

Research Article
Vol. 40, No. 2, Summer 2026, p. 317-332

Improving the Resistance to Oxidative Stress and Enhancing Quality and Vase Life of Cut Tuberose (*Polianthes tuberosa*) Flowers using Antimicrobial and Antioxidant Compounds

M. Mohammadi¹, D. Hashemabadi^{1*}, B. Kaviani¹

1- Department of Horticultural Science, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran

(* - Corresponding author's Email: hashemabadi@iau.ac.ir)

Received: 14 June 2025

Revised: 09 September 2025

Accepted: 11 October 2025

Available Online: 11 October 2025

How to cite this article:¹

Mohammadi, M., Hashemabadi, D., & Kaviani, B. (2026). Improving the resistance to oxidative stress and enhancing quality and vase life of cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flowers using antimicrobial and antioxidant compounds. *Journal of Horticultural Science*, 40(2), 317-332. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.94068.1439>

Introduction

Cut tuberose flowers face challenges such as reduced vase life and postharvest quality deterioration. This problem is mainly caused by various factors such as dehydration, vascular blockage due to bacterial growth, ethylene accumulation and oxidative stress, which lead to a reduction in the postharvest lifespan of flowers. To address these challenges, the use of chemical and natural compounds has been considered an effective method to extend postharvest longevity and maintain the quality of cut flowers. Aluminum sulfate helps to preserve the freshness of cut flowers by reducing microbial growth, improving water uptake and preventing vascular blockage. The use of aluminum sulfate in vase solutions has shown to increase of the postharvest lifespan in certain cut flowers, such as roses, gardenias and lisianthus. Plant essential oils (containing phenol), possess antioxidant, antibacterial and antifungal properties. They can inhibit microbial growth in vase solutions and prevent cellular damage caused by reactive oxygen species (ROS) or free radicals. The positive effects of certain essential oils on extending the vase life of some cut flowers, including gerberas, roses and alstroemerias, have been reported. Cobalt chloride prevents vascular blockage caused by bacterial agents in stems and maintains a high-water flow rate, leading to improved water uptake by cut flowers. This salt can also extend vase life by inhibiting ethylene production, preventing its accumulation and reducing respiration. The beneficial effect of cobalt chloride on increasing the vase life of some ornamental cut flowers, including roses, carnations, tuberose, gladiolus and chrysanthemums, has been reported. 8-Hydroxyquinoline sulfate (8-HQS) is an inhibitor of ethylene production and reduces respiration rate. In cut flowers such as dendrobium, gerbera and gladiolus, 8-HQS extended the vase life by preventing microbial growth, reducing respiration rate and enhancing water absorption. This study aimed to investigate the effects of aluminum sulfate, *Eryngium* spp. essential oil, cobalt chloride and 8-HQS on the postharvest longevity of cut tuberose flowers (*Polianthes tuberosa*).

Materials and Methods

Cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flowers were obtained from a commercial producer in Tehran Province. To standardize the stem length, all flowers were recut at a 60 cm distance under water and immediately transported to the postharvest laboratory at the Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Rasht Branch, to prevent dehydration. Upon arrival, the flowers were placed in distilled water to maintain hydration. For the experiment, five cut flowers were placed in each 2-liter plastic vase and then treated with specific concentrations of the experimental factors. The study was conducted based on a completely randomized block design with three replications. The effects of different concentrations of aluminum sulfate (50, 100 and 150 mg.L⁻¹), *Eryngium*



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.94068.1439>

essential oil (10, 20 and 40%), cobalt chloride (200, 300 and 400 mg.L⁻¹) and 8-HQS (100, 200 and 400 mg.L⁻¹) on cut flowers parameters such as vase life, water uptake, fresh weight loss, chlorophyll content, malondialdehyde (MDA) as an indicator of lipid peroxidation, bacterial colony count and antioxidant enzyme activity were evaluated. Thus, the present experiment consisted of 12 treatments, 3 replications and 5 flower stems per replication, totaling 36 experimental units (plots). Treatments were applied permanently, with each treatment prepared based on a 500 mL volume in the plastic vase. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and means were compared by the LSD at $P < 0.05$ using the SAS ver. 9.2 software.

Results and Discussion

The results showed that treatment with aluminum sulfate significantly increased vase life and prevented fresh weight loss. Aluminum sulfate improved water uptake and preserved chlorophyll content, thereby enhancing the longevity of the flowers. *Eryngium* essential oil also had a positive effect on maintaining flower quality due to its antimicrobial and antioxidant properties. Results of the variance analysis showed that treatments with aluminum sulfate, *Eryngium* essential oil, cobalt chloride and 8-HQS significantly increased the vase life of tuberose cut flowers ($P < 0.01$). The effect of treatments was significant for most traits. The longest vase life (12 and 11.50 days) was observed in aluminum sulfate at 100 and 50 mg.L⁻¹, respectively, while the control treatment had a vase life of only 8 days. The highest water uptake was observed in treatments with aluminum sulfate (100 mg.L⁻¹), 8-HQS (200 mg.L⁻¹) and *Eryngium* essential oil (10 mg.L⁻¹). The control treatment had the highest bacterial population at the stem base (33 CFU.mL⁻¹) and vase solution (73 CFU.mL⁻¹). 8-HQS (400 mg.L⁻¹) showed the lowest bacterial population at the stem base (4 CFU.mL⁻¹). Just some treatments were selected for measurement of enzymes activity. Among the selected treatments, *Eryngium* essential oil (20 mg.L⁻¹) exhibited the highest peroxidase (POD) enzyme activity, while the control treatment (0.07 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ fresh weight) had the lowest. The control treatment (9.47 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ fresh weight/min) showed the highest catalase (CAT) enzyme activity, while cobalt chloride (300 mg.L⁻¹, 1.84 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ fresh weight.min⁻¹) had the lowest. Aluminum sulfate can partially reduce ethylene production and respiration rate in cut flowers. It primarily acts as an antimicrobial agent, indirectly extending vase life. Some studies suggest aluminum may moderately reduce lipid peroxidation in cell membranes. The aluminum ion may interact with cell walls, enhancing tissue rigidity and delaying wilting. Studies on roses, peonies and gladiolus confirmed that aluminum sulfate delays senescence by inhibiting microbial growth, preventing bacterial blockage and improving water uptake. Plant essential oils (e.g., in tuberose, chrysanthemum, gerbera, gladiolus and carnation) extend postharvest life due to their antimicrobial and antioxidant properties, reducing microbial load in vase solutions and ethylene production. 8-HQS, as a disinfectant, extended vase life in peonies, dendrobium and gladiolus by inhibiting bacteria, enhancing water uptake, delaying senescence, suppressing ethylene and reducing respiration rate. Increased POD activity in treated flowers indicates enhanced antioxidant defense, crucial for neutralizing free radicals and mitigating oxidative stress. Reduced CAT activity in treated tuberose flowers may result from lower ROS production, direct inhibition of enzyme activity, hormonal/metabolic signaling changes and delayed oxidative stress and senescence.

Conclusion

These findings suggest that the use of these compounds particularly aluminum sulfate at the concentration of 100 and 50 mg.L⁻¹ can be an effective method to improve the postharvest longevity and quality of cut tuberose flowers.

Keywords: Antioxidant activity, Lipid peroxidation, Ornamentals quality, Vase life, Water uptake

بهبود مقاومت به تنش اکسیداتیو و افزایش کیفیت و ماندگاری گل شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*) با ترکیبات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی

محسن محمدی^۱ - داود هاشم‌آبادی^{۱*} - بهزاد کاویانی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۹

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سولفات آلومینیوم، اسانس گیاه چوچاق (*Eryngium spp.*)، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بر عمر پس از برداشت گل شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*) انجام شد. گل‌های شاخه‌بریده مریم به دلیل اهمیت زینتی و اقتصادی بالا، با چالش‌هایی مانند کاهش عمر گلجای و افت کیفیت پس از برداشت مواجه هستند. این مشکل عمدتاً ناشی از عوامل مختلفی مانند کم‌آبی، انسداد آوندها به دلیل رشد باکتری‌ها، تجمع اتیلن و تنش‌های اکسیداتیو است. پژوهش حاضر شامل ۱۳ تیمار از سطوح مختلف ترکیبات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی (سولفات آلومینیوم در سه سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر؛ اسانس چوچاق در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد؛ کلرید کبالت در سه سطح ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات در سه سطح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ و یک شاهد)، در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. عمر گلجای، جذب آب، کاهش وزن تر، محتوای کلروفیل، میزان مالون‌دی‌آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدها، تعداد کلونی‌های باکتری و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تیمار با سولفات آلومینیوم در غلظت‌های ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به طور معنی‌داری عمر گلجای را افزایش داده و از کاهش وزن تر جلوگیری کرد. سولفات آلومینیوم با بهبود جذب آب و حفظ محتوای کلروفیل، به افزایش ماندگاری گل‌ها کمک کرد. اسانس چوچاق به ویژه در غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نیز به دلیل خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی، تأثیر مثبتی بر حفظ کیفیت گل‌ها داشت. یافته‌ای این آزمایش راهکارهای جدیدی را برای صنعت گل‌های زینتی ارائه می‌کند و نشان می‌دهد که استفاده از این ترکیبات می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر برای بهبود عمر پس از برداشت و کیفیت گل‌های شاخه‌بریده مریم مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداسیون لیپیدها، جذب آب، عمر گلجای، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کیفیت گل‌های زینتی

مقدمه

آوندها به دلیل رشد باکتری‌ها، تجمع اتیلن و تنش‌های اکسیداتیو است که منجر به پژمردگی، تغییر رنگ و کاهش جذابیت گل‌ها می‌شود (Nguyen & Ha, 2024). برای مقابله با این چالش‌ها، استفاده از ترکیبات شیمیایی و طبیعی به عنوان روشی مؤثر برای افزایش عمر پس از برداشت و حفظ کیفیت گل‌های شاخه‌بریده مورد توجه قرار گرفته است.

سولفات آلومینیوم با کاهش رشد میکروبی، جلوگیری از رشد باکتری‌ها، کاهش pH محلول گلجای، افزایش جذب آب، تأخیر در پیری و کاهش انسداد آوندهای گل‌های شاخه‌بریده از جمله گل سرخ (Put et al., 1992)، لیسیانثوس (*Eustoma grandiflora*) (Farokhzad et al., 2008) و گل صد تومانی (*Paeonia*) (Nguyen & Lim, 2021) به حفظ شادابی گل‌ها کمک می‌کند. استفاده از سولفات آلومینیوم در محلول گلجای باعث افزایش طول

گل‌های شاخه‌بریده به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زینتی، نقش به سزایی در صنعت گل‌کاری و اقتصاد جهانی ایفا می‌کنند. گل مریم (*Polianthes tuberosa*) از خانواده مارچوبه (*Asparagaceae*)، به دلیل زیبایی چشم‌نواز، عطر دل‌انگیز و نمادین بودن در فرهنگ‌های مختلف، از محبوب‌ترین گل‌های شاخه‌بریده در جهان محسوب می‌شود. با این حال، یکی از چالش‌های اصلی در زمینه گل‌های شاخه‌بریده، کاهش عمر پس از برداشت و افت کیفیت آن‌ها است. این مشکل عمدتاً ناشی از عوامل مختلفی مانند کم‌آبی، انسداد

۱- گروه علوم باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
(*) نویسنده مسئول: (Email: hashemabadi@iau.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.94068.1439>

عمر پس از برداشت برخی گل‌های شاخه‌بریده مانند رز (*Rosa* sp.) (Put et al., 1992; Ichimura et al., 2006; Seyf et al., 2012)، گاردنیا (Çelikel et al., 2020) و لیسیانثوس (Farokhzad et al., 2010; Kiamohammadi et al., 2008) شد.

اسانس‌های گیاهی، محصولات طبیعی و آلی استخراج‌شده از گیاهان معطر و دارویی هستند که دارای خواص مختلف آنتی‌اکسیدانی، ضدباکتریایی و ضدقارچی می‌باشند و می‌توانند از رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها در محلول گلجای جلوگیری کرده و از تخریب سلولی ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) یا رادیکال‌های آزاد جلوگیری کنند (Manfredini et al., 2017; Solgi, 2018; Nguyen & Lim, 2021; El-Sayed & El-Ziat, 2021). در حال حاضر، استفاده از اسانس‌های گیاهی در محلول‌های گلجای گل‌های شاخه‌بریده بسیار مرسوم است. این اسانس‌ها به دلیل دارا بودن مقادیر بالای ترکیبات فنلی مانند اوژنول، کارواکرول و تیمول، آلدئیدها، ترپن‌ها، الکل‌ها و فلاونوئیدها، فعالیت‌های ضد میکروبی قابل توجهی در برابر برخی قارچ‌ها و باکتری‌ها از خود نشان می‌دهند (Solgi et al., 2009; El-Sayed & El-Ziat, 2021). اسانس آویشن (*Thymes*)، عمر گلدانی گل‌های بریده ژربرا (*Gerbera jamesonii*) و آلسترومریا (*Alstroemeria* sp.) را افزایش و آلودگی باکتریایی در انتهای ساقه را کاهش داد (Solgi et al., 2009; Mousavi Bazaz & Tehranifar, 2011). استفاده از چندین اسانس مانند اکالیپتوس (*Eucalyptus*)، دارچین (*Cinnamomum*)، علف لیمو (*Cymbopogon*)، نناع (*Mentha*) و میخک (*Dianthus*)، کیفیت ساقه‌های گل رز را پس از برداشت بهبود بخشید (Manfredini et al., 2017). همچنین عمر گلدانی گل میخک بریده با افزودن تیمول افزایش یافت (Solgi, 2018). اسانس گیاه چوچاق (*Eryngium planum*) از خانواده Apiaceae دارای ترکیبات فعالی مانند ترپن‌ها و فنل‌ها است که خاصیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی دارند (Hosseini et al., 2012). در گل‌های شاخه‌بریده، این اسانس می‌تواند با کاهش تولید اتیلن و کاهش رشد باکتری‌ها در محلول نگهدارنده، از انسداد آوندها جلوگیری کند و جذب آب را بهبود بخشد که در نهایت با حفظ شادابی و کاهش پژمردگی باعث افزایش عمر گلجای می‌شود (Norouzi Khatibi et al., 2012). مطالعات نشان دادند که استفاده از اسانس‌های گیاهی مانند چوچاق در محلول نگهدارنده گل‌های شاخه‌بریده می‌تواند عمر پس از برداشت آن‌ها را افزایش دهد (Norouzi Khatibi et al., 2012).

کلرید کبالت از انسداد آوندی ایجادشده توسط عوامل باکتریایی در ساقه‌ها جلوگیری می‌کند و با حفظ نرخ جریان آب بالا در ساقه‌ها منجر به جذب آب قابل توجه توسط گل‌های بریده می‌شود. این نمک

همچنین به‌عنوان یک ترکیب شیمیایی، با مهار تولید اتیلن و جلوگیری از تجمع آن و کاهش تنفس، می‌تواند عمر گلجای را افزایش دهد (Aslmoshtaghi et al., 2014). اثر مثبت کلرید کبالت روی افزایش عمر گلجای برخی گیاهان زینتی شاخه‌بریده از جمله رز (Aslmoshtaghi et al., 2014)، میخک (Jamali & Rahemi, 2011)، مریم (Mohammadi et al., 2012)، گلابول (*Gladiolus*) (Murali & Reddy, 1993) و داودی (*Chrysanthemum*) (Nabigol et al., 2006) گزارش شد. کلرید کبالت، عمر گلدانی گل شاخه‌بریده داودی را در مقایسه با شاهد پنج تا هفت روز افزایش داد (Nabigol et al., 2006).

۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌عنوان یک ماده ضدباکتری و ضدقارچ، به‌طور گسترده‌ای در صنعت گل‌های شاخه‌بریده برای افزایش عمر گلجای استفاده می‌شود (Rabiza-Swider et al., 2020; Nguyen & Lim, 2021). نمک‌های ۸-هیدروکسی کوئینولین از رشد باکتری‌ها جلوگیری کرده، پیری را به تأخیر انداخته و جذب آب را در گل‌های ژربرا افزایش داد (Nguyen & Lim, 2021). این نمک یک بازدارنده قوی تولید اتیلن و کاهنده سرعت تنفس است (Dung et al., 2017). در گل‌های بریده دندروبیوم (*Dendrobium*) و گلابول، ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات با جلوگیری از رشد میکروبی، کاهش سرعت تنفس و افزایش جذب آب باعث افزایش عمر گلدانی شد (Dung et al., 2017).

با توجه به اهمیت اقتصادی گل‌های شاخه‌بریده و نیاز به توسعه روش‌های مؤثر برای افزایش عمر پس از برداشت، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بر عمر پس از برداشت و کیفیت گل شاخه‌بریده مریم طراحی شد. در این تحقیق، تأثیر این ترکیبات بر شاخص‌هایی مانند عمر گلجای، جذب آب، کاهش وزن تر، محتوای کلروفیل، پراکسیداسیون لیپیدها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مورد ارزیابی قرار گرفت. امید است که نتایج این مطالعه بتواند راهکارهای مؤثری را برای بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری گل‌های شاخه‌بریده ارائه دهد و به توسعه روش‌های نوین در صنعت گل‌کاری کمک کند.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

گل‌های شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*) از یک تولیدکننده تجاری معتبر در استان تهران تهیه شدند. گل‌ها در هنگام صبح و در مرحله تجاری (با یک متر طول و دارای ۲۰-۳۰ جفت گلچه) انتخاب و برداشت شدند. پس از برداشت، به‌منظور یکسان

میزان تبخیر با قرار دادن گلبهای حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در نقاط مختلف اتاق و اندازه‌گیری مقدار کاهش آب در پایان عمر گلجای هر شاخه گل، مقدار تبخیر محاسبه شد.

کاهش وزن تر

با توجه به میزان وزن تر اولیه (W1)، وزن تر نهایی (W2) و وزن بازبرش‌های انجام‌شده (W3) در طی عمر گلجای، مقدار کاهش وزن تر برحسب گرم به‌ازای هر شاخه گل طبق معادله ۲ محاسبه شد.

$$(2) \quad W1 - (W2 + W3) = \text{کاهش وزن تر}$$

درصد ماده خشک

به این منظور، در پایان عمر گلجای، وزن تر گل‌ها اندازه‌گیری شد (FW) و گل‌ها داخل آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید (DW). پس از توزین، مجدداً گل‌ها در آون قرار گرفتند و ۲۴ ساعت بعد توزین شدند. از آنجایی که تغییر وزنی در گل‌های خشک‌شده طی ۲۴ ساعت اول و دوم مشاهده نشد، از قرار دادن گل‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در آون خودداری گردید. به عبارت دیگر، در ۲۴ ساعت اول نمونه‌ها کاملاً خشک شدند. درصد ماده خشک گل‌های شاخه‌بریده با استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید.

$$(3) \quad \frac{DW}{FW} \times 100 = \text{درصد ماده خشک}$$

اندازه‌گیری پروتئین گلبرگ

با رؤیت اولین علائم پژمردگی گل‌های شاهد در اتاق عمر گلجای، یک شاخه از هر پلات خارج شد و گلبرگ‌ها توسط دستگاه خشک‌کن خشک شدند و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری گردید. سپس مقدار پروتئین موجود در گلبرگ‌ها اندازه‌گیری شد (Bradford, 1976). برای عصاره‌گیری، از ۰/۵ گرم بافت گلبرگ استفاده شد. نمونه‌های گلبرگ به بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری منتقل و به مدت ۲۴ ساعت داخل مخلوط اسیدها (۱۰۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک + ۶ گرم اسیدسالسیلیک + ۱۸ میلی‌لیتر آب اکسیژنه) نگهداری شدند. پس از آن، عمل هضم نمونه‌ها تا زمان بی‌رنگ شدن نمونه‌ها انجام شد. نمونه‌های بی‌رنگ‌شده پس از صاف شدن با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. از این نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری نیتروژن به کمک دستگاه کج‌دال استفاده شد. پس از اتمام عمل کج‌دال (تغییر رنگ نمونه‌ها از ارغوانی به زرد)، تیتیر نمونه‌ها با اسیدسولفوریک ۰/۵ نرمال تا زمان ارغوانی شدن نمونه‌ها انجام گردید. سپس از عدد حاصل جهت اندازه‌گیری نیتروژن و سپس پروتئین به کمک معادله‌های ۴ و ۵ استفاده گردید.

$$(4) \quad \text{نیتروژن (درصد)} = 0.56 \times t \times (a - b) \times \frac{V}{W} \times \frac{100}{D.M}$$

کردن طول گل‌ها، همه آن‌ها از فاصله ۶۰ سانتی‌متری و در سمت ساقه بازبرش شدند و بلافاصله برای ارزیابی صفات به آزمایشگاه پس از برداشت دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت منتقل گردید و در آب مقطر قرار داده شدند تا از کم‌آبی جلوگیری شود. برای انجام آزمایش، پنج گل شاخه‌بریده درون هر گلدان پلاستیکی به حجم دو لیتر قرار داده شدند و سپس با غلظت‌های مشخصی از فاکتورهای آزمایشی تیمار گردید.

طرح و تیمارهای آزمایشی

این مطالعه برپایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سولفات آلومینیوم (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، اسانس چوچاق (۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد)، کلرید کبالت (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات (۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بودند. از آب مقطر به‌عنوان شاهد استفاده شد. بنابراین، آزمایش حاضر دارای ۱۲ تیمار، سه تکرار و در هر تکرار پنج شاخه گل و در مجموع ۳۶ پلات آزمایشی بود (شکل ۱). تیمارها به‌صورت دائمی استفاده شدند و هر تیمار براساس ۵۰۰ میلی‌لیتر از حجم گلدان پلاستیکی بود. این آزمایشگاه دارای دمای 21 ± 2 درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد و دوره نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود (Hashemabadi, 2006).

اندازه‌گیری شاخص‌ها

عمر گلجای

عمر گلجای در پایان آزمایش براساس شاخص پژمردگی ظاهری یا پیری برگ و پژمردگی گل در نظر گرفته شد (Nabigol et al., 2006). بنابراین، طول عمر هر یک از چهار شاخه گل موجود در هر گلجای که طول عمرهای متفاوتی داشتند، اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان طول عمر گلجای آن تیمار تلقی گردید (شکل ۱).

جذب محلول

با توجه به حجم اولیه محلول گلجای (۵۰۰ میلی‌لیتر)، حجم باقیمانده محلول گلجای (A) و میزان تبخیر اتاق (B) در پایان آزمایش و وزن تر گل‌ها در روز اول (C)، جذب محلول بر حسب میلی‌گرم در هر گرم وزن تر با استفاده از معادله ۱ به دست آمد (Mohammadi & Hashemabadi, 2016).

$$(1) \quad \text{جذب محلول} = \frac{(A+B)}{C} - 500$$



شکل ۱- اتاق پس از برداشت حاوی گل‌های شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*) قرار داده‌شده در ظروف گلجای پرشده با سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات (A)؛ گل شاخه‌بریده سالم مریم در محلول گلجای (B)؛ گل شاخه‌بریده پژمرده مریم (C)

Figure 1- Postharvest room containing cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flowers put in vase pots filled with aluminum sulfate, *Eryngium* essential oil, cobalt chloride and 8-hydroxyquinoline sulfate (A); healthy cut tuberose flower in vase solution (B); wilted cut tuberose flower (C)

قطره از آب موجود در قطعات مذکور روی صفحه شیشه‌ای رفرتومتر مدل N-1a ساخت شرکت ATAGO ژاپن ریخته شد و درجه بریکس آن قرائت گردید. از تفریق درجه بریکس روز اول و روز آخر، کاهش درجه بریکس محاسبه گردید.

کلروفیل کل برگ

به منظور استخراج رنگیزه کلروفیل، در روز پنجم یک شاخه گل از هر پلات خارج شد و مقدار کلروفیل کل برگ‌ها با استفاده از روش مزمودار و مزمودار (Mazumdar & Majumder, 2003) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۰/۵ گرم از بافت برگ با ۵۰ میلی‌لیتر

که در آن، t: غلظت اسید مصرفی جهت تیتراسیون برحسب مول در لیتر، a: میزان اسید مصرفی جهت نمونه برحسب میلی‌لیتر، b: میزان اسید مصرفی جهت شاهد برحسب میلی‌لیتر، v: حجم عصاره حاصل از عمل هضم برحسب میلی‌لیتر، w: وزن نمونه گیاهی جهت هضم برحسب گرم و D.M: درصد ماده خشک گیاه هستند.

$$(5) \quad 6.25 \times \text{نیترژن} = \text{پروتئین (درصد)}$$

کاهش درجه بریکس

برای اندازه‌گیری درجه بریکس، از بازبرش‌های کوچک انتهایی شاخه‌ها در روز اول و روز آخر عمر گلجای استفاده شد. یک یا دو

انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، شمارش شدند (Liu et al., 2009).

مالون‌دی‌آلدئید (MDA)

با رؤیت اولین علائم پژمردگی گل‌های شاهد در اتاق عمر گلجای، مالون‌دی‌آلدئید اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری پراکسیده شدن لیپیدها، مالون‌دی‌آلدئید به عنوان محصول واکنش پراکسیده شدن اسیدهای چرب غشاء، در تیمارهای گلچین (نانوذرات مس در غلظت پنج میلی‌گرم در لیتر، نیترات مس در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سولفات مس در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) اندازه‌گیری شد (Heath & Parker, 1968). برای اندازه‌گیری مالون دی‌آلدئید، ۰/۵ گرم بافت گلبرگ از شاخه گل جدا و به کمک نیتروژن مایع عصاره‌گیری شد. به عصاره حاصل، یک میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار اضافه شد و به مدت ۲۰ دقیقه نمونه‌ها در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (۱۴۰۰ دور در دقیقه) گردید. محلول رویی نمونه‌ها توسط سمپلر جدا و مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد عمل سانتریفیوژ (۱۰۵۰۰ دور در دقیقه) انجام شد. پس از آن به محلول رویی، ۱۰۰۰ میکرولیتر تری‌کلرواستیک اسید (TCA) ۲۰ درصد و ۰/۵ درصد تیوباربوتیریک اسید (TBA) اضافه گردید. محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه داخل حمام آب جوش (۹۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت و سپس به یخ منتقل شد. پس از این مرحله، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (۱۰۵۰۰ دور در دقیقه) گردید. ماده قرمز رنگ رویی جدا شد و میزان جذب ماده قرمز رنگ MDA - تیوباربوتیک اسید (MDA-TBA) تولید شده به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر و جذب سایر رنگیزه‌های اختصاصی در طول موج ۶۰۰ نانومتر قرائت گردید.

اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز (CAT)

بافت گیاهی در یک بافر مناسب (بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار در اسیدیته ۷) خرد و هموژنیزه شده، سپس سانتریفیوژ گردید تا عصاره شفاف به دست آید. عصاره حاصل به محلول حاوی هیدروژن پراکسید (H_2O_2) ۱۵ میلی‌مولار و EDTA ۰/۵ میلی‌مولار اضافه گردید. کاتالاز، H_2O_2 را به آب و اکسیژن تجزیه می‌کند. کاهش غلظت H_2O_2 به روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان کاهش جذب در واحد زمان نشان‌دهنده فعالیت کاتالاز است و براساس میکرومول H_2O_2 تجزیه شده در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین بیان می‌شود (Abe, 1984).

استون ۸۰ درصد (۸۰ میلی‌لیتر استون و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر) در هاون چینی عصاره‌گیری شد. محلول حاصل با کاغذ صافی واتمن صاف گردید. سپس مقدار رنگیزه کلروفیل به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۰ و ۶۴۳ نانومتر قرائت شد و در انتها مقدار کلروفیل کل برگ برحسب میلی‌گرم در هر گرم وزن تر با کمک معادله ۶ محاسبه گردید.

$$(6) \quad (A660) \times 12/7 - (A643) \times 16/8 = \text{کلروفیل کل}$$

کاروتنوئید گلبرگ

به منظور استخراج رنگیزه کاروتنوئید، در روز پنجم یک شاخه گل از هر پلات خارج شد و رنگیزه کاروتنوئید گلبرگ با استفاده از روش مزومدار و مجومدار (Mazumdar & Majumder, 2003) اندازه‌گیری شد. روز پنجم، اولین علائم پژمردگی در برخی گلبرگ‌ها مشاهده شد، ولی هنوز گل پژمرده محسوب نمی‌شود. بدین منظور، ۰/۵ گرم بافت گلبرگ با ۵۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد (۸۰ میلی‌لیتر استون و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر) در هاون چینی عصاره‌گیری شد. محلول حاصل با کاغذ صافی واتمن صاف گردید. سپس مقدار رنگیزه به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۴۰، ۴۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد و در نهایت مقدار کاروتنوئید گلبرگ (Car.) برحسب میکروگرم در هر گرم وزن تر با کمک معادله ۷ محاسبه گردید.

$$(7) \quad \text{Car.} = 4.69 \times A440 - 0.268 \times (20.2) A645 + (8.02) A663$$

شمارش باکتری انتهای ساقه

برای شمارش جمعیت باکتریایی انتهای ساقه، ۲۴ ساعت پس از تیمار پالس، حدود دو سانتی‌متر (۰/۵ گرم) از ته ساقه بریده شد. نمونه سه مرتبه با آب دیونیزه شسته شد تا بار میکروب سطح آن کاهش یابد. سپس نمونه در هاون چینی کاملاً خرد و له شد و با محلول نرمال سالین ۰/۹ درصد رقیق گردید. مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول روی پتری‌دیش‌های حاوی محیط کشت نوترینت آگار پهن شد و کلنی‌های باکتری ۲۴ ساعت پس از انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد شمارش شدند (Liu et al., 2009).

شمارش باکتری محلول گلجای

برای شمارش جمعیت باکتریایی محلول گلجای، ۲۴ ساعت پس از تیمار پالس، دو میلی‌لیتر از محلول گلجای توسط سرنگ برداشته شد و با دو میلی‌لیتر محلول نرمال سالین ۰/۹ درصد رقیق شد. مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول روی پتری‌دیش‌های حاوی محیط کشت نوترینت آگار پهن گردید و کلنی‌های باکتری ۲۴ ساعت پس از

اندازه‌گیری آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

بدین منظور، با رؤیت اولین علائم پژمردگی گل‌های شاهد در اتاق عمر گلجای، از تیمارهای گلچین، یک شاخه گل خارج گردید و از گلبرگ‌های آن جهت ارزیابی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش اسپکتروفتومتری استفاده شد (Giannopolitis & Ries, 1997). مقدار پنج گرم بافت گلبرگ با نیتروژن مایع آسیاب و به دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شد. سپس ۰/۵ گرم از نمونه منجمدشده با بافر فسفات پتاسیم و پلی وینیل پلی پیرولیدین (PVP) در اسیدپته ۷ رقیق شد. پس از همسان کردن، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (۱۴۰۰۰ دور در دقیقه) گردید. محلول رویی به آرامی برداشته شد و تا زمان اندازه‌گیری فعالیت SOD در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. نمونه‌های شاهد که فاقد آنزیم بودند نیز تهیه شدند. در نهایت، میزان جذب نمونه‌ها برحسب واحد آنزیم در هر گرم وزن تر در دقیقه در طول موج ۵۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ver. 9.2 و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱ و ۲) نشان داد که تیمار با سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده مریم را افزایش داد. اثر تیمارها روی جذب آب، پروتئین گلبرگ، کاروتنوئید گلبرگ، تعداد کلونی‌های باکتری‌ها در انتهای ساقه و آنزیم پراکسیداز و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز گل‌های شاخه‌بریده مریم در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بود. همچنین اثر تیمارها روی کاهش وزن تر، درصد ماده خشک، تعداد کلونی‌های باکتری‌ها در محلول گلجای و مالون‌دی‌آلدئید گل‌های شاخه‌بریده در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار بود. از طرف دیگر، اثر تیمارها روی درجه بریکس و کاهش شاخص کلروفیل گل معنی‌دار نبود.

عمر گلجای

بیشترین عمر گلجای (۱۲ و ۱۱/۵۰ روز)، به‌ترتیب در تیمار سولفات آلومینیوم با غلظت‌های ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد، درحالی‌که شاهد تنها هشت روز عمر گلجای داشت (جدول ۳). کمترین عمر گلجای (۷/۶ روز)، در تیمار ۸-هیدروکسی کوئینولین

سولفات با غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. گل‌های شاخه‌بریده تیمار شده با کلرید کبالت با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، نیز عمر گلجای کمی داشتند. تیمارهای کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری عمر گلجای را در مقایسه با شاهد افزایش دادند (جدول ۳).

جذب آب

بیشترین جذب آب (۱/۶۹، ۱/۶۵ و ۱/۶۳ میلی‌لیتر بر گرم وزن تر) به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم، ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر اسانس چوچاق مشاهده شد. این تیمارها باعث افزایش دو تا سه برابری جذب آب نسبت به برخی تیمارها گردید. کمترین مقدار جذب آب (۰/۶۶ میلی‌لیتر بر گرم وزن تر)، در تیمار کلرید کبالت با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (جدول ۳).

پروتئین گلبرگ

تیمارهای کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری محتوای پروتئین گلبرگ‌ها را در مقایسه با شاهد افزایش دادند. بیشترین محتوای پروتئین گلبرگ‌ها (۳۸/۰۷ درصد) در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم مشاهده شد. این تیمار باعث افزایش حدود ۶۰ درصدی محتوای پروتئین نسبت به شاهد شد. بنابراین، کمترین محتوای پروتئین از گلبرگ‌های گل‌های شاخه‌بریده شاهد استخراج شد (جدول ۳).

درجه بریکس

بیشترین درجه بریکس (۲/۷۸، ۲/۶۵، ۲/۶۳ و ۲/۶۱) به‌ترتیب در تیمارهای کلرید کبالت با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سولفات آلومینیوم با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سولفات آلومینیوم با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. کمترین درجه بریکس (۱/۲۰) از شاهد به دست آمد (جدول ۳).

کاهش وزن تر

کاهش وزن تر در گل‌های تیمار شده با کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود. کمترین کاهش وزن تر (۱۷/۵۳ و ۱۸/۸۸ گرم)، به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیوم مشاهده شد. این تیمار باعث کاهش ۴۵ درصدی کاهش وزن تر نسبت به شاهد گردید. بیشترین کاهش وزن تر (۳۴/۹۳ گرم) در شاهد به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر مقادیر مختلف کاربرد سولفات آلومینیوم، اسانس گیاه چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بر عمر گلجای و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک گل شاخه بریده مریم (*Polianthes tuberosa*)

Table 1- ANOVA for the effect of different concentrations of aluminum sulfate, *Eryngium* essential oil, cobalt chloride and 8-hydroxyquinoline sulfate on vase life and some physiologic parameters of cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flower

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کلونی باکتری محلول گلجا Bacterial colony in vase solution	کلونی باکتری انتهای ساقه Bacterial colony at the end of stem	کاروتنوئید گلبرگ Petal carotenoid	کاهش شاخص کلروفیل Decrease of chlorophyll index	درصد ماده خشک Dry material percentage	کاهش وزن تر Decrease of fresh weight	درجه بریکس °Brix	میزان پروتئین گلبرگ Petal protein content	جذب آب Water uptake	عمر گلجای Vase life
تیمارها Treatments	12	951.3*	302**	0.269**	0.957ns	94.11*	79.9*	0.666ns	56.3**	0.039**	7.11**
خطا Error	26	430.6	102.2	0.001	1.12	77.946	21.4	1.011	0.81	0.011	1.25
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	91.7	68.8	6.91	36.4	26.3	19.0	45.3	2.92	7.18	11.5

ns و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی داری

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

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر مقادیر مختلف کاربرد سولفات آلومینیوم، اسانس گیاه چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بر میزان مالون دی آلدئید و فعالیت پراکسیداز و کاتالاز گل شاخه بریده مریم (*Polianthes tuberosa*)

Table 2- ANOVA for the effect of different concentrations of aluminum sulfate, *Eryngium* essential oil, cobalt chloride and 8-hydroxyquinoline sulfate on the content of MDA and activity of POD and CAT of cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flower

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	آنزیم کاتالاز CAT	آنزیم پراکسیداز POD	مالون دی آلدئید MDA
تیمارها Treatments	4	27.89**	0.011**	12.186*
خطا Error	10	3.73	0.001	5.07
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	31.68	25.22	12.97

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: significant at the probability levels of 5% and 1%, respectively

کاروتنوئید گلبرگ

ماده خشک

تیمارهای کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به طور معنی داری محتوای کاروتنوئید گلبرگ‌ها را در مقایسه با شاهد افزایش دادند. بیشترین محتوای کاروتنوئید گلبرگ‌ها (۰/۹۷ و ۰/۸۵ میکروگرم در هر گرم وزن تر) به ترتیب در تیمارهای سولفات آلومینیوم با غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و اسانس چوچاق با غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر مشاهده شد. این تیمارها باعث افزایش چند برابری محتوای کاروتنوئید گلبرگ‌ها نسبت به شاهد گردید. کمترین محتوای کاروتنوئید گلبرگ‌ها (۰/۰۷ میکروگرم در هر گرم وزن تر) نیز در شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

بیشترین ماده خشک (۴۲/۰۴ و ۴۰/۶۸ درصد) به ترتیب در تیمارهای سولفات آلومینیوم با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر و اسانس چوچاق با غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر به دست آمد. کمترین ماده خشک از شاهد به دست آمد (جدول ۳).

کاهش شاخص کلروفیل

بیشترین (۳/۹۸) و کمترین (۲/۱۳) کاهش شاخص کلروفیل، به ترتیب در تیمارهای ۲۰۰ میلی گرم در لیتر ۸-هیدروکسی کوئینولین و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سولفات آلومینیوم به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۳- تأثیر مقادیر مختلف کاربرد سولفات آلومینیوم، اسانس گیاه چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بر عمر گلجای و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک گل شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*)

Table 3- The effect of different concentrations of aluminum sulfate, *Eryngium* essential oil, cobalt chloride and 8-hydroxyquinoline sulfate on vase life and some physiologic parameters of cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flower

تیمارها Treatments	کلونی بakterی محلول گلجای Bacterial colony in vase solution (Log 10 CFU.ml ⁻¹)	کلونی بakterی انتهای ساقه Bacterial colony at the end of stem (Log 10 CFU.ml ⁻¹)	کاروتنوئید گلبرگ Petal carotenoid (μg.g ⁻¹ F.W.)	کاهش شاخص کلروفیل Decrease of chlorophyll index	ماده خشک Dry material (%)	کاهش وزن تر Decrease of fresh weight (g)	درجه بریکس °Brix	میزان پروتئین گلبرگ Petal protein content (%)	جذب آب Water uptake (ml.g ⁻¹ F.W.)	عمر گلجای Vase life (day)
A ₁	11.33e	12.00d	0.55e	3.21a	42.04a	18.88cd	2.63a	30.10g	1.52a-e	11.50ab
A ₂	11.00e	6.67e	0.97a	2.13a	37.69b	17.53d	2.65a	38.07a	1.69a	12.00a
A ₃	35.00b	13.33d	0.25j	3.57a	32.94bc	26.96a-d	2.13a	28.02m	1.57a-e	9.50b-d
C ₁	19.00d	17.67c	0.27i	3.66a	32.86bc	29.42a-c	2.78a	28.50l	0.66f	8.00de
C ₂	22.00c	15.67c	0.23k	2.86a	27.66d	19.99b-d	2.12a	29.10j	1.53a-e	10.66a-c
C ₃	18.00de	12.67d	0.40g	2.67a	31.61c	27.00a-d	1.95a	31.10d	1.40de	9.00c-e
E ₁	40.00b	32.00a	0.41f	2.40a	34.21bc	25.47a-d	1.99a	30.08h	1.63a-e	9.00c-e
E ₂	13.67e	10.33de	0.65d	2.15a	34.83b	22.36b-d	2.20a	33.10b	1.51a-e	10.50a-c
E ₃	36.67b	24.00b	0.85b	2.99a	40.68a	21.55b-d	1.57a	32.60c	1.42c-e	10.66a-c
H ₁	5.67f	7.67e	0.75c	3.01a	31.04c	30.19ab	2.61a	31.07e	1.58a-e	10.00a-d
H ₂	7.00ef	6.67e	0.35h	3.98a	37.96b	23.29b-d	2.64a	30.75f	1.65a-c	10.66a-c
H ₃	2.00g	4.00f	0.20l	2.29a	32.23c	18.94cd	2.36a	29.83i	1.46b-e	7.16f
شاهد Control	73.00a	33.00a	0.07m	2.89a	27.42d	34.93a	1.20a	29.05k	1.38e	8.00de

حروف مشترک هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد توسط آزمون LSD را نشان می‌دهد.

A₁, A₂ و A₃: به ترتیب سولفات آلومینیوم در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر؛ C₁, C₂ و C₃: به ترتیب کلرید کبالت در غلظت‌های ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ E₁, E₂ و E₃: به ترتیب اسانس چوچاق در غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر؛ H₁, H₂ و H₃: به ترتیب ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر.

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences at 5% probability level by LSD test.

A₁, A₂ and A₃: aluminum sulfate at the concentrations of 50, 100 and 150 mg.L⁻¹, respectively; C₁, C₂ and C₃: cobalt chloride at the concentrations of 200, 300 and 400 mg.L⁻¹, respectively; E₁, E₂ and E₃: *Eryngium* essential oil at the concentrations of 10, 20 and 40 mg.L⁻¹, respectively; H₁, H₂ and H₃: 8-hydroxyquinoline sulfate at the concentrations of 100, 200 and 400 mg.L⁻¹, respectively.

جمعیت باکتری انتهایی ساقه

خود اختصاص دادند. تیمارهای حاوی غلظت‌های مختلف ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بیشترین اثر را روی کاهش تعداد باکتری‌ها داشتند. جدا از این تیمارها، تیمار سولفات آلومینیوم با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش قابل توجه تعداد کلنی‌های باکتری‌ها (۱۱) در محلول گلجای شدند (جدول ۳).

پراکسیداسیون لیپیدها

میزان مالون‌دی‌آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدها در گل‌های شاخه‌بریده تیمار شده با کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات کمتر از شاهد بود. کمترین میزان مالون‌دی‌آلدئید (۱۴/۱۰ نانومول در هر گرم وزن تر) در تیمار ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید. علاوه بر این شاهد دارای بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدئید (۱۸/۹۲ نانومول در هر گرم وزن تر) بود (جدول ۴).

براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳)، شاهد با ۳۳ کلنی در هر میلی‌لیتر، بیشترین جمعیت باکتریایی و تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات با چهار کلنی در هر میلی‌لیتر، کمترین جمعیت باکتریایی در انتهایی ساقه را به خود اختصاص دادند. در مجموع، تیمارهای حاوی غلظت‌های مختلف ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بیشترین اثر را روی کاهش تعداد باکتری‌ها داشتند. جدا از این تیمارها، تیمار سولفات آلومینیوم با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش قابل توجه تعداد کلنی‌های باکتری‌ها (۶/۶۷) در انتهایی ساقه شدند.

جمعیت باکتری محلول گلجای

شاهد با ۷۳ کلنی در هر میلی‌لیتر، بیشترین جمعیت باکتریایی و تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات با دو کلنی در هر میلی‌لیتر، کمترین جمعیت باکتریایی در محلول گلجای را به

جدول ۴- تأثیر مقادیر مختلف کاربرد سولفات آلومینیوم، اسانس گیاه چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات بر میزان مالون‌دی‌آلدهید و فعالیت پراکسیداز و کاتالاز گل شاخه‌بریده مریم (*Polianthes tuberosa*)

Table 4- The effect of different concentrations of aluminum sulfate, *Eryngium* essential oil, cobalt chloride and 8-hydroxyquinoline sulfate on the content of MDA and activity of POD and CAT in cut tuberose (*Polianthes tuberosa*) flower

تیمارها Treatments	آنزیم کاتالاز CAT ($\mu\text{mol.g}^{-1} \text{ F.W.min}^{-1}$)	آنزیم پراکسیداز POD ($\mu\text{mol.g}^{-1} \text{ F.W.}$)	مالون‌دی‌آلدهید MDA ($\text{nmol.g}^{-1} \text{ F.W.}$)
شاهد Control	9.47a	0.07b	18.92a
A ₂	2.53bc	0.11b	18.06ab
C ₂	1.84c	0.19a	16.69ab
H ₂	3.83bc	0.09b	14.10b
E ₂	5.57b	0.20a	18.87a

حروف مشترک هر ستون، عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد توسط آزمون LSD را نشان می‌دهد.

A₂: سولفات آلومینیوم در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ C₂: کلرید کبالت در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ H₂: ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛ E₂: اسانس چوچاق در غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر.

Means followed by the same letter within each column shows no significant differences at 5% probability level by LSD test.

A₂: aluminum sulfate at the concentrations of 100 mg.L⁻¹; C₂: cobalt chloride at the concentrations of 300 mg.L⁻¹; H₂: 8-hydroxyquinoline sulfate at the concentrations 200 mg.L⁻¹; E₂: *Eryngium* essential oil at the concentrations of 20 mg.L⁻¹.

فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD)

فعالیت آنزیم پراکسیداز در گل‌های شاخه‌بریده تیمارشده با تیمارهای منتخب کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. از بین تیمارهای منتخب، تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر اسانس چوچاق با ۰/۲۰ میکرومول در هر گرم وزن تر بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز را داشت که البته نسبت به تیمار کلرید کبالت تفاوت معنی‌داری نداشت. علاوه‌بر این شاهد با ۰/۰۷ میکرومول بر هر گرم وزن تر، کمترین فعالیت این آنزیم را به خود اختصاص داد (جدول ۴).

فعالیت آنزیم کاتالاز

فعالیت آنزیم کاتالاز در گل‌های شاخه‌بریده تیمارشده با تیمارهای منتخب کلرید کبالت، سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود. از بین تیمارهای منتخب، شاهد با ۹/۴۷ میکرومول در هر گرم وزن تر در دقیقه بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز را داشت. تیمار کلرید کبالت با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر با ۱/۸۴ میکرومول در هر گرم وزن تر در دقیقه، کمترین فعالیت این آنزیم را به خود اختصاص داد (جدول ۴).

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌طور معنی‌داری عمر پس از برداشت و کیفیت گل‌های شاخه‌بریده

مریم را بهبود بخشید. این بهبود به‌ویژه در تیمارهای سولفات آلومینیوم بیشترین تأثیر را داشت. سولفات آلومینیوم، علاوه‌بر خاصیت ضد میکروبی، با بهبود جذب آب (مانعت از کاهش وزن تر) و حفظ محتوای کلروفیل، به افزایش ماندگاری گل‌ها کمک کرد. استفاده از غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اسانس چوچاق نیز تأثیر مثبتی بر حفظ کیفیت گل‌ها داشت. اسانس چوچاق همانند اغلب اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهان دارویی به‌دلیل داشتن خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی، نقش مؤثری در این ارتباط داشت. ۸-هیدروکسی کوئینولین در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اثر مناسبی روی عمر گلجای داشت، اما استفاده از بالاترین غلظت آن (۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در محلول گلجای مناسب نبود و حتی عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده را نسبت به شاهد نیز کمتر کرد. دو غلظت از سه غلظت کاربردی کلرید کبالت (۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) برای افزایش عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده مناسب نبودند.

سولفات آلومینیوم می‌تواند تا حدی تولید اتیلن و فرآیند تنفس را در گیاهان شاخه‌بریده کاهش دهد، اما سازوکار اثر آن به‌طور مستقیم مرتبط با مهار اتیلن نیست. در عوض، این ترکیب بیشتر به‌عنوان یک ماده ضد میکروبی و کاهنده pH عمل می‌کند که به‌طور غیرمستقیم بر طول عمر گل‌های شاخه‌بریده تأثیر می‌گذارد (Nguyen & Lim, 2021). در pH پایین‌تر، حباب‌های هوا (امبولی) و مواد موسیلاژی کمتری در آوندها تشکیل می‌شود، بنابراین عملکرد سیستم آوندی بهبود می‌یابد (Hassanpour Asil et al., 2004). سولفات آلومینیوم در آب باعث اسیدی شدن محیط می‌شود که از رشد ریزجانداران مسدودکننده آوندها جلوگیری می‌کند (Nguyen & Lim, 2021). این میکروب‌ها با مسدود کردن آوندها، جذب آب را مختل می‌کنند.

سولفات آلومینیوم با کاهش اسیدیته گلبرگ‌های گل شاخه‌بریده رز باعث تثبیت رنگدانه‌های آنتوسیانین شد و عمر گلدانی را افزایش داد (Hassanpour Asil et al., 2004).

در پژوهش حاضر، کاربرد اسانس چوچاق نسبت به شاهد موجب بهبود عمر گلجای شد. اثر مثبت اسانس‌های مختلف گیاهی بر افزایش عمر پس از برداشت گیاهان زینتی مختلف گزارش شده است (Manfredini et al., 2017; Banjaw et al., 2017; Solgi, 2018; Nguyen & Lim, 2021; El-Sayed & El-Ziat, 2021). اثر مثبت اسانس آویشن بر افزایش عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده لیسپانتوس (Pourianejad et al., 2014; Bayat et al., 2013)، نرگس ژربرا (Narcissus) (Sardoei et al., 2014)، داودی (Hashemi et al., 2016; Hashemabadi et al., 2015; Bidarigh, 2013; Nermeen et al., 2016) و میخک (Babarabie et al., 2016) و اسانس رزماری بر میخک (Basiri et al., 2011) و اسانس‌های رزماری و نعنای بر آلسترومریا (Babarabie et al., 2015) گزارش شده است. اسانس‌های گیاهی، طول عمر گلدانی گل‌های مریم (Saini et al., 1994)، ژربرا (Solgi et al., 2009)، گلابول (Hegazi & Gan, 2009) و میخک (Bayat et al., 2011) را افزایش دادند. گزارش‌های زیادی در ارتباط با اثر اسانس چوچاق بر عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده وجود ندارد. تأثیر مثبت اسانس چوچاق روی افزایش عمر گلجای داودی گزارش شد (Norouzi Khatibi et al., 2012). اسانس‌ها با دارا بودن خاصیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش بار میکروبی در محلول گلجای و ته ساقه می‌شوند. این ترکیبات همچنین موجب کاهش تولید اتیلن (هورمون پیری) می‌شوند (Solgi, 2018).

در پژوهش حاضر، ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات در غلظت‌های متوسط اثر مناسبی روی افزایش عمر گلجای داشت، اما استفاده از بالاترین غلظت آن (۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) مناسب نبود و حتی عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده را نسبت به شاهد نیز کمتر کرد. ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات به‌عنوان یک ماده ضد عفونی‌کننده، عمر گلجای برخی گل‌های شاخه‌بریده مانند گل صد تومانی (Rabiza-Świder et al., 2020)، دندروبیوم و گلابول (Dung et al., 2017) را افزایش داد. افزایش عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده تیمار شده با نمک‌های ۸-هیدروکسی کوئینولین به‌دلیل نقش این نمک‌ها در ممانعت از رشد باکتری‌ها، افزایش جذب آب، تأخیر در پیری، بازدارندگی از تولید اتیلن و کاهش سرعت تنفس است (Dung et al., 2017; Nguyen & Lim, 2021).

این امر به حفظ جریان آب و مواد مغذی در ساقه کمک کرده و از پژمردگی زودرس جلوگیری می‌کند (Liao et al., 2001). در پژوهش حاضر، اثر مثبت سولفات آلومینیوم روی کاهش تعداد کلونی باکتری انتهای ساقه و محلول گلجای نشان داده شد. این ماده با حفظ سلامت بافت‌های گیاهی، میزان تنفس سلولی را کاهش می‌دهد، زیرا گیاه تحت تنش کمتری قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، با حفظ جریان آب و مواد مغذی، گیاه انرژی کمتری صرف مقابله با تنش کم‌آبی می‌کند، بنابراین سرعت تنفس سلولی کاهش یافته و فرآیند پیری کندتر می‌شود (Hassanpour Asil et al., 2004). برخی مطالعات نشان دادند که آلومینیوم ممکن است به‌صورت محدود، پراکسیداسیون لیپیدها در غشای سلولی را کاهش دهد (البته این اثر بستگی به غلظت دارد) (Fan et al., 2022). در پژوهش حاضر، سولفات آلومینیوم نسبت به شاهد، پراکسیداسیون لیپیدها را کاهش نداد. یون آلومینیوم ممکن است طی تعامل با دیواره سلولی، استحکام بافت‌ها را افزایش دهد و از پژمردگی زودرس جلوگیری کند (Li et al., 2022). غلظت‌های بالای سولفات آلومینیوم می‌تواند سمیت سلولی ایجاد کند و اثر معکوس داشته باشد. در پژوهش حاضر، بالاترین غلظت مورد استفاده سولفات آلومینیوم اثر قابل توجهی روی افزایش عمر گلجای نداشت. سولفات آلومینیوم در غلظت ۲۰۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، اسیدیته آب را به ۴/۵ کاهش داد و رشد باکتری‌های عامل انسداد آوندها (مثل *Pseudomonas* spp.) را مهار کرد (Li et al., 2022). گل‌های تیمار شده با سولفات آلومینیوم کاهش معنی‌داری در تولید اتیلن (تا ۳۰ درصد نسبت به شاهد) نشان دادند. این ترکیب با حفظ یکپارچگی غشای سلولی، از نشت الکترولیت‌ها و پراکسیداسیون لیپیدها جلوگیری کرد (Li et al., 2022). مطالعه روی گل‌های شاخه‌بریده رز، گل صد تومانی (*Eustoma grandiflorum*) و گلابول نشان داد که سولفات آلومینیوم از طریق کاهش رشد میکروبی، پیشگیری رشد باکتریایی و افزایش جذب آب، پیری را به تأخیر انداخت و عمر گلجای این گل‌ها را افزایش داد (Seyf et al., 2012; Nguyen & Lim, 2021). محلول‌های گلجای حاوی یک نگهدارنده تجاری گل، یا ترکیب اسیدسیتریک، سوکروز و سولفات آلومینیوم، عمر گلجای گل‌های شاخه‌بریده گاردنیا و لیسپانتوس را حدود دو برابر گل‌های شاهد (نگهداری شده در آب مقطر) افزایش دادند (Farokhzad et al., 2008; Kiamohammadi et al., 2020; Çelikel et al., 2010). سولفات آلومینیوم به‌عنوان یک ترکیب مؤثر برای حفظ طول عمر گلدانی چندین نوع گل بریده توصیه شده است (Seyf et al., 2012; Çelikel et al., 2020; Nguyen & Lim, 2021) و در محلول‌های نگهدارنده تجاری به‌عنوان ماده ضد میکروبی استفاده می‌شود (Seyf et al., 2012).

کاهش میزان مالون دی آلدئید در گل های تیمار شده با سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات نشان دهنده کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب غشای سلولی است. این اثر می تواند به دلیل فعالیت آنتی اکسیدانی این ترکیبات و توانایی آن ها در خنثی سازی رادیکال های آزاد باشد (El-Sayed & El-Ziat, 2021). این نتایج با مطالعاتی که نشان داده اند ترکیبات حاوی کبالت، آلومینیوم و اسانس های گیاهی می توانند از تخریب غشای سلولی جلوگیری کنند، مطابقت دارد.

افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در گل های تیمار شده با سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات نشان دهنده تقویت سیستم دفاع آنتی اکسیدانی گیاه است. این آنزیم نقش کلیدی در خنثی سازی رادیکال های آزاد و کاهش تنش اکسیداتیو دارد (El-Sayed & El-Ziat, 2021). این یافته با مطالعاتی که نشان داده اند اسانس های گیاهی و ترکیبات حاوی آلومینیوم و کبالت می توانند فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی را افزایش دهند، هم خوانی دارد. کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در گل های شاخه بریده مریم که با سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات تیمار شده اند، می تواند به دلایل کاهش تولید ROS، اثر بازدارندگی مستقیم این ترکیبات بر فعالیت آنزیم، تغییر در سیگنال دهی هورمونی یا متابولیسم و کاهش پیری و تنش اکسیداتیو باشد (El-Sayed & El-Ziat, 2021). کاتالاز آنزیمی است که هیدروژن پراکسید (H_2O_2) را به آب و اکسیژن تجزیه می کند. اگر این ترکیبات با مهار تنفس یا کاهش تنش اکسیداتیو، تولید H_2O_2 و سایر ROS ها را کاهش دهند، فعالیت کاتالاز نیز به عنوان یک پاسخ تطبیقی کم می شود (Banjaw et al., 2017). یون های فلزی (آلومینیوم و کبالت) می توانند با جایگزینی در جایگاه فعال آنزیم یا ایجاد تغییرات ساختاری، فعالیت کاتالاز را کاهش دهند. اسانس ها ممکن است بر مسیرهای سیگنالینگ مرتبط با پیری گل تأثیر بگذارند و متابولیسم آنزیم های آنتی اکسیدانی مانند کاتالاز را تغییر دهند. در نهایت، اگر این ترکیبات به حفظ یکپارچگی غشای سلولی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها کمک کنند، نیاز به فعالیت آنتی اکسیدانی (از جمله کاتالاز) کاهش می یابد (Banjaw et al., 2017).

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان می دهد که استفاده از سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات می تواند به عنوان یک روش مؤثر برای بهبود عمر پس از برداشت و کیفیت گل های شاخه بریده مریم مورد استفاده قرار گیرد. این ترکیبات

بهبود جذب آب و کاهش وزن تر در گل های تیمار شده با همه غلظت های سولفات آلومینیوم و برخی غلظت های اسانس چوچاق و یک غلظت ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات می تواند به دلیل اثرات مثبت این ترکیبات بر حفظ یکپارچگی غشای سلولی و کاهش تخریب سلولی باشد. این نتایج با مطالعاتی که نشان داده اند ترکیبات حاوی آلومینیوم می توانند جذب آب را در گیاهان بهبود بخشند، مطابقت دارد (Nguyen & Lim, 2021). اسانس چوچاق نیز به دلیل خواص ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی، از تخریب سلولی جلوگیری کرده و جذب آب را بهبود می بخشد. در لیسیانئوس همه تیمارهای اسانس های گیاهی وزن تر نسبی بیشتری نسبت به شاهد داشتند (Bayat et al., 2013). استفاده از ترکیبات ضد میکروبی مانند اسانس ها با جلوگیری از رشد باکتری ها و تشکیل انسداد آوندی، هدایت آب را بهبود می بخشد (Bayat et al., 2013).

در پژوهش حاضر، همه تیمارها باعث تحریک بیشتر تولید ماده خشک و پروتئین نسبت به شاهد شدند. افزایش مقدار پروتئین گلبرگ و ماده خشک در گل های شاخه بریده مریم که با ترکیبات سولفات آلومینیوم، اسانس چوچاق، کلرید کبالت و ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات تیمار شده اند، می تواند به دلایل کاهش تنفس، ممانعت از تخریب پروتئین ها توسط آنزیم های پروتئولیتیک (مانند پروتئازها)، ممانعت از فعالیت عوامل فساد باکتریایی، حفظ یکپارچگی غشای پلاسمایی و کاهش اتلاف آب (با تقویت ساختار دیواره سلولی و کاهش نشت یونی و در نتیجه حفظ تورژسانس سلولی)، اثر ضداتیلنی و تأخیر در پیری (مانند تأخیر در تجزیه پروتئین ها و کلروفیل)، افزایش فعالیت آنزیم های سنتز پروتئین و کاهش تنش اکسیداتیو و حفظ مواد آلی (با جلوگیری از تخریب ماکرومولکول هایی مانند پروتئین ها و کربوهیدرات ها با کاهش گونه های فعال اکسیژن (ROS)) باشد (El-Sayed & El-Ziat, 2021).

افزایش محتوای کلروفیل در گل های تیمار شده با سولفات آلومینیوم و اسانس چوچاق می تواند به دلیل اثرات آنتی اکسیدانی این ترکیبات باشد. سولفات آلومینیوم با کاهش تنش های اکسیداتیو، از تخریب کلروفیل جلوگیری می کند. این یافته با مطالعاتی که نشان داده اند ترکیبات حاوی آلومینیوم می توانند محتوای کلروفیل را در گیاهان حفظ کنند، هم خوانی دارد (Hassanpour Asil et al., 2004). اسانس چوچاق نیز به دلیل خواص آنتی اکسیدانی، از تخریب کلروفیل ناشی از تولید رادیکال های آزاد جلوگیری می کند. دو غلظت کلرید کبالت و دو غلظت ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات نیز مانع از کاهش شاخص کلروفیل شدند. این دو ترکیب نیز خواص آنتی اکسیدانی و آنتی میکروبی دارند.

روش‌های نوین در این زمینه کمک کنند. استفاده از ترکیبات طبیعی (مانند اسانس چوچاق) و مواد شیمیایی کم‌خطر (مثل سولفات آلومینیوم) به‌عنوان جایگزین‌های پایدار برای مواد سنتزی در صنعت گل‌های شاخه‌بریده، با هدف بهبود ماندگاری، کاهش آلودگی‌های میکروبی و افزایش مقاومت به تنش‌های پس از برداشت، می‌تواند زمینه‌ساز تحقیقات بیشتر روی بهینه‌سازی دزها، ترکیبات هیبریدی و سازوکارهای مولکولی باشد. توسعه این روش‌ها می‌تواند به کاهش ضایعات گل‌ها و افزایش صادرات کمک کند. استفاده از نانوفناوری در رهایش ترکیبات و اسانس‌های گیاهی ترکیبی نیز حائز اهمیت است.

با جلوگیری از رشد باکتری‌ها، بهبود جذب آب، حفظ محتوای کلروفیل، کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، به افزایش ماندگاری و کیفیت گل‌ها کمک می‌کنند. در مجموع، تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سولفات آلومینیوم به‌طور معنی‌داری عمر گلجای را افزایش داد و با بهبود جذب آب و حفظ محتوای کلروفیل، به افزایش ماندگاری گل‌ها کمک کرد. این تیمار به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار برای افزایش عمر گلجای پیشنهاد می‌شود. اسانس چوچاق نیز به‌دلیل خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی، تأثیر مثبتی بر حفظ کیفیت گل‌ها داشت. این یافته‌ها می‌توانند راهکارهای جدیدی را برای صنعت گل‌های زینتی ارائه دهند و به توسعه

References

1. Abey, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods of Enzymology*, 105, 121-126. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3)
2. Aslmoshtaghi, E., Jafari, M., & Rahemi, M. (2014). Effects of daffodil flowers and cobalt chloride on vase life of cut rose. *Journal of Chemical Health Risks*, 4(2), 1-6.
3. Babarabie, M., Zarei, H., & Varasteh, F. (2015). The effect of rosemary essential oils and thymol on vase life and some physiological characteristics of alstroemeria cut flowers. *International Journal of Agriculture and Bioscience*, 4(3), 122-126.
4. Babarabie, M., Zarei, H., & Varasteh, F. (2016). Potential of increasing the vase life and improvement of some physiological characteristics of *Alstroemeria* cut flowers by using non-harmful compounds environmentally. *Journal of Chemical Health Risks*, 6(1), 1-8.
5. Banjaw, D. T., Lemma, D. T., & Megersa, H. G. (2017). Review on effect of essential oil on vase life of cut flowers. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 7(11), 25-28.
6. Basiri, Y., Zarei, H., Mashayekhy, K., & Pahlavany, M. H. (2011). Effect of rosemary extract on vase life and some qualitative characteristics of cut carnation flowers (*Dianthus caryophyllus* cv. 'White Librity'). *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 2(14), 261-265.
7. Bayat, H., Azizi, M., Shoor, M., & Mardani, H. (2011). Effect of ethanol and essential oils on extending vase-life of carnation cut flower (*Dianthus caryophyllus* cv. 'Yellow Candy'). *Notulae Scientia Biologicae*, 3(4), 100-104. <https://doi.org/10.15835/nsb346266>
8. Bayat, H., Geimadil, R., & Abdollahi Saadabad, A. (2013). Treatment with essential oils extends the vase life of cut flowers of lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). *Journal of Medicinal Plants and By-products*, 2, 163-169. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2013.108590>
9. Bidarigh, S. (2015). Improvement vase life of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* L.) cut flowers using essential oils of geranium, eucalyptus and myrtus. *Journal of Ornamental Plants*, 5(4), 213-221.
10. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dyebinding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
11. Çelikel, F. G., Reid, M. S., & Jiang, C. Z. (2020). Postharvest physiology of cut *Gardenia jasminoides* flowers. *Scientia Horticulturae*, 261, 108983. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108983>
12. Dareini, H., Abdosi, V., & Danaee, E. (2014). Effect of some essential oils on postharvest quality and vase life of gerbera cut flowers. *European Journal of Experimental Biology*, 4(3), 276-280.
13. Dung, C. D., Seaton, K., & Singh, Z. (2017). Influence of type and concentration of sugars, supplemented with 8-hydroxyquinoline sulphate, on the vase life of waxflower. *Folia Horticulturae*, 29(1), 39-49. <https://doi.org/10.1515/fhort-2017-0005>
14. El-Sayed, I. M., & El-Ziat, R. A. (2021). Utilization of environmentally friendly essential oils on enhancing the postharvest characteristics of *Chrysanthemum morifolium* Ramat cut flowers. *Heliyon*, 7, e05909. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05909>
15. Fan, K. C., Xu, J., Khaldun, A. B. M., Chen, Y., Chen, L., & Yan, X. (2022). Physiological effects induced by aluminium and fluoride stress in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 231, 113192. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113192>

16. Farokhzad, A. R., Khalighi, A., Mostofi, Y., & Naderi, R. (2008). Effect of some chemical treatments on quality and vase life of lisianthus (*Eustoma grandiflora*) cut flowers. *Acta Horticulturae*, 768, 479-486. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.768.64>
17. Giannopolitis, C., & Ries, S. (1997). Superoxid desmutase. I: Occurence in higher plant. *Plant Physiology*, 59, 309-314. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>
18. Hashemabadi, D. (2006). Evaluation of the effect of 1-MCP on vase life of cut carnation cv. 'Tempo' flower. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran, 131 p. (In Persian)
19. Hashemabadi, D., Abedini-Aboksari, H., Sedaghatoor, S., & Kaviani, B. (2016). Geranium (*Pelargonium graveolens*) extract and mechanical treatment improve water relation, enzyme activity and longevity of cut chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura) flowers. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 15(5), 185-203.
20. Hashemi, M., Mirdehghan, S. H., & Farahmand, H. (2013). The effects of thymol, menthol and eugenol on quality and vase-life of chrysanthemum cut flowers. *Iran Agricultural Research*, 32(2), 55-70. <https://doi.org/10.22099/iar.2014.2005>
21. Hassanpour Asil, M., Hatamzadeh, A., & Nakhai, F. (2004). Study on the effect of temperature and various chemical treatments to increase vase life of cut rose flower "Baccara". *Agricultural Science Research Journal of Guilan Agriculture Faculty*, 1(4), 121-129. (In Persian)
22. Heath, R. L., & Parker, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stiochiometry of fatty acid peroxidation. *Archive of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
23. Hegazi, M. A., & Gan, E. (2009). Influences of some essential oils on the vase-life of *Gladiolus hybrida* L. spikes. *International Journal for Agro Veterinary and Medical Science*, 3, 19-24. <https://doi.org/10.5455/ijavms.20101124115729>
24. Hosseini, N., Akbari, M., Ghafarzadegan, R., Changizi Ashtiyani, S., & Shahmohammadi, R. (2012). Total phenol, antioxidant and antibacterial activity of the essential oil and extracts of *Ferulago angulata* spp. *Journal of Medicinal Plants*, 11(43), 80-89. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2717204.2012.11.43.9.9>
25. Ichimura, K., Taguchi, M., & Norikoshi, R. (2006). Extension of the vase life in cut roses by treatment with glucose, isothiazolinonic germicide, citric acid and aluminum sulphate solution. *Japan Agrictural Research Quarterly*, 40, 263-269. <https://doi.org/10.6090/jarq.40.263>
26. Jamali, B., & Rahemi, M. (2011). Carnation flowers senescence as influenced by nickel, cobalt and silicon. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 5(15), 147-152.
27. Kiamohammadi, M., Golchin, A., & Hashemabadi, D. (2010). The effects of different floral preservative solutions on keeping quality of cut lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). *Acta Horticulturae*, 877, 1749-1755. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.877.240>
28. Li, W., Ullah, S., Xu, Y., Bai, T., Ye, S., Jiang, W., & Yang, M. (2022). Effects of elevated aluminum concentration and distribution on root damage, cell wall polysaccharides, and nutrient uptake in different tolerant *Eucalyptus* clones. *International Journal of Molecular Science*, 23, 13438. <https://doi.org/10.3390/ijms232113438>
29. Liao, L. J., Lin, Y. H., Huang, K. L., & Chen, W. Sh. (2001). Vase life of *Eustoma grandiflorum* as affected by aluminum sulfate. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 42, 35-38.
30. Liu, J., He, S., Zhang, Z., Cao, J., Lv, P., He, S., Cheng, G., & Joyce, D. C. (2009). Nano-silver pulse treatments inhibit stem-end bacteria on cut gerbera cv. Ruikou flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 54(1), 59-62. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.05.004>
31. Manfredini, M. G., Paiva, P. D. O., Almeida, E. F. A. A., Nascimento, A. M. P., Sales, T. S. S., & Santos, L. O. (2017). Postharvest quality of essential oil treated roses. *Ornamental Horticulture*, 23(2), 192-199. <http://dx.doi.org/10.14295/oh.v23i2.993>
32. Mazumdar, B. C., & Majumder, K. (2003) Methods on Physicochemical Analysis of Fruits. University College of Agriculture, Calcutta University. 187 p.
33. Mohammadi, M., Hashemabadi, D., & Kaviani, B. (2012). Effect of cobalt chloride on vase life and post-harvest quality of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). *European Journal of Experimental Biology*, 2(6), 2130-2133.
34. Mohammadi, R., & Hashemabadi, D. (2016). Improvement postharvest longevity of alstroemeria (*Alstroemeria hybrida*) by sucrose, honey and citric acid. *Plant Ecophysiology*, 204-218. (In Persian).
35. Mousavi Bazaz, A., & Tehranifar, A. (2011). Effect of ethanol, methanol and essential oils as novel agents to improve vase-life of *Alstroemeria* flowers. *Journal of Biology and Environmental Science*, 5(14), 41-46.
36. Murali, T. P., & Reddy, T. V. (1993). Postharvest life of gladiolus as influenced by sucrose and metal salts. *Acta Horticulturae*, 343, 313-320. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.343.76>

37. Nabigol, A., Naderi, R., Babalar, M., & Kafi, M. (2006). The effect of some chemical treatments and cold storage on the vase life of chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*). *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 37(4), 801-809. (In Persian)
38. Nahrabadi, L. K., Rood, N., Danyaei, A., Babarabie, M., & Shadbash, M. (2015). The effect of *Eucalyptus* and *Rosa damascena* essences with sucrose on vase life and physiological characteristics of cut Gerbera cv. 'Alain Ducasse'. *Journal of Ornamental Plants*, 5(4), 205-212.
39. Nermeen, S. T., Emara, Kh. S., & Olfat, B. S. (2010). Prolonging vase life of carnation flowers using natural essential oils and its impact on microbial profile of vase solutions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(8), 3559-3574.
40. Nguyen, T., & Ha, S. (2024). The potential postharvest treatments to delay flower senescence and improve *Botrytis* resistance in cut peony flowers. *Horticulturae*, 10, 1352. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10121352>
41. Nguyen, T. K., & Lim, J. H. (2021). Do eco-friendly floral preservative solutions prolong vase life better than chemical solutions? *Horticulturae*, 7, 415. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100415>
42. Norouzi Khatibi, M., Hashemabadi, D., & Shafiei, M. R. (2012). Improvement of vase life and postharvest quality of cut chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* L.) flower using *Eryngium* essential oil. 3th Congress on Agricultural Science and Food Industries, Fasa, Iran. (In Persian)
43. Pourianejad, F., Hasanzadeh, N., & Kalatejarei, S. (2014). The effect of herbal essential oil in preservative solution, on quantitative, vase life, bacteria-induced stem xylem blockage of lisianthus var. Echo. *Agrivita Journal of Agricultural Science*, 36(2), 174-181. <http://dx.doi.org/10.17503/Agrivita-2014-36-2-p174-181>
44. Put, H. M. C., Clerckx, A. C. M., & Boeckstein, A. (1992). Aluminium sulphate restricts migration of *Bacillus subtilis* in xylem of cut roses: A scanning electron microscope study. *Scientia Horticulturae*, 51(3-4), 261-274. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(92\)90124-U](https://doi.org/10.1016/0304-4238(92)90124-U)
45. Rabiza-Swider, J., Skutnik, E., Jedrzejuk, A., & Rochala-Wojciechowska, J. (2020). Nanosilver and sucrose delay the senescence of cut snapdragon flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 165, 111165. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111165>
46. Saini, R. S., Yamdaqni, R., & Sharma, S. K. (1994). Effect of some chemicals on keeping quality and vase life of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cut flowers. *Pakistan Journal of Society Science*, 42, 376-378.
47. Sardoei, A. S., Mohammadi, G. A., & Shahdadneghad, M. (2014). Interaction effect of temperature and thyme essential oil on vase life of cut narcissus flowers. *European Journal of Experimental Biology*, 4(2), 82-87.
48. Seyf, M., Khalighi, A., Mostofi, Y., & Naderi, R. (2012). Effect of sodium nitroprusside on vase life and postharvest quality of a cut rose cultivar (*Rosa hybrida* 'Utopia'). *Journal of Agricultural Science*, 4, 174-181. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n12p174>
49. Solgi, M. (2018). The application of new environmentally friendly compounds on postharvest characteristics of cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). *Brazilian Journal of Botany*, 41(3), 515-522. <https://doi.org/10.1007/s40415-018-0464-x>
50. Solgi, M., Kafi, M. T., Taghavi, S., & Naderi, R. (2009). Essential oils and silver nanoparticles (SNP) as novel agents to extend vase-life of gerbera (*Gerbera jamesonii* cv. 'Dune') flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 53, 155-158. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.04.003>