اما در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول تجمع پرولین کمتر از گیاهان تیمار نشده بود و تغییرات میزان پرولین حدود ۲۴-۱۸ درصد بیش از شاهد بود (۲).

بسته‌شدن روزنه‌ای از عکس العمل‌های گیاهان تحت تنش برای حفظ آب می‌باشد. همچنین سرعت فتوسنتزی عمدتاً بخاطر دسترسی محدود سلول‌های مزوفیلی به دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد. سرعت فتوسنتز در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول کمتر تحت تاثیر قرار گرفت و نسبت به گیاهان شاهد بالاتر بود و هدایت روزنه‌ای نیز پایین‌تر بود(۲). در ذرت گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول حدود ۴۴-۴۰ درصد کلروفیل بیشتری نسبت به گیاهان تیمار نشده داشتند (۳۰). گزارشات متناقضی در مورد افزایش کلروفیل در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول وجود دارد که بعلت افزایش بیوسنتز کلروفیل و یا کاهش مساحت برگ می‌باشد (۱۰).

پاکلوبوترازول سرعت فتو سنتز را افزایش می‌دهد اما همیشه معنی‌دار نیست، مخصوصاً در کاربرد خاکی، که نه تنها سرعت فتوسنتزی کمی بالاتر است، بلکه گیاهان بعد از تنش نیز زودتر ریکاور شدند. وجود احتمالی ذخیره آب بالاتر و بموجب آن خسارت کمتر به سیستم فتوسنتزی در درختان در کاربرد خاکی بوسیله سرعت تعرق بالاتر حتی در شرایط تنش آبی نشان داده شد که ممکن است در این عمل نقش داشته باشد. کاربرد خاکی پاکلوبوترازول سبب نمو ریشه‌های ضخیم گوشتی متعدد و افزایش قطر ریشه می‌شود. این صفت می‌تواند ذخیره آب را افزایش دهد و تحمل تنش آبی را بهبود ببخشد(۳۳). یکی از درختان میوه مهم در کشور ما درخت گلابی می‌باشد. گلابی به صورت وحشی در بسیاری از نقاط کشور وجود دارد. همچنین گلابی در استان‌های سردسیر کشور کشت می‌شود. متاسفانه هنوز پایه‌های مقاوم به خشکی که مناسب کشور باشند شناسایی نشده‌اند. کشور ما هم جزو مناطق خشک و نیمه خشک دنیا محسوب می‌شود. لذا در بسیاری از مواقع خشکی‌های دوره‌ای در کشور رخ می‌دهند. بنابراین تحقیقاتی که سبب گزینش درختان مقاوم شوند و یا تحمل خشکی را بالا ببرند از ضروریات می‌باشند. نقش پاکلوبوترازول در کاهش اثرات تنش آبی در مناطق کم آب کشور ما از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا در این تحقیق سعی می‌شود اثرات پاکلوبوترازول بر نهال‌های گلابی رقم شاه‌میوه که یکی از ارقام مهم در کشور است مورد بررسی قرار گیرد. در این مطالعه عکس‌العمل‌های رویشی، فیزیولوژیکی و تبادلات گازی بررسی می‌شوند. نتایج این تحقیق می‌تواند در توسعه کاشت گلابی در مناطق کم آب مفید باشد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و محل اجرای تحقیق

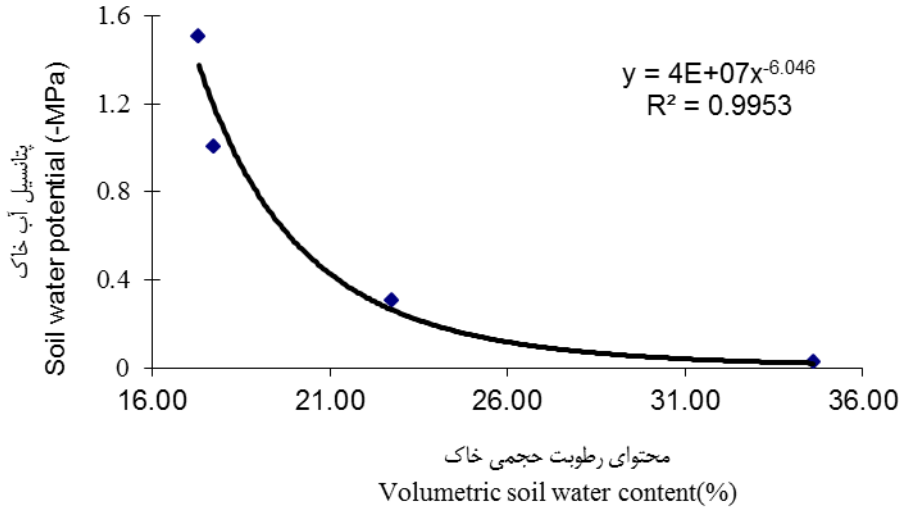
به منظور انجام آزمایش نهال‌های پیوندی یکساله گلابی رقم شاه میوه (*Pyrus communis* cv. Shah Mive) از نهال کاری‌های معتبر شهرستان کرج خریداری شدند. پس از انتقال نهال‌های پیوندی به گلخانه دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، نهال‌های یکسان انتخاب و در گلدان‌های بیست لیتری کشت شدند. خاک مورد استفاده مخلوطی از یک قسمت ماسه، یک قسمت کود دامی کاملاً پوسیده و یک قسمت خاک باغچه بود. آزمایشات نمونه خاکی نشان دادند که خاک تهیه شده دارای ۷۷ درصد شن، ۱۵ درصد سیلت، ۸ درصد رس و وزن ظاهری خاک ۱/۲۵ گرم در سانتیمتر مکعب بود. بعد از کاشت نهال‌ها در اسفند ماه، مقدار پاکلوبوترازول تیمارها در یک لیتر آب حل و در کنار ریشه‌ها ریخته شد. در طول رشد، نهال‌ها هر دو روز یکبار به طور منظم آبیاری شدند. در ابتدای رشد نهال‌ها هرس شدند و دو شاخه بر روی هر نهال نگهداری شد. منحنی رطوبتی خاک نیز در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی

دانشگاه کردستان تعیین گردید (شکل ۱). از این منحنی برای اعمال تیمارهای آبیاری به روش وزنی استفاده شد (۷).

تیمارهای تنش آبی بعد از سه ماه رشد در اواسط خرداد ماه سال ۱۳۹۰ اعمال گردیدند. صفات رویشی در زمان شروع آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با تیمار پاکلوبوترازول مورد تجزیه قرار گرفتند. تا در شروع آزمایش تاثیر پاکلوبوترازول بر روشد رویشی مشخص گردد بعد از آن سه دور تنش خشکی بر روی نهال‌ها اجرا و صفات فیزیولوژیکی و تبادلات گازی در سیکل سوم تنش خشکی اندازه‌گیری شدند. صفات شاخص پایداری غشاء و مقدار کلروفیل (a، b و کل) در یک مرحله در اوج تنش بررسی و به صورت طرح فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با دو فاکتور

1 -Colt

پاکلوبوترازول در سه سطح (۰، ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم در هر گلدان) و تنش آبی در سه سطح و سه تکرار تجزیه شدند. صفاتی مثل پرولین، کربوهیدرات محلول کل، محتوای نسبی آب برگ (Relative water Content=RWC) و تبادلات گازی در دو مرحله (اوج تنش و دو روز بعد از آبیاری مجدد) اندازه‌گیری شدند. در این صفات عامل زمان نیز دخالت داده شد و بر پایه طرح فاکتوریل سه فاکتوره با سه فاکتور پاکلوبوترازول در سه سطح، تنش آبی در سه سطح و دو زمان نمونه گیری و سه تکرار تجزیه شدند.



شکل ۱- منحنی حفظ رطوبت خاک
Figure 1- Soil moisture retention curve

سطوح تنش آبی

شاهد: در این تیمار گیاهان به طور مرتب هر دو روز یکبار آبیاری شدند.

تیمار ۰/۴- مگاپاسکال: در این تیمار گیاهان زمانی آبیاری گردیدند که پتانسیل آب خاک به ۰/۴- مگاپاسکال رسید آبیاری شدند.

تیمار ۰/۸- مگاپاسکال: در این تیمار گیاهان زمانی آبیاری گردیدند که پتانسیل آب خاک به ۰/۸- مگاپاسکال رسید آبیاری شدند.

صفات مورد بررسی و روش‌های اندازه‌گیری آن‌ها

رشد رویشی

در ابتدای آزمایش گیاهان از ارتفاع یکسان هرس و دو شاخه انتاب شدند. برای اندازه‌گیری رشد گیاه در انتهای آزمایش میزان رشد طولی ساقه اندازه‌گیری شد. همچنین قطر ساقه با استفاده از کولیس در ابتدا و انتهای آزمایش اندازه‌گیری و میزان افزایش آن برای تجزیه استفاده شد. مساحت برگ با استفاده از دستگاه مساحت سنج (Area measurement system, Delta-T Devices LTD. England) در انتهای آزمایش رشد اندازه‌گیری شد.

وزن خشک ریشه و شاخه در انتهای آزمایش اندازه‌گیری گردید. برای این منظور گیاهان از گلدان خارج و ریشه و قسمت هوایی از محل طوقه جدا و در آون در دمای ۸۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند.

شاخص پایداری غشا[1]

شاخص پایداری غشاء سلولی برگ‌ها بر طبق روش سایرام و همکاران تعیین گردید .به این منظور، دیسک‌هایی از برگ قطع شد و ۰/۱ گرم از دیسک‌ها با آب دوبار تقطیر شسته شد و در لوله‌های آزمایشی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر قرار داده شدند. ابتدا لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در آب ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و هدایت الکتریکی آن‌ها پس از سرد شدن تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی قرائت شد(C_1). سپس لوله‌ها تا دمای جوش گرم شدند و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای جوش نگهداری شدند. سپس تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرد شدند و هدایت الکتریکی آن‌ها مجدداً قرائت گردید (C_2). شاخص پایداری غشاء با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (۲۷).

1- Membrane Stability Index (MSI)

$$MSI= (1-\frac{C1}{C2})\times 100 \quad (۱)$$

شاخص پایداری غشاء = MSI
هدایت الکتریکی برگ‌ها پس از قرار گرفتن در معرض دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد =C1
هدایت الکتریکی برگ‌ها پس از قرار گرفتن در معرض دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد =C2

اندازه‌گیری میزان پرولین آزاد

نیم گرم از بافت برگ همراه ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در داخل هاون چینی کوبیده و له گردیدند. سپس قسمت روشناور جدا گردید قسمت باقیمانده دوبار توسط ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد استخراج گردید. محلول جمع‌آوری شده به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفوژ با دور ۳۵۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. بعد از جدا کردن بخش بالایی برای اندازگیری پرولین و کربوهیدرات محلول کل استفاده شد(۲۳). از نمونه‌های سانتریفوژ شده، ۱ میلی‌لیتر توسط میکروپیپت جدا شد و در داخل لوله‌های آزمایش ریخته شد و با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق گردید. سپس ۵ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین به هر یک از نمونه‌ها اضافه شد (روش تهیه معرف نین هیدرین به ازای هر نمونه: ۰/۱۲۵ گرم نین‌هیدرین+ ۲ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۶ مولار+ ۳ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال). پس از اضافه نمودن معرف نین‌هیدرین، ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به هر یک از نمونه‌ها اضافه شد و بعد از به هم زدن مخلوط حاصله، به مدت ۴۵ دقیقه در داخل حمام آب جوش (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. بعد از خروج نمونه‌ها از حمام آب جوش در دمای آزمایشگاه خنک شدند و سپس ۱۰ میلی‌لیتر بنزن به هر یک از نمونه‌ها اضافه شد. نمونه‌ها توسط شیکر به هم زده شدند تا پرولین وارد فاز بنزن شود. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به حالت سکون رها شدند. میزان جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر (مدل Specord 210، Analytik jena، ساخت آمریکا) اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از منحنی استاندارد و محاسبه معادله رگرسیون، غلظت پرولین براساس میکرومول بر گرم وزن خشک گیاه تعیین گردید.

اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ

برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول برگ ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی استخراج شده و ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون+۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد) به آن اضافه شد (۱۳). لوله‌های آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفتند تا ماده رنگی حاصل شود. بعد از خنک شدن نمونه‌ها، میزان جذب آن‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. میزان کربوهیدارات نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده با قند گلوکز تعیین گردید.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ

به منظور اندازه‌گیری میزان کلرفیل a، b و کل، ۰/۵ گرم برگ با استفاده از ترازوی دقیق وزن وزن و طبق دستورالعمل استاندارد کلروفیل استخراج (۱۵) و نهایتاً غلظت کلروفیل‌های a و b با استفاده از روابط زیر محاسبه شد(۱۵) :

$$Chl_a\ (\mu g/ml)= 11.24\ A_{661.6} - 2.04\ A_{644.8} \quad (۲)$$

$$Chl_b\ (\mu g/ml)= 20.13\ A_{644.8} - 4.19\ A_{661.6} \quad (۳)$$

اندازه‌گیری میزان هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و تعرق

چهار پارامتر هدایت روزنه‌ای (g_s)، میزان فتوسنتز (P_n)، تعرق (E_t) و CO_2 زیر روزنه‌ای در دو مرحله در ساعت ۱۱-۹ صبح توسط دستگاه پرتابل آنالیزور گازی مادون قرمز IRGA(LCA-4) اندازه‌گیری شدند. بار اول در زمانیکه تیمارهای تنشی به حداقل میزان خود رسیدند و دفعه دوم دو روز بعد از دوره بازیافت[1] یعنی دو روز بعد از این‌که تیمارهای تنشی آبیاری شدند اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری این پارامترها از هر تکرار ۲ برگ کامل و بالغ هر نهال که در فاصله گره‌های ۵-۴ بود انتخاب و پارمترهای ذکر شده اندازه گیری شدند.

اندازه‌گیری میزان نسبی آب برگ[2]

برای اندازه‌گیری میزان نسبی آب برگ (RWC)، از هر گیاه یک برگ کامل از وسط شاخه انتخاب گردید و از هر برگ ۶ دیسک برگی به قطر ۱ سانتی‌متر جدا شدند. پس از اندازه‌گیری وزن تر (FW) دیسک‌ها به کمک ترازوی دیجیتالی دقیق (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم)، دیسک‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و در شرایط تاریکی قرار گرفتند تا آماس نمایند (۱۲). بعد از خارج کردن برگ‌ها از آب مقطر جهت حذف رطوبت اضافی سطح دیسک‌ها بین دو لایه کاغذ صافی خشک قر گرفتند و سپس وزن آماس آنها اندازه‌گیری شد (TW). بعد نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در داخل آون خشک شدند و وزن خشک (DW) آن‌ها اندازه‌گیری شد و سپس میزان نسبی آب برگ با رابطه زیر محاسبه شد (۲۰)

$$RWC = \left[(FW - DW)/(TW - DW)\right]\times 100 \quad (۴)$$

تجزیه داده‌ها

داده‌های گردآوری شده با استفاده از نرم افزار MSTATC تجزیه گردیدند. مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند

1- Recovery
2- Relative Water Content (RWC)

دامنه‌ای دانکن انجام گردید. نمودارها توسط نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

صفات رویشی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پاکلوبوترازول بر تمام صفات رویشی مطالعه شده بجز وزن خشک ریشه تاثیر معنی‌داری داشته است (جدول ۱).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که پاکلوبوترازول تاثیر شدیدی بر رشد ساقه داشت (جدول ۲). به طوری که بیشترین میزان رشد در تیمار شاهد بود و کمترین میزان رشد در تیمار ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم پاکلوبوترازول بود که این دو تیمار با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. در ارتباط با صفات دیگر، پاکلوبوترازول سبب کاهش مساحت برگ، افزایش قطر ساقه، تعداد برگ، وزن خشک قسمت هوایی و وزن خشک کل گیاه شد. به طوری‌که در صفات مذکور بیشترین میزان رشد در تیمار شاهد بود و کمترین میزان رشد در تیمارهای پاکلو بوترازول بود. در همه صفات ذکر شده بین دو تیمار ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد جز در صفت مساحت برگ که کمترین مقدار در تیمار ۰/۳ گرم بود. تعداد شاخه‌های فرعی نیز تحت تاثیر تیمار پاکلوبوترازول قرار گرفت به طوری‌که بیشترین تعداد شاخه فرعی در دو تیمار ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم پاکلوبوترازول (این دو تیمار با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند) و کمترین تعداد شاخه فرعی در تیمار شاهد بود (جدول ۲).

نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک شاخه نیز تحت تاثیر تیمار پاکلوبوترازول قرار گرفت و کمترین نسبت در تیمار شاهد و بیشترین نسبت در تیمارهای پاکلوبوترازول بود (بین تیمارهای ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم پاکلوبوترازول اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲)

تاثیر خشکی و پاکلوبوترازول بر شاخص پایداری غشاء و مقدار کلروفیل

شاخص پایداری غشاء[1] تحت تاثیر تیمار پاکلوبوترازول و خشکی قرار گرفت اما اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۳). در شرایط خشکی این شاخص کاهش پیدا کرد.

مقدار کلروفیل a، b و کل تحت تاثیر تیمار خشکی و پاکلوبوترازول قرار گرفت و اثرات متقابل آن‌ها نیز از نظر آماری معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نشان داد که مقدار کلروفیل a در تیمار ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم پاکلوبوترازول و در سطح تیمار خشکی شاهد (بدون تنش آبی) در بیشترین مقدار بود (جدول ۴). و در شرایط خشکی ۰/۴ و ۰/۸ مگاپاسکال کاهش یافت.

مقدار کلروفیل b نیز در تیمار ۰/۱۵ و ۰/۳ در سطح خشکی شاهد (بدون تنش آبی) در حداکثر بود. و در بقیه سطوح یکسان بود (جدول ۴).

مقدار کلروفیل کل نیز روندی مشابه با کلروفیل b داشت و در تیمار پاکلوبوترازول ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم در سطح خشکی شاهد (بدون تنش آبی) در حداکثر بود و در بقیه تیمارها در سطح پایین‌تری قرار داشت (جدول ۴).

محتوای نسبی آب برگ[2]، پرولین، قندهای محلول کل و تبادلات گازی

محتوای نسبی آب برگ، پرولین، قندهای محلول، سرعت فتوسنتز، گاز کربنیک زیر روزنه‌ای، هدایت روزنه‌ای و تعرق تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده قرار گرفتند (جدول ۵).

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل زمان نمونه‌برداری و تیمار خشکی نشان داد که کمترین مقدار آب نسبی در اوج تنش و در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بود. دو روز بعد از آبیاری مجدد تفاوتی بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تنش آبی و پاکلوبوترازول نشان داد که در پاکلوبوترازول با غلظت ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم در گلدان در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال نسبت به تیمار بدون پاکلوبوترازول محتوای نسبی آب بیشتری داشتند (جدول ۷).

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل زمان نمونه‌برداری تیمار خشکی نشان داد که بیشترین مقدار پرولین در اوج تنش آبی در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال و بدون کاربرد پاکلوبوترازول مشاهده شد. تیمار بدون خشکی در تمام سطوح پاکلوبوترازول کمترین مقدار پرولین را داشتند و با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. (جدول ۶). مقایسه میانگین اثرات متقابل پاکلوبوترازول و تنش خشکی نیز نشان داد که در تیمارهای پاکلوبوترازول تجمع پرولین نسبت به تیمار مشابه بدون پاکلوبوترازول کمتر بود (جدول ۷).

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل زمان نمونه‌برداری و تنش آبی نشان داد که بیشترین میزان کربوهیدرات محلول کل در اوج تنش خشکی و در تیمار ۰/۸- مگاپاسکال مشاهده شد (جدول ۶). دو روز بعد از آبیاری مجدد تمام تیمارهای تنش آبی مقادیر یکسانی از قندهای محلول کل را داشتند. یعنی قندهای محلول کل دو روز بعد از آبیاری مجدد بازیافت می‌شوند و به سطح قبل از تنش باز می‌گردند (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل زمان نمونه‌برداری و تنش آبی نشان داد که کمترین سرعت فتوسنتز در اوج تنش و در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بود.

1- Membrane stability index

2- Relative Water Content (RWC)

جدول۱- تجزیه واریانس برای صفات رویشی گلابی رقم'شاه میوه'

Table 1- Analysis of variance for vegetative traits of pear cv. 'Shah Mive'

منابع تغییر Soure of variation	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Means of squares								
		افزایش ارتفاع Height increment	افزایش قطر ساقه Stem diameter increament	متوسط مساحت برگ Mean leaf area	تعداد برگ Leaf number	تعدادشاخه فرعی Feather number	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک قسمت هوایی Shoot dry weight	نسبت وزن ریشه / قسمت هوایی Root / shoot ratio	وزن خشک نهال Sapling dry weight
پاکلوبوترازول Paclobutrazol	2	2086.78 **	0.024 *	98.47 **	618.11 *	61.78 *	23.35 ns	2653.34 **	0.065 *	3131.36 *
خطا Error	6	7.44	0.003	0.535	102.89	6.44	208.14	136.17	0.007	601.63
درصد ضریب تغییرات Coefficient of vartiation		4.82	5.71	5.57	5.97	17.57	17.18	10.16	11.44	12.33

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد

ns, * and ** not significant, significant at a=0.05 **and** significant at a=0.01 **level, respectively**

جدول۲- مقایسه میانگین صفات رویشی گلابی رقم 'شاه میوه'

Table 2- Means comparsion of vegetative traits in pear cv. 'Shah Mive'

تیمار Treatment	افزایش ارتفاع height increment (cm)	افزایش قطر ساقه Stem diameter increament (cm)	متوسط مساحت برگ Mean leaf area (cm^2)	تعداد برگ Leaf number	تعدادشاخه فرعی Feather number	وزن خشک قسمت هوایی Shoot dry weight (g)	نسبت وزن ریشه به قسمت هوایی (Root to shoot ratio)	وزن خشک نهال Sapling dry weight (g)
شاهد (Control)	87.00 a	0.98 a	19.68 a	155.00 b	9.33 b	149.2 a	0.58 b	236.0 a
۰/۱۵ گرم پاکلوبوترازول 0.15 gr paclobutrazol	42.00 b	0.82 b	10.65 b	170.7 ab	16.00 a	96.16 b	0.84 a	177.6 b
۰/۳ گرم پاکلوبوترازول 0.3 gr paclobutrazol	40.67 b	0.84 b	9.05 c	183.7 a	18.00 a	99.31 b	0.84 a	182.9 b

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

Means following by the same letter in the same column do not differ significantly according to Duncan's multiple test ($P < 0.05$)

جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص پایداری غشاء و کلروفیل (a، b و کل) در گلابی رقم شاه میوه

Table 3- Analysis of variance for membrane stability index and chlorophyll (a, b and total) in pear cv. 'Shah Mive'

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Means of squares			
		شاخص پایداری غشا membrane stability index	کلرفیل a Chlorophyll a	کلرفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Totall chlorophyll
پاکلوبوترازول Paclobutrazol	2	7.82 *	0.114 *	0.028 **	0.159 *
خشکی Drought	2	817.93 **	0.317 **	0.088 **	0.792 **
پاکلوبوترازول × خشکی Paclobutrazol ×Drought	4	1.59 ns	0.101 *	0.009 **	0.139 **
خطا Error	18	1.96	0.029	0.002	0.029
درصد ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		1.9	3.52	3.45	2.84

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, * and ** not significant, significant at a=0.05 and significant at a=0.01 level, respectively

جدول٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل پاکلوبوترازول × خشکی بر مقدار کلروفیل برگ گلابی رقم 'شاه میوه'

Table 4- Means comparsion for interaction effect of paclobutrazol ×drought on leaf chlorophyll content of pear cv. 'Shah Mive'

تیمار Treatment		صفات		
پاکلوبوترازول Paclobutrazol (g/pot)	خشکی Drought	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g DW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g DW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/g DW)
شاهد Control	شاهد Control	4.73 cd	1.2 b	5.99 bc
	-0.4 MPa	4.69 cd	1.16 bc	5.84 bc
	-0.8 MPa	4.79 cd	1.11 c	5.9 bc
0.15	شاهد Control	5.12 ab	1.42 a	6.54 a
	-0.4 MPa	4.52 d	1.19 bc	5.71 c
	-0.8 MPa	4.58 cd	1.17 bc	5.74 bc
0.3	شاهد Control	5.21 a	1.37 a	6.57 a
	-0.4 MPa	4.86 bc	1.2 b	6.06 b
	-0.8 MPa	4.73 cd	1.15 bc	5.88 bc

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

Means following by the same letter in the same column do not differ significantly according to Duncan's multiple test (P < 0.05)

دو روز بعد از آبیاری تیمارهای تحت تنش آبی، سرعت فتوسنتز در همه تیمارها یکسان بود و این نشان می‌دهد که بعد از رفع تنش فتوسنتز به سرعت به مقدار قبل از تنش باز می‌گردد (جدول ۶).

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل زمان نمونه‌برداری و تیمار خشکی نشان داد که بیشترین میزان گاز کربنیک زیر روزنه‌ای در اوج تنش آبی در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بود. و کمترین مقدار در

تیمار بدون تنش آبی بود که نشان می‌دهد گازکربنیک زیر روزنه‌ای در جریان فتوسنتز مصرف می‌شود. دو روز بعد از آبیاری مجدد تیمارهای تحت تنش آبی، تفاوتی بین تیمارها مشاهده نشد و همه گازکربنیک زیر روزنه‌ای یکسان و مشابه تیمار بدون تنش داشتند (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تنش‌آبی و پاکلوبوترازول نشان داد که در تیمار بدون پاکلوبوترازول در تنش آبی ۰/۴- مگاپاسکال نسبت به تیمار مشابه در شرایط استفاده از پاکلوبوترازول گازکربنیک زیر روزنه‌ای بیشتری داشته است (جدول ۷).

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل زمان نمونه‌برداری و تیمار تنش آبی نشان داد که کمترین مقدار هدایت روزنه‌ای در اوج تنش و در تیمارهای خشکی ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال بود. دو روز بعد از آبیاری مجدد تفاوتی بین تیمارهای مختلف تفاوتی مشاهده نشد (جدول ۶).

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل زمان نمونه‌برداری و تیمار تنش آبی نشان داد که کمترین مقدار تعرق در اوج تنش و در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بود. (جدول ۶). دو روز بعد از آبیاری مجدد تیمارهای تنش آبی مقدار تعرق در تیمار ۰/۴- مگاپاسکال به حالت تنش باز گشت ام در تیمار ۰/۸ مگاپاسکال به حالت قبل از تنش باز نگشت و پایین‌تر بود (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس برخی صفات فیزیولوژیکی و تبادلات گازی در گلابی رقم 'شاه میوه'

Table 5- Analysis of Variance for some physiological traits and gas exchange in pear cv. 'Shah Mive'

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Df	میانگین مربعات						
		محتوای نسبی آب برگ Leaf relative water content	پرولین Proline	کربوهیدرات محلول کل Total soluble carbohydrate	سرعت فتوسنتز Photosynthetic rate	گازکربنیک زیر روزنه‌ای Sub-stomatal CO_2	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	تعرق Transpiration
زمان Time (T)	1	716.28 **	5546.78 **	4.3 **	119.68 **	9698.92 **	0.216 **	37.68 **
پاکلوبوترازول Paclobutrazol (P)	2	6.48 **	240.90 **	0.11 *	0.26 ns	329.94 **	0.0004 ns	1.03 **
زمان × پاکلوبوترازول T×P	2	1.19 ns	4.13 ns	0.04 ns	0.35 ns	261.4 **	0.0008 **	0.46 ns
خشکی Drought (D)	2	347.94 **	3988.62 **	1.26 **	31.85 **	4696.29 **	0.00007 ns	14.14 **
زمان × خشکی D× T	2	34.19 **	2844.64 **	1.19 **	27.27 **	5190.24 **	0.005 **	14.90 **
پاکلوبوترازول × خشکی P× D	4	1.29 **	90.18 **	0.016 ns	0.66 ns	149.47 *	0.0002 ns	0.08 ns
زمان × پاکلوبوترازول × خشکی T× P × D	4	0.98 ns	10.42 ns	0.001 ns	0.098 ns	66.95 ns	0.0003 ns	0.053 ns
خطا Error	36	0.99	13.01	0.021	0.806	45.59	0.00035	0.189
Coefficient of variation (%)		1.11	10.1	8.66	7.97	4.22	18.68	6.08

ns ، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, * and ** not significant, significant at a=0.05 and significant at a=0.01 level, respectively

جدول ٦- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل زمان نمونه‌گیری و خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوزیکی و تبادلات گازی گلابی رقم' شاه میوه'

Table 6- Means comparsion for interaction effect of sampling time and drought on some physiological traits and gas exchange in pear cv. 'Shah Mive'

زمان نمونه‌گیری Sampling time	خشکی Drought	محتوای نسبی آب برگ Leaf relative water content (٪)	پرولین Proline (µmol. gr^{-1} DW)	کربوهیدرات محلول کل Total soluble carbohydrate (gr 100 gr^{-1} DW)	سرعت فتوسنتز Photosynthetic rate (µmol.m^{-2} s^{-1})	گازکربنیک زیر روزنه‌ای Sub-stomatal CO_2 (µmol.m^{-2} s^{-1})	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance (mol.m^{-2} s^{-1})	تعرق Transpiration (mmol.m^{-2} s^{-1})
اوج تنش خشکی Peack of Drought stress	شاهد Control	93.94 a	25.3 cd	1.43 c	12.52 a	140.9 c	0.122 a	8.10 a
	-0.4 MPa	86.48 c	35.31 b	2.02 b	9.36 b	171.8 b	0.067 b	6.36 b
	-0.8 MPa	76.71 d	77.02 a	2.47 a	7.45 c	207.1 a	0.050 b	4.51 c
دو روز بعد از آبیاری مجدد Two days after re-irrigation	شاهد Control	93.09 ab	24.28 d	1.38 c	12.86 a	148.2 c	0.126 a	8.01 a
	-0.4 MPa	93.11 ab	24.12 d	1.46 c	12.73 a	144.8 cd	0.118 a	7.91 a
	-0.8 MPa	92.79 b	28.3 c	1.39 c	12.67 a	146.4 cd	0.116 a	8.06 a

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

Means following by the same letter in the same column do not differ significantly according to Duncan's multiple test (P < 0.05)

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل پاکلوبوترازول ×خشکی بر محتوای نسبی آب برگ، پرولین و گاز کربنیک زیر روزنه‌ای در گلابی رقم 'شاه میوه'

Table 7- Means comparsion of drought ×paclobutrazol on leaf relative water content, proline and sub-stomatal CO_2 in pear cv. 'Shah Mive'

پاکلوبوترازل Paclobutrazol (g/pot)	خشکی Drought	محتوای نسبی آب برگ Leaf relative water content (٪)	پرولین Proline (µmol. gr^{-1} DW)	گازکربنیک زیر روزنه‌ای Sub-stomatal CO_2 (µmol.m^{-2} s^{-1})
شاهد Control	Control	92.9 b	25.68 d	144.5 d
	-0.4 MPa	89.45 c	32.13 c	168.6 b
	-0.8 MPa	83.66 e	61.82 a	180.9 a
0.15	شاهد Control	93.45 ab	24.14 d	143.5 d
	-0.4 MPa	89.76 c	28.36 cd	156.4 c
	-0.4 MPa	85.56 d	46.65 b	175.3 ab
0.3	شاهد Control	94.18 a	24.55 d	145.6 d
	-0.4 MPa	93.11 ab	28.50 cd	149.9 cd
	-0.8 MPa	92.79 b	49.52 b	174.0 ab

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

Means following by the same letter in the same column do not differ significantly according to Duncan's multiple test (P < 0.05)

همان‌طوری‌که نتایج نشان دادند پاکلوبوترازول بر صفات رویشی تاثیر معنی‌داری داشت (جداول ۱ و ۲). پاکلوبوترازول جزو بازدارنده‌های رشد است و تاثیر آن بعلت خاصیت ضد جیبرلینی آن است (۱۴ و ۲۲). البته تغییرات دیگری که در اثر کاربرد پاکلوبوترازول مشاهده شده که این تغییرات شامل تغییرات مورفولوژیکی مثل کاهش رشد شاخساره و افزایش رشد ریشه است (۲۶ و ۳۵). در این آزمایش پاکلوبوترازول بر رشد ریشه تاثیر منفی نداشت که این واقعیت در آزمایشات دیگر نیز به اثبات رسیده است. از آنجایی‌که رشد ریشه تحت تاثیر قرار نمی گیرد اما رشد قسمت هوایی کاهش می یابد لذا نسبت وزن ریشه به قسمت‌های هوایی افزایش پیدا می‌کند که در این

آزمایش نیز مشاهده گردید. بعضی از تغییرات در برگ‌های گیاهان تیمار شده با تنظیم کننده‌های رشد بعلت تغییر در اندازه برگ است (۶). کاهش در مساحت برگ در حدود ۵۰ درصد بوسیله کاربرد خاکی دو گرم پاکلوبوترازول در درختان هلو مشاهده شده است (۱۹).

طی آزمایشی تاثیر پالکوبوترازول و رژیم‌های مختلف آبیاری بر نهال‌های بذری گیاه *Phillyrea angustfolia* بررسی شد. یک ماه بعد از تیمار پاکلو بوترازول کاهش در ارتفاع گیاه و قطر ساقه مشاهده گردید. رژیم آبیاری به طور معنی‌داری بر ارتفاع گیاه سه ماه بعد از کاشت تاثیر گذاشت و بر قطر ساقه تاثیر نداشت. پاکلوبوترازول به طور معنی‌داری وزن تاج و مساحت برگ را کاهش داد. به طور کلی پاکلوبوترازول سبب سازگاری مورفولوژیکی مناسب (افزایش نسبت ریشه به شاخه و کاهش سطح برگ) شد که به گیاه اجازه می‌دهد تا شرایط خشکی را بهتر تحمل کند (۸). بنابراین می‌توان گفت که پاکلوبوترازول از طریق کاهش رشد (۵) و افزایش نسبت وزن ریشه به قسمت هوایی شرایط مناسبی را برای تحمل تنش خشکی فراهم می‌کند. اما در شرایط اعمال تنش سبب محافظت از کلروفیل نگردید.

نگاهی به جداول ۳ و ۴ نشان می‌دهد که پاکلوبوترازول سبب افزایش کلرفیل a، b و کل شده است. گزارشات متناقضی در مورد افزایش کلروفیل در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول وجود دارد که بعلت افزایش بیوسنتز کلروفیل و یا کاهش مساحت برگ می‌باشد (۹). در درخت پکان گزارش شده که کاربرد پاکلوبوترازول سبب افزایش سرعت فتوسنتز می‌شود. برگ‌های گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول کوچکتر، ضخیم‌تر، سبز تیره و دارای کلروفیل بیشتر بودند (۳۳). تغییرات دیگری که در اثر کاربرد تریازول‌ها مشاهده می‌شود شامل تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، مثل افزایش ترکیبات ضداکسایشی (۱۱, ۲۲و ۲۹). افزایش میزان پرولین و محتوای کلروفیل و کارایی فتو سنتزی است (۱۷و ۲۹). بسته شدن جزیی روزنه‌ها و کاهش تعرق نیز گزارش شده است (۱۰). در این آزمایش نیز پاکلوبوترازول بر میزان محتوای نسبی آب و سرعت فتوسنتز تاثیر داشت و سبب افزایش آن گردید. مدارکی وجود دارد که نشان می‌دهد کاربرد تریازول بر روی گیاهان می‌تواند سبب تعدیل اثرات تنش آبی شود. در حقیقت، عکس العمل‌های گیاهی مانند افزایش ABA، پرولین، ترکیبات ضداکسایشی و بسته شدن روزنه‌ها بعد از تیمار با تریازول‌ها بنظر می‌آید که مکانیسم‌های مقاومت یا پرهیز از خشکی را تقلید کنند. این موارد در گندم (۱۱)، گوجه فرنگی (۳۱) و افرا (*Acer Saccharinum*) مشاهده شده است (۱۸).

در این آزمایش میزان رطوبت نسبی برگ در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول بیشتر بود. پاکلوبوترازول می‌تواند محتوی نسبی آب را در شرایط تنشی حفظ کند. در آزمایشی تاثیر پاکلوبوترازول بر روی تریتیکاله مشاهده گردید که گیاهان شاهد تیمار شده با پاکلوبوترازول محتوای آب نسبی به میزان ۲ درصد بیشتر در گیاهان شاهد تیمار نشده با پاکلوبوترازول داشتند. همچنین ۲۴ ساعت بعد از شروع تنش RWC در گیاهان تیمار نشده ۲۴ درصد کاهش یافت اما در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول در همین شرایط RWC به میزان ۱۴ درصد کاهش یافت (۲).

تنش آبی ناشی از پلی اتیلن گلیگول سبب بازدارندگی معنی‌داری در تبادلات گازی برگ می‌شود. بعد از ۲۴ ساعت تنش اسمزی میزان فتوسنتز گیاهان تیمار نشده با پاکلوبوترازول ۳۸، تعرق ۳۷ درصد و هدایت روزنه ای به میزان ۲۵ درصد کاهش یافت. در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه ای پایین تر و (۲۱-۲۰ درصد) بود (۲).

بسته شدن روزنه‌ای یکی از عکس‌العمل‌های گیاهان تحت تنش برای حفظ آب می‌باشد. همچنین سرعت فتوسنتزی عمدتاً بخاطر دسترسی محدود سلول‌های مزوفیلی به دی اکسید کربن کاهش می‌یابد. سرعت فتوسنتز در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول کمتر تحت تاثیر قرار گرفت و نسبت به گیاهان شاهد باقیمانده بالاتر بود و هدایت روزنه‌ای پایین‌تر بود (۲) .در طول دوره ریکاوری محتوای نسبی آب در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول و در گیاهان شاهد افزایش یافت. ۲۴ ساعت بعد از ریکاوری، محتوای پرولین در گیاهان تیمار نشده حدود ۳۰ درصد بیشتر از شروع آزمایش بود. در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول این مقدار متفاوت و حدود ۹ تا ۱۶ درصد بود (۲).

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی از نتایج این آزمایش نشان داد که پاکلوبوترازول از طریق تاثیر سبب کاهش خصوصیات رویشی همانند ارتفاع گیاه، متوسط مساحت برگ، رشد قطر تنه و وزن خشک قسمت هوایی شد. اما وزن خشک ریشه، تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد برگ افزایش یافت. خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشا و افزایش مقدار پرولین و کربوهیدات‌های محلول کل شد. اما پاکلوبوترازول در شرایط تنش آبی سبب افزایش شاخص پایداری غشا و محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با گیاهان تیمار نشده شد. تنش آبی سبب کاهش سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق گردید. بطور کلی پاکلوبوترازول از طریق کاهش رشد اندام های هوایی، افزایش رشد ریشه و تعدیل خصوصیات بیوشیمیایی و تبادلات گازی زمینه را برای تحمل بهتر خشکی در گلابی رقم شاه‌میوه فراهم می‌آورد.

منابع

1- Asamoah T.E.O., and Atkinson D. 1985. The effects of (2RS,3RS)-1-(4-chlorophenyl)- 4,4-dimethyl-2-(1H-1,2,4 triazol-1-yl) pentan-3-ol (paclobutrazol: PP333) and root pruning on the growth, water use and response to drought of Colt cherry rootstocks. Plant Growth Regulation, 3: 37-45.

2- Berova M., and Zlatev Z. 2003. Physiological response of paclobutrazol-treated triticale plants to water stress. Biologia Plantarum, 46:133-136.

3- Chaney W.R. 2003. Tree growth retardants: arborists discovering new uses for an old tool. Tree care industry. 54:1-6.

4- Chaney W.R. 2005. A paclobutrazol treatment can leave a tree more stress tolerant. Golfdom, Turfgrass Trends. 61: 84-86

5- Conover C.A. 1994. Angel-Wing begonia growth and water requirements affected by paclobutrazol. University of Florida/IFAS, Central Florida Research and Education Centre, Apopka Research Report RH-94-4.

6- Davies T.D., Steffens G.L., and Sankhla N. 1988. Triazole plant growth regulators. Horticaltural Review, 10:63-105.

7- Earl, H. J. (2003). A precise gravimetric method for simulating drought stress in pot experiments. Crop science, 43(5), 1868-1873.

8- Fernandez J.A., Balenzategui L., Banon S., and Franco J.A. 2006. Induction of drought tolerance by paclobutrazol and irrigation deficit in *Phillyrea angustifolia* during the nursery period. Scientia Horticulturae, 107: 277-283.

9- Fletcher R.A., Gilley A., Davis T.D. and Sankhla N. 2000. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. Horticaltural Review, 24: 56-138.

10- Fletcher R.A. and Nath V. 1984. Triadimefon reduces transpiration and increases yield in water stressed plants. Physiologia Plantarum, 62: 422-426.

11- Gilley A., and Fletcher R.A. 1997. Relative efficacy of paclobtrazol, propinozole and tetraconazole as stress protectants in wheat seedlings. Plant Growth Regulation, 21: 169-175.

12- Gonzalez L., and Gonzalez-Vilar m. 2003. Determination of relative water content. P 207-212. In J. Manuel and Goger R. (eds). Handbook of plant ecophysiology techniques. Kluwer Academic Publishers. London.

13- Irigoyen J.J., and EmerichD.W. 1992. Alfalfa leaf senescence include by drought stress: photosynthesis, hydrogen peroxide metabolism, lipid peroxidation and ethylene evolution. Physiologia Plantarum, 84: 67-72.

14- Kalil I.A., and Rahman H. 1995. Effects of paclobutrazol on growth, chloroplast pigments and sterol biosynthesis of maize (*Zea mays* L.). Plant Science, 105: 15-21.

15- Lichtenthaler H.K., and Buschmann C. 2001. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. P. F4.3.1-F4.3.8. In S.J. Schwartz (ed). Current Protocols in Food Analytical Chemistry. New York.

16- Lichtenthaler H.K., and Buschmann C. 2001. Extraction of Photosynthesis tissue: Chlorophylls and Carotenoids. p. F4.2.1- F4.2.6. In S.J. Schwartz (ed). Current protocols in food analytical chemistry. John Wiley & Sons Inc. New York.

17- Mackay, C.E., Hall J.C., Hofstra G., and Fletcher R.A. 1990. Uniconazole- increased changes in abscisic acid, total amino acids, and proline in *Phaseolus vulgaris*. Pesticide Biochemistry and Physiology, 37**:** 74-82.

18- Marshall J.G., Rutledge R.G., Blumwald E., and Dumbroff E.D. 2000. Reduction in turgid water in jack pine, white spruce and black spruce in response to drought and paclobutrazol. Tree Physiology, 20: 701-707.

19- Monge E., Madero P., Val J., and Blanco A. 1993. Effects of paclobutrazol application and fruit load on microelement concentrations in peach leaves. P. 319-323. In M.A.C. Fragoso and M.L. van Beusichem (eds). Optimization of plant nutrition. Kluwer Academic Press. Dordrecht.

20- Morgan J. 1986. The effect of N nutrition on the water relations and gas exchange characteristics of wheat (*Teriticum aestivum* L.). Plant Physiology, 80: 52-58.

21- Neill S.J., and Burnett E.C. 1999. Regulation of gene expression during water deficit stress. Plant Growth Regulation, 29: 23-33.

22- Ozmen A.D., Ozdemir F., and Turkan I. 2003. Effects of paclobutrazol on response of two barley cultivars to salt stress. Biologia Plantarum, 46: 263-268.

23- Paquin R., and Lechasseur P. 1979. Observations sur une methode de dosage de la praline libre dansles extraits de plants. Canadian Journal of Botany, 57: 1851-1854.

24- Poole R.T., and Conover C.A. 1992. Water use and growth of eight foliage plants influence by Paclobutrazol. University of florida, Central Florida Research and Education Center-Apopka.

25- Ranney T.G., Bassuk N.L., and Whitlow T.H. 1989. Effect of transplanting practices on growth and water relations of Colt cherry trees during reestablishment. Journal of Environmental Horticulture, 7: 41-45.

26- Ronchi A., Farina G., Gozzo F., and Tonelli C. 1999. Effects of triazolic fungicide on maize plant metabolism: modifications of transcript abundance in resistance-related pathways. Plant Science, 130: 51-62.

27- Sairam R.K., Veerabhadra R.K., and Srivastava G.C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science, 163: 1037-1046.

28- Sanchez-Blanco M.J., Ferrandez T., Navarro A., Banon S., and Alarcon J.J. 2004. Effects of irrigation and air humidity preconditioning on water relations, growth and survival of *Rosmarinus officinalis* plants during and after transplanting. Journal of Plant Physiology, 161: 1133-1142.

29- Senaratna T., Mackay C., Mckersie B., and Fletcher R. 1988. Uniconazole- induced chilling tolerance in tomato and it relationship to antioxidant content. Journal of Plant Physiology, 133: 56-61.

30- Sopher C.R., Krol M., Huner N.P.A., Moore A.E. and Fletcher R.A. 1999. Choloroplastic changes associated with paclobtrazol-induced stress protection in maize seedlings. Canadian Journal of Botany, 77**:** 279-290.

31- Still J.R. and Pill W.G. 2004. Growth and stress tolerance of tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in response to seed treatment with paclobutrazol. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 79: 197-203.

32- Swindale L.D., and Bidinger F.R. 1981. The human consequences of drought and crop research priorities for their alleviation. P. 2-13. In L.G. Paleg and D. Aspinal (eds). The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Academic Press: Sydney.

33- Wang, S.Y., and Faust, M.1986. Effect on growth retardants on root formation and polyamine content in apple seedlings. Journal of the American Society for Horticultural Science. 111: 912-917.

34- Wood B.W. 1984. Influence of paclobutrazol on selected growth and chemical characteristics of young pecan seedlings. HortScience, 19: 837-839.

35- Zhu L., van Peppel A., Li X., and Welander M. 2004. Changes of leaf water potential and endogenous cytokinins in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought conditions. Scientia Horticulturae, 99: 133-141.