Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 51, No 2, Summer 2020 (329-344)
DOI: 10.22059/ijhs.2018.254135.1419

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۹ (ص ۳۴۴-۳۲۹)

اثر کاربرد قبل از برداشت منابع مختلف کلسیم بر کیفیت گل شاخه‌بریده ژربرا (*Gerbera jamesonii* L.) در دو رقم Intense و Rosalin

مارال اقدم[۱]، معظم حسن‌پور اصیل[۲*]، محمود قاسم نژاد[۲] و سید امیر عباس موسوی[۳]
۱. دانشجوی دکتری، پردیس دانشگاهی، دانشگاه گیلان، رشت
۲. استاد، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت
۳. استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۲)

چکیده

به‌منظور مطالعه کاربرد قبل از برداشت کلسیم بر کیفیت پس از برداشت گل شاخه‌بریده ژربرا در سیستم کشت هیدروپونیک، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عامل اول کلرید کلسیم و عامل دوم، نیترات کلسیم و هر دو عامل در چهار سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد به صورت محلول‌پاشی) انجام شدند. به‌منظور ارزیابی اثر تیمارها بر ماندگاری، گل‌های تولیدی در محلول گلجای حاوی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیدروکسی کوینولین سولفات در دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. نتایج نشان داد کاربرد ۱ درصد کلرید کلسیم به‌ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۶/۱۳ و ۵ روز ماندگاری بیشتر نسبت به شاهد در رقم های اینتنس و رزالین شد. تیمارهای کلرید کلسیم و نیترات کلسیم در افزایش وزن تر نسبی به دلیل افزایش جذب محلول مؤثر بودند. همچنین نتایج نشان داد کاربرد هر دو منبع کلسیم سبب تأخیر پیری در گل و افزایش پروتئین، آنتوسیانین و محتوای کلسیم ساقه و کاهش نشت یونی و مالون‌دی‌آلدهید در انتهای دوره نگهداری شدند. تیمار قبل از برداشت کلسیم سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (POD) و فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) در هر دو رقم ژربرا شد و بیشترین و کمترین فعالیت POD و PAL به‌ترتیب در رقم‌های اینتنس و رزالین به‌دست آمد. در مجموع نتایج نشان داد تیمارهای کلسیم قبل از برداشت (به‌خصوص غلظت ۱ درصد کلرید کلسیم) سبب افزایش معنی‌دار در ماندگاری و حفظ کیفیت پس از برداشت دو رقم گل شاخه‌بریده ژربرا گردید.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، پراکسیداز، فنیل آلانین آمونیالیاز، مالون دی‌آلدهید.

Effects of per-harvest applications of different source of calcium on the quality of gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) flower in two cultivars of Intense and Rosaline

Maral Aghdam[1], Moazzam Hassanpour Asil[2*], Mahmood Ghasemnezhad[2] and Seyed Amir Abbas Mousavi[3]
1. Ph.D. Candidate, Campus 2, University of Guilan, Rasht, Iran
2. Professor, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
3. Assistant Professor, Chalous Branch, Islamic Azad University, Iran
(Received: Mar. 11, 2018- Accepted: June 12, 2018)

ABSTRACT

In order to investigate pre-harvest application of calcium in hydroponic culture, a factorial experiment was conducted based on completely randomized design with four replications. The first factor CaCl2 and the second factor CaNO3 and both factors were applied in four levels (0, 0.5, 1 and 1.5% as foliage spray). For evaluation of associated traits with vase life, the produced flowers were kept in a vase solution containing 200 mg/L hydroxyquinoline sulfate with temperature conditions of 20 °C. The results showed that vase life of flowers extended 6.13 and 5 days by application 1% $CaCl_2$ for Intens and Rosalin respectively. All treatments were effective in the increasing relative fresh weight of flower due to increase water uptake. The results also revealed that the calcium pretreatment delayed flowers senescence and maintained leaf protein and petal anthocyanin content. Application of calcium resulted in a decrease in electrolyte leakage and malondialdehyde content in the cut flowers of both cultivars, providing evidence for delay of senescence in calcium-treated cut flowers. Also, results showed that calcium application significantly increased Peroxidase (POD) and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) of both cultivars. The maximum and the minimum PAL and POD activities were observed in resistant and sensitive cultivars, respectively. Taken together the results showed pre-harvest application of calcium (especially 1% $CaCl_2$) might be promising approaches to improve postharvest performance of two cultivars of gerbera cut flowers.

Keywords: Anthocyanin, malondialdehyde, peroxidase, phenylalanine ammonia-lyase.

* Corresponding author E-mail: hassanpurm@guilan.ac.ir

www.SID.ir

مقدمه

ژربرا یکی از گیاهان زینتی مهم است که هم به‌صورت گلدانی و هم گل شاخه‌بریده مورد استفاده قرار می‌گیرد و ماندگاری کمی در انبار دارد (Celikle & Reid, 2002; Perik *et al*., 2014). براساس آمار منتشرشده در سال ۱۳۹۱ سطح زیر کشت گلخانه‌ای ژربرا ۳۸ هکتار است و میزان تولید سالیانه آن بیش از ۱۰۰ میلیون گل شاخه‌بریده گزارش شده است (Radmehr, 2010). این گل پس از رز، داوودی، لاله و لیلیوم مهم‌ترین گل از نظر میزان تولید و مصرف محسوب می‌شود که ارزش اقتصادی زیادی در صنعت بین‌المللی گل‌های شاخه‌بریده دارد و برای پاسخگویی به نیاز روزافزون بازار، تولیدکنندگان ژربرا نیز در جهان در حال افزایش هستند (Nair *et al*., 2003; Perik *et al*., 2014). مناسب نبودن شرایط تولید و تغذیه در برخی موارد باعث کاهش کمیت و کیفیت گل‌های ژربرا می‌شود، بنابراین کنترل شرایط تولید ازلحاظ تغذیه برای بهبود کمیت و کیفیت گل‌ها از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است (Khangoli, 2001).

ماندگاری یا عمر پس از برداشت ژربرا تحت تأثیر دو عامل خمیدگی گردن و نداشتن استحکام کافی در ساقه گل‌دهنده قرار می‌گیرد (Nazarideljou & Azizi, 2015; Naing *et al*., 2017)، به‌طوری‌که در برخی از ارقام باوجود پژمرده‌نشدن گل، گردن گل دچار خمیدگی می‌شود. ساقه از استحکام خوبی برخوردار نبوده و بر اساس کیفیت و رتبه‌بندی گل، گردن گل با خمیدگی بیش از ۳۰ درجه کیفیت لازم را نخواهد داشت (Celikle & Reid, 2002). یکی از دلایل احتمالی خمیدگی ساقه گل، عدم محافظت مکانیکی و کم بودن استحکام ساقه گل دهنده و عدم تشکیل لیگنین در دیواره سلولی به‌ویژه دیواره ثانویه است (Perik *et al*., 2012)، تشکیل لیگنین افزون بر تأثیر چشم‌گیر در استحکام و حالت رشد ایستاده ساقه، نقش مهمی در هدایت و انتقال آب در آوندهای چوبی ایفا می‌کند (Vanholme *et al*., 2010). فرایند تشکیل لیگنین شامل بیوسنتز مونولیگنول ها، انتقال آن‌ها به دیواره‌های سلولی و درنهایت پلیمره شدن آن‌ها تحت تأثیر فعالیت آنزیم‌هایی مانند فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL)، پلی‌فنل اکسیداز، کتکول اکسیداز و پراکسیدازها می‌باشد (Nazarideljou & Azizi, 2015). گزارش‌شده است که مقاومت در برابر خمیدگی گردن گل با توسعه کافی بافت اسکلرانشیم تا دامنه‌ی حدود ۲۰ سانتی‌متر پایین‌تر از سر گل همراه است و با میزان لیگنین در ساقه ارتباط داشت (Perik *et al*., 2012). براساس پژوهش‌های انجام‌گرفته در گل‌های شاخه‌بریده ژربرا افزایش فعالیت آنزیم‌هایی که منجر به تولید لیگنین می‌گردد، مانند فنیل آلانین آمونیا لیاز و پروکسیداز تأثیر مستقیم بر استحکام ساقه و کاهش خمیدگی گردن در ژربرا دارد (Nazarideljou & Azizi, 2015).

در سال‌های گذشته تلاش‌های زیادی برای افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت پس از برداشت گل‌های شاخه‌بریده با استفاده از تکنیک‌های مختلف صورت گرفته است. مدیریت تغذیه بهینه و تامین عناصر غذایی ضروری و مفید به‌ویژه عناصر دخیل در متابولیسم و استحکام سلولی از قبیل کلسیم و همچنین پدیده تشکیل لیگنین در دیواره‌های سلولی که منجر به استحکام ساقه می‌گردد، نقش بسزایی در کاهش بروز این عارضه دارد (Gerasopoulus & Chebli, 1999; Perik *et al*., 2014). کلسیم یک عنصر ضروری است که فرایند رشد و نمو را در گیاه تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوری‌که تجمع آن در گیاه باعث تسهیل ایجاد ارتباط بین پلیمرهای پکتین می‌شود و استحکام مکانیکی ساقه را با افزایش تولید لیگنین بالا می‌برد که ممکن است به کاهش خمیدگی گردن و افزایش ماندگاری گل منجر شود (Gerasopoulus & Chebli, 1999; Helper, 2005; Li *et al*., 2012). فرایند تشکیل لیگنین همچنین تحت تأثیر فعالیت کاتالیستی آنزیم‌هایی همچون PAL است (Ferrante *et al*., 2007)، بنابراین اندازه‌گیری میزان فعالیت این آنزیم می‌تواند به‌عنوان یک معیار مهم در سنجش میزان خمیدگی ساقه مورد بررسی قرار گیرد. تیمار کلسیم به‌صورت قبل و پس از برداشت از منابع مختلف سبب افزایش ماندگاری بسیاری از گل‌های بریده شده است. با وجود این شواهد، بررسی نقش این عنصر در فعالیت آنزیم‌های درگیر در فرایند لیگنینی

www.SID.ir

شدن و درنتیجه افزایش ماندگاری گل‌ها نیاز به بررسی بیشتری دارد. بنابراین، در تحقیق حاضر، اثر غلظت‌های مختلف کلسیم از دو منبع کلرید و نیترات کلسیم بر کیفیت پس از برداشت در دو رقم ژربرا حساس و مقاوم به خمیدگی گردن مورد ارزیابی قرارگرفته است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار سال ۱۳۹۶ به‌صورت فاکتوریل (دو فاکتور تیمار و رقم) در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. آنالیز صفات بر اساس آزمایش فاکتوریل سه عامله (رقم، تیمار و زمان) انجام گرفت. در هر تکرار ۱۴ کرت (هفت تیمار کلسیم و دو رقم ژربرا) و در هر کرت ۵ گلدان به عنوان واحد آزمایشی (در مجموع ۲۸۰ گلدان) استفاده شد. در این آزمایش از دو رقم ژربرا که حساسیت متفاوتی به خمیدگی ساقه داشتند استفاده شد. رقم Intense به‌عنوان رقم مقاوم و رقم Rosalin به‌عنوان رقم حساس استفاده گردید (Nazarideljou & Azizi, 2015). ابتدا نشاءهای ژربرا در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۸ سانتی‌متر در مخلوط ۵۰ درصد کوکوپیت و ۵۰ درصد پرلیت کشت شد در گلخانه با دمای روزانه ۲±۲۰ و شبانه ۲±۱۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵± ۷۰ درصد و سیکل نوری به‌صورت ۱۴ ساعت روشنایی با شدت نور برابر ۴۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه قرار گرفتند (Naing *et al.*, 2017). تغذیه نشاءها قبل از شروع اعمال تیمارها بر اساس فرمول تغذیه‌ای که در گلخانه‌های تجاری مورداستفاده قرار می‌گیرد انجام شد. در دوره رشد از عناصر غذایی جدول ۱ برای تغذیه گیاهان استفاده شد.

جدول ۱. عناصر غذایی مورد استفاده در تغذیه گل ژربرا در دوره آزمایش

Table 1. Nutrient elements used in Gerbera flower during experimental period

Macro elements	Content (mmol/L)	Microelements	Content (µmol/L)
Nitrogen	10	Iron	40
Phosphorous	1.8	Magnesium	5
Potassium	5.5	Zinc	5
Magnesium	2	Copper	1
Sulphate	3	Molybdenum	1
		Boron	30

محلول‌پاشی برگی کلرید کلسیم ($CaCl_2$) و نیترات کلسیم ($CaNO_3$) هرکدام در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد بعد از کشت نشاءها در گلدان و استقرار کامل گیاهان در سه نوبت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ روز قبل از برداشت گل‌ها انجام شد (Mehran *et al.*, 2007). در گیاهان شاهد تنها آب مقطر محلول‌پاشی شد. برای جذب بهتر منابع کلسیم در گیاه محلول پاشی همراه با یک درصد توین ۲۰ انجام شد. گل‌های شاخه‌بریده زمانی برداشت شد که دو تا سه ردیف گلچه‌های بیرونی رنگ گرفته و پرچم‌ها باز نشده بودند (Gerasopoulus & Chebli, 1999). پس از برش ساقه به طول ۴۰ سانتی‌متر، دو گل برای هر واحد آزمایشی در ارلن‌های ۵۰۰ سی‌سی حاوی آب مقطر و میکروب‌کش هیدروکسی کوینولین سولفات (HQS) با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر قرار گرفتند. سپس ارلن‌های حاوی گل در دمای اتاق و شدت نوری معادل ۲۸ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه و رطوبت نسبی حدود ۶۰ درصد قرار گرفتند (Gerasopoulus & Chebli, 1999).

برای اندازه‌گیری ماندگاری گل، تعداد روز پس از برداشت تا زمان ظهور علایمی مانند پژمرده شدن گلبرگ‌ها و خم شدن گردن گل و تغییر رنگ یا ریزش گلبرگ‌ها محاسبه گردید (Hegazi, 2016). اندازه‌گیری وزن تر نسبی و جذب محلول به‌صورت یک روز در میان در روزهای اول، سوم، پنجم، هفتم و نهم انجام گرفت و داده‌های به دست آمده بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه آماری گردید. بقیه صفات در روز اتمام ماندگاری اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین گلبرگ به روش اختلاف pH، با استفاده از متانول اسیدی (۹۹ درصد متانول و ۱ درصد کلریدریک اسید) استفاده شد. برای این کار ۰/۲ گرم از بافت گلبرگ در ۳ میلی‌لیتر متانول اسیدی ساییده شد. نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. برای سنجش غلظت آنتوسیانین کل

www.SID.ir

از دو بافر کلرید پتاسیم ۰/۰۲۵ میلی مولار با pH=1 و بافر استات سدیم ۰/۴ میلی مولار با pH=4.5 استفاده شد. سپس جذب نمونه ها در طول موج‌های ۵۳۰ و ۷۰۰ نانومتر با استفاده از هر دو بافر قرائت گردید و در نهایت میزان آنتوسیانین بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Giusti & Wrolstad, 2001).

نشت یونی گلبرگ با استفاده از روش Abdolmaleki *et al.* (2015) با اندکی تغییرات انجام گرفت. برای این کار از قسمت میانی گلبرگ‌ها ۰/۳ گرم برداشته شد. نمونه‌ها در داخل لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفتند. پس از ۲ ساعت قرار دادن بر روی شیکر با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه، هدایت الکتریکی اولیه محلول توسط دستگاه سنجش هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. سپس محلول حاوی نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در داخل حمام آب جوش قرار داده شدند و پس از سرد شدن آن، هدایت الکتریکی ثانویه محلول اندازه‌گیری گردید. درصد نشت یونی از تقسیم هدایت الکتریکی اولیه بر هدایت الکتریکی ثانویه محاسبه شد. میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء بر اساس تشکیل کمپلکس مالون‌دی‌آلدهید ایجاد شده با تیوباربی تیوریک اسید با استفاده از روش Heath & Packer (1987) در دو طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر صورت گرفت.

اندازه‌گیری فعالیت فنیل آلانین آمونیا لیاز براساس روش Ferrante *et al.* (2007) اندازه‌گیری شد. به این صورت که نمونه‌های ساقه از حدود ۱۰ سانتی‌متر پایین گل گرفته‌شده و یک گرم از ساقه در هاونی که از قبل سرد شده است با ۳ میلی‌لیتر بافر استخراج شامل ۱۰۰ میلی مول برات سدیم و ۱۴ میلی مول بتا- مرکاپتواتانول خرد گردید. pH محلول در محدود ۸/۸ تنظیم شد. مخلوط همگن در شرایط ۱۴۰۰۰rpm در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شده و مایع رویی که نماینده عصاره خام می‌باشد جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم PAL استفاده گردید. فعالیت PAL با اضافه‌نمودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره خام به۱/۲ میلی‌لیتر بافر اندازه‌گیری شامل ۲۰۰ میکرولیتر ال- فنیل آلانین و یک میلی‌لیتر بورات سدیم اندازه‌گیری شد. سپس مخلوط واکنش در ۴۰ درجه سلسیوس برای ۲ ساعت قرار می‌گیرد. واکنش با اضافه کردن ۲۵۰ میکرولیتر HCl ۵ نرمال متوقف گردید و سپس در اسپکتوفتومتر (Cary 100, Varian, USA) و طول‌موج ۲۹۰ نانومتر خوانده می‌شود (Ferrante *et al.*, 2007).

فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس روش Plewa *et al.* (1991) اندازه‌گیری شد. ۰/۲ گرم بافت تازه در هاون چینی سرد با استفاده از ۲ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار با pH=7.5 که دارای پلی وینیل پیرولیدون ۱ درصد، EDTA ۱ میلی‌مولار و PMSF ۱ میلی‌مولار بود ساییده شد. تمام مراحل استخراج در یخ انجام گرفت و قبل از اینکه حالت فریز بافت گیاهی از بین رود عمل استخراج انجام گرفت. سپس عصاره‌ها به تیوب‌ها منتقل شده و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. روشناور به ویال‌های ۰/۵ میلی‌لیتری تقسیم شد و تا زمان سنجش فعالیت آنزیم در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم، ۱۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن یک درصد، ۱۰۰ میکرولیتر گوایکول ۴ درصد و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. از مخلوط واکنش بدون عصاره آنزیمی به‌عنوان شاهد اسپکتروفتومتر استفاده شد. برای اندازه‌گیری پروتئین نیز از روش Bradford (1976) استفاده شد. درنهایت میزان فعالیت آنزیم بر اساس واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین گزارش شد (Ferrante *et al.*, 2007).

محتوای کلسیم ساقه با استفاده از روش Abdolmaleki *et al.* (2015) اندازه‌گیری شد. ابتدا ساقه بوسیله آب دیونیزه کاملاً شست‌وشو و تمیز شده و سپس برای رسیدن به یک وزن ثابت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. سپس نمونه‌ها در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا تبدیل به خاکستر شوند. ۲۰۰ میلی‌گرم از خاکستر به دست آمده در نیتریک اسید ۶۵ درصد حل شد و با استفاده از نیتریک اسید ۰/۱ مولار حجم آن به ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در نهایت غلظت کلسیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Hitachi Ltd, Tokyo,

www.SID.ir

Japan) اندازه گیری و بر اساس درصد در بافت خشک ساقه گزارش گردید.

داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه‌شده و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت و همچنین نمودارها با استفاده از اکسل ۲۰۱۳ ترسیم گردید.

نتایج و بحث

ماندگاری

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی رقم و تیمار و همچنین اثر متقابل رقم× تیمار در سطح احتمال ۱ درصد آماری بر ماندگاری گل شاخه‌بریده ژربرا معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که در هر دو رقم، تیمارهای به‌کار رفته سبب افزایش معنی‌داری در ماندگاری گل شدند. در هر دو رقم، بیشترین ماندگاری با میانگین ۱۲ و ۱۰ روز به‌ترتیب در ارقام اینتنس و رزالین در کاربرد ۱ درصد کلرید کلسیم به دست آمد که نسبت به شاهد (با میانگین ۵/۸۷ و ۵ روز)، به‌ترتیب ۶/۱۳ و ۵ روز بیشتر بود. همچنین نتایج نشان داد که در رقم اینتنس تیمارهای به‌کار رفته اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند ولی در رقم رزالین تیمارهای کلرید کلسیم (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) تأثیر معنی‌داری در افزایش ماندگاری گل نسبت به تیمارهای نیترات کلسیم داشتند (شکل ۱). ماندگاری پس از برداشت گل بریده ژربرا به‌عنوان مهم‌ترین صفت کیفی تحت تأثیر عواملی مانند تیمارهای قبل از برداشت قرار می‌گیرد. گزارش‌شده است که به علت کمبود کلسیم در گل بریده ژربرا ارتباط بین پلیمرهای پکتین در دیواره سلولی ضعیف شده و درنتیجه تشکیل لیگنین کاهش و استحکام مکانیکی ساقه کاهش می‌یابد (Gerasopoulus & Chebli, 1999; Helper, 2005) که این فرایند منجر به افزایش خمیدگی گل و کاهش ماندگاری آن می‌شود. بر این اساس گزارش‌های موفقی از تیمار قبل از برداشت کلسیم (DeCapdeville *et al*., 2005; Abdolmaleki *et al*., 2015) و پس از برداشت کلسیم (Cortes *et al*., 2011; Li *et al*., 2012; Hegazi, 2016) در افزایش ماندگاری گل شاخه‌بریده ژربرا وجود دارد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از کلسیم به علت شرکت در سنتز پکتین در دیواره سلولی آوندهای چوبی، انتقال آب را در ساقه بهبود می‌بخشد و ماندگاری گل ژربرا را افزایش می‌دهد (Van Ieperen & Van Gelder, 2006). همچنین نتایج نشان داد که منابع مختلف کلسیم تأثیر یکسانی بر ماندگاری رقم های ژربرا نداشتند که ممکن است به دلیل حساسیت هرکدام از رقم ها به منابع کلسیم باشد. در این راستا، KalatehJari *et al*. (2007) گزارش کردند که کاربرد کلرید کلسیم و نیترات کلسیم در غلظت ۰/۵ درصد سبب افزایش ماندگاری گل رز شد ولی نیترات کلسیم در غلظت ۱ درصد سبب کاهش ماندگاری گردید که ممکن است به دلیل سمیت گل‌ها در این غلظت باشد. Gerasopoulus & Chebli (1999) با بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم بر ماندگاری رقم های ژربرا گزارش دادند که اثر کلسیم بر رقم ها یکسان نبوده و در برخی از رقم ها غلظت بالا (۱/۵ درصد) سبب کاهش ماندگاری نسبت به غلظت‌های دیگر شد. به نظر می‌رسد که استفاده کلسیم با افزایش استحکام ساقه از انسداد آوندی جلوگیری کرده و جذب محلول نگه‌دارنده توسط گل شاخه‌بریده را تداوم می‌دهد که این موضوع سبب افزایش ماندگاری و کاهش زوال گل می‌گردد.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر کلسیم بر صفات مورد ارزیابی دو رقم ژربرا

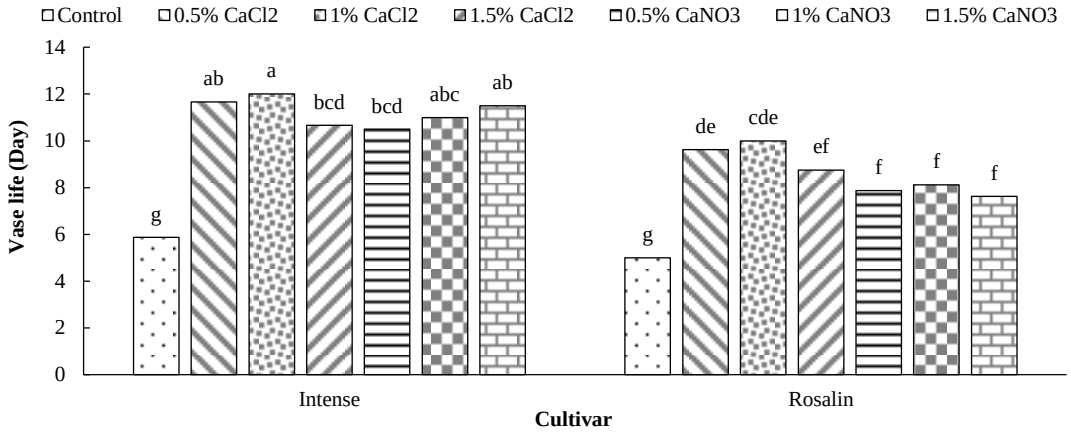
Table 2. Results of variance analysis of calcium on evaluated traits in two cultivars of gerbera

Source of variation	df	MS							
		Vase life	Electrolyte leakage	Malondialdehyde	Anthocyanin	Protein	POD activity	PAL activity	Calcium content
Cultivar	1	70.47**	46.59**	1.54**	126953**	25.32**	1267**	0.135**	0.006**
Treatment	6	26.30**	71.37**	0.90**	2341**	7.09**	131**	0.024**	0.040**
Cultivar×Treatment	6	1.75**	6.99*	0.14**	843**	0.91*	21**	0.003*	0.374^{ns}
Error	24	0.74	2.91	0.02	34	0.36	7	0.001	0.001
CV (%)	-	9.32	7.65	14.43	6.82	17.41	10.19	11.38	4.232

*، ** و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و بدون تفاوت معنی‌دار.

*, **, ns: Significant at 5 and 1% of probability levels and non-significant, respectively.

www.SID.ir



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل کلسیم و رقم بر ماندگاری ژربرا

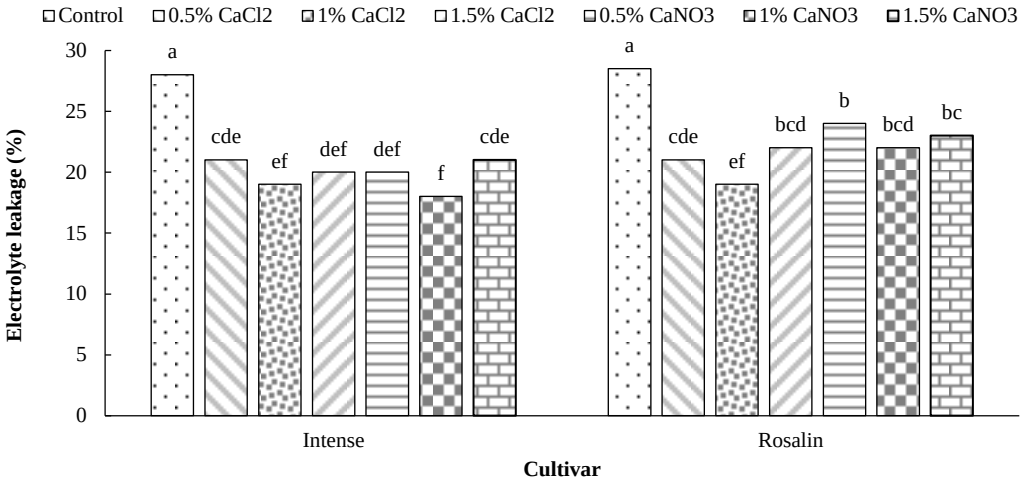
Figure 1. Mean comparison interaction effect of calcium and cultivar on vase life of gerbera

نشت یونی و مالون‌دی‌آلدهید

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر رقم، تیمار و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر نشت یونی و مالون‌دی‌آلدهید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که تیمارهای کلسیم به‌کار رفته در هر دو رقم سبب کاهش معنی‌دار نشت یونی و محتوای مالون‌دی‌آلدهید شدند. در خصوص صفت نشت یونی غلظت‌های مختلف کلسیم از هر دو منبع کلرید و نیترات اختلاف چشمگیری باهم نداشتند، ولی در مورد مالون‌دی‌آلدهید، رقم ها واکنش متفاوتی به سطوح کلسیم به‌کاررفته نشان دادند. در رقم اینتنس در غلظت ۱ درصد نیترات کلسیم کمترین مالون‌دی‌آلدهید مشاهده شد که نسبت به شاهد حدود ۵۰ درصد کاهش نشان داد. در حالی که در رقم رزالین کمترین مالون‌دی‌آلدهید در کاربرد ۰/۵ درصد نیترات کلسیم به دست آمد که نسبت به شاهد حدود ۷۰ درصد کاهش نشان داد (شکل‌های ۲ و ۳).

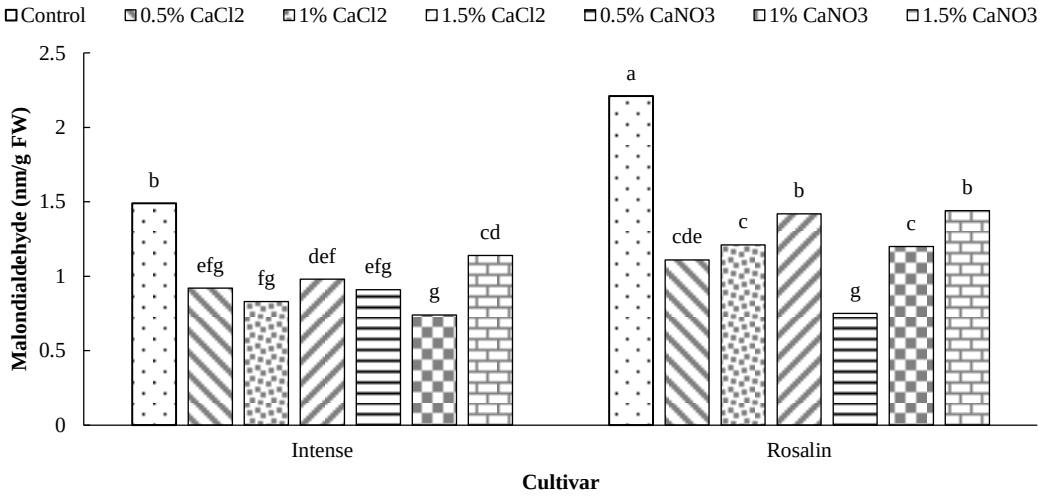
به‌طورکلی پیری در گیاهان یک فرایند اکسیداتیو و کنترل‌شده است و شامل تغییرات بیولوژیکی، فیزیولوژیکی، هورمونی و ساختاری است که باعث تخریب درشت مولکول‌ها مانند پروتئین، نوکلئیک اسیدها و لیپیدها می‌شود (Iqbal *et al*., 2017). تنش اکسیداتیو از عدم تعادل بین تولید گونه‌های واکنشگر اکسیژن (Reactive oxygene species (ROS)) و پاک کردن آن‌ها توسط سیستم‌های دفاعی گیاه ناشی می‌شود. این ترکیبات با قسمت‌های مختلف سلولی واکنش نشان داده و منجر به تخریب آن‌ها می‌شوند. یکی از فرایندهایی که در حضور انواع ROS شدت می‌یابد تخریب غشاهای سلولی می‌باشد که منجر به تولید موادی مانند مالون‌دی‌آلدهید و افزایش نشت یونی در سلول‌ها می‌گردد (Sairaim *et al*., 2010). در این تحقیق تیمار با منابع مختلف کلسیم سبب کاهش نشت یونی و مالون‌دی‌آلدهید در گلبرگ‌های ژربرا شد. گزارش شده است که یون‌های کلسیم با جلوگیری از نشت یونی در غشای سلولی تأثیرات مضر اتیلن را بر پیری کاهش می‌دهند و از این طریق ماندگاری پس از برداشت گل شاخه‌بریده را افزایش می‌دهند (De Capdeville *et al*., 2005). همچنین نقش کلسیم در ساختمان و کارکرد غشا و دیواره‌های سلولی اثبات‌شده است (Ferguson & Drobak, 1988). از طرف دیگر در بخشی از نتایج این تحقیق مشاهده شد که تیمار کلسیم سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های POD و PAL شد که نقش مهمی در استحکام ساقه و حفظ جذب محلول گلجای داشتند. این نتایج با تحقیقات Abdolmaleki *et al*. (2015) مطابقت دارد که گزارش کردند تیمار قبل از برداشت کلسیم سبب کاهش آسیب به غشاهای سلولی در گل رز و افزایش ماندگاری آن‌ها می‌شود. به نظر می‌رسد که تیمار کلسیم از طریق مستقیم با افزایش دوام دیواره‌های سلولی و به‌صورت غیرمستقیم با تأثیر بر فرایندهای آنزیمی گیاه سبب کاهش نشت یونی و مالون‌دی‌آلدهید در گل ژربرا می‌شود.

www.SID.ir



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل کلسیم و رقم بر نشت یونی گلبرگ ژربرا

Figure 2. Mean comparison interaction effect of calcium and cultivar on electrolyte leakage in petal of gerbera



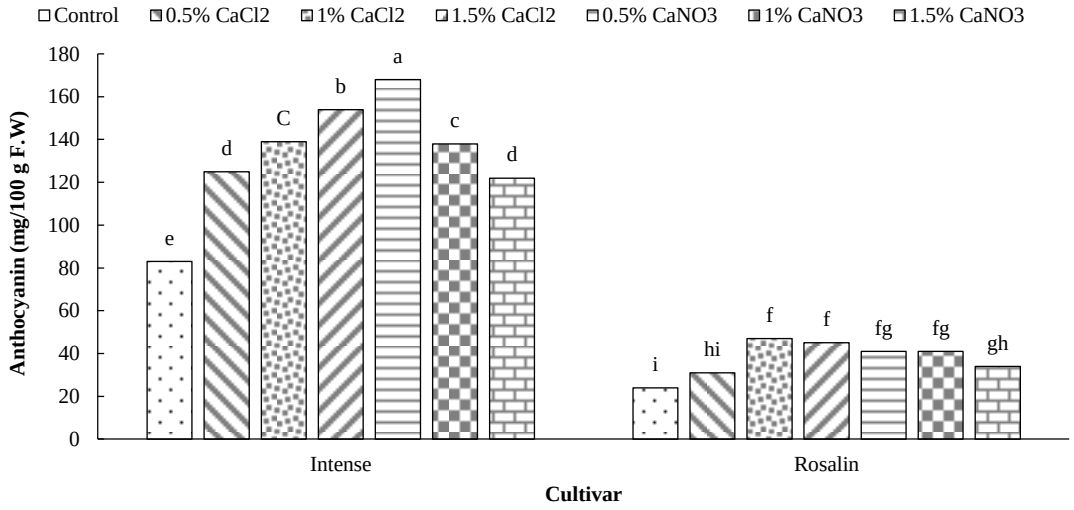
شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل کلسیم و رقم بر مالون‌دی‌آلدهید گلبرگ ژربرا

Figure 3. Mean comparison interaction effect of calcium and cultivar on malondialdehyde content in petal of gerbera

آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی رقم و تیمار و همچنین اثر متقابل رقم× تیمار در سطح احتمال یک درصد بر آنتوسیانین معنی‌دار شد (جدول ۲). همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که در تمام سطوح تیمار کلسیم به‌کار رفته، میزان آنتوسیانین در رقم اینتس بالاتر از رقم رزالین بود که مربوط به تفاوت ژنتیکی دو رقم می‌باشد. از طرف دیگر، کاربرد کلسیم در تمام غلظت‌ها سبب افزایش معنی‌دار این صفت نسبت به شاهد در هر دو رقم شد. همچنین نتایج نشان داد که در رقم اینتنس غلظت ۰/۵ درصد نیترات کلسیم و در رقم رزالین غلظت‌های ۱ و ۱/۵ درصد کلرید کلسیم بیشترین تأثیر را در افزایش آنتوسیانین داشتند (شکل۴). این نتایج با یافته‌های Hassanpour Asil *et al*. (2009) و Hegazi (2016) مطابقت دارد که گزارش کردند تیمار قبل از برداشت کلسیم سبب حفظ محتوای آنتوسیانین در گل‌های شاخه‌بریده پس از برداشت می‌شود. آنتوسیانین‌ها به‌عنوان رنگ‌دانه‌های محلول در آب در واکوئل سلول‌های اپیدرمی گیاهان تجمع پیدا می‌کنند.

www.SID.ir



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل کلسیم و رقم بر آنتوسیانین ژربرا

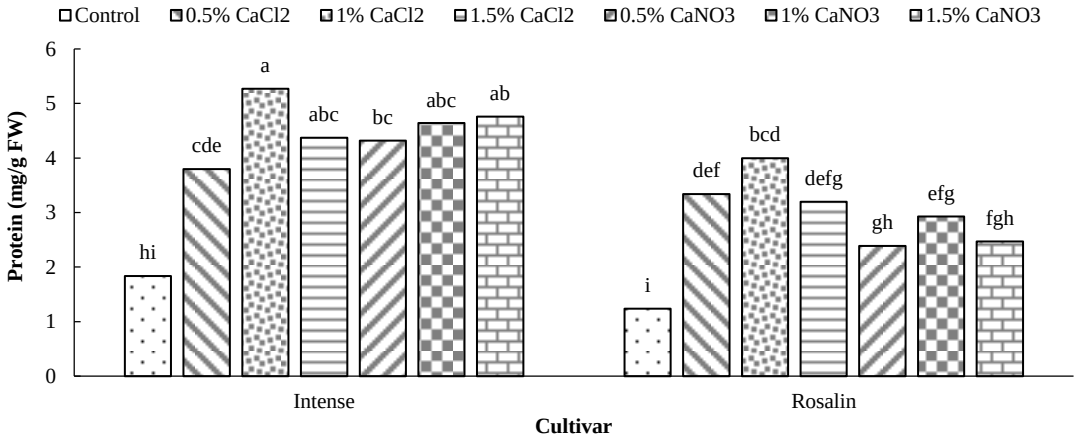
Figure 4. The effects of different calcium treatments on anthocyanin content of gerbera

تخریب آنتوسیانین‌ها طی فرایند پیری در گل‌های شاخه‌بریده ممکن است به‌دلیل فرایندهای اکسیداتیو باشد (Borocho & Woodson, 1989). توسعه رنگ‌دانه‌های سلولی و سنتز آنتوسیانین با بالارفتن میزان کربوهیدرات‌ها نسبت مستقیم داشته و هر عاملی که بتواند بر جذب و یا سنتز قندها مؤثر باشد سبب افزایش میزان آنتوسیانین کل در گلبرگ‌ها می‌شود (Hassanpour Asil *et al*., 2009). به نظر می‌رسد که کلسیم با تأثیر بر سنتز هیدرات‌های کربن سبب افزایش آنتوسیانین شود (Hegazi, 2016). از طرف دیگر گزارش شده است که تیمار کلسیم با تأثیر مثبت بر فعالیت آنزیم PAL سبب افزایش سنتز آنتوسیانین می‌شود (Li *et al*., 2002). نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار کلسیم با تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های PAL و POD تأثیر مثبتی در حفظ جذب آب در گل بریده ژربرا داشتند و همین عامل ممکن است در کنار تأثیر کلسیم بر تأخیر فرایندهای پیری سبب حفظ آنتوسیانین در دوره پس از برداشت شود (Tore *et al*., 1999).

پروتئین کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی رقم و تیمار در سطح احتمال ۱ درصد بر پروتئین کل معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل رقم× تیمار در سطح احتمال ۵ درصد بر پروتئین کل معنی‌دار شد (جدول۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که سطوح مختلف تیمار تأثیر متفاوتی بر پروتئین کل در دو رقم ژربرا داشتند. در هر دو رقم تیمار کلسیم در تمام سطوح سبب افزایش پروتئین کل شد و غلظت ۱ درصد کلرید کلسیم بیشترین تأثیر را در افزایش پروتئین کل داشت. تأثیر نوع نمک کلسیم بر این صفت در رقم اینتنس معنی‌دار نبود، ولی در رقم رزالین کلرید کلسیم تأثیر بیشتری بر این صفت نسبت به نیترات کلسیم داشت (شکل ۵). مطالعات گذشته نشان داده است که فرایند پیری با کاهش میزان پروتئین، که ناشی از کاهش بیوسنتز پروتئین‌های جدید و تجزیه پروتئین‌های قبلی است، همراه بود (Iqbal *et al*., 2017). Borochov & Woodson (1989) گزارش کردند که پروتئین‌های غشا نقش مهمی در پیری گلبرگ ایفا می‌کنند به طوری که میزان پروتئین‌های غشا و مقدار گروه‌های تیول در طول پیری در گل میخک به‌شدت پایین می‌آید. تیمار کلسیم به دلیل نقش حفاظتی که در غشا و سلول‌های گیاهی دارد می‌تواند روند تجزیه پروتئین‌ها را کند نماید (Poovaiah & Leopold, 1973; Hegazi, 2016). گزارش‌شده است که تیمار کلسیم سبب تأخیر تخریب پروتئین‌ها و فسفولیپیدهای غشاهای سلولی شده و سبب افزایش ATP در گلبرگ‌ها می‌شود (Malakoti, 2001).

www.SID.ir



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل کلسیم و رقم بر پروتئین ژربرا

Figure 5. Mean comparison interaction effect of calcium and cultivar on protein of gerbera

در تحقیق حاضر نیز تیمار کلسیم نسبت به عدم کاربرد آن سبب حفظ بیشتر میزان پروتئین در گلبرگ دو رقم ژربرا شد. این نتایج با یافته‌های Hegazi (2016) مطابقت دارد که گزارش کرد تیمار قبل و پس از برداشت کلرید کلسیم سبب افزایش پروتئین در کوکب کوهی شد. همچنین گزارش‌شده است که تیمار کلسیم با تغییر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب تأخیر در پیری گل و حفظ کلروفیل و پروتئین گل‌ها در مدت نگهداری می‌شود (Sairam *et al*., 2011). این نتایج نشان می‌دهد که تیمار کلسیم علاوه بر جلوگیری از خمیدگی ساقه؛ کاهش جذب آب و درنتیجه تنش آبی ناشی از آن، با حفظ پروتئین موجود و جلوگیری از تخریب آن، سبب حفظ شادابی گل‌ها و جلوگیری از پیری زودرس آن‌ها می‌شود.

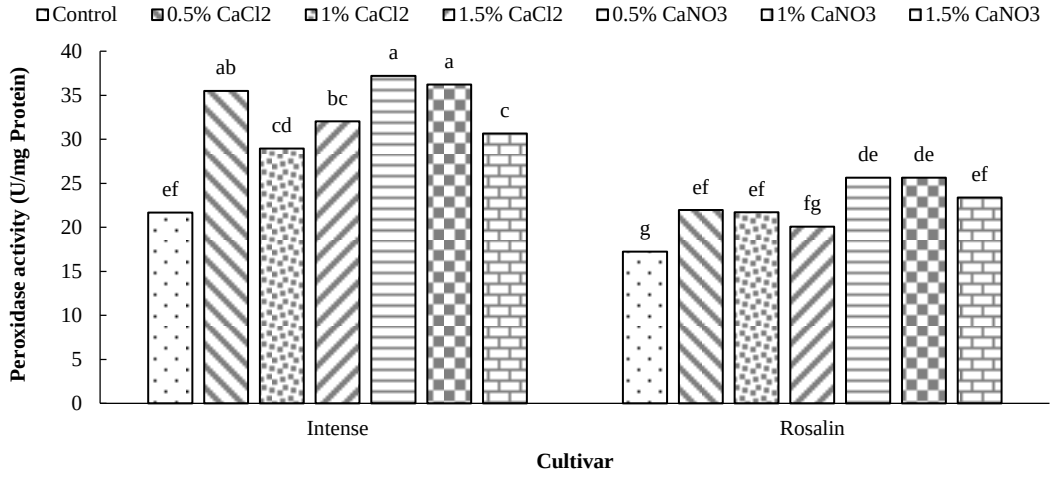
فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و فنیل‌آلانین آمونیالیاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی رقم و تیمار در سطح احتمال ۱ درصد بر فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (POD) و فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL) معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل رقم ×تیمار بر فعالیت آنزیم POD در سطح احتمال یک درصد و بر فعالیت آنزیم PAL در سطح احتمال۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که در تمام سطوح تیمارها فعالیت PAL و POD در رقم اینتنس بالاتر از رقم رزالین بود. تیمارهای کلسیم سبب افزایش فعالیت این دو آنزیم در هر دو رقم شدند، ولی تأثیر آن‌ها بر هر دو رقم یکسان نبود. در رقم اینتنس، نیترات کلسیم به‌خصوص در غلظت ۰/۵ درصد تأثیر بیشتری در افزایش فعالیت PAL داشت ولی در رقم رزالین تیمارهای کلسیم به‌کار رفته اختلاف آماری معنی‌داری باهم نداشتند. همچنین نتایج نشان داد که در رقم اینتنس غلظت‌های ۰/۵ درصد کلرید کلسیم و غلظت‌های ۰/۵ و ۱ درصد نیترات کلسیم و در رقم رزالین غلظت‌های ۰/۵ و ۱ درصد نیترات کلسیم بیشترین تأثیر را در افزایش فعالیت POD نسبت به شاهد داشتند (شکل‌های ۶ و ۷).

خمیدگی ساقه یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش کیفیت، ماندگاری و تلفات پس از برداشت گل بریده ژربرا است که این عامل به فاکتورهای مختلفی مانند ژنتیک، تغذیه، شرایط انبار، هورمون‌های گیاهی و تعادل آبی بستگی دارد (Ferrante *et al*., 2007). یکی از دلایل احتمالی کاهش عارضه خمیدگی ساقه در گل‌های شاخه‌بریده تشکیل لیگنین در دیواره سلولی به‌ویژه دیواره‌های ثانویه می‌باشد، که علاوه بر استحکام ساقه سبب تداوم جذب آب توسط گل می‌شود (Vanholme *et al*., 2010). POD و PAL از آنزیم‌های کلیدی در مسیر بیوسنتز لیگنین هستند که نقش آن‌ها در استحکام ساقه و تأخیر خمیدگی گردن در گل ژربرا ثابت شده است (Nazari Deljou & Azizi, 2015). گزارش‌شده است که در گل‌های شاخه‌بریده، رقم های بادوام بالا دارای فعالیت آنزیم PAL و POD

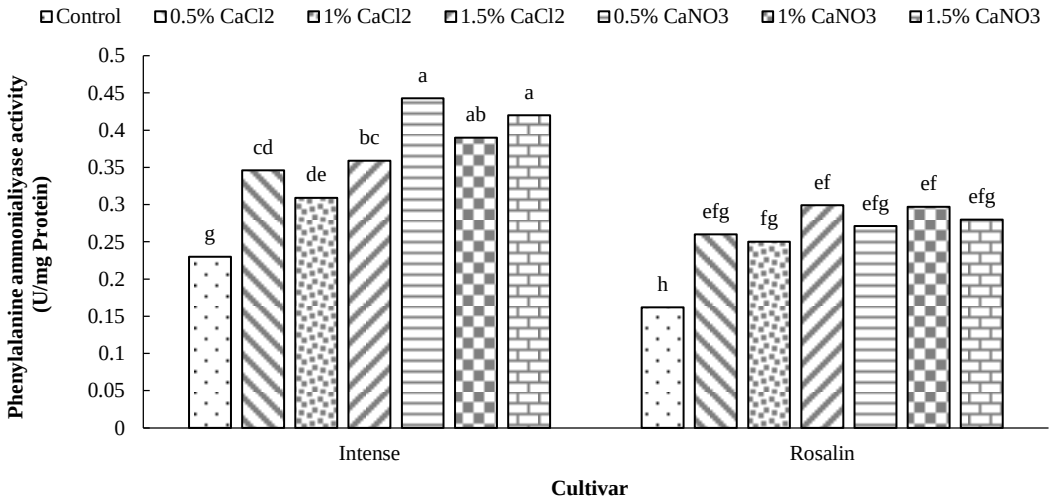
www.SID.ir

بیشتری در مقایسه با رقم های با دوام گل کمتر هستند (Guosheng *et al*., 2011; Nazari Deljou & Azizi, 2015). در تحقیق حاضر نیز رقم اینتنس با مقاومت بیشتر نسبت به رقم رزالین میزان فعالت POD و PAL بیشتری داشت. همچنین نتایج نشان داد که تیمارهای کلسیم سبب افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم‌ها شدند. Perik *et al*. (2014) با بررسی تأثیر تیمارهای مختلف آنتی باکتریال، سورفاکتانت‌ها، قندها، یون غیر آلی و مواد شیمیایی مؤثر بر استحکام ساقه گزارش کردند که تیمار کلرید کلسیم با افزایش استحکام ساقه ناشی از تشکیل لیگنین سبب کاهش خمیدگی ساقه در گل ژربرا شد. گزارش‌شده است استفاده از موادی مانند اتیلن و سالیسیلیک اسید با تأثیر بر آنزیم‌های درگیر در بیوسنتز لیگنین مانند PAL اثر مستقیمی در ناهنجاری خمیدگی ساقه دارند (Ferrante *et al*., 2007). همچنین Naing *et al*. (2017) گزارش کردند که تیمار گل ژربرا با سدیم نیتروپروساید سبب افزایش بیان ژن بیوسنتز لیگنین و PAL شده و از این طریق سبب افزایش ماندگاری و کاهش خمیدگی ساقه در گل ژربرا گردید.



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل کلسیم و رقم بر فعالیت آنزیم پراکسیداز ژربرا

Figure 6. Mean comparison interaction effect of calcium and cultivar on peroxidase activity of gerbera



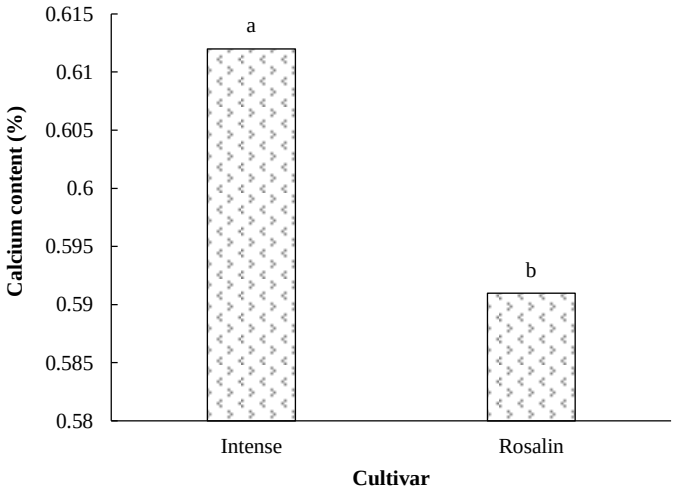
شکل ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل کلسیم و رقم بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز ژربرا

Figure 7. Mean comparison interaction effect of calcium and cultivar on phenylalanine ammonia-lyase activity of gerbera

www.SID.ir

محتوای کلسیم ساقه

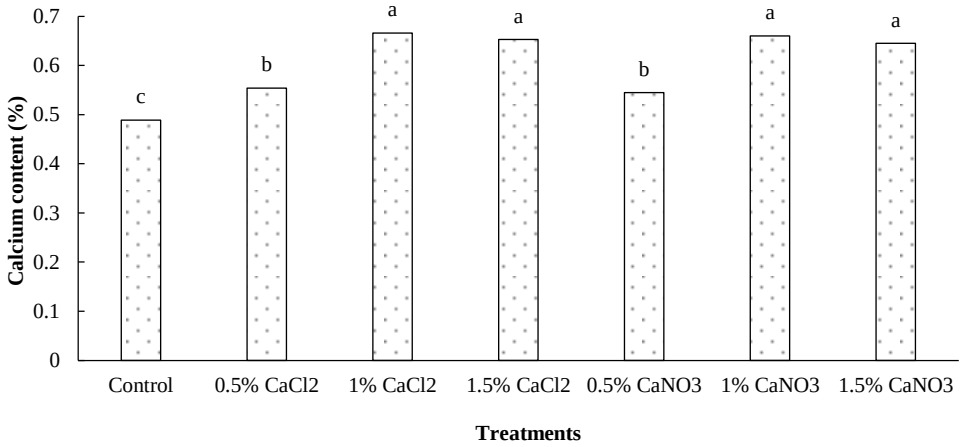
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر زمان و رقم در سطح احتمال یک درصد بر محتوای کلسیم ساقه معنی‌دار شد. اثر متقابل زمان× رقم بر محتوای کلسیم ساقه معنی دار نشد (جدول ۲). نتایج نشان داد که رقم اینتنس میزان کلسیم بیشتری نسبت به رقم رزالین داشت که ممکن است توجیه کننده ماندگاری بیشتر این رقم باشد. از طرف دیگر همه تیمارهای کلسیم سبب افزایش معنی‌دار کلسیم ساقه نسبت به شاهد شدند. بین تیمارهای به‌کار رفته تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت و غلظت‌های ۰/۵ درصد نیترات و کلرید کلسیم تاثیر کمتری در افزایش میزان کلسیم داشتند (شکل ۹). کلسیم یک عنصر ضروری است که فرایند رشد و نمو را در گیاه تحت تاثیر قرار می‌دهد، بطوریکه تجمع آن در گیاه باعث تسهیل ایجاد ارتباط بین پلی‌مرهای پکتین می‌شود و استحکام مکانیکی ساقه را با افزایش تولید لیگنین بالا می‌برد که منتهی به افزایش ماندگاری گل می‌گردد (Gerasopoulus & Chebli, 1999; Helper, 2005; Li *et al*., 2012). نقش کلسیم درونی و میان سلولی در تغییر متابولیسم سلولی به تاثیر آن بر روی ساختمان و کارکرد غشا و دیواره‌های سلولی نسبت داده می‌شود (Ferguson & Drobak, 1988). نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از کلسیم بعلت شرکت در سنتز پکتین در دیواره سلولی آوندهای چوبی، انتقال آب را در ساقه بهبود می‌بخشد و از وقوع خمیدگی گردن جلوگیری می‌کند (Van Ieperen & Van Gelder, 2006). در واقع یکی از وظایف کلسیم داخل ساقه کاستن مقاومت در مقابل جریان آب است که افزایش ماندگاری گل‌های شاخه بریدنی را در پی دارد (Cortes *et al*., 2011). کلسیم ماندگاری پس از برداشت گل‌های شاخه بریدنی را افزایش می‌دهد که این افزایش ماندگاری پس از برداشت ممکن است به دلیل تأخیر رویدادهای فیزیولوژیکی مربوط به پیری، مانند کاهش جذب آب، افزایش از دست دادن آب، کاهش وزن تر و خمیدگی گردن باشد (Gerasopoulus & Chebli, 1999; De Capdeville *et al*., 2005). در تحقیق حاضر پیش تیمار کلسیم سبب افزایش غلظت کلسیم در ساقه ارقام ژربرا شد و رقم ژربرای اینتنس که محتوای کلسیم بالاتری داشت عمر ماندگاری بیشتری نسبت به رقم رزالین نشان داد. به طور مشابه استفاده از منابع کلسیمی در زمان رشد گل، میزان کلسیم داخل گیاه را افزایش داد که در نتیجه باعث بالا بردن میزان کل پکتین ساقه در گل صد تومانی گردید و در نهایت استحکام ساقه گل را با افزایش میزان لیگنین افزایش داد (Li *et al*., 2012). بنابراین ممکن است افزایش ماندگاری گل بریدنی در ارتباط با افزایش محتوای کلسیم آن باشد.



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر رقم بر محتوای کلسیم ساقه ژربرا

Figure 8. Mean comparison effect of cultivar on stem calcium content of gerbera

www.SID.ir



شکل ۹. مقایسه میانگین اثر کلسیم بر محتوای کلسیم ساقه ژربرا
Figure 9. Mean comparison effect of calcium on stem calcium content of gerbera

جذب محلول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر زمان، رقم و تیمار در سطح احتمال ۱ درصد بر جذب محلول معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل زمان× تیمار و رقم×تیمار در سطح احتمال ۱ درصد بر جذب محلول معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که در هر دو رقم تیمارهای کلسیم به‌کاررفته سبب افزایش معنی‌دار جذب محلول شد. در رقم اینتنس غلظت ۰/۵ درصد کلرید کلسیم و در رقم رزالین غلظت ۱ درصد نیترات کلسیم بیشترین تأثیر را در افزایش جذب محلول داشتند (شکل ۱۰). باگذشت زمان جذب محلول در گل بریده ژربرا روند نزولی داشت که این روند نزولی در تیمار شاهد شدیدتر بود و در روز پنجم ماندگاری آن‌ها به پایان رسید. در روز نهم آزمایش تیمارهای کلسیم به‌کار رفته اختلاف زیادی باهم نداشتند ولی در روز هفتم غلظت‌های ۰/۵ و ۱ درصد کلرید کلسیم جذب محلول بالاتری نسبت به غلظت‌های دیگر نشان دادند. همچنین در بیشتر زمان‌های آزمایش این غلظت نسب به غلظت-های دیگر برتری داشت (شکل ۱۱). گزارش‌شده است که سرعت جذب آب در گل‌های شاخه‌بریده بستگی به هدایت آب ساقه و تفاوت پتانسیل آب بافت گل و محلول نگه‌دارنده دارد (Van meetren & Van Gelder, 1999). بنابراین عواملی که بتوانند از انسداد آوندی ساقه جلوگیری کنند می‌توانند پتانسیل جذب محلول توسط گل‌های شاخه‌بریده را حفظ کنند. گزارش‌شده است که ماندگاری پس از برداشت ژربرا شدیداً تحت تأثیر جذب آب توسط ساقه گل دهنده قرار می‌گیرد (Van Meeteren, 1978). Geshnizjany *et al.* (2014) با بررسی نقش کلرید کلسیم در افزایش ماندگاری گل‌های شاخه‌بریده ژربرا گزارش کردند که استفاده از کلسیم باعث بهبود تعادل آبی، افزایش انتقال آب و وزن تازه گل گردید و درنتیجه باعث تأخیر پیری در گل ژربرا شد. در همین راستا گزارش‌شده است که یکی از وظایف کلسیم در ساقه کاهش مقاومت در مقابل جریان آب است که افزایش ماندگاری گل‌های شاخه‌بریده را در پی دارد (Cortes *et al*., 2011). به‌نظر می‌رسد که بهبود جذب آب در گل شاخه‌بریده ژربرا با تیمار کلسیم بیشتر به دلیل نقش ساختاری این عنصر در گیاه باشد (Cortes *et al*., 2011; Li *et al*., 2012).

وزن تر نسبی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی زمان، رقم و تیمار در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن تر نسبی معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل رقم×تیمار نیز بر وزن تر نسبی معنی‌دار بود ولی سایر اثرات متقابل در مورد این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم× تیمار نشان داد که ارقام مختلف ژربرا عکس‌العمل متفاوتی به تیمارهای کلسیم در مورد این صفت داشتند.

www.SID.ir

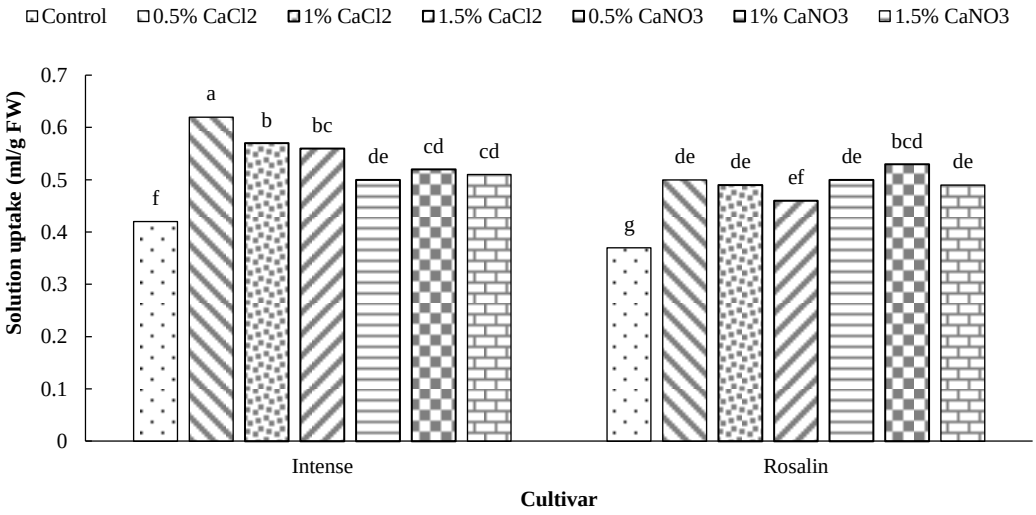
جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر، رقم، کلسیم و زمان اندازه‌گیری بر جذب محلول و وزن تر نسبی ژربرا

Table 3. Results of variance analysis of cultivar, calcium and measuring time on solution uptake and relative fresh weight of gerbera

Source of variation	df	MS	
		Solution uptake	Relative fresh weight
Time	4	0.410**	3781**
Cultivar	1	0.206**	917**
Treatments	6	0.123**	787**
Time× Cultivar	4	0.010ns	133ns
Time× Treatment	23	0.013**	93ns
Cultivar× Treatment	6	0.024**	510**
Time× Cultivar× Treatment	22	0.002ns	33ns
Error	190	0.005	69
CV (%)	-	14.31	8.10

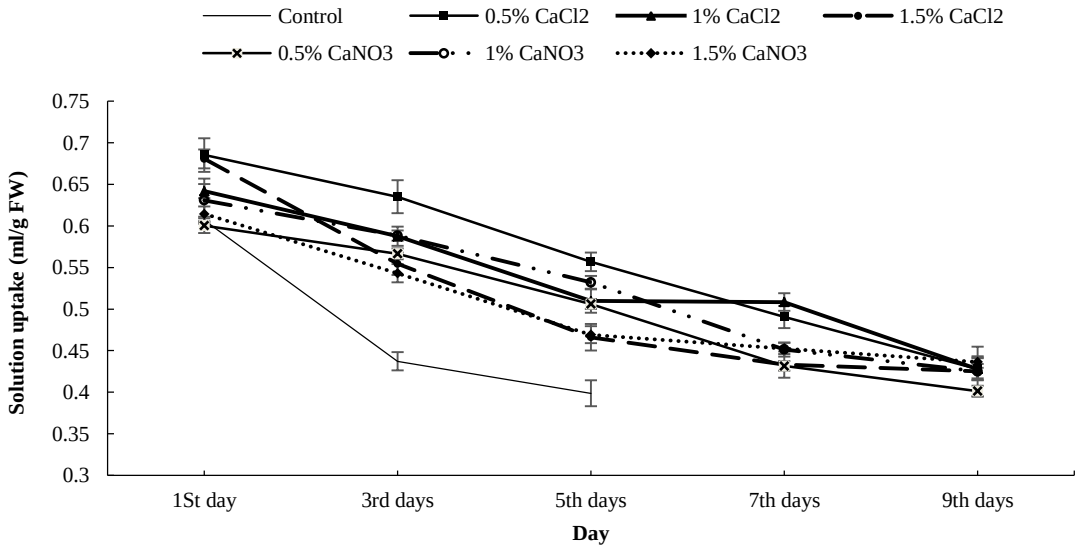
*، ** و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و بدون تفاوت معنی‌دار.

*, **, ns: Significant at 5 and 1% of probability levels and non-significant, respectively.



شکل ۱۰. مقایسه میانگین اثر متقابل کلسیم و رقم بر جذب محلول ژربرا

Figure 10. Mean comparison interaction effect of calcium and cultivar on solution uptake of gerbera



شکل ۱۱. اثر کلسیم بر جذب محلول در میانگین روزهای مختلف پس از برداشت در ژربرا

Figure 11. The effect of calcium on solution uptake in mean of different days after harvest in gerbera

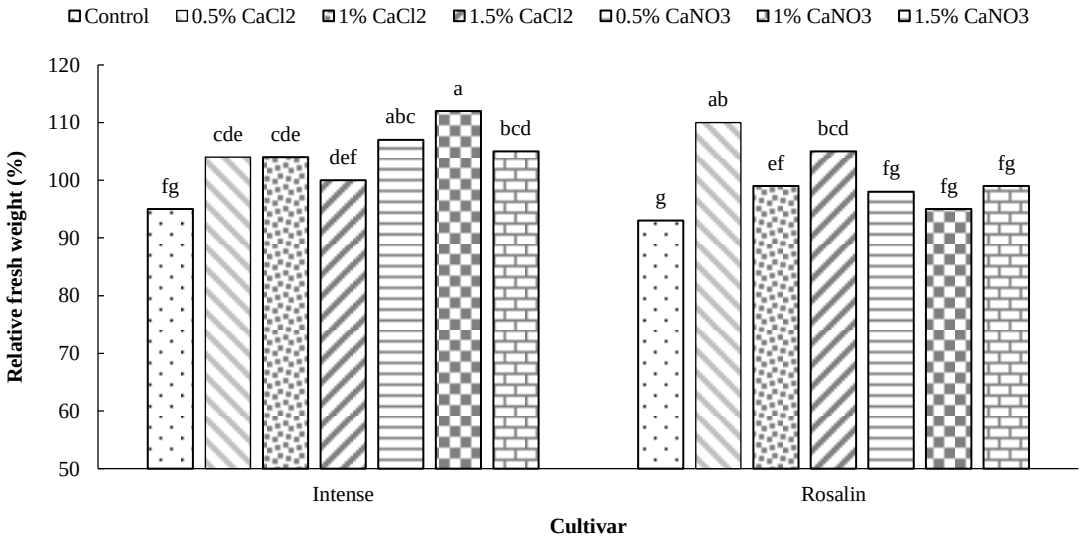
www.SID.ir

در رقم اینتنس همه تیمارها به‌غیراز تیمار ۱/۵ درصد کلرید کلسیم سبب افزایش وزن تر نسبی شدند که تأثیر تیمار ۱ درصد نیترات کلسیم بیشتر از تیمارهای دیگر بود. در رقم رزالین تنها تیمار کلرید کلسیم در هر سه غلظت سبب افزایش معنی‌دار این صفت شد که تأثیر غلظت ۰/۵ درصد آن بیشتر بود (شکل ۱۲). این نتایج با یافته‌های Cortes *et al.* (2011) مطابقت دارد که گزارش کردند تیمار کلسیم سبب افزایش وزن تر نسبی گل‌های شاخه‌بریده می‌شود. همچنین گزارش‌شده است که باگذشت زمان نگهداری، کاهش وزن تر و جذب محلول و افزایش پژمردگی گل رخ می‌دهد که این کاهش وزن گل عمدتاً به دلیل از دست دادن آب توسط اندام‌های مختلف گل است (Boroch & Woodman, 1989; Urban *et al.*, 2002).

در نتیجه، حفظ جذب مناسب آب در گل‌های شاخه‌بریده از موضوعات بنیادی برای افزایش ماندگاری این محصولات می‌باشد (Urban *et al.*, 2002). زمانی که میزان تعرق از میزان جذب بیشتر باشد، کمبود آب روی‌داده و پژمردگی و کاهش وزن گل را سبب می‌شود (Van Meeteren, 1978). در تحقیق حاضر تیمار کلسیم تأثیر معنی‌دار در افزایش جذب آب در گل شاخه‌بریده ژربرا داشت که می‌تواند ناشی از کاهش انسداد ساقه به دلیل افزایش آنزیم‌های درگیر در بیوسنتز لیگنین باشد.

همبستگی بین صفات

نتایج همبستگی نشان داد که ماندگاری گل بریدنی ژربرا به عنوان مهمترین صفت پس از برداشت رابطه مثبت و معنی‌داری با مالون‌دی‌آلدهید (۰/۷۴)، آنتوسیانین (۰/۷۰)، پروتئین (۰/۹۶)، فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۷۴)، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (۰/۷۶)، محتوای کلسیم (۰/۴۵)، جذب محلول (۰/۸۲) و وزن تر نسبی (۰/۷۲) داشت (جدول ۴). همچنین ماندگاری گل رابطه منفی و معنی‌داری با نشت یونی (۰/۹۰) و مالون‌دی‌آلدهید (۰/۷۷) داشت. این نتایج نشان می‌دهد که همه صفات مورد ارزیابی در این تحقیق به نحوی بر ماندگاری گل تاثیر دارند که به توضیح آنها پرداخته شد. همچنین نتایج نشان داد که جذب محلول همبستگی مثبت و بالایی با فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۷۱) و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (۰/۵۹) داشت. با توجه به این همبستگی می‌توان نتیجه گرفت که افزایش فعالیت این آنزیم‌ها که در مسیر بیوسنتز لیگنین قرار دارند سبب افزایش لیگنین ساقه و در نتیجه استحکام آن شده و از این طریق حفظ جذب محلول و وزن تر نسبی گل را سبب می‌شوند.



شکل ۱۲. مقایسه میانگین اثر متقابل کلسیم و رقم بر وزن تر نسبی ژربرا

Figure 12. Mean comparison interaction effect of calcium and cultivar on relative fresh of gerbera

www.SID.ir

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در دو رقم ژربرا

Table 4. Correlation coefficients between studied traits in two cultivars of gerbera

Variables	Vase life	Electrolyte leakage	MDA	Anthocyanin	Protein	POD activity	PAL activity	Calcium content	Solution uptake	Relative fresh weight
Vase life	1									
Electrolyte leakage	-0.90**	1								
Malondialdehyde	-0.77**	0.75*	1							
Anthocyanin	0.70**	-0.52*	-0.58**	1						
Protein	0.96**	-0.90**	-0.72**	0.74**	1					
POD activity	0.74**	-0.62*	-0.74**	0.87**	0.70**	1				
PAL activity	0.76**	-0.68**	-0.67**	0.80**	0.77**	0.89**	1			
Calcium content	0.45*	-0.65*	-0.28ns	0.02ns	0.51*	0.09ns	0.26ns	1		
Solution uptake	0.82**	-0.73**	-0.71**	0.55*	0.70**	0.71**	0.59*	0.42ns	1	
Relative fresh weight	0.72**	-0.71**	-0.59*	0.47ns	0.69**	0.55*	0.64*	0.17ns	0.42ns	1

*، ** و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و بدون تفاوت معنی‌دار.

*, **, ns: Significant at 5 and 1% of probability levels and non-significant, respectively.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد کاربرد کلسیم از منابع مختلف کلرید کلسیم و نیترات کلسیم سبب افزایش ماندگاری حدود ۵ روز بیشتر نسبت به شاهد و افزایش شاخص‌های کیفی گل ژربرا شد، ولی تأثیر آن‌ها بر دو رقم مختلف یکسان نبود. در اکثر صفات تأثیر کلرید کلسیم بهتر از نیترات کلسیم بود و غلظت ۱ درصد آن اثر بهتری نسبت به غلظت‌های دیگر داشت. همچنین نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و فنیل آلانین آمونیالیاز با تیمارهای کلسیم افزایش یافت که سبب حفظ وزن تر نسبی و جذب محلول در دوره پس از برداشت گردید.

REFERENCES

1. Abdolmaleki, M., Khosh-Khui, M., Eshghi, S. & Ramezanian, A. (2015). Improvement in vase life of cut rose cv. “Dolce Vita” by preharvest foliar application of calcium chloride and salicylic acid. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 2(1), 55-66.
2. Borochov, A. & Woodson, W. R. (1989). Physiology and biochemistry of flower petal senescence. *Horticultural Reviews*, 11, 15-43.
3. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1-2), 248-254.
4. Çelikel, F. G. & Reid, M. S. (2002). Storage temperature affects the quality of cut flowers from the Asteraceae. *Horticultuural Science*, 37(1), 148-150.
5. Cortes, H., Arriaga, F., González, M., Mandujano, P., Cruz, G. & Gracian, S. (2011). The effects of calcium on postharvest water status and vase life of *Rosa hybrida* cv. Grand Gala. *International Journal of Agriculture and Biology*, 13(2), 233-238.
6. De Capdeville, G., Maffia, L. A., Finger, F. L. & Batista, U. G. (2005). Pre-harvest calcium sulfate applications affect vase life and severity of gray mold in cut roses. *Scientia Horticulturae*, 103(3), 329-338.
7. Ferguson, I. B. & Drobak, B. K. (1988). Calcium and the regulation of plant growth and senescence. *Horticultural Science*, 23, 262-266.
8. Ferrante, A., Alberici, A., Antonacci, S. & Serra, G. (2007). Effect of promoter and inhibitors of phenylalanine ammonia-lyase enzyme on stem bending of cut gerbera flowers. *International Conference on Quality Management in Supply Chains of Ornamentals. Bangkok*, Thailand. pp. 471-476.
9. Gerasopoulos, D. & Chebli, B. (1999). Effects of pre-and postharvest calcium applications on the vase life of cut gerberas. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(1), 78-81.
10. Geshnizjany, N., Ramezanian, A. & Khosh-Khui, M. (2014). Postharvest life of cut gerbera (*Gerbera jamesonii*) as affected by nano-silver particles and calcium chloride. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 1(2), 171-180.
11. Giusti, M. M. & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1, 1-2.
12. Guosheng, L., Dejuan, T., Fadi, C., Ya, S., Weimin F., Zhiyong, G., Zhaolei, L. & Sumei, C. (2011). The anatomy and physiology of spray cut chrysanthemum pedicels, and expression of a caffeic acid 3-O-methyltransferase homologue. *Postharvest Biology and Technology*, 60, 244-250.
13. Hassanpour Asil. M., Mortazavi, S., Hatamzadeh, A. & Ghasemnezhad, M. (2012). Effects of gibberellic acid and calcium on reducing growth period of iris (*Iris holandica* var. Blue Magic) in greenhouse and extension of its cut flower life. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 3 (1), 63-72. (in Farsi)

www.SID.ir

14. Heath, R.L. & Packer, L. (1978). Photo peroxidation in isolated chloroplast. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archive of Biochemistry Biophysics*, 125, 189-198.
15. Hegazi, M. A. (2016). Evaluation of pre-or postharvest application of some minerals and organic agents on the growth, flowering and vase life of *Rudbeckia hirta* L. *Journal of Agricultural Science*, 8(9), 226.
16. Hepler, P. K. (2005). Calcium: a central regulator of plant growth and development. *The Plant Cell*, 17(8), 2142-2155.
17. Iqbal, N., Khan, N. A., Ferrante, A., Trivellini, A., Francini, A. & Khan, M. I. R. (2017). Ethylene role in plant growth, development and senescence: *Interaction with other phytohormones. Frontiers in Plant Science*, 8, 475-483.
18. Kalateh Jari, S., Khalighi, A., Moradi, F. & Fatahi Moghadam, M. J. (2007). The effects of calcium chloride and calcium nitrate on quality and vase life of rose flowers cv. Red gant. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 9(3), 163-176. (in Farsi)
19. Khangoli, S. (2001). Potential of growth regulators on control of size and flowering of ornamental plants. *First Applied Science Seminar on Flowering and Ornamental Plants.* Mahallat, Iran. pp. 75-76. (In Farsi)
20. Li, C., Tao, J., Zhao, D., You, C. & Ge, J. (2012). Effect of calcium sprays on mechanical strength and cell wall fractions of herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) inflorescence stems. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(4), 4704-4713.
21. Li, Z., Gemma, H. & Iwahori, S. (2002). Stimulation of 'Fuji'apple skin color by ethephon and phosphorus–calcium mixed compounds in relation to flavonoid synthesis. *Scientia Horticulturae,* 94(1-2), 193-199.
22. Malakooti, M. J. (2001). *Why calcium spray in fruit trees should be common*. Ministry of Agriculture, Horticulture Section, 273-283. (In Farsi)
23. Mehran, A., Hossein, D. G. & Tehranifar, A. (2007). Effects of pre-harvest calcium fertilization on vase life of rose cut flowers cv. Alexander. *Europe-Asia Symposium on Quality Management in Postharvest Systems-Eurasia*, 804, 215-218.
24. Naing, A. H., Lee, K. & Kim, C. K. (2017). Involvement of sodium nitroprusside (SNP) in the mechanism that delays stem bending of different gerbera cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2045-2057.
25. Nair, S.A., Singh, V. & Sharma, T.V. (2003). Effect of chemical preservatives on enhancing vase-life of gerbera flowers. *Journal of Tropical Agriculture*, 41, 56-58.
26. Nazarideljou, M. J. & Azizi, M. (2015). Postharvest assessment of lignifying enzymes activity, flower stem lignification and bending disorder of gerbera cut flower. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 2(1), 87-95.
27. Perik, R. R., Razé, D., Ferrante, A. & van Doorn, W. G. (2014). Stem bending in cut *Gerbera jamesonii* flowers: Effects of a pulse treatment with sucrose and calcium ions. *Postharvest Biology and Technology*, 98, 7-13.
28. Perik, R. R., Razé, D., Harkema, H., Zhong, Y. & van Doorn, W. G. (2012). Bending in cut *Gerbera jamesonii* flowers relates to adverse water relations and lack of stem sclerenchyma development, not to expansion of the stem central cavity or stem elongation. *Postharvest Biology and Technology*, 74, 11-18.
29. Poovaiah, B. W. & Leopold, A. C. (1973). Deferred of leaf senescence with calcium. *Plant Physiology*, 52(3), 236-239.
30. Plewa, M. J., Smith, S. R., & Wagner, E. D. (1991). Diethyldithiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. *Mutation research/fundamental and molecular mechanisms of mutagenesis*, 247(1), 57-64.
31. Radmehr, A. (2010). *Results of sampling survey of garden products*. Ministry of Agriculture, Planning and Economic Affairs Department, Office of Statistics and Information Technology, Tehran, Iran. (in Farsi)
32. Sairam, R. K., Vasanthan, B. & Arora, A. (2011). Calcium regulates gladiolus flower senescence by influencing antioxidative enzymes activity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(5), 1897-1904.
33. Torre, S., Borochov, A. & Halevy, A. H. (1999). Calcium regulation of senescence in rose petals. *Physiologia Plantarum*, 107(2), 214-219.
34. Urban, L., Six, S., Barthélémy, L. & Bearez, P. (2002). Effect of elevated CO_2 on leaf water relations, water balance and senescence of cut roses. *Journal of Plant Physiology*, 159(7), 717-723.
35. Van Ieperen, W. & van Gelder, A. (2006). Ion-mediated flow changes suppressed by minimal calcium presence in xylem sap in *Chrysanthemum* and *Prunus laurocerasus*. *Journal of Experimental Botany*, 57(11), 2743-2750.
36. Van Meeteren, U. (1978). Water relations and keeping-quality of cut gerbera flowers. The cause of stem break. *Scientia Horticulturae*, 8(1), 65-74.
37. Vanholme, R., Demedts, B., Morreel, K., Ralph, J. & Boerjan, W. (2010). Lignin biosynthesis and structure. *Plant Physiology*, 153(3), 895-905.

www.SID.ir