مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۶ شماره ۴ صفحه‌های ۳۲۹ تا ۳۴۲ (۱۴۰۴)
مقاله پژوهشی

تأثیر هرس ریشه و کاربرد پاکلوبوترازول بر رشد، عملکرد و کیفیت میوه پاپایا (*Carica papaya* L. 'Sweet Sense') در شرایط گلخانه

Effects of Root Pruning and Paclobutrazol Application on Growth, Yield and Fruit Quality of Papaya (*Carica papaya* L. 'Sweet Sense') under Greenhouse Conditions

قدرت‌اله عیدی، محمودرضا روزبان*، سعادت ساریخانی*، رسول صادقی‌مجد و کورش وحدتی

گروه باغبانی، دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*نویسندگان مسئول: پست الکترونیک: (mroozban@ut.ac.ir، saadat.sarikhani@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۶

چکیده

پاپایا یکی از میوه‌های مهم گرمسیری است که در ایران به صورت گلخانه‌ای و از طریق کشت بذر تکثیر می‌شود. رشد سریع و افزایش ارتفاع دانهال‌ها، مهم‌ترین چالش تولید پاپایا در شرایط گلخانه‌ای است. برخورد شاخه‌ها با سقف گلخانه و شکستگی ناشی از وزن بالای میوه‌ها، تولیدکنندگان را مجبور به حذف زودهنگام درختان و جایگزینی آن‌ها با دانهال‌های جدید می‌کند. به‌منظور بررسی تأثیر هرس ریشه و کاربرد خاکی غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول (PBZ) بر رشد رویشی، عملکرد و کیفیت میوه پاپایا رقم 'Sweet Sense'، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تیمار و سه تکرار (هر تکرار شامل دو درخت) طی سال‌های ۱۴۰۳–۱۴۰۲ در شهرستان دزفول (استان خوزستان) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل موارد زیر بودند: شاهد (بدون هرس ریشه و بدون کاربرد پاکلوبوترازول)، هرس ریشه (هرس متوازن ۲۵ درصد از حجم ریشه)، هرس متوازن ۲۵ درصد از حجم ریشه همراه با کاربرد ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول، و کاربرد پاکلوبوترازول با غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر. نتایج نشان داد که تیمارهای به‌کار رفته، تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع درخت و سطح مقطع تنه (TCSA) داشتند به طوریکه بیشترین ارتفاع و سطح مقطع تنه مربوط به تیمار شاهد (بدون هرس و بدون کاربرد PBZ) بود؛ در حالی که کمترین ارتفاع در تیمار ترکیبی هرس ریشه + PBZ با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر (۴۳ درصد کاهش نسبت به شاهد)، و بیشترین کاهش سطح مقطع تنه در تیمار هرس ریشه مشاهده شد (۳۰ درصد کاهش نسبت به شاهد). در بررسی صفات مربوط به عملکرد، تیمارها تأثیر معنی‌داری بر تعداد گل، تعداد میوه و عملکرد میوه داشتند. بیشترین عملکرد میوه در تیمارهای پاکلوبوترازول با غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب با مقادیر ۲۱۲، ۱۹۱ و ۱۷۵ کیلوگرم به ازای هر درخت ثبت شد. در مقابل، کمترین عملکرد مربوط به تیمار هرس ریشه بود که مقدار آن ۱۰۹ کیلوگرم در هر درخت گزارش گردید. همچنین، بیشترین وزن متوسط میوه در تیمارهای ۲۵۰ ، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول به ترتیب با ۱۱۲۰، ۹۴۴ و ۹۸۸ گرم مشاهده شد، در حالی‌که کمترین وزن میوه به تیمار شاهد اختصاص داشت (۷۹۶ گرم). برخلاف صفات مواد جامد محلول (TSS) و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)، سایر صفات کیفی میوه تحت‌تأثیر تیمارها قرار نگرفتند. بالاترین TSS (۱۰/۶۷ درجه بریکس) و TA (۰/۳ گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) در تیمار ترکیبی هرس ریشه + PBZ با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر ثبت شد. در مجموع بین تیمارهای ارزیابی شده، کاربرد خاکی پاکلوبوترازول در غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان تیمارهای برتر شناسایی شد. این دو تیمار توانستند رشد رویشی گیاه پاپایا را به‌ترتیب هفت و ۱۰ درصد کاهش داده و در مقابل، عملکرد را به میزان ۳۲ و ۲۰ درصد افزایش دهند، بدون آنکه تفاوت معنی‌داری در صفات کیفی میوه نسبت به تیمار شاهد ایجاد کنند. این یافته‌ها نشان‌دهنده اثربخشی هرس ریشه و PBZ در کنترل رشد گیاه پاپایا، بهبود عملکرد بدون اثر منفی بر کیفیت میوه است.

واژه‌های کلیدی: خربزه درختی، کند کننده‌های رشد، کنترل رشد، کاهش ارتفاع.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]

مقدمه

پاپایا[1]، یکی از میوه‌های مهم گرمسیری است که عمدتاً در مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر جهان کشت می‌شود (Salinas *et al*., 2024). این گیاه برای رشد مطلوب به دمایی در محدوده ۲۱ تا ۳۳ درجه سلسیوس نیاز دارد و نسبت به دماهای پایین‌تر از ۱۵ درجه سلسیوس، حساس است. همچنین، دوره‌های خشکی طولانی موجب کاهش عملکرد و کیفیت محصول پاپایا می‌شود (De Oliveira & Vitória, 2011). پاپایا اغلب به‌عنوان گیاهی نیمه‌چوبی و دارای رشد سریع شناخته می‌شود. تولید این محصول در بسیاری از کشورهای دارای اقلیم گرمسیری، از اهمیت بالایی برخوردار است. به دلیل بهره‌وری بالا، زودباردهی و خواص تغذیه‌ای مطلوب، پاپایا در مناطق نیمه‌گرمسیر نیز، محبوبیت زیادی دارد (Mendoza-Grimón *et al*., 2024). در حال حاضر، سطح قابل برداشت پاپایا در جهان بالغ بر ۴۷۰ هزار هکتار است که از این سطح، حدود ۱۴/۹ میلیون تن محصول تولید می‌شود (FAOSTAT, 2023). هند با تولید سالانه ۵/۲۴ میلیون تن میوه در صدر تولیدکنندگان جهانی پاپایا قرار دارد و جمهوری دومینیکن (۱/۵۸ تن)، اندونزی (۱/۳۲ تن)، مکزیک (۱/۱۴ تن) و برزیل (۱/۱۳ تن)، رتبه‌های بعدی را در اختیار دارند (FAOSTAT, 2023) . بر اساس آخرین آمار سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد، سطح زیر کشت و تولید پاپایا در ایران به ترتیب، ۲۹ هکتار و ۳۰۲ تن بوده است. این اعداد، ایران را از نظر سطح زیر کشت در رتبه ۶۳ و از نظر میزان تولید در رتبه ۵۳ جهان قرار می‌دهد (FAOSTAT, 2023). پاپایا در مناطق گرمسیری در فضای آزاد کشت می‌شود، اما در مناطق نیمه‌گرمسیر، نیازمند شرایط آب‌وهوایی مناسب است. در شرایط هوای سرد، خشک یا کم‌نور، رشد و عملکرد آن به شدت کاهش می‌یابد (Allan, 2002; Allan, 2007). کشت گلخانه‌ای این محصول گرمسیری با فراهم‌سازی شرایط بهینه، به بهبود رشد و گل‌دهی، افزایش کیفیت میوه، کاهش مصرف آب، و پیشگیری از خسارت باد و ویروس لکه‌حلقوی پاپایا[2] منجر می‌شود (Galán Saúco & Rodríguez Pastor, 2007).

پاپایا رشد سریعی دارد و در جنوب کشور در گلخانه پرورش داده می‌شود. سرعت بالای رشد این درخت موجب می‌شود شاخه‌ها به‌سرعت به سقف گلخانه برسند و در اثر سنگینی میوه‌ها، دچار شکستگی شوند (شکل ۱). این چالش، تولیدکنندگان را ناگزیر به حذف زودهنگام درختان و انجام کشت مجدد می‌سازد؛ فرآیندی که هزینه‌های تولید را بالا می‌برد و توسعه کشت پاپایا را محدود می‌سازد (Paterson *et al*., 2008). برای کنترل رشد رویشی درختان میوه، روش‌های مختلفی وجود دارد. از جمله این روش‌ها می‌توان به خم‌کردن شاخه‌ها، هرس ریشه، بهره‌گیری از پایه‌های پاکوتاه‌کننده و استفاده از کندکننده‌های رشد اشاره کرد (Đorđević *et al*., 2021). کندکننده‌های رشد گیاهی با کاهش طول میان‌گره، کوچک‌سازی و ضخیم‌کردن برگ‌ها، بهبود سیستم ریشه و بهبود مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، تأثیر مثبتی بر کنترل رشد درختان میوه دارند (Thakur *et al*., 2025).

پاکلوبوترازول[3]، یکی از تریازول‌های مؤثر در کنترل رشد درختان است که از نظر شیمیایی با نام [(2R, 3R + 2S, 3S)-1-(4-chlorophenyl) 4,4-dimethyl-2-(1,2,4-triazol1-yl)-pentan-3-ol] شناخته می‌شود. این ماده به اسامی تجاری مختلفی از جمله Bonzi, Downsize, Clipper, Cultar, Paczol, Florazol, Piccolo و Parsley نیز در بازار عرضه می‌گردد (Thakur *et al*., 2025). پاکلوبوترازول با جلوگیری از تبدیل ent-kaurene به ent-kaurenoic acid، مسیر بیوسنتز جیبرلین‌ها را متوقف ساخته و رشد طولی گیاه را کنترل می‌کند (Sponsel, 1995). این مهار از طریق غیرفعال‌سازی آنزیم کلیدی ent-kaurene oxidase وابسته به سیتوکروم P450 صورت می‌گیرد. در نتیجه‌ی این فرآیند، افزایش طول میان‌گره‌ها محدود شده و رشد گیاه تحت کنترل قرار می‌گیرد (Rady & Maybelle, 2012; Zhu et al., 2004). پاکلوبوترازول موجب تغییرات مورفولوژیک خاصی از جمله کاهش اندازه منافذ روزنه، ضخیم‌تر شدن برگ‌ها و افزایش زواید سطحی نیز می‌شود. همچنین با مهار بیوسنتز استرول، افزایش تراکم ریشه، بهبود مقاومت در برابر بیماری‌ها و تحمل بیشتر نسبت به تنش‌های محیطی را باعث می‌شود (Shahzad *et al*., 2023). مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که کاربرد PBZ به‌صورت خاکی با غلظت‌های صفر، نیم و دو گرم در آغاز گلدهی درختان چهارساله زردآلو، باعث کاهش معنی‌دار رشد رویشی در مقایسه با تیمار شاهد گردید (Arzani and Roosta, 2004). همچنین،

۱- *Carica papaya* L., Caricaceae ۲- Papaya Ringspot Virus (PRSV) ۳- Paclobutrazol (PBZ)

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]

با بررسی غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول بر رشد پاپایا، کمترین ارتفاع دانهال در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین ارتفاع در تیمار شاهد مشاهده شد (Bhadarka Chandni *et al*, 2023). ضمن آنکه کاربرد این ماده با غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم به ازای هر درخت در پاپایا، به ترتیب موجب کاهش رشد رویشی به میزان ۱۲ و ۱۳/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد گردیده بود (Auxcilia *et al*., 2010).

هرس ریشه روشی قدیمی اما کارآمد در مدیریت رشد رویشی گیاهان شناخته می‌شود که با ایجاد تغییرات فیزیولوژیک و ظاهری، واکنش‌های متعددی را در گیاه برمی‌انگیزد (Dong *et al*., 2016; Mucha *et al*., 2018). از مهم‌ترین اثرات هرس ریشه، تغییر در سطح فیتوهورمون‌ها، به‌ویژه افزایش ایندول-۳-استیک اسید[۱]، اسید جاسمونیک[۲] و اسید آبسیزیک[۳] است که نقش کلیدی در رشد و دفاع گیاه ایفا می‌کند (Chu *et al*., 2025; Fanello *et al*., 2020). سیتوکینین در ناحیه رأسی ریشه تولید می‌شود و پس از انتقال به اندام‌های هوایی، موجب تحریک رشد شاخه‌ها و افزایش شاخه‌دهی می‌گردد (Kamboj *et al*., 1997; Source, 2003). کاهش سطح سیتوکینین در نتیجه حذف بخشی از ریشه‌ها طی هرس می‌تواند منجر به کاهش رشد اندام‌های هوایی شود. هرس ریشه به‌طور سنتی برای تسریع گل‌دهی در کشاورزی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. زمان انجام هرس و فاصله هرس از تنه، نقش مهمی در کنترل رشد، تحریک گل‌دهی و تشکیل میوه دارد (Mathiyazhagan *et al*., 2021). مطالعات نشان داده‌اند که هرچه هرس ریشه به تنه درخت نزدیک‌تر انجام شود، اثر آن بر کاهش رشد قوی‌تر خواهد بود (Schupp & Frey, 1988). هرس ریشه روی درختان گلابی موجب کاهش رشد به میزان ۱۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد گردید (Lordan *et al*., 2021). در درختان بالغ، این روش می‌تواند رشد رویشی را محدود کرده و گل‌دهی را تسریع کند (Budiarto *et al*., 2019)، به‌طوری‌که جایگزینی برای مواد شیمیایی بازدارنده رشد مانند سایکوسل، دامینوزاید، مورفاکتین و پاکلوبوترازول محسوب می‌شود (Mathiyazhagan *et al*., 2021; Wang *et al*., 2014). گزارش‌هایی از بهبود فرآیند گل‌دهی در درختان بالغ سیب (Khan *et al*., 1998)، انبه (Ali *et al*., 2014) و هلو (Tsukahara *et al*., 2009) به دنبال اعمال هرس ریشه منتشر شده است. به نظر می‌رسد این اثر مثبت، به‌ویژه در سطوح متوسط هرس، ناشی از تنش فیزیولوژیک ایجادشده در نتیجه کاهش حجم ریشه باشد. در یک گزارش علمی، مشخص شد که هرس شدید ریشه تا سطح ۷۵ درصد منجر به مرگ کامل گیاه انبه گردید. این یافته نشان می‌دهد که اعمال هرس در محدوده ۲۵ تا ۵۰ درصد می‌تواند روشی مؤثر برای کنترل رشد رویشی انبه باشد، بدون آن‌که تأثیر منفی بر عملکرد گیاه داشته باشد.

با توجه به رشد سریع و ارتفاع زیاد گیاه پاپایا در شرایط گلخانه‌ای، که منجر به بروز مشکلاتی نظیر برخورد شاخه‌ها با سقف گلخانه و شکستگی ناشی از وزن میوه می‌شود این پژوهش در راستای ارزیابی تأثیر دو روش هرس ریشه و کاربرد غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول بر کنترل رشد رویشی و حفظ ویژگی‌های کمی و کیفی پاپایا انجام گرفت تا راهکاری عملی برای کنترل ارتفاع گیاه در کنار معرفی روش مناسب کنترل رشد و حفظ خصوصیات کمی و کیفی میوه پاپایا معرفی شود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی، محل اجرای آزمایش و تیمارهای آزمایشی

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر هرس ریشه و کاربرد غلظت‌های مختلف کندکننده رشد پاکلوبوترازول بر رشد، عملکرد و کیفیت محصول پاپایا رقم 'Sweet Sense' در گلخانه‌ای (دما ۳۵-۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷۵-۶۵ درصد با نور کامل) واقع در شهرستان دزفول استان خوزستان، طی سال‌های ۱۴۰۳-۱۴۰۲ انجام شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار (۱) شاهد، (۲) هرس متوازن ۲۵ درصد از حجم ریشه، (۳) هرس متوازن ۲۵ درصد از حجم ریشه + کاربرد ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر PBZ، (۴) کاربرد ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر PBZ، (۵) کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر PBZ و (۶) کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر PBZ) در ۳ تکرار (هر تکرار شامل دو دانهال) انجام پذیرفت. رقم 'Sweet Sense' از ارقام اصلاح شده جدید، بازارپسند و زودرس پاپاپا است که دارای میوه‌هایی با اندازه متوسط و گوشت نارنجی، طعم شیرین، بافت نرم و آبدار و عمر پس از برداشت بالا است. میوه‌های این رقم، پنج تا شش ماه پس از کاشت بذور، قابل برداشت هستند.

۱- Indole-3-acetic acid (IAA)
۲- Jasmonic acid (JA)
۳- Abscisic acid (ABA)

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]

در این پژوهش، دو ماه پس از کاشت بذور و بهنگام انتقال دانهال‌ها به محل اصلی کاشت، عملیات هرس ریشه انجام شد و تیمار پاکلوبوترازول سه ماه پس از آن و بهنگام ظهور گل‌ها، اعمال شد. پاکلوبوترازول تجاری مورد استفاده در این آزمایش، متعلق به شرکت DYC Hangzhou Dingyan Chem Co. LTD چین، و خلوص آن ۹۵/۲۵ درصد گزارش شده بود. در این آزمایش، بذرهای پاپایا در اواخر دی‌ماه ۱۴۰۲ در گلدان‌های سایز ۶ (۶×۵.۵) پرشده با ترکیب کوکوپیت + پرلیت + پیت‌ماس به نسبت یک: یک: یک کاشته شدند. دو ماه بعد (اواخر اسفندماه ۱۴۰۲)، هنگام انتقال دانهال‌ها به زمین اصلی، در تیمارهای واجد هرس ریشه، ۲۵ درصد از حجم کل ریشه دانهال‌ها، هرس شد. سپس دانهال‌ها به‌صورت چهارتایی (هر چاله چهار دانهال) با فاصله ۳×۲ متر در گلخانه‌ای با بافت خاک لومی رسی شنی (پی اچ برابر هفت) کشت شدند. سه ماه پس از کاشت نهال‌ها در محل اصلی و مصادف با ظهور گل‌ها، از هر چهار دانهال، تنها یک دانهال دوجنس حفظ و بقیه حذف شدند. محلول پاکلوبوترازول به میزان ۷۰۰ میلی‌لیتر و فقط یکبار در طول دوره آزمایش برای هر دانهال به خاک اطراف تنه اضافه شد (شکل ۱).

صفات مورد بررسی

صفات رشدی

ارتفاع گیاه و سطح مقطع تنه[۱]: این صفات به صورت ماهانه و تا ۱۱ ماه پس از تیمار هرس ریشه (نه ماه پس از کاربرد خاکی پاکلوبوترازول)، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری ارتفاع گیاه با متر پارچه‌ای از سطح خاک تا بالاترین نقطه رشد انجام شد. برای اندازه‌گیری سطح مقطع تنه ابتدا با کولیس دیجیتال در ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک، قطر گیاه بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد، و سپس با استفاده از رابطه زیر سطح مقطع تنه محاسبه شد (Bhadarka Chandni *et al*., 2023) که در آن π برابر ۳/۱۴ و r شعاع تنه بر حسب سانتی‌متر است:

$$TCSA= \pi r^2$$

شکل ۱- درخت پاپایای شکسته شده پس از برخورد با سقف گلخانه (A)، کاشت ۴ دانهال در هر محل کاشت (B).

Fig. 1. A papaya tree fractured due to collision with the greenhouse roof (A); transplantation of four seedlings at each planting site (B).

عملکرد و صفات کمی

تعداد میوه، وزن میوه، طول و قطر میوه، عملکرد، حجم و شکل میوه: تعداد میوه با شمارش میوه‌های تولید شده در زمان‌های مختلف پس از اعمال تیمارها و همچنین در پایان دوره آزمایش انجام شد. وزن میوه از طریق میانگین وزن شش میوه با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری طول و قطر میوه (بزرگترین قطر) و همچنین حفره داخلی میوه با کولیس دیجیتال بر

۱- Trunk Cross Section Area (TCSA)

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]

اساس میانگین شش میوه انجام شد. عملکرد میوه از طریق اندازه‌گیری وزن شش میوه و محاسبه میانگین آنها ضربدر تعداد کل میوه‌های شمارش شده در هر درخت بدست آمد (Bhadarka Chandni *et al*., 2023). حجم میوه با روش جابجایی آب در ظروف مدرج و محاسبه میانگین شش میوه برای هر درخت اندازه‌گیری شد (Auxcilia et al., 2010). شکل ظاهری میوه بر اساس یک مقیاس عددی از یک (کاملاً گرد) تا پنج (بسیار کشیده) ثبت شد (IBPGR, 1988).

صفات کیفی

مواد جامد محلول[۱]، سفتی بافت میوه، اسیدیته قابل تیتراسیون[۲]، رنگ پوست[۳]، رنگ گوشت[۴]، مرحله رسیدن[۵]، لکه روی پوست[۶] و شاخص طعم: برای تعیین میزان TSS میوه‌ها با توجه به غلظت بالا و میزان قابل توجه قند در نمونه‌ها ابتدا ۱۰ گرم از هر نمونه با ۶۰ میلی‌لیتر آب مقطر با pH برابر هفت مخلوط گردید و سپس محلول حاصل از صافی عبور داده شد. محلول صاف‌شده به‌طور مستقیم با استفاده از رفرکتومتر دیجیتال (Atago Digital Palette PR-10, Japan) مورد سنجش قرار گرفت تا مقدار TSS بر حسب درجه بریکس[۷] اندازه‌گیری شود. سفتی بافت میوه با نفوذسنج دستی (Pentrometer) و پروپ هشت میلی‌متری اندازه‌گیری شد. TA با تیتراسیون در برابر NaOH یک‌دهم نرمال تاpH برابر با ۸/۲، گزارش‌شده به‌صورت گرم اسید سیتریک در ۱۰۰ گرم وزن تازه به دست آمد (Auxcilia *et al*., 2010). صفات رنگ پوست، رنگ گوشت، مرحله رسیدن و لکه روی پوست، به صورت نمره‌دهی از یک تا پنج ارزیابی شدند (IBPGR, 1988). شاخص طعم از نسبت TSS به TA بدست آمد.

لازم به ذکر است که در اندازه‌گیری صفاتی که روند آنها در طول کل آزمایش مورد بررسی قرار گرفت، ثبت صفات در روزهای ۱، ۱۱، ۲۴، ۴۱، ۶۱، ۷۴، ۹۰، ۱۰۷، ۱۱۴، ۱۲۶، ۱۴۱، ۱۵۴، ۱۶۴، ۱۷۵، ۱۸۹، ۱۹۸، ۲۰۹، ۲۱۶، ۲۲۴، ۲۳۲، ۲۴۰، ۲۵۵، ۲۷۰، ۲۷۸، ۴۳۲ و ۴۴۰ روز پس از کاشت در محل اصلی انجام شد.

واکاوی آماری داده‌ها

پس از بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس صفات کمی با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطوح یک و پنج درصد انجام شد. برای داده‌های کیفی از آزمون‌های ناپارامتری استفاده گردید. نتایج نهایی به‌صورت جدول و نمودار با نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج

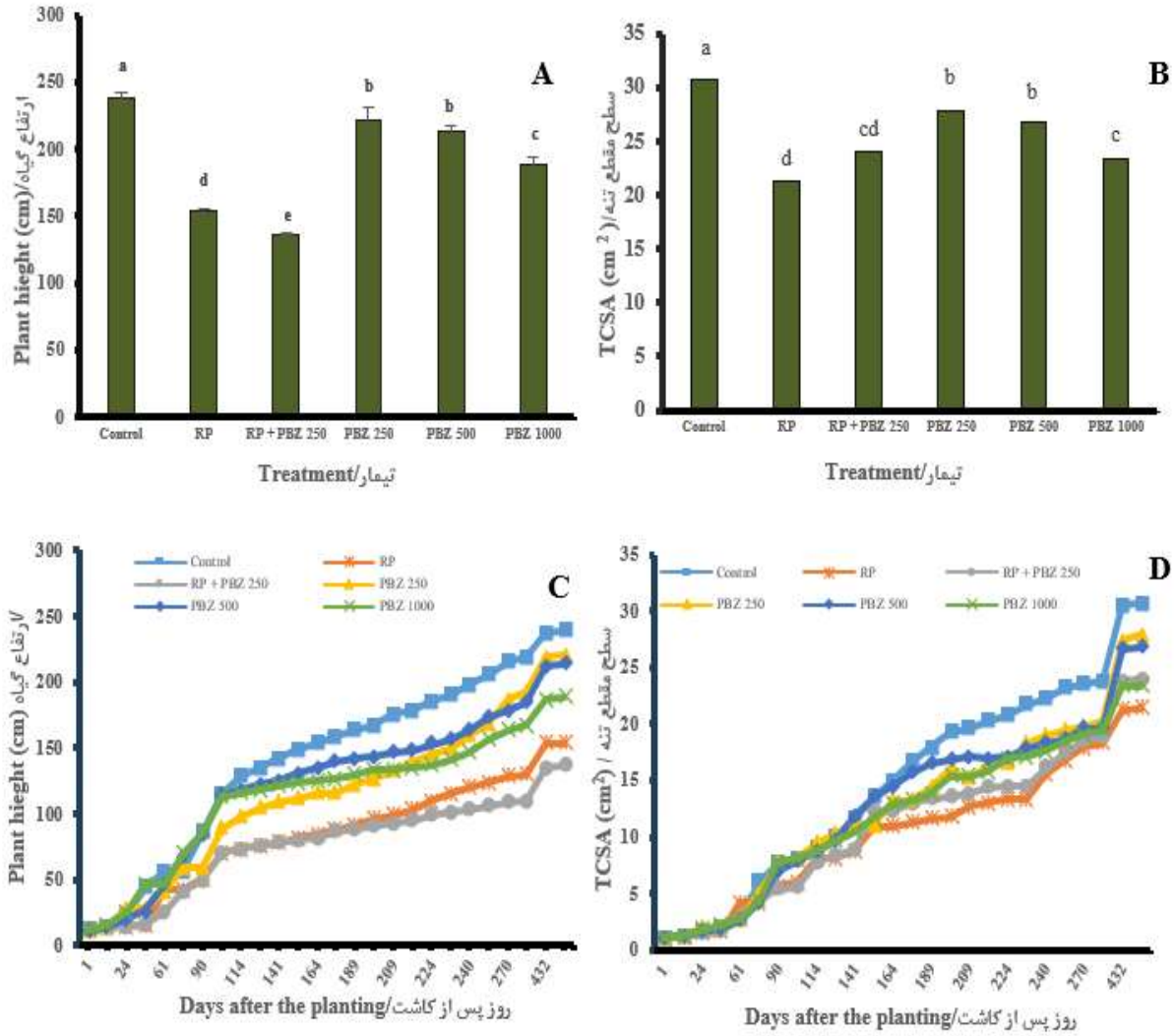
بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمارهای مختلف بکار رفته، تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر دو ویژگی ارتفاع گیاه و سطح مقطع تنه پاپایا داشتند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، تیمار شاهد (بدون هرس ریشه و بدون کاربرد PBZ)، بیشترین ارتفاع (۲۳۸/۶۶ سانتی متر) و سطح مقطع تنه درخت (۳۰/۶۷ cm^2) را داشت (شکل‌های ۲-A و ۲-B). در مقابل، کمترین ارتفاع گیاه در تیمار ترکیبی هرس ریشه + PBZ با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر با ۱۳۶/۳۳ سانتی‌مترمشاهده شد (شکل ۲-A)، در حالی که بیشترین کاهش سطح مقطع تنه مربوط به تیمار هرس ریشه با ۲۱/۳۳ cm^2 بود (شکل ۲-B). به‌طور کلی، کاربرد PBZ در تمامی غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع و سطح مقطع تنه گیاه پاپایا نسبت به شاهد شد. روند تغییرات ارتفاع و سطح مقطع تنه در طول زمان بیانگر اثربخشی قابل‌توجه تیمارهای هرس ریشه و غلظت‌های پاکلوبوترازول است و در طول زمان‌های مورد بررسی، تیمارهای یاد شده سبب کاهش سطح مقطع تنه و ارتفاع گیاه نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل‌های ۲-C و ۲-D).

تیمارهای کنترل رشد گیاه پاپایا تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر تعداد میوه و عملکرد داشتند. همچنین، صفات وزن و حجم میوه در سطح پنج درصد تحت‌تأثیر معنی‌دار تیمارها قرار گرفتند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که صفات مربوط به ابعاد میوه و حفره داخلی میوه شامل طول، قطر، ضخامت گوشت، طول و عرض حفره داخلی میوه، تفاوت آماری معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد کمترین تعداد میوه با ۱۲۴و پایین‌ترین عملکرد (۱۰۸ کیلوگرم/درخت) در تیمار هرس ریشه و به دنبال آن در تیمار ترکیبی هرس ریشه با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر PBZ (به

۱- TSS ۲- TA ۳- Skin color ۴- Flesh color ۵- Ripening stage ۶- Skin freckle ۷- Brix

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]

ترتیب با ۱۳۸ و ۱۲۹ کیلوگرم/درخت) مشاهده شد، در مقابل تیمارهای PBZ با غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین عملکرد (به ترتیب با ۱۹۱ و ۲۱۲ کیلوگرم/درخت را نشان دادند (شکل ۳-A، ۳-B و ۳-C). وزن و حجم میوه نیز در تیمارهای ۲۵۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر PBZ بالاتر از تیمار شاهد و هرس ریشه بود (شکل ۳-D).



شکل ۲- اثر هرس ریشه و کاربرد پاکلوبوترازول (PBZ) بر ارتفاع گیاه (A) و سطح مقطع تنه (B) در انتهای آزمایش (روز ۴۴۰ ام پس از کاشت دانهال‌ها)، و روند تغییرات ارتفاع (C) و سطح مقطع تنه (TCSA) (D) درخت پاپایا رقم 'Sweet Sense' در طول آزمایش. PBZ: پاکلوبوترازول؛ RP: هرس ٪۲۵ از حجم ریشه؛ Control: بدون هرس ریشه و بدون کاربرد پاکلوبوترازول؛ RP+ PBZ 250: هرس ٪۲۵ از حجم ریشه همراه با تیمار پاکلوبوترازول با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر؛ PBZ 250، PBZ 500 و PBZ 1000: تیمارهای پاکلوبوترازول به ترتیب با غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر. حروف یکسان روی ستون‌ها، نشاندهنده عدم اختلاف معنی‌دار آماری بین تیمارها در سطح احتمال ۱٪ است.

Fig. 2. Effects of root pruning and paclobutrazol (PBZ) on plant height (A) and trunk cross-sectional area (B) at end of experiment (440 days after planting), anf the plant height growth trend (C), and trunk cross-sectional area (TCSA) trend during the experiment in 'Sweet Sense' papaya trees. Treatment abbreviations: PBZ = paclobutrazol; RP = root pruning of 25% root volume; Control = no root pruning and no PBZ application; RP + PBZ 250 = root pruning (25% volume) combined with PBZ at 250 mg·L^{-1}; PBZ 250, PBZ 500, and PBZ 1000 = PBZ treatments at concentrations of 250, 500, and 1000 mg·L^{-1}, respectively. Columns sharing at least one common letter are not significantly different ($P < 0.01$).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]

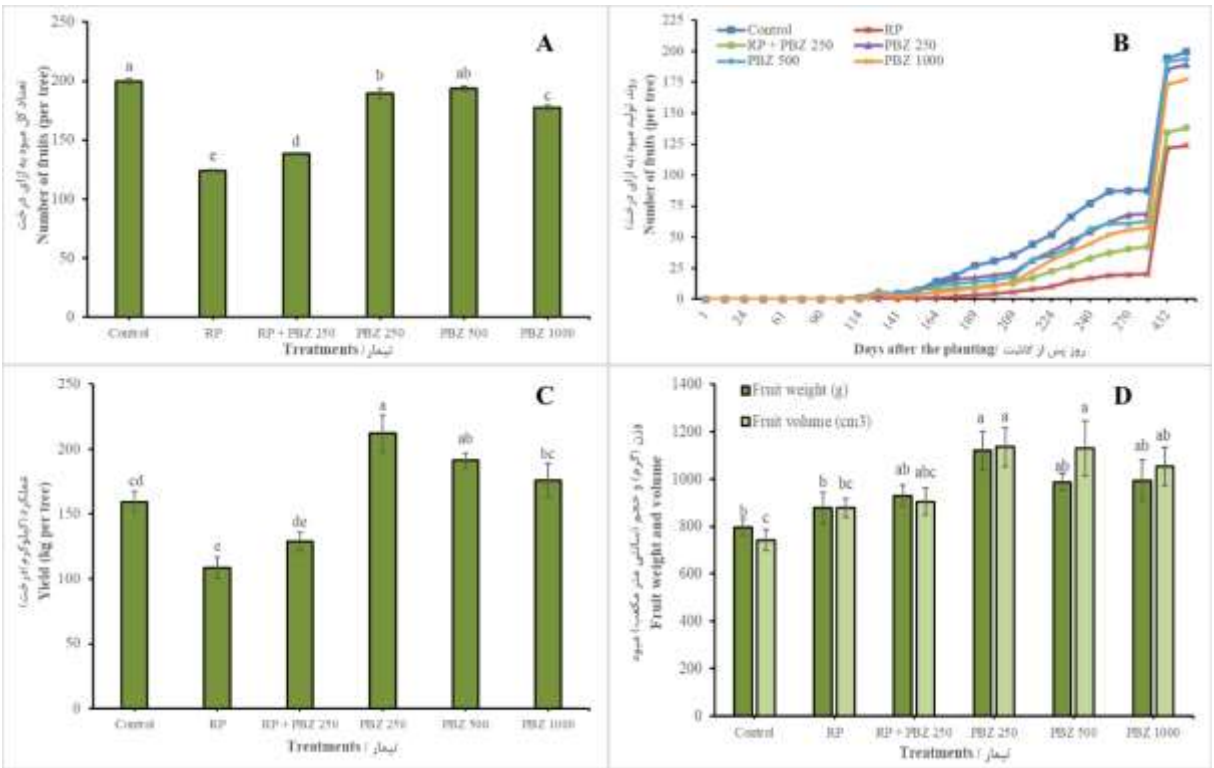
جدول ۱- مقایسه میانگین برخی خصوصیات کمی میوه پاپایا تحت تیمارهای مختلف کنترل رشد گیاه

Table ۱. Comparison of mean values for selected quantitative traits of papaya fruit under various plant growth control treatments.

Treatment	طول میوه Fruit length (cm)	قطر میوه Fruit diameter (cm)	ضخامت گوشت Flesh thickness (cm)	طول حفره میوه Endocarp length (cm)	عرض حفره میوه Endocarp width (cm)
Control[1]	18.30±0.66	09.42±0.40	2.90±0.06	12.43±0.72	4.03±0.38
RP	16.90±0.29	10.53±0.38	3.03±0.13	11.60±0.57	4.93±0.32
RP + PBZ 250	17.20±0.64	10.97±0.23	3.07±0.46	12.57±0.52	5.07±0.23
PBZ 250	18.17±0.52	11.63±0.35	3.23±0.19	13.13±0.98	5.57±0.23
PBZ 500	18.27±0.50	11.37±0.93	3.03±0.18	13.17±0.55	5.77±0.55
PBZ 1000	17.50±0.29	10.63±0.50	2.37±0.17	12.67±0.24	5.27±0.27
Sig.	ns[2]	ns	ns	ns	ns

[1] PBZ: پاکلوبوترازول؛ RP: هرس ۲۵٪ از حجم ریشه؛ Control: بدون هرس ریشه و بدون کاربرد پاکلوبوترازول؛ RP+ PBZ 250: هرس ۲۵٪ از حجم ریشه همراه با تیمار پاکلوبوترازول با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر؛ PBZ 250، PBZ 500 و PBZ 1000: تیمارهای پاکلوبوترازول به ترتیب با غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر. [2] ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

[1]PBZ: Paclobutrazol; RP: Pruning of 25% of the root volume; Control: No root pruning and no paclobutrazol application; RP + PBZ 250: Pruning of 25% of the root volume combined with paclobutrazol treatment at 250 mg·L^{-1}; PBZ 250, 500, and 1000: Paclobutrazol treatments applied at concentrations of 250, 500, and 1000 mg·L^{-1}, respectively.[2] ns: non significant.



شکل ۳- اثر هرس ریشه و PBZ بر تعداد کل (A) و روند تولید میوه (B) در طول آزمایش، عملکرد کل (C) و وزن و حجم میوه (D) درخت پاپایا رقم 'Sweet Sense'. PBZ: پاکلوبوترازول؛ RP: هرس ۲۵٪ از حجم ریشه؛ Control: بدون هرس ریشه و بدون کاربرد پاکلوبوترازول؛ حروف یکسان روی ستون‌ها، نشاندهنده عدم اختلاف معنی‌دار آماری بین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ است.

Fig. 3. Effects of root pruning and paclobutrazol (PBZ) application on the number of fruits (A), fruit production trend (B); total yield (C), and fruit weight and volume (D) in 'Sweet Sense' papaya trees. Treatment abbreviations: PBZ = paclobutrazol; RP = root pruning of 25% root volume; Control = no root pruning and no PBZ application. Columns sharing at least one common letter are not significantly different ($P < 0.05$).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای اعمال‌شده، تأثیر معنی‌داری بر صفاتی مانند رنگ پوست، رنگ گوشت، مرحله رسیدگی، لکه‌های پوستی، سفتی میوه و شاخص طعم نداشتند. با این حال، در دو ویژگی مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری نشان دادند. مقایسه میانگین نتایج نشان داد صفات رنگ پوست، رنگ گوشت، مرحله رسیدن، لکه روی پوست، سفتی گوشت، پی اچ آب‌میوه و شاخص طعم معنی‌دار نبودند (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین نتایج نشان داد که در تیمار ترکیبی هرس ریشه و غلظت ۲۵۰ PBZ، بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه ثبت شد به طوری که ۱۹ درصد بالاتر از تیمار شاهد بود و در کلاس A قرار گرفت، در حالی که تیمارهای ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر PBZ کمترین میزان TA را نشان دادند (به ترتیب با کاهش ۳۳، ۲۹ و ۲۹ درصدی) و در کلاس B قرار گرفتند (شکل ۴-A). مقایسه میانگین اثر هرس ریشه و غلظت‌های مختلف PBZ بر ویژگی‌های کیفی میوه پاپایا رقم 'Sweet Sense' همچنین نشان داد که تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر PBZ پایین‌ترین میزان TSS را با کاهش ۲۵ درصدی نسبت به شاهد نشان داد در حالی که تیمار ترکیبی هرس ریشه با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر PBZ بالاترین مقدار TSS را با افزایش ۱۴ درصدی نسبت به شاهد را دارا بود (شکل ۴-B).

جدول ۲- مقایسه میانگین برخی خصوصیات کیفی میوه پاپایا تحت تیمارهای مختلف کنترل رشد گیاه.

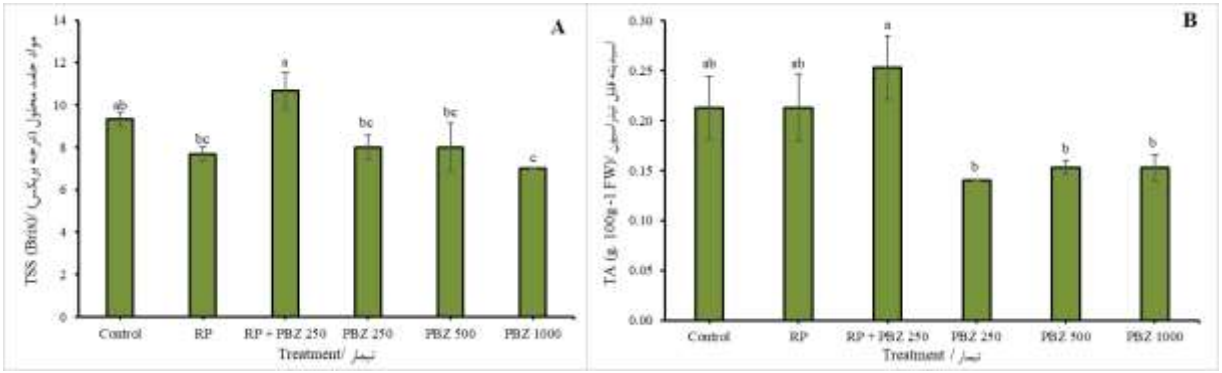
Table ۲. Comparison of mean fruit quality traits of papaya under various plant growth control treatments.

Treatment	رنگ پوست Skin color (1-5)	رنگ گوشت Flesh color (1-5)	مرحله رسیدن Ripening Stage (1-5)	لکه روی پوست Skin freckle (1-5)	سفتی گوشت Fruit Firmness (kg/cm)	پی اچ آب میوه pH	شاخص طعم Taste index (TSS/TA)
Control	4.67±0.33	6.67±0.33	2.67±0.33	3.33±0.67	3.81±0.73	5.51±0.01	45.62±6.52
RP	5.00±0.00	6.67±0.33	2.33±0.67	3.00±0.58	3.89±0.64	5.71±0.05	37.17±4.16
RP + PBZ 250	5.00±0.00	7.67±0.33	3.33±0.67	4.00±1.00	2.94±0.08	5.73±0.01	42.73±2.14
PBZ 250	4.33±0.33	7.00±0.00	2.67±0.33	4.67±0.33	4.17±0.60	5.67±0.08	57.69±4.16
PBZ 500	4.67±0.33	6.67±0.88	3.00±0.00	4.33±0.67	4.17±0.50	5.72±0.01	52.56±7.65
PBZ 1000	4.67±0.33	6.67±0.33	2.67±0.33	3.33±0.88	3.31±0.87	5.75±0.11	46.52±3.95
Sig.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

PBZ: پاکلوبوترازول؛ RP: هرس ٪۲۵ از حجم ریشه؛ Control: بدون هرس ریشه و بدون کاربرد پاکلوبوترازول؛ RP+ PBZ 250: هرس ٪۲۵ از حجم ریشه همراه با تیمار پاکلوبوترازول با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر؛ PBZ 250، PBZ 500 و PBZ 1000: تیمارهای پاکلوبوترازول به ترتیب با غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر. ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

PBZ: Paclobutrazol; RP: Pruning of 25% of the root volume; Control: No root pruning and no paclobutrazol application; RP + PBZ 250: Pruning of 25% of the root volume combined with paclobutrazol treatment at 250 mg·L^{-1}; PBZ 250, 500, and 1000: Paclobutrazol treatments applied at concentrations of 250, 500, and 1000 mg·L^{-1}, respectively. ns: and non-significance.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]



شکل ۴- اثر هرس ریشه و کاربرد PBZ بر مواد جامد محلول (TSS) و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) میوه پاپایا رقم 'Sweet Sense'. PBZ: پاکلوبوترازول؛ RP: هرس ٪۲۵ از حجم ریشه؛ Control: بدون هرس ریشه و بدون کاربرد پاکلوبوترازول؛ RP+ PBZ 250: هرس ٪۲۵ از حجم ریشه همراه با تیمار پاکلوبوترازول با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر؛ PBZ 250، PBZ 500 و PBZ 1000: تیمارهای پاکلوبوترازول به ترتیب با غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر. حروف یکسان روی ستون‌ها، نشاندهنده عدم اختلاف معنی‌دار آماری بین تیمارها در سطح احتمال ٪۵ است.

Fig. 4. Effects of root pruning and PBZ application on total soluble solids (TSS) and titratable acidity (TA) in the fruits of papaya cultivar 'Sweet Sense.' PBZ: Paclobutrazol; RP: Pruning of 25% of the root volume; Control: No root pruning and no paclobutrazol application; RP + PBZ 250: Pruning of 25% of the root volume combined with paclobutrazol treatment at 250 mg·L^{-1}; PBZ 250, 500, and 1000: Paclobutrazol treatments applied at concentrations of 250, 500, and 1000 mg·L^{-1}, respectively. Columns sharing at least one common letter are not significantly different ($P < 0.05$).

بحث

در مطالعه حاضر، تیمارهای هرس ۲۵ درصد حجم ریشه پاپایا در زمان انتقال دانهال به زمین اصلی و کاربرد خاکی غلظت‌های مختلف کندکننده رشد پاکلوبوترازول در زمان ظهور گل‌ها به منظور سنجش اثرگذاری آنها در کنترل رشد و ویژگی‌های کمّی و کیفی میوه پاپایا رقم 'Sweet Sense' به مدت ۱۱ ماه (نه ماه پس از کاربرد PBZ) مورد ارزیابی قرار گرفتند. تیمار ترکیبی هرس ریشه توام با کاربرد غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر PBZ، بیشترین اثر را در کاهش ارتفاع درخت پاپایا نشان داد. پس از آن، تیمارهای مستقل هرس ریشه و کاربرد غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر PBZ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند و در مقابل، در تیمار شاهد، بیشترین ارتفاع درختان ثبت شد (شکل ۲). نتایج بدست آمده در این آزمایش در خصوص کنترل رشد توسط تعدادی از پژوهشگران نیز تایید شده است. در پاپایا، محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف PBZ منجر به کاهش ارتفاع گیاه شد، به‌طوری‌که بیشترین کاهش در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین رشد در تیمار شاهد گزارش شده است (Bhadarka Chandni *et al*., 2023). البته در آزمایش حاضر، تیمار هرس ریشه و تیمار ترکیبی هرس ریشه + کاربرد خاکی ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر PBZ، اثربخشی بیشتری نسبت به تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر PBZ از نظر کنترل رشد داشتند. هرس ریشه می‌تواند در کاهش قدرت گیاه مؤثر باشد، اما برای دستیابی به عملکرد مطلوب، تنظیم شدت، عمق و فاصله آن از تنه ضروری است (Schupp & Ferree, 1988). نتایج یک مطالعه روی درختان سیب نشان داد که اعمال هرس ریشه در فاصله‌های ۸۰ و ۶۰ سانتی‌متر از تنه درخت، به ترتیب موجب کاهش ۳۵ و ۵۰ درصدی در رشد شاخه‌ها می‌گردد (Schupp & Ferree, 1988). در زردآلو، کاربرد PBZ با غلظت‌های ۰/۵ و دو گرم به ازای هر درخت در آغاز گل‌دهی، موجب کاهش معنی‌دار رشد نسبت به گیاهان شاهد شد (Arzani & Rousta, 2004). با توجه به بیوسنتز سیتوکنین‌ها در مناطق راسی ریشه و نقش آنها در رشد شاخساره‌ها (Kamboj *et al*., 1997; Source, 2003)، کاهش سطح سیتوکینین در پی حذف بخشی از ریشه در فرآیند هرس، می‌تواند منجر به افت رشد اندام‌های هوایی شود. زیرا سیگنال‌های هورمونی لازم برای تحریک رشد به اندازه کافی به اندام‌های هوایی نمی‌رسند. پژوهش‌ها نشان داده است که هرس ریشه با کاهش انتقال مواد غذایی، آب و هورمون‌های رشد به بخش‌های هوایی گیاه نیز موجب محدود شدن رشد رویشی درخت می‌شود (Maas, 2008). در این آزمایش، با توجه به اینکه هرس ریشه در زمان انتقال دانهال‌ها به زمین اصلی و درست سه ماه پیش از تیمار پاکلوبوترازول اعمال شده بود، به نظر می‌رسد که بخشی از اثربخشی بیشتر آن در کنترل

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]

رشد، ناشی از مدت زمان طولانی‌تری باشد که گیاهان تحت تأثیر این تیمار قرار داشته‌اند. پاکلوبوترازول با مهار آنزیم اکسیژناز وابسته به سیتوکروم P450، مسیر تولید جیبرلین‌ها را متوقف کرده و از تبدیل ent-kaurene به ent-kaurenoic acid جلوگیری می‌کند. این فرآیند باعث کاهش رشد طولی گیاه و محدود شدن افزایش طول میان‌گره‌ها می‌شود (Rady & Maybelle, 2012; Sponsel, 1995; Zhu *et al*., 2004). رشد طولی میان‌گره تحت کنترل جیبرلین‌های فعال نظیر GA_1، GA_3، GA_4 و GA_7 است که با تحریک تقسیم و طویل‌شدن سلول‌ها در مریستم‌های میان‌گره‌ای عمل می‌کنند (Hedden & Sponsel, 2015). جیبرلین‌ها از طریق اتصال به گیرنده GID1، مسیرهای سیگنال‌دهی رشد را فعال کرده و با تشکیل کمپلکس GA–GID1، موجب تجزیه پروتئین‌های DELLA در مسیر پروتئازوم 26S می‌شوند. در نتیجه، مهار رشد برداشته شده و به تبع آن، سلول‌ها بزرگ و میانگره‌ها طویل می‌گردند (Sun, 2010). در غیاب جیبرلین‌های فعال، پروتئین‌های DELLA با مهار فاکتورهای رونویسی مانند PIFs و BZR1، مانع بیان ژن‌های مرتبط با رشد می‌شوند. در مقابل، پاکلوبوترازول با مهار آنزیم kaurene oxidase در مسیر ترپنوئیدی، از سنتز پیش‌سازهای جیبرلینی جلوگیری کرده و با کاهش سطح جیبرلین‌های فعال، موجب تجمع DELLA و تداوم مهار رشد ساقه می‌شود (Rademacher, 2018). این ترکیب همچنین با افزایش ABA و کاهش نسبت IAA/ABA، رشد رویشی را محدود می‌سازد. در مجموع، تعامل میان جیبرلین‌های فعال، پروتئین‌های DELLA و بازدارنده‌هایی مانند پاکلوبوترازول، شبکه‌ای تنظیمی مؤثر در کنترل رشد میان‌گره‌ای گیاهان ایجاد می‌کند.

در آزمایش فعلی، تعداد گل، تعداد میوه و عملکرد با تیمار هرس ریشه کاهش یافت و در مقابل با کاربرد PBZ افزایش یافت (شکل ۳). برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که استفاده از غلظت‌های بالای پاکلوبوترازول در گیاهانی مانند انبه و پاپایا می‌تواند موجب افزایش یا تسریع گلدهی شود (Bhadarka Chandni *et al*., 2023; Wongsrisakulkaew *et al*., 2017). در مطالعه‌ای، کاربرد پاکلوبوترازول با غلظت ۲۵۰ ppm منجر به کاهش مدت زمان تا گلدهی از ۸۶ روز در تیمار شاهد، به ۷۳ روز گردید (Bhadarka Chandni *et al*., 2023). گزارش شده است که هرس ریشه موجب کاهش میزان کربوهیدرات‌ها در مقایسه با گیاهان بدون هرس در تمشک قرمز می‌شود (Darnell *et al*., 2008). این کاهش ذخایر کربوهیدراتی در دوره آغاز بازشدن جوانه‌ها[1]، فرآیند تشکیل و تمایز جوانه‌های گل را محدود کرده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد تمشک قرمز[2] شده است. همچنین کاهش عملکرد مشاهده‌شده در گیاهان با هرس ریشه، عمدتاً ناشی از کاهش تعداد گل و میوه در هر شاخه نسبت به گروه شاهد گزارش شده است (Darnell *et al*., 2008)، که با نتایج مطالعه ما همخوانی دارد.

بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده از پاکلوبوترازول با غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به افزایش قابل توجه وزن و حجم میوه شد، در حالی که در تیمارهای شاهد و هرس ریشه، این صفات در پایین‌ترین سطح قرار داشتند. این یافته‌ها با مطالعات قبلی در مورد تأثیر مثبت پاکلوبوترازول بر وزن و حجم میوه درختانی مانند انبه و پاپایا مطابقت دارد (Bhadarka Chandni *et al*., 2023; Rady & Maybelle, 2012). بر اساس یافته‌های پژوهش (Bhadarka Chandni *et al*., 2023) نیز کاربرد پاکلوبوترازول در سطوح مختلف (۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) موجب بهبود معنی‌دار وزن و عملکرد میوه پاپایا در مقایسه با گیاهان شاهد گردیده بود.

تیمارهای مختلف هرس ریشه و کاربرد تنظیم‌کننده رشد گیاهی PBZ تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های کیفی میوه پاپایا از جمله رنگ پوست و گوشت، درجه رسیدگی، لکه‌های سطحی، سفتی بافت، pH و شاخص طعم نداشتند (جدول ۳). این پایداری در ویژگی‌های کیفی از اهمیت بالایی برخوردار است، چرا که یکی از اهداف اصلی این پژوهش، کاهش رشد رویشی در کنار حفظ کیفیت میوه بود. با این حال، تیمار ترکیبی هرس ریشه و غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر PBZ موجب افزایش قابل توجه TSS در مقایسه با سایر تیمارها شد، در حالی که غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول، کمترین مقدار TSS را به همراه داشت (شکل ۴). در هر صورت یکی از شاخص‌های تجاری میوه پاپایا میزان شیرینی (درجه بریکس) آن است که در این پژوهش تیمار ترکیبی هرس ریشه و پاکلوبوترازول باعث شیرین تر شدن میوه شد. این ترکیب تیماری (هرس ریشه + ۲۵۰ میلی‌گرم PBZ) بیشترین میزان TA را نیز نشان داد و در گروه A قرار گرفت. در مقابل، غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر PBZ

۱- Budbreak

۲- Red Raspberry

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]

کمترین مقدار TA را به ثبت رساندند و در گروه B قرار گرفتند. دو تیمار شاهد و هرس ریشه نیز در حد واسط این مقادیر بودند و در گروه AB جای گرفتند (شکل ۴). بر اساس گزارش (Rady & Maybelle, 2012)، پاکلوبوترازول در درختان انبه منجر به کاهش میزان TA میوه‌ها در مقایسه با درختان شاهد شده بود که تاییدکننده نتایج آزمایش فعلی است. با این حال، در مطالعه‌ای دیگر، افزایش غلظت PBZ منجر به افزایش میزان TSS در میوه پاپایا شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمار پاکلوبوترازول در غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب موجب افزایش ۳/۵، شش و نه درصدی در میزان مواد جامد محلول (TSS) میوه پاپایا گردید؛ این افزایش می‌تواند بیانگر بهبود کیفیت میوه در پاسخ به پاکلوبوترازول باشد (Bhadarka Chandni *et al*., 2023). همچنین بر اساس نتایج مطالعه‌ای که توسط (Auxcilia *et al*., 2010) روی پاپایا انجام شد، کاربرد PBZ با غلظت ۵۰ میلی‌گرم/درخت منجر به افزایش میزان کاروتنوئیدهای کل (۱۳ درصد)، TSS (۱۷ درصد)، اسید اسکوربیک (۱۰ درصد) و نسبت قند به اسید (۳۳ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد گردید. تفاوت مشاهده‌شده در نتایج می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی از جمله تفاوت در رقم یا ژنوتیپ گیاه، مرحله رشدی نمونه‌ها، شرایط محیطی و آزمایشی، و همچنین غلظت ماده مورد استفاده باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که هرس ریشه و کاربرد PBZ، نقش مؤثری در کنترل رشد رویشی پاپایا رقم 'Sweet Sense' در شرایط گلخانه‌ای دارد. این تیمارها موجب کاهش ارتفاع و سطح مقطع تنه، بهبود وزن، حجم و عملکرد میوه شدند. بین تیمارهای مورد استفاده، کاربرد خاکی PBZ در غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان بهترین تیمارهای این مطالعه معرفی شدند. این تیمارها توانستند رشد رویشی گیاه پاپایا را در دوره مورد پایش، به‌طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان هفت و ۱۰ درصد کاهش دهند، در حالی‌که عملکرد (به ترتیب ۳۲ و ۲۰ درصد)، وزن میوه (به ترتیب ۴۱ و ۲۴ درصد) و حجم میوه (به ترتیب ۵۳ و ۵۲ درصد) بالاتر از تیمار شاهد بود. افزایش عملکرد در تیمارهای یادشده، ناشی از افزایش میانگین وزن میوه‌ها و نه تعداد آنها بوده است. چرا که تعداد کل میوه در تیمار شاهد بیشتر از تیمارهای ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر PBZ بود. به‌طور کلی، افزایش اندازه و وزن میوه پاپایا در تیمارهای اعمال‌شده نسبت به شاهد بیشتر بود و این امر موجب ارتقاء بازارپسندی میوه و تناسب آن برای صادرات گردید. کاربرد PBZ در غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، ضمن کاهش ارتفاع و سطح مقطع تنه، صفات کیفی میوه از جمله رنگ پوست، سفتی، شاخص طعم و ابعاد میوه تفاوت معنی‌داری را به طور منفی تحت تأثیر قرار نداد. همچنین، در ویژگی‌های TSS و TA نیز این تیمارها در کلاس‌های مطلوب قرار گرفتند. بنابراین، کاربرد پاکلوبوترازول در غلظت‌های متوسط می‌تواند راهکاری مؤثر برای کنترل رشد گیاه پاپایا بدون از دست رفتن کمیت و کیفیت محصول باشد. با این حال، بهینه‌سازی غلظت PBZ، شدت هرس ریشه و بررسی کاربرد دوره‌ای اعمال تیمارها، می‌تواند دستیابی به ترکیب بهینه و نتیجه‌گیری دقیق‌تر را امکان‌پذیر سازد. در مجموع، استفاده از این روش‌ها می‌تواند به کاهش مشکلات ناشی از رشد بیش از حد گیاه و افزایش بهره‌وری در کشت گلخانه‌ای پاپایا در جنوب ایران کمک کند. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، اعمال زودهنگام پاکلوبوترازول مورد بررسی قرار گیرد؛ زیرا ممکن است منجر به کاهش بیشتر ارتفاع گیاه شود. همچنین، ارزیابی کاربرد چندباره تیمار پاکلوبوترازول با غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به صورت دوره‌ای و در فواصل زمانی مشخص پس از آنالیز خاک و بررسی غلظت باقیمانده PBZ در خاک، پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از جناب آقای امیرحسین نیک‌پندار به‌دلیل همکاری ارزشمند ایشان در فرآیند اندازه‌گیری صفات مرتبط با این پژوهش، صمیمانه ابراز می‌داریم.

منابع

References

Ali, H. I., Ismail, M. R., Baharudin, W. M. Z., Khiry, M. A., & Mahmoud, T. E. (2014). Effect of root pruning on leaf expansion, leaf water potential and stomatal conductance in mango. *Journal of Natural Resources and Environmental Studies, 1*(1), 71–76.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]

Allan, P. (2002). Carica papaya responses under cool subtropical growth conditions. *Acta Horticulture, 575*, 757–763.

Allan, P. (2007). Phenology and production of Carica papaya'Honey Gold'under cool subtropical conditions. *Acta Horticulture, 740*, 217–223.

Arzani, K., & Rousta, H. R. (2004). Effects of paclobutrazol on vegetative and reproductive growth and leaf mineral content of mature apricot (*Prunus armeniaca* L.) trees. *Journal of Agriculture Science and Technology, 6*, 43–55.

Auxcilia, J., Sathiamoorthy, S., Jeyakumar, P., Kumar, N., & Balamohan, T. N. (2010). Effect of Paclobutrazol (PP333) on Yield and Quality of Fruit and Latex of Papaya var. CO 2. *Acta Horticulture, 851*, 413–418.

Bhadarka Chandni, R., Kanzaria, D. R., Prerna Prachi, K. N. N., & Varu, D. K. (2023). Impact of growth retardants on yield and quality of papaya (*Carica papaya* L.) CV. GJP. *The Pharma Innovation Journal, 12*, 3368–3372.

Budiarto, R., Poerwanto, R., Santosa, E., & Efendi, D. (2019). A review of root pruning to regulate citrus growth. *Journal of Tropical Crop Science, 6*(1), 1–7.

Chu, L., Shi, C., Wang, X., Li, B., Zuo, S., Li, Q., Han, J., Wang, H., & Lou, X. (2025). The molecular mechanism and effects of root pruning treatment on blueberry tree growth. *Plants, 14*(15), 1–22.

Darnell, R. L., Alvarado-Raya, H. E., & Williamson, J. G. (2008). Root pruning effects on growth and yield of red raspberry. *HortScience, 43*(3), 681–684.

De Oliveira, J. G., & Vitória, A. P. (2011). Papaya: Nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. *Food Research International, 44*(5), 1306–1313.

Dong, T., Duan, B., Zhang, S., Korpelainen, H., Niinemets, Ü. & Li, C. (2016). Growth, biomass allocation and photosynthetic responses are related to intensity of root severance and soil moisture conditions in the plantation tree Cunninghamia lanceolata. *Tree Physiology, 36*(7), 807–817.

Đorđević, B., Đurović, D., Zec, G., Boškov, Đ., & Skoko, V. (n.d.). Growth control and fruit quality of apple cultivar "Gala schniga" using root pruning technique. *Serbian Society of Soil Science*, 258–264.

Fanello, D. D., Kelly, S. J., Bartoli, C. G., Cano, M. G., Alonso, S. M., & Guiamet, J. J. (2020). Plasticity of root growth and respiratory activity: Root responses to above-ground senescence, fruit removal or partial root pruning in soybean. *Plant Science, 290*, 1.

FAOSTAT. (2023). Available online: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.

Galán Saúco, V., & Rodríguez Pastor, M. A. C. (2007). Greenhouse cultivation of papaya. *Acta Horticulture, 740*, 191–195.

IBPGR. (1988) Descriptors for papaya. *International Board for Plant Genetic Resources* 34 p.

Kamboj, J. S., Browning, G., Quinlan, J., Blake, P. S., & Baker, D. (1997). Polar transport of [^{3}H]-IAA in apical shoot segments of different apple rootstock. *Journal of Horticultural Science, 72*(5), 773–780.Hedden, P., & Sponsel, V. (2015). A century of gibberellin research. *Journal of Plant Growth Regulation, 34*(4), 740–760.

Khan, Z. U., McNeil, D. L., & Samad, A. (1998). Root pruning reduces the vegetative and reproductive growth of apple trees growing under an ultra high-density planting system. *Scientia Horticulturae, 77*(3–4), 165–176.

Lordan, J., Vilardell, P., Torres, E., Alegre, S., & Asín, L. (2019). Use of root pruning, paclobutrazol, and prohexadione-Ca combination strategies to control growth and improve productivity on pear trees. *Spanish Journal of Agricultural Research, 17*(2), e0902. https://doi.org/10.5424/sjar/2019172-14579

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]

Maas, F. (2008). Strategies to control tree vigour and optimise fruit production in'Conference'pears. *Acta Horticulture, 800*, 139–146

Mathiyazhagan, K., Subash, M., & Bose, C. (2021). Root pruning-a growth regulation practice in fruit crops. *CABI Reviews*, 2021.

Mendoza-Grimón, V., Amorós, R., Fernández-Vera, J. R., Lopes da Veiga, E., & Palacios-Díaz, M. del P. (2024). Utilising Reclaimed Water for Papaya (*Carica papaya* L.) Cultivation in Cape Verde: A Detailed Case Study. *Agronomy, 14*(11), 1.

Mucha, J., Jagodziński, A. M., Bułaj, B., Łakomy, P., Talaśka, A. M., Oleksyn, J., & Zadworny, M. (2018). Functional response of Quercus robur L. to taproot pruning: a 5-year case study. *Annals of Forest Science, 75*(1), 1–22.

Paterson, A., Felker, P., Hubbell, S., & Ming, R. (2008). The fruits of tropical plant genomics. *Tropical Plant Biology, 1*(1), 3–19.

Source, C., Massai, R., Picciarelli, P., & Lorenzi, R. (2002). Hormonal relationships in xylem sap of grafted and ungrafted Prunus rootstocks. *Scientia Horticulturae, 93*, 333–342.

Rademacher, W. (2018). Plant growth regulators: Backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation, 37*(1), 1–28.

Rady, M. M., & Maybelle, S. G. (2012). Improving barley yield grown under water stress conditions. *Research Journal of Recent Sciences, 1*, 1–6.

Salinas, I., Carmona, A., Hueso, J. J., & Pinillos, V. (2024). Optimal Harvest Maturity Changes Depending on the Season throughout the Year in Papaya Grown in Mediterranean Climate-Improved Greenhouses. *Horticulturae, 10*(12), 1360.

Schupp, J. R., & Ferree, D. C. (1988). Effects of root pruning at four levels of severity on growth and yield of 'Melrose'/M. 26 apple trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 113*(2), 194–198.

Shahzad, M. M., Akhtar, G., Shehzad, M. A., Ullah, S., Faried, H. N., Razzaq, K., Nawaz, F., Rajwana, I. A., Amin, M., & Ahsan, M. (2023). Paclobutrazol and maleic hydrazide-induced growth inhibition in warm season turfgrasses through structural and physiological differences. *Kuwait Journal of Science, 50*(4), 674–680.

Sponsel, V. M. (1995). The biosynthesis and metabolism of gibberellins in higher plants. In Plant hormones: physiology, biochemistry and molecular biology (pp. 66–97). Springer.

Sun, T.-P. (2010). Gibberellin–GAI–DELLA signaling in development. *Annual Review of Plant Biology, 61*, 125–147.

Thakur, T., Garg, A., & Kaur, P. (2025). Growth retardants: Efficient tool for regulating plant architecture and flowering in ornamental crops. *South African Journal of Botany, 184*, 911–922.

Tsukahara, K., Yamane, K., Yamaki, Y., Fujishige, N., & Honjo, H. (2009). Effects of root pruning and uniconazole treatments on flower bud induction in peach seedlings of the current year. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 78*(1), 50–56.

Wang, Y., Travers, S., Bertelsen, M. G., Thorup-Kristensen, K., Petersen, K. K., & Liu, F. (2014). Effect of root pruning and irrigation regimes on pear tree: growth, yield and yield components. *Horticultural Science, 1*(41), 34–41.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]

Wongsrisakulkaew, Y., Boonprakob, U., Sethpakdee, R., & Juntawong, N. (2017). Effect of paclobutrazol concentrations and time of foliar application on flowering of ‘Namdokmai-sitong’mango. *GEOMATE Journal, 12*(30), 41–45.

Zhu, L.-H., van de Peppel, A., Li, X.-Y., & 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*(2), 133–141.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 26 (4):329-442 (2025)
Research article

Effects of Root Pruning and Paclobutrazol Application on Growth, Yield, and Fruit Quality of Papaya (*Carica papaya* L. 'Sweet Sense') under Greenhouse Conditions

Ghodrat Allah Eydi, Mahmoud Reza Roozban*, Saadat Sarikhani*, Rasoul Sadeghi-Majd, and Kourosh Vahdati
Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Tehran, Iran
*Corresponding Authors, Email: (mroozban@ut.ac.ir; saadat.sarikhani@ut.ac.ir)

Papaya is an important tropical fruit crop cultivated in Iran under greenhouse conditions and propagated through seed. Rapid growth and excessive height of seedlings represent major challenges in greenhouse papaya production. Contact of branches with the greenhouse roof and breakage caused by the heavy fruit load often force growers to remove trees and replace them with new seedlings. To evaluate the effects of root pruning and soil application of different concentrations of paclobutrazol (PBZ) on vegetative growth, yield, and fruit quality of papaya cv. 'Sweet Sense', an experiment was conducted in a completely randomized design with six treatments and three replications (each replication comprising two trees) during 2023–2024 in Dezful, Khuzestan Province, Iran. The treatments included: control (no root pruning and no paclobutrazol), root pruning (25% balanced removal of root volume), combined root pruning + 250 mg L^{-1} PBZ, and application of PBZ at 250, 500, and 1000 mg L^{-1}. The results showed that the treatments had significant effects on tree height and trunk cross-sectional area (TCSA). The tallest trees and largest TCSA were recorded in the control, whereas the shortest trees were observed in the combined root pruning + 250 mg L^{-1} PBZ treatment (43% reduction compared with control). The greatest reduction in TCSA occurred in the root-pruning treatment (30% reduction). Yield components—including flower number, fruit number, and fruit yield—were significantly influenced by the treatments. The highest yields were obtained with 250, 500, and 1000 mg L^{-1} PBZ (212, 191, and 175 kg per tree, respectively), while the lowest yield occurred in the root-pruning treatment (109 kg per tree). Average fruit weight was also greatest in the 250, 1000, and 500 mg L^{-1} PBZ treatments (1120, 944, and 988 g, respectively), and lowest in the control (796 g). Except for total soluble solids (TSS) and titratable acidity (TA), other fruit quality traits were not significantly affected. The highest TSS (10.67 °Brix) and TA (0.30 g per 100 g fresh weight) were recorded in the combined root pruning + 250 mg L^{-1} PBZ treatment. Overall, soil application of 250 and 500 mg L^{-1} PBZ was identified as the most effective, reducing vegetative growth by 7% and 10% and increasing yield by 32% and 20%, respectively, without negatively affecting fruit quality. These results highlight the potential of root pruning and PBZ for growth control and yield enhancement in greenhouse-grown papaya.

Keywords: Papaya, Growth retardants, Growth control, Height reduction.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-08]