J. Soil and Plant Interactions, Vol. 15, No. 3, Fall 2024, pp. 89-107. **Research Article**

https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 https://doi.org/10.47176/jspi.15.3.21461

Comparing The Effect of Calcium Nitrate and Calcium Amino Chelate (Lysine) Foliar Application on Nutritional Status, Vegetative and Reproductive Characteristics, and Postharvest Longevity of 'Jumilia' Rose Cultivar

S. Khosravi[1], A. Tehranifar[*1], Y. Selahvarzi[1], A.H. Khoshgoftarmanesh[2] and L. Cheheltanan[1]

(Received: 11 August 2024; Accepted: 30 September 2024)

Abstract

Calcium plays a crucial role in improving the growth and quality of cut flowers, and selecting the appropriate calcium source can significantly benefit rose producers. This study aimed to evaluate the effects of foliar application of calcium nitrate, calcium amino chelate, and control (distilled water) on the growth, morphological traits, nutrient concentrations, and vase life of the rose cultivar 'Jumilia.' The research was conducted in the ornamental research greenhouse at Ferdowsi University of Mashhad in a completely randomized design with four replications, each containing six plants, over a period of six months from early August 2022 to early February 2023. The results showed that foliar application of calcium nitrate significantly improved the growth traits of roses, increasing stem length, stem diameter, fresh stem weight, flower diameter, and flower count by 38.26, 29.87, 37.47, 19.38, and 12.20%, respectively. Additionally, calcium nitrate application increased chlorophyll a, b, and total chlorophyll content by 20.96, 65.77, and 37.53%, respectively, resulting in a 23.32% increase in photosynthesis rate. The highest carotenoid content and root volume were obtained due to the application of amino calcium chelate. The findings also indicated that calcium nitrate was effective in supplying calcium to the petals, leading to a 13.62% increase in membrane stability index and a 4.1-day extension in vase life compared to the control treatment. Amino calcium chelate played a key role in delaying weight loss and providing calcium and nitrogen to the roots, as well as phosphorus and potassium to the leaves. Meanwhile, the highest nitrogen concentration in leaves, as well as phosphorus and potassium concentrations in roots, were achieved with calcium nitrate application. Based on the results, weekly foliar application of calcium at a concentration of 160 mg/L, especially from calcium nitrate, is recommended to supply the calcium requirements of roses and improve their growth traits and vase life.

Keywords: Growth, Membrane stability index, Nutrients, Photosynthesis, Vase life.

Background and Objective: The rose is one of the most popular cut flowers (Mileva et al., 2021). Calcium

1- Department of Horticultural Science and Landscape, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2- Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
* Corresponding author, Email: tehranifar@um.ac.ir

plays a significant role in enhancing its performance and quality (Haghighi et al., 2023; Abdolmaleki et al., 2015). Despite the evaluation of several calcium sources for improving the quality of ornamental plants, there has been limited research on the best calcium source for roses. This study aims to compare the effects of foliar application of calcium nitrate and amino chelated calcium on calcium supply and the improvementof quantitative and qualitative traits of roses.

Methods: This research was conducted in the ornamental research greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad on the Jumilia rose cultivar, using a completely randomized design with four replications and six observations. The treatments included foliar application of distilled water (control), calcium nitrate, and amino chelated calcium synthesized with lysine amino acid. Traits evaluated included stem length, stem diameter, stem fresh weight, flower diameter, number of flowers, root volume, chlorophyll a, b, total chlorophyll, carotenoids, membrane stability index, weight loss percentage, vase life, and concentrations of calcium, nitrogen, potassium, and phosphorus in the roots and leaves, as well as calcium concentration in the petals.

Results: The results indicate that calcium nitrate led to increases in stem length (38.26%), stem diameter (29.87%), stem fresh weight (37.47%), flower diameter (19.38%), and number of flowers (12.20%). Additionally, calcium nitrate increased chlorophyll a, b, and total chlorophyll by 20.96, 65.77, and 37.53%, respectively, resulting in a 23.32% increase in the photosynthesis rate. The highest levels of carotenoids and root volume were achieved with amino chelated calcium. Calcium nitrate was highly effective in supplying calcium to the petals, increasing the membrane stability index (13.62%), and extending vase life (by 4.1 days). Amino chelated calcium also delayed weight loss and was effective in supplying calcium and nitrogen to the roots and phosphorus and potassium to the leaves, while the highest concentrations of leaf nitrogen, root phosphorus, and root potassium were achieved with calcium nitrate.

Conclusions: Foliar application of calcium, particularly from the source of calcium nitrate, is recommended to meet the calcium needs of roses and to improve growth characteristics and vase life.

References:

1. Abdolmaleki, M., Khosh, K.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. Int. J. Hortic. Sci. Technol. 2 (1), 55–66.
2. Haghighi, M., Khosravi, S., Sehar, S., Shamsi, I.H., 2023. Foliar-sprayed calcium-tryptophan mediated improvement in physio-biochemical attributes and nutritional profile of salt stressed *Brassica oleracea* var. italica. Sci. Hortic. 307, 111529. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111529.
3. Mileva, M., Ilieva, Y., Jovtchev, G., Gateva, S., Zaharieva, M.M., Georgieva, A., Vilhelmova-Ilieva, N., 2021. Rose flowers—A delicate perfume or a natural healer? Biomolecules, 11(1), 127. https://doi.org/10.3390/biom11010127.

روابط خاک و گیاه/ سال پانزدهم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۳ / صفحات ۱۰۷-۸۹ مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.47176/jspi.15.3.21461 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

مقایسه اثر محلول‌پاشی نیترات کلسیم و آمینوکلات کلسیم (لایزین) بر وضعیت تغذیه‌ای و صفات رویشی و زایشی و عمر گلجایی رز رقم جومیلیا

سعید خسروی[۱]، علی تهرانی‌فر[۱*]، یحیی سلاح‌ورزی[۱]، امیرحسین خوش‌گفتارمنش[۲] و لیلا چهل‌تنان[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۹)

چکیده

کلسیم برای بهبود رشد و کیفیت گل‌های شاخه بریده مهم است و انتخاب منبع مناسب کلسیم می‌تواند به تولیدکنندگان گل رز کمک شایانی کند. این پژوهش با هدف بررسی آثار محلول‌پاشی نیترات کلسیم، آمینو کلات کلسیم و شاهد (آب مقطر) بر رشد، صفات مورفولوژیک، غلظت عناصر غذایی و عمر گلجایی رز رقم جومیلیا انجام شد. این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی گیاهان زینتی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و هر تکرار شامل شش بوته و به مدت شش ماه از اول مردادماه ۱۴۰۱ تا اول بهمن‌ماه ۱۴۰۱ اجرا شد. نتایج نشان داد محلول‌پاشی نیترات کلسیم نقش مؤثری در بهبود صفات رشدی گل رز دارد به‌طوری‌که طول ساقه، قطر ساقه، وزن تازه ساقه، قطر گل و تعداد گل را به‌ترتیب ۳۸/۲۶، ۲۹/۸۷، ۳۷/۴۷، ۱۹/۳۸ و ۱۲/۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین کاربرد نیترات کلسیم با افزایش به‌ترتیب ۲۰/۹۶، ۶۵/۷۷ و ۳۷/۵۳ درصدی کلروفیل a، b و کل سبب افزایش ۲۳/۳۲ درصدی نرخ فتوسنتز شد. بیش‌ترین میزان کارتنوئید و حجم ریشه در تیمار محلول‌پاشی آمینو کلات کلسیم به‌دست آمد. نتایج بیانگر اثربخشی نیترات کلسیم در تأمین کلسیم گلبرگ و در نتیجه افزایش ۱۳/۶۲ درصدی شاخص پایداری غشا و افزایش ۴/۱ روز عمر گلجایی نسبت به شاهد بود. آمینو کلات کلسیم نقش مهمی در به تعویق انداختن کاهش وزن و تأمین کلسیم و نیتروژن ریشه، فسفر و پتاسیم برگ داشت. درحالی‌که بیش‌ترین غلظت نیتروژن برگ، و فسفر و پتاسیم ریشه در اثر محلول‌پاشی نیترات کلسیم به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، محلول‌پاشی هر هفته کلسیم با غلظت ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ویژه از منبع نیترات کلسیم برای تأمین کلسیم مورد نیاز گل رز و بهبود ویژگی‌های رشدی و عمر گلجایی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رشد، شاخص پایداری غشا، عمر گلجای، عناصر غذایی، فتوسنتز.

مقدمه

گل رز (*Rosa hybrida* L.) از محبوب‌ترین گیاهان زینتی در سراسر جهان است که به‌طور گسترده‌ای برای مصارف مختلفی می‌شود. گل رز همواره ارزش نمادین و اهمیت فرهنگی زیادی

۱- گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: tehranifar@um.ac.ir

در جوامع مختلف داشته است (Bendahmane et al., 2013). به دلیل زیبایی، عطر و طولانی بودن دوره گل‌دهی، گل رز در میان از جمله زیباسازی باغ و به‌صورت گل شاخه بریده استفاده گل‌های شاخه‌بریده بسیار محبوب است (Mileva et al., 2021).

افزایش عملکرد و کیفیت گل رز از اهداف اصلی تولیدکنندگان این گل است. در میان تمام عناصر پرمصرف موجود در محلول‌های غذایی، کلسیم نقش مهمی در بهبود رشد (Aghdam et al., 2019)، و حفظ کیفیت گل‌های شاخه بریده ایفا می‌کند (Abdolmaleki et al., 2015). کلسیم ماده‌ای معدنی است که برای رشد و نمو گیاه مورد نیاز است (Weng et al., 2022; Haghighi et al., 2023). کلسیم با افزایش سطح برگ، نرخ فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای، کیفیت و عملکرد محصول را بهبود می‌بخشد (Nayyar and Kaushal, 2002). همچنین، یون کلسیم به دلیل برهمکنش با گروه‌های کربوکسیل آزاد اسیدهای گالاکترونیک در تیغه میانی و پکتین، دیواره‌های سلولی را مستحکم‌تر کرده و بهتر می‌تواند از تخریب ناشی از آنزیم‌ها جلوگیری کند (White and Broadley, 2003). Torre et al. (1999) اظهار داشتند که افزودن کلسیم، طول عمر و اندازه گل‌های رز را افزایش می‌دهد. در پژوهش دیگری، افزایش غلظت کلسیم در محلول از ۰/۵ به ۵/۰ میلی‌مول بر لیتر با افزایش غلظت کلسیم در اندام‌های گل رز سبب کاهش حساسیت به قارچ کپک خاکستری (*Botrytis cinerea*) و در نتیجه بهبود کیفیت گل شد (Bar-Tal et al., 2001). افزایش رشد، جذب مواد مغذی و کارایی فتوسنتزی را در صنوبر در اثر کاربرد کلسیم گزارش کردند (Wang et al., 2022).

با این‌حال، کلسیم به‌عنوان یک عنصر غیرمتحرک در نظر گرفته می‌شود و گیاهان برای رشد قوی برگ و ریشه نیاز به تأمین دائمی کلسیم دارند (Amor and Marcelis, 2003). در شرایط کمبود یک عنصر غذایی خاص، رشد و نمو گیاهان بهبود نمی‌یابد، حتی اگر سایر عناصر غذایی به مقدار کافی فراهم شوند (Niu et al., 2021). کلسیم برای حفظ کیفیت گل‌های بریدنی ضروری است و کمبود آن باعث کاهش کیفیت محصول می‌شود. با این‌حال، در سیستم‌های کشاورزی، برای مقابله با کمبود کلسیم راهبردهای مختلفی استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال کاربرد کودهای کلسیمی به‌صورت محلول‌پاشی، به‌طور مؤثر غلظت کلسیم را در گلبرگ‌های گل افزایش می‌دهند، درحالی‌که کوددهی ریشه نمی‌توانند کلسیم کافی را به این بافت‌های کم‌تعرق برسانند (Bennett et al., 2020). البته نتایج مربوط به کارایی محلول‌پاشی کلسیم بحث برانگیز است زیرا کارایی آن به منبع کلسیم، غلظت مصرفی و گیاه مورد بررسی بستگی دارد (Youssef et al., 2017). از این رو منابع مختلفی برای تأمین کلسیم به‌صورت محلول‌پاشی عرضه شده است؛ بنابراین تعیین مناسب‌ترین منبع برای افزایش عملکرد و کیفیت گل رز ضروری است. به‌عنوان مثال محلول‌پاشی کلرید کلسیم بر روی گل رز کارآمدتر از کلات کلسیم و اکسید کلسیم بود (Almeida et al., 2016). Bennett et al. (2020) اثر شش منبع کلسیم شامل کلرید کلسیم آزمایشگاهی، کلرید کلسیم صنعتی، نیترات کلسیم، کلات اسید اتیلن دی‌آمین تتراستیک کلسیم، کلات اسید آمینه کلسیم و سیلیکات کلسیم را برای کنترل *Botrytis cinerea* بر روی گل‌های اطلسی ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد کلرید کلسیم مؤثرترین منبع کلسیم برای کاهش آلودگی بوتریتیس است. کلسیم معمولاً به‌صورت نیترات کلسیم و سیلیکات کلسیم پیش از برداشت محلول‌پاشی می‌شود که اثر مثبت آن‌ها بر بهبود ارتفاع، عملکرد گیاهان (Seifu and Deneke, 2017)، کاهش تولید اتیلن و افزایش عمر پس از برداشت گزارش شده است (Coutinho et al., 2020). علاوه بر این یکی از اشکالی که امروزه برای تأمین عناصر غذایی در گیاهان استفاده می‌شود کلات‌های فلزی است.

در دهه‌های گذشته، کلات‌های مختلفی برای کاربرد در کشاورزی توسعه یافته‌اند. در این بین آمینوکلات‌ها، به‌عنوان فرمول‌های جدید کودها، اشکال طبیعی‌تر و ایمن‌تری از عوامل کلات‌کننده با کارایی زیاد و بدون عوارض جانبی زیست‌محیطی ارائه می‌دهند (Souri, 2016; Souri and Hatamian, 2019). اسیدهای آمینه، جذب مواد مغذی مانند کلسیم و کاتیون‌های

فلزی توسط ریشه را بهبود می‌بخشند (Souri, 2016). اگرچه تاکنون چندین منبع کلسیم برای بهبود کیفیت محصولات زینتی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، اما پژوهش‌های کم‌تری برای بررسی این‌که کدام منبع کلسیم برای گل رز بهترین عملکرد را دارد انجام شده است.

به دلیل کمبود دانسته‌ها در این زمینه، این پژوهش با هدف مقایسه تأثیر اشکال مختلف کلسیم در تأمین کلسیم و بهبود ویژگی‌های کمّی و کیفی گل رز انجام شده است. همچنین، انتظار می‌رود که محلول‌پاشی کلسیم نسبت به کوددهی کلسیم بهتر عمل می‌کند، این عامل نیز در پژوهش حاضر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین هدف این پژوهش بررسی تأثیر محلول‌پاشی نیترات کلسیم و آمینو کلات کلسیم بر رشد، کیفیت و عمر گلجایی رز شاخه‌بریده رقم جومیلیا است تا منبع بهینه کلسیم برای بهبود عملکرد و افزایش ماندگاری رز تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی گیاهان زینتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. این گلخانه در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۰۳۶ متری از سطح دریا قرار دارد. میانگین دمای گلخانه در روز و شب به‌ترتیب ۲±۲۵ و ۲±۱۶ درجه سلسیوس بود. همچنین میانگین رطوبت نسبی هوا ۶۵ درصد و میانگین شدت نور طبیعی در طول روز ۵±۲۴۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه اندازه‌گیری شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و هر تکرار شامل شش بوته اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل محلول‌پاشی با سه منبع کلسیم شامل ۱) شاهد (بدون کلسیم)، ۲) نیترات کلسیم $Ca(NO_3)_2$، و ۳) آمینوکلات کلسیم سنتزشده با اسیدآمینه لایزین ($Ca(Lys)_2$) بود. کود نیترات کلسیم از شرکت تحقیقی و تولیدی گروه امامی با نام محصول pear green و آمینوکلات کلسیم سنتزشده با اسیدآمینه لایزین از شرکت دانش‌بنیان زیست‌فناوران نوین قم تهیه شد. کلسیم کلات‌شده با لایزین به شکل مایع و کاملاً محلول در آب است که جذب سریعی توسط گیاهان دارد. میزان کلسیم آن ۱۵ درصد بوده که برای محلول‌های کوددهی مناسب است. لایزین نیز به‌عنوان یک اسید آمینه به بهبود جذب و انتقال کلسیم کمک می‌کند. گل رز تازه پیوندشده رقم جومیلیا[1] (پایه نسترن ناتال برایار[2] و پیوندک گل رز رقم جومیلیا) به دلیل زیبایی، لطافت، و ماندگاری زیاد بسیار محبوب است. گلبرگ‌های این رقم به رنگ سفید با لبه‌های صورتی ظریف بوده و به آن جلوه‌ای زیبا و خاص می‌بخشد که به دلیل ماندگاری طولانی نیز مورد توجه قرار می‌گیرد و برای تولیدکنندگان گل‌های شاخه‌بریده ارزشمند است. این بوته‌ها از گلخانه محمدنیا واقع در استان اصفهان تهیه شده و در بستر هیدروپونیک ۱۰۰٪ پرلیت (اندازه ذرات ۵-۳ میلی‌متر) کشت شدند. محلول غذایی پایه (محلول هوگلند اصلاح‌شده با غلظت ۵۰٪) بر اساس (جدول ۱) تهیه شد (Hothem et al., 2018)، و به مدت ۳۰ روز برای اطمینان از استقرار اولیه، رشد یکنواخت و عدم تجمع عناصر غذایی در بستر کشت گیاهان استفاده شد. پس از ۳۰ روز و تا پایان آزمایش، گیاهان با محلول غذایی هوگلند کامل کوددهی شدند. کلسیم با غلظت ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر، از منابع کودی نیترات کلسیم و آمینو کلات کلسیم به‌صورت هفتگی روی بوته‌های گل رز محلول‌پاشی می‌شدند. همچنین، شستشوی بستر به‌صورت هفتگی با آب شهری برای جلوگیری از انباشت نمک انجام می‌شد. سیستم آبیاری به‌صورت قطره‌ای بود و با توجه به فصول مختلف سال، روزانه هشت بار بین ۲ تا ۴ دقیقه با قطره‌چکان‌ها و با دبی ۴۰ میلی‌لیتر در دقیقه، آبیاری می‌شدند که در تابستان و زمستان به‌ترتیب به‌ازای هر بوته ۱۲۰۰ و ۶۰۰ میلی‌لیتر در روز کود-آبیاری صورت می‌گرفت.

پیش از برداشت گل، اندازه‌گیری نرخ فتوسنتز و رنگدانه‌های فتوسنتزی انجام شد و همچنین برگ و گلبرگ برای تعیین غلظت عناصر پرمصرف از گیاه جدا شدند و این مرحله

1. Jumilia
2. Natal Briar

جدول ۱. برنامه غذایی مورد استفاده، تهیه‌شده بر اساس فرمولاسیون هوگلند.

Table 1. The nutritional program used, prepared according to the Hoagland formulation.

	Compound ترکیب کودی	Concentration of stock solution ($g\ L^{-1}$) غلظت محلول استوک (گرم در لیتر)	Volume of stock solution per liter of final solution (mL) حجم محلول موجود در هر لیتر محلول نهایی (میلی‌لیتر)	Element عنصر	Final concentration of element (ppm) غلظت نهایی عنصر (میلی‌گرم در لیتر)
Macro Nutrients عناصر پرمصرف				N نیتروژن	224
	KNO_3 نیترات پتاسیم	101.10	6	K پتاسیم	235
	$Ca(NO_3)_2$-$4H_2O$ نیترات کلسیم چهار آبه	236.16	4	Ca کلسیم	160
	$NH_4H_2PO_4$ آمونیوم دی‌هیدروژن فسفات	115.08	2	P فسفر	62
	$MgSO_4$-$7H_2O$ سولفات منیزیوم هفت آبه	246.49	1	S گوگرد	32
				Mg منیزیوم	24
Micro Nutrients عناصر کم‌مصرف	KCl کلرید پتاسیم	1.864	2	Cl کلر	1.77
	H_3BO_3 اسید بوریک	0.773	2	B بور	0.27
	$MnSO_4$-H_2O سولفات منگنز یک آبه	0.169	2	Mn منگنز	0.11
	$ZnSO_4$-$7H_2O$ سولفات روی هفت آبه	0.288	2	Zn روی	0.13
	$CuSO_4$-$5H_2O$ سولفات مس پنج آبه	0.062	2	Cu مس	0.03
	H_2MoO_4(85%MoO_3) اسید مولیبدیک	0.040	2	Mo مولیبدن	0.05
	NaFeDTPA(10%Fe) (۱۰٪آهن)آهن کلاته	30.0	0.3-1	Fe آهن	1-3

شکل ۱. زمان شکوفایی گل رز و زمان مناسب برای برداشت گل

Fig. 1. Flowering time of rose and optimal harvest time.

(شکل ۱)، پس از شکوفایی گل‌ها، در زمانی که کاسبرگ‌ها به‌سمت گرفته (Banijamali et al., 2018) و شاخص‌های رشدی اندازه‌گیری شد. بررسی این صفات به مدت ۶ ماه از اول مردادماه ۱۴۰۱ تا اول بهمن‌ماه ۱۴۰۱ انجام گرفت و میانگین پایین خم شده و گل به شکل استوانه‌ای تغییر می‌یافت، انجام آن‌ها محاسبه شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های رشدی

صفات قطر گل و قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتال و طول ساقه با استفاده از خط‌کش بلافاصله پس از برداشت اندازه‌گیری شدند. تعداد شاخه گل به‌صورت مشاهده‌ای یادداشت شده و وزن شاخه تازه برداشت‌شده به کمک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم ثبت شد. حجم ریشه با استفاده از روش جابجایی سیال (Rose et al., 1991) اندازه‌گیری شد بدین صورت که ریشه بوته‌ها در یک ظرف مدرج آب غوطه‌ور شده و حجم آب جابجاشده (برابر با حجم ریشه) تعیین شد.

رنگدانه‌های فتوسنتزی

برای سنجش میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید از روش Lichtenthaler (1987) استفاده شد. بدین ترتیب که از نمونه‌های برگی که در دوره گل‌دهی تهیه شده بود، ۰/۱ گرم توزین کرده و با ۴ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد سائیده شد. سپس محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰ سانتریفیوژ شد و سپس جذب نوری محلول رویی برای تعیین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید به‌ترتیب در طول موج‌های ۶۴۷، ۶۶۴ و ۴۷۰ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر قرائت شده و با فرمول‌های زیر برحسب میلی‌گرم در گرم بافت تازه برگ محاسبه شد:

(کلروفیل آ) Chl a=12.25A664-2.79A647 (۱)

(کلروفیل ب) Chl b=21.21A647- 5.1A664 (۲)

(کلروفیل کل) Chl T= Chla+Chlb (۳)

(کارتنوئید) Carotenoid =

1000A470-1.8chla-85.02chlb/198 (۴)

در این روابط، A647، A664 و A470 به‌ترتیب میزان جذب نوری در طول موج‌های ۶۴۷، ۶۶۴ و ۴۷۰ نانومتر است.

نرخ فتوسنتز

شاخص‌های فتوسنتزی، از جمله نرخ فتوسنتزی ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)، توسط دستگاه فتوسنتزمتر تبادل‌کننده گاز قابل حمل واسنجی‌شده با مادون قرمز (Li-Cor, Li-3000, USA) بین ساعت ۱۱ تا ۱۳ ظهر، یک نوبت برای هر بوته انجام شده و از سه برگ کاملاً توسعه‌یافته برای اندازه‌گیری استفاده شد.

عناصر غذایی پرمصرف

اندازه‌گیری غلظت کلسیم، پتاسیم و فسفر در برگ‌ها و ریشه‌ها و همچنین غلظت کلسیم گلبرگ با استفاده از دستگاه طیف‌سنج انتشار پلاسما-اپتیکال جفت القایی (ICP-OES) (مدل ۷۳۰-ES ساخت Varian، استرالیا) انجام شد.

نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و به‌طور جداگانه آسیاب شده و از الک ۴۰ مش (اندازه چشمه برابر ۴۲۵ میکرون) عبور داده شدند. سپس پودرها در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت خاکستر شدند. ۰/۱ گرم خاکستر در ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک ۲ مولار (HCl) حل شده و سپس با کاغذ صافی فیلتر شد. عصاره حاصله با استفاده از آب مقطر به حجم ۱۰۰

میلی‌لیتر رسانده شد. برای اندازه‌گیری نیتروژن کل در برگ‌ها و ریشه‌ها از روش MicroKjeldahl استفاده شد (Kacar, 1994).

عوامل تأثیرگذار بر کیفیت پس از برداشت گل

در طی دوره پس از برداشت صفات تعیین‌کننده کیفیت پس از برداشت شامل شاخص پایداری غشا، درصد تغییرات وزن و عمر گلجایی تعیین شد. بدین منظور، انتهای ساقه‌های گل‌های شاخه بریده به طول ۲ سانتی‌متر در زیر آب بریده شد و برگ‌ها از ۱۰ سانتی‌متر پایین ساقه جدا شدند و در ظروف حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر نگهداری شدند. تعویض آب مقطر نیز هر ۲ روز یک‌بار انجام می‌گرفت. ظروف در دمای ۲ ± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد و چرخه روشنایی/ تاریکی، ۸/۱۶ با استفاده از لامپ‌های فلورسنت با شدت نور ۲۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه نگهداری شد (Banijamali et al., 2018).

عمر گلجایی

عمر گلجایی به‌عنوان دوره بین برداشت و نقطه‌ای که در آن بیش از نیمی از گلبرگ‌ها و برگ‌های گل شاخه بریده زرد یا خشک شده و ساقه خم می‌شود (گردن خمیده، یعنی ساقه خم شده، و زاویه گل از موقعیت عمودی ساقه بیش‌تر از °۴۵ می‌شود) در نظر گرفته شد (Wei et al., 2021).

درصد تغییرات وزن تازه

برای اندازه‌گیری درصد تغییرات وزن تازه، وزن اولیه ساقه گل بلافاصله پس از برداشت و متعاقباً در روزهای ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ اندازه‌گیری شد و در نهایت درصد افزایش و کاهش وزن تازه گزارش شد (Torre et al., 1999).

شاخص پایداری غشا گلبرگ

شاخص پایداری غشا (MSI)[1]، با استفاده از دستگاه رسانایی‌سنج الکتریکی بر اساس روش Singh et al. (2008) اندازه‌گیری شد. نمونه‌های گلبرگ با وزن ۲۰۰ میلی‌گرم در ۱۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیرشده غوطه‌ور شده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب ۴۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس رسانایی الکتریکی محلول (EC_1) با استفاده از دستگاه رسانایی‌سنج اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در حمام آب ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفته و رسانایی الکتریکی دوم (EC_2) پس از سرد شدن محلول‌ها و رسیدن دمای محلول به دمای اتاق تعیین شد. در نهایت MSI با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$MSI\ (\%) = [1 - (EC_1 / EC_2)] \times 100 \qquad (۵)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver 9.4) و مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ و ترسیم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های رشدی

نتایج نشان داد با محلول‌پاشی $Ca(NO_3)_2$ طول ساقه ۳۸/۲۶ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (جدول ۲)، که نشان‌دهنده ضرورت حضور کلسیم برای افزایش طول سلول و تقسیم سلولی است (Al-Ibraheemi et al., 2021). همچنین حضور کلسیم با متابولیسم هورمون‌ها مرتبط بوده و سنتز اکسین را تقویت می‌کند (Vanneste and Friml, 2013). بنابراین احتمالاً افزایش طول ساقه در اثر محلول‌پاشی $Ca(NO_3)_2$ می‌تواند به دلیل نقش آن در افزایش غلظت نیتروژن برگ باشد، زیرا نیتروژن در ساختار اکسین نقش دارد و اکسین هورمونی است که منجر به افزایش رشد و نمو گیاه می‌شود (Mohammed and Abood, 2020). گیاهان شاهد، که هیچ کود

1. Membrane stability index

جدول ۲. اثر محلول‌پاشی با منابع مختلف کلسیم بر شاخص‌های رشدی رز رقم جومیلیا

Table 2. Effect of foliar application with different Ca sources on the growth indices of the studied rose 'Jumilia' cultivar.

Treatment تیمار	Stem length (cm) ارتفاع ساقه گل (سانتی‌متر)	Stem diameter (mm) قطر ساقه گل (میلی‌متر)	Stem fresh weight (g) وزن تازه ساقه گل (گرم)	Root volume (mL) حجم ریشه (میلی‌لیتر)	Flower diameter (mm) قطر گل (میلی‌متر)	Number of flowers تعداد شاخه گل
Control شاهد	42.75±1.09[b]	4.37±0.09[b]	32.14±0.20[c]	76.38±2.39[b]	31.36±0.52[b]	6.98±0.24[a]
$Ca(NO_3)_2$ نیترات کلسیم	59.10±1.08[a]	5.68±0.17[a]	44.19±1.06[a]	72.32±4.67[b]	37.44±1.18[a]	7.83±0.85[a]
$Ca(Lys)_2$ آمینو کلات کلسیم (لایزین)	34.91±2.05[c]	5.51±0.23[a]	39.62±2.87[b]	83.86±3.05[a]	37.20±1.23[a]	7.75±0.16[a]

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different at 5% of probability level based on the LSD test.

کلسیمی روی آن‌ها محلول‌پاشی نشده بود، از نظر رشد ضعیف بودند (جدول ۲). طول ساقه یکی از معیارهای اصلی تعیین کیفیت گل‌های شاخه بریده است. استحکام ساقه باید به اندازه‌ای قوی باشد که وزن برگ‌ها و گل آذین را تحمل و به‌خوبی از آن‌ها حمایت کند (Seydmohammadi et al., 2020). بنابراین هماهنگ با نتایج پژوهش حاضر، اثر محلول‌پاشی نیترات کلسیم بر افزایش طول ساقه و بهبود رشد رویشی گزارش شده است (Al-Ibraheemi et al., 2021).

محلول‌پاشی با $Ca(NO_3)_2$ و $Ca(Lys)_2$ باعث افزایش قطر ساقه به‌ترتیب به‌میزان ۲۹/۸۷ و ۲۶/۰۱ درصد نسبت به شاهد شد و همچنین بین تیمارهای $Ca(NO_3)_2$ و Ca(Lys)2 از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). مؤثرترین تیمار برای بهبود وزن تازه ساقه، کاربرد $Ca(NO_3)_2$ بود. محلول‌پاشی منابع مختلف کلسیم وزن تازه ساقه را نسبت به شاهد بهبود بخشید به‌طوری که تیمارهای $Ca(NO_3)_2$ و $Ca(Lys)_2$ به‌ترتیب افزایش ۳۷/۴۷ و ۲۳/۲۴ درصدی در وزن تازه ساقه را نسبت به شاهد ایجاد کردند (جدول ۲). قطر گل افزایش معنی‌داری در تیمارهای محلول‌پاشی‌شده با منابع مختلف کلسیم نسبت به شاهد داشت و تیمارهای $Ca(NO_3)_2$ و $Ca(Lys)_2$ به‌ترتیب افزایش ۱۹/۳۸ و ۱۸/۶۱ درصدی نسبت به شاهد داشتند (جدول ۲). به‌طور مشابه Ca-EDTA در افزایش قطر گل در کنگر فرنگی مؤثرتر عمل کرد (Ismail et al., 2022). Saeedi et al. (2015) اظهار داشتند استفاده از آمینو کلات کلسیم می‌تواند جذب کلسیم را افزایش داده و از این‌رو قطر گل و شاخساره را در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش دهد. در طول مراحل رشد رزها، تیمارهای کلسیم سبب افزایش قطر گل، قطر ساقه و وزن تازه شاخساره شدند و رشد گل‌ها تحت تأثیر کلسیم قرار گرفته است که برای رشد و تقسیم سلولی، ساختار و نفوذپذیری غشای سلولی، متابولیسم نیتروژن و جابه‌جایی کربوهیدرات در گیاهان مورد نیاز است (White, 2000). در همین راستا، گزارش شده است تیمار کلسیم سبب افزایش ۷ درصدی قطر گل در گل رز رقم 'Vendentta' شد (Banijamali et al., 2018).

محلول‌پاشی $Ca(NO_3)_2$ تأثیری بر بهبود حجم ریشه نداشت. تیمار $Ca(Lys)_2$ بیش‌ترین تأثیر را در افزایش حجم ریشه داشت و سبب افزایش ۹/۸۰ درصدی آن شد (جدول ۲). اگرچه برخی از پژوهشگران بهبود رشد ریشه را در اثر تیمار کلسیم گزارش کرده‌اند (Shams et al., 2012). با این‌حال، معنی‌دارنشدن اثر کاربرد کلسیم بر رشد ریشه لوبیا (An et al., 2014) و کلم بروکلی (Haghighi et al., 2023) گزارش شده است.

جدول ۳. اثر محلول‌پاشی با منابع مختلف کلسیم بر رنگدانه‌های فتوسنتزی رز رقم جومیلیا

Table 3. Effect of foliar application with different Ca sources on the photosynthetic pigments of the studied rose 'Jumilia' cultivar.

Treatment تیمار	Chlorophyll a کلروفیل آ	Chlorophyll b کلروفیل ب	Total chlorophyll کلروفیل کل	Carotenoid کارتنوئید
		(mg g^{-1}) (میلی‌گرم درگرم)		
Control شاهد	22.94±1.74^{b}	13.44±3.35^{b}	36.38±5.41^{b}	4.57±1.08^{b}
$Ca(NO_3)_2$ نیترات کلسیم	27.75±0.33^{a}	22.28±2.98^{a}	50.03±3.05^{a}	5.99±0.29^{a}
$Ca(Lys)_2$ آمینوکلات کلسیم (لایزین)	24.59±1.12^{b}	16.03±0.69^{b}	40.62±3.14^{b}	6.22±0.62^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different at 5% of probability level based on the LSD test.

با محلول‌پاشی $Ca(NO_3)_2$ و $Ca(Lys)_2$، تعداد گل از لحاظ آماری تحت تأثیر منبع کلسیم قرار نگرفت و تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها و شاهد وجود نداشت (جدول ۲). برخی از پژوهشگران افزایش تعداد گل را به سطوح بالاتر کلسیم نسبت می‌دهند (Saeedi et al., 2015; Mahajan and Pal, 2020). ولی Banijamali et al. (2018) و Bar-Tal et al. (2001) عدم وجود رابطه معنی‌دار بین سطح کلسیم و تعداد گل را گزارش کردند.

رنگدانه‌های فتوسنتزی

رزهای تیمارشده با $Ca(NO_3)_2$ حاوی مقادیر بیش‌تری از Chla و Chlb نسبت به شاهد و $Ca(Lys)_2$ بودند. محلول‌پاشی $Ca(Lys)_2$ از لحاظ آماری تأثیری بر میزان کلروفیل رزها نسبت به شاهد نداشت. بیش‌ترین میزان ChlT در رزهای تیمارشده با $Ca(NO_3)_2$ مشاهده شد. در مقایسه با شاهد، ChlT ۳۷/۵۳ درصد در معرض $Ca(NO_3)_2$ افزایش یافت (جدول ۳). نقش $Ca(NO_3)_2$ در افزایش Chla، Chlb و ChlT چشمگیرتر از $Ca(Lys)_2$ بود. بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، نیتروژن و منیزیم در ساختار کلروفیل نقش دارند (Roosta et al., 2024). بنابراین می‌توان گفت استفاده از $Ca(NO_3)_2$ با تشدید جذب نیتروژن و منیزیم سبب افزایش میزان کلروفیل برگ در رزها شد (جداول ۴). نقش کلسیم در افزایش کلروفیل در سایر گیاهان نیز گزارش شده است به‌عنوان مثال کاربرد کلسیم سبب افزایش شاخص‌های Chla و Chlb به‌ترتیب به‌میزان ۴۵/۵۴ و ۴۵/۸۰ درصد نسبت به شاهد (بدون کاربرد کلسیم) شد (Weng et al., 2022).

نقش $Ca(Lys)_2$ در افزایش کارتنوئید در گل‌های رز بیش‌تر از $Ca(NO_3)_2$ بود. رزهای تیمارشده با $Ca(NO_3)_2$ و $Ca(Lys)_2$ به‌ترتیب ۳۱/۱۲ و ۳۶/۱۱ درصد افزایش در غلظت کارتنوئید در مقایسه با گیاهان شاهد داشتند (جدول ۳). آمینوکلات‌ها نقش مؤثری در بهبود بیوسنتز کلروفیل و کاروتنوئید در گیاهان دارند (Souri, 2016). بنابراین همان‌طور که انتظار می‌رفت تیمار $Ca(Lys)_2$ سبب افزایش میزان کارتنوئید شد.

نرخ فتوسنتز

نرخ فتوسنتز افزایش امیدوارکننده‌ای را تحت تیمار $Ca(NO_3)_2$ به همراه داشت که نسبت به شاهد افزایش ۲۳/۳۲ درصدی را نشان داد درحالی‌که بین تیمار $Ca(Lys)_2$ و شاهد از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). کلروفیل یک رنگدانه فتوسنتزی است که محتوای آن ارتباط نزدیکی با توان فتوسنتزی گیاهان دارد (Mohsenpour and Willoughby, 2013). بنابراین

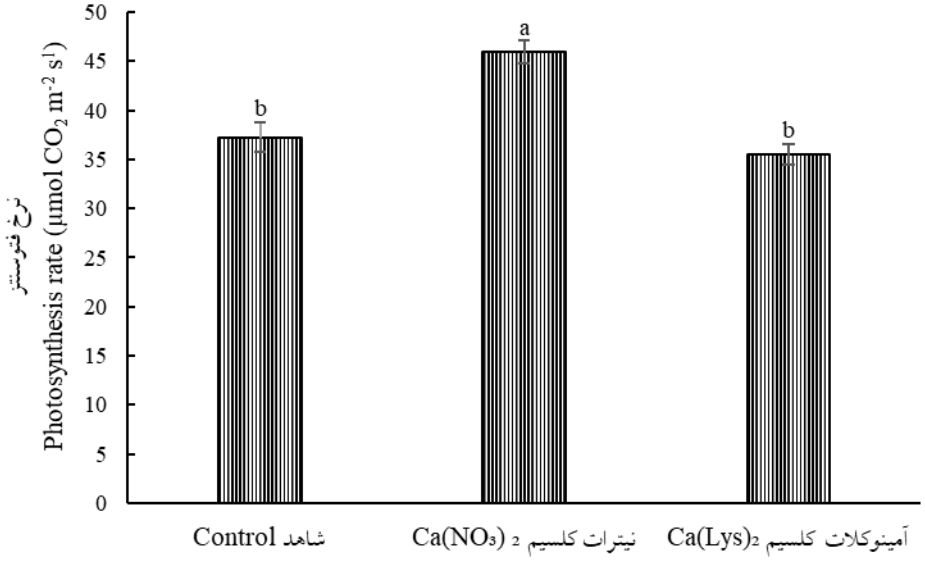
جدول ۴. اثر محلول‌پاشی با منابع مختلف کلسیم بر غلظت عناصر غذایی پرمصرف رز رقم جومیلیا

Table 4. Effect of foliar application with different Ca sources on the macroelements of the studied rose 'Jumilia' cultivar

	Leaf (%) برگ (درصد)			Root (%) ریشه (درصد)		
Treatment تیمار	N نیتروژن	P فسفر	K پتاسیم	N نیتروژن	P فسفر	K پتاسیم
Control شاهد	3.879±0.023[b]	1.128±0.012[b]	1.671±0.036[b]	2.843±0.020[a]	4.116±0.040[a]	0.487±0.008[c]
$Ca(NO_3)_2$ نیترات کلسیم	5.088±0.013[a]	0.935±0.008[c]	1.298±0.032[c]	2.571±0.036[a]	1.930±0.028[b]	2.105±0.024[a]
$Ca(Lys)_2$ آمینوکلات کلسیم (لایزین)	4.919±0.031[a]	1.168±0.026[a]	1.773±0.035[a]	2.692±0.031[a]	1.519±0.029[c]	1.982±0.017[b]

در هر ستون، میانگین‌های دارای یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, means with the same letter are not significantly different at 5% of probability level based on the LSD test.



شکل ۲. اثر محلول‌پاشی با منابع مختلف کلسیم بر نرخ فتوسنتز رز رقم جومیلیا. ستون‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 2. Effect of foliar application with different Ca sources on the photosynthesis rate (a) of 'Jumilia' cultivar. Means with the same letter are not significantly different at 5% of probability level based on the LSD test.

احتمالاً می‌توان انتظار داشت با افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، میزان فتوسنتز در رزها افزایش یابد. پژوهش‌های پیشین نقش کلسیم را در حفظ فتوسنتز با تعدیل تبادل گاز در برگ‌ها، فرآیندهای PSII و بیان ژن‌های مرتبط با سنتز کلروفیل بیان کرده‌اند (Zhang et al., 2020). از بین منابع مختلف کلسیم، محلول‌پاشی $Ca(NO_3)_2$ نسبت به سایر منابع به‌طور مؤثرتری سبب افزایش کلروفیل و فتوسنتز شد. در تأیید نتایج فوق، بهبود کارایی فتوسنتز در گیاه گوجه‌فرنگی تیمارشده با کلسیم گزارش شده است (Coutinho et al., 2020). افزایش فتوسنتز در اثر محلول‌پاشی کلسیم در پژوهش‌های پیشین نیز

گزارش شده است. به‌طوری‌که محلول‌پاشی کلسیم، نرخ فتوسنتز را در گندم ۲۸/۷ درصد و در ذرت ۴۵ درصد افزایش داد (Dolatabadian et al., 2013; Naeem et al., 2018).

شاخص پایداری غشا

تیمارهای کلسیم اعمال‌شده شاخص پایداری غشا را به‌طور قابل توجهی در رز افزایش دادند. بیش‌ترین میزان شاخص پایداری غشا تحت تیمار $Ca(NO_3)_2$ به‌دست آمد که نسبت به شاهد افزایش ۱۳/۶۲ درصدی را نشان داد. همچنین بین تیمارهای $Ca(NO_3)_2$ و $Ca(Lys)_2$ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۳-الف). کلسیم نقش مهمی در به تأخیر انداختن روند پیری و افزایش طول عمر گل‌های شاخه بریده دارد و به‌خوبی شناخته شده است که با کاهش عرضه کلسیم و یا مختل‌شدن حمل و نقل آن در گیاه، کمبود کلسیم موضعی ایجاد می‌شود که منجر به پارگی غشا و یا تخریب دیواره سلولی می‌شود (Hocking et al., 2016).

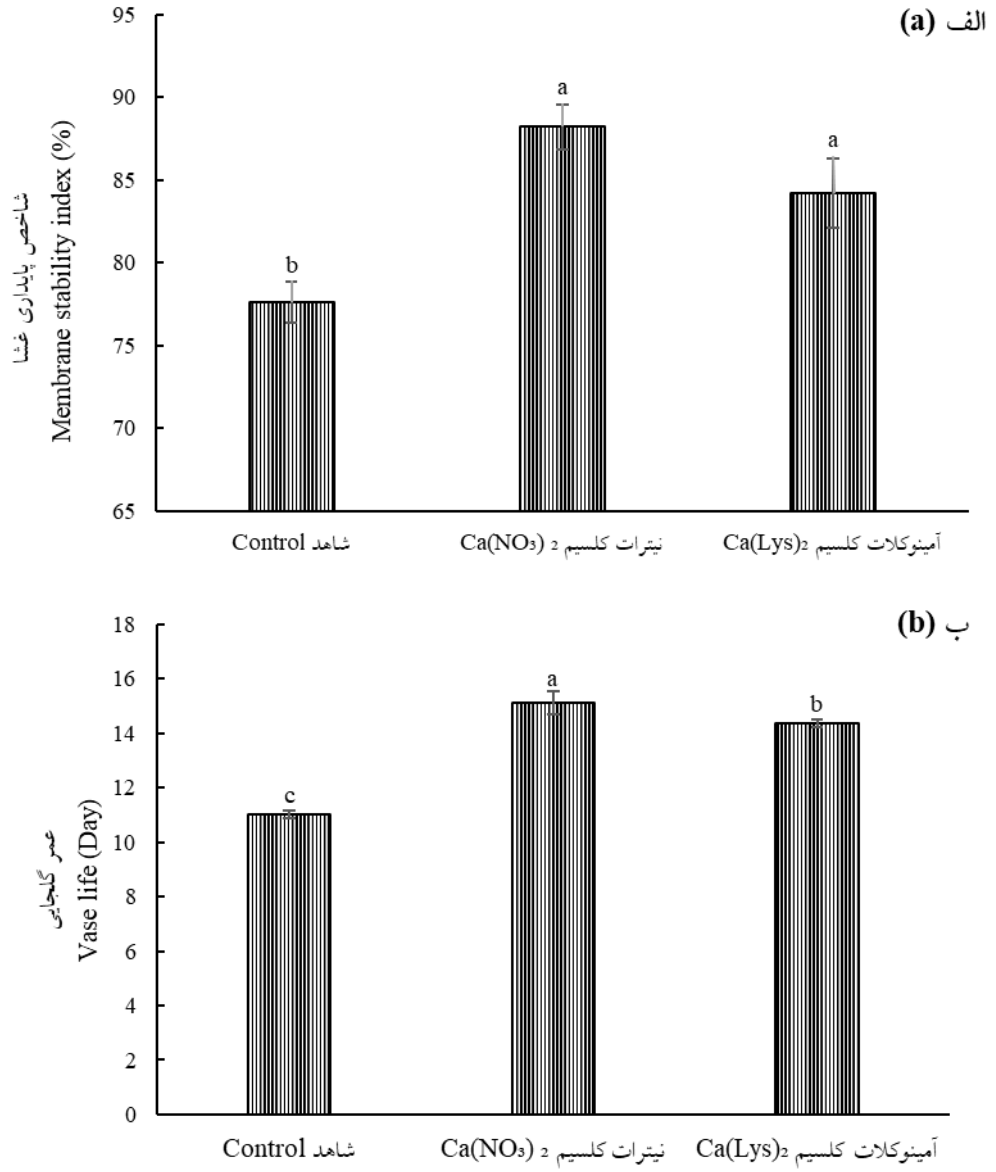
یافته‌های این پژوهش نشان داد محلول‌پاشی منابع مختلف کلسیم به‌ویژه $Ca(NO_3)_2$ با افزایش غلظت کلسیم در گلبرگ (شکل ۴-ب) باعث بهبود MSI می‌شود (شکل۳-الف). کاهش آسیب غشایی (افزایش MSI)، ناشی از نقش کلسیم در ساختار غشای سلولی و دیواره سلولی است. همچنین نقش کلسیم در القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و در نتیجه کاهش سطوح رادیکال‌های آزاد است که منجر به افزایش پایداری غشاء می‌شود (Sairam et al., 2011). به‌عنوان مثال Abdolmaleki et al. (2015) گزارش کردند اعمال تیمار کلسیم پیش از برداشت، باعث تأخیر در آسیب به غشای سلولی و در نتیجه افزایش عمر گلجایی گل‌های شاخه بریده رز می‌شود.

عمر گلجایی

بوته‌های رز تیمارشده با کلسیم عمر گلجایی بیش‌تری نسبت به بوته‌های شاهد نشان دادند. از بین تیمارهای مختلف $Ca(NO_3)_2$ بیش‌ترین تأثیر را در افزایش عمر گلجایی داشت و این افزایش ۴/۱ روز بیش‌تر نسبت به گیاهان شاهد بود. همچنین $Ca(Lys)_2$ نیز در مقایسه با شاهد سبب افزایش ۳/۴ روز عمر گلجایی شد. استفاده از $Ca(NO_3)_2$ و $Ca(Lys)_2$ در به تعویق انداختن پیری در گل رز مؤثر بودند (شکل ۳-ب). محلول‌پاشی $Ca(NO_3)_2$ سبب افزایش جذب کلسیم توسط گلبرگ‌های رز شد (شکل ۴- ب) و از این طریق توانست عمر گلجای بیش‌تری را در مقایسه با سایر تیمارها سبب شود. گزارش شده است که افزایش غلظت کلسیم در گلبرگ‌های گل شاخه بریده رز با کاهش تولید اتیلن و تأخیر در پیری مرتبط است (Torre et al., 1999). در واقع می‌توان گفت که هر منبعی که بتواند به‌طور مؤثرتری غلظت کلسیم را در گلبرگ‌ها افزایش دهد، می‌تواند نقش مؤثرتری در بهبود عمر پس از برداشت گل‌های رز داشته باشد. در پژوهش‌های پیشین، آثار مفید کلسیم بر طول عمر پس از برداشت در گل‌های شاخه بریده از جمله رز، لیلیوم، ژربرا و گلایول گزارش شده است (Sairam et al., 2011; Abdolmaleki et al., 2015; Zhang et al., 2018; Aghdam et al., 2019). لازم به ذکر است پاسخ‌های مشابه ارقام مختلف گل رز با زمینه‌های ژنتیکی متمایز، نشان‌دهنده اثر کلی کلسیم بر زندگی پس از برداشت و پیری است (Torre et al., 1999).

درصد تغییرات وزن

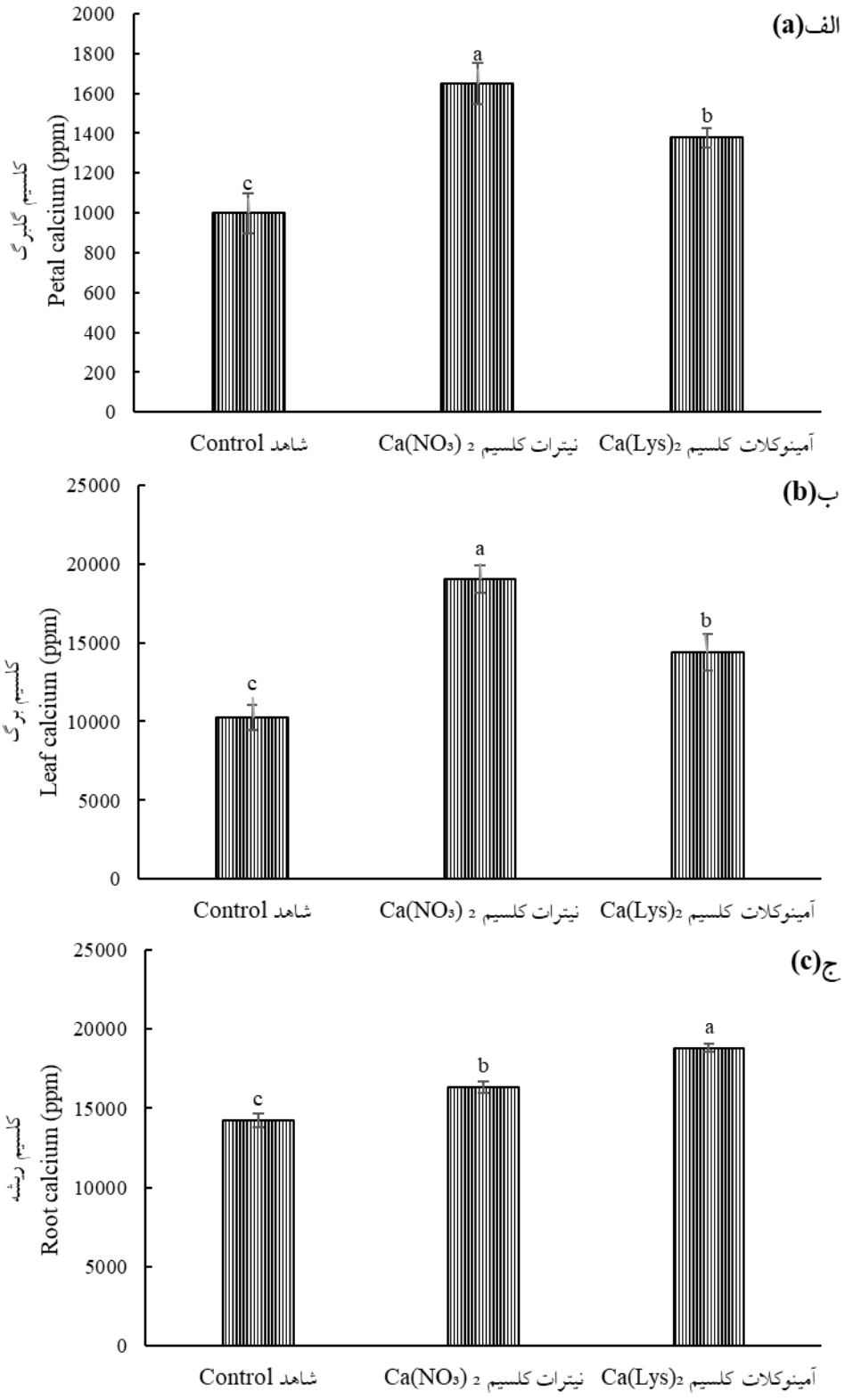
در پژوهش حاضر، تغییرات وزن رزها به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تیمارهای کلسیم قرار گرفت، افزایش وزن تازه پس از اعمال تیمارهای کلسیم تا روز ششم ادامه یافت اما در شاهد تا روز چهارم ادامه یافت و پس از آن وزن تازه شروع به کاهش کرد. در روز ششم پس از برداشت، وزن تازه در رزهای تیمارشده با $Ca(NO_3)_2$ و $Ca(Lys)_2$ به‌ترتیب ۱۱/۹۷ و ۱۸/۳۴ درصد افزایش یافت. پس از ۱۰ روز، درصد کاهش وزن در گل‌های شاهد بیش‌تر از سایر تیمارها بود و به کم‌تر از وزن اندازه‌گیری‌شده در روز اول رسید، در مقابل در گیاهان تیمارشده با کلسیم وزن‌تر بیش‌تری مشاهده شد (شکل ۵). نتایج این پژوهش با یافته‌های Torre et al. (1999) همخوانی



شکل ۳. اثر محلول‌پاشی با منابع مختلف کلسیم بر شاخص پایداری غشا (الف) و عمر گلجایی (ب) رز رقم جومیلیا. ستون‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنادار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

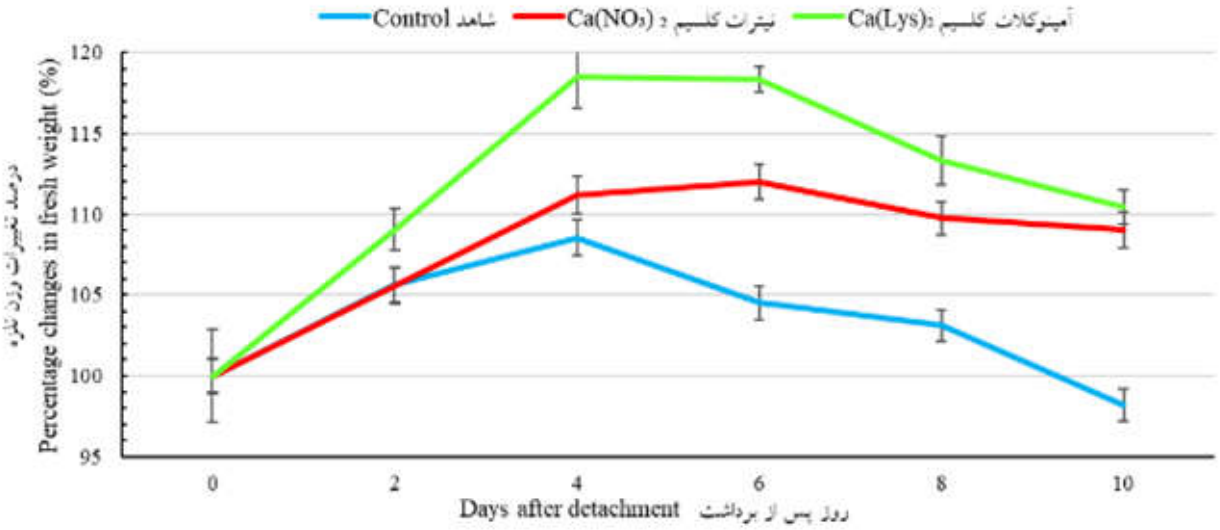
Fig. 3. Effect of foliar application with different Ca sources on the membrane stability index (a) and vase life (b) of 'Jumilia' cultivar. Means with the same letter are not significantly different at 5% of probability level based on the LSD test.

دارد که گزارش کردند کلسیم نقش مؤثری در افزایش وزن تازه گل‌های شاخه بریده رز و تأخیر در کاهش آن دارد. از مشکلات عمده در گل‌های شاخه بریده این است که کاهش وزن چند روز پس از برداشت به‌سرعت شروع شده و در زمان پیری به اوج خود می‌رسد (Jiang et al., 2019). عمر گل‌های شاخه بریده را می‌توان با به تأخیر انداختن کاهش وزن و حفظ تعادل بین ورود آب و خروج آب از گیاه، افزایش داد. در این راستا کلسیم می‌تواند جریان آب را از طریق ساقه‌ها و ارتباط با پکتین در دیواره‌های سلولی آوند چوبی افزایش دهد (van Ieperen and van Gelder, 2006). تیمار کلسیم نیز بیش‌ترین تأثیر را بر تعدیل کاهش وزن در انبارداری زرشک داشت (Moradinezhad et al., 2018).



شکل ۴. اثر محلول‌پاشی با منابع مختلف کلسیم بر غلظت کلسیم گلبرگ (الف)، غلظت کلسیم برگ (ب) و غلظت کلسیم ریشه (ج) رز رقم جومیلیا. ستون‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنادار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 4. Effect of foliar application with different Ca sources on Ca concentration in petal (a), leaf (b), and root (c) of 'Jumilia' cultivar. Means with the same letter are not significantly different at 5% of probability level based on the LSD test.



شکل ۵. اثر محلول‌پاشی با منابع مختلف کلسیم بر درصد تغییرات وزن تازه رز رقم جومیلیا.

Fig. 5. Effect of foliar application with different Ca sources on percentage changes in fresh weight of 'Jumilia' cultivar.

عناصر غذایی پرمصرف

بیش‌ترین غلظت کلسیم برگ و گلبرگ در گیاهان تیمارشده با $Ca(NO_3)_2$ به‌دست آمد که به‌ترتیب ۱/۸۵و ۱/۶۵ برابر نسبت به شاهد بیش‌تر بود. همچنین اعمال $Ca(Lys)_2$ باعث افزایش غلظت کلسیم برگ و گلبرگ و ایجاد تفاوت معنی‌دار با شاهد شد. تأثیر یکسان منابع مختلف کلسیم مورد استفاده در این آزمایش بر غلظت کلسیم برگ و گلبرگ را می‌توان به نفوذ مطلوب $Ca(NO_3)_2$ و $Ca(Lys)_2$ در بافت‌های گیاهی به‌منظور تأمین کلسیم نسبت داد. این نتایج با یافته‌های Youssef et al. (2017) همخوانی دارد که بیان کردند محلول‌پاشی کلسیم باعث افزایش غلظت کلسیم در برگ کاهو می‌شود. البته به‌دلیل تفاوت زیاد مقدار تعرق بین گل‌ها و برگ‌ها، کلسیم بیش‌تری به‌سمت برگ‌های تعرق‌کننده هدایت می‌شود که این مسئله منجر به افزایش چندین برابری غلظت کلسیم در برگ نسبت به گلبرگ می‌شود. در همین راستا، افزایش چندین برابری (۱۳ تا ۱۷ برابری) غلظت کلسیم برگ‌ها در مقایسه با گلبرگ‌ها مشاهده شد. چنین تفاوت‌هایی در غلظت کلسیم بین برگ‌ها و گلبرگ‌ها در پژوهش‌های انجام‌شده در مورد گل رز نیز گزارش شده است (Bar-Tal et al., 2001).

بیش‌ترین افزایش غلظت کلسیم ریشه در تیمار $Ca(Lys)_2$ به‌دست آمد که نسبت به شاهد افزایش ۳۱/۸۷ درصدی را نشان داد. به عبارت دیگر حرکت کلسیم از شاخساره به ریشه به شکل کلات کلسیم بیش‌تر از سایر منابع کلسیمی است. از آنجا که کلسیم عنصری غیرپویا است، پس از محلول‌پاشی احتمال کمبود آن در ریشه‌های در حال رشد بیش‌تر است اما آمینواسیدها به دلیل ساختار و ویژگی‌های شیمیایی‌شان به‌سادگی قادر به توزیع در سیتوپلاسم سلولی هستند. بنابراین آمینواسیدها به‌دلیل کمپلکس‌نمودن، فراهمی فلزات برای قسمت‌های مختلف گیاهی از جمله ریشه را بهبود می‌بخشند. کم‌ترین غلظت کلسیم در برگ، گلبرگ و ریشه مربوط به شاهد بود (شکل ۴-الف، ب و ج).

محلول‌پاشی کلسیم منجر به تغییرات مشخصی در سطوح عناصر غذایی برگ و ریشه رز شد. بیش‌ترین غلظت نیتروژن (N) برگ در تیمار $Ca(NO_3)_2$ مشاهده شد و باعث افزایش ۳۱/۱۶ درصدی آن در مقایسه با شاهد شد که از لحاظ آماری تفاوت معناداری با تیمار $Ca(Lys)_2$ نداشت (جدول ۴). اثر کلسیم بر افزایش جذب N توسط Banijamali et al. (2018) و A Hussein (2023)گزارش شده است. تیمارهای کلسیم از

لحاظ آماری تأثیر معنی‌داری بر افزایش N در ریشه نداشتند (جدول ۴).

افزایش ۳/۵۵ درصدی فسفر (P) برگ تیمارشده با $Ca(Lys)_2$ در مقایسه با شاهد مشاهده شد. در همین راستا در کنگر فرنگی، تیمار Ca-EDTA در افزایش P مؤثرتر از $Ca(NO_3)_2$ بود (Ismail et al., 2022). درحالی‌که تیمار $Ca(NO_3)_2$ سبب کاهش معنادار P برگ شد (جدول ۴). محلول‌پاشی منابع کلسیمی سبب کاهش P ریشه نسبت به شاهد شد که بیش‌ترین کاهش مربوط به تیمار $Ca(Lys)_2$ با کاهش ۱/۶۵ برابری بود (جدول ۴).

نتایج نشان می‌دهد که تیمار $Ca(Lys)_2$ بیش‌ترین غلظت پتاسیم (K) را در برگ‌ها ایجاد کرده، درحالی‌که تیمار $Ca(NO_3)_2$ باعث کاهش غلظت K در برگ‌ها و افزایش جذب K توسط ریشه‌ها شده است (جدول ۴). این نتایج نشان می‌دهد که تیمار $Ca(NO_3)_2$ ممکن است با بهبود جذب پتاسیم از خاک، تأثیر مثبتی بر ریشه‌ها داشته باشد. درحالی‌که به‌نظر می‌رسد تیمار $Ca(Lys)_2$ به بهبود توزیع پتاسیم در گیاه کمک کرده است. این یافته‌ها با پژوهش‌های پیشین که تأثیر کلسیم را بر افزایش پتاسیم در ریشه (Türkmen et al., 2004)، و کاهش آن در برگ‌ها گزارش کرده‌اند (Banijamali et al., 2018)، هم‌راستا بوده و نشان‌دهنده آثار متفاوت تیمارهای کلسیمی بر توزیع پتاسیم در گیاهان است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش به‌وضوح نشان‌دهنده تأثیر مثبت محلول‌پاشی کلسیم بر شاخص‌های مختلف رشدی و کیفیت گل‌های رز است. استفاده از $Ca(NO_3)_2$ به‌طور قابل توجهی طول ساقه، قطر ساقه، وزن تازه ساقه و قطر گل را نسبت به شاهد افزایش داد و همچنین موجب افزایش میزان کلروفیل و نرخ فتوسنتز شد. این نتایج نشان می‌دهند که کلسیم نقش حیاتی در بهبود رشد رویشی و کیفیت گل‌ها دارد. از طرفی، تیمار $Ca(Lys)_2$ تأثیر بیش‌تری بر افزایش کارتنوئیدها داشت، که به‌نوبه خود بر کیفیت رنگدانه‌ها و ویژگی‌های ظاهری گل‌ها اثر مثبت گذاشت. همچنین، کلسیم به‌ویژه از طریق کاربرد $Ca(NO_3)_2$ به‌طور مؤثری شاخص پایداری غشا را بهبود بخشید و عمر گلجایی را افزایش داد. در زمینه غلظت عناصر غذایی، $Ca(NO_3)_2$ و $Ca(Lys)_2$ آثار متفاوتی بر توزیع نیتروژن و پتاسیم در برگ‌ها و ریشه‌ها داشتند. بر اساس این نتایج، توصیه می‌شود که برای بهبود رشد و کیفیت گل‌های شاخه‌بریده، استفاده از محلول‌پاشی کلسیم به‌ویژه $Ca(NO_3)_2$ به‌عنوان یک راهکار مؤثر در نظر گرفته شود. این روش می‌تواند به بهبود عمر گلجایی و ویژگی‌های ظاهری و شیمیایی گل‌ها، افزایش عمر گلجایی و کاهش مشکلات مرتبط با کاهش وزن پس از برداشت کمک کند.

تشکر و سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه فردوسی مشهد بابت انجام این پژوهش مرتبط با پایان‌نامه دکتری تخصصی با کد ۳/۵۴۰۱۳ کمال تشکر و قدردانی را داریم.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

1. A Hussein, M., 2023. Effect of amino acids, mono-potassium phosphate, and calcium foliar application on flowering, yield, and fruit quality of Mango “Ewaise” Cultivar. Alexandria Sci. Exch. J. 44(2), 225–235. https://dx.doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2023.306511.

2. Abdolmaleki, M., Khosh, K.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. Int. J. Hortic. Sci. Technol. 2(1), 55–66.

3. Aghdam, M., Asil, M.H., Ghasemnezhad, M., Mirkalaei, S.M., 2019. Effects of pre-harvest applications of different source of calcium on the cell wall fractions and stem bending disorder of Gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) cultivar flowers. Adv. Hortic. Sci. 33(1), 57–66.
4. Al-Ibraheemi, R.A., Alrubye, H.K., Mashkoor, S.A., Alaunaibi, R.M., 2021. The effect of calcium on the growth and flowering of the rose moss *Portulaca grandiflora* L. using hydroponic system. Natural Volatiles & Essential Oils (NVEO) 8(6), 2531–2535.
5. Almeida, P.H., Mógor, Á., Ribeiro, A., Heinrichs, J., Amano, E., 2016. Increase in lettuce (*Lactuca sativa* L.) production by foliar calcium application. Aust. J. Basic Appl. Sci. 10(16), 161–167.
6. Amor, F.M.D., Marcelis, L.F.M., 2003. Regulation of nutrient uptake, water uptake and growth under calcium starvation and recovery. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 78(3), 343–349. https://doi.org/10.1080/14620316.2003.11511629.
7. An, P., Li, X., Zheng, Y., Eneji, A.E., Inanaga, S., 2014. Calcium effects on root cell wall composition and ion contents in two soybean cultivars under salinity stress. Can. J. Plant Sci. 94(4), 733–740. https://doi.org/10.4141/cjps2013-291.
8. Banijamali, S.M., Feizian, M., Bayat, H., Mirzaei, S., 2018. Effects of nitrogen forms and calcium amounts on growth and elemental concentration in *Rosa hybrida* cv.'Vendentta'. J. Plant Nutr. 41(9), 1205–1213. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1443127.
9. Bar-Tal, A., Baas, R., Ganmore-Neumann, R., Dik, A., Marissen, N., Silber, A., Elad, Y., 2001. Rose flower production and quality as affected by Ca concentration in the petal. Agronomie 21(4), 393–402. https://dx.doi.org/10.1051/agro:2001132.
10. Bendahmane, M., Dubois, A., Raymond, O., Bris, M.L., 2013. Genetics and genomics of flower initiation and development in roses. J. Exp. Bot. 64(4), 847–857. https://doi.org/10.1093/jxb/ers387.
11. Bennett, K., Jent, J., Samarakoon, U.C., Schnabel, G., Faust, J.E., 2020. Reduction of *Botrytis cinerea* infection on petunia flowers following calcium spray applications. HortScience 55(2), 188–191. https://doi.org/10.21273/HORTSCI14208-19.
12. Coutinho, P.W.R., de Moraes Echer, M., Braga, G.C., Guimarães, V.F., do Carmo Lana, M., Alves, T.N., Brito, T.S., 2020. Effect of pre-harvest calcium silicate on post-harvest quality of tomatoes. Res. Soc. Dev. 9(11), e74791110148-e74791110148. https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10148.
13. Dolatabadian, A., Sanavy, S.A.M.M., Gholamhoseini, M., Joghan, A.K., Majdi, M., Kashkooli, A.B., 2013. The role of calcium in improving photosynthesis and related physiological and biochemical attributes of spring wheat subjected to simulated acid rain. Physiol. Mol. Biol. Plants. 19, 189–198. https://doi.org/10.1007/s12298-013-0165-7.
14. Haghighi, M., Khosravi, S., Sehar, S., Shamsi, I.H., 2023. Foliar-sprayed calcium-tryptophan mediated improvement in physio-biochemical attributes and nutritional profile of salt stressed *Brassica oleracea* var. italica. Sci. Hortic. 307, 111529. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111529.
15. Hocking, B., Tyerman, S.D., Burton, R.A., Gilliham, M., 2016. Fruit calcium: transport and physiology. Front. Plant Sci. 7, 569. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00569.
16. Hothem, S.D., Marley, K.A., Larson, R.A., 2003. Photochemistry in Hoagland's nutrient solution. J. Plant Nutr. 26(4), 845–854. https://doi.org/10.1081/PLN-120018569.
17. Ismail, S.A., Fathy, W., Ganzour, S.K., 2022. Impact of foliar application of calcium nitrate and chelated calcium in combination with boric acid on the vegetative growth, yield, quality components and insect control of globe artichoke. J. Plant Prod. 13(9), 743–752. https://dx.doi.org/10.21608/jpp.2022.159772.1165.
18. Jiang, A., Zuo, J., Zheng, Q., Guo, L., Gao, L., Zhao, S., Hu, W., 2019. Red LED irradiation maintains the postharvest quality of broccoli by elevating antioxidant enzyme activity and reducing the expression of senescence-related genes. Sci. Hortic. 251, 73–79. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.016.
19. Kacar, B., 1994. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri. Ankara ÜnİversitesiZiraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı.
20. Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Method. Enzymol. 148, 350–382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1.
21. Mahajan, M., Pal, P.K., 2020. Flower yield and chemical composition of essential oil from *Rosa damascena* under foliar application of $Ca(NO_3)_2$ and seasonal variation. Acta Physiol. Plant. 42(2), 23. https://doi.org/10.1007/s11738-019-2996-5
22. Mileva, M., Ilieva, Y., Jovtchev, G., Gateva, S., Zaharieva, M.M., Georgieva, A., Vilhelmova-Ilieva, N., 2021. Rose flowers—A delicate perfume or a natural healer? Biomolecules 11(1), 127. https://doi.org/10.3390/biom11010127.
23. Mohammed, R.A.J., Abood, B.M.A., 2020. Effect of bacterial inoculum, spraying with calcium nitrate and salicylic acid in vegetative and flowery growth traits of *Gerbera jamesonii*. Plant. Arch. 20(1), 633–638.
24. Mohsenpour, S.F., Willoughby, N., 2013. Luminescent photobioreactor design for improved algal growth and photosynthetic pigment production through spectral conversion of light. Bioresour. Technol. 142, 147–153. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.05.024.

25. Moradinezhad, F., Hassan Pour, S., Sayyari Zahan, M.H., 2018. Influence of preharvest spray of calcium chlorideand salicylic acid on physicochemical and quality properties of fresh seedless barberry fruit. J. Hortic. Sci. 32(1), 61–74. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v32i1.60331. (In Persian with English abstract)
26. Naeem, M., Naeem, M.S., Ahmad, R., Ihsan, M.Z., Ashraf, M.Y., Hussain, Y., Fahad, S., 2018. Foliar calcium spray confers drought stress tolerance in maize via modulation of plant growth, water relations, proline content and hydrogen peroxide activity. Arch. Agron. Soil Sci. 64(1), 116–131. https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1327713.
27. Nayyar, H., Kaushal, S., 2002. Alleviation of negative effects of water stress in two contrasting wheat genotypes by calcium and abscisic acid. Biol. Plant. 45, 65–70. https://doi.org/10.1023/A:1015132019686.
28. Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., Yan, D., 2021. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. J. Soil Sci. Plant Nutr. 21, 104–118. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3.
29. Roosta, H., Nili, F., Pourkhaloee, A., Askari, N., 2024. Effects of supplemental light quality and foliar application with calcium on photosynthetic parameters and flower stem strength of cut gerbera (*Gerbera jamesonii* 'Bayadere'). Int. J. Hortic. Sci. Technol. 11(1), 69–82. 10.22059/ijhst.2023.356795.625.
30. Rose, R., Atkinson, M., Gleason, J., Sabin, T., 1991. Root volume as a grading criterion to improve field performance of Douglas-fir seedlings. New Forests. 5, 195–209. https://doi.org/10.1007/BF00028111.
31. Saeedi, R., Etemadi, N., Nikbakht, A., Khoshgoftarmanesh, A.H., Sabzalian, M.R., 2015. Calcium chelated with amino acids improves quality and postharvest life of lisianthus (*Eustoma grandiflorum* cv. Cinderella Lime). HortScience 50(9), 1394–1398. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.9.1394.
32. Sairam, R.K., Vasanthan, B., Arora, A., 2011. Calcium regulates Gladiolus flower senescence by influencing antioxidative enzymes activity. Acta Physiol. Plant. 33, 1897–1904. https://doi.org/10.1007/s11738-011-0734-8.
33. Seifu, Y., Deneke, S., 2017. Effect of calcium chloride and calcium nitrate on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and yield. J. Hortic. 4(3), 207–211. https://doi.org/10.4172/2376-0354.1000207.
34. Seydmohammadi, Z., Roein, Z., Rezvanipour, S., 2020. Accelerating the growth and flowering of *Eustoma grandiflorum* by foliar application of nano-ZnO and nano-$CaCO_3$. Plant Physiol. Rep. 25, 140–148. https://doi.org/10.1007/s40502-019-00473-9.
35. Shams, M., Etemadi, N., Baninasab, B., Ramin, A.A., Khoshgoftarmanesh, A.H., 2012. Effect of boron and calcium on growth and quality of 'easy lover'cut rose. J. Plant Nutr. 35(9), 1303–1313. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.684123.
36. Singh, A., Kumar, J., Kumar, P., 2008. Effects of plant growth regulators and sucrose on post harvest physiology, membrane stability and vase life of cut spikes of gladiolus. Plant Growth Regul. 55, 221–229. https://doi.org/10.1007/s10725-008-9278-3.
37. Souri, M.K., 2016. Aminochelate fertilizers: the new approach to the old problem; a review. Open Agric. J. 1(1), 118–123. https://doi.org/10.1515/opag-2016-0016.
38. Souri, M.K., Hatamian, M., 2019. Aminochelates in plant nutrition: a review. J. Plant Nutr. 42(1), 67–78. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1549671.
39. Torre, S., Borochov, A., Halevy, A.H., 1999. Calcium regulation of senescence in rose petals. Physiol. Plant. 107(2), 214–219. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1999.100209.x.
40. Türkmen, Ö., Dursun, A., Turan, M., Erdinç, Ç., 2004. Calcium and humic acid affect seed germination, growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings under saline soil conditions. Acta Agric. Scand., B Soil Plant Sci. 54(3), 168–174. https://doi.org/10.1080/09064710310022014.
41. van Ieperen, W., van Gelder, A., 2006. Ion-mediated flow changes suppressed by minimal calcium presence in xylem sap in *Chrysanthemum* and *Prunus laurocerasus*. J. Exp. Bot. 57(11), 2743–2750. https://doi.org/10.1093/jxb/erl039.
42. Vanneste, S., Friml, J., 2013. Calcium: The missing link in auxin action. Plants. 2(4), 650–675.
43. Wei, L., Wang, C., Liao, W., 2021. Hydrogen sulfide improves the vase life and quality of cut roses and *Chrysanthemums*. J. Plant Growth Regul. 40(6), 2532–2547. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10312-7.
44. Weng, X., Li, H., Ren, C., Zhou, Y., Zhu, W., Zhang, S., Liu, L., 2022. Calcium regulates growth and nutrient absorption in poplar seedlings. Front. Plant Sci. 13. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.887098.
45. White, P.J., 2000. Calcium channels in higher plants. Biochim. Biophys. Acta. 1465(1), 171–189. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0005-2736(00)00137-1.
46. White, P.J., Broadley, M.R., 2003. Calcium in plants. Ann. Bot. 92(4), 487–511. https://doi.org/10.1093/aob/mcg164.
47. Youssef, S., Abd Elhady, S.A.E., Abu El-Azm, N.A.I., El-Shinawy, M.Z., 2017. Foliar application of salicylic acid and calcium chloride enhances growth and productivity of lettuce (*Lactuca sativa*). Egypt. J. Hortic. 44(1), 1–16. https://doi.org/10.21608/ejoh.2017.892.1000.
48. Zhang, J., Fang, H., Huo, J., Huang, D., Wang, B., Liao, W., 2018. Involvement of calcium and calmodulin in nitric oxide-regulated senescence of cut lily flowers. Front. Plant Sci. 9. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01284.

49. Zhang, Z., Wu, P., Zhang, W., Yang, Z., Liu, H., Ahammed, G.J., Cui, J., 2020. Calcium is involved in exogenous NO-induced enhancement of photosynthesis in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under low temperature. Sci. Hortic. 261, 108953. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108953.