

(OPEN ACCESS)

Investigation of the Effects of Growth Inhibitors on the Vegetative and Reproductive Traits of Limequat in High Tunnel

Maryam Sotoudeh¹, Mehdi Hadadinejad^{*2}, Hossein Moradi³, Mahnaz Karimi⁴

1. M.Sc. Graduate of Horticulture Engineering, Dept. of Horticultural Sciences, Crop Sciences College, Sari Agriculture and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: maryamsotoudeh60@yahoo.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Crop Sciences College, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: mehdihadadi@gmail.com
3. Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Crop Sciences College, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: moradiho@yahoo.com
4. Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Crop Sciences College, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran. E-mail: karimi@sanru.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Limequat has become a popular product in the food and pharmaceutical industries due to its unique flavor and high nutritional properties. Although limequat cultivation has seen significant growth in recent years, there are still fundamental challenges in optimizing its growth management that require serious attention. Effectively managing these challenges can lead to increased production and improved fruit quality. Therefore, the use of plant growth regulators is of particular importance as effective tools for enhancing growth management and plant development. This study aimed to investigate the effects of the growth inhibitors paclobutrazol (PBZ) and uniconazole (UCZ) on the vegetative and reproductive traits of limequat.
Article history: Received: 01.15.2025 Revised: 02.05.2025 Accepted: 04.07.2025	
Keywords: Branch length, Flower number, Paclobutrazol, Trunk diameter	Materials and Methods: This research was conducted in a high tunnel in the village of Khormakla, Qaem Shahr. 20-month-old limequat trees were selected, grown on citrange C35 rootstock. The high tunnel consisted of three rows of 20 limequat trees, maintained at a temperature of approximately 22 C and a relative humidity of around 70%. The experiment was carried out as a factorial design in a completely randomized layout with two growth inhibitors: PBZ at four levels (0, 300, 600, and 900 mg/L) and UCZ (0, 10, 100, and 1000 mg/L). The treatments were applied through foliar spraying in three replications (each replication consisting of one tree). The treatments were conducted in mid-April, coinciding with the onset of the first shoot growth following manual pruning in March, and were applied in three stages by 10 days.
	Results: The results showed that the application of growth inhibitors significantly reduced leaf fresh and dry weight, leaf area, while increasing the horizontal branch length. The lowest values of these parameters were observed in the treatments with PBZ and UCZ, while the highest values were recorded in the control treatment. Concerning reproductive traits, the findings indicated that the application of PBZ alone and in combination

with UCZ led to an increase in the number of flowers and fruits. The highest flower count was observed at a concentration of 900 mg/L of PBZ, and the maximum fruit volume was achieved with the simultaneous application of PBZ (900 mg/L) and UCZ (100 mg/L). Moreover, the number of fruits significantly increased with the use of these regulators; indeed, the results demonstrated the positive effect of these compounds on both the quality and quantity of the yield.

Conclusion: Overall, the results of this study suggest that the application of growth inhibitors can lead to a reduction in vegetative traits while improving reproductive traits in greenhouse limequat. The use concentration of 900 mg/L of PBZ and 100 mg/L UCZ not only aids in the expansion of the plant's canopy but also positively impacts flower and fruit production. These findings could serve as an effective strategy for optimizing limequat cultivation and enhancing the performance of this plant under various growing conditions.

Cite this article: Sotoudeh, Maryam, Hadadinejad, Mehdi, Moradi, Hossein, Karimi, Mahnaz. 2026. Investigation of the Effects of Growth Inhibitors on the Vegetative and Reproductive Traits of Limequat in High Tunnel. *Journal of Plant Production Research*, 33 (2), 53-72.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2025.23168.3222

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی اثر کندکننده‌های رشد بر صفات رویشی و زایشی لایم‌کوات در تونل بلند

مریم ستوده^۱، مهدی حدادی‌نژاد^{۲*}، حسین مرادی^۳، مهناز کریمی^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: maryamsotoudeh60@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: mehdihadadi@gmail.com
۳. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: moradiho@yahoo.com
۴. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: karimi@sanru.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۶ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸	سابقه و هدف: لایم‌کوات به واسطه طعم منحصر به فرد و خواص تغذیه‌ای بالا به یکی از محصولات پرطرفدار در صنایع غذایی و دارویی تبدیل شده است. با این‌که کشت لایم‌کوات در سال‌های اخیر رشد قابل‌توجهی داشته، اما چالش‌های اساسی در مدیریت بهینه رشد آن وجود دارد که نیازمند توجه جدی است. مدیریت مؤثر این چالش‌ها می‌تواند به تولید بیش‌تر و کیفیت بهتر میوه‌ها منجر شود. از این‌رو، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، به‌عنوان ابزارهای مؤثر در بهبود مدیریت رشد و توسعه گیاهان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مطالعه با هدف بررسی اثر کندکننده‌های رشد پاکلوبوترازول و یونیکونازول بر صفات رویشی و زایشی لایم‌کوات انجام شد.
واژه‌های کلیدی: پاکلوبوترازول، تعداد گل، طول شاخه، قطر تنه	مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر در یک تونل پلاستیکی بلند تجاری در روستای خرماکلا قائم‌شهر انجام گردید. درختان لایم‌کوات ۲۰ ماهه روی پایه سیترنج C-۳۵ انتخاب شدند. گلخانه شامل سه ردیف ۲۰ عددی از درختان لایم‌کوات بوده و دمای گلخانه در محدوده ۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی آن در حد ۷۰ درصد تنظیم شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو کندکننده رشد پاکلوبوترازول در چهار سطح صفر، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ماده مؤثره و یونیکونازول (صفر، ۱۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در سه تکرار (هر تکرار یک درخت) به‌صورت محلول پاشی انجام گرفت. تیمار در اواسط فروردین و هم‌زمان با شروع اولین جست گیاه پس از انجام هرس دستی (اسفند) به‌صورت محلول پاشی برگ‌ها در سه مرحله با فاصله ده روز انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کاربرد کندکننده‌های رشد به‌طرز معنی‌داری موجب کاهش وزن تر و خشک برگ، سطح برگ و در عوض افزایش طول افقی شاخه‌ها گردیده‌است. به‌شکلی که کم‌ترین مقادیر این پارامترها در تیمارهایی با پاکلوبوترازول و یونیکونازول مشاهده شد و در تیمار شاهد بیش‌ترین مقادیر ثبت گردید. در زمینه بررسی صفات زایشی، نتایج بیانگر آن بود که کاربرد پاکلوبوترازول به‌تنهایی و هم‌چنین در ترکیب با یونیکونازول، باعث افزایش تعداد گل‌ها و میوه‌ها شده‌است. بیش‌ترین تعداد گل‌ها در زمان کاربرد پاکلوبوترازول در غلظت ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و حداکثر حجم میوه‌ها با کاربرد هم‌زمان پاکلوبوترازول (۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و یونیکونازول (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به‌دست آمد. علاوه بر این، تعداد میوه‌ها به‌طور قابل‌توجهی با استفاده از این تنظیم‌کننده‌ها افزایش یافت؛ در واقع نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت این ترکیبات بر محصول بود.

نتیجه‌گیری: در مجموع، نتایج این مطالعه نشان داد، کاربرد کندکننده‌های رشد می‌تواند منجر به کاهش صفات رویشی و در عوض بهبود صفات زایشی در لایم‌کوات گلخانه‌ای شود. استفاده از غلظت ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از پاکلوبوترازول و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از یونیکونازول نه‌تنها به گسترش تاج گیاه کمک کرده، بلکه تأثیر مثبتی بر تولید گل و میوه نیز دارد. این یافته‌ها می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای بهینه‌سازی کشت لایم‌کوات و بهبود عملکرد این گیاه در شرایط مختلف کشت مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: ستوده، مریم، حدادی‌نژاد، مهدی، مرادی، حسین، کریمی، مهناز (۱۴۰۵). بررسی اثر کندکننده‌های رشد بر صفات رویشی و زایشی لایم‌کوات در تونل بلند. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۳ (۲)، ۷۲-۵۳.

DOI: 10.22069/jopp.2025.23168.3222



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

لایم‌کوات حاصل از تلاقی کی لایم و کامکوات (*F. margarita* × *C. aurantifolia*) است و به دلیل طعم منحصر به فرد و خواص تغذیه‌ای خود در صنایع غذایی و دارویی مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به چالش‌های آب و هوایی و تغییرات الگوی کشت در کشور، کشت گلخانه‌ای جهت مدیریت این محدودیت‌ها رو به افزایش است (۱). مساحت واحدهای گلخانه‌ای در کشور ۱۲ هزار هکتار است که استان مازندران با ۵۲ هکتار سطح زیر کشت گلخانه‌ای، یکی از ۲۰ استان برتر در این زمینه می‌باشد. عمده محصولات تولید شده در گلخانه شامل محصولات سبزی و صیفی بوده که در سال‌های اخیر سایر محصولات باغی از جمله لایم کوات نیز با جهش تولید مواجه بوده است (۲). یکی از چالش‌های اساسی در کشت لایم‌کوات، مدیریت بهینه رشد رویشی و زایشی آن است. رشد رویشی سریع و غیرقابل کنترل، می‌تواند منجر به کاهش کیفیت میوه‌ها و ناپایداری تولید شود. از این‌رو علاوه بر هرس دستی و مکانیکی، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به عنوان ابزارهایی مؤثر در مدیریت رشد و توسعه گیاهان، توجه پژوهشگران و کشاورزان را به خود جلب کرده است. بازدارنده‌های رشد گیاهی (PGRs) دسته‌ای از ترکیبات مصنوعی هستند که می‌توانند سنتز جیبرلین (GA3) را در گیاهان کنترل کنند و باعث می‌شوند گیاه، ویژگی‌های فیزیولوژیکی مانند پاکوتاهی فیزیولوژیکی، ضخیم شدن شاخه‌ها، سبز شدن رنگ برگ‌ها را نشان دهد. در مقایسه با روش‌های سنتی پاکوتاهی، کاربرد بازدارنده‌های رشد گیاهی به عنوان یک روش راحت‌تر و کارآمدتر در کشاورزی مدرن، به طرز چشمگیری رو به گسترش است و به گزینه‌ای مقرون به صرفه تبدیل شده است (۳). در حال حاضر، PGRها به طور گسترده در

محصولات باغی، درختان میوه و گل‌ها استفاده شده‌اند و اثرات پاکوتاه کنندگی متفاوتی بر گیاهان مختلف دارند (۴). تری‌آزول‌ها یک گروه از ترکیبات شیمیایی هستند که به عنوان کندکننده‌های رشد گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند و تأثیر به سزایی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان دارند. این ترکیبات به ویژه در کاهش عمل هورمون‌های رشد مانند جیبرلین و اکسین مؤثر هستند و می‌توانند به کنترل رشد رویشی گیاه کمک کنند. در مرکبات، استفاده از این کندکننده‌ها به بهینه‌سازی تولید و کیفیت میوه‌ها می‌انجامد. پاکلوبوترازول (PBZ) یک مشتق تری‌آزول است که بیوسنتز استرول و جیبرلین را مهار می‌کند (۵). این ترکیب می‌تواند به طور قابل توجهی رشد و نمو گیاه را با تغییر در میزان فتوسنتز و اصلاح سطوح فیتوهورمون تحت تأثیر قرار دهد (۶). پاکلوبوترازول فعالیت آنزیم انت-کائورن اکسیداز را که اکسیداسیون انت-کائورن به انت-کائورنئیک اسید را کاتالیز می‌نماید، مهار می‌کند (۷). کاربرد PBZ باعث کاهش ارتفاع بوته، بهبود قطر ساقه و تعداد برگ، تغییر معماری ریشه (۸) به طور مستقیم در افزایش عملکرد و به طور غیرمستقیم وقوع خوابیدگی کاهش داده است. از مهم‌ترین تریازول‌ها می‌توان به یونیکونازول اشاره کرد (۹). یونیکونازول با بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی از طریق افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز، منجر به تأخیر در پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب غشا می‌گردد (۱۰). در پژوهشی که به بررسی اهمیت پاکلوبوترازول (PBZ) در تولید پیش‌رس مرکبات پرداخته شد، نتایج نشان می‌دهد استفاده از این ترکیب، تحمل گیاه را در برابر شرایط هوای سرد افزایش می‌دهد و از جوانه‌های گیاه در محیط‌های نامناسب به طور مؤثری محافظت می‌کند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که PBZ با تحریک جوانه‌های گل، تأثیر مثبت بر زودرسی میوه و به

بررسی قرار گرفت. هدف از این مطالعه، درک پاسخ لایم کوات به PGRهای مختلف و تعیین مناسب‌ترین نوع و غلظت کندکننده برای کنترل رشد گیاه در گلخانه به‌منظور کاهش هزینه و بهبود عملکرد بود.

مواد و روش‌ها

روش انجام پژوهش: این آزمایش در یک تونل پلاستیکی بلند تجاری در روستای خرماکلا قائم‌شهر در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد. تونل پلاستیکی بلند فاقد سامانه سرمایشی و گرمایشی به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع، سازه فلزی گالوانیزه، ارتفاع ستون ۴ متر و ارتفاع قوس وسط ۶/۵ متر، سیستم تهویه شامل رول‌آپ جانبی و دریچه سقفی با پوشش پلاستیک ضد یووی (UV) بود. درختان یکنواخت لایم کوات ۲۰ ماهه روی پایه سیترنج C-۳۵ انتخاب شد. این گلخانه شامل سه ردیف ۲۰ تایی از درختان لایم کوات بوده و دمای گلخانه در محدوده ۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی آن در حد ۷۰ درصد تنظیم شده‌است. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو کندکننده رشد پاکلوبوترازول در چهار سطح صفر، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ماده مؤثره از فرم تجاری پاکلوبوترازول با نام کولتار (حاوی ۲۵ درصد ماده مؤثره) و یونیکونازول (صفر، ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در ۳ تکرار (هر تکرار یک درخت) به‌صورت محلول پاشی انجام شد. تیمارها از ۲۳ فروردین و هم‌زمان با شروع اولین جست گیاه پس از انجام هرس دستی (اسفند) به‌صورت محلول پاشی برگی در سه مرحله با فاصله ده روز انجام شد.

صفات مورد بررسی

وزن تر و خشک برگ: برای این کار از پنج برگ از هر تیمار استفاده شد. پس از توزین این برگ‌ها، جهت

حداکثر رساندن عملکرد و کیفیت میوه، رشد رویشی گیاه را کنترل می‌نماید. در نهایت، این ترکیب بهینه‌سازی عملکرد گیاهان را تسهیل کرده و توانایی تولید را در هر فصل افزایش می‌دهد، که منجر به تعادل در سال‌آوری نیز می‌گردد (۱۱). در پژوهشی، تعدادی درخت لیمو را به‌صورت گلدانی انتخاب کرده و جهت تنظیم تشکیل گل، با چهار غلظت جیبرلین: ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و پاکلوبوترازول ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌صورت محلولپاشی برگی تیمار شدند. پس از آزمایش، شاخص مورفولوژیکی و کیفیت میوه درختان لیمو مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در شرایط کشت و مدیریت یکسان، محلولپاشی پاکلوبوترازول به‌طور قابل‌توجهی رشد شاخساره‌های لیمو را مهار نموده، سرعت تشکیل میوه را افزایش داد و عملکرد میوه را بهبود بخشید (۱۲). اثرات دو تنظیم‌کننده رشد پاکلوبوترازول و یونیکونازول بر روی رشد رویشی نهال‌های جوان خرما مورد بررسی قرار گرفت. هر دو تنظیم‌کننده رشد سرعت رشد طول برگ‌ها را محدود کرده و طول برگ را کاهش دادند. تجزیه و تحلیل میکروسکوپی مریستم انتهایی نخل جدا شده نشان داد که بازدارنده‌های رشد بر تولید برگ‌های جدید تأثیری ندارند. با این حال، تیمارها ابعاد برگ‌های جنینی در حال رشد و هم‌چنین شکل مریستم انتهایی را تغییر دادند. نتایج این مطالعه استفاده احتمالی از بازدارنده‌های رشد را در آینده برای کاهش ارتفاع درختان خرما پیشنهاد می‌کند و بیان می‌کند که این روش می‌تواند گزینه‌ای ارزان‌تر، ایمن‌تر و کارآمدتر برای مدیریت این درختان باشد (۱۳). در حال حاضر مشکلات رشد سریع، ارتفاع بلند و شکل پراکنده درخت در گلخانه‌های لایم کوات باید حل شود. در این مطالعه، اثرات دو بازدارنده رشد بر شاخص‌های رویشی و زایشی مورد

تعداد گل: پس از شکوفایی ۸۰ درصد از گل‌ها و رسیدن به مرحله تمام گل، تعداد گل در شاخه بارده شمارش گردید.

تعداد میوه: میزان میوه بندی پس از اتمام ریزش گل و میوه چه و شمارش میوه‌های باقی مانده بر روی هر شاخه بارده (حدود یک ماه پس از جست اول) محاسبه شد.

حجم میوه: برای اندازه‌گیری حجم میوه از روش حجمی وزنی استفاده شد، بدین صورت که ابتدا مقداری آب در یک بشر مناسب با اندازه میوه وزن گردید، پس از صفر کردن ترازو، میوه به‌صورت غوطه‌ور نگه داشته شد و عدد قرائت شده به‌عنوان حجم میوه ثبت شد.

مواد جامد محلول: مواد جامد محلول کل با رفرکتومتر چشمی (مدل ATC-20E Atogo) در آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اندازه‌گیری شد. برای تعیین TSS یک قطره از آب میوه را روی لنز رفرکتومتر ریخته و عدد نمایش داده شده بر مبنای درجه بریکس یادداشت گردید.

اسیدیته: برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال استفاده شد برای این منظور ۱۰ میلی‌لیتر آب میوه را با ۹۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و سپس عمل تیتراسیون انجام گرفت تا pH عصاره به ۸/۲ برسد و رنگ آن تیره شود. مقدار سود مصرفی را ثبت نموده و سپس میزان اسید برحسب گرم اسید سبتریک (اکی‌والان برابر ۰/۰۶۴۰۴) در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه بیان شد (۱۵).

پس از انجام اندازه‌گیری‌ها، نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوفو انجام و آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها

اندازه‌گیری وزن خشک آن‌ها را در آون و دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده و وزن خشک آن‌ها نیز ثبت شد.

سطح برگ: برای اندازه‌گیری سطح برگ‌ها، پس از جدا کردن برگ‌ها از گیاه، آن‌ها را با اسکندر در آزمایشگاه اسکن کرده و به‌صورت تصویر ذخیره نمودیم. سپس با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ (PS cs5 extended ver12 64x 1990-2010) تصویر را کالبره کرده و معیار اندازه‌گیری پیکسل را تعیین کردیم. برای کالیبراسیون، عکسی از یک کارت اعتباری با ابعاد مشخص انتخاب و پس از ثبت تعداد پیکسل‌ها، عکس برگ هر تیمار وارد نرم‌افزار شد. مساحت برگ با ضرب تعداد پیکسل برگ در مساحت کارت اعتباری و تقسیم بر تعداد پیکسل‌های کارت محاسبه گردید (۱۴).

طول شاخه جدید: طول شاخه‌های فرعی از محل اتصال‌شان به شاخه اصلی تا فوقانی‌ترین قسمت شاخه هایشان در نظر گرفته و با استفاده از متر اندازه‌گیری شدند.

تعداد شاخه: پس از رشد شاخه‌های جدید، تعداد آن شمارش گردید.

ارتفاع درخت: ارتفاع نهال از طریق اندازه‌گیری با متر نواری بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. متر نواری از محل طوقه در سطح خاک تا فوقانی‌ترین قسمت تاج درخت قرار داده شد و اندازه‌گیری انجام گردید.

اندازه قطر تاج: قطر تاج درخت با متر اندازه‌گیری شد.

طول شاخه: طول شاخه اصلی با قرار دادن متر نواری از محل پیوند تا فوقانی‌ترین قسمت تاج محاسبه گردید.

قطر تنه: قطر پایه و قطر نهال با استفاده از کولیس دیجیتالی (مدل Mitutoyo) با دقت ۰/۰۲ اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری قطر نهال‌ها از ده سانتی‌متری بالای محل پیوند انجام شد.

رشد پاکلوبوترازول و یونیکونازول بر وزن تر و خشک برگ، سطح برگ، طول و تعداد شاخه جدید، ارتفاع درخت، اندازه قطر تاج، طول شاخه اصلی و قطر تنه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده‌است. در حالی که اثر ساده یونیکونازول بر قطر تنه معنادار نبود (جدول ۱).

از طریق آزمون LSD در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد صورت گرفت. هم‌چنین نمودارها به وسیله نرم‌افزار اکسل (۲۰۱۶) رسم شد.

نتایج و بحث

صفات رویشی: نتایج بررسی جدول تجزیه واریانس صفات رویشی نشان داد که اثر متقابل کندکننده‌های

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر کندکننده‌های رشد بر صفات رویشی لایم کوات.

Table 1. Analysis of variance of the effect of growth retardants on the vegetative traits of limequat.

منابع تغییرات S.O.V	df	میانگین مربعات Mean square								
		وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	سطح برگ Leaf area	طول شاخه جدید New branch length	تعداد شاخه جدید Number of new branch	ارتفاع درخت Tree height	قطر تاج Canopy diameter	رشد افقی شاخه Horizontal branch growth	قطر تنه Trunk diameter
پاکلوبوترازول PBZ (P)	3	0.0006**	0.0001 ^{ns}	1.62**	35.61**	25.61**	3227.5**	127.20**	202.41*	6.79**
یونیکونازول UCZ (U)	3	0.0012**	0.0002*	0.58**	11.69**	7.38	1373.1**	856.24**	876.47**	1.85 ^{ns}
اثر متقابل P×U	9	0.0025**	0.0003**	1.57**	4.00**	2.18**	1245.6**	1443.05**	390.09**	6.26**
خطا Error	32	0.0001	0.00006	0.01	1.07	0.31	29.45	20.09	50.44	1.52
ضریب تغییرات C.V		12.07	18.69	5.82	11.01	16.77	2.34	3.92	6.42	5.51

^{ns}, *, ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد

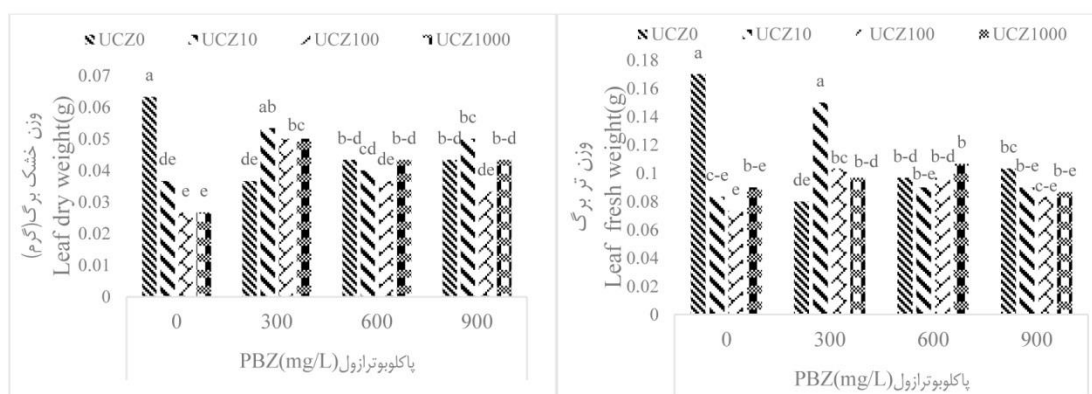
^{ns}, *, ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

رسیدن به سطح ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و اضافه شده یونیکونازول نیز کم‌ترین مقادیر وزن تر برگ به دست آمد (شکل ۱). بررسی نتایج وزن خشک برگ نشان داد در تیمار شاهد بیش‌ترین وزن خشک برگ به میزان ۰/۰۶ گرم به دست آمد که با اضافه شدن یونیکونازول ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کم‌ترین وزن خشک برگ (۰/۰۲ گرم) مشاهده شد. کاربرد پاکلوبوترازول ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به شاهد کاهش دوبرابری

بررسی نمودار مقایسه میانگین وزن تر برگ نشان داد بیش‌ترین مقدار در تیمار شاهد (پاکلوبوترازول ۰ و یونیکونازول ۰) به میزان ۰/۱۷ گرم مشاهده گردید که با اضافه شدن مقادیر مختلف یونیکونازول، کاهش دو برابری در وزن تر برگ دیده شد. هم‌چنین تیمار پاکلوبوترازول ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و یونیکونازول ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد. در مجموع با اضافه شدن پاکلوبوترازول و

کاهش معنی‌دار شده و از لحاظ آماری به سطح کم‌ترین مقادیر رسیده است که اضافه شدن مقدار ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر یونیکونازول به این مقادیر پاکلوبوترازول موجب افزایش در وزن خشک برگ شده‌است (شکل ۱).

در وزن خشک را نشان داد که با اضافه شدن یونیکونازول ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم افزایش معنی‌داری در وزن خشک به‌دست آمد. پس از این افزایش در وزن خشک برگ، کاربرد پاکلوبوترازول در سطوح ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌همراه یونیکونازول با مقادیر ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب

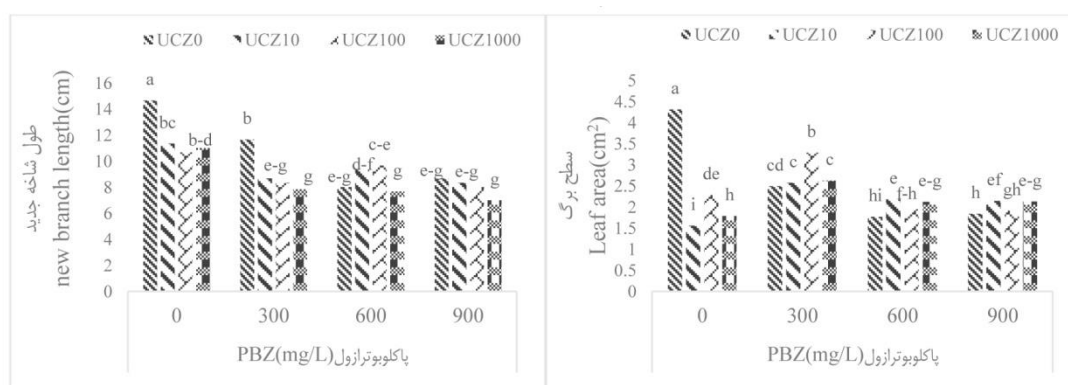


شکل ۱- اثر متقابل کندکننده‌های رشد پاکلوبوترازول و یونیکونازول بر وزن تر و خشک برگ لایم کوات.

Fig. 1. Interaction effect of PBZ and UCZ growth retarders on weight and dry weight of limequat leaf.

نتایج نشان داد در تیمار شاهد بیش‌ترین طول شاخه با میانگین ۱۴/۶۶ سانتی‌متر حاصل شد که با اضافه شدن مقادیر مختلف یونیکونازول از طول آن به‌طور معنی‌داری کاسته شد. هم‌چنین نتایج گواه آن بود که کاربرد هم‌زمان مقادیر مختلف پاکلوبوترازول و یونیکونازول ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از لحاظ آماری کم‌ترین مقادیر طول شاخه جدید را به‌همراه داشت که پایین‌ترین سطح آن در تیمار پاکلوبوترازول ۹۰۰ و یونیکونازول ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به میزان هفت سانتی‌متر به‌دست آمد (شکل ۲).

بررسی میزان سطح برگ نشان داد در تیمار شاهد (پاکلوبوترازول ۰ و یونیکونازول ۰) بالاترین سطح برگ (۴/۳۱ سانتی‌مترمربع) به‌دست آمد. با اضافه شدن یونیکونازول ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کم‌ترین سطح برگ (۱/۵۵ سانتی‌مترمربع) به‌دست آمد. اگرچه در همه تیمارهای انجام‌شده، اختلاف معنی‌دار و روند کاهشی در سطح برگ دیده‌می‌شود، اما در تیمار پاکلوبوترازول ۳۰۰ و یونیکونازول ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها حاصل شد (شکل ۲). در بررسی طول شاخه جدید (جست‌های رویشی)

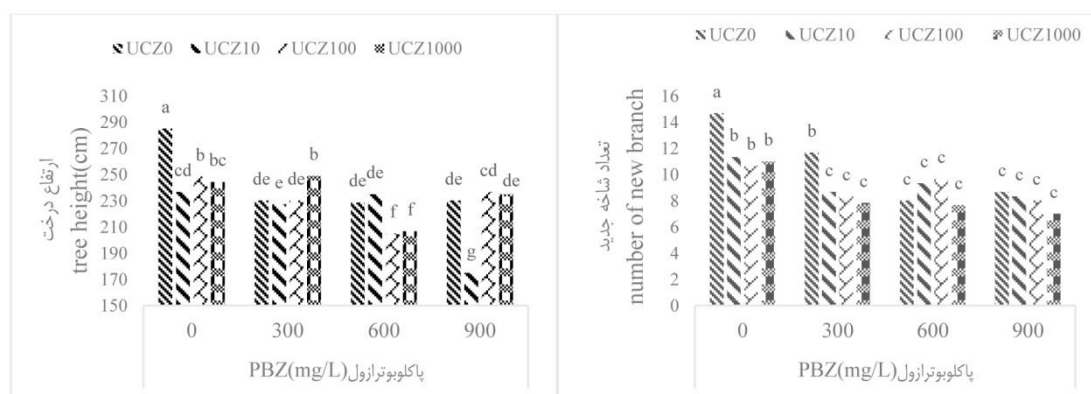


شکل ۲- اثر متقابل کندکننده‌های رشد پاکلوبوترازول و یونیکونازول بر طول شاخه لایم کوات.

Fig. 2. Interaction of growth retardants PBZ and UCZ on leaf area and branch length of limequat.

بررسی ارتفاع درخت نشان داد در تیمار شاهد بیش‌ترین ارتفاع به میزان ۲۸۵ سانتی‌متر مشاهده گردید که با اضافه شدن یونیکونازول و پاکلوبوترازول کاهش معنی‌داری به‌همراه داشت. این کاهش ارتفاع تقریباً روند ثابتی داشت تا این‌که در تیمار پاکلوبوترازول ۶۰۰ و یونیکونازول ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش معنی‌داری به‌دست آمد و ارتفاع درخت به ۲۰۵ سانتی‌متر کاهش یافت. در ادامه و با اعمال تیمار پاکلوبوترازول ۹۰۰ و یونیکونازول ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بیش‌ترین کاهش رشد ارتفاع درخت دیده شد، به‌طوری‌که ارتفاع در این تیمار در ۱۷۵ سانتی‌متر باقی‌ماند (شکل ۳).

نتایج مقایسه میانگین تعداد شاخه‌های جدید نشان داد که بیش‌ترین تعداد در تیمار شاهد با میانگین ۱۴/۶۶ به‌دست آمد که با اضافه شدن یونیکونازول از تعداد آن کاسته شده‌است. کاربرد پاکلوبوترازول ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌تنهایی نیز باعث کاهش معنی‌داری تعداد شاخه شده‌است، این در حالی است که پس از این تیمار و با کاربرد هم‌زمان پاکلوبوترازول و یونیکونازول تعداد شاخه به پایین‌ترین سطح از لحاظ آماری کاهش یافت و این تیمارها با یکدیگر تفاوت معنی‌دار نشان ندادند در حالی‌که در غلظت‌های بالاتر (۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معناداری بین غلظت دو بازدارنده رشد وجود نداشت (شکل ۳).

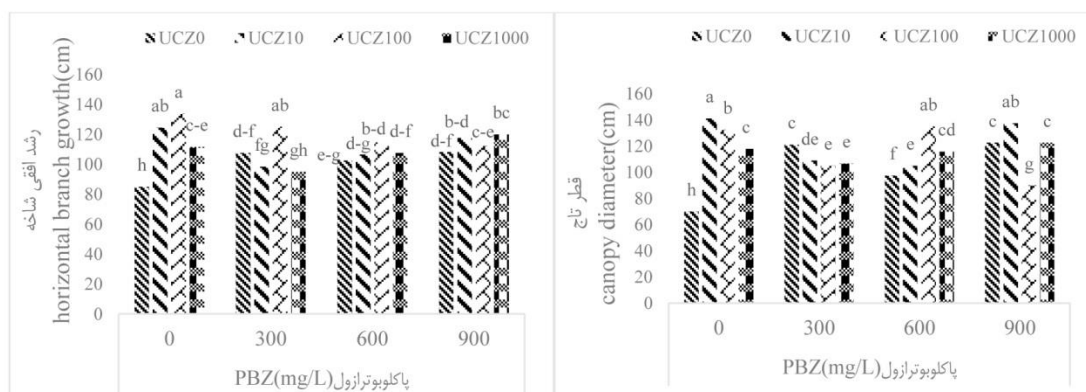


شکل ۳- اثر متقابل کندکننده‌های رشد پاکلوبوترازول و یونیکونازول بر تعداد شاخه جدید و ارتفاع لایم کوات.

Fig. 3. The mutual effect of PBZ and UCZ growth retarders on the number of new shoots and the height of limequat.

(۸۵ سانتی‌متر) در تیمار شاهد دیده شده که با اضافه شدن یونیکونازول به شکل معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری‌که در تیمار یونیکونازول ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیش‌ترین مقدار رشد افقی شاخه به طول ۱۳۳/۷۵ سانتی‌متر به‌دست آمد. هم‌چنین نتایج نشان داد که کاربرد پاکلوبوترازول به‌تنهایی موجب افزایش معنی‌دار رشد افقی شاخه نسبت به شاهد شده‌است ولی کاربرد هم‌زمان آن و مقادیر مختلف یونیکونازول روند افزایشی در طول شاخه را به‌همراه داشت به‌طوری‌که در تیمار پاکلوبوترازول ۳۰۰ و یونیکونازول ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رشد افقی شاخه به میزان ۱۲۵ سانتی‌متر دیده شد که با بیش‌ترین مقدار تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۴).

نتایج بررسی قطر تاج نشان داد کم‌ترین مقدار در تیمار شاهد به میزان ۷۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. اضافه شدن یونیکونازول ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب شده بیش‌ترین قطر تاج (۱۴۱/۱۶ سانتی‌متر) حاصل شود. اگرچه افزایش سطح یونیکونازول موجب کاهش معنی‌دار قطر تاج شده، به‌طوری‌که در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ۱۱۷/۸۳ سانتی‌متر با کاهش ۱۶/۵ درصدی مواجه شد. در ادامه در تیمارهای ترکیبی پاکلوبوترازول ۳۰۰ و یونیکونازول ۱۰۰ و پاکلوبوترازول ۶۰۰ و یونیکونازول ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نیز افزایش معنی‌دار در قطر تاج دیده شده که اختلاف معنی‌داری با بیش‌ترین مقدار نشان نمی‌دهد (شکل ۴). بررسی میانگین طول شاخه‌های شمالی جنوبی و شرقی غربی (رشد افقی) نشان داد که کم‌ترین مقدار رشد افقی

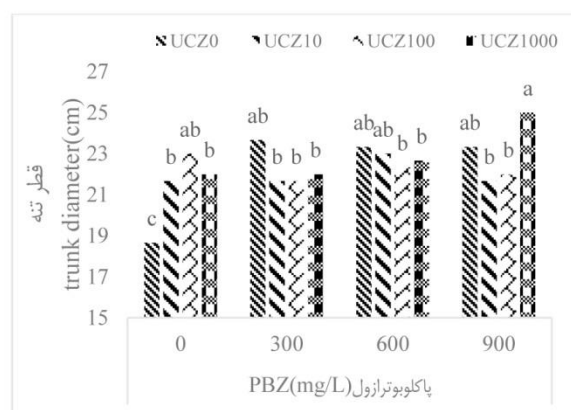


شکل ۴- اثر متقابل کندکننده‌های رشد پاکلوبوترازول و یونیکونازول بر قطر تاج و طول شاخه لایم کوات.

Fig. 4. Interaction effect of growth retardants PBZ and UCZ on crown diameter and branch length of limequat.

آن افزوده شد و بیش‌ترین مقدار در پاکلوبوترازول ۹۰۰ و یونیکونازول ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به میزان ۲۵ سانتی‌متر به‌دست آمد (شکل ۵).

میزان قطر تنه در همه تیمارها نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد. به‌طوری‌که در تیمار شاهد قطر تنه با میانگین ۱۸/۶۶ سانتی‌متر دیده شد که با افزایش سطوح تیمارهای کندکننده رشد، بر میزان



شکل ۵- اثر متقابل کندکننده‌های رشد پاکلوبوترازول و یونیکونازول بر قطر تنه لایم کوات.

Fig. 5. Interaction effect of growth retardants PBZ and UCZ on trunk diameter of limequat.

گیاه به جای کاهش تعداد میانگره‌ها، به شدت با کاهش طول میانگره‌ها مرتبط است و آن‌ها دریافتند که میانگره‌های بالاتر تحت کاربرد پاکلوبوترازول کوتاه می‌شوند (۱۸). نتایج پژوهشی بیانگر آن بود که یونیکونازول (UCZ) به دلیل توانایی در مهار سنتز جیبرلین، رشد شاخه را در انبه پالمر کاهش داد (۱۹). نتایج مشابهی در مطالعات با UCZ برای انبه 'Kent' (۲۰) و 'Palmer' (۲۱) گزارش شد. اکثر مهارکننده‌های رشد گیاه سنتز جیبرلین را کاهش می‌دهند و بنابراین می‌توانند برای کاهش طول شاخه و مدیریت رشد گیاه استفاده شوند (۲۲). پاکوتاهی گونه‌های درختی روش مهمی است که برای تولید تجاری برخی گیاهان استفاده می‌شود (۲۳). فناوری پاکوتاهی گیاهی یک سیستم جامع و پیچیده است که عوامل متعددی را در بر می‌گیرد و استفاده از بازدارنده‌های رشد گیاه می‌تواند کوتوله شدن بسیاری از گیاهان را تقویت کند (۲۴، ۲۵). پاکوتاه شدن گیاه نه تنها به ویژگی‌های ژنتیکی خود گیاه، بلکه به تنوع، غلظت و تعداد کاربرد PGRها نیز مربوط می‌شود (۲۶، ۲۷). نتایج در مطالعه‌ای نشان داد که تنوع و غلظت PGRها بر ارتفاع بوته، طول میانگره و قطر پیوندک *M. wufengensis* تأثیر به سزایی دارد.

بنابر نتایج بررسی صفات رویشی از جمله وزن تر، خشک و برگ، طول و تعداد شاخه و ارتفاع درخت با استفاده از کندکننده‌های رشد کاهش یافت، این در حالی است که استفاده از پاکلوبوترازول و یونیکونازول موجب افزایش قطر تاج و رشد عرضی به جای رشد طولی و عمودی و قطر تنه شده است. گزارش‌های متعددی وجود دارد که اثرات مختلف پاکلوبوترازول را بر مورفولوژی گیاهی محصولات را توصیف می‌کند. برای مثال در پژوهی گزارش گردید کاربرد PBZ باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه *Camelina sativa* در مقایسه با شاهد و اثر پاکوتاهی القایی و با بالاترین غلظت PBZ شد که در آن حداکثر کاهش (۴۷/۵ درصد کاهش) در ارتفاع بوته نسبت به شاهد به دست آمد (۱۶). به طور مشابه، افزایش غلظت پاکلوبوترازول در درختان میوه مانند گلابی و گردو باعث کاهش محتوای جیبرلین در برگ‌ها و کاهش رشد رویشی شد (۱۷). کاربرد پاکلوبوترازول ارتفاع بوته را کاهش داد و غلظت بیش‌تر پاکلوبوترازول باعث پاکوتاهی شدید شده است. کاهش ارتفاع بوته به عنوان ضروری‌ترین پیامد مورفولوژیکی کاربرد پاکلوبوترازول در نظر گرفته می‌شود. طبق بررسی‌های انجام‌شده، کاهش ارتفاع

هم‌چنین بیان گردید پس از محلول‌پاشی ۵۰۰ پی‌پی‌ام یونیکونازول در پنج نوبت، اثر مثبتی بر کاهش ارتفاع گیاه مشاهده شد. در مقایسه با CK، ارتفاع بوته، طول میانگره، قطر پیوندک و تعداد گره به ترتیب ۵۶/۹، ۶۲/۶، ۷۲/۸ و ۷۴/۴ درصد کاهش یافت و این اثرات نیز بهتر از آنچه بود که در پاکلوبوترازول و پروهگزادیون کلسیم ذکر شد. پژوهش‌گران دریافتند، یونیکونازول به‌طور مؤثرتری ارتفاع درختان را نسبت به پاکلوبوترازول در طی فرآیند محلول‌پاشی دو PGR بر روی نهال‌های خرما کاهش می‌دهد و در نتیجه گیاهان را برای مدیریت کشت فشرده، پاکوتاه می‌کند (۲۸). هم‌چنین اثرات غلظت‌های مختلف یونیکونازول را بر رشد مریم گلی مطالعه گردید و نتایج نشان داد ارتفاع گیاهان *S. miltiorrhiza* پس از محلول‌پاشی یونیکونازول به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت (۲۹). گزارش شده استفاده از غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول و یونیکونازول برای محلول‌پاشی نهال‌های پیوندی لیمو استفاده کردند و نتایج نشان داد که محلول‌پاشی یونیکونازول می‌تواند طول میانگره را تا ۵۰ درصد و شاخه‌های جدید را تا ۳۴ درصد کاهش و گیاهان را پاکوتاه کند (۳۰). مکانیسم PGRها عمدتاً شامل ممانعت از فعالیت آنزیم‌های خاص در طول سنتز GA است که باعث کاهش سطح GA در گیاهان می‌شود و در نتیجه از کشیدگی سلول در ناحیه ازدیاد طول میانگره‌ها جلوگیری می‌کند، طول میانگره را کوتاه می‌کند و اثر پاکوتاهی را در گیاهان به‌جا می‌گذارد (۳۱). برخی از پیش‌سازهای GA ارتباط نزدیکی با IAA، ABA، CAT و اتیلن

(ETH) دارند، بنابراین تغییرات در محتوای GA بر سطح کلی هورمون درون‌زا گیاه تأثیر می‌گذارد (۳۲). مطالعات نشان داده‌اند که یونیکونازول می‌تواند تشکیل مواد پیش‌ساز سنتز GA را با کاهش فعالیت کائورن اکسیداز کاهش دهد، در نتیجه از بیوسنتز GA، کاهش سطح GA درون‌زا، و کاهش محتوای IAA و در عین‌حال افزایش محتوای آبسزیک اسید را به‌دنبال داشته‌باشد (۱۰). تحقیقات نشان می‌دهد که بازدارنده رشد گیاه به‌طور مؤثری سنتز جیبرلین GA₃، IAA و ZT را مهار می‌کند و به‌طور هم‌زمان بر محتوای ABA تأثیر می‌گذارد و در نتیجه ارتفاع گیاه *Sanguisorba officinalis* را کوتاه می‌کند (۳۳). از یونیکونازول برای تیمار هیبریدهای آسیایی لیلیوم استفاده گردید و نتایج نشان داد UCZ می‌تواند محتوای IAA و GA₃ را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهد و محتوای زآتین نوکلئوزید (ZR) و ABA را افزایش دهد (۳۴). علاوه بر این، به‌تدریج با افزایش غلظت تیمار اثر آن افزایش یافت و در نتیجه از کشیدگی سلول‌های گیاهی جلوگیری کرد و ارتفاع گیاه با کاهش همراه شد.

صفات زایشی و کیفی: بررسی جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل تنظیم‌کننده‌های رشد بر تعداد گل، حجم میوه، مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیترا معنی‌دار شده‌است. هم‌چنین اثر ساده پاکلوبوترازول و یونیکونازول بر تعداد میوه و اثر ساده پاکلوبوترازول بر حجم میوه معنی‌دار شده‌است (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کندکننده‌های رشد بر صفات زایشی و کیفی لایم کوات.

Table 2. Analysis of variance of the effect of growth retardants on reproductive and qualitative traits of limequat.

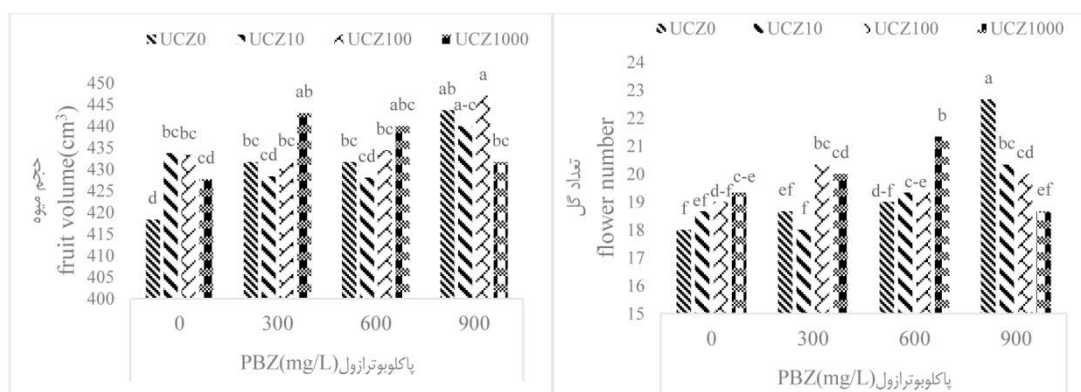
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square				
		تعداد گل Flower number	تعداد میوه Fruit number	حجم میوه Fruit volume	مواد جامد محلول Soluble solids	اسیدیته قابل تیتر Titratable acidity
پاکلوبوترازول PBZ (P)	3	6.08**	5.74**	307.05**	0.25**	15.16**
یونیکونازول UCZ (U)	3	1.25*	4.96**	74.16 ^{ns}	0.61**	17.34**
اثر متقابل P×U	9	5.02**	0.33 ^{ns}	136.77*	0.54**	04.13**
خطا Error	32	0.39	0.29	56.16	0.03	0.16
ضریب تغییرات C.V		3.21	12.76	1.72	2.58	5.27

ns، *، ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد

ns، *، ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

نشان داد با اعمال تنظیم‌کننده‌های رشد بر گیاه، حجم میوه افزایش یافت، به‌طوری‌که کم‌ترین حجم میوه در تیمار شاهد به میزان ۴۱۸/۳ سانتی‌مترمکعب به‌دست آمد که با اضافه شدن یونیکونازول سپس پاکلوبوترازول در مقادیر مختلف بر میزان حجم افزوده شد و با رسیدن به سطح پاکلوبوترازول ۹۰۰ و یونیکونازول ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیش‌ترین حجم میوه به میزان ۴۴۷ سانتی‌مترمکعب در این تیمار مشاهده گردید. اگرچه در ادامه و با بالا رفتن سطح یونیکونازول و رسیدن آن به ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش معنی‌داری در حجم میوه به‌دست آمد، ولی هم‌چنان از تیمار شاهد بیش‌تر بود (شکل ۶).

بررسی مقایسه میانگین نشان داد تیمار شاهد (پاکلوبوترازول صفر و یونیکونازول صفر) کم‌ترین تعداد گل (۱۸ عدد) را تولید نمود. با اضافه شدن یونیکونازول و رسیدن آن به سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد ملاحظه گردید. با اضافه شدن تیمار پاکلوبوترازول و یونیکونازول روند افزایشی ملاحظه گردید و در تیمار پاکلوبوترازول ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیش‌ترین تعداد گل با میانگین ۲۲ گل مشاهده شد. در حالی‌که با اضافه شدن یونیکونازول ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به این تیمار، کاهش معنی‌داری به‌دست آمد که به نظر می‌رسد افزایش غلظت هر دو تنظیم‌کننده این اثر را به‌دنبال داشته است (شکل ۶). بررسی حجم میوه

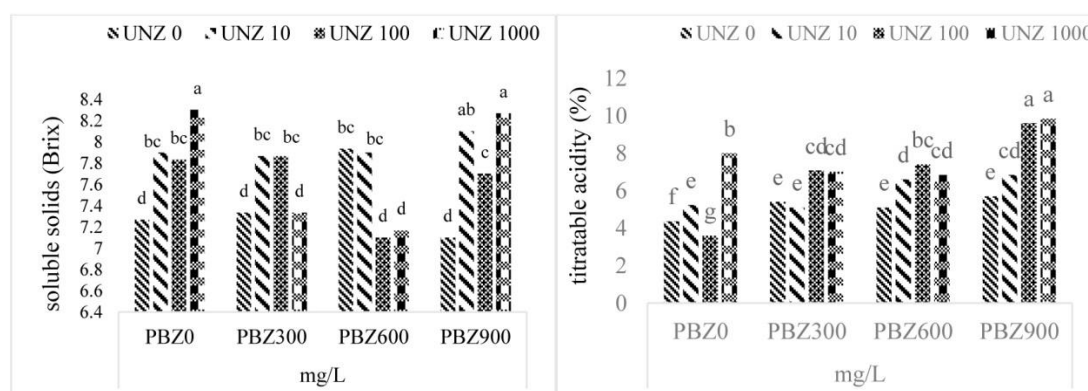


شکل ۶- اثر متقابل کندکننده‌های رشد پاکلوبوترازول و یونیکونازول بر تعداد گل و حجم میوه لایم کوات.

Fig. 6. Interaction effect of growth retardants PBZ and UCZ on flower number and fruit volume of limequat.

به‌علاوه، بررسی‌های انجام‌شده بر روی اسیدیت به قابل تیتراسیون بیانگر آن بود که مقدار این پارامتر با افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد، روند افزایشی را نشان می‌دهد. با این وجود، در ترکیب با گروه شاهد، افزودن یونیکونازول تا غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر منجر به کاهش معنادار اسیدیت شد که کم‌ترین مقدار به میزان ۳/۶ درصد ثبت گردید. در ادامه، با استفاده از غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، مجدداً روند افزایشی برای اسیدیت قابل تیتراسیون مشاهده شد. سایر تیمارها نیز نسبت به شاهد، سطح بالاتری را نشان دادند تا جایی‌که در تیمارهای ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پاکلوبوترازول، مقادیر بیش‌تری نسبت به شاهد ملاحظه گردید و با افزودن مقادیر مختلف یونیکونازول، مجدداً افزایش را نشان دادند. در نهایت، تیمار پاکلوبوترازول در غلظت ۹۰۰ و یونیکونازول در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با مقدار ۹/۸۳ درصد، بالاترین اسیدیت قابل تیتراسیون را به ثبت رساند (شکل ۷).

نتایج بررسی مواد جامد محلول نشان داد که استفاده از یونیکونازول به‌تنهایی منجر به افزایش معنادار این ویژگی شده‌است. در این راستا، در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر یونیکونازول، بالاترین مقدار به‌میزان ۸/۳ درجه بریکس ثبت گردید. همچنین، استفاده از پاکلوبوترازول در غلظت‌های ۳۰۰ و یونیکونازول در غلظت‌های ۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، به‌علاوه پاکلوبوترازول ۶۰۰ در حالت انفرادی و ترکیبی با یونیکونازول ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش معنادار نسبت به شاهد گردید. با این حال، در برخی تیمارهای حاوی پاکلوبوترازول به‌تنهایی و ترکیب آن با یونیکونازول، کاهش معناداری مشاهده شد که تفاوتی با گروه شاهد نداشت. در غلظت ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پاکلوبوترازول، حداقل میزان مواد جامد محلول با مقدار ۷/۱ درجه بریکس به‌دست آمد؛ اما با افزودن یونیکونازول و رسیدن به غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، افزایش معناداری مشاهده شد که در مقایسه با بالاترین مقدار تفاوت معنی‌داری نشان نداد و از لحاظ آماری در یک سطح قرار گرفتند (شکل ۷).

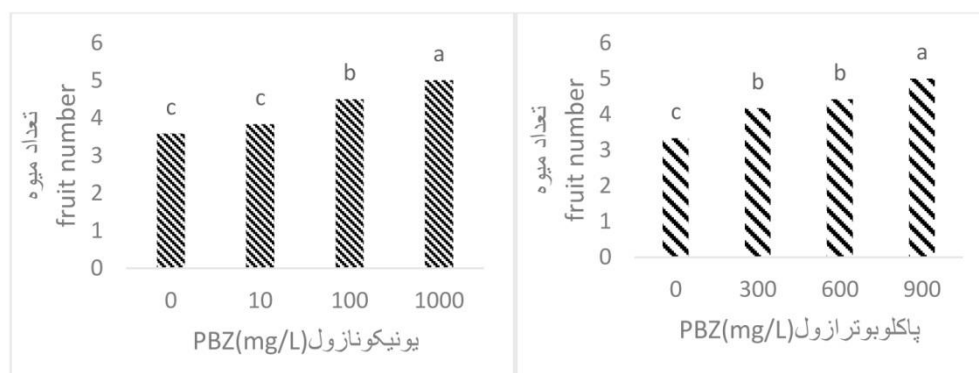


شکل ۷- اثر متقابل کندکننده‌های رشد پاکلوبوترازول و یونیکونازول بر مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتر لایم کوات.

Fig. 7. Interaction effect of growth retardants PBZ and UCZ on soluble solids and titratable acidity of limequat fruit.

تعداد و در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پنج عدد میوه مشاهده شد. هم‌چنین در تیمار شاهد پاکلوبوترازول با میانگین ۳/۳۳ کم‌ترین تعداد میوه و در تیمار ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با پنج عدد میوه بیش‌ترین تعداد ملاحظه گردید. در مجموع روند صعودی با افزایش سطح تنظیم‌کننده‌های رشد در تعداد میوه مشاهده گردید (شکل ۸).

نتایج بررسی تعداد میوه در شاخه بارده نشان داد که اثر ساده هر یک از تنظیم‌کننده‌های رشد، به‌شکل مشابهی افزایش این صفت را به‌همراه داشت، به‌طوری‌که کم‌ترین تعداد میوه در هر دو تنظیم‌کننده در تیمار شاهد به‌دست آمد و با اضافه شدن غلظت این مواد، بر تعداد افزوده شد. به‌طوری‌که در تیمار شاهد یونیکونازول با میانگین ۳/۵۸ عدد میوه کم‌ترین



شکل ۸- اثر کندکننده‌های رشد پاکلوبوترازول و یونیکونازول بر تعداد میوه لایم کوات.

Fig. 8. Effect of growth retardants PBZ and UCZ on the number of limequat fruit.

پاکلوبوترازول به میزان ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد، این در حالی است که در صفت حجم میوه، کاربرد هم‌زمان پاکلوبوترازول و یونیکونازول بیش‌ترین مقادیر را به‌دنبال داشت. هم‌چنین تعداد میوه

در بررسی صفات مرتبط با میوه نتایج نشان داد کاربرد پاکلوبوترازول به‌تنهایی و در ترکیب با یونیکونازول می‌تواند موجب افزایش این صفات شود. به‌طوری‌که بیش‌ترین مقادیر تعداد گل، در زمان کاربرد

در اثر کاربرد بیش‌ترین مقادیر این تنظیم‌کننده‌ها با افزایش معنی‌داری همراه بود. یکی از دلایل افزایش‌های احتمالی در عملکرد، تغییر در پوشش تاج پوشش است، که در آن تاج گیاه پوشش وسیع‌تری ایجاد نموده که به نوبه خود دریافت نور را برای فتوسنتز بهتر در برگ‌ها و ساقه‌های گیاهان تیمار شده با PBZ تسهیل می‌نماید. علاوه بر این، برگ‌ها در گیاهان تیمار شده با PBZ به دلیل کاهش سطح تیره‌تر شده و با افزایش کلروفیل مواجه می‌شوند و در نهایت برای مدت طولانی‌تری نسبت به شاهد روی گیاهان باقی می‌ماند. این ممکن است افزایش تجمع ماده خشک در ساقه و ریشه و افزایش هم‌زمان عملکرد را با وجود کاهش ارتفاع بوته به دلیل تیمارهای PBZ توضیح دهد (۳۵). افزایش عملکرد را می‌توان با پیری آهسته در برگ‌ها مرتبط دانست که مرحله رشد و بلوغ را طولانی می‌کند و در نتیجه عملکرد را افزایش می‌دهد (۳۶). هم‌چنین افزایش احتمالی عملکرد، ارتباط نزدیکی با گسترش ریشه دارد که جذب و استفاده از آب و مواد مغذی را تعیین می‌کند (۳۷). به‌صورت مشابه، گزارش گردید، به‌طور مثبت و معنی‌داری افزایش زیست توده با عملکرد همبستگی دارد (۳۸). افزایش عملکرد تا حدی به کاهش رشد رویشی در قسمت‌های بالای زمین، به‌دلیل تاج پوشش نسبتاً قوی‌تر گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول، و هم‌چنین افزایش عملکرد در گیاهان تیمار شده به‌دلیل بهبود سیستم ریشه‌دهی نسبت داده می‌شود. که احتمالاً جذب آب و مواد مغذی را افزایش داده است (۳۹). استفاده از PBZ نه تنها می‌تواند تعداد و نسبت جوانه‌های گل میوه را افزایش دهد، بلکه می‌تواند کمیت و کیفیت گل‌ها را بهبود بخشد و روند گل‌دهی و زود گل‌دهی را بهبود بخشد (۴۰). اثر فیزیولوژیکی PBZ عمدتاً به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم توزیع محصولات فتوسنتزی را با مسدود کردن سنتز جیبرلین

در گیاهان تنظیم می‌کند. بنابراین، میزان گل‌دهی، میوه‌دهی و عملکرد میوه درختان میوه افزایش می‌یابد (۴۱). در این مطالعه کاربرد PBZ باعث افزایش تشکیل میوه و تعداد میوه لایم کوات شد و با افزایش غلظت PBZ و رسیدن به غلظت ۹۰۰ میلی‌گرم در لیتر، PBZ به حداکثر رسید. هم‌چنین در این مطالعه، مشاهده شد که میزان مواد جامد محلول در میوه‌هایی که با یونیکونازول تیمار شدند، در ابتدا افزایش یافت. سپس، با افزودن پاکلوبوترازول و افزایش سطح هورمون‌های کاهنده رشد، مقدار مواد جامد محلول کاهش پیدا کرد. با این حال، در غلظت‌های ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پاکلوبوترازول و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر یونیکونازول، میزان مواد جامد به بالاترین مقدار خود رسید. تحقیقات نشان می‌دهند که افزایش سطح جیبرلین منجر به کاهش محتوی قند و نشاسته در لیمو می‌شود و هر دو این مواد با افزایش سطح هورمون کاهش می‌یابند (۴۲). هم‌چنین در پژوهشی بر روی گیاه لیچی به نتایج مشابهی دست یافتند (۴۳). پژوهش‌گران گزارش کردند که محلول‌پاشی پاکلوبوترازول (PBZ) منجر به افزایش محتوای آب برگ و TSS لیمو شد (۴۲). استفاده هم‌زمان از پاکلوبوترازول و یونیکونازول، به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، می‌تواند بر افزایش اسیدیته قابل‌تیتراسیون (TA) در میوه لایم کوات تأثیرگذار باشد. این ترکیبات با مهار بیوسنتز جیبرلین‌ها، رشد رویشی گیاه را کاهش داده و منجر به تجمع بیش‌تر مواد فتوسنتزی در میوه می‌شوند. کاهش رشد رویشی و افزایش تخصیص منابع به میوه، می‌تواند غلظت اسیدهای آلی را در میوه افزایش دهد (۴۴). هم‌چنین، تغییر در تعادل هورمونی گیاه و کاهش سطح جیبرلین‌ها ممکن است به افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با سنتز اسیدهای آلی منجر شود.

نتیجه‌گیری کلی

کشاورزان و تولیدکنندگان لایم کوات از غلظت ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پاکلوترازول و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر یونیکونازول به‌عنوان یک راهکار کارآمد برای افزایش تعداد گل‌ها و بهبود حجم میوه‌ها استفاده‌کنند. این یافته‌ها می‌تواند به افزایش باروری و کیفیت محصولات لایم کوات در شرایط گلخانه‌ای کمک کند و بهینه‌سازی عملکرد گیاه را به‌دنبال داشته‌باشد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از کندکننده‌های رشد پاکلوترازول و یونیکونازول می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی مؤثر در مدیریت کشت لایم کوات موردتوجه قرار گیرد. این تنظیم‌کننده‌ها نه‌تنها موجب کاهش صفات رویشی مانند وزن برگ و سطح برگ می‌شوند بلکه به بهبود صفات زایشی نیز کمک می‌کنند. توصیه می‌شود که

منابع

1. Kouchaky, Z., Razzaghi Borkhani, F., Ghorbani Piralidehi, F., & Azizi Khalkheili, T. (2024). Explaining the Outcomes of Green Entrepreneurship Establishment in the Greenhouse Production System of Golestan Province. *Journal of Entrepreneurial Strategies Agriculture*, 11(1), 40-56. doi:10.61186/jea.11.1.40. [In Persian]
2. Iran Statistics Center (2021). share and rank of provinces based on indicators and important variables of the agricultural sector, accessible at: amar.org.ir.
3. Li, Q., Zhang, L., Cao, S., Li, J. A., Yan, J., Xiong, L., & He, J. (2023). Dwarfing effect of plant growth retarders on *Melaleuca alternifolia*. *Forests*, 14(4), 732.
4. Whipker, B. E., & Latimer, J. (2013). Plant growth regulator guide. *Ball Publ., West Chicago, IL*.
5. Khan, M. S. H., Wagatsuma, T., Akhter, A., & Tawaray, K. (2009). Sterol biosynthesis inhibition by paclobutrazol induces greater aluminum (Al) sensitivity in Al-tolerant rice. *American Journal of Plant Physiology*, 4, 89-99.
6. Kim, J., Wilson, R. L., Case, J. B., & Binder, B. M. (2012). A comparative study of ethylene growth response kinetics in eudicots and monocots reveals a role for gibberellin in growth inhibition and recovery. *Plant Physiology*, 160(3), 1567-1580.
7. Kondhare, K. R., Hedden, P., Kettlewell, P. S., Farrell, A. D., & Monaghan, J. M. (2014). Use of the hormone-biosynthesis inhibitors fluridone and paclobutrazol to determine the effects of altered abscisic acid and gibberellin levels on pre-maturity α -amylase formation in wheat grains. *Journal of Cereal Science*, 60(1), 210-216.
8. Pal, S., Zhao, J., Khan, A., Yadav, N. S., Batushansky, A., Barak, S., & Rachmilevitch, S. (2016). Paclobutrazol induces tolerance in tomato to deficit irrigation through diversified effects on plant morphology, physiology and metabolism. *Scientific Reports*, 6(1), 39321.
9. Magome, H., Yamaguchi, S., Hanada, A., Kamiya, Y., & Oda, K. (2004). Dwarf and delayed-flowering 1, a novel Arabidopsis mutant deficient in gibberellin biosynthesis because of overexpression of a putative AP2 transcription factor. *The Plant Journal*, 37(5), 720-729.
10. Zhou, W., & Leul, M. (1999). Uniconazole-induced tolerance of rape plants to heat stress in relation to changes in hormonal levels, enzyme activities and lipid peroxidation. *Plant Growth Regulation*, 27, 99-104.
11. Bazurto, F. P., Celi, A., Corozo, L., & Solís, L. (2022). Importance of paclobutrazol in out-of-season citrus production. *Manglar*, 19(1), 117-127.

12. Du, Y., Li, J., Dong, J., Hu, C., Li, D., Tan, Q., & Lai, X. (2022). Effects of different regulating measures on the floral and nutritional physiology of lemon. *Agronomy*, 12(10), 2381.
13. Boroujerdnia, M., & Tarahi, A. (2020). Growth regulators and their effects on date palm physiology. *Technical Journal of the Date and Tropical Fruit Research Institute*. Publication number 58379, 1-9 [In Persian]
14. Mohammadnia, R., & Sepahvand, M. (2019). *Measurement of LAI leaf area index using graphic software*. 6th national Conference of Medical Herbs Conventional Medicine and Organic Agriculture, Hamedan, Iran. [In Persian]
15. Rana, G., & Kartar Singh, K. S. (1992). Storage life of sweet orange fruits as influenced by fungicides, oil emulsion and package practices.
16. Kumar, S., Ghatty, S., Satyanarayana, J., Guha, A., Chaitanya, B. S. K., & Reddy, A. R. (2012). Paclobutrazol treatment as a potential strategy for higher seed and oil yield in field-grown *Camelina sativa* L. Crantz. *BMC Research Notes*, 5, 1-14.
17. Orozco-Meléndez, L. R., Hernández-Rodríguez, O. A., Cruz-Álvarez, O., Robles-Hernández, L., Ávila-Quezada, G. D., Chavez, E. S., & Ojeda-Barrios, D. L. (2022). Paclobutrazol and its use in fruit production: A review. *Phyton*, 91(1), 1.
18. Tesfahun, W., & Menzir, A. (2018). Effect of rates and time of paclobutrazol application on growth, lodging, and yield and yield components of tef [*Eragrostis Tef* (Zucc.) Trotter] in Adadi district, East Shewa, Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 8(3), 104-117.
19. Koutroubas, S., & Damalas, C. (2015). Resposta do girassol a repetidas aplicações foliares de Paclobutrazol. *Planta Daninha*, 33, 129-135.
20. Silva, G. J. N., Souza, E. M., Rodrigues, J. D., Ono, E. O., & Mouco, M. A. C. (2009). Uniconazole on mango floral induction cultivar 'Kent' at submedial São Francisco region, Brazil. In *XI International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production*, 884, 677-682.
21. Silva, K. K. A., Ono, E. O., Mouco, M. D. C., Nogueira e Silva, G. J., Souza Júnior, R. D., Silva, N. D., & Silva, R. D. C. D. (2014). Uniconazole at flowering and production of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Palmer. *Magistra*, 26(4), 507-517.
22. Mouco, M. A. D. C., Ono, E. O., & Rodrigues, J. D. (2010). Inibidores de síntese de giberelinas e crescimento de mudas de mangueira 'Tommy Atkins'. *Ciência Rural*, 40, 243-249.
23. Wójcik, P. (2019). Response of 'red delicious' apple trees drip-fertigated with ammonium nitrate to application of silicic acid. *Scientia Horticulturae*, 249, 15-21.
24. Wei, M. B., & Wei, R. X. (2009). Paclobutrazol Application in Fruit-tree. *Beijing Agric*, 9, 51-54.
25. Cui, H. Y., Huang, X. G., Xin, B. J., Zhang, Q. Y., Yu, H. X., & Liu, Q. D. (1996). The use of Paclobutrazol on the young Apple trees. *Journal of Fruit Science*, 13, 84-87.
26. Fang, W., Jianzhong, X., & Zhibin, L. (2010). The influence of paclobutrazol on physiological characteristics of *Rhododendron hybrides* leaves. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 33, 50-53.
27. Kang, S. M., Kim, J. T., Hamayun, M., Hwang, I. C., Khan, A. L., Kim, Y. H., & Lee, I. J. (2010). Influence of prohexadione-calcium on growth and gibberellins content of Chinese cabbage grown in alpine region of South Korea. *Scientia Horticulturae*, 125(2), 88-92.
28. Cohen, Y., Aloni, D. D., Adur, U., Hazon, H., & Klein, J. D. (2013). Characterization of growth-retardant effects on vegetative growth of date palm seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(3), 533-541.

29. Gao, J. F. (2006). Experimental guidance for plant physiology. *China Higher Education Press: Beijing, China*.
30. Le Roux, S., & Barry, G. H. (2010). Vegetative growth responses of citrus nursery trees to various growth retardants. *HortTechnology*, 20(1), 197-201.
31. Lailaty, I. Q., & Nugroho, L. H. (2021). Vegetative anatomy of three potted Chrysanthemum varieties under various paclobutrazol concentrations. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(2), 563-570.
32. Wang, Z. (2000). Plant Physiology; China Agricultural Press: Beijing, China, pp. 265-290.
33. Yang WeiRu, Y. W., Zhang YanGuang, Z. Y., & Shi XiuXia, S. X. (2006). Effect of chlormequat on height and endogenous hormones of *Sanguisorba officinalis*. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 29, 12-15.
34. Li, N. Y., & Liu, B. (2010). Effects of plant growth retardant S3307 on the growth and endogenous hormones contents of lily and the correlation analysis. *Acta Agriculture and Boreal Occident*, 19, 153-156.
35. Tesfahun, W. (2018). A review on: Response of crops to paclobutrazol application. *Cogent Food & Agriculture*, 4(1), 1525169.
36. Pan, S., Rasul, F., Li, W., Tian, H., Mo, Z., Duan, M., & Tang, X. (2013). Roles of plant growth regulators on yield, grain qualities and antioxidant enzyme activities in super hybrid rice (*Oryza sativa* L.). *Rice*, 6, 1-10.
37. Qi, W. Z., Liu, H. H., Liu, P., Dong, S. T., Zhao, B. Q., So, H. B., & Zhao, B. (2012). Morphological and physiological characteristics of corn (*Zea mays* L.) roots from cultivars with different yield potentials. *European Journal of agronomy*, 38, 54-63.
38. Zhang, X., Chen, S., Sun, H., Wang, Y., & Shao, L. (2009). Root size, distribution and soil water depletion as affected by cultivars and environmental factors. *Field Crops Research*, 114(1), 75-83.
39. Kamran, M., Wennan, S., Ahmad, I., Xiangping, M., Wenwen, C., Xudong, Z., & Tiening, L. (2018). Application of paclobutrazol affect maize grain yield by regulating root morphological and physiological characteristics under a semi-arid region. *Scientific Reports*, 8(1), 4818.
40. Sharaf-Eldien, M. N., El-Bably, S. Z., & Magouz, M. R. (2017). Effect of Pinching and Spraying of Paclobutrazol on Vegetative Growth, Flowering and Chemical Composition of *Zinnia elegans*, Jacq. *Journal of Plant Production*, 8(5), 587-592.
41. Cruz, M. D. C. M. D., Siqueira, D. L. D., Salomão, L. C. C., Cecon, P. R., & Santos, D. D. (2007). Levels of carbohydrates in acid lime tree 'Tahiti' treated with paclobutrazol. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29, 222-227.
42. Du, Y., Li, J., Dong, J., Hu, C., Li, D., Tan, Q., Zhang, J., Li, J., Zhou, X., & Zhu, C. (2022). Effects of different regulating measures on the floral and nutritional physiology of lemon. *Agronomy*, 12(10), 2381.
43. Zhang HongNa, Z. H., Su ZuanXian, S. Z., & Chen HouBin, C. H. (2016). Effects of GA3 and PP333 on flower formation, carbon and nitrogen accumulation in leaves of litchi Feizixiao. *Journal of Southern Agriculture*, 47(12), 2098-2102.
44. Msimbira, L. A., & Smith, D. L. (2020). The roles of plant growth promoting microbes in enhancing plant tolerance to acidity and alkalinity stresses. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 106.