نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۵۸۰-۵۶۷
شاپا: ۴۷۳۰-۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 32, No. 4, Winter 2019, p. 567-580
ISSN: 2008 - 4730

مدیریت رشد و گل‌دهی شمعدانی معمولی (*Pelargonium hortorum*) در فضای رشد محدود باغ شیشه‌ای (تراریوم)

عزیزاله خندان میرکوهی[1*]- سیده راضیه واعظ موسوی[2]- احمد خلیقی[3]- روح انگیز نادری[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۲

چکیده

این پژوهش به منظور مدیریت رشد و بهبود کیفیت گل‌دهی شمعدانی (*Pelargonium hortorum* L.H. Bailey) در باغ شیشه‌ای (تراریوم) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۵ تکرار و ۱۵ تیمار تنظیم کننده‌رشد انجام شد. گیاهان شمعدانی در ابتدا با دو نوع کند کننده رشد شامل کلرمکوات کلرید (سایکوسل) در غلظت صفر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و پاکلوبوترازول در غلظت صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و سپس برای مدیریت گل‌دهی با غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بنزیل آدنین تیمار شدند. ویژگی‌های رویشی، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و همین‌طور ویژگی‌های مربوط به گل‌دهی ارزیابی شد. هر دو کندکننده رشد در غلظت بالا منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع شدند، در حالی‌که درمورد صفات قطر ساقه، تعداد برگ و سطح برگ پاکلوبوترازول باعث کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد شد ولی سایکوسل تأثیر معنی‌داری نشان نداد. هم چنین کاربرد کندکننده‌های رشد باعث کاهش معنی‌دار رنگیزه‌های برگ شامل، کلروفیل‌ها و نیز آنتوسیانین‌ها شد. کاربرد بنزیل آدنین به تنهایی و در اثر متقابل با کندکننده‌های رشد باعث افزاش میزان کلروفیل‌های برگ شد. میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، سطح برگ و نیز قطر ساقه صفاتی بودند که در اثر بنزیل آدنین در مقایسه با کاربرد کندکننده‌های رشد افزایش نشان دادند در حالی‌که سایر صفات تحت تأثیر تیمار بنزیل آدنین قرار نگرفتند. به‌طور کلی، تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول و بدون نیاز به بنزیل آدنین باعث بهبود شاخص‌های تولید گیاه شمعدانی شد.

واژه‌های کلیدی: بنزیل آدنین، پاکلوبوترازول، تنظیم کننده رشد، سایکوسل، گلکاری، گیاهان زینتی، گیاهان گلدانی

مقدمه

کشت انواع گیاهان برگ زینتی در باغ شیشه‌ای (تراریوم) مرسوم است، ولی استفاده از گیاهان گلدار در چنین محیطی مشکل بوده و بندرت مشاهده می‌شود. شمعدانی معمولی (*Pelargonium hortorum*) که به شمعدانی باغی نیز معروف است، یکی از محبوب‌ترین گیاهان گلدانی است که در اکثر مواقع سال می‌تواند گل داشته باشد و شاید بتوان با مدیریت رشد و گلدهی از آن به‌عنوان یک گیاه مطلوب در تراریوم استفاده نمود (نگارنده). این گیاه از جمله شناخته شده‌ترین گیاهان گلدانی و باغچه‌ای است که در بین ۲۵ گیاه باغچه‌ای محبوب در دنیا جایگاه اول را داراست (۹).

امروزه یکی از اهداف تولیدکنندگان تجاری محصولات باغبانی تولید گیاهانی با کیفیت یکنواخت از لحاظ مورفولوژیکی است، یکی از فاکتورهای مؤثر در تولید بسیاری از گیاهان زینتی مدیریت و کنترل یکنواختی در ارتفاع آنهاست که برای رسیدن به این هدف از فنون خاصی از جمله از روش‌های شیمیایی و غیرشیمیایی استفاده می‌شود. روش‌های غیرشیمیایی با بهره‌گیری از پتانسیل ژنتیکی ارقام در ایجاد پاکوتاهی و یا با تغییر فاکتورهای رشد و عوامل محیطی مانند تغییر شدت، کیفیت و مدت زمان نوردهی و یا تغییر میانگین دما و اختلاف دمای شبانه‌روز و هم چنین ایجاد محدودیت در محیط کشت و استرس آبی و تغذیه‌ای تا سطحی که کیفیت گیاه را تحت تأثیر قرار ندهد امکان‌پذیر می‌باشند. استفاده از محدودیت تغذیه با فسفر برای کنترل ارتفاع در گیاهان زینتی گل جعفری (*Tagetes patula* L.)، گل حنا (*Impatiens walleriana* Hook.) و شمعدانی (*Pelargonium horturum* cv. Bulles Eye) گزارش شده است (۶ و ۱۵). محدودیت در محیط ریشه نیز از جمله یکی از روش‌های کنترل رشد به‌ویژه در تولید بنسای مورد توجه است.

اما روش‌های شیمیایی کنترل ارتفاع با استفاده از ترکیبات کند کننده رشد انجام می‌شود، این ترکیبات با کاهش تولید جیبرلین رشد طولی سلول و در نتیجه رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۴).

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب استادیار، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادان گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: (Email: khandan.mirkohi@ut.ac.ir
DOI: 10.22067/jhorts4.v32i4.69721

پاکلوبوترازول[1] با نام تجاری بونزای[2] و کلرمکوات کلرید[3] با نام تجاری سایکوسل[4] از جمله کندکننده‌های رشد شیمیایی مرسوم هستند که جهت کنترل ارتفاع برخی گیاهان زینتی گلدانی به‌کار برده می‌شوند (۴). البته تولید کننده باید براساس نوع محصول، هزینه، نیاز بازار و میزان کاهش رشدی که مد نظر است روش مناسب را انتخاب کند.

سایتوکینین‌ها یکی دیگر از پنج گروه اصلی تنظیم کننده‌های رشد هستند که تأثیرات مختلفی از جمله از سرگیری رشد جوانه‌ها و از بین بردن خواب جوانه، ارتقا جوانه‌زنی بذر (۱۹) افزایش شاخه‌های جانبی (۳۱)، بهبود گل‌دهی (۱۸)، تأخیر و یا جلوگیری از زردی و پیری برگ‌ها، افزایش عمر پس از برداشت گل‌ها، تشکیل و رشد برگ و گل (۱۳) را می‌توانند در گیاهان ایجاد کنند. بنزیل آدنین از جمله سایتوکینین‌های مصنوعی است که کاربردهای زیادی در کشاورزی و باغبانی دارد. این ماده می‌تواند با تأثیر بر تحریک رشد شاخه‌های جانبی جدید، بر تعداد گل و طول دوره گلدهی اثرگذار باشد (۲۳).

بنابراین با توجه به اهمیت گیاه زینتی شمعدانی از نظر محبوبیت عمومی و طول دوره گلدهی قابل توجه آن، امکان مدیریت رشد و گلدهی این گیاه در شرایط رشد محدود در باغ شیشه‌ای (تراریوم) طی آزمایشی با کاربرد ترکیبات کند کننده‌ی رشد سایکوسل و پاکلوبوترازول با توجه به اثر آنها بر رشد و کاربرد بنزیل آدنین با توجه به امکان اثر آن در کیفیت گلدهی شمعدانی ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در گلخانه و آزمایشگاه گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهر کرج در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۵ تکرار انجام شد. تیمار کندکننده رشد شامل پاکلوبوترازول در غلظت‌های صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و سایکوسل در غلظت‌های صفر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تیمار بنزیل آدنین مرتبط با گلدهی در غلظت‌های صفر،۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بودند.

ابتدا بذور شمعدانی معمولی (*Pelargonium hortorum* L.H. Bailey 'Horizon') در پاییز ۱۳۹۴ در سینی کشت حاوی پیت ماس کاشته شد و تغذیه نشاها با محلول غذایی هوگلند تغییر یافته که در آن میزان فسفر تقلیل داده شده بود، انجام شد (۱۵). گیاهچه‌های حاصل در مرحله ۲ تا ۴ برگی به ظروف شیشه‌ای با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر (باغ شیشه‌ای یا تراریوم) منتقل شدند. مراحل مرسوم تهیه تراریوم از جمله ایجاد زهکش، قرار دادن لایه جداکننده و اضافه نمودن بستر کشت قبل از انتقال نشا انجام شد. بستر کشت مورد استفاده در تراریوم مخلوطی از پیت ماس (۷۰ درصد حجمی)، پرلیت ریز (۱۰ درصد حجمی) و خاک لوم (۲۰ درصد حجمی) بود. تغذیه گیاهان در تراریوم حسب نیاز گیاه با محلول غذایی ذکر شده انجام شد. میانگین دمای روزانه گلخانه ۳±۲۵ و دمای شبانه ۳±۱۸ درجه سلسیوس و میانگین رطوبت نسبی گلخانه ۵±۷۰ و شدت نور به طور تقریبی ۵۰۰ میکرومول بر ثانیه بر متر مربع بود. تیمار کندکننده رشد شامل پاکلوبوترازول و سایکوسل یک ماه بعد از انتقال و استقرار گیاهان و در مرحله ۴-۶ برگی به‌شکل محلول‌پاشی (بهمن ۱۳۹۴) اعمال شد. تیمار بنزیل آدنین مرتبط با گلدهی نیز به‌شکل محلول‌پاشی در اردیبهشت ۱۳۹۵ اعمال شد.

ارزیابی رشد گیاه با مقایسه صفاتی از قبیل ارتفاع گیاه از سطح خاک تا جوانه انتهایی توسط خط‌کش و برحسب سانتی‌متر و شمارش تعداد برگ‌ها و شاخه‌های جانبی، سطح برگ گیاهان با استفاده از دستگاه (England Leaf area meter ΔT)، قطر ساقه با استفاده از کولیس و برحسب میلی‌متر انجام شد. در پایان آزمایش کل بخش هوایی گیاه از سطح خاک بریده شد و ریشه‌ها نیز جدا گردیدند و بلافاصله وزن تر بخش هوایی و ریشه با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و ثبت شده سپس به خشک‌کن (آون) ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و پس از ۴۸ ساعت وزن خشک اندازه‌گیری شد. صفات مرتبط با گلدهی از جمله زمان تا گلدهی بر حسب روز از زمان انتقال نشا تا شروع گل‌دهی محاسبه شد. طول دمگل نیز با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شده و سپس تعداد گل در هر گل آذین شمارش شد. شاخص آنتوسیانین‌های برگ مطابق روش واگنر (۲۹) و محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدهای برگ مطابق روش آرنون (۱) و با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفتومتر مدل Bio Quest, CE 2502 UK) اندازه‌گیری شد.

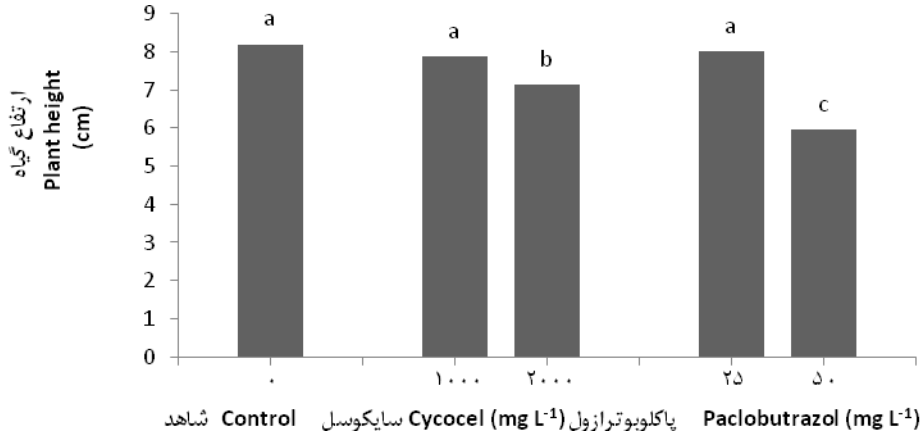
جهت مقایسه اثر محدودیت فضای کشت در رشد، علاوه بر وجود شاهد در سطوح تیمار در شرایط تراریوم تعدادی گیاه در گلدان نیز کشت گردید و همه صفات در این گروه از گیاهان نیز ارزیابی شد. مقایسه گیاهان دو گروه شاهد در داخل و خارج از محیط رشد محدود از طریق آزمون t مستقل و با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) انجام شد. داده‌های حاصل از آزمایش مرتبط با تیمارها در شرایط تراریوم با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۳) تجزیه آماری و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

اثر کندکننده‌های رشد بر شاخص ارتفاع در سطح یک درصد

1- Paclobutrazol
2- Bonzi
3- Chlromequat chloride
4- Cycocel

معنی‌دار بود، درحالی که بنزل آدنین و نیز اثر متقابل آن با کندکننده‌های رشد تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر ارتفاع نداشت. بیشترین کاهش ارتفاع مربوط به تیمار پاکلوبوترازول در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و سپس سایکوسل ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۱)، به ویژه کاربرد این غلظت بدون استفاده از بنزیل آدنین منجربه ایجاد کوتاه‌ترین گیاهان شد اما غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول اختلاف معنی‌داری با شاهد ایجاد نکرد. کاهش معنی‌دار ارتفاع در شمعدانی با کاربرد تریازول‌ها و ازجمله پاکلوبوترازول در گذشته نیز گزارش شده است (۲۸). نتیجه مشابه طی اثر تنظیم کننده‌های رشد بر گیاه استئوسپرموم (*Osteospermum ecklonis*) نیز گزارش شده است (۲۲). در پژوهشی که روی اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بر چهار گونه گیاه آپارتمانی پیچ سوئدی (*Plectranthus verticillatus*)، شفلرا (*Schefflera actinophylla*)، کروتون (*Codiaeum variegatum*) و سینگونیوم (*Syngonium podophylium*) انجام شد نشان داد که تریازول‌ها و به ویژه پاکلوبوترازول بر کنترل رشد و کاهش طول ساقه هر چهار گونه گیاهی مؤثر بودند ولی کاربرد پاکلوبوترازول درمورد گیاه پیچ سوئدی منجربه پاکوتاهی بیش از حد شد که از نظر بصری قابل قبول نبود (۳۰). نتایج تیمار تنظیم کننده‌های رشد بر زنبق سیاه (*Iris nigricans*) نیز کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه را بر اثر تیمار پاکلوبوترازول و همین‌طور سایکوسل نشان داد، در این آزمایش هم تیمار پاکلوبوترازول اثر کاهشی بیشتری در مقایسه با سایکوسل اعمال کرده است (۲). طی بررسی پاسخ گیاه کورئوپسیس (*Coreopsis verticillata*) و کوکب کوهی (*Rudbekia fulgeri*) به ترکیبات کندکننده رشد نیز مشخص شد که سایکوسل بر کنترل ارتفاع گیاه کوکب کوهی تأثیری نگذاشته است، در حالی‌که درمورد گیاه کورئوپسیس افزایش غلظت سایکوسل منجر به افزایش کنترل ارتفاع شده است (۳). بنزیل آدنین به عنوان یک سایتوکینین مصنوعی از نظر تأثیر بر صفات رویشی و گل‌دهی اثرات متفاوتی می‌تواند داشته باشد و این تا حد زیادی به گونه گیاهی و زمان کاربرد این ترکیب بستگی دارد. به عنوان مثال کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه آنمون در پاسخ به تیمار بنزیل آدنین گزارش شده است (۱۲). این در حالی است که در آزمایشی این ترکیب اثری بر طول ساقه گیاه و گل‌دهی شیپوری (*Zantedeschia spreng*) نگذاشته است (۱۴).



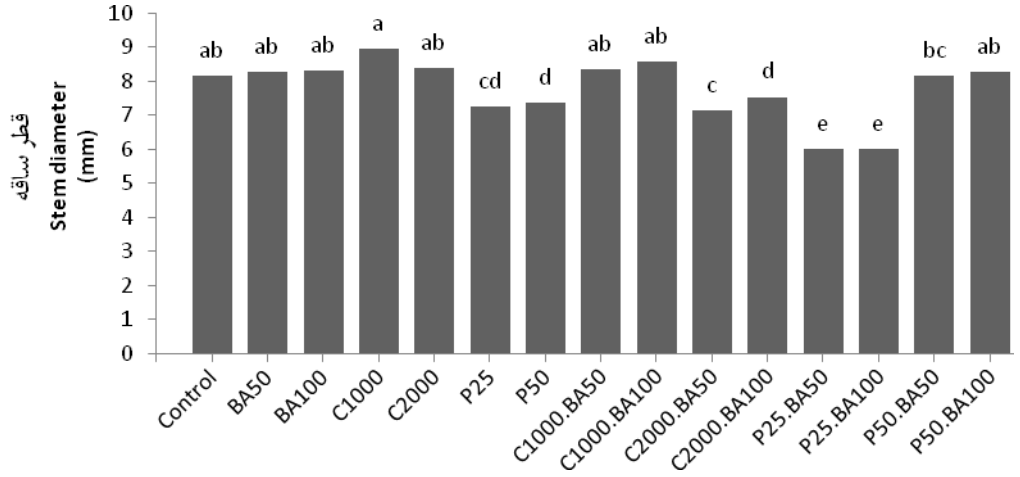
شکل ۱- اثر کندکننده‌های رشد سایکوسل (CCC) و پاکلوبوترازول (PBZ) در مقایسه با شاهد (Control) بر ارتفاع شمعدانی در شرایط تراریوم LSD (p≤0.05)

Figure 1- Effect of Cycocel (CCC) and Paclobutrazol (PBZ) compared with control on height of Geranium under terrarium conditions. LSD (P≤0.05)

مقایسه بین گیاهان بدون تیمار تنظیم کننده‌های رشد در داخل و خارج محیط محدود نشان داد که محدود سازی محیط کشت گیاه اثر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش ارتفاع و کنترل رشد در شمعدانی داشته است این اختلاف ارتفاع در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). طی بررسی اثر اندازه محیط کشت بر گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) مشخص شد که ارتفاع و همین‌طور گسترش گیاه به میزان قابل توجهی تحت تأثیر اندازه محیط کشت قرار می‌گیرد و گیاهانی که در ظروف محدود تر رشد کردند کاهش ارتفاع معنی‌داری در مقایسه با گیاهانی که در شرایط معمول کشت شده و رشد کردند، نشان دادند (۷). هم چنین اثر محدودسازی ریشه بر کاهش اندازه گیاه سلوی (*Salvia splendens*) نیز گزارش شد (۱۱). کاهش رشد بر اثر کاهش فضای در دسترس ریشه در بسیاری از محصولات باغبانی شامل سبزیجات و گیاهان زینتی و نیز درختان جنگلی مورد بررسی قرار گرفته و در اکثر موارد باعث کاهش قابل ملاحظه در رشد شده است (۲۴). به طور کلی محدودیت محیط کشت و فضای در دسترس ریشه می‌تواند بر تمام ویژگی‌های مورفولوژی و همچنین گل‌دهی

اثرگذار باشد، این محدودیت بر اندام هوایی تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد زیرا منجر به بهم خوردن تعادل در تبادلات بین ریشه و انـدام هـوایی می‌شود که این تبادلات عموما به صورت اثر بر رشد گیاه بروز می‌کند (۲۰).

در این پژوهش تأثیر تنظیم کننده‌های رشد بر قطـر سـاقه باعـث کاهش معنی‌دار قطر ساقه در سطح ۱ درصد شد این در حالیسـت کـه اثر متقابل بنزیل آدنین و کندکننده‌های رشد این کاهش قطر سـاقه را تشدید کرد. کمترین قطر ساقه مربوط به غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازل به همراه بنزیل آدنین بود (شکل ۲). کاهش معنی‌دار قطر سـاقه گیـاه کنسـولیدا (*Consolida orientalis*) نیـز بـا کـاربرد پاکلوبوترازول گزارش شده است (۱۷). قطر ساقه درمقایسه بین شـاهد گیاهان درون شیشه با گیاهان در خارج از محیط محدود نشان دهنـده کاهش معنی‌دار قطر ساقه بر اثر محدودسازی محیط ریشه اسـت کـه این اثر کاهشی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد.



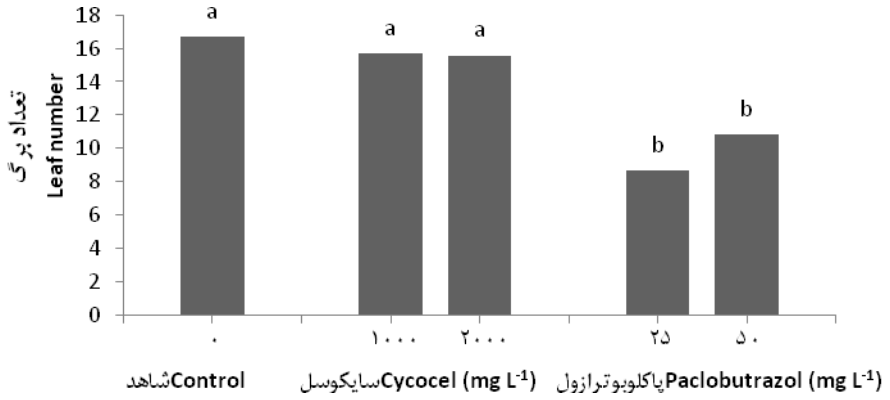
شکل ۲- اثر اصلی و برهمکنش بنزیل آدنین (BA) در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سایکوسل (C) در غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و پاکلوبوترازول (P) در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با شاهد (Control) بر قطر ساقه شمعدانی در شرایط تراریوم LSD ($P\leq0.05$)

Figure 2- Effect of Banzyleadenine (BA; 50 and 100 mg L^{-1}), Cycocel (C; 1000 and 2000 mg L^{-1}) Paclobutrazol (P; 25 and 50 mg L^{-1}), and their interactions compared with control on stem diameter of Geranium under terrarium conditions. LSD ($P\leq0.05$)

نتایج نشان داد که کاربرد پاکلوبوترازول منجر به کاهش معنـی‌دار تعداد برگ‌های شمعدانی شد، کاربرد بنزیل آدنین به ویـژه در غلظـت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش تعداد برگ نسبت به شاهد شد، اما این اثر افزایشی اختلاف معنی‌داری با شاهد ایجاد نکرد (شکل ۳). اثـر متقابل بنزیل آدنین و کندکننده‌های رشد نیز تـاثیر قابـل ملاحظـه‌ای برای این صفت نداشت. درحالی‌که کاربرد کند کننده پاکلوبوترازول اثر کاهشی بر تعداد برگ شمعدانی داشت و این فاکتور رشدی را به طـور معنی‌داری کاهش داد هم چنین مقایسه گیاهـان شـاهد درون محـیط محدود با گیاهان رشـد یافتـه در شـرایط معمـول نیـز نشـان داد کـه محدودسازی بستر رشد اثر قابل ملاحظه‌ای بـر کـاهش تعـداد بـرگ داشت و اختلاف تعداد بـرگ بـین ایـن دو گـروه در سـطح ۵ درصـد معنی‌دار شد. کاهش تعـداد و سـطح بـرگ شـمعدانی بـر اثـر کـاربرد پاکلوبوترازول پیش‌تر نیز گزارش شده است (۸).

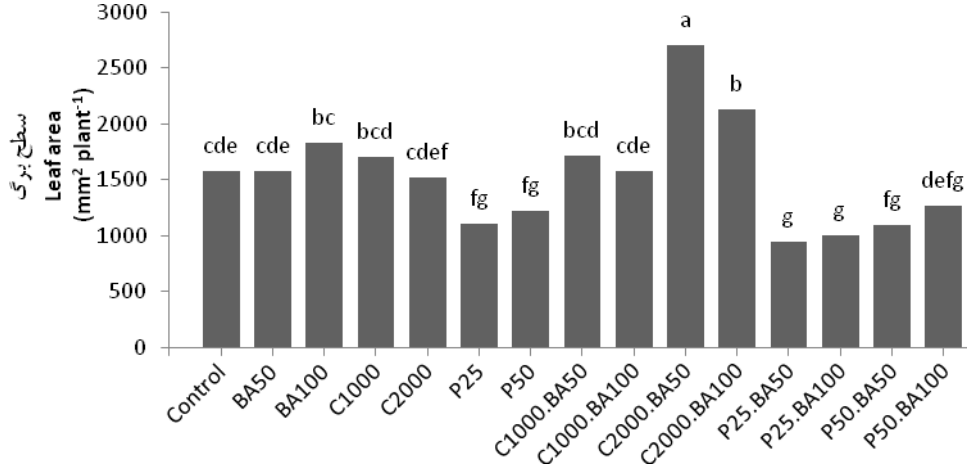
سطح برگ گیاهان در شرایط معمول، بیشتر از شرایط محدود بود. به‌عبارتی، بیشترین سطح برگ مربوط بـه گیاهـان شـاهد در خـارج از محیط محدود بود و این نشان داد که محدود سازی محیط ریشـه اثـر قابل ملاحظه‌ای بر سطح برگ داشت. کمترین سطح برگ گیاهـان در بین تیمارها مربوط به تیمار پاکلوبوترازول در غلظت ۲۵ میلـی‌گـرم در لیتر مشاهده شد درحالی‌که تیمار سایکوسل بـه ویـژه در غلظـت بـالا برخلاف پاکلوبوترازول، به تنهایی و در اثر متقابل با بنزیل آدنین باعث افزایش معنی‌دار سطح برگ شد. کـاهش معنـی‌دار تعـداد بـرگ گیـاه شـفلرا در اثـر کـاربرد پـاکلوبوترازول بـه عنـوان یـک تنظـیم کننـده تریازولی گزارش شده است (۳۰). کـاهش سـطح بـرگ گـل جعفـری (*Tagetes erecta*) نیز در پاسخ به پـاکلوبوترازول معنـی‌دار گـزارش شده است و این اثر کاهشی در غلظت پایین نیز مشـاهده شـده اسـت (۲۶). تقسیم سلولی در لایه‌های مریستمی برگ باعث افزایش سـطح برگ می‌شود. پاکلوبوترازول با کاهش سطح جیبـرلین میـزان تقسـیم سلولی در صفحات مریستمی برگ را کاهش می‌دهد و باعث کـاهش سطح برگ می‌شود (۳۲). تأثیر محدودسازی محیط ریشه بـر کـاهش تعداد و همین‌طور سطح برگ در بسیاری از گونه‌های گیاهی گـزارش شده است، در همه‌ی این گیاهان همچنان کـه حجـم ریشـه کـاهش می‌یابد، گسترش برگ از لحاظ تعداد و اندازه برگ نیز کاهش می‌یابد.

از جمله این گیاهان، سلوی، اسفناج، شمشاد، گوجه فرنگی و سویا را می‌توان نام برد (۲۰). کاهش معنی‌دار سطح برگ بر اثر کاهش اندازه گلدان در گیاه سلوی نیز گزارش شده است (۱۱). هم چنین محدودسازی محیط ریشه به طور قابل ملاحظه‌ای تعداد و سطح برگ در گوجه فرنگیرا نیز کاهش داد (۷). اما همانطور که گفته شد، بنزیل آدنین می‌تواند اثرات متفاوتی بر رشد رویشی و گل‌دهی داشته باشد. در آزمایش حاضر نیز بنزیل آدنین در اثر متقابل با سایکوسل اثر افزایشی قابل ملاحظه‌ای بر سطح برگ داشت (شکل ۴). بنزیل آدنین و به احتمال سایر سایتوکینین‌ها نیز در گونه‌های مختلف اثرات یکسانی از لحاظ سطح و تعداد برگ به جای نمی‌گذارند، به عنوان مثال بازده برگ‌ها در گیاه شیپوری تحت تأثیر کاربرد بنزیل آدنین قرار نگرفت (۱۴). برگ‌ها اندام‌های فتوسنتزی هستند که قندهای ضروری را برای رشد و انتقال به مرحله زایشی فراهم می‌کنند. سایتوکینین‌ها در کنترل رشد و تشکیل برگ‌ها و همچنین گل‌ها نقش مهمی دارند (۱۳). بنزیل آدنین نیز نوعی سایتوکینین است که می‌تواند با افزایش نمو کلروپلاست منجربه تحریک رشد برگ‌ها و تعداد برگ‌ها شود (۲۷)، اما نوع اثر آن بستگی به غلظت و فصل کاربرد آن دارد (۱۳). به‌عنوان مثال تعداد برگ در لیلیوم با کاربرد بنزیل آدنین به‌طور معنی‌دار افزایش یافته (۲۷)، اما در بررسی اثر بنزیل آدنین و جیبرلین بر رشد و گل‌دهی آنمون اثر کاهشی بنزل آدنین بر تعداد برگ‌های آنمون (*Anemone coronaria*) گزارش شد (۱۳).



شکل ۳- اثر کندکننده‌های رشد سایکوسل (CCC) و پاکلوبوترازول (PBZ) در مقایسه با شاهد (Control) بر تعداد برگ شمعدانی در شرایط تراریوم LSD (*P≤0.05*)

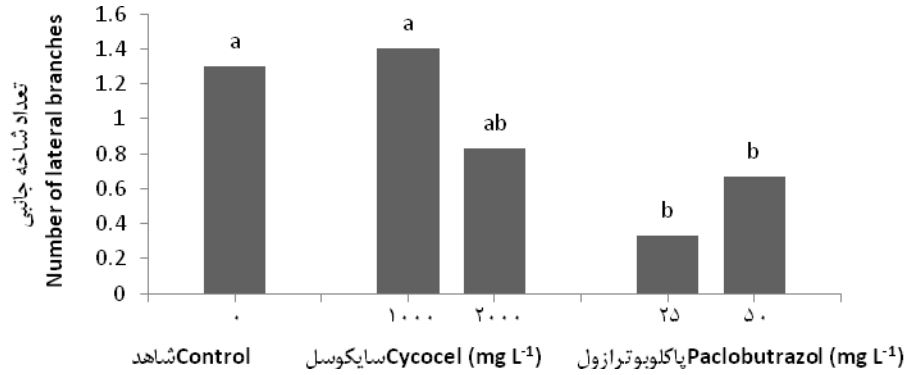
Figure 3- Effect of Cycocel (CCC) and Paclobutrazol (PBZ) compared with control on leaf number of Geranium under terrarium conditions LSD (*P≤0.05*)



شکل ٤- اثر اصلی و برهمکنش بنزیل آدنین (BA) در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سایکوسل (C) در غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و پاکلوبوترازول (P) در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با شاهد (Control) بر سطح برگ گیاه شمعدانی در شرایط تراریوم LSD (*P≤0.05*)

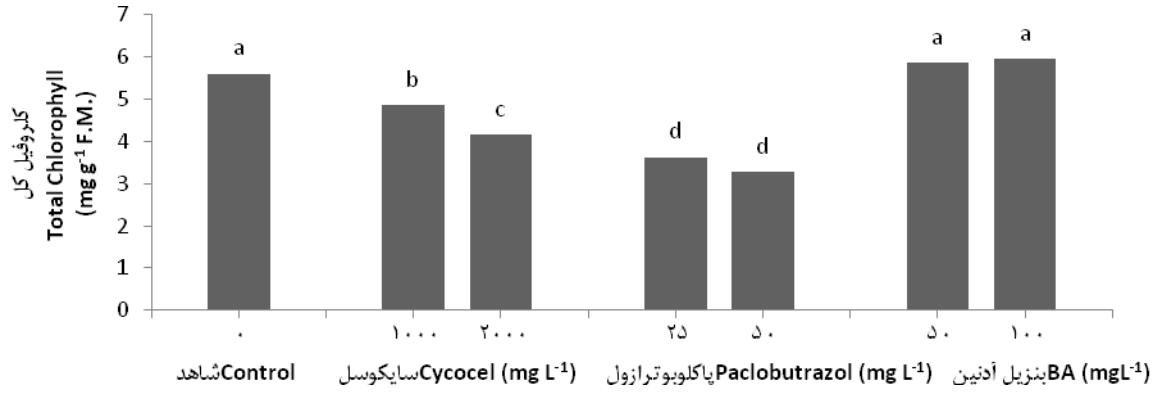
Figure 4- Effect of Banzyleadenine (BA; 50 and 100 mg L^{-1}), Cycocel (C; 1000 and 2000 mg L^{-1}) Paclobutrazol (P; 25 and 50 mg L^{-1}), and their interactions compared with control on leaf area of Geranium under terrarium conditions. LSD (*P≤0.05*)

نتایج نشان داد که هیچ یک از تنظیم کننده‌ها اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه‌های جانبی نداشتند، درحالی‌که محیط محدود تأثیر به سزایی در کاهش جوانه‌های جانبی داشت و گیاهان رشد یافته در گلدان‌های معمول به طور معنی‌داری شاخه‌های جانبی بیشتری داشتند (جدول ۱). در بین گیاهان تیمار شده با تنظیم کننده‌های رشد، بالاترین میزان شاخه‌های جانبی مربوط به کاربرد همزمان بنزیل آدنین و سایکوسل بود، درحالی‌که کمترین تعداد شاخه جانبی در تیمارهای پاکلوبوترازول مشاهده شد. به‌طور کلی محدودیت ریشه می‌تواند بر تمام خصوصیات مورفولوژیکی گیاه به‌ویژه رشد جانبی آن اثرگذار باشد و معمولا گیاهان رشد یافته در محیط محدود دارای رشد جانبی کمتری (۲۰) و گیاهانی که در ظروف با حجم بزرگتر رشد می‌کنند، دارای رشد جانبی بیشتری هستند (۱۱). کاهش شاخه‌زایی بر اثر محدودسازی محیط ریشه در فلفل و سویا نیز گزارش شده است (۲۰). بنزیل آدنین نیز همچون سایر سایتوکینین‌ها می‌تواند باعث فعال شدن جوانه‌های خاموش شود (۲۱)، همچنان که در تحقیقی روی گیاه ارکیده میلتونیا (*Miltoniopsis*) مشخص شد رشد رویشی شاخه‌ها تحت تأثیر سایتوکینین افزایش یافت (۱۸). به‌علاوه اثرگذاری سایکوسل بر صفات رویشی و یا گل‌دهی نیز بستگی به نوع گونه گیاهی و نیز نوع کاربرد آن دارد، طوری‌که مشاهده شده است افزایش تعداد شاخه‌های جانبی در پاسخ به تیمار سایکوسل در فوشیا (*Fuchia hybrida*) معنی‌دار بود (۵). در گیاه استئوسپرموم مشخص شد که سایکوسل و پاکلوبوترازول بر صفت تعداد شاخه‌های جانبی تأثیر معنی‌داری نداشتند، اما پاکلوبوترازول تولید شاخه‌های جانبی در کروتون و شفلرا را کاهش داده است (۳۰).



شکل ۵- اثر کندکننده‌های رشد سایکوسل (CCC) و پاکلوبوترازول (PBZ) در مقایسه با شاهد (Control) بر تعداد شاخه‌های جانبی شمعدانی در شرایط تراریوم LSD (*P≤0.05*)

Figure 5- Effect of Cycocel (CCC) and Paclobutrazol (PBZ) compared with control on lateral branches number of Geranium under terrarium conditions. LSD (*P≤0.05*)

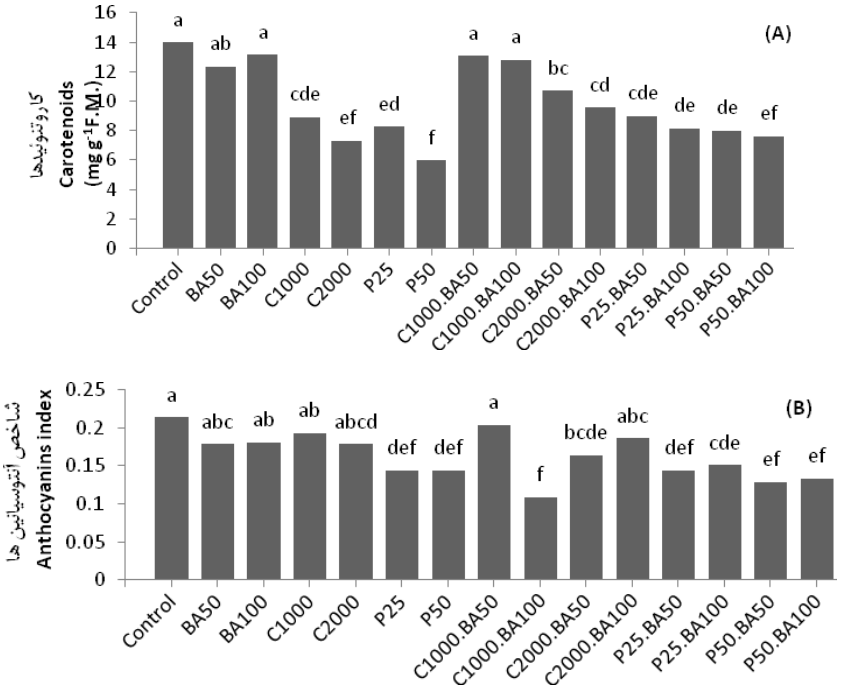


شکل ٦- اثر سایکوسل (CCC)، پاکلوبوترازول (PBZ) و بنزیل آدنین (BA) در مقایسه با شاهد (Control) بر میزان کلروفیل کل در برگ شمعدانی در شرایط تراریوم LSD (*P≤0.05*)

Figure 6- Effect of Cycocel (CCC), Paclobutrazol (PBZ) and Banzyleadenine (BA) compared with control on total chlorophyll of Geranium leaves under terrarium conditions. LSD (*P≤0.05*)

ارزیابی فیتوشیمیایی رنگیزه‌های کلروفیل‌ها، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌های برگ شمعدانی نشان داد کلروفیل برگ شمعدانی تحت تأثیر هردو کندکننده رشد سایکوسل و پاکلوبوترازول کاهش معنی‌دار داشت و اثر منفی پاکلوبوترازول بر میزان این رنگیزه بیش از سایکوسل بود، درحالی که با کاربرد بنزیل آدنین روند افزایش معنی‌دار سطح کلروفیل کل در برگ شمعدانی مشاهده شد (شکل ۶)، با این‌وجود، محدود سازی بستر کشت تغییر معنی‌داری در سطح این رنگیزه فتوسنتزی ایجاد نکرد (جدول ۱). نشان داده شده است که سطح کلروفیل در برگ‌های گیاه شیپوری در پاسخ به تیمار بنزیل آدنین روند افزایشی داشته است (۱۴). به‌طور کلی سایتوکینین‌ها منجر به افزایش نمو کلروپلاست و افزایش تشکیل کلروفیل می‌شوند و معمولا باعث افزایش میزان سبزینگی برگ می‌شوند، همانطور که اثر مثبت بنزیل آدنین بر میزان کلروفیل برگ در گیاه لیلیوم نیز گزارش شده است (۲۷). اثر افزایشی بنزیل آدنین بر محتوای کلروفیل کل برگ آنمون نیز معنی‌دار بوده است (۱۳). کندکننده‌های رشد میزان کاروتنوئیدها را نیز همچون کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری کاهش دادند اما کاربرد بنزیل آدنین سبب تعدیل اثر منفی غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل بر رنگیزه کاروتنوئیدها گردید و به‌طور معنی‌داری سبب افزایش میزان کاروتنوئیدها شد ولی این اثر در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل مشاهده نشد (شکل ۷ A). این رنگیزه بر اثر قرار گرفتن گیاه در محیط محدود افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). پایین‌ترین میزان کاروتنوئیدها در تیمار پاکلوبوتراوزل ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بدون کاربرد بنزیل آدنین بود.

شاخص آنتوسیانین‌های برگ شمعدانی نیز بر اثر تیمار کندکننده‌های رشد کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل ۷ B) و این کاهش همانند اثری که روی رنگیزه کارتنوئید مشاهده شد، تحت اثر پاکلوبوترازول بیش از اثر سایکوسل بود. کاربرد بنزیل آدنین در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به جبران اثر منفی سایکوسل گردید ولی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر این اثر مشاهده نشد. همچنین این ماده نتوانست اثر منفی پاکلوبوترازول را حتی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر خنثی نماید. بعلاوه مشخص شد که قرار گرفتن در محیط محدود همانند اثر مشاهده شده در رنگیزه کلروفیل، موجب تغییر معنی‌دار در میزان آنتوسیانین‌های برگ نشد (جدول ۱). در تحقیقی روی گیاه ذرت گزارش شد که اعمال تنظیم کننده‌های تریازولی در شرایط تنش خشکی منجربه کاهش کلروفیل‌ها، آنتوسیانین‌ها و کاروتنوئیدها در گیاه ذرت شد (۲۵).



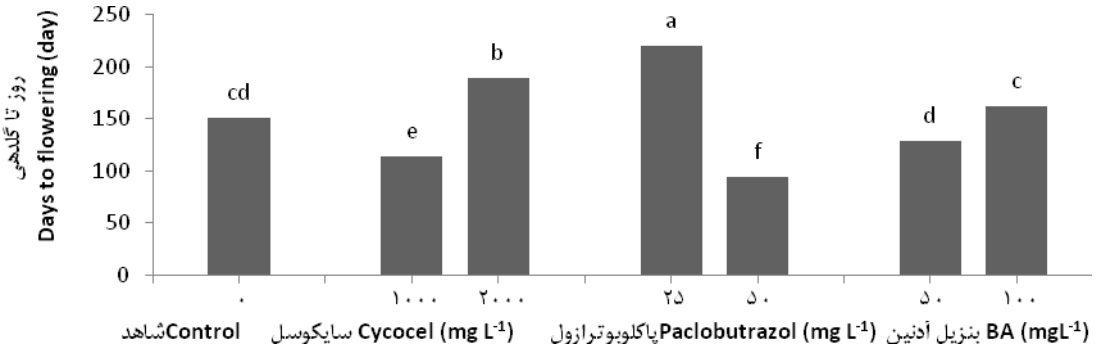
شکل ۷- اثر اصلی و برهمکنش بنزیل آدنین (BA) در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کندکننده رشد سایکوسل (C) در غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و پاکلوبوترازول (P) در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با شاهد (Control) بر میزان کاروتنوئیدها (A) و شاخص آنتوسیانین‌های (B) برگ گیاه شمعدانی در شرایط تراریوم LSD (*P≤0.05*)

Figure 7- Effect of Banzyleadenine (BA; 50 and 100 mg L^{-1}), Cycocel (C; 1000 and 2000 mg L^{-1}), Paclobutrazol (P; 25 and 50 mg L^{-1}) and their interactions compared with control on carotenoids (A) and anthocyanins index (B) of Geranium leaves under terrarium conditions. LSD (*P≤0.05*)

صفت تعداد روز تا گل‌دهی تحت تأثیر سطح ۵۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول و به‌طور جزئی در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۸). به‌عبارت دیگر این تیمار سبب تسریع در گل‌دهی شد، در حالی‌که غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و نیز ۲۵ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول منجر به افزایش معنی‌دار زمان تا گل‌دهی نسبت به شاهد شدند. اثر تسریع در گلدهی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل بود. اثر بنزیل آدنین در زمان آغاز گل‌دهی نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. کاهش زمان تا گل‌دهی براثر تیمار پاکلوبوتراوزل در شمعدانی در شرایط رشد معمول (۸) و در گیاه زنبق سیاه (*Iris nigricans*) نیز به‌طور معنی‌داری مشاهده شده است (۲). همانطور که گفته شد سایکوسل در غلظت بالا گل‌دهی را به تأخیر انداخته در حالی‌که در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر گل‌دهی را تسریع کرده است. چنین اثری می‌تواند ناشی اثر منفی غلظت‌های بالای این ماده بر رشد رویشی و در نتیجه تأخیر در گل‌دهی باشد و اثر مثبت غلظت متوسط بر گلدهی و تسریع آن نیز ممکن است به تعدیل رشد رویشی به نفع رشد زایشی مربوط باشد. در مورد انواعی از ارکیده‌ها گزارش شده است که بنزیل آدنین گل‌دهی را تحریک و یا القا کرده است اما درمورد گل‌دهی ارکیده میلتونیا بنزیل آدنین تولید گل آذین را کاهش داده است و در واقع سبب تحریک رشد رویشی نیز شده است (۱۸) ولی تیمار بنزیل آدنین در گیاه شیپوری اثرات منفی بر گل‌دهی نداشته است (۱۴) که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. به‌طور کلی نوع گونه گیاهی و فصل کاربرد تا حد زیادی تعیین کننده اثرات بنزیل آدنین بر رشد و گل‌دهی خواهد بود. به‌علاوه مقایسه بین گیاهان شاهد درون محیط محدود با گیاهان خارج از شرایط محدود نشان داد (جدول ۲) که محدودسازی محیط کشت تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش زمان تا گل‌دهی داشت و این اثر افزایشی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. در پژوهشی نشان داده شد که با افزایش اندازه گلدان یا ظرف حاوی بستر کشت، زمان تا گل‌دهی در گیاه سلوی به میزان معنی‌داری کاهش یافته است، در مورد گوجه فرنگی نیز گزارشات نشان می‌دهد که کاهش حجم محیط کشت گل‌دهی را به تأخیر می‌اندازد در حالی‌که در گیاه اسفناج تابستانه (*Spinacia oleracea*) تأثیر معنی‌داری دیده نشده است (۱۱).

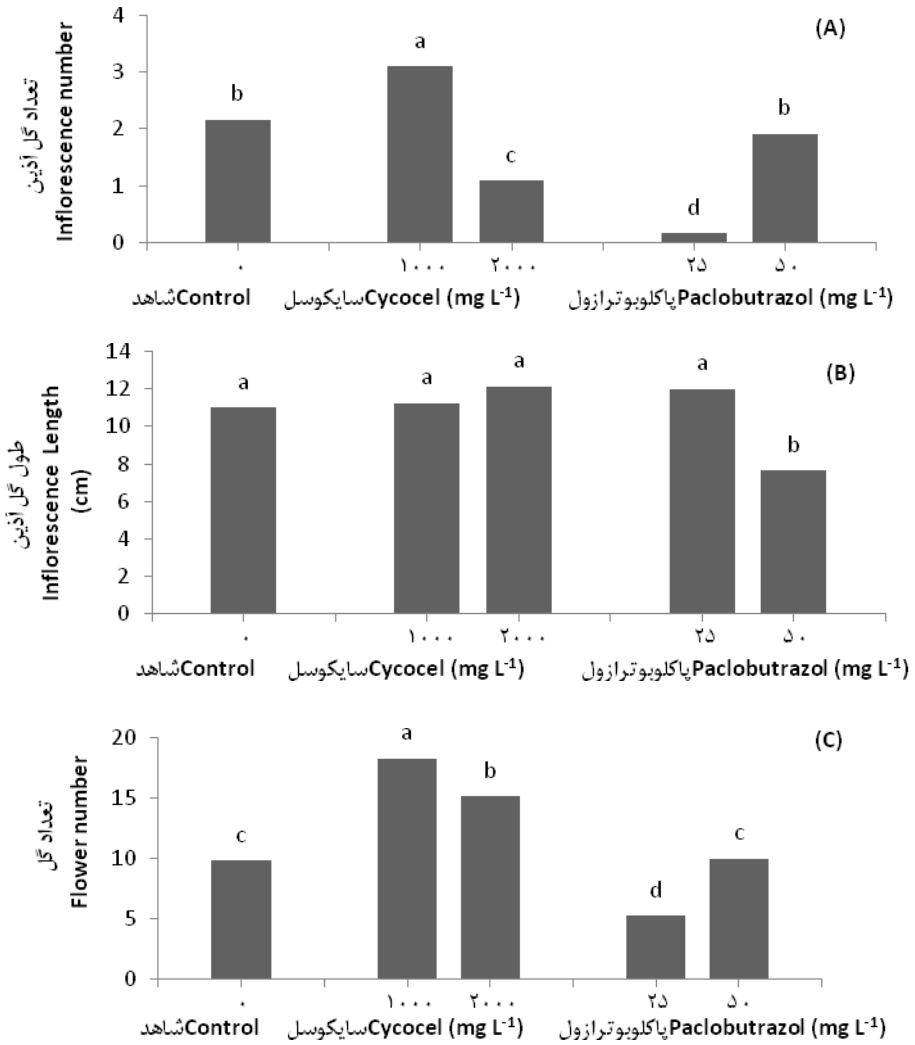
تیمار سایکوسل در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش معنی‌دار تعداد گل آذین و تعداد گل در گل‌آذین و در مقابل تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول سبب کاهش شدید تعداد گل‌آذین و تعداد گل در گل‌آذین نسبت به شاهد گردیدند (شکل ۹ A و C).

غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول اثر کاهنده شدید بر مرحله زایشی شمعدانی داشت و گل‌دهی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد، به احتمال این اثر به کاربرد همزمان محیط محدود و یک کندکننده تریازولی باز می‌گردد. محدودسازی محیط کشت منجر به محدودیت ریشه و در نتیجه کاهش جذب آب و نیز مواد غذایی شده و همانطور که پیش‌تر نیز گفته شد باعث به هم خوردن تعادل هورمونی می‌شود (۷ و ۱۱). به نظر می‌رسد غلظت به کاربرده شده پاکلوبوترازول در تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر باعث ایجاد تعادل هورمونی مناسب نشده و اکثریت گیاهان این تیمار، حتی باوجود بنزیل آدنین گل‌دهی مناسبی نداشتند. اگرچه بیان شده است که تریازول‌ها و از جمله پاکلوبوترازول در بیشتر موارد میزان گل‌دهی را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد (۱۰)، ولی گزارش شده است که تعداد گل‌آذین شمعدانی بر اثر تیمار پاکلوبوترازول کاهش یافته است (۸). به‌نظر می‌رسد این اثر بیشتر وابسته به نوع گونه گیاهی و شرایط محیط رشد گیاه باشد.



شکل ۸- اثر کند کننده‌های رشد سایکوسل (CCC) و پاکلوبوترازول (PBZ) و محرک رشد بنزیل آدنین (BA) در مقایسه با شاهد (Control) بر صفت روز تا گلدهی گیاه شمعدانی در شرایط تراریوم LSD (*P≤0.05*)

Figure 8- Effect of Cycocel (CCC), Paclobutrazol (PBZ) and Banzyleadenine (BA) compared with control on days to flowering of Geranium under terrarium conditions. LSD (*P≤0.05*)



شکل ۹- اثر کند کننده‌های رشد سایکوسل (CCC) و پاکلوبوترازول (PBZ) و محرک رشد بنزیل آدنین (BA) در مقایسه با شاهد (Control) بر تعداد گل‌آذین (A)، طول گل‌آذین (B) و تعداد گل در گل‌آذین (C) گیاه شمعدانی در شرایط تراریوم (*P≤0.05*) LSD

Figure 9- Effect of Cycocel (CCC) and Paclobutrazol (PBZ) compared with control on inflorescence number (A), inflorescence length (B) and flower number (C) of Geranium under terrarium conditions. LSD (*P≤0.05*)

در زنبق سیاه پاکلوبوترازول با وجود تحت تأثیر قرار دادن زمان گل‌دهی، اندازه و وزن گل‌ها اثری بر تعداد گل‌های تولیدی نداشته است (۲). مقایسه بین گیاهان شاهد در محیط محدود و شرایط نرمال رشد نشان دهنده تأثیر قابل ملاحظه کاهش حجم محیط کشت بر میزان گل‌دهی از جهت تعداد گل آذین و نیز تعداد گل در هر گل آذین بود (جدول ۲). اثر محدودسازی محیط ریشه در سلوی نیز باعث کاهش معنی‌دار تعداد گل شده است، البته گزارشات قبلی هم دلالت بر وابستگی پاسخ گل‌دهی به نوع گونه گیاهی دارد (۱۱). بعلاوه کاهش گل‌دهی جعفری نیز تحت تأثیر محدودسازی محیط ریشه گزارش شده است (۱۶).

یکی دیگر از فاکتورهای اندازه‌گیری شده در مرحله زایشی طول دمگل آذین است که تنها در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول کاهش معنی‌دار این صفت نسبت به شاهد مشاهده شد و سایر تیمارها تفاوت چندانی را ایجاد نکردند (شکل ۹ B). چنین اثر معنی‌دار پاکلوبوترازول در کاهش طول ساقه گل زنبق سیاه (*Iris nigricans*) نیز گزارش شده است (۲). محدودسازی محیط ریشه مانند سایر فاکتورهای رشد و گل‌دهی، طول دمگل را نیز تحت تأثیر قرار داد و باعث کاهش معنی‌دار این صفت شد (جدول ۲). بنزیل آدنین روی خصوصیات مربوط به گل‌دهی اثرگذار نبود. طی بررسی اثر بنزیل آدنین در گیاه شیپوری نیز مشخص شد که این سایتوکینین مصنوعی هیچ یک از خصوصیات مرتبط با گل‌دهی را تحت تأثیر قرار نداده است (۱۴) و به نظر می‌رسد علت این عدم تأثیر مرتبط با پایین بودن غلظت‌های به کار برده شده بنزیل آدنین بوده باشد.

جدول ۱- مقایسه میانگین برخی صفات مورفو- فیزیولوژیک گیاه شمعدانی معمولی (*Pelargonium hortorum* L.H. Bailey 'Horizon') رشد یافته در گلدان با گیاه رشد یافته در تراریوم (شرایط رشد محدود)

Table 1- Mean comparison of some morph-physiological traits of Geranium (*Pelargonium hortorum* L.H. Bailey 'Horizon') plants grown as common potted plant with terrarium plant (limited growth conditions)

صفات Traits	سطح معنی‌داری Significance level	t value	گیاه گلدانی (شاهد) Potted plant (Control)	گیاه تراریوم Terrarium plant
ارتفاع گیاه Plant height (cm)	**	11.54	19.50	9.50
قطر ساقه Stem diameter (mm)	**	3.92	10.33	8.66
سطح برگ Leaf area (mm^2 $plant^{-1}$)	**	5.40	3433.08	1571
تعداد برگ Leaf number (#$Plant^{-1}$)	**	3.89	23.00	13.5
تعداد شاخه جانبی Side branch number (#$Plant^{-1}$)	**	2.79	2.50	0.5
وزن تر شاخه Shoot fresh weight (g $plant^{-1}$)	**	3.93	6.10	2.47
وزن خشک شاخه Shoot dry weight (g $plant^{-1}$)	**	2.57	29.97	11.50
وزن تر ریشه Root fresh weight (g $plant^{-1}$)	**	3.20	4.16	1.94
وزن خشک ریشه Root dry weight (g $plant^{-1}$)	**	2.60	0.80	0.46
کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g^{-1} F.M.)	ns	1.42	3.20	2.79
کاروتنوئیدها Carotenoids (mg g^{-1} F.M.)	**	3.63	11.87	13.98
شاخص آنتوسیانین‌ها Anthocyanins Index	ns	1.79	0.21	0.17
تعداد گل‌آذین Inflorescence number	*	2.25	3.50	1.25
تعداد گل Flower number (# $inflorescence^{-1}$)	**	4.03	25.50	6.75
طول گل‌آذین Inflorescence length (cm)	**	3.23	19.50	10.12
روز تا گل‌دهی Days to flowering	**	83.13	99.00	147

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

** $P \leq 0.01$; * $P \leq 0.05$; ns, not significant.

نتیجه‌گیری

از آنجایی‌که هدف پژوهش حاضر کنترل رشد و مدیریت گل‌دهی گیاه شمعدانی در تراریوم با استفاده از تنظیم کننده‌های رشد بود، مشاهده شد که ارتفاع گیاه تحت تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد پیدا کرد و این تیمار از لحاظ گل‌دهی نیز نه تنها اثر نامطلوبی نداشت بلکه زمان تا گل‌دهی را به میزان معنی‌داری کاهش داد و گل‌دهی را تسریع کرد. به نظر می‌رسد تعادل رویشی مناسبی در گیاهان تحت این تیمار برقرار شد و می‌تواند در تولید گیاه شمعدانی با کیفیت بصری مناسب در شرایط تراریوم توصیه شود. بنزیل آدنین به عنوان یک سایتوکینین مصنوعی بر برخی فاکتورها از جمله افزایش رنگیزه‌های برگ مؤثر بود می‌تواند منجر به بهبود فعالیت فتوسنتزی شود و به همین علت هم با کاربرد بنزیل آدنین در برهمکنش با کند کننده‌های رشد خصوصیات قطر ساقه، سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره و نیز رنگیزه‌های برگ بهبود یافت. در حالی‌که این ماده به طور کلی هیچ یک از خصوصیات مربوط به گل‌دهی را تحت تأثیر قرار نداد. این تیمار حتی

سبب تاخیر در گل‌دهی گردید که یک صفت منفی محسوب می‌شود.

در ارتباط با محدودسازی محیط ریشه در آزمایش حاضر می‌توان گفت که مقایسه دو گروه شاهد در داخل و خارج محیط محدود که بر کلیه صفات رویشی و گل‌دهی موثر بود و این محدودیت به میزان قابل ملاحظه‌ای صفات رویشی را کاهش داد و در مقابل زمان تا گل‌دهی را نیز به تأخیر انداخت، به این معنی که گل‌دهی گیاه شمعدانی پرورش یافته در محیط محدود تراریوم دیرتر از محیط معمول گلدان بود.

منابع

1- Arnon D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology, 24: 1-15.
2- Al-Khassawneh N.M., Karam N.S., and Shibli R.A. 2006. Growth and flowering of black iris (*Iris nigricans* Dinsm.) following treatment with plant growth regulators. Scientia Horticulturae, 107: 187–193.
3- Amling J.W., Keever G.J., Kessler J.R., and Eakes D.J. 2005. Response of 'Moonbeam' *Coreopsis* and 'Goldsturm' *Rudbeckia* to B-Nine and Cycocel. Environmental Horticulture, 23(1): 25–28.
4- Bailey D.A., and Whipker B.E. 1998. Height Control of Commercial Greenhouse Flowers. North Carolina State Cooperative Extension Horticulture Information Leaflet 528. Available at http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/hil/hil-528.html (visited 12 July 2016).
5- Babelewski P., and Pancerz M. 2014. Influence of chromquat and flurprimidol application on vegetative growth of some ornamental container plants. Acta Agrophysica, 21(3): 251-261.
6- Borch K., Brown K.M., and Lynch J.P. 1998. Improving bedding plants quality and stress resistance with low phosphorus. HortTechnology, 8: 575-579.
7- Bouzo A., and Favaro J.C. 2015. Container size effect on the plant production and precocity in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Bulgarian Journal of Agricultural Science, 21: 325–332.
8- Cox D.A. 1991. Gibberellic Acid Reverses Effects of Excess Paclobutrazol on Geranium. HortScience, 26(1): 39-40.
9- FloraHolland 2011. Facts and figures. Available at http://www.floraholland.com/en/ (visited 05 January 2013).
10- Gianfagna T.J., and Wulster G.J. 1986. Comparative effects of ancymidol and paclobutrazol on Easter lily. HortScience, 21: 463-464.
11- Iersel M.V. 1997. Root restriction effect on growth and Development of Salvia (*Salvia splendens*). HortScience, 32(7): 1186- 1190.
12- Janowska B., Schroeter-Zakrzewska A., and Rybus-Zając M. 2009. Effect of benzyladenine and gibbrellic acid on the growth and flowering of *Anemone coronaria* L. 'Sylphide'. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Horticulture, 12(2): 08.
13- Janowska B., Schroeter-Zakrzewska A., and Rybus-Zajac M. 2012. Content of chloroplast pigments and saccharides in leaves of poppy anemone (*Anemone coronaria* L.)' sylphide' after application of Benzyladenine and Gibberlic acid. Nauka Przyroda Technologie, 6: 3-44.
14- Janowska B. 2014. Effect of benzyladenine on flower and leaf yield of Calla lily (*Zantedeschia spreng*). Bulgarian Journal of Agricultural Science, 20: 633-637.
15- Khandan-Mirkohi A., Kazemi F., Babalar M., and Naderi R. 2014. The Effect of Limited Application of Phosphorus on the Height Control and Improving the Quality of Geranium (*Pelargonium hortorum* cv. Bulles eye). Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 20: 63-69. (In Persian with English abstract)
16- Latimer J.G. 1991. Growth Retardants Affect Landscape Performance of Zinnia, Impatiens and Marigold. HortScience, 26(5): 557-560.
17- Mansuroglu S., Karaguzel O., Ortacesme V., and sayan M.S. 2009. Effect of paclobutrazol on flowering, leaf and flower color of *Consulida oriantalis*. Pakistan Journal of Botany, 41(5): 2323-2332.
18- Matsumoto T.K. 2006. Gibberllic acid and Benzyladenine promote early flowering and vegetative growth of *Miltoniopsis* Orchid hybrids. HortScience, 41(1): 131-135.
19- Mok M.C., Martin R.C., and Mok D.W.S. 2000. Cytokinins: Biosynthesis, metabolism and perception. Society for In Vitro Biology, 36: 102–107.
20- Nesmith D.S., and Duval J.R. 1998. The Effect of Container Size. HortTechnology, 8(4): 495-498.
21- Oates J.M., Keever G.J., and Raymond Kessler J. 2005. Developmental Stage Influences Plant Response to Benzyladenine. Environmental Horticulture, 23(3): 149-152.
22- Olsen W.W., and Andersen A.S. 1995. Short Communication. The influence of five growth retardants on growth and postproduction qualities of *Osteospermum ecklonis cv.* "Calypso''. Scientia Horticulturae, 62: 263-270.
23- Padhye S., Oh W., and Runkle E. 2014. Use of Benzyladenine to Enhance Production and Postharvest Quality of Floricultural Crops: 1. Branching and Flowering. Special Research Report #522: Production Technology.

Department of Horticulture, Michigan State University, East Lansing, MI 48824. Available at: http://endowment.org/wp-content/uploads/2014/03/522Runkle.pdf (Visited 31 July 2018).
24- Poorter H., Bühler J., Dusschoten D.V., and Climent J. 2012. Pot size matters: a meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. Functional Plant Biology, 39: 839–850.
25- Rajasekar M., Rabert G.A., and Manivannan P. 2016. The effect of triazole induced photosynthetic pigments and biochemical constituents of *Zea mays* L. (Maize) under drought stress. Applied Nanoscience, 6: 727–735.
26- Singh A.K. 2016. Influence of paclobutrazol on growth and seed yield in African marigold. Environment and Ecology, 34(4): 1900-1903.
27- Situma M.N., Mwangi M., and MulWa R.M.S. 2015. Effects of benzyl adenine and gibberellic acid pre-treatments on dormancy release, flowering time and multiplication of oriental lily (*Lilium longiflorum*) bulbs. Journal of Applied Horticulture, 17(1): 26-30.
28- Tayma H. K., and Carver S.A. 1990. Zonal geranium growth and flowering responses to six growth regulators. HortScience, 25(1):82-83.
29- Wagner G.J. 1979. Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. Plant Physiology, 64: 88-93.
30- Wang Y.T., and Blessington T.M. 1990. Growth of Four Tropical Foliage Species Treated with Paclobutrazol or Uniconazole. HortScience, 25(2): 202-204.
31- Wang Y.T., and Boogher C. 1987. Effect of stock plant shading, developmental stage and cytokinin on growth and lateral branching of *Syngonium podophyllum* 'White Butterfly'. Scientia Horticulturae, 33: 137-145.
32- Yeshitela T., Robbertse P.J., and Stassen P.J.C. 2004. Paclobutrazol suppressed vegetative growth and improved yield as well as fruit quality of 'Tommy Atkins' mango (*Mangifera indica*) in Ethiopia. New Zealand Journal of HortScience, 32: 281-293.

Journal of Horticultural Science
Vol. 32, No. 4, Winter 2019, p. 567-580
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۵۸۰-۵۶۷
شاپا: ۴۷۳۰-۲۰۰۸

Managing Growth and Flowering of Geranium under Limited Growth Environment

A. Khandan-Mirkohi[1*]- S.R. Waeez Mousavi[2]- A. Khalighi[3]– R. Naderi[4]

Received: 02-01-2018
Accepted: 24-10-2018

Introduction: Cultivation of ornamental plants in terrariums is common, but the use of flowering plants in such environment is difficult and rarely seen. Common geranium (*Pelargonium hortorum* L.H.) is the most well-known potted and garden plant in the top of 25 popular world's market rankings. Today, one of the main goals of commercial producers is the production of the uniform plants in terms of morphological traits such as uniformity in the height that needs some management. To achieve this objective plant genetic potential, managing the growth and environmental factors, restrictions on root environment, water and nutrition to a level that does not affect the quality as well as application of chemical plant growth retardants (PGRs) could be considered. Paclobutrazol (PBZ) commercially known as Bonzi and chlromequat chloride (CCC) known as cycocel are commonly used to control the height of some pot plants. Additionally, Benzyladenine (BA) as a synthetic cytokinin can influence the growth characters of plants. This experiment conducted to evaluate the effect of paclobutrazol, cycocel and benzyladenine on the growth and flowering of geranium as a flowering terrarium plant.

Materials and Methods: The effect of PBZ, CCC and BA evaluated as a factorial experiment based on CRD on the growth and flowering of geranium (*Pelargonium hortorum* L.H. Bailey 'Horizon') as terrarium plant. At first, geranium seeds planted in tray cells as plugs filled by sieved black peat to below 2 mm in early autumn, Oct. 2015. Seedlings were grown in a greenhouse conditions with an average day/night temperatures of 25/20 ± 2 °C, nourished with 1:2 ratio diluted Hoagland nutrient solution as irrigation demand, until 2-4 leaves stage then transferred into terrarium containers (with 20 cm of middle diameter and 15 cm of height). Inside container relative air humidity was about 75±5% and growing environment light intensity (PPF) was about 500 µmole $m^{-2}S^{-1}$. Irrigation and nutrition also applied at seedling stage in terrarium. Terrarium glass container totally filled to a quarter of volume considering a drainage layer of gravel, activated charcoal, a layer of substrate barrier (plastic net), potting soil containing of 20 vol.% sieved field loam soil, 10 vol.% of fine perlite and 70 vol.% of sieved black peat. PBZ at the levels of 0, 25 and 50 ppm and CCC at the levels of 0, 1000 and 2000 ppm applied one month after transplanting (Feb. 2015) and BA treatment for flowering management applied at the levels of 0, 50 and 100 ppm four months after transplanting (May 2016). Growth and flowering characters evaluated thoroughly while root and shoot fresh and dry weight, photosynthetic pigments of chlorophyll, carotenoids, and anthocyanin index assessed at the end of the experiment.

Results and Discussion: Both growth retardants PBZ and CCC led to a significant reduction in plant height in high concentrations. Thus, the effect of PGRs on plant height was significant, while the effect of BA and its interactions by PGRs on this trait was not considerable. Effective treatments on this trait were PBZ in concentration of 50 ppm and then CCC in 2000 ppm. In particular, the use of these concentrations without BA treatment led to the shortest plants. Comparison of plants cultivated in the pot and terrarium conditions showed that the growth conditions had a considerable and significant impact on plant height and growth. Stem diameter, number of leaves and leaf area significantly reduced by PBZ compared to the control, but CCC did not show a significant effect on these traits. Smaller stem diameter occurred through 25 ppm of PBZ together with 50 ppm of BA. Application of PBZ especially at 25 ppm resulted in a significantly reduced number of plant leaves and leaf area compared to the control and application of CCC. Application of CCC at the level of 2000 ppm combined with BA of 50 ppm caused to a significant increase of leaf area compared to the control. Results on the number of lateral branches showed that application of PGRs had no effect on this character, while restriction of growth in terrarium conditions led to decrease in the number of lateral branches. Number of lateral branches raised by application of BA and CCC, while less number of branches observed with PBZ

1, 2, 3 and 4- Assistant Professor, M.Sc. Graduated and Professors Department of Horticulture Sciences, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Respectively
(*- Corresponding Author Email: khandan.mirkohi@ut.ac.ir)

treatments especially at the level of 25 ppm. Chlorophyll and anthocyanin content of leaves decreased by both retardants. Days to flowering shortened by PBZ treatment of 50 ppm and slightly by CCC treatment of 1000 ppm in terrarium conditions. In general, flowering process accelerated via these treatments, while PBZ of 25 ppm and CCC of 2000 ppm delayed the flowering of plants compared to the control. The acceleration effect of 50 ppm PBZ was superior to the effect of 1000 ppm of CCC. The effect of BA on flowering time was insignificant despite of initial prospect. Finally, the photosynthetic pigments, leaf area and stem diameter increased because of BA, while flowering characters not influenced by means of BA. In general, 50 ppm of PBZ and without BA treatment was able to improve production characters of geranium plants in terrarium conditions.

Conclusions: The goal of this research was managing the growth and flowering of geranium in the restricted terrarium conditions by PGRs. It was found that treatment of plants by 50 ppm of PBZ could properly control the plant height and whereas positively accelerated flowering without and negative side effects on the plant performance. It seems that a good hormonal balance performed by this concentration of PBZ compared to CCC and BA. Early flowering is a positive quality trait for the most flowering ornamental plants. However, BA application itself and in interaction with CCC could enhance the photosynthetic pigment contents and thus improved the growth characters but it could not influence flowering traits even though delayed the flowering, significantly. Restriction of the root area via planting in terrarium could considerably limit the vegetative growth characters and delayed the flowering compared to the potted plants.

Keywords: Benzyladenine, Cycocel, Floriculture, Ornamental plant, Paclobutrazol, Plant growth regulator, Pot plants