Journal of Horticultural Science
https:// jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 1, Spring 2022, p. 193-212

Effect of Putrescine and Nitric Oxide on Morphological, Biochemical and Postharvest Characteristics of Rose 'Avalanche'

R. Abdi[1]- Z. Jabbarzadeh[2*]

Received: 12-04-2021
Revised: 24-04-2021
Accepted: 30-05-2021
Available Online: 20-06-2022

How to cite this article:
Abdi R., and Z. Jabbarzadeh. 2022. Effect of Putrescine and Nitric Oxide on Morphological, Biochemical and Postharvest Characteristics of Rose 'Avalanche'. Journal of Horticultural Science 36(1): 193-212. (In Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/JHS.2021.69604.1036

Introduction

The genus *Rosa* from the family Rosaceae with over 150 species is one of the most important ornamental plants in the world. From a commercial point of view, cut roses play a key role in trade of cut flowers. Nitric oxide regulates key physiological processes that depend on the concentration of this compound such as hypocotyls growth, defensive responses, growth and development, photosynthesis, and phytoalexin generation in stressful conditions. Polyamines are key biomolecules that have a role to play in the regulation of many plants' growth and development processes and their responses to different environmental stimuli. This study was performed to investigate the effect of foliar application of sodium nitroprusside (as a NO donor) and putrescine (as a polyamine) on 'Avalanche' rose in hydroponic conditions.

Materials and Methods

This study was conducted in the research and production greenhouses of Urmia University and the research laboratory of the Department of Horticultural Sciences of the Faculty of Agriculture in 2019-2020 on rose (*Rosa hybrida* 'Avalanche). This experiment was conducted as a factorial trial based on completely randomized design with two factors including sodium nitroprusside in four concentrations of 0, 50, 100 and 200 µM and putrescine in four concentrations of 0, 1, 2 and 4 mM with 3 replications as a foliar application under hydroponic conditions in greenhouses and in pots. The treatments were applied two weeks after transplantation, every 15 day-interval for 4 months. In order to investigate the effects of putrescine and sodium nitroprusside on some morphological and physiological characteristics of plants, two weeks after the end of treatments, sampling was performed to measure morphological and physiological characteristics. The measured indicators included: fresh and dry weight of flowering stem, chlorophyll a, b and total chlorophyll, carotenoids and also in the postharvest stage were guaiacol peroxidase and ascorbate peroxidase enzymes activity and bending of flowering stem. The SAS software version 9.2 was used to analyze the variance and compare the mean of the studied traits. Comparison of means was performed using the Tukey's range test method at a probability level of 1 and 5%. Also, Excel (2016) software was used to draw the graph.

Results

According to the means comparison of measured parameters, sodium nitroprusside along with putrescine increase the flowering stem fresh and dry weight, photosynthetic pigments of leaves and antioxidant enzymes activities at the postharvest stages. Sodium nitroprusside at a concentration of 50 µM with 4 mM putrescine increased the fresh and dry weight of the flowering stem. Also, the concentration of 100 µM sodium nitroprusside with 4 mM putrescine significantly increased chlorophyll a, b, total chlorophyll and carotenoid content compared to control. It should be noted that preharvest application of sodium nitroprusside along with putrescine cause to improve postharvest characteristics of rose. In this research, application of 100 and 200 µM

1 and 2- M.Sc. Graduated Student and Associate Professor of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: Z.Jabbarzadeh@urmia.ac.ir)

SNP alone or with different concentrations of putrescine increased guaiacol peroxidase and ascorbate peroxidase activity and reduced bending of flowering stem of rose 'Avalanche' at the postharvest stage. Probably polyamines (such as putrescine) and nitric oxide increase photosynthesis potential with increasing photosynthetic pigments and protecting cell membranes thus increase growth and flowering traits of plants such as increasing the flowering stem weight of rose in this research. At postharvest stage, senescence of flowers is an inevitable phenomenon that cause to produce free radicles in plants. Free radicles injure the plant membranes lipids and change the antioxidant enzymes activities. This despite the fact that nitric oxide and putrescine protect antioxidant enzymes against free radicles as a result can improve vase life of rose.

Conclusion

Based on the results of the present study, it can be concluded that putrescine, with SNP, improves growth characteristics as well as increases the postharvest traits and quality of cut flowers of rose. According to the results, it is observed that among the different concentrations of putrescine, the concentration of 4 mM had the greatest effect on the growth and physiological parameters of rose while the concentration of 100 and 200 µM sodium nitroprusside had a greatest effect on physiological characteristics and postharvest traits of rose. In general, both SNP and putrescine had a positive and favorable effects on improving growth and postharvest indices, but the effective concentration varied depending on the type of parameter.

Keywords: Antioxidant enzymes, Polyamine, Sodium nitroprusside, Stem neck

نشریه علوم باغبانی
https:// jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۲۱۲-۱۹۳

تأثیر پوترسین و نیتریک‌اکسید بر بهبود ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و پس‌ازبرداشت رز رقم 'آوالانچ'

رقیه عبدی[۱]- زهره جبارزاده[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹

چکیده

گل رز (*Rosa hybrida* 'Avalanche') یکی از گل‌های بریدنی مهم دنیاست. به‌منظور بررسی تاثیر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید (به‌عنوان منبع نیتریک‌اکسید) و پوترسین بر گل رز رقم 'آوالانچ' پژوهشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط کشت هیدروپونیک به صورت گلدانی در گلخانه اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار غلظت سدیم نیتروپروساید (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) و چهار غلظت پوترسین (صفر، ۱، ۲ و ۴ میلی‌مولار) بود. شاخص‌های اندازه‌گیری شده شامل وزن تر و خشک ساقه گل‌دهنده، کلروفیل a, b و کلروفیل کل، کاروتنوئید و در مرحله پس از برداشت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و خمیدگی ساقه بودند. سدیم نیتروپروساید در غلظت ۵۰ میکرومولار همراه با پوترسین ۴ میلی‌مولار، وزن تر و خشک ساقه گلدهنده را نسبت به شاهد افزایش داد. غلظت ۱۰۰ میکرو مولار سدیم نیتروپروساید همراه با کاربرد ۴ میلی‌مولار پوترسین باعث افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل a, b و کلروفیل کل و کاروتنوئید نسبت به شاهد شد. لازم به ذکر است که کاربرد قبل از برداشت سدیم‌نیتروپروساید و پوترسین در بهبود ویژگی‌های پس از برداشت گل رز نیز تاثیر مثبت داشت، به‌طوری که بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز) و کمترین خمیدگی ساقه در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید به تنهایی و یا همراه با کاربرد پوترسین مشاهده شد. به‌طور کلی، سدیم‌نیتروپروساید و پوترسین تاثیر مثبت و مطلوبی در بهبود شاخص‌های رشدی و پس از برداشتی گل رز داشتند ولی غلظت موثر بسته به نوع شاخص متفاوت بود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پلی‌آمین، خمیدگی ساقه، سدیم‌نیتروپروساید

مقدمه

گل رز یکی از محبوب ترین گل‌ها در بین گل‌های شاخه بریده است. جنس *Rosa* یکی از گسترده‌ترین اعضای خانواده Rosaceae می‌باشد که بیش از ۱۰۰ گونه دارد (Bhattacharjee and Banerji, 2010).

سدیم نیتروپروساید یک ترکیب آزاد کننده نیتریک اکسید است که از ترکیب نیتروژن معدنی با فرمول $Na_2[Fe(Cn)_5NO].\ 2H_2O$ بدست می‌آید و یکی از مولکول‌های مهم سیگنال دهنده محسوب می شود (Hemati *et al.*, 2019) که هم دارای خاصیت پراکسیدانی و هم آنتی‌اکسیدانی است (Singh *et al.*, 2020). همچنین نقش بسیار مهمی در فرآیندهای رشدی (جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه، برگ‌ها و گلدهی)، پاسخ های دفاعی، فتوسنتز و بستن روزنه‌ها دارد (Gohari *et al.*, 2020 ,Sami *et al.*, 2017). پاسخ‌های مختلف ناشی از تنش‌های محیطی (دما، مواد شیمیایی، شوری و تنش‌های اکسیداتیو) در گیاهان را می‌توان با این مولکول کنترل کرد (Shi *et al.*, 2017).

پلی آمین‌ها ترکیباتی با وزن مولکولی کم، آلیفاتیک حاوی دو یا چند گروه آمینه هستند و فعالیت بیولوژیکی زیادی دارند (Vuosku *et al.*, 2018). پلی آمین‌ها به طور گسترده در سلول‌های یوکاریوتی و پروکاریوتی وجود دارند و در گیاهان عالی، به طور عمده به شکل آزاد

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گیاهان زینتی و دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email:Z.Jabbarzadeh@urmia.ac.ir
DOI: 10.22067/JHS.2021.69604.1036

وجود دارند. پوترسین، اسپرمین و اسپرمیدین از عمده ترکیبات در گیاهان هستند که در تنظیم فرآیندهای متنوع فیزیولوژیکی نقش مهمی دارند (Chen *et al.*, 2019).

در آزمایشی که توسط مستوفی و همکاران (Mostofi *et al.*, 2010) بر اثرات غلظت های مختلف سدیم نیتروپروساید در محلول گلجای بر گل شاخه بریده میخک[1] رقم 'Nelson' انجام شد، غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید باعث حفظ کلروفیل برگ و استحکام ساقه گل شدند. در آزمایشی که به بررسی تاثیر سدیم نیترو پروساید بر لاله واژگون[2] انجام گرفت، نتایج نشان داد که سدیم نیتروپروساید باعث افزایش وزن کل گیاه، طول، قطر گل‌آذین و پیازها شد (Salachna and Zawadzińska, 2018). در پژوهشی که به بررسی تاثیر اسید سالسیلیک، سدیم نیتروپروساید و اتانول بر دو رقم گل شاخه بریده ژربرا[3] انجام شد نتایج نشان دادند که اتانول به همراه سدیم نیتروپروساید بصورت جذب محلول گلجای و اسید سالسیلیک بسته به غلظت و رقم مورد مطالعه در عمر گل تاثیر داشته، به طوری‌که کمترین خمیدگی در هر دو رقم به ترتیب در غلظت ۲ درصد اتانول، ۱۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۲۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک حاصل شد (Karamiyan, 2019). نتایج طالبی (Talebi, 2011) نشان داد که تیمار ۴۰ میکرومول در لیتر سدیم نیتروپروساید بصورت گلجای، کلروفیل b را در گل رز افزایش داد ولی مقدار کلروفیل a در ۶۰ میکرومول در لیتر بیشتر بود. در آزمایشی که بر گیاهان سوسن شرقی[4] انجام گرفت نتایج نشان داد که ارتباط قابل توجهی بین محتوای کلروفیل و سطح سدیم نیتروپروساید وجود دارد، به‌نحوی‌که، تیمار نیتریک اکسید در غلظت مناسب اثر تشویقی برمیزان کلروفیل برگ دارد (Wang *et al.*, 2015). در آزمایشی که تاثیر سدیم نیتروپروساید به عنوان محلول نگهدارنده در غلظت ۱۵۰ میکرومولار در دو زمان ۲۴ و ۴۸ ساعته در رقم‌های 'Bayadere' و 'Sunway' ژربرا انجام شد نتایج نشان داد که استفاده از سدیم نیتروپروساید باعث افزایش آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز گیاهان تحت تیمار شد (Shabanian *et al.*, 2018). در آزمایشی که روی محلول‌پاشی گل رز شاخه بریده با اسیدآبسیزیک و سدیم نیتروپروساید انجام شد نتایج نشان دادند که اسید آبسیزیک و سدیم‌نیترپروساید، محتوی کلروفیل برگ را به طور موثری افزایش دادند و همچنین باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز شد (Deng *et al.*, 2019).

در پژوهشی، تاثیر اسید هیومیک و پوترسین بر ویژگی‌های رویشی و عمر گل‌جایی گل رز بررسی شد، نتایج نشان دادند که اسید هیومیک به همراه پوترسین به صورت محلول‌پاشی برگی در غلظت های ۲ و ۴ میلی‌مولار موجب افزایش وزن تر و خشک ساقه، سطح برگ و ارتفاع گیاه شد (Dastyaran and Hosseini Farahi, 2014). در گیاه همیشه بهار[5] کاربرد پوترسین در غلظت‌های صفر، ۱و ۲ میلی‌مولار به صورت محلول‌پاشی برگی باعث بهبود ویژگی‌های مورفولوژیکی (وزن تر و خشک گل)، بیوشیمیایی و رنگیزه‌های گیاه (کلروفیل a, b، کل و کاروتنوئید) شد (Bani Assadi *et al.*, 2015). بررسی تاثیر پوترسین در غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار در به تعویق انداختن پیری گل شاخه بریده لیزیانتوس[6] نشان داد که تیمار پوترسین، فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز را افزایش و تجمع پراکسیدهیدروژن را در طول عمر گلجای کاهش داد (Ataii *et al.*, 2015). نتایج حاصل از بررسی انواع پلی‌آمین‌ها بر داوودی[7] نشان داد که مقدار کلروفیل در همه تیمارهای پوترسین افزایش یافت (Kamiab and Zamani Bahramabadi, 2016). بررسی اثر پلی-آمین‌ها بر برخی ویژگی‌های گل شاخه بریده رز نشان داد که پلی-آمین‌ها باعث افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز و همچنین آنزیم-های آنتی اکسیدانی شدند (Danaee and Abdossi, 2018). در آفتابگردان زینتی[8] پوترسین در غلظت‌های ۷۵ و۱۵۰میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش وزن تر و خشک ساقه، قطر ساقه و ارتفاع گیاهان در شرایط تنش خشکی شد (Kahrobaiyan *et al.*, 2019).

گل‌ها به دلیل تاثیر بر کیفیت زندگی انسان‌ها مورد توجه می باشند که در بین گل‌ها، گل رز، جایگاه منحصر به فردی را از نظر زیبایی و تجاری به خود اختصاص داده است و از لحاظ میزان تولید در صدر قرار دارد (Bhattacharjee and Banerji, 2010) و با توجه به علایق و اشتیاق انسان به داشتن این گل در تمام فصول سال باعث گردید تا تولید آن در گلخانه‌ها نیز انجام گیرد. از آنجایی‌که نیتریک اکسید و پوترسین در فرآیندهای رشد و نموی گیاهان اثرات مثبتی مانند افزایش فتوسنتز، افزایش جذب آب، افزایش کیفیت و عملکرد گیاه دارند، لذا با توجه به اثر مثبت نیتریک اکسید و پوترسین در بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان در این پژوهش، به بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف نیتریک اکسید و پوترسین به صورت محلول‌پاشی برگی در رز رقم 'آوالانچ' پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

1- *Dianthus caryophyllus*
2- *Eucomis autumnalis*
3- *Gerbera jamesonii*
4- Oriental lily
5- *Calendula officinalis*
6- *Eustoma grandiflorum*
7- *Chrysanthemum morifolium* 'Bright Golden Ann'
8- *Helianthus annuus*

این پژوهش در گلخانه‌های پژوهشی و تولیدی دانشگاه ارومیه و آزمایشگاه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. در این پژوهش، تاثیر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید (به‌عنوان منبع نیتریک اکسید) و پوترسین بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی رز رقم 'Avalanche' بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور سدیم نیتروپروساید در چهار غلظت صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار و پوترسین در چهار غلظت صفر، ۱، ۲ و ۴ میلی‌مولار با ۳ تکرار به روش محلول‌پاشی برگی هر دو هفته یکبار روی رز به مدت چهار ماه اجرا شد. به این منظور، از گلدان‌های پلاستیکی، با قطر دهانه ۲۴ و ارتفاع ۲۱ سانتی‌متر استفاده شد. بستر مورد استفاده در گلدان‌ها حاوی سه قسمت پیت ماس، یک قسمت کوکوپیت و یک قسمت پرلیت بود. به منظور تامین مواد غذایی، برنامه غذایی مورد استفاده برای گیاهان، از یک گلخانه تجاری با اندکی تغییرات استفاده شد (pH محلول غذایی روی ۶/۲–۵/۸ تنظیم شد) که میزان کودهای مورد استفاده برای ۲ استوک x ۲۰ (استوک اول کودهای نیترات پتاسیم، نیترات کلسیم، نیترات آمونیوم و آهن و استوک دوم کودهای نیترات پتاسیم، سولفات منیزیم، نیترات منیزیم، مونو پتاسیم فسفات، سولفات منگنز، سولفات مس، سولفات روی، براکس و مولیبدن) تهیه و استفاده گردید. دمای گلخانه در روز ۳۰–۲۸ درجه سانتی‌گراد و در شب ۲۳–۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰–۵۰ درصد و شدت نور ۵۰۰–۴۰۰$\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ بود. به منظور انجام این پژوهش، ابتدا پایه‌های پیوندی رز رقم 'آوالانچ' تهیه شد و بعد به گلدان‌های مجزا منتقل شدند و پس از استقرار کافی، گیاهان برای محلول‌پاشی آماده شدند. (لازم به ذکر است که رزهای استفاده شده در این پژوهش، دو ساله بودند که برای انجام آزمایش در هر گلدان، بعد از هرس، چهار شاخه به طول تقریبی ۵۰ سانتی‌متر نگه داشته شدند). یک ماه بعد از استقرار کامل گیاهان، محلول‌پاشی برگی با فواصل دو هفته یکبار در اول صبح و به مدت چهار ماه (در مجموع هشت بار محلول‌پاشی) صورت گرفت. (لازم به ذکر است که محلول‌پاشی تیمارها به صورت مجزا از هم انجام شدند).

اندازه‌گیری شاخص‌های قبل از برداشت

وزن تر و خشک ساقه گلدهنده

دو هفته پس از پایان محلول پاشی، وزن تر و خشک ساقه گلدهنده اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری وزن تر ساقه گلدهنده با استفاده از ترازوی دیجیتال (مدل METTLER, PJ300) و با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم تعیین شد. برای تعیین وزن خشک ساقه گلدهنده، ابتدا نمونه‌ها درون آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و پس از خارج کردن نمونه‌ها، مجددا با استفاده از ترازوی دیجیتال، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ

این اندازه‌گیری به روش لیچتنتالر (Lichtenthaler, 1987) انجام گرفت. مقدار ۰/۱ گرم از ماده تر گیاهی (برگ) با ۵ میلی‌لیتر استون ۱۰۰ درصد هموژنایز شد و پس از آن با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ با اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶ و ۴۷۰ نانومتر مورد قرائت قرار گرفت. در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a ,b و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌ترنمونه‌ها محاسبه شد.

$$\text{کلروفیل a} = (12.25A_{663}) - (2.79A_{646})$$

$$\text{کلروفیل b} = (21.21A_{646}) - (5.1A_{663})$$

$$\text{کلروفیل کل} = (\text{Chl a}) + (\text{Chl b})$$

$$\text{کاروتنوئید} = (1000A_{470}) - (1.8\text{Chl a}) - (85.02\text{Chl b})/198$$

بررسی شاخص‌های پس از برداشت

ساقه‌های گل به اندازه ۴۰ سانتی‌متر کوتاه شده و تمامی برگ‌ها، به جز سه برگ بالایی حذف گردیدند. گل‌ها در گلدان‌هایی که حاوی ۵۰۰ میلی لیتر محلول حفاظت کننده شامل ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر HQC همراه با ۲۰ میلی‌گرم در لیتر ساکارز بود، قرار گرفتند. گل‌ها در داخل اتاقک رشد با دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد و طول دوره روشنایی ۱۲ ساعت با شدت نور ۱۰ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه نگهداری شدند. جهت اندازه‌گیری آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز در مرحله پس از برداشت، به فاصله هر ۴ روز یکبار (تا روز ۱۲) نمونه گیری از گل‌ها انجام شد. لازم به ذکر است که آزمایشات این مرحله به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه فاکتور سدیم نیتروپروساید در چهار غلظت صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار، پوترسین در چهار غلظت صفر، ۱، ۲ و ۴ میلی‌مولار و زمان در چهار مرحله نمونه‌برداری در روزهای صفر، ۴، ۸ و ۱۲ انجام شد. اندازه گیری های پس از برداشت با ۳ تکرار، هر تکرار شامل یک گلدان و هر گلدان شامل ۳ شاخه گل بریده انجام شد.

خمیدگی ساقه

در پایان روز دوازدهم، خمیدگی ساقه‌ها با استفاده از خط‌کش و نقاله اندازه‌گیری شد.

فعالیت آنزیم‌ها

استخراج عصاره گیاهی برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها

برای تهیه عصاره گیاهی جهت تعیین میزان فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز، از روش کنگ و سالتویت

(Kang and Saltveit, 2002) با اندکی تغییرات انجام شد.

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز با استفاده از روش آپدیهایا و همکاران (Upadhyaya *et al.*, 1985) انجام گرفت. مخلوط واکنش شامل یک میلی‌لیتر گایاکول یک درصد، یک میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن یک درصد، ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=7.5) و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره استخراجی بود. سپس فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز به صورت افزایش جذب طی یک دقیقه در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر محاسبه شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز از ضریب خاموشی (۲۶/۶ mM^{-1} cm^{-1}) استفاده شد.

$$unit\ \frac{mM}{min} = \frac{do\ D/\min(slope) \times vol.of\ assay}{Extinction\ coefficient\ (26.6)}$$

Extinctiont Coefficient= ضریب خاموشی

(doD/min(slope)= اختلاف دو عدد خوانده شده طی یک دقیقه در دستگاه

Vol of assay= مقدار عصاره در نمونه

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با استفاده از روش ناکانو و آسادا (Nakano and Asada, 1981) با اندکی تغییرات اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=7) (شامل ۰/۱ EDTA میلی‌مولار، آسکوربات سدیم یک میلی‌مولار) و ۰/۲میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن یک درصد و ۰/۱ میلی لیتر عصاره استخراجی بود. سپس فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به صورت کاهش جذب طی یک دقیقه در طول موج ۲۹۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر محاسبه شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز از ضریب خاموشی (mM^{-1} cm^{-1} ۲/۸) استفاده شد.

$$unit\ \frac{mM}{min} = \frac{do\ D/\min(slope) \times vol.of\ assay}{Extinction\ coefficient\ (2.8)}$$

Extinctiont Coefficient= ضریب خاموشی

(doD/min(slope)= اختلاف دو عدد خوانده شده طی یک دقیقه در دستگاه

Vol of assay= مقدار عصاره در نمونه

تجزیه آماری داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی، از نرم‌افزار SAS سری ۹/۲ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش آزمون توکی در سطح ۱ و ۵ درصد انجام گرفت. همچنین برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel سری ۲۰۱۰ استفاده گردید.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک ساقه گلدهنده

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) حاکی از آن است که اثرات متقابل غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید و پوترسین بر وزن تر و خشک ساقه گلدهنده در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس مربوط به اثرات غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید و پوترسین بر برخی شاخص‌های مورفولوژیکی گل رز رقم 'آوالانچ'

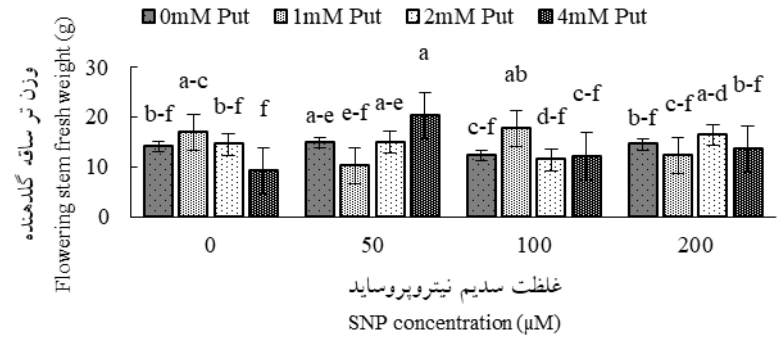
Table 1- ANOVA for the effect of different concentrations of sodium nitroprusside and putrescine on some morphological traits of rose 'Avalanche'

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares	
		وزن تر ساقه گلدهنده Flowering stem fresh weight	وزن خشک ساقه گلدهنده Flowering stem dry weight
سدیم نیتروپروساید Sodium nitroprusside (SNP)	3	6.038^{ns}	5.512*
پوترسین Putrescine (P)	3	0.919^{ns}	4.688*
سدیم نیتروپروساید × پوترسین SNP × P	9	38.807**	7.861**
خطای آزمایشی Error	32	3.234	1.272
ضریب تغییرات CV (%)	-	12.796	17.458

*: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، **: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و ns: عدم معنی‌داری

*: Significant at $p \leq 0.05$, **: Significant at $p \leq 0.01$ and ^{ns}: Non-significant

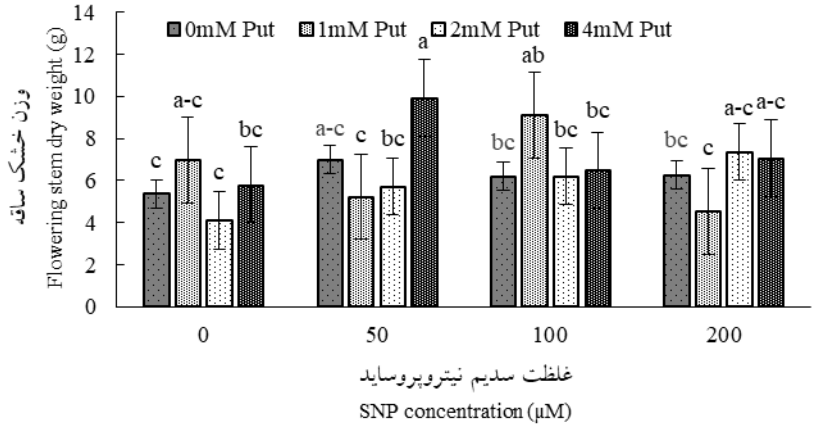
نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱) نشان داد که در بین غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید و پوترسین، تنها تیمار ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۴ میلی‌مولار پوترسین اختلاف معنی‌دار در وزن تر ساقه گلدهنده با شاهد نشان داد و بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشتند. همچنین بیشترین وزن تر ساقه گلدهنده (۲۰/۱۶ گرم) مربوط به تیمار ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۴ میلی‌مولار پوترسین و کمترین وزن تر ساقه گلدهنده (۹/۱۴ گرم) مربوط به پوترسین ۴ میلی‌مولار بدون کاربرد سدیم نیتروپروساید بود.



شکل ۱- اثر متقابل سدیم نیتروپروساید × پوترسین بر وزن تر ساقه گلدهنده گل رز رقم 'Avalanche'

Figure 1- The interaction effect of sodium nitroprusside × putrescine on the flowering stem fresh weight of rose 'Avalanche' (Tukey, $p \leq 0.01$)

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۲) در بین غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید و پوترسین، تنها تیمار ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۴ میلی‌مولار پوترسین دارای تفاوت معنی‌دار با شاهد (تیمار مربوط به عدم محلول‌پاشی با پوترسین و سدیم نیتروپروساید) بود و توانست وزن خشک ساقه گلدهنده را نسبت به شاهد افزایش دهد، کاربرد بقیه تیمارها تاثیر معنی‌داری بر میزان وزن خشک ساقه گلدهنده نسبت به شاهد نداشتند.



شکل ۲- اثر متقابل سدیم نیتروپروساید × پوترسین بر وزن خشک ساقه گلدهنده گل رز رقم 'Avalanche'

Figure 2- The interaction effect of sodium nitroprusside × putrescine on the flowering stem dry weight of rose 'Avalanche' (Tukey, $p \leq 0.01$)

نتایج پژوهش حاضر نشان داد سدیم نیتروپروساید در غلظت ۵۰ میکرومولار و در ترکیب با ۴ میلی‌مولار پوترسین در افزایش وزن خشک ساقه گلدهنده موثر بود ولی با افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید، این ترکیب اثر معنی‌دار بر وزن خشک ساقه گلدهنده نداشت. این نتیجه با نتایج سایر پژوهشگران در افزایش وزن ساقه مطابقت دارد. در محلول‌پاشی گل جعفری[1] با سدیم‌نیتروپروساید

1- *Tagetes erecta* L.

مشخص شد که سدیم نیتروپروساید در غلظت ۱۰۰ میکرومولار بیشترین وزن خشک ساقه را داشت که با افزایش غلظت، وزن خشک ساقه کاهش می‌یابد (Hosseini and Rezaei Nezhad, 2016). با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، مشخص شد که سدیم نیتروپروساید به عنوان نوعی نیتریک‌اکسید نقش مثبتی در وزن خشک ساقه گلدهنده دارد. مشخص شده است که نیتریک‌اکسید باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های بیوسنتز لیگنین می‌شود (Gomez-Ros *et al.*, 2012). لیگنین یک پلی‌مر بسیار منشعب از سه الکل فنولی ساده است که در دیواره‌های سلولی، به‌ویژه در دیواره‌های ثانویه عناصر تراکئیدی آوند چوبی یافت می‌شود و موجب استحکام مکانیکی و سفتی ساقه‌های چوبی می‌گردد. مطالعات نشان داده که افزایش لیگنین در دیواره‌های سلولی موجب افزایش وزن و ارتفاع ساقه می‌شود (Monzon *et al.*, 2014).

همان‌طور که در پژوهش حاضر مشاهده گردید پوترسین تا حدی باعث افزایش وزن خشک شده ولی این افزایش وزن خشک تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد. پلی‌آمین‌های سلولی باعث رشد گیاهان می‌شوند، مشخص شده است که در نمونه‌های جهش یافته که توانایی تولید پلی‌آمین‌ها را ندارند، توقف رشد در آن‌ها اتفاق می‌افتد و استفاده از پلی‌آمین‌ها در این نمونه‌ها توقف رشد را از بین می‌برد و رشد طبیعی صورت می‌گیرد (Asna Ashari and Zokai Khosroshahi, 2008).

نیتریک اکسید یک عامل اصلی در تنظیم تولید و فعالیت آنزیم سلولاز است که این آنزیم به واسطه سست نمودن دیواره اولیه به عنوان محرک اصلی در بزرگ شدن سلول به حساب می‌آید. همچنین نیتریک اکسید باعث تحریک تولید اکسین در شرایط عادی و طبیعی رشد گیاه و به ویژه در نقاط مریستمی می‌شود (Asghari, 2015). پلی‌آمین‌ها در دامنه گسترده‌ای از فرآیندهای زیستی مانند رشد و نمو، تقسیم یاخته‌ای و تمایزیابی نقش داشته و با افزایش جذب هیدروکربن در قسمت هوایی گیاهان مختلف باعث افزایش وزن تر و خشک ساقه می‌گردند (Abdel Aziz *et al.*, 2009). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که نیتریک اکسید و پوترسین به‌تنهایی بر وزن تر و خشک ساقه گلدهنده تاثیر معنی‌داری نداشتند ولی کاربرد توام آن‌ها باعث افزایش وزن تر و خشک ساقه گلدهنده شد. از آن‌جایی که پلی‌آمین‌ها منجر به افزایش تولید نیتریک اکسید می‌گردند و متقابلا نیتریک اکسید به واسطه تحریک ژن‌های آنزیم‌های سنتز کننده پلی‌آمین‌ها باعث تحریک تولید آن‌ها می‌شود (Asghari, 2015)، می‌توان گفت که در پژوهش حاضر نیتریک اکسید و پوترسین با اثر مثبت بر سنتز همدیگر باعث تحریک رشد شده و در نتیجه باعث افزایش وزن ساقه گلدهنده شدند.

کلروفیل a, b و کلروفیل کل

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) حاکی از آن است که اثر اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید و پوترسین در سطح یک درصد بر میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ معنی‌دار شد.

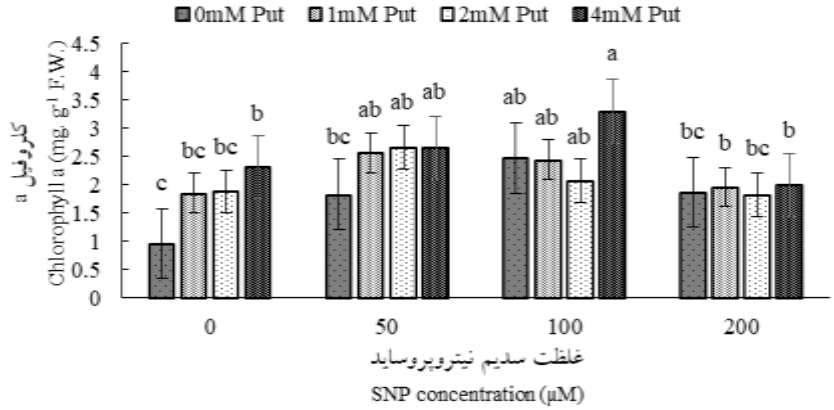
جدول ۲- تجزیه واریانس مربوط به اثرات غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید و پوترسین بر رنگیزه های فتوسنتزی گل رز رقم 'آوالانچ'

Table 2- ANOVA for the effect of different concentrations of sodium nitroprusside and putrescine on photosynthetic pigments of rose 'Avalanche'

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares			
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid
سدیم نیتروپروساید Sodium nitroprusside (SNP)	3	1.873 **	0.272**	4.559**	0.151**
پوترسین Putrescine (P)	3	1.237 **	0.125**	1.248**	0.029**
سدیم نیتروپروساید × پوترسین SNP × P	9	0.341**	0.072**	1.721**	0.056**
خطای آزمایشی Error	32	0.103	0.015	0.175	0.01
ضریب تغییرات CV (%)	-	14.83	14.58	13.72	17.80

*: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، **: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و ns: عدم معنی‌داری

*: Significant at $p \leq 0.05$, **: Significant at $p \leq 0.01$ and ^{ns}: Non-significant

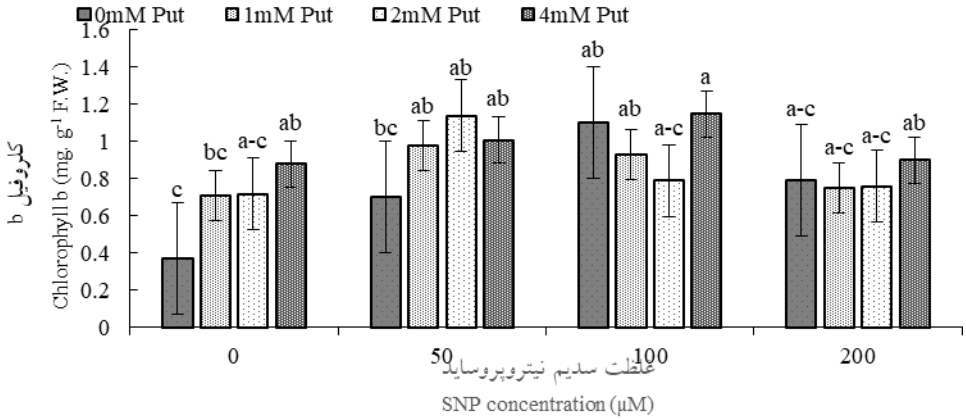


شکل ۳- اثر متقابل سدیم نیتروپروساید × پوترسین بر میزان کلروفیل a رز رقم 'Avalanche'

Figure 3- The interaction effect of sodium nitroprusside × putrescine on the chlorophyll a content of rose 'Avalanche' (Tukey, *p≤0.01*)

نتایج مقایسه میانگین (شکل ۳) نشان می‌دهد که در بین غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید و پوترسین، تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و پوترسین ۴ میلی‌مولار باعث افزایش حدود ۳ برابری کلروفیل a برگ بود که تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان داد.

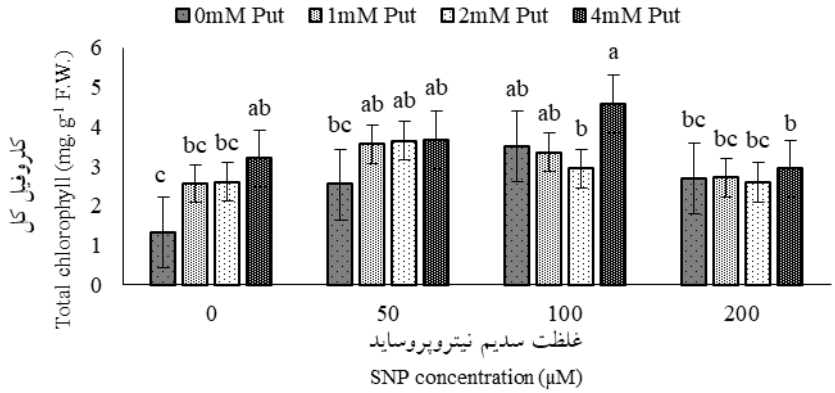
نتایج مربوط به تاثیر غلظت‌های مختلف نیتریک‌اکسید و پوترسین بر میزان کلروفیل b برگ (شکل ۴) نشان می‌دهد که در گیاهان بدون کاربرد سدیم نیتروپروساید، افزایش غلظت پوترسین باعث افزایش میزان کلروفیل b شد، هر چند که این افزایش، فقط در تیمار ۴ میلی‌مولار پوترسین معنی‌دار بود. کاربرد توام سدیم نیتروپروساید و پوترسین نیز در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید (به غیر از تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۲ میلی‌مولار پوترسین) باعث افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل b برگ نسبت به شاهد شد. در غلظت ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید، فقط کاربرد غلظت ۴ میلی‌مولار پوترسین باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل b برگ نسبت به شاهد شد.



شکل ۴- اثر متقابل سدیم نیتروپروساید × پوترسین بر میزان کلروفیل b رز رقم 'Avalanche'

Figure 4- The interaction effect of sodium nitroprusside × putrescine on the chlorophyll b content of rose 'Avalanche' (Tukey, *p≤0.01*)

با توجه به نمودار مقایسه میانگین (شکل ۵) کاربرد پوترسین بدون سدیم نیتروپروساید، باعث افزایش میزان کلروفیل کل شد که البته فقط در غلظت ۴ میلی‌مولار، این افزایش نسبت به شاهد، معنی‌دار بود. کاربرد غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید همراه با غلظت‌های مختلف پوترسین باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل کل نسبت به شاهد شدند. با افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید، میزان کلروفیل کل کاهش یافت و فقط غلظت ۴ میلی‌مولار پوترسین توانست این کاهش را تا حدی جبران کند و باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل کل نسبت به شاهد شود.



شکل ۵- اثر متقابل سدیم نیتروپروساید × پوترسین بر میزان کلروفیل کل رز رقم 'Avalanche'

Figure 5- The interaction effect of sodium nitroprusside × putrescine on the total chlorophyll content of rose 'Avalanche' (Tukey, *p≤0.01*)

رنگدانه‌هایی که نور را جهت استفاده در فرآیندهای فیزیولوژیکی جذب می‌کنند، گیرنده نوری نامیده می‌شوند. از جمله آن‌ها می‌توان به کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها اشاره کرد. کلروفیل، رنگدانه‌ای است به رنگ سبز که فقط در داخل کلروپلاست‌ها دیده می‌شود، مقدار آن در واحد سطح، شاخص ظرفیت فتوسنتزی گیاه است و نقش مهمی در فیزیولوژی و بهره‌وری اقتصادی گیاهان دارد. در تشکیل این رنگدانه، عواملی مانند نور، میزان ازت، آهن و منگنز نقش دارند. کلروفیل‌ها شامل کلروفیل a، b، c و d می‌باشند که در گیاهان عالی فقط کلروفیل‌های a و b وجود دارند. لازم به ذکر است که کلروفیل a به رنگ سبز مایل به آبی و کلروفیل b به رنگ زرد مایل به سبز است (Pirzad and Mohammadzadeh, 2018).

نیتریک‌اکسید در فرآیندهایی مثل تقسیم سلولی، فتوسنتز و افزایش میزان کلروفیل کل دخالت دارد که این افزایش کلروفیل توسط نیتریک‌اکسید می‌تواند با اثر بر قابلیت جذب آهن توسط گیاه باشد که در حضور نیتریک‌اکسید، دسترسی به آهن بیشتر می شود و با اثر بر متابولیسم کلروفیل، باعث افزایش سنتز کلروفیل و مانع از تخریب آن می‌شود و همچنین نیتریک‌اکسید به دلیل خاصیت آنتی اکسیدانی خود باعث حفظ کلروفیل در گیاه می‌شود (Fan *et al.*, 2014). از آنجایی که کلروفیل a مرکز واکنش فتوسیستم های I و II را تشکیل می‌دهد لذا افزایش مقدار آن، تقویت فتوسنتزی گیاه را به دنبال خواهد داشت و نقش کلروفیل b در سیستم فتوسنتزی گیاه، دریافت نور در کمپلکس برداشت نور و انتقال به کلروفیل a است. در شرایط عدم تنش، به‌واسطه فراهم بودن سطح برگ بیشتر، احساس نیاز گیاه به تقویت کمپلکس برداشت نور کمتر است و این می‌تواند دلیلی برای کمتر بودن کلروفیل b در شرایط بدون تنش باشد (Arab *et al.*, 2016). نتایج پژوهش حاضر با نتایج آزمایش‌های صورت گرفته روی لاله، رز و سوسن شرقی که نشان دادند نیتریک‌اکسید در غلظت‌های مناسب، اثر تشویقی بر میزان کلروفیل برگ دارد، همخوانی دارد (Yousefi *et al.*, 2019 ، Salachna *et al.*, 2016; Talebi, 2011). همچنین در آزمایشی که روی پسته انجام شد نتایج نشان دادند که سدیم نیتروپروساید در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار باعث افزایش کلروفیل a و b در برگ‌ها شد (Eslami *et al.*, 2019). نتایج این پژوهش با آزمایش‌های فان و همکاران (Fan *et al.*, 2014) که نشان دادند نیتریک اکسید در غلظت ۱۰۰ میکرومولار، محتوی کلروفیل برگ را در خیار تغییر نداد مغایرت داشت. پس می‌توان نتیجه گرفت که نیتریک‌اکسید در گیاهان مختلف و غلظت‌های مختلف، اثرات متفاوتی بر جای می‌گذارد.

پلی‌آمین‌ها نقش مهمی در پتانسیل فتوسنتزی گیاهان، تشکیل و حفظ کلروفیل، انتقال عناصر معدنی و تولیدات فتوسنتزی دارند (Asghari, 2015). همچنین در فعالیت‌های مختلف رشد از جمله فعالیت رنگیزه‌ها، سنتز پروتئین‌ها و استحکام اسیدهای نوکلئیک و غشاهای سلولی نقش دارند، از طرف دیگر محتوی کلروفیل تحت تاثیر مدیریت تغذیه‌ای گیاه است که نیتروژن نقش مهمی در آن دارد و از آن‌جایی که نیتروژن از آنزیم‌های مهم در سنتز کلروفیل است کمبود آن می‌تواند محتوی کلروفیل را کاهش دهد (Yousefi *et al.*, 2019).

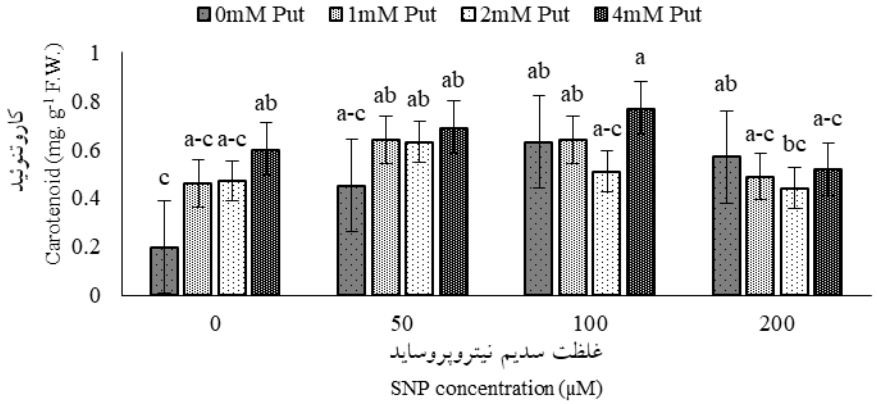
همان‌طور که اشاره شد پلی‌آمین‌ها با حفاظت از ساختارهای غشا و اثر برجذب نیتروژن توسط گیاه، باعث افزایش محتوی کلروفیل در گیاهان می‌شوند. نتایج این پژوهش نشان داد پوترسین باعث افزایش معنی‌داری در مقدار کلروفیل کل در رز شد که بررسی‌های صورت گرفته روی گیاهان، تاثیر مثبت پوترسین بر کلروفیل را نشان دادند. در گلایول، کوکب، مریم گلی و تاج خروس نیز کاربرد پوترسین منجر به افزایش محتوی کلروفیل نسبت به شاهد شد (Abdel Aziz *et al.*, 2009، Badawy *et al.*, 2015 ، Kandil *et al.*, 2015 ,

Mahgoub *et al.*, 2011). در پژوهش‌های انجام شده روی گل رز و همیشه بهار، مشخص شد که پوترسین در غلظت ۲ میلی‌مولار موجب افزایش کلروفیل برگ در گیاهان شد (Bani Assadi *et al.*, 2015 , Danaee and Abdossi, 2018) و در آزمایشی که روی داوودی انجام شد مشاهده شد که پوترسین در غلظت‌های کم تاثیر مثبتی بر افزایش مقدار کلروفیل داشته که با افزایش غلظت، تاثیر آن کمتر شده است (Kamiab and Zamani Bahramabadi, 2016).

کاروتنوئید

همان‌طور که نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد، اثرات اصلی و متقابل نیتریک اکسید و پوترسین بر میزان کاروتنوئید برگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد.

با توجه به نمودار مقایسه میانگین (شکل ۶) مشاهده می‌شود که محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید و پوترسین بر میزان کاروتنوئید برگ اثر مثبتی داشته به طوری‌که افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید تا ۱۰۰ میکرومولار باعث افزایش میزان کاروتنوئید شده است. کاربرد غلظت‌های مختلف پوترسین نیز تا حدودی باعث افزایش کاروتنوئید شده است ولی کاربرد توام آنها به ویژه در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید (همراه با غلظت‌های مختلف پوترسین) باعث افزایش معنی‌دار کاروتنوئید نسبت به شاهد شد. در بین تیمارها، تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۴ میلی‌مولار پوترسین باعث افزایش حدود ۳ برابری کاروتنوئید نسبت به شاهد نشان شد.



شکل ۶- اثر متقابل سدیم نیتروپروساید × پوترسین بر میزان کاروتنوئید رز رقم 'Avalanche'

Figure 6- The interaction effect of sodium nitroprusside × putrescine on the carotenoid content of rose 'Avalanche' (Tukey, *p≤0.01*)

رنگدانه‌های کاروتنوئید وظیفه جمع‌آوری انرژی که می‌تواند در فتوسنتز مورد استفاده قرار گیرد و هم‌چنین محافظت کلروفیل از تخریب نوری در مواقعی که شدت نور زیاد است را برعهده دارند. کمپلکس‌های رنگدانه_ پروتئین غشاهای تیلاکوئید نه تنها دارای کلروفیل هستند بلکه حاوی کاروتنوئید نیز می‌باشند که عمده کاروتنوئید موجود در بیشتر گونه‌های گیاهی، بتا کاروتن است. همان‌طور که گفته شد کاروتنوئیدها دو وظیفه اساسی دریافت نور و محافظت نوری را در فتوسنتز بر عهده دارند. براساس طیف جذبی، در ابتدا اعتقاد بر این بوده است که وظیفه اصلی کاروتنوئیدها، انتقال انرژی جذب شده به کلروفیل است که در این مورد وظیفه کاروتنوئید، دریافت نور است و انرژی جذب شده توسط آن‌ها سرانجام در فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Pirzad and Mohammadzadeh, 2018). کاروتنوئیدها رنگیزه‌هایی هستند که در قسمت‌های سبز و بدون سبزینه گیاه یافت می‌شوند و به دلیل غالبیت رنگ سبز کلروفیل، کاروتنوئیدها که مسئول رنگ زرد و نارنجی در گیاهان هستند اغلب پنهان می‌مانند (Khosh-Khui *et al.*, 2010).

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تیمار نیتریک‌اکسید باعث افزایش محتوی کاروتنوئید شده و بیشترین مقدار آن در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار مشاهده می‌شود که احتمال دارد این افزایش در محتوی کاروتنوئید، همزمان با تجمع قند در بافت‌های گیاهی باشد که با نتایج آزمایشات صورت گرفته روی ژربرا و همیشه بهار که نشان دادند نیتریک اکسید باعث افزایش میزان کاروتنوئید در گیاهان می‌شود همخوانی دارد (Hemati *et al.*, 2019, Jabbarzadeh *et al.*, 2016).

پلی‌آمین‌ها به طور مستقیم به گروه‌های اسیدی فسفولیپیدها روی لایه‌های غشاء پلاسمایی متصل می‌شوند و از این طریق بر پایداری و خاصیت نفوذ پذیری غشاها تاثیر می‌گذارند (Mohammadi *et al.*, 2018). به نظر می‌رسد که پلی‌آمین‌ها با حفظ ساختار تیلاکوئیدها و

میزان کلروفیل از طریق تعامل با بار منفی غشاها اثر خود را اعمال می‌کنند (Mostafaei *et al.*, 2018). در پژوهشی که روی میوه گوجه فرنگی انجام شد نتایج نشان داد گوجه‌فرنگی‌های تراریخته مقادیر بیشتری کاروتنوئید نسبت به میوه‌های دست نخورده دارند. تجزیه و تحلیل وابسته به رونویسی نشان داد که تغییرات در محتوی پلی‌آمین‌ها در میوه‌های تراریخت وضعیت پایداری در سطح رونویسی ژن را در متابولیسم کاروتنوئید تحت تاثیر قرار داد و منجر به افزایش محتوی کاروتنوئید شد (Neily *et al.*, 2011). نتایج نشان دهنده این بود که ژن‌های مسئول بیوسنتز کاروتنوئید، تنظیم بیشتری نسبت به ژن‌های در گیر در تجزیه کاروتنوئیدها داشتند، براساس این نتایج می‌توان گفت که مکانیسم تشکیل کاروتنوئیدها در مرحله رونویسی رخ می‌دهد (Fraser and Bramley, 2004).

همان‌طور که مشاهده شد، پوترسین اثر مثبتی بر مقدار کاروتنوئید برگ داشت به طوری‌که در غلظت ۲ میلی‌مولار بیشترین میزان کاروتنوئید برگ مشاهده شد. مطابق با نتایج پژوهش حاضر، در پژوهش های انجام گرفته روی رز، گلایول، همیشه بهار و آویشن نشان داد که پوترسین، باعث افزایش محتوی کاروتنوئید برگ می‌شود (Bani Assadi *et al.*, 2015 ,Abdel Aziz *et al.*, 2009 , Mostafaei *et al.*, 2018, Yousefi *et al.*, 2019).

خمیدگی ساقه گل

نتایج جدول ۳ حاکی از آن است که اثرات اصلی و متقابل غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید و پوترسین بر خمیدگی ساقه گل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

مقایسه میانگین داده ها (شکل ۷) نشان می‌دهد که در بین غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید و پوترسین، کمترین خمیدگی ساقه در غلظت‌های ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و پوترسین ۲ و ۴ میلی‌مولار بود که تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد داشت.

عوامل گوناگونی در خمیدگی ساقه گل نقش دارند، یکی از عمده‌ترین آن‌ها، کافی نبودن بافت اسکلرانشیم در قسمت بالای ساقه است. بافت اسکلرانشیم و چوب مقدار زیادی لیگنین در دیواره خود دارند (Perik *et al.*, 2012). در آزمایشی روی گیاه برنج مشاهده شد که جلوگیری از بیان ژن سینامیل الکل دهیدروژناز که در مسیر ساخت لیگنین عمل می‌کند باعث شد که ساقه‌های برنج، بافت اسکلرانشیم نازک‌تر داشته باشند که استحکام مکانیکی کمتری دارد و ساقه‌ها به سرعت خمیده می‌شوند، در نتیجه می توان گفت لیگنین در دیواره اسکلرانشیم برای استحکام ساقه مهم است (Li *et al.*, 2009). هم‌چنین گزارش شده است که جلوگیری از فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در گل ژربرا باعث افزایش خمیدگی ساقه شده است (Ferrante *et al.*, 2007). با توجه به اینکه در این پژوهش کاربرد غلظت‌های ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید همراه با پوترسین ۲ و ۴ میلی‌مولار باعث کاهش خمیدگی گردن شد، به نظر می رسد که نیتریک‌اکسید از راه انگیزش فنیل آلانین آمونیالیاز و افزایش ساخت لیگنین و در نتیجه افزایش بافت‌های استحکامی در ساقه گیاه، باعث حفاظت از ساقه در برابر خم‌شدگی می‌شود که این نتایج در ژربرا با کاربرد نیتریک اکسید مطابقت دارد (Sadeghi *et al.*, 2016). اثر پوترسین بر کاهش خمیدگی گردن نیز می‌تواند به دلیل خاصیت ضد اتیلنی آن باشد که با اثر بر کاهش تولید اتیلن، مانع از تخریب بافت‌ها می‌شود که این نتایج با پژوهش صورت گرفته روی رز همخوانی داشت (Hosseini Farahi *et al.*, 2013).

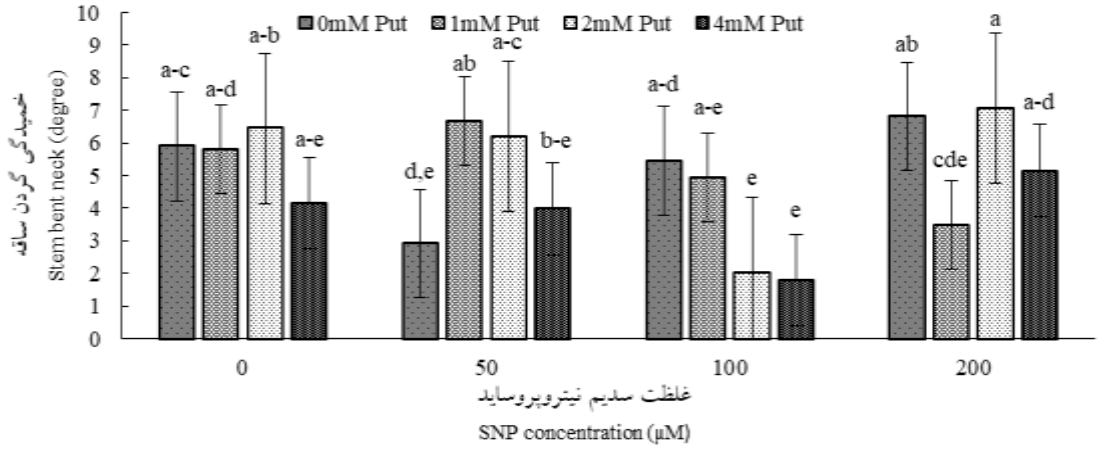
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرات غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید و پوترسین بر خمیدگی گردن ساقه گل رز رقم 'آوالانچ' در مرحله پس از برداشت

Table 3- Results of variance analysis related to the effect of different concentrations of sodium nitroprusside and putrescine on stem bent neck of rose 'Avalanche' at post-harvest stage

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares
		خمیدگی گردن ساقه Stem bent neck
سدیم نیتروپروساید Sodium nitroprusside (SNP)	3	12.938**
پوترسین Putrescine (P)	3	6.907**
سدیم نیتروپروساید × پوترسین SNP × P	9	7.841**
خطای آزمایشی Error	32	0.697
ضریب تغییرات CV (%)	-	17.01

*: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، **: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و ns: عدم معنی‌داری

*: Significant at $p \leq 0.05$, **: Significant at $p \leq 0.01$ and ^{ns}: Non-significant



شکل ۷- اثر متقابل سدیم نیتروپروساید × پوترسین بر خمیدگی ساقه گلدهنده گل رز رقم 'Avalanche'

Figure 7- The interaction effect of sodium nitroprusside × putrescine on the flowering stem neck of rose 'Avalanche' (Tukey, $p\leq0.01$)

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز گلبرگ

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) بیانگر این است که اثرات اصلی و متقابل نیتریک‌اکسید با پوترسین، سدیم نیتروپروساید با زمان و پوترسین با زمان و هم‌چنین اثرات متقابل غلظت‌های مختلف نیتریک اکسید، پوترسین و زمان در سطح احتمال یک درصد بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز معنی‌دار شد.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۸) حاکی از آن است که تغییرات میزان آنزیم گایاکول پراکسیداز بستگی به تیمارهای به کار برده شده و زمان‌های مختلف نمونه برداری داشته و روند ثابتی را طی نکرده است با این وجود در برخی شرایط و تیمارها افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم دیده می شود. میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در روزهای دوازدهم در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید با یا بدون کاربرد پوترسین تفاوت معنی‌داری با بقیه تیمارها در روزهای مختلف نمونه برداری داشت. در اغلب تیمارها میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در روز صفر نمونه برداری کمتر از بقیه روزها بود و با افزایش روزهای ماندگاری گل‌ها در گلجای، میزان آنزیم نیز افزایش پیدا کرد.

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز گلبرگ

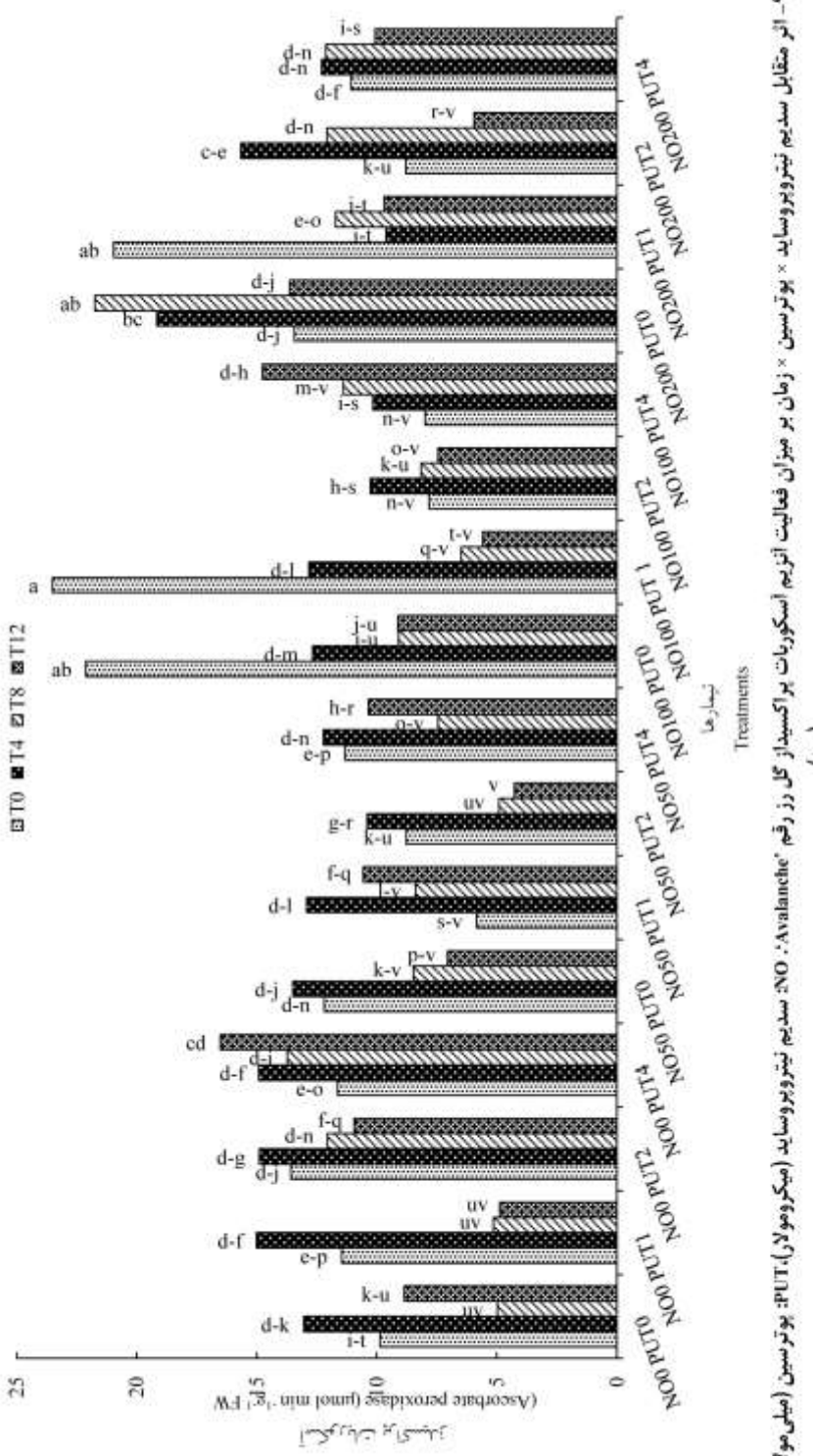
بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان می‌دهد که اثرات اصلی زمان، سدیم نیتروپروساید و پوترسین در سطح یک درصد و هم‌چنین اثرات سدیم نیتروپروساید با پوترسین، سدیم نیتروپروساید با زمان و پوترسین با زمان و اثرات متقابل سدیم نیتروپروساید با پوترسین و زمان در سطح یک درصد بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار شد.

بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۹) نشان می‌دهد که میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نیز روند افزایشی یا کاهشی ثابتی نداشته اشت. با این وجود کاربرد سدیم نیتروپروساید در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار بدون کاربرد پوترسین و یا با کاربرد غلظت‌های کم پوترسین (۱ میلی‌مولار) در روز صفر باعث افزایش تقریبا دو برابری میزان فعالیت این آنزیم نسبت به شاهد شدند.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که کاربرد توام سدیم نیتروپروساید و پوترسین تاثیر مثبتی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دارد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها می‌توان گفت افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید تا غلظت ۱۰۰ میکرومولار به همراه پوترسین باعث افزایش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز تا روز ۱۲ شد. از سویی دیگر کاربرد پوترسین به تنهایی در غلظت ۴ میلی‌مولار و سدیم نیتروپروساید به تنهایی در غلظت ۲۰۰ میکرومولار نیز تاثیرات مثبتی بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیدار داشتند و در نتیجه می توان چنین نتیجه گرفت که کاربرد توام هر دو ماده حتی در غلظت های کم می تواند در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و جلوگیری از تخریب رادیکال های آزاد موثر باشد. در آنزیم آسکوربات پراکسیداز، فعالیت آنزیم با افزایش زمان ماندگاری گل‌ها در گلجای روند کاهشی داشت ولی تیمارهای استفاده شده در پژوهش، در میزان فعالیت آنزیم موثر بودند، طوری که در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرو-مولار سدیم نیتروپروساید بدون کاربرد پوترسین و یا با کاربرد غلظت های کم پوترسین (۱ میلی‌مولار) فعالیت آنزیم بیشتر بود که البته با گذر زمان از فعالیت آنزیم کاسته شد. به طور کلی می‌توان گفت که سدیم نیتروپروساید در غلظت‌های زیاد در مرحله پس از برداشت، بیشترین تاثیر را در فعالیت آنزیم‌ها دارد و با افزایش فعالیت آنزیم‌ها، مانع از فعالیت و تخریب رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود که این نتایج با یافته‌های ژنگ و همکاران (Zhou *et al.*, 2011) در میخک، کاظم زاده بنه و همکاران (Kazemzadeh-Beneh *et al.*, 2018) در گلایول، دنگ و همکاران (Deng *et al.*, 2019) در رز مطابقت داشت.

شکل ۸- اثر متقابل سدیم نیتروپروساید × پوترسین × زمان بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز گل رز رقم 'Avalanche'. NO: سدیم نیتروپروساید (میکرومولار)، PUT: پوترسین (میلی مولار)، T: زمان (روز)

Figure 8- The interaction effect of sodium nitroprusside × putrescine × time on the guaiacol peroxidase activity of rose 'Avalanche'. NO: sodium nitroprusside (µM), PUT: putrescine, T: time (day)
(Tukey, $p \leq 0.01$)



شکل ۹- اثر متقابل سدیم نیتروپروساید × پوترسین × زمان بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز گل رز رقم 'Avalanche'. NO: سدیم نیتروپروساید (میکرومولار)، PUT: پوترسین (میلی‌مولار)، T: زمان (روز)

Figure 9- The interaction effect of sodium nitroprusside × putrescine × time on the ascorbate peroxidase activity of rose 'Avalanche'. NO: sodium nitroprusside (μM), PUT: putrescine, T: time (day) (Tukey, $p \leq 0.01$)

جدول ۴- تجزیه واریانس مربوط به اثرات غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید و پوترسین بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گل رز رقم 'آوالانچ' در مرحله پس از برداشت

Table 4- ANOVA for the effect of different concentrations of sodium nitroprusside and putrescine on antioxidant enymes activity at postharvest stage of rose 'Avalanche'

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares	
		گایاکول پراکسیداز Guaiacol peroxidase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase
سدیم نیتروپروساید Sodium nitroprusside (SNP)	3	1.062*	1.640**
پوترسین Putrescine (P)	3	1.871**	6.067**
زمان Time (T)	3	59**	74.569**
سدیم نیتروپروساید × پوترسین SNP × P	9	15.531**	15.964**
سدیم نیتروپروساید × زمان T×SNP	9	31.766**	23.733**
پوترسین × زمان T×P	9	6.064**	3.389**
سدیم نیتروپروساید × پوترسین × زمان T× P ×SNP	27	6.143**	2.776**
خطای آزمایشی Error	128	0.319	0.575
ضریب تغییرات CV (%)	-	16.41	22.463

*: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، **: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و ns: عدم معنی‌داری

*: Significant at $p \leq 0.05$, **: Significant at $p \leq 0.01$ and ^{ns}: Non-significant

در گیاهان، هنگام پیری، انواع اکسیژن‌های فعال نظیر سوپر اکسید (O_2^-)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل تشکیل می‌شوند. انواع اکسیژن‌های فعال به طور جدی به متابولیسم-های طبیعی گیاه آسیب وارد نموده و سبب خسارت به لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه می‌شوند. به دلیل اینکه طی پدیده فتوسنتز، میزان اکسیژن‌های درونی بیشتر می‌باشد در این شرایط کلروپلاست‌ها به تولید انواع اکسیژن‌های فعال تمایل دارند. سوپراکسید تولید شده سریعا موجب تشکیل پراکسید هیدروژن و اکسیژن می‌شود. پراکسید هیدروژن از فعالیت واکنشی محدودی برخوردار است و تقریبا نیمه عمر طولانی دارد (یک میلی ثانیه). پراکسید هیدروژن یک رادیکال آزاد نیست، اما به عنوان احیا کننده یا اکسید کننده در بسیاری از واکنش‌های سلولی مشارکت و برخلاف رادیکال سوپر اکسید، قابلیت انتشار زیادی از طریق غشاها و محیط‌های آبی دارد و ممکن است به طور مستقیم در غلظت‌های کم، آنزیم‌های حساس را غیر فعال کند (Gupta *et al.*, 2019). در ضمن احتمال دارد پراکسید هیدروژن در حضور بعضی از یون‌های فلزی و یا کلات‌های فلزی اثر متقابل نشان داده و موجب تولید هیدروکسیل دوباره فعال شده گردد (Jalili Marandi, 2010). سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز وآسکوربات پراکسیداز مهم‌ترین آنزیم-های آنتی اکسیدانی در گیاه هستند (Gupta *et al.*, 2019).

از مهم‌ترین راه‌های دفاعی گیاهان در مقابل گونه‌های فعال اکسیژن، می‌توان به آنزیم‌های آنتی اکسیدانی اشاره کرد. یکی از اصلی‌ترین عوامل خسارت در مرحله پس از برداشت گیاهان، ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال است که باعث تغییر در ساختار ترکیبات غشایی و آنتی‌اکسیدانی می‌شود، که گیاهان از طریق دو سیستم آنزیمی (آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز) و غیر آنزیمی موجب حذف و تجزیه پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شوند. در شرایط نرمال، انواع اکسیژن‌های واکنش زا به طور ثابت در قسمت‌های مختلف گیاه از جمله کلروپلاست‌ها و میتوکندری، غشای پلاسمایی و غیره تولید می‌شوند که در شرایط تخریب و پیری درحدی که برای گیاه مضر باشند تولید آن‌ها زیاد می‌شود. در شرایط طبیعی، رشد گونه‌های

اکسیژن فعال توسط سیستم‌های آنتی اکسیدانی گیاه حذف شده اما زمانی که گیاه در شرایط تخریب قرار می‌گیرد ومیزان تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن به شدت افزایش یافته، به طوری‌که بر میزان فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی غلبه نموده در نتیجه تنش اکسیدی رخ می‌دهد که در نهایت باعث صدمه به پروتئین‌ها، RNA، DNA و غشاء یاخته‌ای شده و پراکسیداسیون لیپیدی اتفاق می‌افتد (Kumar *et al.*, 2014). یکی از آنزیم‌های اکسید کننده ترکیبات فنولی که نقش مهمی در افزایش دفاع آنتی اکسیدانی دارد آنزیم گایاکول پراکسیداز است که به عنوان گیرنده و جمع کننده پراکسیدها عمل می‌کند و اثرات مخرب این مولکول‌ها را می‌کاهد (Zhou *et al.*, 2011). بعضی گیاهان با تولید آنتی اکسیدان‌ها، خود را از خسارت انواع اکسیژن‌های فعال محافظت می‌کنند. سوپر اکسید دیسموتاز، سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌کند. آنزیم آسکوربات پراکسیداز که همیشه در داخل کلروپلاست‌ها وجود دارد پراکسید هیدروژن را تجزیه می‌کند.آسکوربات از طریق چرخه آسکوربات – گلوتاتیون در کلروپلاست‌ها تولید می‌شود و همچنین آسکوربات می‌تواند بطور مستقیم توسط سوپراکسید اکسیده شود (Jalili Marandi, 2010).

گزارش شده است که نیتریک‌اکسید و اس نیتروزوتیول‌ها در پاسخ به انواع تنش‌ها تولید می‌شوند (Asghari, 2015). نیتریک‌اکسید از آنزیم‌های محتوی هِم، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز در مقابل گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کند. رادیکال آزاد نیتریک‌اکسید اثرات سمی گونه‌های فعال اکسیژن را از بین می‌برد. اثرات محافظتی نیتریک‌اکسید ممکن است با تنظیم غلظت و سمیت آن به دلیل همراهی با ROS در اکسیداتیو چربی مرتبط باشد (Duan *et al.*, 2007).

یکی از مهم ترین مکانیسم‌های محافظت از گیاهان در شرایط تنش، جلوگیری از تولید رادیکال‌های آزاد است (Bani Assadi *et al.*, 2015). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی یکی از سیستم‌های بسیار مؤثر هستند که در محافظت از سلول‌ها در برابر پاتوژن و اکسیداتیو ناشی از پیری بافت و در جلوگیری از پیری و مرگ سلول مفید هستند. همان‌طور که گفته شد در شرایط پس از برداشت، با افزایش پیری، میزان تولید گونه‌های اکسیژن فعال افزایش یافته و تخریب سلولی اتفاق می‌افتد. پلی‌آمین‌ها می‌توانند به عنوان غیر فعال کننده رادیکال‌های آزاد ونیز با اتصال به مولکول‌های پروتئین که در ساختن آنزیم‌ها تاثیر دارند عمل کنند. پلی‌آمین‌ها به طور مستقیم یا از طریق کاهش گونه‌های فعال اکسیژن سبب افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شوند (Kakkar and Sawhney, 2003). با توجه به مطالب گفته شده و نتایج پژوهش حاضر که نشان می‌دهد پوترسین با افزایش غلظت، باعث افزایش فعالیت آنزیم های آنتی‌اکسیدانی شده است به طوری که بیشترین فعالیت آنزیم در غلظت ۴ میلی‌مولار مشاهده شد که با گذشت زمان در مرحله پس از برداشت، فعالیت آنزیم نیز زیاد شده است که با نتایج پژوهش‌های انجام شده در لیزیانتوس و رز مطابقت داشت (Badawy *et al.*, 2015Badawy *et al.*, 2015,).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که نیتریک اکسید و پوترسین موجب بهبود برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی قبل از برداشت و شاخص‌های پس از برداشتی می‌شوند. نتایج نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک ساقه گلدهنده و میزان کلروفیل a, b و کلروفیل کل، کاروتنوئید و کمترین خمیدگی ساقه در غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و ۴ میلی‌مولار پوترسین بود و همچنین بیشترین میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در غلظت ۲۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید بدون کاربرد پوترسین بود. بیشترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نیز در غلظت ۱ میلی‌مولار پوترسین مشاهده شد.

منابع

1. Abdel Aziz N.G., Taha Lobna S., and Ibrahim Soad M.M. 2009. Some studies on the effect of putrescine, ascorbic acid and thiamine on growth, flowering and some chemical constituent of Gladiolous plants at Nuberia. Ozean. Journal of Applied Sciences 2(2): 169-179.
2. Arab S., Baradaran Firoz Abadi M., Asghari A., and Rahimi M. 2016. The effect of foliar application of ascorbic acid and sodium nitroprusside on grain protein content, yield and some agronomic traits of safflower under water deficit stress. Journal of Crop Production 38(4): 93-104.
3. Asghari M. 2015. Hormones and New (Non-Classic) Plants Growth Regulators. Urmia University press. (In Persian)
4. Asna Ashari M., and Zokai Khosroshahi M. 2008. Polyamines and Horticultural Sciences. Bu-Ali Sina University, 163 p. (In Persian)
5. Ataii D., Khandan-Mirkohi A., and Naderi R. 2015. Exogenous putrescine delays senescence of Lisianthus cut flowers. Journal of Ornamental Plants 3: 167-174.
6. Badawy E.M., Kandil M.M., Mahgoub M., Shanan N., and Hegazi N. 2015. Chemical constituents of *Celosia*

argentea var. *cristata* L. plants as affected by foliar application of putrescine and alpha-tocopherol. International Journal of ChemTech Research 8(12): 464-470.
7. Bani Assadi F., Safari V.R., and Maghsoudi A.A. 2015. Effect of putrescine and salinity on the morphological, biochemical, and pigments of English marigold plant (*Calendula officinalis* L.). Journal of Science and Technology of Greenhouse Cultures 6(21): 125–133. (In Persian with English abstract)
8. Bhattacharjee S.K., and Banerji B.K. 2010. The Complete Book of Roses. Jaipur 302 003 (Raj.) India. 531 p.
9. Chen D., Shao Q., Yin L., Younis A., and Zheng B. 2019. Polyamine function in plants: metabolism, regulation on development, and roles in abiotic stress responses. Frontiers in Plant Science 9: 1945. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01945.
10. Danaee E., and Abdossi V. 2018. Effect of different concentration and application methods of polyamines (Putrescine, Spermine, Spermidine) on some morphological, physiological, and enzymatic characteristics and vase life of *Rosa hybrida* cv. Dolce Vita cut flower. Journal of Ornamental Plants 8(3): 171-182.
11. Dastyaran M., and Hosseini Farahi M. 2014. The effect of humic acid and putrescin on vegetative properties and vase life of rose in a soilless system. Journal of Science and Technology of Greenhouse Cultures 20: 243–252. (In Persian with English abstract)
12. Deng Y., Wang C., Huo J., Hu W., and Liao W. 2019. The involvement of NO in ABA-delayed the senescence of cut roses by maintaining water content and antioxidant enzymes activity. Scientia Horticulturae 247: 35-41. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.006.
13. Duan X., Su X., You Y., Qu H., Li Y., and Jiang Y. 2007. Effect of nitric oxide on pericarp browning of harvested longan fruit in relation to phenolic metabolism. Food Chemistry 104(2): 571-576. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.007.
14. Eslami M., Nasibi F., Manouchehri Kalantari K., Khezri M., and Oloumi H. 2019. Effect of exogenous application of L-arginine and sodium nitroprusside on fruit abscission and physiological disorders of pistachio (*Pistacia vera* L.) Scions. International Journal of Horticultural Science and Technology 6(1): 51-62.
15. Fan H.F., Du C.X., Ding L., and Xu Y.L. 2014. Exogenous nitric oxide promotes waterlogging tolerance as related to the activities of antioxidant enzymes in cucumber seedlings. Russian Journal of Plant Physiology 61(3): 366-373. https://doi.org/10.1134/S1021443714030042.
16. Ferrante A., Alberici A., Antonacci S., and Serra G. 2007. Effect of promoter and inhibitors of phenylalanine ammonia-lyase enzyme on stem bending of cut gerbera flowers. In International Conference on Quality Management in Supply Chains of Ornamental 755: 471-476.
17. Fraser P.D., and Bramley P.M. 2004. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. Progress in Lipid Research 43(3): 228-265. https://doi.org/10.1016/j.plipres.2003.10.002.
18. Gohari G., Alavi Z., Esfandiari E., Panahirad S., Hajihoseinlou S., and Fotopoulos V. 2020. Interaction between hydrogen peroxide and sodium nitroprusside following chemical priming of *Ocimum basilicum* L. against salt stress. Physiologia Plantarum 168(2): 361-373. https://doi.org/10.1111/ppl.13020.
19. Gomez-Ros L.V., Gabaldon C., Nunez-Flores M.J.L., Gutierrez J., Herrero J., Zapata J.M., Sottomayor M., Cuello J., and Barcelo A.R. 2012. The promoter region of the *Zinnia elegans* basic peroxidase isoenzyme gene contains cis-elements responsive to nitric oxide and hydrogen peroxide. Planta 236(2): 327-342. https://doi.org/10.1007/s00425-012-1604-3.
20. Gupta D.K., Palma J.M., and Corpas F.J. 2019. Nitric Oxide and Hydrogen Peroxide Signaling in Higher Plants. Springer, 275p.
21. Hemati E., Daneshvar M.H., and Heidari M. 2019. The roles of sodium nitroprusside, salicylic acid, and methyl jasmonate as hold solutions on vase life of *Gerbera jamesonii* 'Sun Spot'. Advances in Horticultural Science 33(2): 187-195. https://doi.org/10.13128/ahs-24261.
22. Hosseini Farahi M., Khalighi A., Kholdbarin B., Mashhadi Akbar-Boojar M., and Eshghi S. 2013. Morphological responses and vase life of *Rosa hybrida* cv. Dolce Vita to polyamines spray in hydroponic system. World Applied Sciences Journal 21(11): 1681-1686. https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.21.11.1868.
23. Hosseini H., and Rezaei Nezhad A. 2016. Effects of foliar application of sodium nitroprusside on drought tolerance of Marigold. Iranian Journal of Horticulture Science and Technology 17(3): 285-298. (In Persian with English abstract)
24. Jabbarzadeh M., Tehranifar A., Amiri J., and Abedi B. 2016. Investigation on the protective role of nitric oxide in reducing damages induced by salinity stress in *Calendula officinalis* L. Journal of Horticultural Science 30(2): 185-191. (In Persian with English abstract)
25. Jalili Marandi R. 2010. Physiology of Environmental Stresses and Resistance Mechanisms in Garden Plants. Jahad Daneshghahi of Urmia press, 636P. (In Persian)
26. Kahrobaiyan M., Nemati S.H., Rahemi M., Kholdebarin B., and Tehranifar A. 2019. Morphological responses of ornamental sunflower to putrescine treatment under drought conditions. Applied Ecology and Environmental Research 17(3): 6117-6127.
27. Kakkar, R.K., and Sawhney, V.K. 2003. Polyamine research in plants- a changing perspective. Physiolgia

Plantarium 116:281-292. https://doi.org/10.1034/J.1399-3054.2002.1160302.X.
28. Kamiab F., and Zamani Bahramabadi E. 2016. The effect of different polyamines on some physiological traits as ACC oxidase and superoxide dismutase enzymes activity in *Chrysanthemum morifolium* cv. Bright Golden Ann. Journal of Ornamental Plants 6(2): 83-91.
29. Kandil M.M., Soad M.M., Lbrahaim S.H., El-Hanafy S.H., and El-Sabwah M.M. 2015. Effect of putrescine and uniconazole on some flowering characteristics and some chemical constituents of *Saliva splendens* F. plant. Journal of Chemical Technology and Biotechnology 8(9): 178-186. https://doi.org/10.21608/ejarc.2012.214880.
30. Kang H.M., and Saltveit M.E. 2002. Chilling tolerance of maize, cucumber and rice seedling leaves and roots and differentially affected by salicylic acid. Plant Physiology 115: 571-576. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150411.x.
31. Karamiyan R. 2019. Study of the effects of salicylic acid, sodium nitroprusside and ethanol on vase life and flower quality of cut flowers of two gerbera varieties. Journal of Plant Research 32(3): 635-646.
32. Kazemzadeh-Beneh H., Samsampour D., and Zarbakhsh S. 2018. Biochemical, physiological changes and antioxidant responses of cut gladiolus flower 'White Prosperity' induced by nitric oxide. Advances in Horticultural Science 32(3): 421-431. https://doi.org/10.13128/ahs-23361.
33. Khosh-Khui M., Sheybani B., Rohani E., and Tafazoli A. 2010. Principles of Horticulture. Shiraz University press. (In Persian)
34. Kumar S., Yadav P., Jain V., and Malhotra S.P. 2014. Isozymes of antioxidative enzymes during ripening and storage of ber (*Ziziphus mauritiana* Lamk.). Food Science and Technology 51: 329-334. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0489-7.
35. Li X., Yang Y., Yao J., Chen G., Li X., Zhang Q., and Wu C. 2009. Flexible culm encoding a cinnamyl-alcohol dehydrogenase controls culm mechanical strength in rice. Plant Molecular Biology 69(6): 685-697. https://doi.org/10.1007/s11103-008-9448-8.
36. Lichtenthaler H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology 148: 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1.
37. Mahgoub M.H., El-Aziz N.A., and Mazhar A.M.A. 2011. Response of *Dahlia pinnata* L. plant to foliar spray with putrescine and thiamine on growth, flowering and photosynthetic pigments. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 10(5): 769-775.
38. Mohammadi H., Ghorbanpour M., and Brestic M. 2018. Exogenous putrescine changes redox regulations and essential oil constituents in field-grown *Thymus vulgaris* L. under well-watered and drought stress conditions. Industrial Crops and Products 122: 119-132. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.064.
39. Monzon G.C., Pinedo M., Di Rienzo J., Novo-Uzal E., Pomar F., Lamattina L., and de la Canal L. 2014. Nitric oxide is required for determining root architecture and lignin composition in sunflower. Supporting evidence from microarray analyses. Nitric Oxide 39: 20-28. https://doi.org/10.1016/j.niox.2014.04.004.
40. Mostafaei E., Zehtab-Salmasi S., Salehi-Lisar Y., and Ghassemi-Golezani K. 2018. Changes in photosynthetic pigments, osmolytes and antioxidants of Indian Mustard by drought and exogenous polyamines. Acta Biologica Hungarica 69(3): 313-324. https://doi.org/10.1556/018.68.2018.3.7.
41. Mostofi Y., Rasouli P., Naderi R., Bagheri Marandi G., and Shafiei M. 2010. Effect of nitric oxide and thidiazuron on vase life and some qualitative characteristics of cut carnation flower (*Dianthus caryophyllus* cv. Nelson). Iranin Journal of Horticulture Science 41: 301-308. (In Persian with English abstract)
42. Nakano Y., and Asada K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. Journal of Plant Cell Physiology 22: 867-880. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232.
43. Neily M.H., Matsukura C., Maucourt M., Bernillon S., Deborde C., Moing A., Yin Y., Saito T., Mori K., Asamizu E., Rolin D., Moriguchi T., and Ezura H. 2011. Enhanced polyamine accumulation alters carotenoid metabolism at the transcriptional level in tomato fruit over-expressing spermidine synthase. Journal of Plant Physiology 168: 242-252. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.07.003.
44. Perik R.R., Razé D., Harkema H., Zhong Y., and Van Doorn W.G. 2012. Bending in cut *Gerbera jamesonii* flowers relates to adverse water relations and lack of stem sclerenchyma development, not to expansion of the stem central cavity or stem elongation. Postharvest Biology and Technology 74: 11-18. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.06.009.
45. Pirzad A.R., and Mohammadzadeh S. 2018. Crop Physiology. Urmia University Press. (In Persian)
46. Salachna P., and Zawadzińska A. 2018. Effect of nitric oxide on growth, flowering and bulb yield of *Eucomis autumnalis*. In VII International Conference on Managing Quality in Chains (MQUIC2017) and II International Symposium on Ornamentals in 1201: 635-640.
47. Sadeghi J., Farahmand H., Nasibi F., and Hosseini F. 2016. Effect of nitric oxide on physiological and antioxidant responses and reducing stem neck of gerbera cut flower. Iranian Journal of Horticultural Sciences and Technologies 17(2): 193-208. (In Persian with English abstract)
48. Salachna P., Zawadzińska A., Wierzbiński Ł., and Senderek W. 2016. Enhancing growth in *Eucomis autumnalis* (Mill.) Chitt. seedlings with exogenous application of nitric oxide. Journal of Horticultural Research 24(2): 13-17.

49. Sami F., Faizan M., Faraz A., Siddiqui H., Yusuf M., and Hayat S. 2017. Nitric oxide-mediated integrative alterations in plant metabolism to confer abiotic stress tolerance, NO crosstalk with phytohormones and NO-mediated post translational modifications in modulating diverse plant stress. Nitric Oxide 73: 22-38. https://doi.org/10.1016/j.niox.2017.12.005.
50. Shabanian, S., Esfahani, M.N., Karamian, R., and Tran, L.S.P. 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.
51. Shi H., Liu W., Wei Y., and Ye T. 2017. Integration of auxin/indole-3-acetic acid 17 and RGA-LIKE3 confers salt stress resistance through stabilization by nitric oxide in Arabidopsis. Journal of Experimental Botany 68: 1239–1249. https://doi.org/10.1093/jxb/erw508.
52. Singh S., Kumar V., Kapoor D., Kumar S., Singh S., Dhanjal D.S., and Singh J. 2020. Revealing on hydrogen sulfide and nitric oxide signals co-ordination for plant growth under stress conditions. Physiologia Plantarum 168(2): 301-317. https://doi.org/10.1111/ppl.13002.
53. Talebi F. 2011. The effects of nitric oxide and thidiazuron on qualitative traits and shelf life of cut roses (*Rosa hybrida* cv. Sensiro) (M.Sc. Thesis). Zanjan University. (In Persian)
54. Upadhyaya A., Sankhla D., Davis T.D., Sankhla N., and Smith B.N. 1985. Effect of paclobutrazol on the activities of some enzymes of activated oxygen metabolism and lipid peroxidation in senescing soybean leaves. Journal of Plant Physiology 121(5): 453-461. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(85)80081-X.
55. Vuosku J., Karppinen K., Muilu-Mäkelä R., Kusano T., Sagor G.H.M., and Avia K. 2018. Scot's pine aminopropyl transferases shed new light on evolution of the polyamine biosynthesis pathway in seed plants. Annals of Botany 121: 1243–1256. https://doi.org/10.1093/aob/mcy012.
56. Wang M., Li B., Zhu Y.C., Niu L.J., Jin X., Xu Q.Q., and Liao W.B. 2015. Effect of exogenous nitric oxide on vegetative and reproductive growth of oriental lily 'Siberia'. Horticulture, Environment and Biotechnology 56(5): 677-686. https://doi.org/10.1007/s13580-015-0051-z.
57. Yousefi F., Jabbarzadeh Z., Amiri J., and Rasouli-Sadaghiani M.H. 2019. Response of Roses (*Rosa hybrida* L. 'Herbert Stevens') to foliar application of polyamines on root development, flowering, photosynthetic pigments, antioxidant enzymes activity and NPK. Scientific Reports 9(16025): 1-11. 025. https://doi.org/10.1038/s41598-019-52547-1.
58. Zeng C.L., Liu L., and Xu G.Q. 2011. The physiological responses of carnation cut flowers to exogenous nitric oxide. Scientia Horticulturae 127(3): 424-430. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.10.024.
59. Zhou R., Li Y., Yan L., and Xie J. 2011. Effect of edible coatings on enzymes, cell membrane integrity, and cell-wall constituents in relation to brittleness and firmness of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* cv. Huanghua) during storage. Food Chemistry 124: 569-575. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.075.