

تأثیر تنش خشکی بر صفات رشدی و تبادلات گازی نهال‌های گلابی رقم بیروتی تیمار شده با پاکلوبوترازول

تیمور جوادی

استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۲۲ - تاریخ تصویب: ۹۱/۱/۲۷)

چکیده

در این پژوهش، نقش پاکلوبوترازول در کاهش اثرات تنش خشکی و بازیافت بعد از خشکی در نهال‌های گلابی رقم بیروتی بررسی شد. بعد از کاشت، پاکلوبوترازول بصورت خاکی به مقدار ۰، ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم در گلدان استفاده شد. سه ماه بعد از کاشت، نهال‌ها در معرض سه تیمار تنش آبی (۰، ۰/۴ و ۰/۸ - مگاپاسکال خاک) قرار گرفتند. نتایج نشان داد که پاکلوبوترازول به طور موثری پارامترهای رویشی را کاهش داد. رشد نهال‌ها، میانگین مساحت برگ، قطر تنه، وزن خشک قسمت هوایی و وزن خشک کل گیاه در تیمارهای پاکلوبوترازول کاهش یافت، اما بین تیمار ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم در گلدان پاکلوبوترازول، از نظر آماری تفاوتی مشاهده نشد. پاکلوبوترازول تأثیری بر شاخص پایداری غشاء نداشت. مقدار کلروفیل a، b و کل تحت تأثیر تیمار خشکی و پاکلوبوترازول قرار گرفت و اثرات متقابل آنها از نظر آماری معنی دار نشد. مقدار کلروفیل کل در تیمار ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم پاکلوبوترازول در بیشترین حد و در تیمار شاهد در کمترین مقدار بود. بیشترین مقدار پرولین (۷۳/۴ میکرومول بر گرم وزن خشک) و کربوهیدراتهای محلول کل (۲/۳۵ گرم در صد گرم وزن خشک) در اوج تنش آبی در تیمار خشکی ۰/۸ - مگاپاسکال بود. سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه ای و تعرق (۴/۵۹ میلی مول بر متر مربع در ثانیه) در اوج تنش و در تیمار خشکی ۰/۸ - مگاپاسکال نسبت به سایر تیمارها در حداقل بودند و در زمان شروع آزمایش و دو روز بعد یکسان بود. میزان گاز کربنیک زیر روزنه‌ای در اوج تنش آبی در تیمار خشکی ۰/۸ - مگاپاسکال در بیشترین حد بود. در زمان شروع آزمایش و دو روز بعد از آبیاری مجدد تفاوتی بین تیمارها مشاهده نشد. به طور کلی از نتایج این آزمایش چنین استنباط می‌شود که پاکلوبوترازول از طریق تأثیر بر خصوصیات رویشی، بیوشیمیایی و تبادلات گازی زمینه را برای تحمل بهتر خشکی در گلابی رقم بیروتی فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: گلابی، تنش آبی، پاکلوبوترازول، پارامترهای رشدی، تبادلات گازی

مقدمه

آبیاری محصولات کشاورزی ۶۵ درصد آبی که برای مصارف مختلف به کار می‌رود را به خود اختصاص داده است. با وجود این تقاضا برای مصرف آب و با توجه به

آب عمده ترین عامل محدود کننده کشت محصولات کشاورزی می‌باشد (Mumdrée et al., 2002).

Ranney et al., 1989). اما گزارش‌هایی نیز وجود دارد که حتی زمانی که رشد گیاه بطور قابل توجهی تحت تاثیر قرار نگرفته، مصرف آب کم‌تر شده است (Poole & Conover, 1992).

کاهش مصرف آب بعد از تیمار پاکلوبوترازول به کاهش سطح برگ (Asamoah & Atkinson, 1985)، کاهش تعرق و افزایش نسبت ریشه به قسمت هوایی (Sanchez-Blanco et al., 2004) نسبت داده شده است. کاربرد پاکلوبوترازول در پایه گیلان (کلت)، سبب کاهش ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد برگ و مساحت برگ و وزن ساقه نسبت به گیاهان شاهد شد. همچنین پاکلوبوترازول مصرف کلی آب و تعرق را در واحد سطح برگ کاهش و مقاومت روزنه ای را افزایش داد. در شرایط خشکی، گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول دارای شدت تعرق و پتانسیل آب برگ کم‌تری نسبت به گیاهان تیمار نشده بودند (Asamoah & Atkinson, 1985). پژوهشگران اثر کاربرد خاکی پاکلوبوترازول و رژیم‌های مختلف آبیاری بر دانه‌های گیاه *Phillyrea angustifolia* را در شرایط گلدانی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که بعد از یک‌ماه ارتفاع، قطر ساقه، وزن تاج و مساحت برگ به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت (Fernandez et al., 2006). نتایج پژوهش‌هایی که بر روی درخت توت فرنگی (*Arbutus unedo*) انجام شد، نشان داد که پاکلوبوترازول نمو دانه‌ها را کاهش داده، اما وضعیت آبی آنها را بهبود بخشید و وزن خشک گیاه، ارتفاع و نمو برگ نسبت به شاهد کاهش یافت. غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول مصرف آب گیاه را بین ۱۰-۲۰٪ نسبت به شاهد کاهش دادند (Navarro et al., 2007). میزان پرولین در شرایط تنش آبی افزایش می‌یابد. میزان پرولین در گیاه تربیتیکاله (*Triticale hexaploide*) 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 ۱۸-۲۴ درصد بیش از شاهد بود (Berova & Zlatev, 2003). تنش آبی ناشی از پلی اتیلن گلیکول تاثیر معنی‌داری در تبادلات گازی برگ دارد. بعد از ۲۴ ساعت تنش با پلی اتیلن گلیکول در گیاه تربیتیکاله تیمار شده

کمبود آب، فشارهای زیادی برای کاهش سهم آب مصرفی در آبیاری محصولات وارد می‌شود (Feres et al., 2003). لذا صرفه جویی در مصرف آب در کشاورزی از هر طریقی که ممکن باشد، باید در سرلوحه کار پژوهشگران قرار گیرد. تلاش‌های زیادی در این زمینه انجام گرفته که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به بهبود روش‌های آبیاری، توسعه ارقام مقاوم به خشکی و استفاده از مواد شیمیایی مختلف اشاره کرد. یک دسته از تنظیم‌کننده‌های رشد که توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند، تریازول‌ها^۱ هستند. این ترکیبات هم نقش قارچ‌کشی دارند و هم به عنوان تنظیم‌کننده رشد استفاده می‌شوند (Fletcher et al., 2000). یکی از مهم‌ترین تریازول‌ها که برای افزایش مقاومت به خشکی در محصولات استفاده شده است، پاکلوبوترازول^۲ می‌باشد. این ترکیب در گیاهان اثرات مختلفی دارد. از جمله این اثرات می‌توان به کاهش رشد رویشی گیاهان، افزایش رنگ برگ و بهبود مصرف آب در گیاهان اشاره کرد. 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 مسدود می‌کند. از آنجایی که جیبرلین باعث افزایش رشد می‌شود، لذا کاربرد پاکلوبوترازول رشد رویشی را کاهش می‌دهد (Chaney, 2003; Chaney, 2005). پاکلوبوترازول جریان سنتز جیبرلین را بوسیله جلوگیری از اکسیداسیون ent-kaurene به اسید ent-kaurenoic از طریق غیر فعال کردن آنزیم Cytochrome P450-dependent Oxigenase مسدود می‌کند (Fletcher et al., 2000). بررسی‌های زیادی نشان داده‌اند که پاکلوبوترازول اثرات منفی تنش آبی را کاهش می‌دهد (Berova & Zlatev, 2003). تاثیر پاکلوبوترازول بر روابط آبی در شرایط آبیاری مناسب کم‌تر بررسی شده است. گزارش‌هایی نیز وجود دارد که گیاهان تیمار شده با این ماده مصرف آب کم‌تری نسبت به گیاهان تیمار نشده داشتند (Conover, 1994;)

1. Triazoles

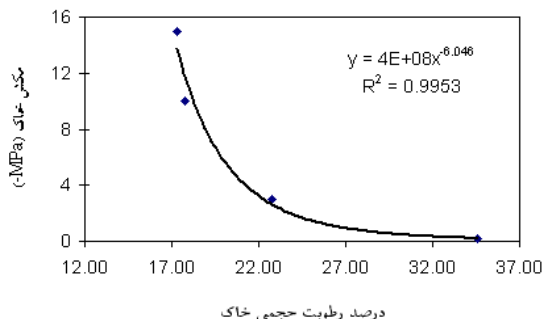
2. Paclobutrazol

اما در مورد گلایی گزارشات چندانی وجود ندارد. از آنجایی که گلایی یکی از درختان دانه‌دار مهم در کشور می‌باشد، این تحقیق بر روی نهال‌های گلایی به منظور مطالعه تاثیر پاکلوبوترازول در کاهش اثرات سوء تنش آبی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نهال‌های پیوندی یکساله گلایی رقم بیروتی (پایه بذری شاه میوه) از نهال‌کاری‌های معتبر شهرستان کرج خریداری شدند. پس از انتقال 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. مخلوط خاکی دارای ۷۷ درصد شن، ۱۵ درصد سیلت، ۸ درصد رس و وزن مخصوص ظاهری آن ۱/۲۵ گرم بر سانتی متر 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 به طور منظم آبیاری شدند. در ابتدای رشد نهال‌ها هرس شدند و دو شاخه بر روی هر نهال نگهداری شد.

آزمایش‌های مربوط به تعیین برخی ویژگی‌های خاک و تعیین منحنی رطوبتی خاک نیز در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان انجام گردید (نمودار ۱). منحنی رطوبتی خاک با استفاده از دستگاه Pressure Plate, ELE Co., England تهیه گردید.



نمودار ۱- منحنی رطوبتی خاک مورد استفاده

مرحله (اوایل فصل و بعد از اتمام تنش) اندازه‌گیری و در قالب طرح بلوکهای کاملاً تصادفی با تیمار پاکلوبوترازول مورد تجزیه قرار گرفتند. صفاتی مثل شاخص پایداری

با پاکلوبوترازول فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه ای (۲۱-۲۰) پایین تر بود (Berova & Zlatev, 2003).

بسته شدن روزنه‌ها از عکس‌العمل‌های گیاهان تحت تنش برای حفظ آب می‌باشد. همچنین سرعت فتوسنتزی عمدتاً به خاطر 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 بالاتر بود ولی هدایت روزنه‌ای پایین تر بود (Berova & Zlatev, 2003). گیاهان ذرت تیمار شده با پاکلوبوترازول حدود ۴۴-۴۰ درصد کلروفیل بیشتری نسبت به گیاهان تیمار نشده داشتند (Sopher et al., 1999). 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 (Fletcher & Nath, 1984). پاکلوبوترازول سرعت فتوسنتز را افزایش می‌دهد اما اثر آن همیشه معنی‌دار نیست، مخصوصاً در کاربرد خاکی، که نه تنها سرعت فتوسنتزی کمی بالاتر است، بلکه بعد از تنش نیز زودتر بازیابی می‌شوند. وجود احتمالی ذخیره آب بالاتر و در نتیجه آن خسارت کمتر به سیستم فتوسنتزی وارد می‌شود. کاربرد خاکی پاکلوبوترازول سبب نمو ریشه‌های ضخیم‌گوشتی متعدد و افزایش قطر ریشه می‌شود. این مسئله می‌تواند ذخیره آب را افزایش داده و تحمل تنش آبی را بهبود بخشد (Murali & Duncan, 1995). تاثیر پاکلوبوترازول در کاهش اثرات تنش آبی در بسیاری از گیاهان بررسی شده است.

طرح آزمایشی و اجرای آزمایش

تیمارهای تنش آبی بعد از سه ماه رشد در اوایل تیرماه سال ۱۳۸۷ اعمال گردیدند. صفات رویشی در دو

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 هدایت سنج قرائت گردید (C₁). 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 قرائت گردید (C₂). شاخص پایداری غشاء با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Sairam et al., 2002).

$$MSI = (1 - \frac{C_1}{C_2}) \times 100$$

شاخص پایداری غشاء = $\frac{C_2}{C_1}$ MSI

هدایت الکتریکی برگ پس از قرار گرفتن در C₁ = معروض دمای ۴۰ درجه سانتیگراد

هدایت الکتریکی برگ پس از قرار گرفتن در C₂ = معروض دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد

اندازه‌گیری میزان پرولین آزاد و کربوهیدرات محلول کل

از هر گیاه ۰/۵ گرم برگ کاملاً توسعه‌یافته برداشت شد. نمونه‌ها در ۵ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد در داخل هاون چینی کوبیده و له گردیدند. قسمت روشناور جدا و قسمت باقیمانده دو بار توسط ۵ میلی لیتر اتانول ۷۰ درصد شستشو و فاز بالایی آن به قسمت روشناور قبلی اضافه گردید. محلول به دست آمده به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفوژ با ۳۵۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت و بعد از جدا کردن بخش بالایی فاز مایع، عصاره الکلی حاصل تا زمان اندازه‌گیری پرولین و کربوهیدرات در داخل یخچال با دما ۴°C نگهداری گردید.

محتوای پرولین نمونه‌ها در یک میلی لیتر نمونه اندازه‌گیری شد (Paquin & Lechasseur, 1979). بعد از آماده‌سازی میزان جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. میزان پرولین نمونه‌ها بوسیله معادله حاصل از نمونه‌های استاندارد تعیین گردید.

مقدار کربوهیدرات‌های محلول کل برگ در ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی نگهداری شده در یخچال تعیین گردید (Irigoyen & Emerich, 1992). پس از آماده‌سازی میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵

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 پاکلوبوترازول در سه سطح و تنش آبی در سه سطح و سه تکرار تجزیه شدند. صفاتی مثل پرولین، کربوهیدرات محلول کل، محتوای نسبی آب برگ^۱ و تبادلات گازی در سه مرحله (شروع آزمایش، در اوج تنش و دو روز بعد از آبیاری مجدد تیمارهای تحت تنش) اندازه‌گیری شدند. در این صفات عامل سوم یعنی 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 سه زمان نمونه‌گیری و سه تکرار تجزیه شدند. سه تیمار پاکلوبوترازول شامل، تیمار شاهد، تیمار ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم پاکلوبوترازول در گلدان بودند. تیمارهای تنش آبی شامل تیمار شاهد (آبیاری کامل)، تیمار ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال (در این تیمارها گیاهان زمانی شدند که پتانسیل آب خاک به ترتیب به ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال رسید، آبیاری مجدد انجام گرفت) بودند.

صفات مورد بررسی و روش‌های اندازه‌گیری آنها

رشد رویشی

در ابتدای آزمایش گیاهان از ارتفاع یکسان هرس و دو شاخه انتخاب شدند. بعد از انجام آزمایش پارامترهای رشدی شامل رشد طولی، قطر ساقه، مساحت برگ، وزن خشک ریشه و ساقه گیاه اندازه‌گیری شدند. مساحت برگ با استفاده از دستگاه مساحت سنج (Area measurement system, Delta-T Devices LTD, England) اندازه‌گیری شد.

برای تعیین وزن خشک ریشه و شاخه گیاهان از گلدان خارج و ریشه و قسمت هوایی از محل طوقه جدا و در آن در دمای ۸۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند.

شاخص پایداری غشاء^۲

به منظور تعیین شاخص پایداری غشاء سلولی برگ‌ها، دیسک‌هایی از برگ قطع شد و ۰/۱ گرم از دیسک‌ها با آب دوبار تقطیر شده شسته شد و در لوله‌های آزمایشی حاوی ۱۰ میلی لیتر آب دوبار تقطیر شده، قرار داده

1. Relative Water Content = RWC
2. Membrane Stability Index

انتخاب و پارامترهای ذکر شده اندازه گیری شدند.

اندازه گیری میزان نسبی آب برگ

برای اندازه گیری 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 سانتی متر جدا گردید. پس از اندازه گیری وزن تر (FW) دیسکها در داخل آب مقطر به مدت چهار ساعت در داخل یخچال نگهداری شدند. بعد از خارج کردن برگها از آب مقطر جهت حذف رطوبت اضافی در سطح دیسکها با کاغذ صافی خشک نموده و وزن آماس شده (شیاع شده) آنها اندازه گیری شد (TW). سپس نمونهها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در داخل آون خشک شدند و وزن خشک (DW) آنها اندازه گیری شد و سپس میزان نسبی آب برگ از رابطه زیر محاسبه شد (Gonzalez & Gonzalez-Vilar, 2003):

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$

تجزیه دادهها

داده های گردآوری شده با استفاده از نرم افزار MSTATC تجزیه گردیدند. مقایسه میانگینها در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

صفات رویشی

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

جدول ۱- تجزیه واریانس تاثیر پاکلوبوترازول بر پارامترهای رشد رویشی در گلایی رقم بیروتی

| منابع تغییر | درجه آزادی | افزایش ارتفاع | افزایش قطر ساقه | میانگین مساحت برگ | میانگین مربعات | | |
|------------------------|------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------|--------------------|-----------------------------|
| | | | | | وزن خشک ریشه | وزن خشک قسمت هوایی | نسبت وزن ریشه به قسمت هوایی |
| پاکلوبوترازول | ۲ | ۱۷۲۲/۳۳ ** | ۰/۰۳۹ * | ۱۵۸/۵۲ ** | ۶۱۶/۱۲ ns | ۳۰۰۶/۴۳ * | ۰/۰۲۲ ** |
| خطا | ۶ | ۲۳/۲۲ | ۰/۰۰۵ | ۰/۱۶۹ | ۲۳۱/۹۵ | ۳۱۱/۵۴ | ۰/۰۰۱ |
| درصد ضریب تغییرات (CV) | | ۸/۱۷ | ۶/۶ | ۲/۲۲ | ۱۱/۵۳ | ۱۱/۶۴ | ۳/۹۵ |

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد

بیشترین میزان رشد در تیمار شاهد و کمترین میزان رشد در تیمار ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم پاکلوبوترازول بود که این

نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. منحنی استاندارد با استفاده از قند گلوکز تهیه و مقدار قند نمونه ها با استفاده از منحنی تهیه شده تعیین گردید (Irigoyen & Emerich, 1992).

اندازه گیری میزان کلروفیل کل برگ

به منظور اندازه گیری میزان کلروفیل a, b و کل، عصاره ۰/۵ گرم برگ طی دو مرحله با ۱۰ میلی لیتر استون ۹۰ درصد در هاون چینی استخراج گردید. بعد از آن روشناورها به مدت ۱۵ دقیقه در سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید (Inskip & Bloom, 1985). غلظت کلروفیل های a و b با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Strain & Svec, 1966):

$$\begin{aligned} Chl_a (mg\,mL^{-1}) &= 11.64 \times (A663) - 2.16 \times (A645) \\ Chl_b (mg\,mL^{-1}) &= 20.97 \times (A645) - 3.94 \times (A663) \\ Chl_{total} (mg\,mL^{-1}) &= Chl_a + Chl_b \end{aligned}$$

اندازه گیری تبادلات گازی برگ

چهار پارامتر هدایت روزنه ای (g_s)، میزان فتوسنتز (P_n)، تعرق (E_t) و CO₂ زیر روزنه ای در دو مرحله در ساعت ۹-۱۱ صبح توسط دستگاه (Leaf Chamber Analyser (LCA-4), ADC BioScientific Ltd., UK) اندازه گیری شدند. این پارامترها بار اول زمانیکه تیمارهای تنشی به حداقل میزان خود رسیدند و دفعه دوم، دو روز بعد از دوره بازیابی (Recovery) یعنی دو روز بعد از اینکه تیمارهای تنشی آبیاری شدند اندازه گیری شدند.

برای اندازه گیری این پارامترها از هر تکرار ۲ برگ کامل و بالغ هر نهال که در فاصله گره های ۴-۵ بود

مقایسه میانگینها نشان داد که پاکلوبوترازول تاثیر بسیار معنی داری بر رشد ساقه داشت، بطوری که

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 معنی داری مشاهده نشد (جدول ۲).

دو تیمار با هم اختلاف معنی داری نداشتند (جدول ۲). در ارتباط با دیگر صفات رویشی، پاکلوبوترازول سبب کاهش مساحت برگ، افزایش قطر ساقه، وزن خشک قسمت هوایی و وزن خشک گیاه کامل شد. به طوریکه در صفات مذکور بیشترین میزان رشد در تیمار شاهد بود و کمترین میزان رشد در تیمارهای پاکلوبوترازول بود (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات رویشی رقم بیرونی تحت تاثیر تیمارهای مختلف پاکلوبوترازول

| تیمار | افزایش ارتفاع (سانتیمتر) | افزایش قطر (سانتیمتر) | متوسط مساحت برگ (سانتیمتر مربع) | وزن خشک قسمت هوایی (گرم) | نسبت ریشه به قسمت هوایی | وزن خشک گیاه (گرم) |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|
| شاهد | ۸۶/۶۷ a | ۱/۱۹ a | ۲۶/۸۹ a | ۱۸۷/۷ a | ۰/۷۹ b | ۳۳۶/۲ a |
| ۰/۱۵ گرم پاکلوبوترازول | ۴۵/۳۳ b | ۱/۰۴ b | ۱۴/۶۱ b | ۱۳۹/۳ b | ۰/۹۱ a | ۲۶۴/۹ b |
| ۰/۳ گرم پاکلوبوترازول | ۴۵ b | ۰/۹۶ b | ۱۴/۰۲ b | ۱۲۸/۱ b | ۰/۹۶ a | ۲۵۰/۴ b |

حروف مشابه در هر ستون نشاندهنده غیر معنی دار بودن است

شاخص پایداری غشاء و مقدار کلروفیل

نداشت. مقدار کلروفیل a، b و کل تحت تاثیر تیمار خشکی و پاکلوبوترازول قرار گرفت و اثرات متقابل آنها از نظر آماری معنی دار نشد (جدول ۳).

شاخص پایداری غشاء تحت تاثیر تیمار خشکی قرار گرفت (جدول ۳). تحت شرایط خشکی این شاخص کاهش پیدا کرد. پاکلوبوترازول تاثیری بر این شاخص

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر خشکی، پاکلوبوترازول و اثرات متقابل آنها بر شاخص پایداری غشاء و کلروفیل (a، b و کل)

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | |
|------------------------|------------|-------------------|-----------|-----------|
| | | شاخص پایداری غشاء | کلروفیل a | کلروفیل b |
| پاکلوبوترازول | ۲ | ۰/۷۷۸ ns | ۰/۰۳۶ ° | ۰/۰۶۶ ° |
| خشکی | ۲ | ۲۲۱/۷۷۸ °° | ۰/۲۳۶ °° | ۰/۶۸۹ °° |
| پاکلوبوترازول × خشکی | ۴ | ۱/۲۲۲ ns | ۰/۰۱۷ ns | ۰/۰۲۲ ns |
| خطا | ۱۸ | ۲/۱۴۸ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۰۸ |
| درصد ضریب تغییرات (CV) | | ۱/۹۵ | ۱/۷ | ۲/۷۳ |

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد

محتوای نسبی آب برگ^۱، پرولین، قندهای محلول کل و تبادلات گازی
محتوای نسبی آب برگ، پرولین، قندهای محلول، سرعت فتوسنتز، گاز کربنیک زیر روزنه ای، هدایت روزنه ای و تعرق

مقدار بود. اما این دو تیمار با هم تفاوت معنی داری نداشتند (جدول ۴). مقدار کلروفیل a و b در تیمار ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم پاکلوبوترازول در بیشترین حد و در تیمار بدون پاکلوبوترازول در کمترین مقدار بود. مقایسه اثرات ساده تنش خشکی نیز نشان داد که مقدار کلروفیل a در تیمار شاهد در بیشترین حد و در شرایط تنش ۰/۴ - و

مقایسه میانگین های اثرات ساده نشان داد که مقدار کلروفیل a در تیمار ۰/۱۵ و ۰/۳ گرم پاکلوبوترازول در بیشترین حد و در تیمار بدون پاکلوبوترازول در کمترین مقدار بود. مقایسه اثرات ساده تنش خشکی نیز نشان داد که مقدار کلروفیل a در تیمار شاهد در بیشترین حد و در شرایط تنش ۰/۴ - و ۰/۸ - مگاپاسکال در کمترین

۰/۸- مگاپاسکال در کمترین مقدار بود. اما این دو تیمار با هم تفاوت معنی داری نداشتند (جدول ۴). مقدار کلروفیل کل نیز روندی مشابه با کلروفیل a و b داشت (جدول ۴).

جدول ۴- اثر ساده پاکلوبوترازول و تنش آبی بر شاخص پایداری غشاء و کلروفیل برگ در رقم بیروتی

| پاکلوبوترازول | شاخص پایداری غشاء (درصد) | کلروفیل a (میلی گرم/ گرم وزن خشک) | کلروفیل b (میلی گرم/ گرم وزن خشک) | کلروفیل کل (میلی گرم/ گرم وزن خشک) |
|---|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| شاهد | | ۴/۸۲ b | ۱/۲۱ b | ۶/۰۳ b |
| ۰/۱۵ گرم | غیر معنی دار | ۴/۹۴ a | ۱/۲۶ a | ۶/۲۰ a |
| ۰/۳۰ گرم | | ۴/۹۱ a | ۱/۲۴ ab | ۶/۱۵ a |
| حروف مشابه در هر ستون نشاندهنده غیر معنی دار بودن است | | | | |
| خشکی | شاخص پایداری غشاء (درصد) | کلروفیل a (میلی گرم/ گرم وزن خشک) | کلروفیل b (میلی گرم/ گرم وزن خشک) | کلروفیل کل (میلی گرم/ گرم وزن خشک) |
| شاهد | ۸۰/۷۸ a | ۵/۰۷ a | ۱/۳۷ a | ۶/۴۴ a |
| ۰/۴ مگاپاسکال | ۷۳/۶۷ b | ۴/۸۲ b | ۱/۲۰ b | ۶/۰۱ b |
| ۰/۸ مگاپاسکال | ۷۱/۲۲ c | ۴/۷۷ b | ۱/۱۵ c | ۵/۹۲ b |

حروف مشابه در هر ستون نشاندهنده غیر معنی دار بودن است

^۱- Relative Water Content (RWC)

۰/۸- مگاپاسکال بود. مقدار آب نسبی برگ در زمان شروع آزمایش و دو روز بعد از آبیاری مجدد تفاوتی نداشتند (جدول ۶).

تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده قرار گرفت (جدول ۵). مقایسه میانگین های اثرات متقابل زمان نمونه برداری در طول تنش و تیمار خشکی نشان داد که کمترین مقدار آب نسبی در اوج تنش و در تیمار خشکی

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای مختلف بر برخی صفات فیزیولوژیکی و تبادلات گازی در گلایی رقم بیروتی

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | محتوای نسبی آب | تقرق |
|-----------------------------|------------|---------------------|-----------|------------------------|----------------|------------|----------------|----------|
| | | کربوهیدرات محلول کل | فتوسنتز | گازکربنیک زیر روزنه ای | هدایت روزنه ای | پروکلین | | |
| زمان نمونه برداری | ۲ | ۲/۰۵ ** | ۶۷/۷۷ * | ۷۱۳/۲۹ ** | ۰/۰۱۲ * | ۳۲۱۷/۳۵ ** | ۵۹۳/۴۶ * | ۲۵/۳۵ ** |
| پاکلوبوترازول | ۲ | ۰/۰۵۶ * | ۰/۷۷ ns | ۲۵۶/۲۱ ** | ۰/۰۰۰۵ ns | ۱۳۳/۲۹ ** | ۲/۸۳ ns | ۱/۳۸ ** |
| زمان × پاکلوبوترازول | ۴ | ۰/۰۱۷ ns | ۰/۰۷۳ ns | ۱۸۸/۹۸ ** | ۰/۰۰۰۲۵ ns | ۵۷/۴۴ ** | ۵/۵۵ * | ۰/۳۱۸ ns |
| خشکی | ۲ | ۰/۰۸۳۷ ** | ۲۰/۴۶۸ ** | ۳۴۳۷/۱۴ ** | ۰/۰۰۰۶ ** | ۲۴۹۱/۶۵ ** | ۲۹۱/۴۲ ** | ۱۰/۷۴ ** |
| زمان × خشکی | ۴ | ۰/۷۷۹ ** | ۲۳/۲۰۵ ** | ۳۳۵۱/۸۶ ** | ۰/۰۰۰۵ ** | ۱۸۶۲/۶۱ ** | ۲۳۳/۷۹ ** | ۱۱/۱۴ ** |
| پاکلوبوترازول × خشکی | ۴ | ۰/۰۴۲ ns | ۰/۷۸۱ ns | ۷۱/۸۲ ** | ۰/۰۰۰۲۵ ns | ۷۸/۶۵ ** | ۲/۳۸ ns | ۰/۰۶ ns |
| زمان × پاکلوبوترازول × خشکی | ۸ | ۰/۰۲۱ ns | ۰/۵۵۶ ns | ۴۷/۵۰۶ * | ۰/۰۰۰۱۲۵ ns | ۱۳/۵۸ ns | ۰/۹۴ * | ۰/۰۹۳ ns |
| خطا | ۵۴ | ۰/۰۱۷ | ۰/۹۵۴ | ۱۷/۶۲ | ۰/۰۰۰۱۶ | ۸/۴۷ | ۱/۳۲۴ | ۰/۱۷۱ |
| ضریب تغییرات (%) | | ۸/۴۱ | ۸/۲۵ | ۲/۷۸ | ۱۱/۶ | ۹/۳۶ | ۱/۲۷ | ۵/۴۴ |

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد

کربوهیدرات محلول در اوج تنش خشکی و در تیمار ۰/۸- مگاپاسکال بود (جدول ۶). مقایسه میانگین های اثرات متقابل زمان نمونه برداری در طول تنش و تیمار خشکی نشان داد که کمترین سرعت فتوسنتز اوج تنش و در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بود. در زمان شروع آزمایش و دو روز

مقایسه میانگین های اثرات متقابل زمان نمونه برداری در طول تنش و تیمار خشکی نشان داد که بیشترین مقدار پروکلین در اوج تنش آبی در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بود (جدول ۶). مقایسه میانگین های اثرات متقابل زمان نمونه برداری در طول تنش و تیمار خشکی نشان داد که بیشترین میزان

بعد از آبیاری مجدد تفاوتی بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۶).

جدول ۶- اثر متقابل زمان نمونه گیری و خشکی بر برخی خصوصیات گلایی رقم بیروتی

| زمان نمونه گیری | خشکی | محتوای نسبی آب برگ (درصد) | برولین (میکرو مول بر گرم وزن خشک) | کربوهیدرات محلول کل (گرم درصد گرم وزن خشک) | سرعت فتوسنتز (میکرو مول بر متر مربع در ثانیه) | گازکربنیک زیر روزنه ای (میکرو مول بر متر مربع در ثانیه) | هدایت روزنه ای (مول بر متر مربع در ثانیه) | تعرق (میلی مول بر متر مربع در ثانیه) |
|-----------------|------|---------------------------|-----------------------------------|--|---|---|---|--------------------------------------|
| شروع | شاهد | ۹۴/۲۱ a | ۲۴/۲ d | ۱/۴۲ cd | ۱۲/۱۴ b | ۱۴۰/۵ cde | ۰/۱۱۸ b | ۸/۳۵ abc |
| آزمایش | -۰/۴ | ۹۳/۶۳ a | ۲۵/۳ cd | ۱/۴۰ cd | ۱۲/۱۷ b | ۱۳۶/۹ e | ۰/۱۲۲ab | ۷/۹۳ c |
| | -۰/۸ | ۹۴/۰۴ a | ۲۵/۴ cd | ۱/۴۵ cd | ۱۲/۶۸ ab | ۱۴۱/۵cd | ۰/۱۱۶b | ۸/۴۴ a |
| اوج تنش | شاهد | ۹۳/۹۴ a | ۲۳/۸ d | ۱/۳۵ d | ۱۲/۹۹ ab | ۱۳۷/۸ de | ۰/۱۲۲ a | ۸/۳۷ ab |
| | -۰/۴ | ۸۶/۶۰ c | ۳۳/۹ b | ۱/۹۴ b | ۹/۵۵ c | ۱۶۶/۷ b | ۰/۰۷۲c | ۶/۵۰ d |
| | -۰/۸ | ۷۵/۷۶ d | ۷۳/۴ a | ۲/۳۵ a | ۷/۶۶ d | ۲۰۴/۵ a | ۰/۰۵۰d | ۴/۵۹ e |
| دو روز بعد | شاهد | ۹۳/۳۹ a | ۲۳/۴ d | ۱/۳۳ d | ۱۳/۳۱ a | ۱۴۴/۲ c | ۰/۱۲۸ ab | ۸/۱۵ abc |
| از آبیاری مجدد | -۰/۴ | ۹۳/۶۱ a | ۲۳/۳ d | ۱/۵۰ c | ۱۲/۹۶ ab | ۱۴۴/۲ c | ۰/۱۱۹ b | ۷/۹۵ bc |
| | -۰/۸ | ۹۲/۱۷ b | ۲۷/۲ c | ۱/۳۳ d | ۱۳/۰۸ ab | ۱۴۳/۵ c | ۰/۱۲۷ ab | ۸/۱۲ abc |

حروف مشابه در هر ستون نشاندهنده غیر معنی دار بودن است

تغییرات شامل تغییرات مورفولوژیکی مثل کاهش رشد شاخساره و افزایش رشد ریشه است (Ronchi et al., 1999; Zhu et al., 2004). در این آزمایش پاکلوبوترازول بر رشد ریشه تاثیر منفی نداشت که این واقعیت در آزمایشات دیگر نیز به اثبات رسیده است. از آنجایی که رشد ریشه تحت تاثیر قرار نمی گیرد اما رشد قسمت هوایی کاهش می یابد لذا نسبت وزن ریشه به قسمت های هوایی افزایش پیدا می کند که در این آزمایش نیز مشاهده گردید. بعضی از تغییرات در برگ- های گیاهان تیمار شده با تنظیم کننده های رشد بعلت تغییر در اندازه برگ است (Davies et al., 1988). کاهش سطح برگ در حدود ۵۰ درصد بوسیله کاربرد خاکی دو گرم پاکلوبوترازول در درختان هلو مشاهده شده است (Monge et al., 1993). نتایج این آزمایش نیز نشان داد که سطح برگ گلایی رقم بیروتی نیز در تیمارهای پاکلوبوترازول کاهش یافت (جدول ۲).

همچنین نتایج نشان داد که پاکلوبوترازول سبب کاهش ارتفاع، قطر تنه و وزن خشک قسمت هوایی رقم بیروتی گردید (جدول ۲). طی آزمایشی تاثیر پاکلوبوترازول و رژیم های مختلف آبیاری بر نهالهای بذری گیاه *Phillyrea angustifolia* بررسی شد. یک ماه بعد از کاربرد پاکلوبوترازول کاهش در ارتفاع گیاه و قطر ساقه مشاهده گردید. رژیم آبیاری به طور معنی داری بر ارتفاع

مقایسه میانگین های اثرات متقابل زمان نمونه برداری در طول تنش و تیمار خشکی نشان داد که بیشترین میزان گاز کربنیک زیر روزنه ای در اوج تنش آبی در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بود. در زمان شروع آزمایش و دو روز بعد از آبیاری مجدد تفاوتی بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۶). مقایسه میانگین های اثرات متقابل زمان نمونه برداری در طول تنش و تیمار خشکی نشان داد که کمترین مقدار هدایت روزنه ای در اوج تنش و در تیمارهای خشکی ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال بود. در زمان شروع آزمایش و دو روز بعد از آبیاری مجدد تفاوتی بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۶). مقایسه میانگین های اثرات متقابل زمان نمونه برداری در طول تنش و تیمار خشکی نشان داد که کمترین مقدار تعرق در اوج تنش و در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بود (جدول ۶).

بحث

همانطوریکه نتایج نشان دادند پاکلوبوترازول بر صفات رویشی تاثیر معنی داری داشت (جدول ۱ و ۲). پاکلوبوترازول از گروه بازدارنده های رشد است و تاثیر آن به علت خاصیت ضدجیبرلینی آن است (Kalil & Rahman, 1995; Ozmen et al., 2003). البته تغییرات دیگری در اثر کاربرد پاکلوبوترازول مشاهده شده که این

فتوسنتز تاثیر داشت و سبب افزایش آنها گردید. مدارکی وجود دارد که نشان می‌دهد کاربرد تریازول‌ها بر روی گیاهان می‌تواند سبب کاهش اثرات مضر تنش آبی شود. در حقیقت، عکس العمل‌های گیاهی مانند افزایش ABA، پرولین، آنتی‌اکسیدان‌ها و بسته شدن روزنه‌ها بعد از تیمار با تریازول‌ها همانند مکانیسم‌های مقاومت یا پرهیز از خشکی در گیاه عمل می‌کنند. این موارد در گندم (Gilley & Fletcher, 1997)، گوجه فرنگی (Still & Pill, 2004) و افرا (*Acer Saccharinum*) مشاهده شده است (Marshall et al., 2000). اسید اسکوربیک یکی از آنتی‌اکسیدان‌های مهم در گیاهان است. اسید اسکوربیک می‌تواند به طور مستقیم رادیکال‌های آزاد را حذف می‌کند و بدین ترتیب از غشاء محافظت می‌کند (Thomas et al., 1992).

از آنجاییکه در این پژوهش شاخص پایداری غشاء تحت تاثیر پاکلوبوترازول قرار نگرفته، احتمالاً پاکلوبوترازول بر مقدار آنتی‌اکسیدان‌ها تاثیر نداشته است. 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 تریپتیکاله مشاهده گردید که در گیاهان شاهد تیمار شده با پاکلوبوترازول نسبت به گیاهان شاهد تیمار نشده با پاکلوبوترازول محتوای آب نسبی بیشتر به میزان ۲٪ 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 (Berova & Zlatev, 2003). بسته شدن روزنه ای یکی از عکس العمل‌های 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 و هدایت روزنه ای پایین‌تر بود (Berova & Zlatev, 2003). به طور کلی از نتایج این آزمایش چنین استنباط می‌شود که

گیاه سه ماه بعد از کاشت تاثیر گذاشت ولیکن بر قطر ساقه تاثیری نداشت. پاکلوبوترازول بطور معنی‌داری وزن تاج و سطح 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 (Fernandez et al., 2006). بنابراین می‌توان گفت که پاکلوبوترازول از طریق کاهش رشد و افزایش نسبت وزن ریشه به قسمت هوایی شرایط مناسبی را برای تحمل تنش خشکی فراهم می‌کند. چون دسترسی قسمت هوایی به آب بیشتر می‌شود. در این آزمایش نیز نشان داده شد که محتوای آب نسبی برگ در تیمارهای پاکلوبوترازول در شرایط خشکی بیشتر است، اما در شرایط اعمال تنش سبب محافظت از کلروفیل نگردید. نگاهی به جداول ۳ و ۴ نشان می‌دهد که پاکلوبوترازول سبب افزایش کلروفیل a, b و کل در تیمارهای بدون تنش خشکی شده است (Sopher et al., 1999). گزارشات متناقضی در مورد افزایش کلروفیل در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول وجود دارد که عمدتاً بعلت افزایش بیوسنتز کلروفیل و یا کاهش سطح برگ می‌باشد (Fletcher et al., 2000). نتایج بعضی از تحقیقات نشان داده که افزایش کلروفیل در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول بعلت تاثیر این ماده در افزایش سنتز سابتوکینین می‌باشد که سبب افزایش بیوسنتز کلروفیل و جلوگیری از تجزیه آن می‌شود. 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 (Wood, 1984). تغییرات دیگری که در اثر کاربرد تریازول‌ها مشاهده می‌شود شامل تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، مثل افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها (Gilley & Fletcher, 1997; Ozmen et al., 1988; Senaratna et al., 2003)، افزایش میزان پرولین، محتوای کلروفیل و کارایی فتوسنتزی هستند (Mackay et al., 1990; Senaratna et al., 1988). بسته شدن جزیی روزنه‌ها و کاهش تعرق نیز گزارش شده است (Fletcher & Nath, 1984). در این آزمایش نیز پاکلوبوترازول بر میزان محتوای نسبی آب و سرعت

پاکلوبوترازول از طریق تاثیر بر خصوصیات رویشی، خشکی در گلایی رقم بیروتی فراهم می کند. بیوشیمیایی و تبادلات گازی زمینه را برای تحمل بهتر

REFERENCES

- Asamoah, T. E. O. & 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 Regulators*, 3(1), 37-45.
- Berova, M. & Zlatev, Z. (2003). Physiological response of paclobutrazol-treated triticale plants to water stress. *Biologia Plantarum*, 46, 133-136.
- Chaney, W. R. (2003). Tree growth retardants: arborists discovering new uses for an old tool. *Tree care industry*, 54, 1-6.
- Chaney, W. R. (2005). A paclobutrazol treatment can leave a tree more stress tolerant. In *Tree Care*, Vol. Goldfdom. USA. Goldfdom. USA.
- Conover, C. A., 1994. (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*.
- Davies, T. D., Steffens, G. L. & Sankhla, N. (1988). Triazole plant growth regulators. *Horticultural Review*, 10, 63-105.
- Fereres, E., Goldhamer, D. A. & Parson, L. R. (2003). Irrigation water management of horticultural crops. *HortScience*, 38(5), 1036-1042.
- Fernandez, J. A., Balenzategui, L., Banon, S. & 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.
- Fletcher, R. A., Gilley, A., Davis, T. D. & Sankhla, N. (2000). Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. *Horticultural Review*, 24, 56-138.
- Fletcher, R. A. & Nath, V. (1984). Triadimefon reduces transpiration and increases yield in water stressed plants. *Physiologia Plantarum*, 62, 422-426.
- Gilley, A. & Fletcher, R. A. (1997). Relative efficacy of paclobutrazol, propinazole and tetraconazole as stress protectants in wheat seedlings. *Plant Growth Regulators*, 21, 169-175.
- Gonzalez, L. & Gonzalez-Vilar, M. (2003). Determination of relative water content. In *Handbook of plant ecophysiology techniques*, 207-212 (Eds J. Manuel & R. Goger). London: Kluwer Academic Publishers.
- Inskeep, W. P. & Bloom, P. R. (1985). Extraction coefficients of chlorophyll a and b in with N,N'-dimethylformamide and 80% acetone. *Plant Physiology*, 77, 483-485.
- Irigoyen, J. J. & Emerich, D. W. (1992). Alfalfa leaf senescence include by drought stress: photosynthesis, hydrogen peroxide metabolism, lipid peroxidation and ethylene evolution. *Physiologia Plantarum*, 84, 67-72.
- Kalil, I. A. & Rahman, H. (1995). Effects of paclobutrazol on growth, chloroplast pigments and sterol biosynthesis of maize (*Zea mays* L.). *Plant Science*, 105, 15-21.
- Mackay, C. E., Hall, J. C., Hofstra, G. & 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.
- Marshall, J. G., Rutledge, R. G., Blumwald, E. & 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.
- Monge, E., Madero, P., Val, J. & Blanco, A. (1993). Effects of paclobutrazol application and fruit load on microelement concentrations in peach leaves. In *Optimization of plant nutrition*, 319-323 (Eds M. A. C. Fragoso & M. L. van Beusichem). Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Mumford, S. G., Baker, B., Mowla, S., Peters, S., Marais, S., Williams, C. V., Govender, K., Maredza, A., Muyanga, S., Farrant, J. M. & Thomson, J. A. (2002). Physiological and molecular insights into drought tolerance. *African journal of Biotechnology*, 1, 28-38.
- Murali, T. P. & Duncan, E. J. (1995). The effects of in vitro hardening using triazoles on growth and acclimatization of banana. *Scientia Horticulturae*, 64, 243-251.
- Navarro, A., Sanchez-Blanco, M. & Banon, S. (2007). Influence of paclobutrazol on water consumption and plant performance of *Arbutus unedo* seedlings. *Scientia Horticulturae*, 111, 133-139.
- Ozmen, A. D., Ozdemir, F. & Turkan, I. (2003). Effects of paclobutrazol on response of two barley cultivars to salt stress. *Biologia Plantarum*, 46, 263-268.

23. Paquin, R. & Lechasseur, P. (1979). Observations sur une methode de dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. *Canadian Journal of Botany*, 57, 1851-1854.
24. Poole, R. T. & Conover, C. A. (1992). Water use and growth of eight foliage plants influence by Paclobutrazol. *Foliage Digest*, 15, 1-3.
25. Ranney, T. G., Bassuk, N. L. & Whitlow, T. H. (1989). Effect of transplanting practices on growth and water relations of Colt cherry trees during reestablishment. *Journal of Environmenal Horticulture*, 7, 41-45.
26. Ronchi, A., Farina, G., Gozzo, F. & 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. & 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. & 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. & 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. & Fletcher, R. A. (1999). Chloroplastic changes associated with paclobtrazol-induced stress protection in maize seedlings. *Canadian Journal of Botany*, 77, 279-290.
31. Still, J. R. & 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. Strain, H. H. & Svec, W. A. (1966). Extraction, separation, estimation and isolation of chlorophylls. In *The chlorophylls*, 21-66 (Eds L. P. Vernon and G. R. Seely). NY: Academic press.
33. Thomas, C. E., Mc. Lean, F. L. R., Parkar, R. A. & Ohleweiler, D. F. (1992). Ascorbate and phenolic antioxidant interactions in prevention of liposomal oxidation. *Lipids*, 27, 543-550.
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. & 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.