

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

عزیزاله خندان میرکوهی^{۱*} - سیده راضیه واعظ موسوی^۲ - احمد خلیقی^۳ - روح انگیز نادری^۴

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 کننده رشد 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 ریشی، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و همین‌طور ویژگی‌های مربوط به گل‌دهی ارزیابی شد. هر دو کند کننده رشد در غلظت بالا منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع شدند، در حالی که در مورد 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 کند کننده‌های رشد باعث کاهش معنی‌دار رنگیزه‌های برگ شامل، کلروفیل‌ها و نیز آنتوسیانین‌ها شد. کاربرد بنزیل آدنین به تنهایی و در اثر متقابل با کند کننده‌های رشد باعث افزایش میزان کلروفیل‌های برگ شد. میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، سطح برگ و نیز قطر ساقه صفاتی بودند که در اثر بنزیل آدنین در مقایسه با کاربرد کند کننده‌های رشد افزایش نشان دادند در حالی که 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

یکنواختی در ارتفاع آنهاست که برای رسیدن به این هدف از فنون خاصی از جمله از روش‌های شیمیایی و غیر شیمیایی استفاده می‌شود. روش‌های غیر شیمیایی 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 hortorum* 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).

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 تولید کنندگان 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

۱، ۲، ۳ و ۴ - به ترتیب 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

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 25 ± 3 و دمای شبانه 18 ± 3 درجه سلسیوس و میانگین رطوبت نسبی گلخانه 70 ± 5 و شدت نور به طور تقریبی 500 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 به شکل محلول پاشی (بهمن ۱۳۹۴) اعمال شد. تیمار بنزیل آدنین مرتبط با گلدهی نیز به شکل محلول پاشی در اردیبهشت ۱۳۹۵ اعمال شد.

ارزیابی رشد گیاه با مقایسه صفاتی از قبیل ارتفاع گیاه از سطح خاک تا جوانه انتهایی توسط خط کش و برحسب سانتی متر و شمارش تعداد برگ ها و شاخه های جانبی، سطح برگ گیاهان با استفاده از دستگاه (England Leaf area meter ΔT)، قطر ساقه با استفاده از کولیس و برحسب میلی متر انجام شد. در پایان آزمایش کل بخش هوایی گیاه از سطح خاک بریده شد و ریشه ها نیز جدا گردیدند و بلافاصله وزن تر بخش هوایی و ریشه با ترازوی دیجیتال اندازه گیری و ثبت شده سپس به خشک کن (آون) 70 درجه سانتی گراد منتقل و پس از 48 ساعت وزن خشک اندازه گیری شد. صفات مرتبط با گلدهی از جمله زمان تا گلدهی بر حسب روز از زمان انتقال نشا تا شروع گل دهی محاسبه شد. طول دمگل نیز با استفاده از خط کش اندازه گیری شده و سپس تعداد گل در هر گل آذین شمارش شد. شاخص آنتوسیانین های برگ مطابق روش واگنر (۲۹) و محتوای کلروفیل ها و کاروتنوئیدهای برگ مطابق روش آرنون (۱) و با استفاده از دستگاه طیف سنج نوری (اسپکتروفتومتر مدل Bio Quest, CE 2502 UK) اندازه گیری 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 نرم افزار SPSS (نسخه ۱۶) انجام شد. داده های حاصل از آزمایش مرتبط با تیمارها در شرایط تراریوم با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۳) تجزیه آماری و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

اثر کندکننده های رشد بر شاخص ارتفاع در سطح یک درصد

پاکلوبوترازول^۱ با نام تجاری بونزای^۲ و کلرمکوات کلرید^۳ با نام تجاری سایکوسل^۴ از جمله کندکننده های رشد شیمیایی مرسوم هستند که جهت کنترل ارتفاع برخی گیاهان زینتی گلدانی به کار برده می شوند (۴). البته تولید کننده باید براساس نوع محصول، هزینه، نیاز بازار و میزان کاهش رشدی که مد نظر است روش مناسب را انتخاب کند.

سایتوکینین ها یکی دیگر از پنج گروه اصلی تنظیم کننده های رشد هستند که تأثیرات مختلفی از جمله از سرگیری رشد جوانه ها و از بین بردن خواب جوانه، ارتقا جوانه زنی بذر (۱۹) افزایش شاخه های جانبی (۳۱)، بهبود گل دهی (۱۸)، تأخیر و یا جلوگیری از زردی و پیری برگ ها، افزایش عمر پس از برداشت گل ها، تشکیل و رشد برگ و گل (۱۳) را می توانند در گیاهان ایجاد کنند. بنزیل آدنین از جمله سایتوکینین های مصنوعی است که کاربردهای زیادی در کشاورزی و باغبانی دارد. این ماده می تواند با تأثیر بر تحریک رشد شاخه های 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 شیشه ای (تراریوم) طی آزمایشی با کاربرد ترکیبات کند کننده ی 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 روش ها

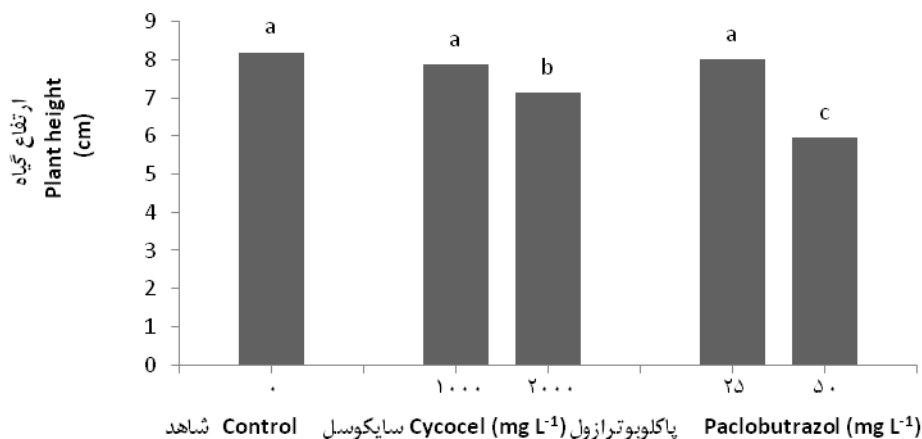
این پژوهش در طی سال های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در گلخانه و آزمایشگاه گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهر کرج در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۵ تکرار انجام شد. تیمار کندکننده رشد شامل پاکلوبوترازول در غلظت های صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر و سایکوسل در غلظت های صفر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر و تیمار بنزیل آدنین مرتبط با گلدهی در غلظت های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم 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). گیاهچه های حاصل در مرحله ۲ تا ۴ برگی به ظروف شیشه ای با قطر دهانه ۲۰ سانتی متر و ارتفاع ۱۶ سانتی متر (باغ شیشه ای یا تراریوم) منتقل

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

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 (*Rudbeckia fulgeri*) به ترکیبات کندکننده رشد نیز مشخص شد که سایکوسل بر کنترل ارتفاع گیاه کوکب کوهی تأثیری نگذاشته است، در حالی که در مورد 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 آمون 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).

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 منجر به 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 از جمله 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 تنظیم کننده‌های رشد بر چهار گونه گیاه آپارتمانی پیچ سوئدی (*Plectranthus verticillatus*)، شفلرا (*Schefflera actinophylla*)، کروتون (*Codiaeum variegatum*) و سینگونیم (*Syngonium podophyllum*) 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 در مورد گیاه پیچ سوئدی منجر به پاکوتاهی بیش از حد



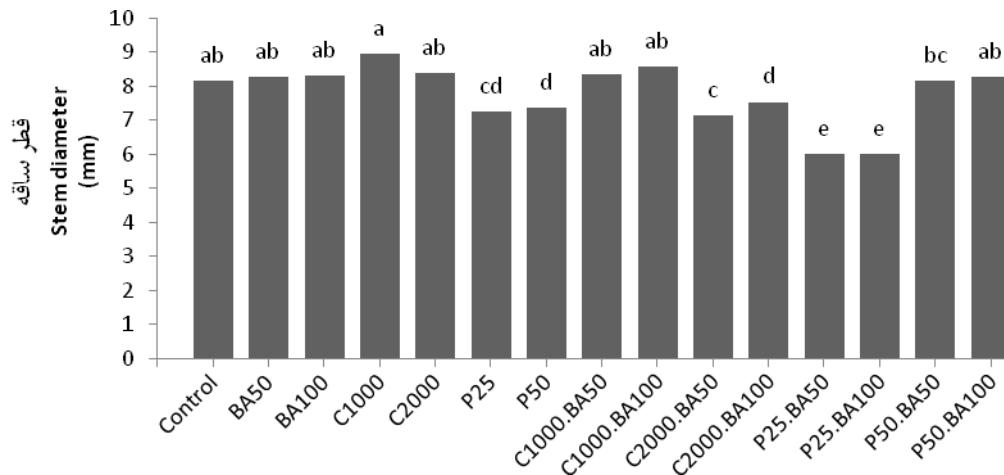
شکل ۱- اثر کندکننده‌های رشد سایکوسل (CCC) و پاکلوبوترازول (PBZ) در مقایسه با شاهد (Control) بر ارتفاع شمعدانی در شرایط تراریوم. LSD ($p \leq 0.05$)

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

در مقایسه با گیاهانی که در شرایط معمول کشت شده و رشد کردند، نشان دادند (۷). هم‌چنین 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 سزیجات 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

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

تشدید کرد. کمترین قطر ساقه مربوط به غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول به همراه بنزیل آدنین بود (شکل ۲). کاهش معنی‌دار قطر ساقه گیاه کنسولیدا (*Consolida orientalis*) نیز با کاربرد پاکلوبوترازول گزارش شده است (۱۷). قطر ساقه در مقایسه بین شاهد گیاهان درون شیشه با گیاهان در خارج از محیط محدود نشان دهنده کاهش معنی‌دار قطر ساقه بر اثر محدودسازی محیط ریشه است که 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 ($P \leq 0.05$)).

Figure 2- Effect of Banzyleadnine (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 ($P \leq 0.05$)

قابل ملاحظه‌ای بر سطح برگ داشت. کمترین سطح برگ گیاهان در بین تیمارها مربوط به تیمار پاکلوبوترازول در غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد درحالی‌که تیمار سایکوسل به ویژه در غلظت بالا برخلاف پاکلوبوترازول، به تنهایی و در اثر متقابل با بنزیل آدنین باعث افزایش معنی‌دار سطح برگ شد. کاهش معنی‌دار تعداد برگ گیاه شفلرا در اثر کاربرد پاکلوبوترازول به عنوان یک تنظیم کننده تریازولی گزارش شده است (۳۰). کاهش سطح برگ گل جعفری (*Tagetes erecta*) نیز در پاسخ به پاکلوبوترازول معنی‌دار گزارش شده است و این اثر کاهشی در غلظت پایین نیز مشاهده شده است (۲۶). تقسیم سلولی در لایه‌های مرستمی برگ باعث افزایش سطح برگ می‌شود. پاکلوبوترازول با کاهش سطح جیبرلین میزان تقسیم سلولی در صفحات مرستمی برگ را کاهش می‌دهد و باعث کاهش سطح برگ می‌شود (۳۲). تأثیر محدودسازی محیط ریشه بر کاهش تعداد و همین‌طور سطح برگ در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده است، در همه‌ی این گیاهان همچنان که حجم ریشه کاهش می‌یابد، گسترش برگ از لحاظ تعداد و اندازه برگ نیز کاهش می‌یابد.

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

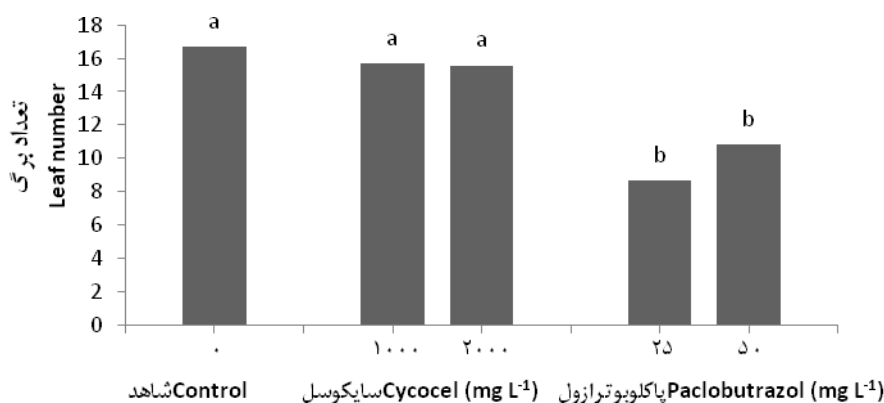
در این پژوهش تأثیر تنظیم کننده‌های رشد بر قطر ساقه باعث کاهش معنی‌دار قطر ساقه در سطح ۱ درصد شد این در حالیست که اثر متقابل بنزیل آدنین و کندکننده‌های رشد این کاهش قطر ساقه را

نتایج نشان داد که کاربرد پاکلوبوترازول منجر به کاهش معنی‌دار تعداد برگ‌های شمعدانی شد، کاربرد بنزیل آدنین به ویژه در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش تعداد برگ نسبت به شاهد شد، اما این اثر افزایشی اختلاف معنی‌داری با شاهد ایجاد نکرد (شکل ۳). اثر متقابل بنزیل آدنین و کندکننده‌های رشد نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای برای این صفت نداشت. درحالی‌که کاربرد کند کننده پاکلوبوترازول اثر کاهشی بر تعداد برگ شمعدانی داشت و این فاکتور رشدی را به طور معنی‌داری کاهش داد هم چنین مقایسه گیاهان شاهد درون محیط محدود با گیاهان رشد یافته در شرایط معمول نیز نشان داد که محدودسازی بستر رشد اثر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش تعداد برگ داشت و اختلاف تعداد برگ بین این دو گروه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. کاهش تعداد و سطح برگ شمعدانی بر اثر کاربرد پاکلوبوترازول پیش‌تر نیز گزارش شده است (۸).

سطح برگ گیاهان در شرایط معمول، بیشتر از شرایط محدود بود. به عبارتی، بیشترین سطح برگ مربوط به گیاهان شاهد در خارج از محیط محدود بود و این نشان داد که محدودسازی محیط ریشه اثر

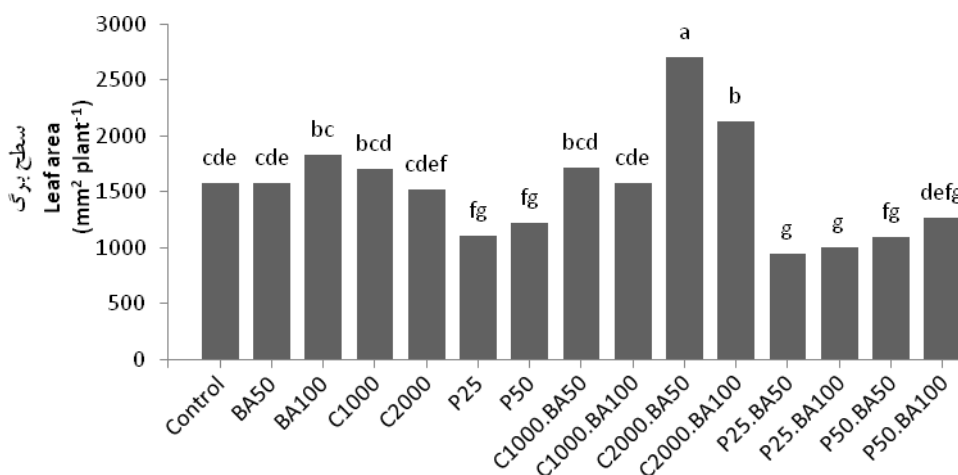
قرار نگرفت (۱۴). برگ‌ها اندام‌های فتوسنتزی هستند که قندهای ضروری را برای رشد و انتقال به مرحله زایشی فراهم می‌کنند. سایتوکینین‌ها در کنترل رشد و تشکیل برگ‌ها و همچنین گل‌ها نقش مهمی دارند (۱۳). بنزیل آدنین نیز نوعی سایتوکینین است که می‌تواند با افزایش نمو کلروپلاست منجر به تحریک رشد برگ‌ها و تعداد برگ‌ها 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 آمون اثر کاهشی بنزیل آدنین بر تعداد برگ‌های آمون (*Anemone coronaria*) گزارش شد (۱۳).

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). هم‌چنین محدودسازی محیط ریشه به‌طور قابل ملاحظه‌ای تعداد و سطح برگ در گوجه فرنگی 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، به‌عنوان مثال بازده برگ‌ها در گیاه شیپوری تحت تأثیر کاربرد بنزیل آدنین



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) تراریوم

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

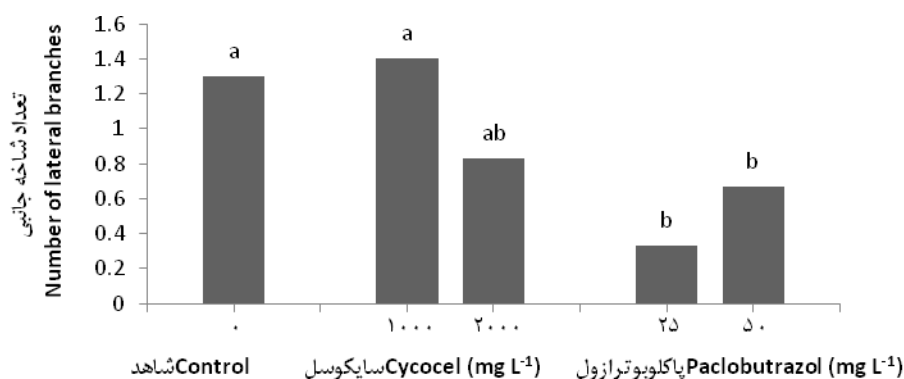


شکل ۴- اثر اصلی و برهمکنش بنزیل آدنین (BA) در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سایکوسل (C) در غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و پاکلوبوترازول (P) در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با شاهد (Control) بر سطح برگ گیاه شمعدانی در شرایط تراریوم (LSD (P≤0.05) تراریوم

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)

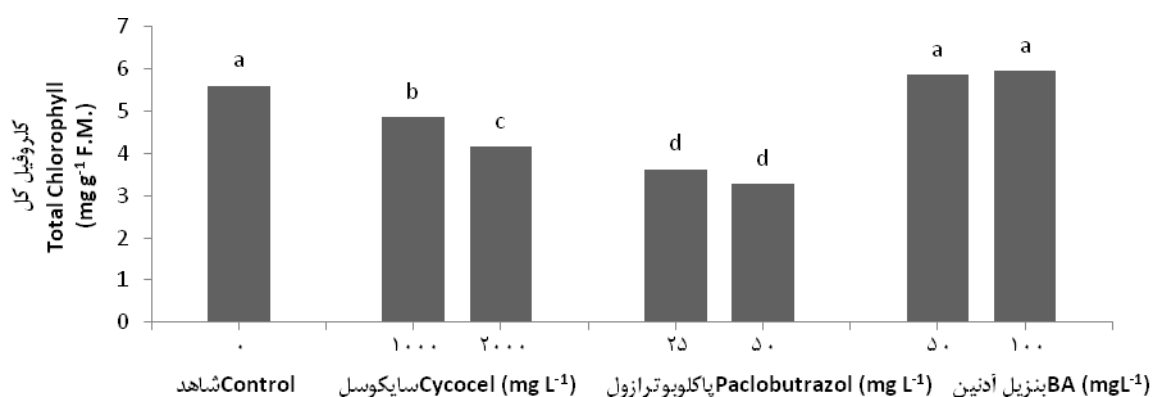
اثر محدودسازی محیط ریشه در فلفل و سویا نیز گزارش شده است (۲۰). بنزیل آدنین نیز همچون سایر سایتوکینین‌ها می‌تواند باعث فعال شدن جوانه‌های خاموش شود (۲۱)، همچنان که در تحقیقی روی گیاه ارکیده میلونیا (*Miltoniopsis*) مشخص شد رشد رویشی شاخه‌ها تحت تأثیر سایتوکینین افزایش یافت (۱۸). به‌علاوه اثرگذاری سایکوسل بر صفات رویشی و یا گل‌دهی نیز بستگی به نوع گونه گیاهی و نیز نوع کاربرد آن دارد، طوری که مشاهده شده است افزایش تعداد شاخه‌های جانبی در پاسخ به تیمار سایکوسل در فوشیا (*Fuchsia hybrida*) معنی‌دار بود (۵). در گیاه استوسپرموم 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).

نتایج نشان داد که هیچ یک از تنظیم‌کننده‌ها اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه‌های جانبی نداشتند، درحالی‌که محیط محدود تأثیر به‌سزایی در کاهش جوانه‌های جانبی داشت و گیاهان رشد یافته در گلدان‌های معمول به‌طور معنی‌داری شاخه‌های جانبی بیشتری داشتند (جدول ۱). در بین گیاهان تیمار شده با تنظیم‌کننده‌های 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 معمولاً 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



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

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

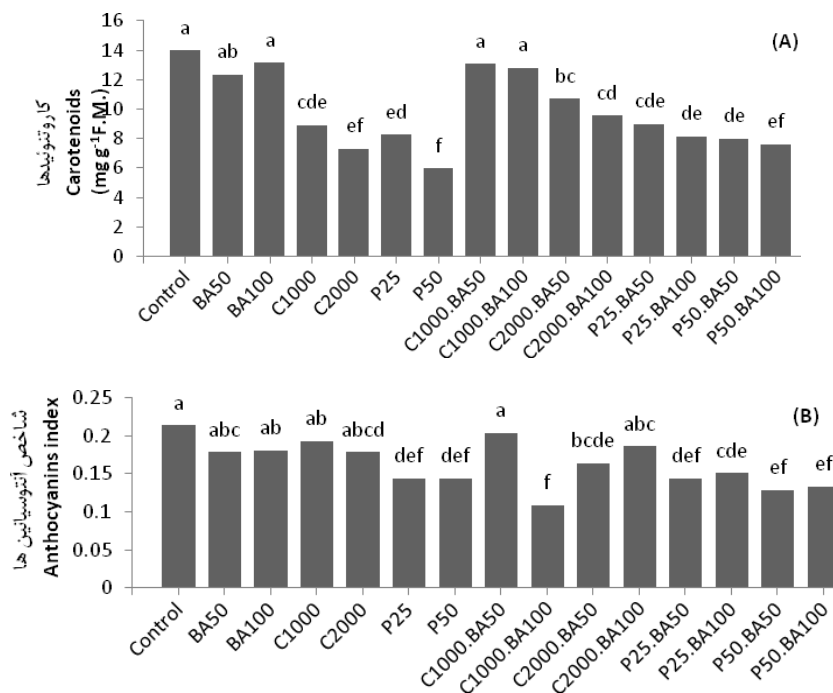


شکل ۶- اثر سایکوسل (CCC)، پاکلوبوترازول (PBZ) و بنزیل آدنین (BA) در مقایسه با شاهد (Control) بر میزان کلروفیل کل در برگ شمعدانی در شرایط تراریوم $LSD (P \leq 0.05)$

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

معنی‌داری سبب افزایش میزان کاروتنوئیدها شد ولی این اثر در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل مشاهده نشد (شکل A ۷). این رنگیزه بر اثر قرار گرفتن گیاه در محیط محدود افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). پایین‌ترین میزان کاروتنوئیدها در تیمار پاکلوبوترازول ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بدون کاربرد بنزیل آدنین بود. شاخص آنتوسیانین‌های برگ شمعدانی نیز بر اثر تیمار کندکننده‌های رشد کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل B ۷) و این کاهش همانند اثری که روی رنگیزه کاروتنوئید 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 تنظیم‌کننده‌های تریازولی در شرایط تنش خشکی منجر به کاهش کلروفیل‌ها، آنتوسیانین‌ها و کاروتنوئیدها در گیاه ذرت شد (۲۵).

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، درحالی‌که 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 معمولاً باعث افزایش میزان سبزیگی 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 آزمون 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



شکل ۷- اثر اصلی و برهمکنش بنزیل آدنین (BA; 50 and 100 mg L⁻¹), Cycocel (C; 1000 and 2000 mg L⁻¹) و پاکلوبوترازول (P; 25 and 50 mg L⁻¹) و برهمکنش آن‌ها با 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 آنتوسیانین‌ها (B) برگ گیاه شمعدانی در شرایط تراریوم (LSD (P ≤ 0.05)

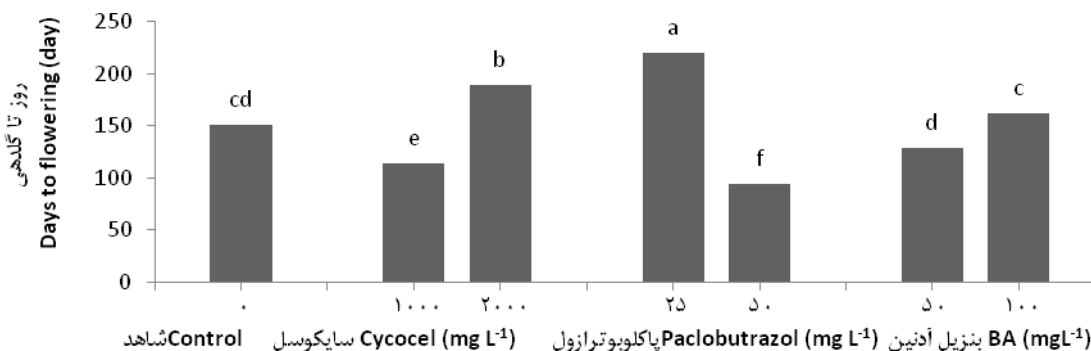
Figure 7- Effect of Banzyleadenine (BA; 50 and 100 mg L⁻¹), Cycocel (C; 1000 and 2000 mg L⁻¹) and their interactions compared with control on carotenoids (A) and anthocyanins index (B) of Geranium leaves under terrarium conditions. LSD (P ≤ 0.05)

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 حالی که 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 گل آذین و در مقابل تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول سبب کاهش شدید تعداد گل آذین و تعداد گل در گل آذین 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 کار برده شده پاکلوبوترازول در تیمار ۲۵ میلی‌گرم در لیتر باعث ایجاد تعادل هورمونی مناسب نشده و اکثریت گیاهان این تیمار، حتی با وجود بنزیل آذین 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 گل آذین شمعدانی بر اثر تیمار پاکلوبوترازول کاهش یافته است (۸). به نظر می‌رسد این اثر بیشتر وابسته به نوع گونه گیاهی و شرایط محیط رشد گیاه باشد.

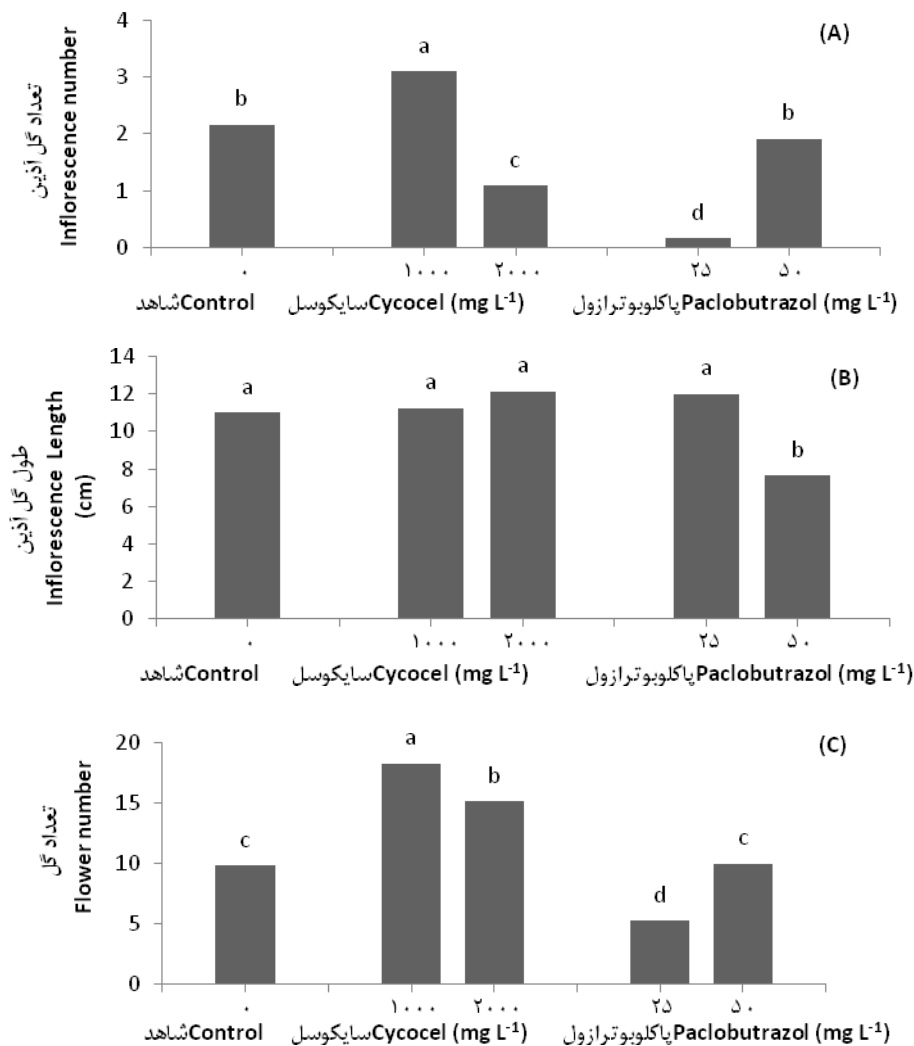
صفت تعداد روز تا گل‌دهی تحت تأثیر سطح ۵۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول و به‌طور جزئی در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۸). به عبارت دیگر این تیمار سبب تسریع در گل‌دهی شد، در حالی که غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل و نیز ۲۵ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول منجر به 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 آذین در زمان آغاز گل‌دهی نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. کاهش زمان تا گل‌دهی بر اثر تیمار پاکلوبوترازول 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 حالی که در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر گل‌دهی را تسریع کرده است. چنین اثری می‌تواند ناشی از 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 ارکیدها گزارش شده است که بنزیل آذین گل‌دهی را تحریک و یا القا کرده است اما در مورد گل‌دهی ارکیده میلونیا بنزیل آذین تولید گل آذین را کاهش داده است و در واقع سبب تحریک رشد رویشی نیز شده است (۱۸) ولی تیمار بنزیل آذین 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 آذین 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



شکل ۸- اثر کند کننده‌های رشد سایکوسل (CCC) و پاکلوبوترازول (PBZ) و محرک رشد بنزیل آذین (BA) در مقایسه با شاهد (Control) بر

صفت روز تا گلدهی گیاه شمعدانی در شرایط تراریوم LSD ($P \leq 0.05$)

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



شکل ۹- اثر کند کننده‌های رشد سایکوسل (CCC) و پاکلوبوترازول (PBZ) و محرک رشد بنزیل آذین (BA) در مقایسه با شاهد (Control) بر

تعداد گل آذین (A)، طول گل آذین (B) و تعداد گل در گل آذین (C) گیاه شمعدانی در شرایط تراریوم $P \leq 0.05$ LSD

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

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 آذین روی خصوصیات مربوط به گل‌دهی اثرگذار نبود. طی بررسی اثر بنزیل آذین در گیاه شیپوری نیز مشخص شد که این سایتوکینین مصنوعی هیچ یک از خصوصیات مرتبط با گل‌دهی را تحت تأثیر قرار نداد (۱۴) و به نظر می‌رسد علت این عدم تأثیر مرتبط با پایین بودن غلظت‌های به کار برده شده بنزیل آذین بوده باشد.

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

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 معنی داری 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 گل آذین Inflorescence number	*	2.25	3.50	1.25
تعداد گل Flower number (# inflorescence ⁻¹)	**	4.03	25.50	6.75
طول گل آذین Inflorescence length (cm)	**	3.23	19.50	10.12
روز تا گل دهی Days to flowering	**	83.13	99.00	147

**، * و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی داری
** P≤0.01; * P≤0.05; ns, not significant.

نتیجه گیری

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 حالی که این ماده به طور کلی هیچ یک از خصوصیات مربوط به گل دهی را تحت تأثیر قرار نداد. این تیمار حتی

از آنجایی که هدف پژوهش حاضر کنترل رشد و مدیریت گل دهی گیاه شمعدانی در تراریوم با استفاده از تنظیم کننده‌های رشد بود، مشاهده شد که ارتفاع گیاه تحت تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول کاهش معنی داری نسبت به شاهد پیدا کرد و این تیمار از لحاظ گل دهی نیز نه تنها اثر نامطلوبی نداشت بلکه زمان تا گل دهی را به میزان معنی داری کاهش داد و گل دهی را تسریع کرد. به نظر می‌رسد تعادل رویشی مناسبی در گیاهان تحت این تیمار

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.

سبب تأخیر 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

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- Babelwski P., and Pancierz 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-Zajac M. 2009. Effect of benzyladenine and gibberellic 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 Gibberellic 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 orientalis*. *Pakistan Journal of Botany*, 41(5): 2323-2332.
- 18- Matsumoto T.K. 2006. Gibberellic 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.



Managing Growth and Flowering of Geranium under Limited Growth Environment

A. Khandan-Mirkohi^{1*} - S.R. Waez Mousavi² - A. Khalighi³ - R. Naderi⁴

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 chlomequat 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 $25/20 \pm 2$ °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 $500 \mu\text{mole m}^{-2}\text{S}^{-1}$. 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