Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 53, No 3, Autumn 2022 (591-599)
DOI: 10.22059/ijhs.2021.213861.1065

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۱ (ص ۵۹۹-۵۹۱)

نشریه پژوهشی:

مطالعه اثر پاکوتاه‌کنندگی ترینگزاپک‌اتیل بر آهار *Zinnia elegans* ‘State fair mix’

محمدحسین شیخ محمدی[۱] و نعمت الله اعتمادی[۲*]
۱ و ۲. دانش‌آموخته دکتری و استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۳۱ - تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۹/۹)

چکیده

کاربرد تنظیم‌کننده‌ها در تولید گیاهان گلدانی با هدف کاهش رشد، بهبود شاخه‌زایی و افزایش تعداد گل روبه افزایش است. به منظور مطالعه‌ی اثر سطوح و نحوه‌ی کاربرد تنظیم‌کننده ترینگزاپک‌اتیل بر کنترل ارتفاع و ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و گل‌دهی آهار پابلند، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. نشاهای آهار در گلدان‌های پلی‌اتیلنی کشت و با مشاهده اولین جوانه گل، هر ۲۱ روز با سطوح صفر، $۲/۵\times۱۰^{-٤}$، $۰/۵\times۱۰^{-٤}$، ۱×۱۰^{-۳} و ۲×۱۰^{-۳} گرم ترینگزاپک‌اتیل تیمار شدند. ترینگزاپک‌اتیل به دو شکل محلول‌پاشی و کاربرد خاکی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد تیمارهای ۱×۱۰^{-۳} و ۲×۱۰^{-۳} گرم ترینگزاپک‌اتیل ارتفاع را به طور معنی‌داری کاهش دادند. محلول‌پاشی ترینگزاپک‌اتیل باعث کاهش ۱٦/٤۲ درصدی ارتفاع نسبت به شاهد شد. تعداد انشعاب و گل با افزایش غلظت ترینگزاپک‌اتیل، افزایش یافت و بیشترین آن‌ها در تیمار ۲×۱۰^{-۳} گرم ترینگزاپک‌اتیل مشاهده شد. تعداد برگ و طول انشعاب تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. غلظت‌های ۱×۱۰^{-۳} و ۲×۱۰^{-۳} گرم ترینگزاپک‌اتیل میزان کلروفیل و قند اندام هوایی را به طور معنی‌دار افزایش دادند. در این پژوهش، کاربرد خاکی ترینگزاپک‌اتیل اثر معنی‌داری بر صفات مورد بررسی نشان نداد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، محلول‌پاشی ترینگزاپک اتیل ممکن است به عنوان یک روش مناسب برای تولید گیاه پاکوتاه و گلدانی آهار رقم State Fair mix استفاده شود. براساس نتایج به‌دست‌آمده کاربرد ترینگزاپک‌اتیل به صورت محلول‌پاشی می‌تواند باعث کنترل و کاهش ارتفاع آهار رقم State Fair mix شود.

واژه‌های کلیدی: آهار، ترینگزاپک‌اتیل، کندکننده رشد گیاهی، گل‌دهی.

Investigation of dwarfness effect of trinexapac-ethyl on *Zinnia elegans* ‘State fair mix’

Mohammad Hossein Sheykh Mohammadi[1] and Nematollah Etemadi[2*]
1, 2. Ph. D. Graduated and Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
(Received: Aug. 21, 2016 - Accepted: Nov. 20, 2021)

ABSTRACT

Application of regulators in production of pot plants have been increasing due to lowering growth, improving branching and the number of flowering branches. In order to study the effect of levels and application method of trinexapac-ethyl regulator on height control and morphophysiological characteristics and flowering of *Zinnia elegans*, a factorial experiment based on completely randomized design with three replications was performed. Zinnias seedlings were planted in polyethylene pots and subjected to trinexapac-ethyl with levels of zero, 2×10^{-3}, 1×10^{-3}, 0.5×10^{-3} and 4.5×10^{-4} g when the first bud emerged. Trinexapac-ethyl was applied in both foliar spray and soil application. According to the results, 1×10^{-3} and 2×10^{-3}g trinexapac-ethyl caused significant reduction in plant height. As trinexapac-ethyl level increased, number of branches and flowers were increased accordingly most of which was under the latter treatment. Branch length and leaf number was not affected. The concentrations 1×10^{-3} and 2×10^{-3}g increased chlorophyll and shoots sugars, but not on root. Similarly, soil application of Trinexapac-ethyl did not showed positive effects. In light of obtained results, foliar spray application of Trinexapac-ethyl may serve as a suitable way to produce dwarf and pot *Zinnia elegans* ‘State fair mix’. Based on the obtained results, application of Trinexapac-ethyl as foliar application can control and reduce the height of the *Zinnia elegans* ‘State fair mix’.

Keywords: Flowering, plant growth retardants, trinexapac-ethyl, *Zinnia elegans.*

* Corresponding author E-mail: etemadin@iut.ac.ir

مقدمه

گل آهار با نام علمی *Zinnia elegans* Jacq. گیاهی یک‌ساله و از گیاهان گل‌دار خانواده کاسنیان و از شناخته شده‌ترین گیاهان سرده Zinnia است، از این گیاه علاوه بر کاشت زینتی در باغچه و گلدان به عنوان گل شاخه بریده در دسته‌های گل نیز استفاده می‌شود (Latimer, 1991; Rossini Pinto *et al*., 2005). محققان با استفاده از روش‌های بهنژادی و بهزراعی درصدد بهبود کمیت و کیفیت گل‌ها و گیاهان زینتی هستند و در این راستا، کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی اهمیت ویژه‌ای دارد. در تولید گل و گیاهان زینتی، کنترل اندازه رشد رویشی و کاهش اندازه گیاه از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است. یکی از روش‌های مؤثر کنترل ارتفاع گیاهان، استفاده از مواد کندکننده رشد است (Chen *et al*., 1993).

کندکننده‌های رشد گیاهی به شکلی گسترده در صنعت گیاهان زینتی به منظور کاهش رشد، بهبود شکل ظاهری، کیفیت و متراکم کردن گیاه به کار می‌روند (Hiscox & Israelstam, 1979). این مواد تقسیم و طویل شدن سلولی را در گیاه کاهش داده و ارتفاع آن را کنترل می‌کنند (Cathey, 1964). بازدارنده‌های اسید جیبرلیکی که با توقف رشد، کیفیت گیاه را نیز در حد قابل‌قبول حفظ می‌کنند، به عنوان مهم‌ترین کندکننده‌های رشد گیاهی طی چند سال اخیر موردتوجه قرار گرفته‌اند (Chen *et al*., 1993; Hojati *et al*., 2009). تنظیم‌کننده ترینگزاپک‌اتیل با نام شیمیایی ۴- (سیکلوپروپیل- الف- هیدروکسی-متیلن) -۳، ۵ – دی‌اکسی- اوسیکلو هگزان کربوکسیلیک اسید اتیل استر، به علت کارایی بالا در تنظیم رشد گیاه، به شکلی گسترده جهت کاهش ارتفاع گراس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sheikh-Mohamadi *et al*., 2015). ترینگزاپک‌اتیل در سنتز اسید جیبرلیک دخالت کرده و از تبدیل جیبرلین ۲۰ به جیبرلین ۱ جلوگیری می‌کند، هم‌چنین مانع فعالیت آنزیم ۳ بتاهیدروکسیلاز شده، بنابراین سبب کاهش طول سلول‌ها و در نتیجه کاهش میان گره‌ها می‌شود (Dunn & Keeneth, 2004). بعد از کاربرد این ماده گیاهان حاصله فواصل میان گره‌ای کوتاه‌تر و رشد عمودی کمتری در مقایسه با شاهد دارند (Beasley, 2005). تقریباً تمامی پژوهش‌های پیش‌ازاین، اثر مثبت ترینگزاپک‌اتیل بر کاهش ارتفاع و رشد را در چمن‌های فصل سرد و گرم نشان می‌دهد (Ervin & Koski, 1998; Ervin *et al*., 2002; Fagerness *et al*., 2004; Goss *et al*., 2002; Rasouli *et al*., 2018). تحقیقات بسیار کمی در خصوص تأثیر این تنظیم‌کننده بر روی گیاهان پهن‌برگ صورت گرفته است. Gardner & Metzger (2005) تأثیر سطوح ترینگزاپک‌اتیل را در گیاه داوودی مورد بررسی قراردادند و در انتها بیان کردند، این ماده می‌تواند جهت کاهش ارتفاع گیاه داوودی مؤثر باشد و در تولید گلدانی این گل استفاده گردد، همچنین هیچ‌گونه سمیتی از این ماده روی داوودی مشاهده نشد. آهار (*Zinnia elegans*) گیاهی علفی است که به عنوان گل حاشیه‌ای و شاخه بریده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mcdonald, 2002). خصوصیاتی همچون مقاومت به گرما، خشکی و دوره گل‌دهی طولانی (Dole & Wilkins, 2005)، موجب شده است که تقاضا برای این گل رو به افزایش باشد.

هدف از این مطالعه مشخص نمودن اثر سطوح و نحوه پاشش ترینگزاپک‌اتیل بر کنترل ارتفاع، خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و گل‌دهی آهار (*Zinnia elegans* ‘State fair mix’) در تولید گیاهان پاکوتاه، فشرده و با کیفیت بالای آهار برای اولین بار در صنعت گل‌کاری جهان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی تأثیر سطوح و نحوه کاربرد ترینگزاپک‌اتیل بر برخی صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و گل‌دهی آهار، آزمایشی طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۱ در گلخانه‌های گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان به اجرا درآمد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد، هر تکرار شامل چهار گلدان بود. ترینگزاپک‌اتیل در پنج غلظت صفر، $۲/۵\times۱۰^{-۴}$، $۰/۵\times۱۰^{-۴}$، ۱×۱۰^{-۳} و ۲×۱۰^{-۳} گرم، مورد استفاده قرار گرفت (Gardner & Metzger,

2005). در تیمار شاهد از آب مقطر به جای محلول شیمیایی استفاده شد. نشاهای آهار رقم پابلند State Fair mix که همگی در مرحله چهار برگی قرار داشتند از مرکز تولید نهال سازمان پارک فضای سبز اصفهان تهیه شدند و به گلدان‌هایی با ترکیب بستر خاک زراعی و خاک‌برگ به نسبت دو به یک انتقال یافتند. مشخصات خاک مورد آزمایش در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده.
Table 1. Physical and chemical properties of used soil.

Soil characteristics	The amount in the soil
Sand (%)	15.33
Clay (%)	41.3
Silt (%)	43.4
Organic matter(%)	4.2
EC (ds m^{-1})	2.93
pH	7.08

گیاهان در گلخانه‌ای با دمای ۲۵ درجه نگهداری شدند و آبیاری در حد نیاز صورت گرفت. همه گیاهان در ماه سه مرتبه توسط کود کامل (۱۵-۱۵-۱۵) با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تغذیه شدند. پس از استقرار کامل گیاهان و مشاهده اولین جوانه گل آهار، واحدهای آزمایشی توسط ترینگزاپک‌اتیل به صورت محلول‌پاشی بر روی برگ‌ها و کاربرد خاکی تیمار شدند (Gardner & Metzger, 2005). اسپری به‌گونه‌ای کالیبره شد که میزان ۴/۲ میلی‌لیتر از محلول در هر ۵ بار فشار دادن دسته رها گردد. میزان اسپری برای هر گلدان در طول آزمایش به‌اندازه ۴/۲ میلی‌لیتر با انحراف معیار ۰/۱ میلی‌لیتر بود. در محلول‌پاشی برگی برای اینکه تنها تأثیر جذب محلول از برگ بررسی و از جذب محلول از طریق خاک و ریشه ممانعت گردد، در حین محلول‌پاشی سطح خاک گلدان‌ها با روزنامه پوشانده شد. اسپری نمودن ترینگزاپک‌اتیل هر ۲۱ روز یک‌بار تکرار شد (Beasley, 2005). ارتفاع آهار با خط کش میلی‌متری از قسمت طوقه تا زیر گل اندازه‌گیری شد، پس از منشعب شدن بوته‌ها نیز هم چنان اندازه ساقه اصلی ملاک ارتفاع بود. تعداد برگ هر چهار گیاه واحد آزمایشی شمارش و میانگین به عنوان تعداد برگ ثبت گردید. پس از پایان آزمایش، تعداد ساقه فرعی در هر بوته شمارش گردید. طول انشعاب فرعی در آخرین هفته آزمایش با خط کش اندازه‌گیری شد. زمانی که گل‌ها به حداکثر رشد خود رسیدند، قطر آن‌ها با خط کش مدرج محاسبه شد. تعداد گل‌های تشکیل‌شده در هر بوته از مرحله رنگ اندازی غنچه تا پژمرده شدن شمارش گردید. جهت اندازه‌گیری وزن تر اندام هوایی و ریشه از ترازوی دیجیتال با دقت یک میلی‌گرم استفاده گردید، وزن تر اندام هوایی و ریشه به‌طور جداگانه محاسبه شد و بین چهار گیاه میانگین گرفته شد. سپس اندام هوایی و ریشه به‌طور جداگانه به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرارگرفته و وزن خشک آن‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک میلی‌گرم وزن شدند. جهت تعیین محتوی کلروفیل، نمونه‌ها جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری (مدل uv-160 A شیماتزو-کیوتو) و سانتریفیوژ (مدل اپندرف 5810r)، توسط فرمول لیشتنتالر محاسبه شدند (Hiscox & Israelstam, 1979). اندازه‌گیری قندهای محلول در اندام هوایی و ریشه با استفاده از روش اسیدسولفوریک و فنل انجام شد (DuBois *et al*., 1956). داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) تجزیه‌وتحلیل شدند و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد سطوح، نحوه کاربرد ترینگزاپک‌اتیل و اثر متقابل این تیمارها در سطح پنج درصد دارای اثر معنی‌دار بر روی ارتفاع آهار بوده است (جدول ۲)، غلظت‌های ۱×۱۰^{-۳} و ۲×۱۰^{-۳} گرم ترینگزاپک‌اتیل صفت ارتفاع را در گل آهار به نحو معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش دادند، بااین‌حال بین سایر سطوح تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۳)، تیمار شاهد بیشترین میانگین ارتفاع (۴۸/۷ سانتی‌متر) و تیمار ۲×۱۰^{-۳} گرم ترینگزاپک‌اتیل کمترین میانگین ارتفاع (۳۰/۳ سانتی‌متر) را دارا بودند (جدول ۳). هم‌چنین جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) معنی‌دار بودن اثر نحوه کاربرد ترینگزاپک‌اتیل را بر ارتفاع آهار نشان می‌دهد، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد محلول‌پاشی ترینگزاپک‌اتیل به شکلی

معنی‌دار در کاهش ارتفاع آهار موفق بوده است به‌طوری‌که ارتفاع را ۱۸/۹۱ درصد بیشتر از کاربرد خاکی کاهش داده است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح و نحوه‌ی کاربرد ترینگزاپک‌اتیل (شکل ۱) بر روی آهار نشان داد، بیشترین ارتفاع در تیمار شاهد (۴۹/۲۱ سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع در محلول‌پاشی برگی غلظت ۲×۱۰^{-۳} گرم ترینگزاپک‌اتیل (۲۷/۵۵ سانتی‌متر) مشاهده شده است. Gardner & Metzger (2005) گزارش کردند محلول‌پاشی ترینگزاپک‌اتیل موجب کاهش ارتفاع داوودی می‌گردد. ترینگزاپک‌اتیل از جمله کندکننده‌های رشد می‌باشد که در سنتز اسید جیبرلیک دخالت کرده و سبب کاهش طویل شدن سلولی و درنتیجه کاهش فاصله میان گره‌ها می‌گردد (Beasley, 2005; Beasley & Branham 2007; Ervin & Koski, 2001; Hojati *et al*., 2009). یکی از نقش‌های اساسی جیبرلین در گیاهان رشد ساقه از طریق افزایش تقسیم و بزرگ شدن سلول و طویل شدن سلولی است. ترینگزاپک‌اتیل از تقسیم و طویل شدن سلولی ناشی از هورمون جیبرلین جلوگیری کرده و در نهایت باعث کاهش فاصله میان گره‌ها و کاهش ارتفاع می‌گردد (Hojati *et al*., 2009).

تعداد برگ

سطوح و نحوه کاربرد تنظیم‌کننده ترینگزاپک‌اتیل تأثیر معنی‌داری بر تعداد برگ آهار نداشت (جدول ۲). در موافقت با نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش، Rossini Pinto *et al*. (2005) گزارش کردند که کاربرد غلظت‌های متفاوت تنظیم‌کننده پاکلوبوترازول در گیاه آهار رقم لی‌لی‌پوت اثر معنی‌داری روی تعداد برگ آهار نداشته است. آن‌ها گزارش کردند تعداد برگ در آهار با تعداد گره مرتبط است و در هر گره دو برگ تشکیل می‌شود، بنابراین تا زمانی که کندکننده رشد بدون ایجاد تغییر در گره، از طویل شدن میان گره جلوگیری کند، تأثیری بر تعداد برگ نخواهد داشت. Adams *et al*. (1992) گزارش کردند تنظیم‌کننده ترینگزاپک‌اتیل با کاهش فاصله‌ی میان گره‌ها موجب کاهش ارتفاع شده و تأثیری روی تعداد گره نمی‌گذارد.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح و نحوه کاربرد ترینگزاپک اتیل و بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و گل‌دهی آهار State fair mix
Table 2. Results of variance analysis effect of levels and application method trinexapac-ethyl on morphophysiological characteristics and flowering of *Zinnia elegans* State fair mix'.

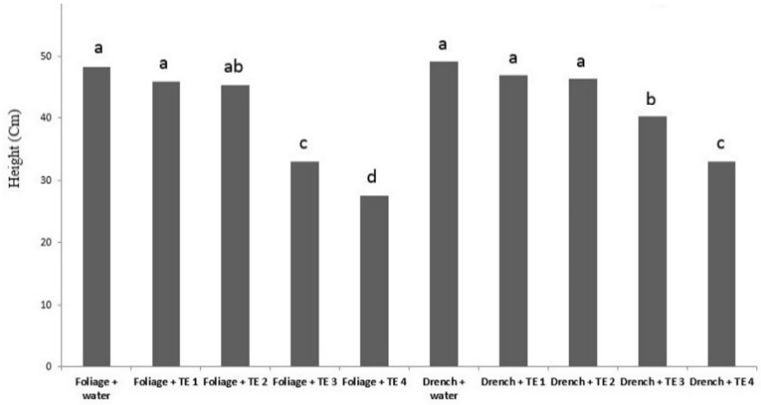
Source of variation	df	Mean of squares												
		Plant height	Leaf number	Branches	Branch length	Shoot FW	Shoot DW	Root FW	Root DW	Flowers number	Flower diameter	Chlorophyll	Sugar shoot	Sugar Root
Trinexapac-ethyl levels (a)	4	371.24 *	15.29 ns	10.11 *	0.17 ns	560.4 *	434.4 *	1.14 ns	0.57 ns	1039 *	0.31 ns	1.03 *	4.29 *	0.03 ns
Trinexapac-Ethyl application (b)	1	80.49 *	27.39 ns	4.28 *	0.61 ns	366.6 *	125.2 *	0.90 ns	0.32 ns	0.77 ns	0.002 ns	2 *	12.97 *	0.06 ns
a × b	4	13.4 *	29.73 ns	1.57 ns	0.04 ns	50.5 *	20.57 *	0.85 ns	0.73 ns	0.32 ns	0.22 ns	0.25 ns	2.88 ns	0.05 ns
Error	18	8.98	8.74	0.58	0.2	29.8	25.08	0.73	0.26	0.29	0.72	0.04	0.15	0.17
CV (%)		7.19	4.94	11.87	3.21	3.06	10.7	4.76	7.47	6.31	8.49	4.11	5.74	8.4

**، * و ns: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.
**, *, ns: Significantly differences at 1 and 5% of probability levels, and non-significant, respectiverly.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر سطوح ترینگزاپک اتیل بر ویژگی های مورفوفیزیولوژیک و گل دهی آهار State fair mix
Table 3. Mean comparison effect of trinexapac-ethyl levels on morpho-physiological characteristics and flowering of *Zinnia elegans* 'State fair mix'.

Treatment (g)	Plant height (cm)	Leaf number	Branches	Branch length (cm)	Shoot FW (g)	Shoot DW (g)	Root FW (g)	Root DW (g)	Flowers number	Flower diameter (cm)	Chlorophyll (mg.g-1FW)	Sugar shoot (mg.g-1DW)	Sugar Root (mg.g-1DW)
0	48.7 a	58.6 a	5.26 c	16.29 a	18.99 a	5.71 a	18.67 a	7.35 a	8.11 c	10.1 a	4.92 c	5.96 c	1.97 a
2.5×10^{-4}	49.4 a	58.8 a	5.86 bc	16.18 a	18.61 ab	5.26 ab	18.07 a	7.16 a	8.19 c	10.3 a	4.98 c	6.06 c	2 a
0.5×10^{-4}	46.1 a	59.6 a	5.92 bc	16.21 a	18.01 b	4.76 b	17.93 a	6.71 a	8.51 bc	9.89 a	4.99 b	6.68 b	1.92 a
1×10^{-3}	36.7 b	59.7 a	6.55 b	16.1 a	17.15 c	3.96 c	17.79 a	6.79 a	8.96 ab	9.88 a	5.6 b	7.45 a	2.03 a
2×10^{-3}	30.3 c	57.6 a	8.61 a	15.84 a	16.69 c	3.7 c	17.49 a	6.6 a	9.22 a	9.85 a	6.82 a	7.89 a	2.12 a

در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.
Means in each column with the same letters are not significantly different at 5% level using LSD.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح و روش کاربرد ترینگزاپک اتیل بر ارتفاع آهار

Figure 1. Mean comparison interaction effect of levels and application method of trinexapac-ethyl on plant height *Zinnia elegans* 'State fair mix' (TE_1:2.5×10^{-4}, TE_2: 0.5×10^{-4}, TE_3:1×10^{-3}, TE_4: 2×10^{-3} g).

تعداد و طول انشعاب

سطوح و نحوه کاربرد ترینگزاپک‌اتیل اثر معنی‌داری بر طول انشعاب آهار از خود نشان ندادند ولی اثر این تیمارها بر تعداد انشعاب آهار در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تعداد انشعاب آهار با افزایش غلظت ترینگزاپک‌اتیل افزایش پیدا کرد، کمترین تعداد انشعاب (۵/۲۶) در تیمار شاهد و بیشترین تعداد انشعاب در غلظت ۲×۱۰^{-۳} گرم (۸/۶۱) مشاهده شد (جدول ۳). محلول‌پاشی ترینگزاپک‌اتیل نیز، تعداد انشعاب آهار را نسبت به کاربرد خاکی به ترتیب ۲۵/۹۲ درصد افزایش داد (جدول ۴). در موافقت با نتایج به دست آمده در این آزمایش، Karlović *et al.* (2004) گزارش کردند کندکننده‌های رشد موجب افزایش تعداد انشعاب داوودی رقم رورت می‌گردند. Trenholm *et al.* (2000) نشان دادند تنظیم‌کننده سایکوسل موجب افزایش تعداد انشعاب در شمعدانی می‌گردد. در مغایرت با نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش، Rossini Pinto *et al.* (2005) گزارش کردند کاربرد تنظیم‌کننده سایکوسل با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر روی رقم لی لی پوت آهار موجب کاهش طول انشعاب می‌گردد.

وزن تر و خشک اندام هوایی

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر تیمارهای سطوح ترینگزاپک‌اتیل و نحوه کاربرد آن و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر و خشک اندام هوایی آهار در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف مشخص می‌کند که بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب ۱۸/۹۹ گرم و ۵/۷۱ گرم، مربوط به تیمار شاهد و کمترین وزن تر و خشک به ترتیب با ۱۶/۶۹ گرم و ۳۷ گرم مربوط به غلظت ۲×۱۰^{-۳} گرم ترینگزاپک‌اتیل می‌باشد، با افزایش غلظت تنظیم‌کننده وزن تر و خشک کاهش یافت (جدول ۳). محلول‌پاشی ترینگزاپک‌اتیل، وزن تر و خشک اندام هوایی آهار را نسبت به کاربرد خاکی به ترتیب ۱۰/۲۱ و ۱۹/۹ درصد کاهش داد (جدول ۴). اثر متقابل سطوح و نحوه کاربرد ترینگزاپک‌اتیل بر روی آهار نشان داد، کمترین وزن تر (۱۵/۹۷ گرم) و خشک آهار (۳/۲۸ گرم) در محلول‌پاشی غلظت ۲×۱۰^{-۳} گرم ترینگزاپک‌اتیل مشاهده‌شده است. تقریباً تمامی پژوهش‌های مربوط به ترینگزاپک‌اتیل نشان می‌دهد که این ماده می‌تواند باعث کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی گردد (Ervin *et al.*, 2002; Fagerness & Yelverton, 2000; Landry & Murphy, 2000). ترینگزاپک‌اتیل از طریق ممانعت از سنتز جیبرلین مانع از طویل شدن اندام هوایی می‌گردد، درنتیجه موجب کاهش وزن تر و خشک می‌شود (Rademacher, 2000).

وزن تر و خشک ریشه

سطوح ترینگزاپک‌اتیل و نحوه کاربرد آن اثر معنی‌داری بر روی وزن تر و خشک ریشه آهار نداشتند (جدول ۲). در موافقت با نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش، Hojati *et*

al. (2009) گزارش کردند تنظیم‌کننده سایکوسل و پاکلوبوترازول موجب کاهش وزن تر و خشک ریشه آهار می‌گردد. محلول‌پاشی اندام هوایی حنا و جعفری توسط پاکلوبوترازول موجب کاهش وزن خشک ریشه گردید (Latimer, 1991). بررسی‌های انجام‌شده بر روی تأثیر ترینگزاپک‌اتیل بر وزن تر و خشک‌ریشه نشان می‌دهد این ماده تأثیر معنی‌داری بر روی صفات مربوط به ریشه ندارد (Ervin & Koski, 2001; Ervin & Koski, 2001) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارند. Beasley & Branham (2007) گزارش کردند تنظیم‌کننده ترینگزاپک‌اتیل بر خصوصیات ریشه چمن کنتاکی بلوگراس اثری معنی‌دار نداشته و موجب کاهش ریشه دهی و نفوذ ریشه نمی‌گردد. نتایج Bingaman *et al* (2001) مشخص کرد، این تنظیم‌کننده اثری معنی‌دار بر خصوصیات ریشه نداشته و موجب افزایش استحکام ریشه‌ها نیز می‌گردد.

تعداد و قطر گل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۲) تیمارهای سطوح ترینگزاپک‌اتیل و نحوه کاربرد آن اثر معنی‌داری بر روی قطر گل آهار نداشته‌اند که نشان‌دهنده برتری این تنظیم‌کننده نسبت به سایر کنند کننده‌های رشد می‌باشد. Chen *et al.* (1993) گزارش کردند محلول‌پاشی آهار توسط پاکلوبوترازول موجب کاهش قطر گل‌های آهار می‌گردد. Keever & Cox (1989) گزارش کردند تنظیم‌کننده پاکلوبوترازول موجب کاهش قطر گل جعفری می‌گردد. تعداد گل آهار تنها متأثر از سطوح ترینگزاپک‌اتیل قرار گرفت. با بررسی مقایسه میانگین مشخص شد با افزایش در غلظت ترینگزاپک‌اتیل، تعداد گل افزایش‌یافته است به‌طوری‌که در تیمار شاهد کمترین تعداد گل (۸/۱۱) و در غلظت ۲×۱۰^{-۳} گرم بیشترین مقدار (۹/۲۲) بود (جدول ۴). ماتسوکیس و چرون پولو (۲۷) گزارش کردند کاربرد سایکوسل با غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب افزایش تعداد گل در شاه‌پسند درختی می‌گردد. هم‌چنین Karlović *et al.* (2004) گزارش کردند تنظیم‌کننده سایکوسل موجب افزایش گل‌دهی در داوودی گردید.

کلروفیل

جدول تجزیه‌ی واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثر تیمارهای سطوح ترینگزاپک‌اتیل و نحوه کاربرد آن بر روی کلروفیل در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است، مقایسه‌ی میانگین‌ها نشان داد با افزایش در غلظت ترینگزاپک‌اتیل، میزان کلروفیل افزایش‌یافته است به‌طوری‌که در تیمار شاهد کمترین مقدار کلروفیل (۴/۹۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) و در غلظت ۲×۱۰^{-۳} گرم بیشترین میزان (۶/۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) بود (جدول ۳). هم‌چنین نتایج نشان داد محلول‌پاشی ترینگزاپک‌اتیل، کلروفیل آهار را نسبت به کاربرد خاکی ۳۰/۴ درصد افزایش داد (جدول ۴). Fan *et al.* (2009) گزارش کردند ترینگزاپک‌اتیل باعث افزایش میزان کلروفیل گیاهان تیمار شده نسبت به شاهد می‌گردد، افزایش میزان کلروفیل در اثر کاربرد ترینگزاپک‌اتیل را می‌توان به کاهش طویل شدن سلولی و افزایش تراکم سلول‌های مزوفیلی برگ در نتیجه افزایش میزان کلروفیل در واحد برگ گیاه مرتبط دانست. هم‌چنین ترینگزاپک‌اتیل سبب افزایش سطح شده و پیری را به تأخیر می‌اندازد و در نتیجه باعث افزایش غلظت کلروفیل می‌گردد (Grossmann, 1992).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر روش کاربرد ترینگزاپک اتیل بر ویژگی های مورفوفیزیولوژیک و گل دهی آهار State fair mix.
Table 4. Mean comparison effect of trinexapac-ethyl application method on morphophysiological characteristics and flowering of *Zinnia elegans* 'State fair mix'

Treatment	Plant height (cm)	Leaf number	Branches	Branch length (cm)	Shoot FW (g)	Shoot DW (g)	Root FW (g)	Root DW (g)	Flowers number	Flower diameter (cm)	Chlorophyll ($mg.g^{-1}FW$)	Sugar shoot ($mg.g^{-1}DW$)	Sugar Root ($mg.g^{-1}DW$)
Foliar spray	40.7 b	60.8 a	6.8 a	15.98 a	16.54 b	4.07 b	18.1 a	7.03 a	8.7 a	10.3 a	6.52 a	7.4 a	2.05 a
Soil application	48.4 a	57.9 a	5.4 b	16.2 a	12.3 a	4.88 a	17.8 a	6.8 a	8.4 a	10.01 a	5 b	6.1 b	1.96 a

در هر ستون میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.
Means in each column with the same letters are not significantly different at 5% level using LSD.

ترینگزاپک‌اتیل با ممانعت از سنتز جیبرلین سبب کاهش طویل شده سلولی و افزایش تراکم سلول‌های مزوفیلی برگ، افزایش سطح سایتوکینین و در نهایت افزایش غلظت کلروفیل می‌گردد (Fan *et al*, 2009).

قندهای محلول اندام هوایی و ریشه

سطوح ترینگزاپک‌اتیل و نحوه کاربرد آن، اثر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر قند محلول اندام هوایی آهار نشان دادند، اثر این تیمارها بر قند محلول ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش غلظت ترینگزاپک‌اتیل، میزان قند اندام هوایی افزایش‌یافته است به‌طوری‌که در تیمار شاهد کمترین مقدار قند (۵/۹۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) و این مقدار در غلظت ۲×۱۰^{-۳} ترینگزاپک‌اتیل بیشترین میزان (۷/۸۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) مشاهده شد (جدول ۳). نتایج نشان داد محلول‌پاشی ترینگزاپک‌اتیل، قندهای محلول اندام هوایی آهار را نسبت به کاربرد خاکی به میزان ۲۱/۳۱٪ افزایش داد (جدول ۴). احتمال می‌رود افزایش قندهای محلول به علت کاهش طویل شدن سلولی در اثر کاربرد ترینگزاپک‌اتیل می‌باشد.

Nelson *et al*. (1986) گزارش کردند کاربرد ترینگزاپک‌اتیل با کاهش طویل شدن برگ موجب افزایش کربوهیدرات‌ها می‌گردد. نتایج Ervin & Koski (2001) مشخص کرد که افزایش محتوی کلروفیل توسط ترینگزاپک‌اتیل موجب افزایش جذب نور و در نتیجه افزایش پتانسیل فتوسنتز و تولید بیشتر قند می‌گردد. Trenholm *et al*. (2000) گزارش کردند ترینگزاپک‌اتیل موجب افزایش محتوی کربوهیدرات ساختاری در دیواره سلولی شود. وظیفه کلروفیل جذب نور برای فتوسنتز می‌باشد. افزایش میزان کلروفیل منجر به جذب بیشتر نور شده که درنهایت پتانسیل فتوسنتزی گیاه را افزایش دهد؛ بنابراین افزایش میزان کلروفیل باعث افزایش میزان فتوسنتز و تولید بیشتر مواد حاصل از فتوسنتز می‌شود از طرف دیگر نشان داده شده است که ترینگزاپک‌اتیل توانایی جذب الکترون‌های زنجیره انتقال الکترون میتوکندری‌ها را از کینون دارد که باعث کاهش میزان تنفس در گیاه می‌شود. با افزایش میزان فتوسنتز و کاهش میزان تنفس میزان مواد حاصله از فتوسنتز افزایش می‌یابد که باعث افزایش میزان قند در گیاه می‌شود (Trenholm *et al*., 2000).

نتیجه‌گیری کلی

از بین صفات بررسی‌شده در این آزمایش، محلول‌پاشی غلظت‌های ۱×۱۰^{-۳} و ۲×۱۰^{-۳} گرم ترینگزاپک‌اتیل در مجموع توانستد بر بسیاری از صفات به شکلی مؤثر عمل کنند، به‌استثنای صفات تعداد برگ، طول انشعاب، قند ریشه و قطر گل، ترینگزاپک‌اتیل با کاهش ارتفاع، افزایش تعداد انشعاب و تعداد گل، افزایش کلروفیل و قند، کاهش وزن تر و خشک و عدم تأثیر منفی بر روی قطر گل مؤثر عمل کرد، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده و عدم تأثیر منفی این تنظیم‌کننده روی قطر و کیفیت گل، کاربرد ترینگزاپک‌اتیل به‌صورت محلول‌پاشی می‌تواند به کاهش ارتفاع آهار پابلند مورد مطالعه منتهی گردد. در پایان محلول‌پاشی غلظت ۱×۱۰^{-۳} گرم ترینگزاپک‌اتیل به عنوان غلظت مناسب جهت تولید گیاه گلدانی و پاکوتاه آهار معرفی می‌گردد. به‌طورکلی محلول‌پاشی ترینگزاپک‌اتیل به منظور کاهش ارتفاع آهار پابلند توصیه می‌شود.

REFERENCES

1. Adams R., Kerber E., Pfister K. & Weiler E. W. (1992). Studies on the action of the new growth retardant CGA 163'935 (Cimectacarb). In: Karsen C.M., van Loon L.C. and Vreugdenhil D. (eds), Progress Plant Growth Regulation. *14th Annual International Conference*, July 1991, Amsterdam, The Netherlands, pp. 818-827.
2. Beasley, J.F. (2005). *Physiology and growth responses of cool season turfgrasses treated with trinexapac-ethyl or paclobutrazol*. MSc thesis. University Of Illinois at Urbana-Champaign. Illinois, USA.
3. Beasley, J. S. & Branham, B. E. (2007). Trinexapac-ethyl and Paclobutrazol Affect Kentucky Bluegrass Single-Leaf Carbon Exchange Rates and Plant Growth. *Crop Science*, 47, 132-138.

4. Bingaman, B.R., Christians, N.E. & Gardner, D.S. (2001). Trinexapac-ethyl effects on rooting of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*) sod. *International Turfgrass Society Research Journal*, 9, 832-834.
5. Cathey, H. (1964). Physiology of growth retarding chemicals. *Annual Review of Plant Biology*, 15, 272-302.
6. Chen, C.L., Keever, G.L. & Deneke, C.F. (1993). Growth and flowering of triazole-treated zinnia (*Zinnia elegans*) and marigold (*Tagetes erecta*). *Journal of Plant Growth Regulation*, 21, 169-179.
7. Dole, J.M. & Wilkins, H.F. (2005). *Floriculture: Principles and species*. Prentice Hall, USA.
8. DuBois, M., Gilles, K. A. Hamilton, J. K. Rebers, P. A. & Smith, F. (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-356.
9. Dunn, H. J. & Keeneth, D. (2004). Turf management in the transition zone. Jhon Wiley & sons, Inc. *New Jersey*, 94-97.
10. Ervin, E. H., Ok, C. H., Fresenburg, B. S. & Dunn, J. H. (2002). Trinexapac-ethyl Restricts Shoot Growth and Prolongs Stand Density of 'Meyer' Zoysiagrass Fairway under Shade. *HortScience*, 37, 502-505.
11. Ervin, E. H. & Koski, A. J. (1998). Growth Responses of Lolium perenne L. to Trinexapac-ethyl. *Hortscience*, 33, 1200-1202.
12. Ervin, E. H. & Koski, A. J. (2001). Kentucky bluegrass growth responses to trinexapac-ethyl, traffic, and nitrogen. *Crop Science*, 41,1871-1877.
13. Fagerness, M. J. & Yelverton, F. H. (2000). Tissue production and quality of 'Tifway' bermudagrass as affected by seasonal application patterns of trinexapac-ethyl. *Crop Science*, 40, 493-497.
14. Fagerness, M. J., Bowman, D. C., Yelverton, F. H. & Rufty, T. W. (2004). Nitrogen Use in Tifway Bermudagrass, as Affected by Trinexapac-Ethyl. *Crop Science*, 44, 595-599.
15. Fan, G., Bian, X.H., Li, Menh, Z. & Liu, S. (2009). Growth responses of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) to trinexapac-ethyl applied in spring and autumn. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 2, 186-189.
16. Gardner, D. S. & Metzger, J. D. (2005). Use of Trinexepac-ethyl for Growth Regulation of Chrysanthemum (*Dendranthema×grandiflora*). *Hortscience*, 40, 670-674.
17. Gianfagna, T. J. & Wulster, G. J. (1986). Growth retardants as an aid to adapting freesia to pot culture. *HortScience*, 21, 263-264.
18. Goss, R. M., Bairdb, J. H., Kelmc, S. L. & Calhounc, R. N. (2002). Trinexapac-Ethyl and Nitrogen Effects on Creeping Bentgrass Grown under Reduced Light Conditions. *Crop Science*, 42, 472-479.
19. Grossmann, K. (1992). Plant growth retardants: their mode of action and benefit for physiological research. *Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture*, 28, 788-797.
20. Hiscox, J. D. & Israelstam, G. F. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*, 57, 1332-1334.
21. Hojati, M., Etemadi, N. & Baninnasab, B. (2009). Effect of trinexapac-ethyl on vegetative growth and flowering of zinnia. *Water and Soil Science*, 47, 649-656.
22. Jiang, H. & Fry, J. (1998). Drought responses of perennial ryegrass treated with plant growth regulators, *HortScience*, 33, 270-273.
23. Karlović, K., Vršek, I. Šindrak, Z. & Židovec, V. (2004). Influence of growth regulators on the height and number of inflorescence shoots in the chrysanthemum cultivar 'Revert'. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 69, 63-66.
24. Keever, G. J. & Cox, D. A. (1989). Growth inhibition in marigold following drench and foliar-applied paclobutrazol. *HortScience*, 24, 390.
25. Latimer, J. G. (1991). Growth retardants affect landscape performance of zinnia, impatiens, and marigold. *HortScience*, 26, 557-560.
26. Landry, G. & Murphy, T. (2000). Plant growth regulator for turfgrass in the United States. *Journal of Turfgrass Management*, 15, 20-24.
27. Matsoukis, A., & Chronopoulou-Sereli, A. (1998). Interaction of chlormequat chloride and photosynthetic photon flux on the growth and flowering of *Lantana camara* subsp. *Camara*. *Phytochemical Analysis*, 12, 58-63.
28. Mcdonald, E. (2002). *The 400 Best garden plants*. Quantum Publication, London.
29. Rademacher, W. (2000). Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology*, 51, 501-531.
30. Rasouli, M., Hatamzadeh, A., Ghasemnezhad, M. & Samizadeh, H. (2018). Growth responses and ion regulation of Agrostis stolonifera L. to trinexapac-ethyl under salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 49, 529-538. (in Farsi).
31. Rossini Pinto, A., Deléo Rodrigues, T., Leite, I. & Barbosa, J. (2005). Growth retardants on development and ornamental quality of potted 'Lilliput' *Zinnia elegans* Jacq. *Agricultural Sciences*, 62, 337-345.

32. Sheikh-Mohamadi, M. H., Etemadi, N. & Nikbakht, A. (2015). Effect of trinexapac-ethyl and traffic stress on morphological and physiological traits of tall fescue cultivar Rebel. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46, 455-465. (in Farsi).
33. Trenholm, L. E., Carrow, R. N. & Duncan, R. R. (2000). Mechanisms of Wear Tolerance in Seashore Paspalum and Bermudagrass. *Crop Science*, 40, 1350-1357.
34. Semeniuk, P. & Taylor, R. (1970). Effects of growth retardants on growth of geranium seedlings and flowering. *HortScience*, 5, 393-394.
35. Nelson, C. J., Vassey, T. L & MacAdam, J. W. (1986). Morphology and physiology of meristems of graminaceous crops. Proceedings annual meeting - *Plant Growth Regulator Society of America*, 8, 20-34.
36. Niu, G. H., Heins, R. & Garlson, W. (2002). Using paclobutrazol to control height of poinsettia 'Freedom'. *HortTechnology*, 12, 232-236.