



Effect of Titanium Dioxide Nanoparticles on Morphophysiological Characteristics of Cut Rose Flowers

Hamid Soleymani¹, Masoud Arghavani^{2✉}, Mitra Aelaei³

1. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: gh.a.soleymani@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: arghavani@znu.ac.ir
3. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: maelaei@znu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Extending the vase life of cut flowers and maintaining their quality is a major challenge for florists in the flower trade worldwide. In order to study the effect of pre-harvest application of titanium dioxide nanoparticles on some morphological, physiological and biochemical characteristics of the cut rose cultivar 'Classic Cezanne' a factorial experiment in the form of a completely randomized design with three replications was conducted during the year 2021. Titanium dioxide nanoparticles (0, 5 and 10 mg L ⁻¹) were sprayed on the flowers two months before harvest (once every 10 days and a total of 6 times). Some morphophysiological traits were evaluated at intervals of 0, 4, 8 and 12 days after harvesting. The results showed that titanium dioxide nanoparticles improved all the tested traits. Flowers treated with 0 (control), 5 and 10 mg L ⁻¹ titanium dioxide nanoparticles had flower diameters of 40.3, 47 and 48.6, respectively. Applying the 10 mg L ⁻¹ titanium dioxide nanoparticles increased the shelf life of flowers by 4 days compared to the control; in the other words, the shelf life increased to 12 days. Titanium dioxide nanoparticles also increased the relative amount of absorbed solution and decreased the amount of ion leakage. Meanwhile, total protein, peroxidase enzyme, superoxide dismutase enzyme and catalase enzyme increased under applied concentrations of titanium dioxide nanoparticles. Based on the results of this study, the effect of the concentration of 10 mg L ⁻¹ on improving the post harvest traits of rose cut flowers was more effective than 5 mg L ⁻¹ .
Article history: Received: 23 May 2022 Received in revised form: 19 September 2022 Accepted: 12 November 2022 Published online: Winter 2024	
Keywords: <i>Antioxidant enzymes,</i> <i>Nanoparticle,</i> <i>Postharvest life,</i> <i>Xylem occlusion.</i>	

Cite this article: Soleymani, H., Arghavani, M. & Aelaei, M. (2024). Effect of Titanium Dioxide Nanoparticles on Morphophysiological Characteristics of Cut Rose Flowers. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55 (4), 597-612. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2022.342518.2025>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2022.342518.2025>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Roses are among the most significant ornamental flowers in the global floriculture industry, particularly prized as cut flowers due to their beauty, fragrance, and commercial value. However, one of the persistent challenges faced by producers and distributors is the decline in post-harvest quality, primarily due to improper storage and handling conditions after harvesting. This deterioration can result in substantial economic losses and reduced customer satisfaction. As a result, there has been growing interest in identifying substances and methods that can enhance the post-harvest quality and shelf life of cut flowers. In recent years, nanotechnology has emerged as a powerful tool in agricultural and horticultural sciences. Nanoparticles, materials with dimensions less than 100 nanometers, have demonstrated unique physicochemical properties that can be exploited to improve plant growth, resistance to stress, and post-harvest performance. Titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles, in particular, have garnered considerable attention due to their high stability, photocatalytic activity, and role in enhancing physiological responses in plants. These nanoparticles have been shown to influence various biochemical and morphological traits, making them a potential candidate for improving the

quality and longevity of cut flowers. In the present study, the pre-harvest foliar application of titanium dioxide nanoparticles was evaluated for its effects on the morpho-physiological characteristics and vase life of rose cut flowers (cultivar: Classic Cezanne). The objective was to determine whether TiO₂ nanoparticles could enhance post-harvest quality traits and extend the freshness of cut roses.

Materials and methods

This research was conducted during the 2021 growing season in a commercial rose greenhouse located in Nazarabad city, Alborz province, Iran. Titanium dioxide nanoparticles were applied at three different concentrations: 0 mg·L⁻¹ (control), 5 mg·L⁻¹, and 10 mg·L⁻¹. The nanoparticles were sprayed onto rose bushes at ten-day intervals starting two months prior to the harvest date. The goal of this pre-harvest application was to allow sufficient time for physiological responses to develop. Following harvest, the flowers were carefully transported to the laboratory for evaluation. Several morpho-physiological and biochemical parameters were measured on days 0, 4, 8, and 12 of vase life. These traits included vase life duration, flower diameter, fresh weight, uptake of vase solution, total soluble solids (TSS), electrolyte leakage, petal anthocyanin content, total protein content, and levels of malondialdehyde (MDA), a marker of oxidative stress and membrane damage. Additionally, the activity levels of two important antioxidant enzymes, peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD), were measured as indicators of the plant's defense response. The experimental design followed a factorial arrangement based on a completely randomized design (CRD), with three replications for each treatment. Data were analyzed statistically using analysis of variance (ANOVA), and significant differences between means were determined using Duncan's multiple range test at the 1% probability level.

Results and Discussion

The analysis of variance showed that titanium dioxide nanoparticle treatments had a significant effect ($p < 0.01$) on the majority of traits related to post-harvest quality. Notably, the 10 mg·L⁻¹ TiO₂ treatment resulted in the longest vase life, averaging 12 days, compared to only 7 days in the control group. This suggests that TiO₂ nanoparticles play a role in delaying senescence and maintaining flower freshness. In terms of morphological characteristics, the flowers treated with 10 mg·L⁻¹ of TiO₂ nanoparticles exhibited a 35.7% increase in flower diameter and a 20.4% increase in fresh weight compared to the control. These improvements likely reflect better water status, cellular turgor, and metabolic activity in treated plants. Additionally, the uptake of vase solution increased by 35% in the 10 mg·L⁻¹ treatment group, indicating enhanced water transport and reduced xylem blockage, common causes of early wilting in cut flowers. The higher uptake rates are likely correlated with the increased activity of antioxidant enzymes, which can protect vascular tissues from oxidative damage. From a biochemical perspective, the total protein content and superoxide dismutase activity were significantly elevated in flowers treated with titanium dioxide nanoparticles. SOD activity increased by 1.36%, reflecting improved stress tolerance and detoxification of reactive oxygen species (ROS). Meanwhile, MDA content was reduced, signaling decreased membrane lipid peroxidation and better cell membrane stability. These results support the hypothesis that titanium dioxide nanoparticles activate protective physiological pathways, enhancing the flower's ability to maintain quality during post-harvest storage. The observed improvements in both structural and biochemical attributes suggest that TiO₂ nanoparticles help preserve freshness by promoting water balance, delaying senescence, and boosting internal defense mechanisms.

Conclusion

The findings of this study demonstrate that pre-harvest foliar application of titanium dioxide nanoparticles, particularly at a concentration of 10 mg·L⁻¹, can significantly improve the post-harvest quality of rose cut flowers. This treatment extended vase life, enhanced flower diameter and fresh weight, improved water uptake, and strengthened the plant's antioxidant defense system. The increase in total protein and superoxide dismutase activity, along with the reduction in malondialdehyde levels, indicates a clear improvement in stress resistance and physiological stability. Overall, the application of TiO₂ nanoparticles appears to be an effective, non-toxic, and practical approach to enhance the market value and shelf life of cut roses. These results offer a promising strategy for commercial rose producers seeking to improve flower quality and reduce post-harvest losses. Further research could explore the underlying molecular mechanisms and evaluate the efficacy of TiO₂ nanoparticles under different environmental conditions and in other flower cultivars.



تأثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گل شاخه بریده رز

حمید سلیمانی^۱ | مسعود ارغوانی^۲ | میترا اعلائی^۳

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: gh.a.soleymani@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: arghavani@znu.ac.ir

۳. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: maelaei@znu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله:</p> <p>مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۲</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۱</p> <p>تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۳</p>	<p>افزایش عمر گل‌های شاخه بریده و حفظ کیفیت آنها چالش اصلی گل‌فروشان در تجارت گل در سراسر جهان است. به منظور بررسی تأثیر کاربرد پیش از برداشت نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پس از برداشت گل رز شاخه بریده رقم 'کلاسیک سزان' آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ اجرا گردید. نانوذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت‌های صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، دو ماه پیش از برداشت (هر ۱۰ روز یکبار و در مجموع ۶ بار) روی گل‌ها محلول پاشی گردید. پس از برداشت گل‌ها، ویژگی‌های موردنظر در فاصله‌های صفر، ۴، ۸ و ۱۲ روز مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم باعث بهبود تمام صفات مورد آزمایش گردید. گل‌های تیمار شده با نانوذرات دی اکسید تیتانیوم با غلظت صفر (شاهد)، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در پیش از برداشت به ترتیب دارای قطر گل ۴۰/۳، ۴۷ و ۴۸/۶ میلی‌متر بودند. تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم باعث ۴ روز افزایش در عمر گلجایی نسبت به شاهد گردید و عمر گلجایی به ۱۲ روز افزایش یافت. تیمار با نانوذرات دی اکسید تیتانیوم باعث افزایش میزان نسبی محلول جذب شده و کاهش میزان نشت یونی گردید. همچنین، پروتئین کل، و آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسوتاز تحت تیمار نانوذرات دی اکسید تیتانیوم افزایش یافتند. بر اساس نتایج، غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر در بهبود صفات پس از برداشت گل رز شاخه بریده موثرتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر بود.</p>
<p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، انسداد آوندی، عمر پس از برداشت، نانو ذرات.</p>	

استناد: سلیمانی، حمید؛ ارغوانی، مسعود و اعلائی، میترا (۱۴۰۳). تأثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گل شاخه بریده رز. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۵

(۴)، ۵۹۷-۶۱۲. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2022.342518.2025>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2022.342518.2025>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

افزایش عمر گل‌های شاخه بریده و حفظ کیفیت آن‌ها چالش اصلی گل‌فروشان در تجارت گل در سراسر جهان است (Yagi *et al.*, 2014). گل رز یک گل شاخه بریده جذاب است که به دلیل کاهش کیفیت آن در زمان نگهداری پس از برداشت، عمر گلدانی کوتاهی دارد (Hasanzadeh *et al.*, 2021). گل رز تقاضای زیادی در بین دوستداران گل دارد، اما ارزش تجاری آن به دلیل کم‌آبی زود هنگام محدود است. در گل‌های شاخه بریده انسداد ساقه عمدتاً به دلیل گرفتگی آوندها (Van Ieperen *et al.*, 2002) و تکثیر میکروارگانیسم‌ها همراه با باقیمانده آنها در محلول گلدان است (He *et al.*, 2011). مسدود شدن مسیرهای آوندی توسط باکتری‌ها در گل شاخه بریده رز باعث کاهش عمر گلدانی می‌شود (Van, 2001). دانشمندان مختلف دریافته‌اند که استفاده قبل یا پس از برداشت افزودنی‌های شیمیایی موثر بر کیفیت گل و رابطه آب گل رز شاخه بریده می‌تواند عمر گلدانی آن را بهبود بخشد (Ichimura *et al.*, 2005). ترکیبات ضد میکروبی متعددی مانند نیترات نقره، سولفات آلومینیوم و ۸-هیدروکسی کینولین برای افزایش طول عمر گل رزهای بریده استفاده می‌شود (Rezvanypour & Osfoori, 2011).

امروزه استفاده از محلول‌های مناسب به منظور افزایش طول عمر پس از برداشت بسیار افزایش یافته است (Langroudi *et al.*, 2019). در میان تمام روش‌ها، فناوری نانو به خوبی شناخته شده و به طور گسترده‌ای موثر است. نانو تکنولوژی همچنین برای تصفیه آب در زمینه پزشکی استفاده می‌شود (Chen & Schluesener, 2008). به طور کلی نانو ذرات به موادی اطلاق می‌گردد که ابعاد آن‌ها بین ۱ الی ۱۰۰ نانومتر باشد (Zahedi *et al.*, 2020). اخیراً به صورت گسترده‌ای از نانوذرات در کشاورزی (فرمولاسیون کودها و آفت‌کش‌ها) استفاده می‌گردد (Ghidan & Al Antary, 2019). ترکیبات در مقیاس نانو، ویژگی‌های متفاوتی نسبت به شکل معمولی نشان می‌دهند زیرا گذر از میکرو ذرات به نانو ذرات، منجر به افزایش نسبت سطح به حجم و ورود اندازه ذره به قلمرو اثرات کوانتومی می‌شود. افزایش نسبت سطح به حجم که به تدریج با کاهش اندازه ذره رخ می‌دهد، باعث افزایش فعالیت ذرات و در نتیجه افزایش اثرگذاری آنها می‌شود (Miller & Senjen, 2008). گیاهان با استفاده از دیواره سلولی مانع ورود مواد خارجی به گیاه می‌شوند و این درحالی است که نانوذرات به دلیل سایز کوچک خود می‌توانند به راحتی از راه کرک‌ها و روزنه‌ها وارد سلول‌های گیاهی شوند (Kamiab *et al.*, 2017). پژوهش و توسعه در زمینه دانش نانو فناوری طی چند سال اخیر به سرعت در حال رشد است. نانوذرات فلزات یکی از زیربخش‌های مهم و کاربردی نانو فناوری است (Dubey *et al.*, 2010).

پیشینه پژوهش

بسیاری از محققان نقش نانوذرات را در افزایش عمر پس از برداشت گل‌های مختلف شاخه بریده شده مانند گل‌های ژربرا، گلایول و گل رز نشان داده‌اند (Rafi & Ramezani, 2013; Li *et al.*, 2017; Hassan *et al.*, 2014). تیمار پالسی با نانوذرات اکسید منیزیم باعث حفظ کیفیت پس از برداشت گل‌های نیلوفر بریده شده، افزایش جذب آب، تاخیر در کاهش وزن تر، سرکوب تولید اتیلن و کاهش سیاه شدن گلبرگ در جوانه های گل بریده شده است (Sunpapao *et al.*, 2019). کاربرد هم‌زمان نانوذرات نقره و کلسیم بر روی گل آلستروم‌ریا باعث افزایش عمر گلجایی آن گردید (Samadzadeh & Kamiab, 2017). کاربرد نانو کلات کلسیم باعث افزایش میزان کلروفیل و کلسیم بافت ساقه گل‌دهنده و همچنین باعث کاهش نشت یونی در گیاه ژربرا گردید (Moallaye Mazraei *et al.*, 2020).

تیمار نانوذرات کلسیم بر گل ژربرا ابتدا میزان قطر گل افزایش و سپس کاهش یافت و به طور کلی گل‌های تیمار شده توانایی بیشتری در حفظ تورژانس خود داشتند (García-González *et al.*, 2022). گزارش شده است که اضافه کردن نانوذرات نقره به محلول گلدانی گل رز شاخه بریده با محدود کردن رشد باکتری‌ها باعث جلوگیری از انسداد انتهای ساقه می‌گردد (Li *et al.*, 2017). همچنین عمر گل گاردنیا را تا ۸ روز (Shafiee-Masoule *et al.*, 2018) و ژربرا را تا ۴/۵ روز افزایش می‌دهد (Ahmad *et al.*, 2016). در تحقیقی اضافه کردن نانوذرات نقره با غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر در محلول غذایی گل مریم باعث

کاهش میزان نشت یونی گردید (Beni et al., 2013). کاربرد نانوذرات نقره روی گل های آلسترومیا باعث حفظ کلروفیل و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز برای جلوگیری از استرس اکسیداتیو شد (Langroudi et al., 2019). تحقیقات نشان داده است که استفاده از نانوذرات نقره در محلول نگه داری به غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر باعث کاهش خمش گل رز و پراکسیداسیون لیپیدی می گردد (Hajizade et al., 2012). در تحقیقی دیگر اضافه کردن نانوذرات نقره به محلول گلدانی یاسمین باعث حفظ تعادل آب، وزن تازه و تاخیر در پژمردگی گردید (Lin et al., 2019). کاربرد نانوذراتی مانند دی اکسید تیتانیوم (Mohammadi et al., 2013)، نانو ذرات نقره (Yan & Chen, 2019) و نانوذرات نقره و کلسیم (Samadzadeh & Kamiab, 2017) باعث بهبود عمر پس از برداشت محصولات مختلف از جمله گل ها شده است.

دی اکسید تیتانیوم (TiO₂) یک ماده با قابلیت فوتوکاتالیستی است که برای تجزیه آنتین استفاده می شود و در سال های اخیر به عنوان یک فناوری پس از برداشت مورد مطالعه قرار گرفته است (Fonseca et al., 2021). میزان تاثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر عملکرد گیاهان در درجه اول به خواص فیزیکی نانوذرات، مانند اندازه، شکل، وزن و ترکیب شیمیایی آنها بستگی دارد (Bollella et al., 2017). نانوذرات دی اکسید تیتانیوم با کاهش نشت یونی و حفظ غشاء سلولی می تواند خسارت تنش های محیطی به گیاه را کاهش دهند (Mohammadi et al., 2013). در گزارشی دیگر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم باعث بالا رفتن میزان آنزیم های کاتالاز و پراکسیداز در غلظت های بالا گردید (Laware & Raskar, 2014). همچنین، نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر صفات زراعی و فعالیت آنتی اکسیدانسی را در گیاه تحت تنش شوری بادرشو (*Dracocephalum moldavica* L.) افزایش داد (Gohari et al., 2020). در حضور نور، نانوذرات TiO₂ باعث ایجاد رادیکال های آزاد هیدروکسیل و سوپراکسید با واکنش شیمیایی می شوند که به سلول های باکتری آسیب می رسانند. این فرآیند فوتوکاتالیستی تا زمانی که نور با انرژی کافی در دسترس باشد ادامه می یابد. گرچه نانوذرات TiO₂ دارای خواص ضد میکروبی هستند، اما استفاده از نسخه های مختلف ترکیبی از TiO₂ با روی، نقره و مس می تواند خواص عملکردی را افزایش دهد (Colon et al., 2006). تحقیقات نشان دهنده پتانسیل ضد میکروبی نانوذرات TiO₂ روی باکتری ها، قارچ ها و ویروس ها است (Wu et al., 2010). در پژوهشی مشخص شد که محلول پاشی ماکرو ذرات TiO₂ اثر ضدباکتریایی در برابر بیماری باکتریایی شمعدانی ناشی از *Xanthomonas hortorum* pv. *pelargonii* و لکه برگ باکتریایی *poinsettia* ناشی از *Xanthomonas axonopodis* pv. *poinsettiicola* دارد (Norman & Chen, 2011). پژوهش های پیشین نشان داده است که فوتوکاتالیست های TiO₂ دارای فعالیت ضد قارچی و پتانسیل بهبود عملکرد در بسیاری از محصولات هستند (Owolade & Ogunletii., 2008). با توجه به تاثیرات مفید نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در کنترل تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ساختار سلول ها در گیاهان مختلف، در این پژوهش اثر تیمارهای نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به صورت محلول پاشی بر برخی خصوصیات کیفی و عمر گلجایی گل های رز شاخه بریده رقم 'کلاسیک سزان' مورد مطالعه قرار گرفت.

روش شناسی پژوهشی

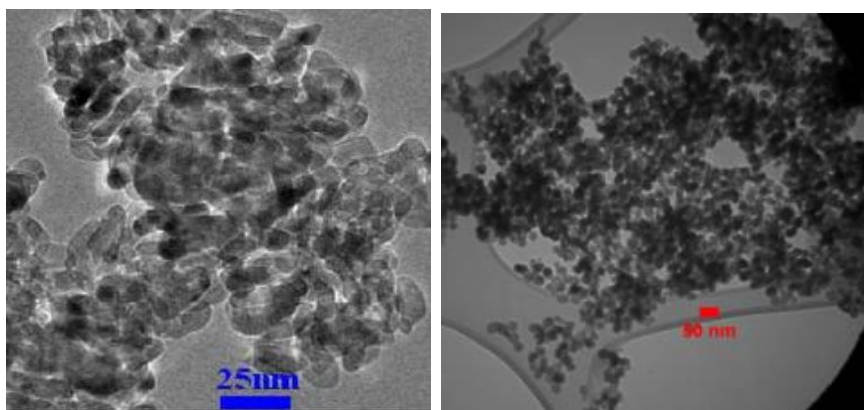
این پژوهش در یک گلخانه تجاری تولید گل رز رقم 'کلاسیک سزان' در شهرستان نظرآباد استان البرز با دمای روزانه ۲۲-۲۵ و دمای شبانه ۲۰-۱۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۵-۶۰ درصد اجرا شد. بستر کشت شامل مخلوط کوکوپیت: پرلیت (۴۰:۶۰) بود و گیاهان با محلول غذایی هوگلند تغذیه شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اول تیمار نانوذرات تیتانیوم و فاکتور دوم زمان های نمونه گیری (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ روز پس از برداشت) بود. تیمار نانوذرات تیتانیوم (محصول شرکت فاین نانو) به صورت محلول پاشی و در سه غلظت صفر (شاهد: محلول پاشی با آب مقطر)، ۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر از دو ماه پیش از برداشت هر ۱۰ روز یکبار و در مجموع ۶ بار اعمال شد. تصویر نانوذرات به وسیله دستگاه میکروسکوپ الکترونی (TEM) تهیه شد (شکل ۱). گل ها در مرحله بلوغ طبیعی (زمانی که کاسبرگ ها شروع

به خم شدن به سمت پایین نمودند) برداشت شدند (Ichimura *et al.*, 2005). نمونه‌های سالم و یکنواخت از بین آنها انتخاب شد و بعد از انتقال به آزمایشگاه در زیر آب انتهایی آن‌ها بریده و هم ارتفاع (۵۰ سانتی‌متر) گردیدند و درون آب مقطر قرار داده شدند. سپس شاخه‌ها بعد از توزین توسط ترازوی دیجیتالی، درون ۹ ظرف شیشه‌ای (برای هر روز نمونه برداری ۳ گل شاخه بریده) حاوی ۳ درصد ساکارز قرار گرفتند. نمونه‌ها (۱۰۸ گل شاخه بریده) در محیط آزمایشگاه با دمای ۲۳ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰ درصد و شدت نور ۱۲ میکرومول در متر مربع در ثانیه با استفاده از لامپ‌های مهتابی تحت طول روز ۱۲ ساعت نگهداری شدند و در فواصل زمانی صفر، ۴، ۸ و ۱۲ روز بعد از برداشت تحت ارزیابی قرار گرفتند. صفات قطر گل، وزن تر نسبی شاخه گل‌ها، میزان نسبی محلول جذب شده، مواد جامد محلول، میزان نشت یونی، عمر گلجایی، میزان آنتوسیانین گلبرگ، پروتئین کل، مالون دی آلدهاید، آنزیم پراکسیداز و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مورد بررسی قرار گرفت. قطر گل توسط کولیس و وزن تر نسبی شاخه گل‌ها توسط ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری گردید (Rezaei & Ismaili, 2014). میانگین جذب روزانه محلول گلجایی در تمام روزهای آزمایش به روش He *et al.* (2012) محاسبه گردید. مقدار مواد جامد محلول ساقه در ناحیه گردن گل با استفاده از دستگاه رفاکتومتر دستی (مدل ATC-1e) در دمای اتاق و برحسب درجه بریکس محاسبه گردید (Koushesh Saba & Nazari, 2017). به منظور اندازه‌گیری میزان نشت یونی قطعاتی با ضخامت یکسان (وزن یک گرم) از دو قسمت گلبرگ‌ها و انتهایی شاخه (قسمت داخل آب) در روزهای مختلف توسط پانچ دستی برداشته و با استفاده از رابطه ۱ میزان نشت یونی محاسبه گردید (Imani, 2011).

رابطه ۱) درصد نشت یونی = نشت یونی اولیه/نشت یونی ثانویه × ۱۰۰

عمر گلجایی، از زمانی که گل‌ها در داخل محلول قرار داده شدند (روز صفر) تا زمان پژمردگی گلبرگ به میزان ۶۰ درصد و خمیدگی گردن گل بیشتر از ۹۰ درجه در نظر گرفته شد (Chamani *et al.*, 2005). جهت اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین-ها، ۰/۱ گرم گلبرگ تازه در ۱۰ میلی‌لیتر محلول متانول اسیدی شامل الکل متیلیک و اسید کلریدریک (۹۹:۱) به خوبی ساییده شد و عصاره حاصل سانتریفیوژ گردید. جذب نوری محلول رویی پس از یک شب نگه‌داری در تاریکی در طول موج ۵۵۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Wagner, 1979). در نهایت غلظت آنتوسیانین برحسب میکرومول بر گرم وزن تازه محاسبه گردید. استخراج پروتئین کل بر اساس روش Bradford (1976) با کمی تغییر صورت گرفت. دما در تمامی مراحل استخراج ۱ ± ۵ درجه سلسیوس بود (استخراج بر روی یخ انجام شد). میزان پراکسید شدن لیپیدها با استفاده از اندازه‌گیری غلظت مالون دی آلدهاید (MDA) به عنوان محصول واکنش پراکسید شدن اسیدهای چرب محاسبه شد (Stewart & Beweley., 1980). فعالیت آنزیم پراکسیداز (EC 1.11.1.7) از طریق اندازه‌گیری میزان افزایش جذب ناشی از تشکیل تتراکایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد و فعالیت ویژه آنزیم پراکسیداز به صورت واحد بر میلی‌گرم پروتئین ثبت شد (Chance & Maehly, 1955). برای سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز سه میلی‌لیتر مخلوط واکنش دارای بافر فسفات پتاسیم (۵۰ میلی‌مولار با pH=۷)، متیونین ۰/۱۳ مولار، EDTA ۰/۰۱ میلی‌مولار و ریبوفالوین دو میکرومولار بود و پس از آن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن اضافه شد و پس از ۱۵ دقیقه نمونه‌ها در تاریکی مطلق نگهداری و جذب آن‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر قرائت شد (مخلوط واکنش نگهداری شده در تاریکی به‌عنوان بلانک استفاده شد) فعالیت این آنزیم بر حسب واحد آنزیمی در کیلوگرم وزن تر محاسبه و گزارش گردید (Shabaniyan *et al.*, 2018).

آنالیز داده‌ها. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۳ و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Word و Excel انجام شد. به منظور مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.



شکل ۱. تصویر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با استفاده از میکروسکوپ الکترونی TEM

نتایج

نتایج تجزیه واریانس اثر نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر صفات مورد بررسی نشان داد که اثر متقابل تیمار نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و زمان بررسی بر میزان سوپراکسید دیسموتاز در سطح پنج درصد و بر سایر صفات در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس کاربرد نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر برخی ویژگی های کیفی گل های رز در پس از برداشت

میانگین مربعات				نشست یونی	درجه آزادی	منابع تغییرات
قطر گل	وزن تازه	محلول جذب شده	مواد جامد محلول			
ns ۱۹/۰	ns ۵۸/۰	ns ۰۰۱/۰	ns ۰۳/۰	ns ۰۳/۰	۲	تکرار
** ۶۹/۱۶۲۲	** ۳/۳۱۰	** ۰۱/۰	** ۲۸/۰	** ۵۲/۷۴۴	۲	نانوذرات تیتانیوم
** ۹۱/۹۳۰	** ۹۱/۱۹۵۰	** ۸۹/۰	** ۵۷/۱۰	** ۱۳/۳۸۹۳	۳	روز
** ۲۵/۹۷	** ۱۱/۷۱	** ۰۰۳/۰	** ۲۱/۰	** ۶۳/۲۱۰	۶	نانوذرات تیتانیوم × روز
۶۴/۰	۱۵/۰	۰۰۰۰۶/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۲۲	خطا
۳/۱	۴۳/۰	۵۲/۰	۴۸/۲	۴۸/۰		ضریب تغییرات (درصد)

ns: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی دار.

ادامه جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس کاربرد نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر برخی ویژگی های کیفی گل های رز در پس از برداشت

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییرات
آنتوسیانین گلبرگ	پروتئین کل	مالون دی-آلدهاید	پروکسیداز	سوپراکسید دسموتاز		
ns ۰۰۴/۰	ns ۱۱/۰	ns ۰۱/۰	ns ۰۰۸/۰	ns ۱۱/۰	۲	تکرار
** ۹۸/۰	** ۴۴/۴۰	** ۳۹/۳	** ۰۳/۰	* ۱۹/۰	۲	نانوذرات تیتانیوم
** ۷۸/۱	** ۷/۴۰۴	** ۸۷/۲۵	** ۲۶/۰	** ۴/۶۹	۳	روز
** ۰۴/۰	** ۳/۵	** ۵۱/۰	** ۰۰۲/۰	* ۲۶/۰	۶	نانوذرات تیتانیوم × روز
۰۰۲/۰	۱۷/۰	۰۰۲/۰	۰۰۵/۰	۰۸/۰	۲۲	خطا
۵/۱	۳۷/۳	۲۱/۱	۱۲/۴	۱۹/۱		ضریب تغییرات (درصد)

ns: به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم تفاوت معنی دار.

اثر تیمارهای آزمایش بر قطر گل‌های بریده رز در پس از برداشت

نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم قطر گل در همه روزهای نمونه برداری افزایش داشت. بیشترین قطر گل در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده شد. با گذشت زمان قطر گل در تمام تیمارها افزایش و در روز دوازدهم نمونه‌برداری کاهش یافت. بزرگترین گل‌ها (با قطر ۸۲/۶ میلی‌متر) در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و در روز هشتم مشاهده شد.

اثر تیمارهای آزمایش بر وزن تر نسبی شاخه گل‌ها و میزان نسبی محلول جذب شده گل‌های بریده رز در پس از برداشت

نتایج نشان داد که در روز چهارم نمونه برداری میزان وزن تر نسبی شاخه گل‌ها در هر سه غلظت نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم نسبت به شاهد افزایش داشت اما در روزهای بعد کاهش یافت. بیشترین میزان افزایش وزن تر نسبی شاخه گل‌ها در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و پس از آن تیمار ۵ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در روز چهارم مشاهده گردید. همچنین، نتایج نشان داد که میزان نسبی محلول جذب شده با گذر زمان تا هشت روز افزایش یافت ولی در روز دوازدهم با کاهش همراه بود. بیشترین مقدار صفت میزان نسبی محلول جذب شده در روز چهارم و هشتم و در تیمار نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به غلظت ۱۰ میلی‌گرم مشاهده شد. در روز دوازدهم گل‌های تیمار شده با ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم میزان نسبی محلول جذب شده ۰/۶۱ میلی‌لیتر بر گرم در روز بود در حالی که گل‌های شاهد ۰/۵ میلی‌لیتر بر گرم در روز بود که ۰/۱۱ میلی‌لیتر بر گرم در روز اختلاف نشان داشتند (جدول ۳).

اثر تیمارهای آزمایش بر مواد جامد محلول گل‌های بریده رز در پس از برداشت

در روز نخست نمونه‌های تیمار شده با نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم دارای بیشترین مواد جامد محلول بودند و بیشترین میزان مواد جامد محلول در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده گردید. با گذشت زمان در روز چهارم میزان مواد جامد محلول در تمام تیمارها و شاهد افزایش یافت و بین غلظت‌های مختلف تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. در روز هشتم و دوازدهم مواد جامد محلول کاهش یافت. هشت روز پس از برداشت، مواد جامد محلول تحت تاثیر نانو ذرات قرار نگرفت اما در روز دوازدهم در گل‌های تیمار شده با ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم ۰/۴ درجه بریکس نسبت به گل‌های شاهد افزایش داشت.

اثر تیمارهای آزمایش بر میزان نشت یونی گل‌های بریده رز در پس از برداشت

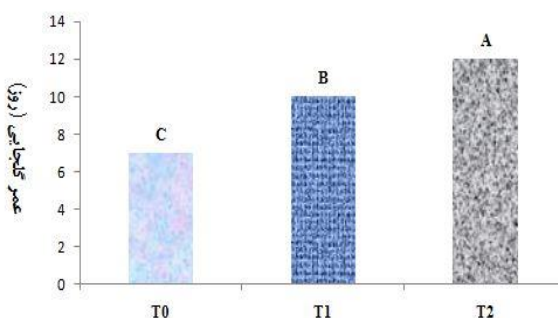
کمترین میزان نشت یونی در روز اول نمونه برداری و در نمونه‌های تیمار شده با نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. با گذشت زمان میزان نشت یونی در تمام تیمارها افزایش یافت. همچنین، نتایج نشان داد که استفاده قبل از برداشت نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند سبب کاهش نشت یونی در گل‌هایی با عمر بیشتر شود به طوری که در روز دوازدهم اختلاف میزان نشت یونی در گل‌های تیمار شده با ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم با گل‌های شاهد ۳۳ درصد بود (جدول ۳).

اثر تیمارهای آزمایش بر عمر گلجایی گل‌های بریده رز در پس از برداشت

نتایج نشان داد که تیمار پیش از برداشت نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث افزایش عمر گلجایی می‌گردد و بهترین نتیجه در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده گردید (جدول ۲ و شکل ۲).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس کاربرد پیش از برداشت نانوذرات تیتانیوم بر عمر گلجایی گل های رز در پس از برداشت

میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
عمر گلجایی		
ns ۱۱/۰	۲	تکرار
** ۷۷/۱۶	۲	نانوذرات تیتانیوم
۱۱/۰	۴	خطا
۸۹/۳		ضریب تغییرات (درصد)



شکل ۲. اثر تیمارهای آزمایش بر عمر گلجایی گل های بریده رز (منبع: یافته های تحقیق).

زمان های نمونه برداری: D0 = روز اول، D4 = روز چهارم، D8 = روز هشتم، D12 = روز دوازدهم؛ غلظت های مختلف نانوذرات دی-اکسید تیتانیوم: T0 = صفر میلی گرم بر لیتر، T1 = ۵ میلی گرم بر لیتر و T2 = ۱۰ میلی گرم بر لیتر

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر تاثیر کاربرد پیش از برداشت نانوذرات تیتانیوم بر برخی ویژگی های کیفی گل های رز در پس از برداشت

تیمارها	سوپراکسید دیسموتاز (میکرومول بر گرم وزن در دقیقه)	پروکسیداز (میکرومول بر گرم وزن در دقیقه)	مالون دی-الدهاید (میکرومول بر گرم وزن در دقیقه)	پروتئین کل (میلی گرم وزن تر)	آنتوسیانین گلبرگ (میلی گرم وزن تر)	نشست یونی (درصد)	مواد جامد محلول (بریکس)	قطر گل (میلی متر)	وزن تازه (درصد)	محلول جذب شده (میلی لیتر بر گرم در روز)
T0D0	d _{۲۲}	c _{۳/۰}	i _{۱/۲}	a _{۳/۲۰}	e _{۸/۲}	i _{۱۲}	f _۵	j _{۳/۴۰}	d _{۱۰۰}	i _۰
T1D0	d _{۲۲}	c _{۳/۰}	i _{۱/۲}	a _{۲۰}	d _۳	k _{۶/۱۰}	e _{۶/۵}	i _{۴۷}	d _{۱۰۰}	i _۰
T2D0	bc _{۳۳/۲۲}	c _{۳/۰}	i _{۱/۲}	a _{۳/۲۰}	d _۳	j _{۱۱}	d _۶	gh _{۶/۴۸}	d _{۱۰۰}	i _۰
T0D4	a _{۲۸}	b _{۵۶/۰}	f _{۲/۴}	c _{۱۲}	e _{۱۳/۳}	g _{۲۵}	a _{۲/۸}	f _{۵۴}	c _{۳/۱۰۲}	c _{۶۵/۰}
T1D4	a _{۲۸}	b _{۶/۰}	g _{۶/۳}	b _{۱۷}	a _{۷۶/۳}	h _{۲۳}	a _۸	e _{۶۳}	b _{۶/۱۰۴}	b _{۶۸/۰}
T2D4	a _{۲۸}	b _{۶/۰}	h _{۴/۳}	b _{۳/۱۷}	b _{۶۳/۳}	h _{۲۳}	a _۸	b _{۷۷}	a _{۱۰۷}	a _{۷/۰}
T0D8	b _{۲۳}	a _{۷/۰}	b _{۱/۶}	e _{۳/۴}	g _{۵/۲}	b _{۶۰}	b _۷	g _{۶/۴۹}	h _{۷۸}	f _{۵۸/۰}
T1D8	b _{۲۳}	a _{۷/۰}	d _{۱/۵}	d _۸	c _{۱۶/۳}	e _{۴۰}	b _۷	c _{۷۱}	r _{۸۸}	d _{۶۳/۰}
T2D8	bc _{۶/۲۲}	a _{۷/۰}	e _{۶/۴}	d _{۳/۸}	e _{۲/۳}	f _{۳۸}	b _{۰۳/۷}	a _{۶/۸۲}	e _{۹۳}	a _{۷/۰}
T0D12	b _{۲۳}	b _{۶/۰}	a _۷	e _۴	h _{۰۶/۲}	a _{۷۷}	d _۶	hi _{۴۸}	j _{۶۰}	h _{۵/۰}
T1D12	d _{۲۲}	b _{۶/۰}	c _{۷/۵}	d _{۶/۷}	f _{۶/۲}	c _{۵۰}	c _{۵/۲/۶}	d _{۶۷}	i _{۳/۷۶}	g _{۵۵/۰}
T2D12	bc _{۳/۲۲}	a _{۷/۰}	d _{۱/۵}	d _۸	f _{۶/۲}	d _{۴۴}	c _{۴/۶}	b _{۷۶}	g _{۶/۷۹}	e _{۶۱/۰}

در هر ستون مقادیر میانگین های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی دار می باشد. زمان های نمونه برداری: D0 = روز اول، D4 = روز چهارم، D8 = روز هشتم، D12 = روز دوازدهم؛ غلظت های مختلف نانوذرات دی-اکسید تیتانیوم: T0 = صفر میلی گرم بر لیتر، T1 = ۵ میلی گرم بر لیتر و T2 = ۱۰ میلی گرم بر لیتر

اثر تیمارهای آزمایش بر میزان آنتوسیانین گلبرگ گل‌های بریده رز در پس از برداشت

نتایج نشان داد که کاربرد پیش از برداشت نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سبب افزایش میزان آنتوسیانین گلبرگ شد. بیشترین میزان این ترکیبات در روز چهارم پس از برداشت و در غلظت ۵ میلی گرم در گرم وزن تر مشاهده شد. در روز دوازدهم نیز بیشترین میزان آنتوسیانین متعلق به تیمارهای حاوی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بود و بین غلظت‌های مختلف تفاوتی مشاهده نشد (جدول ۳).

اثر تیمارهای آزمایش بر پروتئین کل، مالون‌دی‌آلدهاید، آنزیم پراکسیداز و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گل‌های بریده رز در پس از برداشت

نتایج نشان داد که میزان پروتئین کل، با افزایش زمان نگهداری گل شاخه بریده کاهش می‌یابد. بیشترین میزان پروتئین کل در روز نخست مشاهده گردید. در روزهای بعد کاربرد پیش از برداشت نانو ذرات سبب افزایش میزان پروتئین شد، به طوری که در روز دوازدهم در گل‌های تیمار شده با ۱۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم میزان پروتئین کل هشت میلی گرم بر گرم وزن تازه و در گل‌های شاهد چهار میلی گرم بر گرم وزن تازه بود که چهار واحد اختلاف نشان دادند. نتایج نشان داد با گذشت زمان میزان مالون دی‌آلدهاید در نمونه‌های مورد آزمایش افزایش یافت اما استفاده از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث کاهش میزان مالون دی‌آلدهاید در تمام روزهای نمونه برداری بجز روز اول شد. به طوری که نمونه‌های تحت تیمار با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر دارای کمترین میزان مالون دی‌آلدهاید بودند. بیشترین میزان این ترکیب نیز در روز دوازدهم و در نمونه‌های تیمار نشده با نانوذرات مشاهده شد. با گذشت زمان میزان آنزیم پراکسیداز در تمام نمونه‌ها افزایش یافت، به طوری که بیشترین میزان آنزیم پراکسیداز در روز هشتم و در روز دوازدهم در غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده شد. کاربرد غلظت‌های مختلف نانوذرات تاثیری در میزان این آنزیم نداشت بجز غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر که در روز دوازدهم سبب افزایش میزان آنزیم شد. میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تا روز چهارم روند صعودی و سپس روند نزولی داشت در روز اول بیشترین میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تیمار نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم به غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر مشاهده گردید، در روز چهارم در تمام نمونه‌های تحت بررسی میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت و سپس در روز هشتم و دوازدهم میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تمام نمونه‌های تحت بررسی کاهش یافت. بیشترین میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در روز چهارم مشاهده گردید و بین غلظت‌های مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

بحث

پژوهش‌های متعدد نشان داده است که غلظت‌های مختلف نانوذره تیتانیوم منجر به روند افزایشی در میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل، فتوستنز و وزن خشک گیاه می‌گردد (Hong et al., 2005). همچنین نانو ذرات تیتانیوم باعث افزایش تولید و فعالیت آنزیم رابیسکو شده که نتیجه آن افزایش رشد می‌باشد (Yang et al., 2006). از خواص فتوکاتالیستی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌توان برای حذف آلودگی‌های محیطی مختلف مانند مواد آلی، ویروس‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و سلول‌های سرطانی استفاده نمود (Duffy et al., 2004). نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث تقسیم سلولی و افزایش ابعاد سلول می‌گردد و این درحالی است که با افزایش جذب نور و سرعت بخشیدن در انتقال انرژی نورانی و جلوگیری از فروپاشی کلروپلاست‌ها باعث بالا بردن ظرفیت فتوسنتزی می‌شوند (Gao et al., 2006). همچنین میزان قطر گل با تیمار نانوذرات کلسیم بر گل ژبربا ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت و به طور کلی گل‌های تیمار شده توانایی بیشتری در حفظ تورژسانس خود داشتند (García-González et al., 2022).

بررسی‌ها نشان داده است که با شروع مراحل پیری در گل‌های شاخه بریده میزان توانایی جذب و وزن در آن‌ها کاهش می‌یابد (Reid & Jiang, 2012). تیمار نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم - کیتوزان دارای فعالیت فتوکاتالیستی عالی در برابر آلاینده

های آلی است و این مهم به عبور آب و مواد غذایی کمک می‌نماید (Khojah *et al.*, 2021). همچنین، اضافه کردن نانوذرات نقره به محلول گلدانی گل رز شاخه بریده باعث جلوگیری از انسداد انتهایی ساقه به دلیل رشد باکتری می‌گردد (Li *et al.*, 2017). اضافه کردن نانوذرات نقره به ترتیب به محلول گلدانی باعث افزایش عمر گل تا ۸ روز در گیاه گاردانیا (Shafiee- Ahmad *et al.*, 2018) و ۴/۵ روز در گیاه ژربرا گردید که دلیل آن کاهش تعداد باکتری گزارش شده است (Masoule *et al.*, 2018). محلول پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم روی لوبیا چشم بلبلی نیز باعث افزایش قابل توجهی در طول بوته و وزن تر و خشک بوته گردید (Kamal & Mogazy, 2021) که نتایج آن با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. همانطور که نتایج نشان داد نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث بهبود در صفات وزن تر نسبی شاخه گل‌ها و میزان نسبی جذب محلول گردید.

در تحقیق حاضر کاربرد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث تغییری در مواد جامد محلول در روزهای چهارم و هشتم پس از برداشت نشد اما در روز دوازدهم در گل‌های تیمار شده با ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم میزان مواد جامد محلول ۰/۴ درجه بریکس نسبت به گل‌های تیمار نشده افزایش داشت. مواد جامد محلول به عنوان یک بستر و منبع انرژی در گیاه استفاده می‌شوند و تحت تیمار با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم میزان مواد جامد محلول کمتر کاهش می‌یابد (Sami *et al.*, 2021a). در یک بررسی تیمار نانوذرات اکسید تیتانیوم و چیتوزان نیز مانع کاهش میزان مواد جامد محلول در خیار گردید (Helal *et al.*, 2022). نتایج تحقیقی دیگر نشان داده است که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث کاهش میزان مواد جامد محلول در لوبیای چشم بلبلی می‌گردد (Kamal & Mogazy, 2021).

نتایج نشان داد که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با کمک به حفظ غشاء سلولی و کاهش نشت یونی باعث افزایش عمر گلجایی شد. مساحت و مشخصات سطح نانو ذرات در تاثیر آن بر گیاه بسیار موثر است. نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترونی عبور نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم را در سلول نخود تایید نموده است، این مواد حتی قادر به عبور از دهانه روزنه‌هایی با محدوده میکرون می‌باشند. تیمار با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث جذب این نانوذرات توسط گیاه و در نتیجه کاهش میزان نشت یونی می‌گردد (Mohammadi *et al.*, 2013). در یک بررسی اضافه کردن نانوذرات نقره به غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر در محلول غذایی گل مریم باعث کاهش میزان نشت یونی گردید (Beni *et al.*, 2013). در تحقیقی دیگر روی لوبیای چشم بلبلی میزان پراکسیداسیون لیپیدی، محتوای پراکسید هیدروژن و نشت یونی تحت تیمار با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم کاهش یافت (Kamal & Mogazy, 2021).

سنتز اتیلن و انسداد آوند توسط میکروب‌ها یا هوا را می‌توان به یکی از عمده‌ترین عوامل در کاهش عمر گلجایی در گل‌ها دانست. اتیلن درون زا باز شدن گل، ریزش گلبرگ یا گل و مرگ زودرس را تنظیم می‌کند (Sudaria *et al.*, 2017). سنتز اتیلن با بیان ژن‌هایی کنترل می‌شود که آنزیم‌های ۱-آمینو سیکلوپروپان-۱-کربوکسیلیک اسید سنتاز (ACS) و ۱-آمینو سیکلوپروپان-۱-کربوکسیلیک اسید اکسیداز (ACO) را کد می‌کنند (Naing & Kim, 2020). با توجه به تاثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در کاهش تولید اتیلن (Fonseca *et al.*, 2021) و کمک به حفظ غشاء سلولی (Mohammadi *et al.*, 2013) می‌توان از این تیمار برای افزایش عمر گلجایی استفاده نمود. همچنین استفاده از نانوذرات نقره در محلول نگهداری به غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش خمش گل و پراکسیداسیون لیپیدی می‌گردد (Hajizadeh *et al.*, 2016). اضافه کردن نانوذرات نقره به محلول گلدانی یاسمین باعث حفظ تعادل آب، وزن تازه و تاخیر در پژمردگی گردید (Lin *et al.*, 2019). مقدار آنتوسیانین گیاه رزماری تحت تیمار با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با افزایش غلظت تیمار افزایش یافت (Gholami *et al.*, 2020). همچنین تیمار با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم روی گیاه گوجه فرنگی نیز نتایج مشابهی داشت (Song *et al.*, 2013) که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت.

گونه‌های فعال اکسیژن باعث پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء شده که این مهم باعث افزایش نشت یونی و همچنین میزان مالون دی‌آلدهاید می‌گردد. میزان مالون دی‌آلدهاید به عنوان محصول نهایی اکسیداسیون نشان دهنده تخریب و افزایش نفوذپذیری غشاء سلول‌ها است. میزان تاثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر عملکرد هر سیستم بیولوژیکی از جمله گیاهان در

درجه اول به خواص فیزیکی نانوذرات، مانند اندازه، شکل، وزن و ترکیب شیمیایی بستگی دارد (Bollella et al., 2017). همچنین تیمار با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث افزایش میزان اسیدهای آمینه، پروتئین کل محلول و مواد مغذی ماکرو و میکرو گردید (Kamal & Mogazy, 2021). نانوذرات تیتانیوم می‌تواند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را در گیاهان افزایش دهند (Castiglione et al., 2011). تحقیق روی گیاه مرزه نشان داد که نانوذرات تیتانیوم و جاسمونیک باعث افزایش مواد آنتی-اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی و فیزیولوژیک مرزه شد و مؤثرترین سطح هورمونی نانو ذرات تیتانیوم سطح ۳۰ میلی‌گرم در لیتر و جاسمونیک اسید ۵۰ میکرو مولار بود (Davari et al., 2018). کاربرد نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم روی گیاه مریم‌گلی باعث فعالیت سیستم آنزیمی آنتی‌اکسیدانی و غیر آنتی‌اکسیدانی شده است، به طوری که با افزایش غلظت تیمار تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر میزان کلروفیل، فنول کل، پراکسیداز، سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز افزایش یافت (Mazarie et al., 2019). پژوهش‌ها نشان داده است که لایه‌های پوششی مانند تیتانیوم یا حتی سیلیس می‌توانند مستقیماً تخریب سلولی، فرآیندهای اکسیداسیون و افزایش محصولات مختلف را کاهش دهند که دلیل آن را می‌توان به افزایش میزان فعالیت آنزیم‌ها (پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز) دانست (Sami et al., 2021b) همانطور که مشاهده شد واکنش نانوذرات با گیاهان بسته به خواص و نوع نانوذرات بسیار متفاوت است (Singh et al., 2018). همچنین، نانوذرات نقره روی گل‌های آلسترومریا باعث حفظ کلروفیل و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی، افزایش فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز برای جلوگیری از استرس اکسیداتیو می‌گردد، از دیگر سو تیمار گل‌های آلسترومریا با نانوذرات نقره باعث حفظ کلروفیل و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی، افزایش فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز برای جلوگیری از استرس اکسیداتیو می‌گردد (Langerodi et al., 2019) که با نتایج این تحقیق هم راستا می‌باشد. به طور کلی تیمار پیش از برداشت نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند به بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی بسیار کمک نماید.

نتیجه گیری

در این تحقیق تاثیر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر کیفیت و عمر پس از برداشت گل رز شاخه بریده رقم کلاسیک سزان مورد بررسی قرار گرفت. کاربرد پیش از برداشت نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث فعال شدن سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی شد و با کاهش میزان آلودگی‌ها و حفظ جریان آوندی به بهبود جذب محلول نگه‌داری کمک کرد. همچنین، با حفظ غشاء سلولی باعث کاهش میزان نشت یونی گردید. در بین غلظت‌های مورد بررسی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر در بیشتر صفات اثر بخش تر بود.

منابع

- چمنی، اسماعیل، خلیقی، احمد، جویس، داریل، ایروینق، دونالد، زمانی، ذبیح اله، مستوفی، یونس و کافی، محسن (۱۳۸۴). اثر تیوسولفات نقره و ۱- متیل سیکلوپروپن بر ویژگی های فیزیکی شیمیایی گل بریدنی رز رقم فرست رد. *مجله علوم و فنون باغبانی ایران*، ۳(۳)، ۱۷۰-۱۵۹.
- داوری، آذر، سلوکی، محمود و فاضلی نسب، بهمن (۱۳۹۶). بررسی اثر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اسید جاسمونیک بر روند تغییرات فیتوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی عصاره ژنوتیپ‌های گیاه دارویی (*Satureja hortensis* L.). *اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*، ۵(۴)، ۲۰-۱.
- غلامی، اتنا، عباسپور، حسین، گرامی، مهیار و هاشمی مقدم، حمید (۱۳۹۹). بررسی اثر نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید (TiO₂) بر رنگیزه های فتوسنتزی و برخی از خصوصیات بیوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.). *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*، ۱۷(۱۰۵)، ۱۲۳-۱۳۴. <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-27565-fa.html>

RERERENCES

- Ahmad, I., Saleem, M. & Dole, J. M. (2016). Postharvest performance of cut 'White Prosperity' gladiolus spikes in response to nano-and other silver sources, *Canadian Journal of Plant Science*, 96(3), 511-516. <http://dx.doi.org/10.1139/CJPS-2015-0281>
- Beni, M. A., Hatamzadeh, A., Nikbakht, A., Ghasemnezhad, M., & Zarchini, M. (2013). Improving

- physiological quality of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* cv. Single) flowers by continues treatment with humic acid and nano-silver particles. *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*, 3(3), 133-141. <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.14035055.v1>
- Bollella, P., Schulz, C., Favero, G., Mazzei, F., Ludwig, R., Gorton, L., & Antiochia, R. (2017). Green synthesis and characterization of gold and silver nanoparticles and their application for development of a third generation lactose biosensor. *Electroanalysis*, 29(1), 77-86. <http://dx.doi.org/10.1002/elan.201600476>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Castiglione, M. R., Giorgetti, L., Geri, C., & Cremonini, R. (2011). The effects of nano- TiO₂ on seed germination, development and mitosis of roottip cells of *Vicia narbonensis* L. and *Zea mays* L. *Journal of Nanoparticle Research*, 13, 2443-2449. <http://dx.doi.org/10.1007/s11051-010-0135-8>
- Chamani, E., Khalighi, A., Jouis, D., ... and Kafi, M. (2005) Effect of Silver thiosulfate and 1-Methylcyclopropene on physicochemical traits of cut flower rose cv. First Red. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 6(3), 159-170. (In Persian).
- Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assays of catalase and peroxidases. *Methods in Enzymology*, 2, 764-775. [http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879\(55\)02300-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8)
- Chen, X., & Mao, S. S. (2007). Titanium dioxide nanomaterials: Synthesis, properties, modifications, and applications. *Chemical Reviews*. 107, 2891-2959. <http://dx.doi.org/10.1021/cr0500535>
- Chen, X., & Schluesener, H. J. (2008). Nanosilver: A nano product in medical application. *Toxicology Letters*, 176(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2007.10.004>
- Colon, G., Maicu, M., Hidalgo, M. C., & Navio, J. A. (2006). Cu-doped TiO₂ systems with improved photocatalytic activity. *Applied Catalysis B: Environmental*. 67, 41-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2006.03.019>
- Davari A., Solouki, M., Fazeli-Nasab, B. (2018). Effects of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on process of changes of phytochemical and antioxidant in genotypes of *Satureja hortensis* L. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 5(4), 1-19. (In Persian).
- Duffy, E. F., Touati, F. A., & Kehoe, S.C. (2004). A novel TiO₂ -assisted solar photocatalytic batch process disinfection reactor for the treatment of biological and chemical contaminants indomestic drinking water in development countries. *Solar Energy*, 77, 649 - 655. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2004.05.006>
- Dubey, S. P., Lahtinen, M., & Sillanpaa, E. (2010). Green synthesis and characterizations of silver and gold nanoparticles using leaf extract of *Rosa rugosa*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 364(1-3), 34-41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2010.04.023>
- Fonseca, J. d. M., Alves, M. J. d.S., Soares, L. S., Moreira, R. d. F. P. M., Valencia, G. A., & Monteiro, A. R. (2021). A review on TiO₂-based photocatalytic systems applied in fruit postharvest: setups and perspectives. *International Food Research Journal*, 144, 110378. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110378>
- Gao, F., Hong, F., Liu, C., Zheng, L., Su, M., Wu, X., Yang, F., Wu, C., & Yang, P. (2006). Mechanism of nano-anatase TiO₂ on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach: inducing complex of rubisco-rubisco activase. *Biological Trace Element Research*, 111(1-3), 239-253. <https://doi.org/10.1385/bter:111:1:239>
- García-González, A., De Abril Alexandra Soriano-Melgar, L., María Luisa Cid-López Yakeline Cortez-Mazatán, G., Mendoza-Mendoza, E., Alonso Valdez-Aguilar, L., & Darío Peralta-Rodríguez, R. (2022). Effects of calcium oxide nanoparticles on vase life of gerbera cut flowers. *Scientia Horticulturae*, 291, 3, 110532. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110532>
- Ghidan, A. Y., & Antary, T. M. A. (2019). Applications of nanotechnology in agriculture. In M. Stoytcheva, & R. Zlatev (Eds.). *Applications of Nanobiotechnology*. (pp.1-14). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.88390>
- Gohari, G., Mohammadi, A., Akbari, A., Panahirad, S., Dadpour, M. R., Fotopoulos, V., & Kimura, S. (2020). Titanium dioxide nanoparticles (TiO₂ NPs) promote growth and ameliorate salinity stress effects on essential oil profile and biochemical attributes of *Dracocephalum moldavica*. *Scientific Reports*, 10(1), 912. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57794-1>
- Golami A, Abbaspour H, Gerami M, Hashemi-Moghaddam H. (2020) Investigation of effect of titanium dioxide nanoparticles (TiO₂) on photosynthetic pigments and some biochemical and antioxidant properties of the *Rosmarinus officinalis* L *Journal of Food Science and Technology(Iran)*; 17(105), 123-134. (In Persian). <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-27565-fa.html>

- Hasanzadeh Naemi, M., Zarinnia, V., Jari, S.K., & Fatahi, F. (2021). The effect of exogenous methyl jasmonate and brassinosteroid on physicochemical traits, vase life, and gray mold disease of cut Rose (*Rosa hybrida* L.) flowers. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(7), 467-475. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.05.007>
- Hassan, F.A.S., Ali, E.F., & El-Deeb, B. (2014). Improvement of postharvest quality of cut rose cv. 'First Red' by biologically synthesized silver nanoparticles. *Scientia Horticulturae*, 179, 340-348. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.053>
- Hajizadeh, H.S., Farokhzad, A. and Chelan, V.G. 2012. Using of preservative solutions to improve postharvest life of *Rosa Hybrid* cv. Black magic. *International Journal of Agricultural Technology*. 8: 1801-1810.
- He, S., Joyce., D.C., Irving, D.E., & Faragher, J.D. (2012). Stem end blockage in cut *Grevillea* 'Crimson Yullo' inflorescences. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 78-84. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.03.002>
- Helal, M., Sami, R., Algarni, E., Alshehry, G., Aljumayi, H., Al-Mushhin, A.A.M., Benajiba N., Chavali, M., Kumar, N., Iqbal, A., Aloufi, S., Alyamani, A., Madkhali, N., & Almasoudi, A. (2022). Active bionanocomposite coating quality assessments of some cucumber properties with some diverse applications during storage condition by chitosan, nano titanium oxide crystals, and sodium tripolyphosphate. *Crystals*, 12(2), 131. <https://doi.org/10.3390/cryst12020131>
- Hong, F., Zhou, J., Liu, C., Yang, F., Wu, C., Zheng, L., & Yang, P. (2005). Effect of nano-TiO₂ on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. *Biological trace element research*, 105(1-3), 269-279. <https://doi.org/10.1385/bter:105-1-3:269>
- Ichimura, K., Kishimoto, M., Norikoshi, R., Kawabata, Y., & Yamada K. (2005). Soluble carbohydrates and variation in vase-life of cut rose cultivars 'Delilah' and 'Sonia'. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 80(3), 280-286. <http://dx.doi.org/10.1080/14620316.2005.11511930>
- Imani, A., barzegar, K., Piripireivatlou, S. (2011). Relationship between frost injury and ion leakage as an indicator of cold hardiness in 60 almond selections. *Journal of Nuts*, 2(1), 22-26. <https://doi.org/10.22034/jon.2011.515758>
- Kamiab, F., Shahmoradzadeh Fahreji, S., & Zamani Bahramabadi, E. (2017). Antimicrobial and physiological effects of silver and silicon nanoparticles on vase life of Lisianthus (*Eustoma grandiflora* cv. Echo) flowers. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 4(1), 135-144. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2017.228657.180>
- Kamal, R., & Mogazy, A.M. (2021). Effect of doping on TiO₂ nanoparticles characteristics: studying of fertilizing effect on cowpea plant growth and yield. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 23, 325-337. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00648-0>
- Khojah, E., Sami, R., Helal, M., Elhakem, A., Benajiba, N., Alkaltham, M.S., & Salamatullah, A.M. (2021). Postharvest physicochemical properties and fungal populations of treated cucumber with sodium tripolyphosphate/titanium dioxide nanoparticles during storage. *Coatings*, 11, 613. <http://dx.doi.org/10.3390/coatings11060613>
- Koushesh Saba, M., & Nazari, F. (2017). Vase life of gerbera cut Flower cv. pink power affected by different treatments of plant essential oils and silver nanoparticles. *Journal of Plant Production Research*, 24(2), 43-59. <https://doi.org/10.22069/jopp.2017.11154.2036>
- Laware, S., & Raskar, S. (2014). Influence of zinc oxide nanoparticles on growth, flowering and seed productivity in onion. *International Journal of Current Microbiology Science*, 3, 874-881.
- Langroudi, M.E., Hashemabadi, D., Kalatejari, S., & Asadpour, L. (2019). Effect of silver nanoparticles, spermine, salicylic acid and essential oils on vase life of alstroemeria. *Journal of Neotropical Agriculture*, 6(2), 100-108. <http://dx.doi.org/10.32404/rean.v6i2.2366>
- Li, H., Li, H., Liu, J., Luo, Z., Joyce, D., & He, S. (2017). Nano-silver treatments reduced bacterial colonization and biofilm formation at the stem-ends of cut gladiolus 'Eerde' spikes. *Postharvest Biology and Technology*, 123, 102-111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.08.014>
- Lin, X., Li, H., Lin, S., Xu, M., Liu, J., Li, Y., & He, S. (2019). Improving the postharvest performance of cut spray 'Prince' carnations by vase treatments with nano-silver and sucrose. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(4), 513-521. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1572461>
- Mazarie, A., Mousavi-nik, S., Ghanbari, A., & Fahmideh, L. (2019). Effect of different spraying concentrations of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on some physiological traits and antioxidant system activity of Sage (*Salvia officinalis* L). *Iranian Journal of Plant Biology*, 11(1), 1-22. (in Persian) <https://doi.org/10.22108/ijpb.2018.110510.1092>
- Miller, G., & Senjen, R. (2008). Nanotechnology used for food packaging and food contact materials. *Nanotechnology in Food and Agriculture*. 2, 14-68.

- Moallaye-Mazraei, S., Chehrazai, M., & Khaleghi, E., (2020). The effect of calcium nanochelate on morphological, physiological, biochemical characteristics and vase life of three cultivars of gerbera under hydroponic system. *Plant Productions*, 43 (1), 53–66.
- Mohammadi Ostad Kalayeh, S., Mostofi, Y., & Basirat, M. (2011). Study on some chemical compounds on the vase life of two cultivars of cut roses. *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*. 1(2), 123-128.
- Mohammadi, R., Maali-Amiri, R., & Abbasi, A. (2013). Effect of TiO₂ nanoparticles on chickpea response to cold stress. *Biological trace element research*, 152(3), 403–410. <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9631-x>
- Naing, A. H., & Kim, C. K. (2020). Application of nano-silver particles to control the postharvest biology of cut flowers: A review. *Scientia Horticulturae*, 270, 109463. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109463>
- Norman, D. J., & J. Chen (2011). Effect of foliar application of titanium dioxide on bacterial blight of geranium and Xanthomonas leaf spot of poinsettia. *HortScience*, 46, 426–428. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.3.426>
- Owolade, O. F., & Ogunlet. D. O. (2008). Effects of titanium dioxide on the diseases, development and yield of edible cowpea. *Plant Protection Research*, 48, 329–335. <https://doi.org/10.2478/v10045-008-0042-5>
- Rafi, Z. N., & Ramezani, A. (2013). Vase life of cut rose cultivars 'Avalanche' and 'Fiesta' as affected by nano-silver and S-carvone treatments. *South African Journal of Botany*, 86, 68-72. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.02.167>
- Rezvanypour, Sh., & Osfoori, M. (2011). Effect of chemical treatments and sucrose on vase life of three cut rose cultivars. *Journal of Research on Crop Ecophysiology*, 7(2), 133-139.
- Reid, M. S. & Jiang, C.Z. (2012). Postharvest biology and technology of cut flowers and potted plants. *Horticultural Reviews*, 40, 1-54. <https://doi.org/10.1002/9781118351871.ch1>
- Rezaei Nejad, A., & Ismaili, A. (2014). Comparison of some physio-morphological characteristics of eight cut rose cultivars. *Journal of Crops Improvement*, 16(3), 663-674. <https://doi.org/10.22059/jci.2014.53266>
- Sami, R., Elhakem, A., Almushhin, A., Alharbi, M., Almatrafi, M., Benajiba, N., Fikry, M., & Helal, M. (2021a). Enhancement in physicochemical parameters and microbial populations of mushrooms as influenced by nano-coating treatments. *Scientific Reports*, 11, 7915. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87053-w>
- Sami, R., Elhakem, A., Alharbi, M., Benajiba, N., Almatrafi, M., Abdelazez, A., & Helal, M. (2021b). Evaluation of antioxidant activities, oxidation enzymes, and quality of nano-coated button mushrooms (*Agaricus Bisporus*) during storage. *Coatings*, 11, 149. <https://doi.org/10.3390/coatings11020149>
- Samadzadeh, H., & Kamiab, F. (2017). Effects of silver and calcium nanoparticles on vase life and some physiological traits of 'Konst Coco' *Alstroemeria* cut flower. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 8, 75–89.
- Singh, A., Singh, N.B., Afzal, S., Singh, T., & Hussain, I. (2018). Zinc oxide nanoparticles: a review of their biological synthesis, antimicrobial activity, uptake, translocation and biotransformation in plants. *Journal of Materials Science*, 53(1), 185-201. <https://doi.org/10.1007/s10853-017-1544-1>
- Shabani, S., Nasr Esfahani, M., Karamian, R., & Lam-Son Phan, T. (2018). Physiological and biochemical modifications by postharvest treatment with sodium nitroprusside extend vase life of cut flowers of two gerbera cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 137, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.009>
- Shafiee-Masouleh, S. S. (2018). Effects of nano-silver pulsing, calcium sulfate and gibberellin on an antioxidant molecule and vase life of cut gerbera flowers. *Advances in Horticultural Science*, 32(2), 185-191. <https://doi.org/10.13128/ahs-21864>
- Song, U., Jun, H., Waldman, B., Roh, J., Kim, Y., Yi, J., & Lee, E. J. (2013). Functional analyses of nanoparticle toxicity: a comparative study of the effects of TiO₂ and Ag on tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). *Ecotoxicology and environmental safety*, 93, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.03.033>
- Sudaria, M. A., Uthairatanakij, A., & Nguyen, H.T. (2017). Postharvest quality effects of different vaselife solutions on cut rose (*Rosa hybrida* L.). *International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences*, 1(1), 12-20.
- Sunpapao, A., Wonglom, P., Satoh, S., Takeda, S., & Kaewsuksaeng, S. (2019) Pulsing with magnesium oxide nanoparticles maintains postharvest quality of cut lotus flowers (*Nelumbo nucifera* Gaertn) 'Sattabongkot' & 'Saddhabutra'. *The Horticulture Journal*, 88(3), 420–426. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-087>

- Stewart, R. R., & Bewley, J. D. (1980). Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant physiology*, 65(2), 245–248. <https://doi.org/10.1104/pp.65.2.245>
- Van Ieperen, W., Van Meetran, U., & Nijssse, J. (2002). Embolism repair in cut flower stems: a physical approach. *Postharvest Biology and Technology*, 25, 1-14.
- Van, M. U. W., Van Iberen Nijssse, J., & Keijzer, K. (2001). Processes and xylem antimicrobial properties involved in dehydration dynamics of cut flowers. *Acta Horticulturae*. 543, 207– 211. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.543.25>
- Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant physiology*, 64(1), 88–93. <https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88>
- Wu, B., Huang, R., Sahu, M., Feng, X., Biswas, P., & Tang, Y.J. (2010). Bacterial responses to Cu-doped TiO₂ nanoparticles. *Science of the Total Environment*, 408 (7), 1755-1758. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.11.004>
- Yagi, M. I., Elgemaby M. N. A., Ismael M. I. A., & Almubarak M. A. A. (2014). Prolonging of the vase life of *Gerbera jamesonii* treatment with sucrose before and during simulated transport. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 18, 254–262.
- Yan, A. & Chen, Z. (2019). Impacts of silver nanoparticles on plants: a focus on the phytotoxicity and underlying mechanism. *International Journal of Molecular Science*., 20(5), 1003. <https://doi.org/10.3390/ijms20051003>
- Zahedi, S. M., Karimi, M., & Teixeira da Silva, J. A. (2020). The use of nanotechnology to increase quality and yield of fruit crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(1), 25–31. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10004>