

اثر غلظت‌های مختلف پتاسیم و کلسیم محلول غذایی بر رشد و گل‌دهی لیزیانتوس (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shiann)

رحیم برزگر^{۱*}، مسعود قاسمی قهساره^۱ و زهره بهالو^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۲۰)

چکیده

به منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف پتاسیم و کلسیم محلول غذایی و نیز نسبت پتاسیم به کلسیم بر رشد و گل‌دهی لیزیانتوس (*Eustoma grandiflorum*) در شرایط کشت بدون خاک، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور شامل پتاسیم در دو سطح (۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و کلسیم در سه سطح (۸۰، ۱۰۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) انجام شد. نتایج نشان داد که غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر پتاسیم، تعداد برگ و ارتفاع بوته را به ترتیب ۱۰ و ۵ درصد نسبت به غلظت ۳۰۰ mg/L افزایش داد، اما اثری بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه نداشت. بیشترین ارتفاع بوته (۴۵/۶ سانتی‌متر) در غلظت ۱۰۰ mg/L و بیشترین وزن تر ریشه در غلظت ۱۶۰ mg/L کلسیم به دست آمد. اثر متقابل پتاسیم و کلسیم بر تعداد برگ و انشعابات معنی‌دار بود. بیشترین تعداد برگ (۴۰/۳) در تیمار Ca=۱۶۰ و K=۴۰۰ mg/L مشاهده شد. اثر متقابل کلسیم × پتاسیم بر کلیه صفات مرتبط با گل‌دهی معنی‌دار بود. بیشترین تعداد گل (۱۶/۴ عدد)، تعداد شاخه‌های گل‌دار (۴/۷ عدد) و قطر گل (۴۹/۵ میلی‌متر) در تیمار Ca=۱۰۰ و K=۴۰۰ mg/L یا Ca=۸۰ و K=۴۰۰ mg/L (نسبت‌های ۴ و ۵ پتاسیم به کلسیم) مشاهده شد؛ در حالی که ماندگاری گل کمترین بود (۱۰/۳ روز). بیشترین ماندگاری گل (۱۷/۷ روز) در تیمار Ca=۱۰۰ و K=۳۰۰ mg/L مشاهده شد. بهترین تیمار هم از نظر عملکرد و ماندگاری گل، غلظت Ca=۸۰ و K=۳۰۰ mg/L بود.

کلمات کلیدی: اثر رقابتی، تغذیه گیاه، ماندگاری گل، کشت بدون خاک، نسبت عناصر

مقدمه

گلدانی استفاده می‌شود. گل آن به رنگ‌های سفید، سبز، زرد، صورتی، بنفش، آبی و ارغوانی و گاهی به صورت دورنگ وجود دارد (۱۵). لیزیانتوس در مرحله دانه‌الی کند رشد بوده (۳۱) و مواجه شدن دانه‌ال با دمای بیش از ۲۵ درجه سلسیوس سبب کاهش ارتفاع آن می‌شود (۳۵). لیزیانتوس از دسته محصولات گل‌کاری است که به کوددهی زیاد نیاز دارد (۲۳).

لیزیانتوس با نام علمی *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shiann از گیاهان به نسبت جدید در بازارهای بین‌المللی است که به علت گل‌های رزمانند، عمر پس از برداشت عالی و گل‌های آبی رنگ، به سرعت در بین ۱۰ گل اول در سراسر دنیا قرار گرفته است (۲۲). این گیاه همچنین به مقدار زیاد به عنوان گل باغچه‌ای و

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Barzegar56@yahoo.com

اسمزی بین منبع و محل مصرف در گیاه، به‌ویژه در مرحله گل‌دهی، دارد (۶). افزایش جذب آب و سست شدن دیواره یاخته‌ای برای طویل شدن یاخته و در نتیجه رشد گیاه ضروری است که پتاسیم در هر دو پدیده نقش دارد (۱۷ و ۳۲). به‌عنوان مثال، ژربرا در مرحله گل‌دهی به بیشترین مقدار پتاسیم نیاز دارد (۲۱ و ۲۷). در تحقیقی روی داودی گلدانی، گزارش شده که کاربرد پتاسیم سبب افزایش تعداد برگ، تعداد ساقه در گلدان، تعداد گل‌آذین، قطر گل‌آذین و افزایش کیفیت آن شد (۳۶). مطالعات مورتسون و همکاران (۳۴) نشان داد که با کاهش نسبت پتاسیم به کلسیم، عمر نگهداری رز گلدانی افزایش یافت. اگرچه آنتاگونیسم بین کلسیم، پتاسیم و منیزیم به‌طور گسترده‌ای مطالعه شده است (۸ و ۳۴)، اما در ارتباط با کشت لیزیان‌توس، بر اساس مطالعات ما پژوهشی در مورد اثر غلظت‌های مختلف پتاسیم به کلسیم روی گیاه انجام نشده است. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی اثر نسبت‌های پتاسیم به کلسیم روی رشد و نمو لیزیان‌توس و تعیین نسبت بهینه آنها در کشت بدون خاک بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۳ انجام گردید و لیزیان‌توس رقم موریاجی بلو (Mariachi Blue) از شرکت ساکاتا (Sakata) به‌عنوان مواد گیاهی استفاده شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی، با ۶ تیمار و ۷ تکرار انجام شد. تیمارها شامل غلظت‌های مختلف پتاسیم در دو سطح (۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و کلسیم در سه سطح (۸۰، ۱۰۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) بودند که نسبت‌های ۱/۹، ۲/۵، ۳، ۳/۷، ۴ و ۵ پتاسیم به کلسیم حاصل شد. ترکیب تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۱) ارائه شده است. غلظت سایر عناصر غذایی برای همه تیمارها مشابه و مطابق جدول (۲) بود. غلظت نمک‌های پرمصرف مورد استفاده در هر تیمار مطابق جدول (۳) بود.

این گل به پتاسیم و کلسیم زیادی نیاز دارد و نسبت 1.5K:1N منجر به تولید گیاهان با کیفیت بالا و گل‌های بریده با عمر پس از برداشت عالی می‌شود و کاربرد کلسیم زیاد باعث رشد بهتر آن می‌شود (۲۲). در تحقیقی، گزارش شده که ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم در آب آبیاری یا محلول غذایی باعث تولید گیاهان با ساقه‌های قوی و تعداد غنچه زیاد می‌شود (۱۸).

در سال‌های اخیر، کشت بدون خاک به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است که از دلایل آن مشکلات مربوط به آفات و بیماری‌های خاک‌زاد، خستگی و ضعیف شدن خاک، تجمع عناصر سمی در خاک (۴۰)، افزایش کیفیت گل (۲۸) و سودآوری از طریق کاربرد اقتصادی آب و فضا (۱۱) است. حفظ شرایط بهینه برای رشد و مدیریت مناسب شرایط محیطی و استفاده از محلول‌های آبیاری با تعادل خوب لازم است تا نیازهای معدنی محصولات فراهم شود (۴۶). بنابراین، تغذیه اهمیت زیادی برای رشد و عملکرد گیاه در کشت بدون خاک دارد.

یون کلسیم (Ca^{2+}) کوفاکتور آنزیم‌های مهم از قبیل آمیلازها و ATPases بوده و از اجزای ضروری دیواره سلولی، به‌ویژه تیغه میانی، است (۱۳) و در فرایند تقسیم سلولی، کارکرد طبیعی غشاها و نیز به‌عنوان پیام‌آور ثانویه در واکنش‌های مختلف گیاه به سیگنال‌های هورمونی و محیطی نقش ایفا می‌کند (۱۲). کمبود کلسیم باعث سوختگی مریستم و تغییرات رشد می‌شود (۴۲). تحقیقات، اهمیت کلسیم در تنظیم بسته شدن روزنه‌ها را نشان داده‌اند که باعث تغییر الگوی تبادل گازی می‌شود (۳۹). کلسیم، همچنین در افزایش عمر گلجایی، حفظ سفتی دمگل و به تأخیر انداختن پیری گل‌ها نقش دارد (۱۹ و ۲۵).

پتاسیم در بیشتر گیاهان زینتی برای داشتن گیاهان با کیفیت بالا مهم است. این عنصر به‌طور مستقیم با حفظ تعادل اسمزی در یاخته‌های گیاه، فرایند تبادل گازی و تعرق، فعالیت آنزیم، سنتز پروتئین، فتوسنتز و مقاومت به تنش مرتبط است (۹). پتاسیم یک عنصر متحرک است که از طریق آوند آبکش همراه با سوکروز جابه‌جا می‌شود و نقش مهمی در ایجاد شیب

جدول ۱. غلظت‌های مختلف پتاسیم و کلسیم (میلی‌گرم بر لیتر) و نسبت آنها در تیمارهای مختلف

تیمار	T _۱	T _۲	T _۳	T _۴	T _۵	T _۶
K	۳۰۰	۴۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۴۰۰
Ca	۱۶۰	۱۶۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۰	۸۰
K:Ca	۱/۹	۲/۵	۳	۳/۷	۴	۵

جدول ۲. غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در محلول غذایی* (mg/L)

Cu	Mo	Mn	B	Zn	Fe	Mg	P	N
۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۳	۱	۲۴	۶۰	۱۳۰

*: غلظت گوگرد (S) در تیمارهای مختلف بین ۳۳ تا ۱۳۳ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود.

جدول ۳. مقدار نمک‌های مصرفی برای تهیه یک لیتر محلول غذایی از تیمارهای مختلف*

تیمار	Ca(NO _۳) _۲	KNO _۳	KH _۲ PO _۴	K _۲ SO _۴	(NH _۴)H _۲ PO _۴
T _۱	۰/۵۹	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۳۵	۰/۰۶
T _۲	۰/۵۹	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۵۸	۰/۰۶
T _۳	۰/۲۷	۰/۵۵	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۹
T _۴	۰/۱۹	۰/۶۳	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۱۰
T _۵	۰/۲۷	۰/۵۵	۰/۱۶	۰/۳۱	۰/۰۹
T _۶	۰/۱۷	۰/۶۶	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۱۰

*: مقدار سایر نمک‌های تأمین‌کننده عناصر غذایی مانند منیزیم، آهن، روی، بر، مس، منگنز و مولیبدن در کلیه تیمارها یکسان بود.

و پتاسیم آن اعمال گردید. pH محلول غذایی با استفاده از اسید سولفوریک در ۵/۸ تنظیم شد (۱۰). هدایت الکتریکی (EC) محلول غذایی بین ۱/۶-۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. تغذیه گلدان‌ها به صورت سیستم باز (Open system) انجام شد. گلدان‌ها روزانه دو بار با حجم یکسانی از محلول غذایی آبیاری شدند. حداکثر دمای گلخانه در طول روز، ۲۴ درجه سلسیوس و حداقل آن ۱۸ درجه سلسیوس در شب بود. گلخانه دارای پوششی از جنس پلی‌کربنات دولایه و مجموع نور روزانه به‌طور متوسط بین ۱۳-۱۸ mol/day متغیر بود.

شاخص‌های مورد ارزیابی شامل تعداد برگ، تعداد غنچه (از زمان ظهور اولین غنچه تا پایان زمان برداشت)، وزن تر و

گیاهچه‌ها از طریق کشت بذر FI روی قطعات اسفنجی به ابعاد سه سانتی‌متر تولید و سپس به سینی نشا حاوی مخلوط کوکوپیت و پرلیت (۱:۱ حجمی) منتقل شدند. هر گیاهچه در اواسط دی در گلدانی با قطر ۸ و ارتفاع ۷ سانتی‌متر و حاوی آمیخته پیت ماس: پرلیت: سبوس برنج به نسبت ۵۰:۴۰:۱۰ درصد حجمی کشت شد. به‌منظور دریافت نور کافی، گلدان‌ها با فاصله ۴۰ سانتی‌متر از هم قرار گرفتند. سه ماه بعد از کشت نشاها در گلدان (اواسط فروردین)، ارزیابی صفات رشد و گل‌دهی انجام شد.

از فرمول غذایی بوث (Both) برای تهیه محلول غذایی پایه استفاده شد و با توجه به نوع تیمارها، تغییراتی در غلظت کلسیم

تیمار T_5 ($K=400$ mg/L و $Ca=100$) با نسبت $K:Ca=4$ مشاهده شد و کمترین تعداد انشعابات ($2/0$) مربوط به تیمار T_3 بود که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای T_2 و T_6 نداشت. در سایر صفات رویشی، اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نبود.

مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف کلسیم بر طول میان‌گره (جدول ۶) نشان داد که بیشترین طول میان‌گره در غلظت 100 mg/L کلسیم حاصل شد. در صفت ارتفاع بوته نیز بیشترین ارتفاع در غلظت 100 mg/L کلسیم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با ارتفاع بوته در سایر غلظت‌های کلسیم محلول غذایی داشت. غلظت‌های مختلف پتاسیم تأثیری بر طول میان‌گره‌ها نداشتند (جدول ۴). اما غلظت 400 mg/L پتاسیم سبب افزایش پنج درصدی ارتفاع بوته نسبت به غلظت 300 mg/L شد (جدول ۷).

غلظت‌های مختلف کلسیم و پتاسیم تأثیری بر وزن تر اندام هوایی، درصد ماده خشک برگ و ریشه نداشتند (جدول ۴). اما وزن تر ریشه تحت تأثیر غلظت‌های مختلف کلسیم قرار گرفت. به طوری که بیشترین وزن تر ریشه در بیشترین غلظت کلسیم (160 mg/L) مشاهده شد (جدول ۶).

اثر تیمارهای مختلف کلسیم و پتاسیم بر کلیه صفات زایشی و اثر متقابل آنها نیز به جز در صفت طول دمگل، در سایر صفات معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد گل ($16/4$ عدد) در T_5 ($K=400$ mg/L و $Ca=100$) با نسبت $K:Ca=4$ مشاهده شد که از لحاظ آماری با تیمارهای T_1 و T_6 تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین تعداد گل ($10/6$ عدد) در T_3 ($K=300$ mg/L و $Ca=100$) مشاهده شد. همچنین، بیشترین قطر گل ($49/5$ میلی‌متر) نیز در تیمار T_3 به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها، به جز T_2 و T_4 ، نداشت. بیشترین قطر دمگل ($3/2$ میلی‌متر) در T_4 ($K=300$ mg/L و $Ca=80$) با نسبت $K:Ca=3/7$ مشاهده شد. اما میانگین قطر دمگل در سایر تیمارها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۵). عمر غنچه‌های گل روی بوته در تیمارهای مختلف بین $17/7$ روز در تیمار T_3 ($K=300$ mg/L و $Ca=100$) تا $10/3$ روز در تیمار

خشک اندام هوایی و ریشه، طول دمگل، قطر گل، ماندگاری گل روی بوته (از زمان باز شدن کامل گل تا شروع پژمردگی گلبرگ‌ها)، طول میان‌گره و ارتفاع بخش هوایی بود. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و اندام هوایی، پس از اندازه‌گیری وزن تر، اندام‌ها در آون با دمای 65 درجه سلسیوس به مدت 48 ساعت خشک شدند (۱). داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ver 9.1 مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند و میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح 5 درصد ($P<0/05$) مقایسه شدند.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف پتاسیم بر کلیه شاخص‌های زایشی و نیز صفات رویشی چون تعداد برگ، تعداد انشعابات (شاخه جانبی) و ارتفاع بوته معنی‌دار بود. بین غلظت‌های مختلف کلسیم که از نظر تأثیر بر عمر گل، قطر گل و قطر دمگل و صفات رویشی، تعداد انشعاب، طول میان‌گره و ارتفاع بوته نیز تفاوت‌ها معنی‌دار وجود داشت. اثر متقابل غلظت‌های مختلف کلسیم و پتاسیم بر صفاتی چون تعداد برگ، تعداد گل، تعداد انشعاب، عمر گل، قطر گل و قطر دمگل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. غلظت‌های مختلف کلسیم تأثیری بر تعداد برگ نداشتند. اما غلظت 400 mg/L پتاسیم سبب افزایش 10 درصدی تعداد برگ نسبت به غلظت 300 mg/L شد. اثر متقابل $K \times Ca$ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها (جدول ۵) نشان داد که بیشترین تعداد برگ ($40/3$ عدد) در تیمار T_4 ($K=400$ mg/L و $Ca=160$) به دست آمد. در صفت تعداد انشعابات (شاخه‌های جانبی) در هر بوته نیز همانند صفت تعداد برگ، غلظت‌های مختلف کلسیم اثر معنی‌داری نداشتند. ولی در مقایسه با غلظت 300 mg/L پتاسیم، غلظت‌های بیشتر پتاسیم، تعداد شاخه‌های جانبی بیشتری ایجاد کردند. از لحاظ آماری، اثر متقابل $K \times Ca$ بر این صفت معنی‌دار بود. بیشترین تعداد شاخه جانبی ($4/7$ عدد) در

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر صفات مورد بررسی در گیاه لیزیانثوس

درصد وزن خشک		درصد وزن شاخه خشک		درصد وزن ریشه خشک		درصد وزن شاخه ریشه		میانگین مربعات		درجه آزادی		منابع تغییر														
خشک	ریشه	خشک	ریشه	خشک	ریشه	خشک	ریشه	ارتفاع	بوته	قطر	عمر	تعداد	تعداد	تعداد	طول	طول	تعداد	تعداد	تعداد	تعداد	تعداد	تعداد	تعداد	تعداد		
۵۳/۰ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۱۴/۲ ^{ns}	۱۴/۲ ^{ns}	۰/۷۴*	۰/۷۴*	۴۶/۱*	۰/۶۰ ^{ns}	۱۱۳**	۹۴/۵**	۰/۸۶*	۶/۶۴*	۵۲/۶**	۱۲۳**	۱	پتاسیم									
۳۸/۵ ^{ns}	۷/۷ ^{ns}	۴۵۳*	۴۵۳*	۱۴۵ ^{ns}	۱۴۵ ^{ns}	۰/۴۷*	۰/۴۷*	۱۵۰**	۲/۵۴**	۱۴۷**	۲۴/۷**	۱/۸۸**	۱۹/۳**	۲/۴۵ ^{ns}	۱۱/۱ ^{ns}	۲	کلسیم									
۴۶/۰ ^{ns}	۱۵/۴ ^{ns}	۵۵/۶ ^{ns}	۵۵/۶ ^{ns}	۸/۲۶ ^{ns}	۸/۲۶ ^{ns}	۰/۷۷**	۰/۷۷**	۲۲/۶ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۲۵۰**	۴۳/۱**	۱۵/۶**	۰/۶۳ ^{ns}	۴۶/۴**	۱۴۴**	۲	K×Ca									
۱۷/۴	۱۳/۲	۱۱۱	۱۱۱	۶۸	۶۸	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۹/۹۶	۰/۱۴۷	۸/۹۶	۰/۳۰	۰/۱۷	۱/۰۴	۲/۱۲	۶/۶۳	۳۶	خطا									
۱۳/۹	۶/۰	۱۷	۱۷	۱۷/۲	۱۷/۲	۱۳/۳	۱۳/۳	۷/۵	۱۴/۳	۶/۵	۳/۹	۱۳/۸	۱۰/۷	۱۰/۴	۷/۴		CV(%)									

ns و ** به ترتیب معنی دار در سطوح یک درصد و پنج درصد و بدون اختلاف معنی دار

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های مختلف پتاسیم و کلسیم محلول غذایی (mg/L) بر شاخص‌های رویشی و زایشی لیزیانوس

عمر گل (روز)	صفات مورد ارزیابی					مشخصات تیمارها			T _i
	قطر گل (mm)	قطر دمگل (mm)	تعداد غنچه	تعداد انشعابات	تعداد برگ	نسبت K:Ca	غلظت Ca	غلظت K	
۱۴/۱ ^c	۴۷/۱ ^{ab}	۲/۴ ^b	۱۳ ^c	۳/۰ ^b	۳۰/۳ ^e	۱/۹	۱۶۰	۳۰۰	T _۱
۱۵/۱ ^b	۴۴/۳ ^b	۲/۵ ^b	۱۳/۶ ^{bc}	۲/۳ ^c	۴۰/۳ ^a	۲/۵	۱۶۰	۴۰۰	T _۲
۱۷/۷ ^a	۴۹/۵ ^a	۲/۶ ^b	۱۰/۶ ^d	۲/۰ ^c	۳۲/۰ ^{de}	۳	۱۰۰	۳۰۰	T _۳
۱۴/۷ ^{bc}	۳۶/۵ ^c	۳/۲ ^a	۱۳ ^c	۳/۴ ^b	۳۶/۳ ^b	۳/۷	۸۰	۳۰۰	T _۴
۱۲/۱ ^d	۴۹/۳ ^a	۲/۵ ^b	۱۶/۴ ^a	۴/۱ ^a	۳۵/۱ ^{bc}	۴	۱۰۰	۴۰۰	T _۵
۱۰/۳ ^e	۴۹/۴ ^a	۲/۴ ^b	۱۵/۳ ^a	۳/۳ ^b	۳۳/۴ ^{cd}	۵	۸۰	۴۰۰	T _۶

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون توکی هستند.

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات در غلظت‌های مختلف کلسیم (mg/L)

طول دمگل (cm)	وزن تر ریشه (g)	ارتفاع بوته (cm)	طول میانگره (cm)	غلظت Ca
۸/۶۴ ^b	۶۰/۹ ^b	۴۰/۱ ^b	۲/۳۲ ^b	۸۰
۱۰/۹ ^a	۵۷/۳ ^b	۴۵/۶ ^a	۳/۱۴ ^a	۱۰۰
۹/۱۴ ^b	۶۸/۵ ^a	۳۹/۸ ^b	۲/۵۳ ^b	۱۶۰

در هر ستون، میانگین‌های با یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون توکی هستند.

جدول ۷. مقایسه میانگین صفات در غلظت‌های مختلف پتاسیم (mg/L)

طول دمگل (cm)	ارتفاع بوته (cm)	غلظت K
۹/۱۶ ^b	۴۰/۸ ^b	۳۰۰
۹/۹۵ ^a	۴۲/۹ ^a	۴۰۰

بحث

نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش نسبت K:Ca ابتدا تعداد برگ زیاد شد و سپس کاهش یافت و بیشترین مقدار در تیمار T_۳ مشاهده شد. اثر کلسیم بر افزایش ارتفاع بوته ناشی از اثر آن بر افزایش طول میان‌گره‌ها (جدول ۶) بود. گزارش شده که کلسیم به‌خاطر نقشی که در تقسیم سلولی و توسعه آن دارد بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد (۲۹). مطالعات نشان داده که کمبود کلسیم در لاله با کاهش ارتفاع همراه بوده که به‌دلیل نقش

T_۶ (K= ۴۰۰ mg/L و Ca= ۸۰) متغیر بود (جدول ۵). اگرچه طول دمگل تحت تأثیر اثر متقابل غلظت‌های کلسیم و پتاسیم قرار نگرفت، اما اثر اصلی غلظت‌های کلسیم و پتاسیم بر این صفت نشان داد که بیشترین طول دمگل (۱۰/۹ سانتی‌متر) در غلظت ۱۰۰ mg/L کلسیم (جدول ۶) حاصل شد و طول دمگل در غلظت ۴۰۰ mg/L پتاسیم، ۹ درصد بیشتر از طول دمگل در غلظت ۳۰۰ mg/L بود (جدول ۷).

پتاسیم در محلول غذایی برای پرورش گل رز حاکی از عدم تأثیر آن بر رشد و نمو آن بوده است (۴۳ و ۴۴). در داودی نیز مشاهده شده که کاربرد مقادیر زیاد پتاسیم اثری روی رشد تا مرحله گل‌دهی نداشته است (۲۵). تحرک بالای پتاسیم در آوند آبکش و نبود نقش ساختاری برای این عنصر در بافت گیاه (۲۹) می‌تواند از دلایل عدم واکنش شاخص‌های رشد رویشی به کاربرد این عنصر باشد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین تعداد گل، تعداد شاخه، طول میان‌گره و طول ساقه گل‌دهنده (ارتفاع اندام هوایی) در تیمارهای T_5 و T_6 (نسبت‌های ۴ و ۵ پتاسیم به کلسیم) مشاهده شد. یکی از دلایل افزایش تعداد غنچه، افزایش تعداد شاخه‌های جانبی گل‌دهنده در این تیمار بود. گزارش شده که غلظت‌های زیاد پتاسیم سبب افزایش تعداد شاخه‌های جانبی در ریحان شده است (۳۰). افزایش تعداد شاخه‌های جانبی می‌تواند به دلیل کاهش بیان ژن‌های (Gene expression) شرکت‌کننده در بیوسنتز اکسین در غلظت‌های زیاد پتاسیم محلول غذایی و به‌تبع آن کاهش غالبیت انتهایی باشد (۳۸). پتاسیم از طریق آوند آبکش همراه با سوکروز جابه‌جا می‌شود. در مرحله گل‌دهی، گل‌ها تمایل به تبدیل شدن به محل مصرف قوی دارند که می‌تواند منجر به کمبود پتاسیم و به‌دنبال آن کاهش میزان سوکروز یا یک اثر احتمالی منفی بر گل‌دهی شود (۶). بنابراین، در غلظت‌های زیاد پتاسیم و نسبت‌های $K:Ca$ ، مقدار کافی پتاسیم برای تولید گل به تعداد و کیفیت مناسب فراهم شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مقدار پتاسیم، شاخص‌های مربوط به رشد زایشی بهبود یافته است که با نتایج به‌دست آمده در گیاه ژربرا (۲۱ و ۲۷) و داودی گلدانی (۳۶) همسو است.

کلسیم از جمله عناصری است که به‌طور معمول شرایط کمبود آن باعث کاهش عملکرد در گل نمی‌شود (۲، ۳، ۳۴ و ۴۵). به‌طوری که در گل رز، کاهش غلظت کلسیم محلول غذایی حتی تا ۵/۰ میلی‌مولار هم تأثیری بر عملکرد گل نداشته است (۷). در این آزمایش نیز نتایج مشابه حاصل شد و با

کلسیم در فعالیت آنزیم‌های دخیل در میتوز سلولی و تنظیم‌کننده رشد سایتوکینین است. از سوی دیگر، وجود غلظت مناسب و کافی کلسیم درون سلولی سبب تسریع در گسترش اندام به‌دلیل جریان کلسیم درون سلولی به‌سمت مرستم‌های در حال رشد می‌شود (۵). گزارش شده که در گوجه‌فرنگی، با افزایش غلظت کلسیم از صفر تا 100 mg/L ، تعداد برگ ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (۲۶). از آنجایی که در این پژوهش، سطوح کم غلظت کلسیم (80 mg/L)، نیاز گیاه برای تقسیم سلولی را تأمین می‌کرده، به‌همین دلیل، تأثیری بر تعداد برگ نداشت. اثر افزایش غلظت پتاسیم بر افزایش ارتفاع بوته ناشی از اثر غیر مستقیم آن بر تعداد گره‌ها بود. افزایش غلظت پتاسیم می‌تواند سبب افزایش میزان تولید مواد فتوسنتزی و افزایش سرعت تولید گره شود (۲۴). مشابه‌همین وضعیت در طول دمگل نیز دیده شد. به‌نحوی که غلظت‌های 400 mg/L پتاسیم و 100 mg/L کلسیم سبب افزایش طول دمگل شدند. البته واکنش گیاهان مختلف به غلظت‌های مختلف پتاسیم محلول غذایی متفاوت و گاه متناقض است. گزارش شده که تعداد برگ، ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی و ریشه در گیاه بامیه تحت تأثیر غلظت‌های پتاسیم قرار نگرفتند (۲۴). درحالی که در گوجه‌فرنگی، بیشترین غلظت پتاسیم مصرفی (10 mg/L) سبب بیشترین ارتفاع بوته و طول خوشه شد (۴۶).

پتاسیم و کلسیم آنتاگونیست بوده و زیادی یکی باعث کاهش جذب دیگری می‌شود (۱۴). زیادی کلسیم در گل حنایی باعث کاهش وزن تر و خشک شاخساره، تعداد برگ و غلظت پتاسیم در بافت شاخساره شده است (۳۷). در آلسترومریا نیز افزایش غلظت کلسیم باعث کاهش وزن تر شد. اما اثری روی تعداد گل در گیاه، تعداد گلچه یا تعداد غنچه گل در هر ساقه نداشت (۴۱). با افزایش نسبت $K:Ca$ ، وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت که به احتمال زیاد ناشی از کاهش جذب کلسیم است. آلبینو و همکاران (۴) مشاهده کردند که کمبود کلسیم در ژربرا باعث ایجاد برگ‌های کوچک‌تر و کاهش وزن خشک شد. پژوهش‌های انجام شده در مورد کاربرد مقادیر بیش از حد

وجود اثر آنتاگونیستی پتاسیم بر جذب کلسیم، بیشترین عملکرد گل در غلظت‌های زیاد پتاسیم مشاهده شد.

ماندگاری گل روی گیاه با افزایش نسبت پتاسیم به کلسیم ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. به طوری که بیشترین مقدار در نسبت $K:Ca=3$ و کمترین مقدار در نسبت $K:Ca=5$ مشاهده شد. در واقع، با افزایش نسبت پتاسیم به کلسیم از ۳ تا ۵، عمر گل کاهش یافت. یکی از دلایل کاهش ماندگاری گل روی بوته در این تیمارها می‌تواند افزایش تعداد غنچه گل روی بوته باشد که سبب افزایش تعداد محل‌های مصرف و توزیع کلسیم موجود در بین تعداد بیشتری محل‌های مصرف می‌شود و به همین دلیل کلسیم کمتری به هر غنچه گل رسیده و ماندگاری آنها کاهش می‌یابد. دلیل دیگری که سبب کاهش ماندگاری گل در نسبت‌های زیاد پتاسیم به کلسیم می‌شود، می‌تواند ناشی از اثر آنتاگونیستی غلظت زیاد پتاسیم و اثر آن بر کاهش جذب کلسیم (۱۴) و به تبع آن، تحریک سنتز اتیلن باشد. پژوهش‌ها نشان داده که کلسیم با مکانیزم‌های متعددی در به تعویق انداختن فرایند پیری و افزایش ماندگاری گل نقش دارد. اثر بازدارنده بر فعالیت آنزیم آمینو سیکلوپروپان کربوکسیلیک اکسیداز (Acc Oxidase) و به دنبال آن کاهش تولید اتیلن توسط گلبرگ‌ها (۴۴)، افزایش فعالیت پمپ پروتونی موجود در غشای سیتوپلاسمی (۲۹)، کاهش نشت الکترولیت‌ها (۳۳) و کاهش سرعت تنفس (۱۶) از جمله این مکانیسم‌ها است. از سوی

دیگر، مشخص شده که کاربرد غلظت‌های زیاد هر یک از عناصر پتاسیم و کلسیم به‌نهایی، باعث افزایش تولید اتیلن می‌شود. اما اگر همین عناصر با همان غلظت زیاد، به صورت توأمان مورد استفاده قرار گیرند، از شدت تولید اتیلن کاسته خواهد شد (۲۰). نتایج این تحقیق با تحقیقات مرتضوی و همکاران (۳۳) مطابقت داشت. آنها گزارش کردند که با کاهش نسبت K/Ca ، عمر نگهداری رز گلدانی افزایش یافت و با کاهش این نسبت از متوسط تا کم، غلظت پتاسیم در گل به طور معنی‌داری کاهش یافت. بنابراین، غلظت کلسیم و احتمالاً پتاسیم نقش مهمی در ماندگاری گل رزهای گلدانی از طریق تأخیر در پیری و حفظ کیفیت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اثرهای تیمارها بر صفات زایشی محسوس‌تر از اثر آنها بر صفات رویشی بود. تیمارهایی که دارای غلظت زیاد پتاسیم 400 mg/L و غلظت کلسیم 80 یا 100 mg/L بودند (نسبت ۴ و ۵ پتاسیم به کلسیم) سبب افزایش تعداد انشعابات شاخه جانبی، افزایش تعداد و قطر گل‌ها شدند. اما با کاهش ماندگاری گل‌ها روی گیاه همراه بودند. به‌طور کلی، تیمار حاوی $Ca=80 + K=300 \text{ mg/L}$ (نسبت $K/Ca=3/7$) با تعداد متوسط گل (۱۳) و ماندگاری خوب گل‌ها (۱۴/۷ روز)، بهترین تیمار بود.

منابع مورد استفاده

۱. کریمیان فریمان، ز.، آ. موسوی بزاز و م. بنایان اول. ۱۳۹۱. مدل‌سازی سطح برگ گیاه دارویی بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.) با استفاده از روش‌های تخریبی و غیرتخریبی. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۸(۱): ۱۶۸-۱۷۶.
۲. کیانی، ش.، م. ج. ملکوتی و ک. میرزاشاهی. ۱۳۹۰. تأثیر سطوح مختلف پتاسیم و کلسیم بر رشد، غلظت عناصر غذایی و عملکرد گل بریده رز (*Rosa hybrida* L.) رقم وندتا. تولیدات گیاهی ۳۴(۲): ۱۵-۲۶.
۳. کیانی، ش. و ک. میرزاشاهی. ۱۳۹۰. تأثیر تغذیه برگی قبل از برداشت با مقادیر و منابع مختلف کلسیم بر عملکرد و کیفیت گل بریده رز رقم ایلونا. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۷: ۶۵-۷۴.
4. Albino-Garduno, R., H.A. Zavaleta-Mancera, L.M. Ruiz-Posadas, M. Sandoval-Villa and A. Castillo-Morales. 2007. Response of gerbera to calcium in hydroponics. J. Plant Nutr. 31(1): 91-101.
5. Arreola, J.A., M. Ana, C. Gonzalez and E.A. Garcia. 2008. Effect of calcium, boron and molybdenum on plant

- growth and bract pigmentation in poinsettia. Rev. Fitotec. Mex. 31(2): 165-172.
6. Barbosa, J.G., M.S. Barbosa, M.A. Muniz and J.A. Grossi. 2009. Nutrição mineral e adubação de plantas ornamentais. Informe Agropecuário 30: 16-21.
 7. Bar-Tal, A., R. Baas, R. Ganmore-Neumann, A. Dik, N. Marissen, A. Silber, S. Davidov, A. Hazan, B. Kirshner and Y. Elad. 2001. Rose flower production and quality as affected by Ca concentration in the petal. Agronomie 21: 393-402.
 8. Bar-Tal, A. and E. Pressman. 1996. Root restriction and potassium and calcium solution concentrations affect dry-matter production, cation uptake, and blossom-end rot in greenhouse tomato. J. Am. Soc. Hort. Sci. 121(4): 649-655.
 9. Benites, V.M., M.C.S. Carvalho, A.V. Resende, J.C. Polidoro, A.C.C. Bernardi and F.A. Oliveira. 2010. Potássio, cálcio e magnésio. PP. 137-191. In: Prochnow, L.I., V. Casarin, and S.R. Stipp (Eds.), Boas Práticas Para Use Eficiente de Fertilizantes, Piracicaba: International Plant Nutrition Institute.
 10. Bugbee, B. 2004. Nutrient management in recirculation hydroponic culture. Acta Hort. 648: 99-112.
 11. Cadahia, C.L., E.A. Eymar, M.J. Lucena, L.T. Montalvo, P.M.L. Segura, B.M. Abad, P.N. Castilla, V.D.L. Lopez and M.P. Noguera. 2000. Fertirrigación: Cultivos Hortícolas Ornamentales. Madrid.
 12. Carafoli, E. and C.B. Klee. 1999. Calcium as a Cellular Regulator. Oxford University Press, N. Y.
 13. Demarty, M., C. Morvan and C.M. Thellier. 1994. Calcium and the cell wall. Plant Cell Environ. 7: 441-448.
 14. Dilmaghani, M.R., M.J. Malakoti, G.H. Neilson and E. Fallahi. 2005. Interactive effects of potassium and calcium on K/Ca ratio and its consequences on apple fruit quality in calcareous soils of Iran. J. Plant Nutr. 27(7): 1149-1162.
 15. Dole, J.M. and H.F. Wilkins. 2005. Floriculture: Principles and Species. 2nd edition., Pearson, Prentice Hall, New Jersey.
 16. Dris, R. 2001. Influence of calcium nutrition on the quality and postharvest behavior of apples. PP. 175-186. In: Dris, R., R. Niskanen and S. Jain (Eds.), Crop Management and Postharvest Handling of Horticultural Products, Science Publishers, New Hampshire.
 17. Faquin, V. 2005. Nutrição de plantas. Lavras, UFLA/FAEPE.
 18. Frett, J.J., J.W. Kelly, B.K. Harbaugh and M. Roh. 1998. Optimizing nitrogen and calcium nutrition of lisianthus. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 19(1): 13-24.
 19. Gerasopoulos, D. and B. Chebli. 1999. Effects of pre and postharvest calcium applications on the vase life of cut gerberas. J. Hort. Sci. 74: 78-81.
 20. Green, J. 1993. The effect of potassium and calcium on cotyledon expansion and ethylene evolution induced by cytokinins. Physiol. Plant. 57(1): 57-61.
 21. Guerrero, A.C., D.M. Fernandes and F. Ludwig. 2012. Acúmulo de nutrientes em gérbera de vaso em função de fontes e doses de potássio. Hort. Bras. 30: 201-208.
 22. Harbaugh, B.K. 2007. Lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). PP. 645-663. In: Anderson, N.O. (ED.), Flower Breeding and Genetics, Springer, Berlin.
 23. Harbaugh, B.K. 1995. Flowering of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn cultivars influenced by photoperiod and temperature. HortSci. 30(7): 1375-1377.
 24. Hossain, D. and J. Talib. 2010. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium levels on kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) growth and photosynthesis under nutrient solution. J. Agric. Sci. 2(2): 49-57.
 25. Kageyama, Y., Y. Nakagawa and K. Konishi. 1993. Potassium application to chrysanthemums grown hydroponically for the cut flower production. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 61(4): 895-900.
 26. Lolaei, A. 2012. Effect of calcium chloride on growth and yield of tomato under sodium chloride stress. J. Ornam. Hort. Plants 2(3): 155-160.
 27. Ludwig, F., D.M. Fernandes, P.R.D. Mota and R.L. Villas Bôas. 2008. Macronutrientes em cultivares de gérbera sob dois níveis de fertirrigação. Hort. Bras. 26: 68-73.
 28. Maloupa, E., A. Papadopoulos and S. Bladenopoulos. 1993. Evapotranspiration and preliminary crop coefficient of gerbera soilles culture grown in plastic greenhouse. Acta Hort. 335: 519-525.
 29. Marschner, H. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd edition, Academic Press, London.
 30. Matsumoto, S.N. and A.E.S. Viana. 2013. Growth of sweet basil depending on nitrogen and potassium doses. Hort. Bras. 31: 489-493.
 31. Matsuo, T. and T. Shirasaki. 1990. Effect of rate of fertilization on the growth and nutrient uptake of *Eustoma grandiflorum*. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 59: 584-585.
 32. Mengel, K. and E.A. Kirkby. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th edition, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
 33. Mortazavi, N., R. Naderi, A. Khalighi, M. Babalar and H. Allizadeh. 2007. The effect of cytokinin and calcium on cut flower quality in rose (*Rosa hybrida* L.) cv. Illona. J. Food Agric. Environ. 5: 311-314.
 34. Mortensen, L.M., C.O. Ottosen and H.R. Gislerd. 2001. Effects of air humidity and K:Ca ratio on growth,

- morphology, flowering and keeping quality of pot roses. *Sci. Hort.* 90(1): 131-141.
35. Ohkawa, K., A. Kano and M. Kanematsu Korenga. 1991. Effect of air temperature and time on rosette formation in seedling of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *Sci. Hort.* 48: 171-176.
 36. Rodrigues, T.M., C.R. Rodrigues, R. Paiva, V. Faquin, P.D.O. Paiva and L.V. Paiva. 2008. Potássio Em Fertirrigação Interferindo No Crescimento/Desenvolvimento E Qualidade Do Crisântemo. *Ciência E Agrotecnologia*, Lavras, 4: 1168-1175.
 37. Romero, F.R., R.J. Gladon and H.G. Taber. 2007. Effect of excessive calcium applications on growth and postharvest performance of bedding-plant impatiens. *J. Plant Nutr.* 30(10): 1639-1649.
 38. Rubio, V., R. Bustos, M.L. Irigoyen, X. Cardona-López, M. Rojas-Triana and J. Paz-Ares. 2008. Plant hormones and nutrient signaling. *J. Plant Mol. Biol.* 69: 361-373.
 39. Ruiz, L.P., J.C. Atkinson and T.A. Mansfield. 1993. Calcium in the xylem and its influence on the behaviour of stomata. *Phylosoph. Trans.: Biol. Sci.* 43: 1315-1324.
 40. Şirin, U. 2011. Effects of different nutrient solution formulations on yield and cut flower quality of gerbera (*Gerbera jamesonii*) grown in soilless culture system. *Afr. J. Agric. Res.* 6(21): 4910-4919.
 41. Smith, M.A., G.C. Elliot and M.P. Bridgen. 1998. Calcium and nitrogen fertilization of alstroemeria for cut flower production. *HortSci.* 33: 55-59.
 42. Taiz, L. and E. Zeiger. 2012. *Plant Physiology*. 5th edition, Sinauer Associates Publishers, Sunderland, Massachusetts.
 43. Terada, M., T. Goto, Y. Kageyama and K. Konishi. 1996. Effect of potassium and calcium concentration in the nutrient solution on growth and nutrient uptake of rose plants. *Acta. Hort.* 440: 336-370.
 44. Torre, S., A. Borochoy and A. Halevy. 1999. Calcium regulation of senescence in rose petals. *Physiol. Plant.* 107: 214-219.
 45. Torre, S., T. Fjeld and H.R. Gislerod. 2001. Effects of air humidity and K/Ca ratio in the nutrient supply on growth and postharvest characteristics of cut roses. *Sci. Hort.* 90: 291-304.
 46. Zekki, H., L. Gauthier and A. Gosselin. 1996. Growth, productivity, and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121(6): 1082-1088.

The Effect of Different Concentrations of Potassium and Calcium of Nutrient Solution on Growth and Flowering of Lisianthus (*Eustoma Grandiflorum* (Raf.) Shiann

R. Barzegar^{1*}, M. Ghasemi Ghehsareh¹ and Z. Bahalo¹

(Received: 3 January 2017 ; Accepted : 11 July 2017)

Abstract

To investigate the effects of nutrient-solution concentrations of potassium (K) and calcium (Ca), as well as different ratios of K/Ca, on growth and flowering of lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) under soilless culture conditions, a factorial experiment was conducted with two factors including two K levels (300 and 400 mg/L) and three Ca levels (80, 100 and 160 mg/L). Results showed that K= 400 mg/L increased leaf number and plant height by 10% and 5% more than K= 300 mg/L, respectively. But, did not affect shoot or root's fresh and dry weight. The highest plant height (45.6 cm) was obtained in 100 mg/L of Ca and the highest fresh root weight was observed in 160 mg/L of Ca. The effect of K×Ca interaction was significant on the number of leaves and branches. The highest number of leaves (40.3) was observed in K=400 and Ca=160 mg/L treatment. The interaction effect of Ca×K had significant effect on traits related to flowering. The highest number of flowers (16.4), number of flowering shoots (4.7) and flower diameter (49.5 mm) were observed in K=400 and Ca=100 mg/L or K=400 and Ca=80 mg/L (K/Ca ratios of 4 and 5); while, the flower longevity was the least (10.3 days). The highest flower longevity was observed with K=300 and Ca=100 mg/L. The best nutrient solution treatment for yield and durability of flowers was K=300 and Ca= 80 mg/L (K/Ca=3.7).

Keywords: Antagonistic effect, Plant nutrition, Flower longevity, Soilless culture, Nutrient ratio.

1. Dept. of Hort. Sci., College of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.

* Corresponding Author, Email: Barzegar56@yahoo.com