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

CC BY

Research Article
Vol. 36, No. 4, Winter 2023, p. 917-936

The Effect of Foliar Application of Salicylic Acid, Spermidine and Sodium Nitroprusside on some Growth and Flowering Characteristics, Photosynthetic Pigments and Vase Life of Lisianthus 'Mariachi Blue'

M. Piri[1]- Z. Jabbarzadeh[2*]

Received: 23-12-2021
Revised: 07-03-2022
Accepted: 15-03-2022
Available Online: 30-01-2023

How to cite this article:
Piri, M., & Jabbarzadeh, Z. (2023). The Effect of Foliar Application of Salicylic Acid, Spermidine and Sodium Nitroprusside on some Growth and Flowering Characteristics, Photosynthetic Pigments and Vase Life of Lisianthus 'Mariachi Blue'. *Journal of Horticultural Science 36*(4): 917-936. (In Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/jhs.2022.74334.1118

Introduction

Lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) from Gentianaceae family is from wild flowers of north and west America. Lisianthus, a relatively new floral crop to the international market, quickly ranked in the top ten cut flowers worldwide due to its rose-like and blue flowers. It is also widely used as a flowering potted and bedding plant. Lisianthus 'Mariachi Blue' is cultivated as a cut flower. Salicylates have very beneficial effects on plant growth and development. The effect of phenolic compounds in many biochemical and physiological processes including photosynthesis, ion adsorption, membrane permeability, enzyme activity, flowering, stimulation of plant resistance systems, heat production and plant development has been proven. The most famous member of this group is salicylic acid, which as a simple phenolic compound, is naturally produced by plants. Salicylic acid (SA) is considered to be plant signal molecule that plays a key role in plant growth, development, and defense responses. Polyamines (PAs) are ubiquitous and biogenic amines that have been implicated in cellular functions in living organisms. In plants they have been implicated in a wide range of biological processes including cell division, cell elongation, senescence, embryogenesis, root formation, floral initiation and development, fruit development and ripening, pollen tube growth and plant responses to biotic and abiotic stress. Sodium nitroprusside is a nitric oxide releasing agent. Nitric oxide is a gaseous free radical that can disperse very rapidly through cell membranes due to its gaseous nature and medium shelf life, without a carrier. Nitric oxide (NO) is an unstable environmentally-friendly gas radical that is used to protect the postharvest longevity of different horticultural crops. In addition to controlling harvested crop senescence, NO is involved in many plant processes, e.g., germination, growth and development, photosynthesis, pigment synthesis, defensive system, and many others. In the present study, we investigated the effects of foliar application of salicylic acid, spermidine and sodium nitroprusside on some morpho-physiological characteristics and vase life of lisianthus flowers 'Mariachi Blue'.

Materials and Methods

This study was conducted based on a completely randomized design with 10 treatments, 4 replications which each replication containing 2 pots. The treatments were included spermidine at concentrations of 0.5, 1 and 2 mM, salicylic acid at concentrations of 0.5, 1 and 1.5 mM, sodium nitroprusside at concentrations of 50, 100 and 200 µM and control (without any application of growth regulators) as foliar application at intervals of 15 days for 2 months. Plant characteristics including leaf area, stem length, fresh and dry weight of leaves and flower, number of buds, flowers' length and diameter, photosynthetic pigments and vase life were assayed. To perform analysis of variance and compare the mean of the studied traits, SAS software version 9.1 was used. The means were compared using the Tukey multi-domain method at a probability level of 1%. Also, Excel (2016) software was used to draw the chart.

1 and 2- M.Sc. Gratuated Student of Ornamental Plants and Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: z.jabbarzadeh@urmia.ac.ir)

Results and Discussion

The results obtained from analysis of variance in this study showed that the effect of growth regulators used in the study was significant at the level of 1% probability on all morphological traits measured, photosynthetic pigments and vase life of lisianthus flowers. Mean comparison graphs showed that salicylic acid, spermidine and sodium nitroprusside had a positive effect on some morphological traits, photosynthetic pigments and vase life compared to control. It can be concluded that, salicylic acid caused to increase all parameters except the flowers' fresh weight compared to control. Spermidine increase stem length, leaf fresh weight, flowers' fresh and dry weight, length, and diameter, chlorophyll index, chlorophyll b, and carotenoid and vase life of flowers. Also, sodium nitroprusside had beneficial effects on all parameters in this research except leaf area, leaf dry weight, chlorophyll a and vase life of flowers. Salicylic acid plays an important role in regulating some physiological processes of plants such as growth and development, ion uptake and transport, stomatal conductivity, and membrane permeability, which is effective in plant photosynthesis and with increasing photosynthesis, plant growth rate increases. Polyamines such as spermidine are involved in a wide range of developmental stages including cell division, embryogenesis, root growth, and flowering. Sodium nitroprusside is involved in the most important plant processes such as photosynthesis, respiration, growth and cell division. Probably, these growth regulators, due to their effect on plant growth, flowering, as well as photosynthetic pigments, have caused the increment of plant biomass and vase life.

Conclusion

In the present study, the effect of salicylic acid, spermidine and sodium nitroprusside on some growth and flowering characteristics, photosynthetic pigment and vase life of *Eustoma grandiflorum* 'Mariachi Blue' was assayed. According to the results of the present study, it can be concluded that these growth regulators improved growth indices, flowering parameters, photosynthetic pigment and vase life of flowers. According to the results, the appropriate concentrations for salicylic acid were 1 mM, for spermidine, 1 mM and for sodium nitroprusside were also 50 and 100 μM.

Keywords: Chlorophyll content, Flower diameter, Growth regulator, Nitric oxide, Polyamine

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

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص. ۹۳۶-۹۱۷

تاثیر محلول‌پاشی برگی اسیدسالیسلیک، اسپرمیدین و سدیم نیتروپروساید بر برخی ویژگی‌های رشدی، گل‌دهی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عمر گلجای لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

محدثه پیری[۱]- زهره جبارزاده[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴

چکیده

امروزه اهمیت اقتصادی و ارزش گیاهان زینتی به‌ویژه گل‌های شاخه‌بریده در جهان افزایش پیدا کرده است و ماندگاری گل‌ها یکی از موضوعات مهم در تجارت گل‌های شاخه‌بریده است، بنابراین ارائه راه‌کارهایی که باعث بهبود کیفیت گیاهان و افزایش ماندگاری آن‌ها شود امری ضروری است. به این منظور در پژوهش حاضر تاثیر اسپرمیدین، اسیدسالیسلیک و سدیم نیتروپروساید بر رشد و کیفیت گل و همچنین عمرگلجای گیاه لیزیانتوس رقم 'Mariachi Blue'، در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار که هر تکرار شامل ۲ گلدان بود در شرایط کشت بدون خاک، در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه بررسی شد. تیمارهای مورد بررسی شامل اسپرمیدین در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار، اسیدسالیسلیک در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار، سدیم نیتروپروساید در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار و تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر) بودند. نتایج به دست آمده نشان دادند که تیمارهای مورد استفاده موجب افزایش معنی‌دار برخی شاخص‌های مورفولوژیکی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عمر گلجای نسبت به شاهد شدند. با توجه به نتایج حاصل، اسیدسالیسلیک باعث افزایش تمامی شاخص‌های اندازه‌گیری شده (به غیر از وزن تر گل) نسبت به شاهد شد. اسپرمیدین، طول ساقه، وزن تر برگ، وزن تر و خشک گل، طول و قطر گل، شاخص کلروفیل، کلروفیل b، کاروتنوئید و عمر گلجای را نسبت به شاهد افزایش داد و سدیم نیتروپروساید نیز به غیر از سطح برگ، وزن خشک برگ، کلروفیل a و عمر گلجای در بقیه شاخص‌ها تاثیر مثبتی داشت. به طور کلی در این پژوهش، اسیدسالیسلیک و اسپرمیدین در غلظت ۱ میلی‌مولار و سدیم‌نیتروپروساید در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار موثرترین تیمارها در بهبود شاخص‌های رشدی، گلدهی و عمر گلجای گل لیزیانتوس بودند.

واژه‌های کلیدی: پلی‌آمین، تنظیم‌کننده رشد، قطر گل، میزان کلروفیل، نیتریک اکسید

مقدمه

لیزیانتوس با نام علمی *Eustoma grandiflorum* از تیره Gentianaceae می‌باشد که به‌عنوان گل شاخه‌بریده کشت می‌شود (Hohn *et al.*, 2019). عمر پس از برداشت این گل زیاد نیست، و در بین ارقام مختلف، متفاوت است (Shimizu and Ichimura, 2010). این گیاه، به دلیل شباهت زیاد گل‌های آن به گل رز[۳] و همچنین دارا بودن رنگ گل آبی، به سرعت در میان مردم محبوبیت پیدا کرد و جزء ۱۰ گل شاخه‌بریده برتر دنیا شناخته شد. همچنین به‌عنوان گل گلدانی و باغچه‌ای نیز بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر رنگ آبی، دارای طیف گسترده‌ای از سایر رنگ‌ها نیز می‌باشد (Miri *et al.*, 2016). رقم ماریاچی بلو[۴] دارای گل‌های پرپر با گلبرگ‌های تا حدودی برگشته است که در هنگام شکوفایی ظاهر جذابی به آن می بخشد. رشد و گل‌دهی خوب آن در طول تابستان این رقم را به‌عنوان بهترین و مناسب‌ترین رقم لیزیانتوس برای تولید تابستانه معرفی نموده است (Edrisi, 2006).

پلی‌آمین‌ها هیدروکربن‌هایی آلیفاتیک با وزن مولکولی کم و

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد گیاهان زینتی و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: (Email: z.jabbarzadeh@urmia.ac.ir
DOI: 10.22067/jhs.2022.74334.1118

3- Rose

4- Mariachi Blue

دارای زنجیره راست ۱۵-۳ کربنه و دو گروه آمینه انتهایی هستند که در بسیاری از موارد دارای یک یا چند گروه آمینی هستند (Asna Ashari and Zokai Khosroshahi, 2008). دی‌آمین پوترسین، تری‌آمین اسپرمیدین و تتراآمین اسپرمین شناخته‌شده‌ترین پلی‌آمین های یافته شده در موجودات عالی می‌باشند (Alcazar and Tiburcio, 2018). پلی آمین ها گروهی از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی هستند که در گیاهان زینتی در فرایندهای فیزیولوژیکی مختلفی نظیر گل‌آغازی، تمایز جوانه گل، بهبود کیفیت گل و افزایش عمر گلجای نقش دارند (Chen *et al.*, 2019). در پژوهش صورت گرفته در مورد تاثیر محلول‌پاشی پوترسین، اسپرمیدین (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و اسیدسالیسلیک (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) روی ژربرا[1]، نتایج نشان داد که پلی‌آمین‌ها (اسپرمیدین و پوترسین) به همراه اسیدسالیسلیک، تاثیر مثبتی بر شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ژربرا نسبت به شاهد داشتند و موجب افزایش تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک شاخساره، افزایش کلروفیل، قند محلول در برگ‌ها و عمر گلجای ژربرا شدند که بیشترین تاثیر مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسپرمیدین همراه با ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدسالیسلیک بود (Mohammad Saeed *et al.*, 2019). در پژوهشی دیگر که تاثیر محلول‌پاشی برگی پلی‌آمین‌ها (صفر، ۱، ۲ و ۴ میلی‌مولار) روی رز بررسی شد، نتایج نشان داد که غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار پلی‌آمین‌ها بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و عمر گل تاثیر معنی‌داری داشتند (Yousefi *et al.*, 2019).

سدیم نیتروپروساید ماده آزاد کننده نیتریک‌اکسید است. نیتریک اکسید یک رادیکال آزاد گازی شکل است که دارای خواص لیپوفیلی (چربی دوست) است. در نتیجه، برای عبور از غشاهای سلولی و رسیدن به یک هدف خاص درون سلول، نیازی به حامل خاصی ندارد، زیرا به دلیل ماهیت گازی و ماندگاری متوسط، می‌تواند بسیار سریع پراکنده شود (Gupta *et al.*, 2019). نیتریک‌اکسید به‌عنوان یک فیتوهورمون و یک مولکول پیام‌رسان مهم در ارتباط با بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در گیاهان است که ممکن است به‌عنوان یک تنظیم کننده رشد درونی گازی شکل و یا تنظیم کننده رشد گیاهی غیرکلاسیک عمل کند. نیتروژن مونوکسید یا نیتریک‌اکسید در گیاهان در فعالیت‌های گیاهی نظیر فتوسنتز، تنفس، رشد، تحریک تولید سایر هورمون‌های گیاهی و بازدارندگی از تولید برخی هورمون‌ها و همچنین در فرآیندهای پیری و بلوغ شرکت می کند (Asghari, 2015). در پژوهشی، تاثیر کاربرد سدیم نیتروپروساید در غلظت ۱۵۰ میکرومولار همراه با اسیدآبسیزیک روی گل رز شاخه بریده به‌صورت محلول‌پاشی بررسی شد و مشاهده گردید که سدیم نیترپروساید با بستن روزنه‌های برگ‌ها موجب افزایش جذب آب، کاهش تعرق و افزایش فتوسنتز و نیز باعث افزایش میزان کلروفیل شد (Deng *et al.*, 2019). همچنین در بررسی تاثیر استفاده از سدیم نیتروپروساید در گونه‌ای اکومیس (گل آناناسی)[2]، نتایج نشان داد که سدیم نیتروپروساید، طول، وزن، قطر گل‌آذین و تعداد گل را افزایش داد و همچنین باعث کاهش مدت زمان گلدهی شد (Salachna and Zawadzińska, 2018).

سالیسیلات‌ها گروه جدیدی از هورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی هستند که اثرات بسیار سودمندی در فعالیت رشد و نموی گیاهان بر عهده دارند. این ترکیبات به گروه وسیع ترکیبات فنلی تعلق دارند که از مسیر فنیل پروپانوئید و در نتیجه فعال‌شدن آنزیم فنیل آلانین‌آمونیالیاز تولید می‌شوند. تاثیر ترکیبات فنلی در بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی از جمله فتوسنتز، جذب یون‌ها، نفوذپذیری غشاء، فعالیت آنزیم‌ها، گلدهی، تحریک سیستم‌های مقاومت گیاهان، تولید گرما و رشد و نمو گیاهان به اثبات رسیده است. معروف‌ترین عضو این گروه، اسیدسالیسلیک است که به عنوان یک ترکیب فنلی ساده، به طور طبیعی توسط گیاهان تولید می‌شود (Asghari, 2015). همچنین اسیدسالیسلیک در بیوسنتز اتیلن تاثیر داشته و از پیری جلوگیری می‌کند و سبب افزایش عمرگلجای می‌شود (Aelaei *et al.*, 2017). در مطالعه‌ای، تاثیر کاربرد پیش و پس از برداشت اسیدسالیسلیک روی گل شاخه‌بریده آلسترومریا[3] بررسی شد، به این صورت که در دوره پیش از برداشت، غلظت ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و در شرایط پس از برداشت، غلظت ۳۰ و ۵۰ میلی گرم در لیتر آن استفاده شد، نتایج نشان داد که کاربرد غلظت۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدسالیسلیک باعث افزایش میزان کلروفیل قبل از برداشت و غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر آن باعث جلوگیری از تجزیه کلروفیل پس از برداشت می‌شود (Ershad Langroudi *et al.*, 2020). در بررسی تاثیر اسیدسالیسلیک بر رشد و گلدهی آهار[4] در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، نتایج نشان داد که غلظت‌های مختلف اسیدسالیسلیک موجب بهبود پارامترهای رشدی و گل‌دهی آهار شد و باعث افزایش تعداد گل، قطر گل، طول ساقه گلدهنده و ماندگاری گل روی بوته شده و همچنین باعث تسریع گل‌دهی در گیاهان تیمار شده نسبت به شاهد شد (Zeb *et al.*, 2017).

با توجه به اثرات مثبت مواد ذکر شده، هدف از این پژوهش، بررسی اثرات محلول‌پاشی اسپرمیدین، اسیدسالیسیک و سدیم نیتروپروساید بر ویژگی‌های رشدی، گلدهی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عمرگلجای گیاه لیزیانتوس می‌باشد.

1- *Gerbera jamesonii*

2- *Eucomis autumnalis*

3- *Alstroemeria hybrida*

4- *Zinnia elegans*

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه‌های پژوهشی و تولیدی دانشگاه ارومیه و آزمایشگاه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی انجام شد. به‌منظور انجام این آزمایش، رقم ماریاچی بلو 'Mariachi Blue' لیزیانتوس استفاده شد. بذور F1 لیزیانتوس از شرکت Sakata (Japan) خریداری شدند و در سینی‌های کشت توپی در دمای ۲۰–۱۸ درجه سانتی‌گراد و به دور از تابش مستقیم آفتاب کشت شدند. حدود چهار ماه پس از کشت بذر، نشاها به گلدان اصلی منتقل شدند و در گلدان‌های سایز ۲۰ (حجم ۷ لیتر، ارتفاع و قطر گلدان به ترتیب ۱۹ و ۲۴ سانتی‌متر) در شرایط بدون خاک کشت شدند. محیط کشت گیاه، مخلوطی از پیت ماس (۶۰ درصد)، پرلیت (۳۰ درصد) و کوکوپیت (۱۰ درصد) بود. دمای روزانه گلخانه ۲۱–۱۸ و دمای شب ۱۶–۱۳ درجه سانتی‌گراد و شدت نور ۵۰۰ – ۴۰۰ میکرو مول بر متر مربع بر ثانیه ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) بود. تغذیه نیز سه بار در هفته انجام شد. به منظور تامین مواد غذایی، برنامه غذایی برای گیاهان مورد استفاده قرار گرفت (pH محلول غذایی روی ۶/۲ – ۵/۷ تنظیم شد) که در جدول ۱ میزان کودهای مورد استفاده برای ۱۰۰۰ لیتر محلول نشان داده شده است. لازم به ذکر است که عناصر میکرو نیز با غلظت مشخص به محلول غذایی اضافه شدند.

جدول ۱- برنامه غذایی مورد استفاده در لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو' برای ۱۰۰۰ لیتر محلول

Table 1- Nutrition program used for Lisianthus cv. 'Mariachi Blue' in 1000 L solution

$5Ca(NO_3)_2$-NH_4NO_3. $10H_2O$	Fe chelate 6%	NH_4PO_4	KNO_3	$MgSO_4$
75 g	20 g	15 g	80 g	40 g

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تیمار به صورت محلول‌پاشی و ۴ تکرار و در هر تکرار ۲ گلدان استفاده شد. تیمارهای این پژوهش شامل شاهد (بدون محلول‌پاشی با تنظیم کننده‌های رشد)، اسپرمیدین در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار، اسید-سالیسلیک در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار، سدیم نیتروپروساید در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار بود که دو هفته پس از انتقال نشاء، به‌صورت محلول‌پاشی برگی با فواصل ۱۵ روز یکبار و به‌مدت ۲ ماه اعمال شد. دو هفته پس از اتمام تیمارها، نمونه‌برداری از برگ‌ها و گل‌ها به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی انجام گرفت.

اندازه‌گیری طول ساقه، قطر و طول گل و تعداد غنچه

در این پژوهش طول ساقه به وسیله خط‌کش از محل طوقه تا انتهایی‌ترین قسمت گیاه به‌عنوان شاخص ارتفاع گیاه اندازه‌گیری شد و به سانتی‌متر بیان گردید. قطر گل پس از باز شدن کامل گل از دو طرف (از بیرونی‌ترین گلبرگ تا بیرونی‌ترین گلبرگ روبه روی آن) توسط خط کش اندازه گیری و میانگین آن‌ها محاسبه شد و داده‌ها به عنوان شاخص قطر گل و بر حسب سانتی‌متر بیان شدند. طول گل نیز (از ابتدای دم‌گل تا انتهای نوک گلبرگ‌ها) توسط خط‌کش اندازه‌گیری شده و به‌عنوان شاخص طول گل و به سانتی‌متر بیان شد. تعداد غنچه نیز با شمارش اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری وزن تر و خشک برگ و گل

جهت اندازه‌گیری وزن تر، پس از برداشت سه برگ و سه گل از هر گلدان، بلافاصله توسط ترازوی دیجیتالی METTLER, (PJ300) و با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. برای تعیین وزن خشک برگ و گل، نمونه‌ها پس از قرارگیری در پاکت کاغذی، در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و پس از خارج نمودن نمونه‌ها از آون، مجدداً به کمک ترازوی دیجیتال اندازه گیری شدند.

تعیین سطح برگ گیاه

برای مقایسه سطح برگ گیاه شاهد با گیاهان تحت تیمار، در پایان دوره رشد از هر گلدان به طور تصادفی ۳ برگ بالغ از قسمت‌های میانی انتخاب و سطح آنها توسط دستگاه سطح‌سنج (Leaf Area Meter, AM, 200)، اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل

در کلیه تیمارها و از هر گلدان میزان شاخص کلروفیل سه برگ (از پهنک برگ‌های توسعه یافته‌ی قسمت‌های بالا، وسط و پایین گیاه) با دستگاه سنجش شاخص کلروفیل (SPAD) MINOLTA (502, Osaka Japan) اندازه‌گیری گردید و سپس از آن‌ها میانگین گرفته شد.

اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید

این اندازه‌گیری به روش لیچتنتالر و بوشمن (Lichtenthaler and Buschmann, 2001) انجام گرفت. بدین صورت که ۰/۱ گرم از بافت برگی (برگ‌های کاملاً توسعه یافته) با قیچی خرد شده و در یک هاون چینی با ۵ میلی‌لیتر استون ۱۰۰ درصد سائیده تا به صورت توده یکنواختی درآید (عمل سائیدن و له کردن بافت برگی در محیط

خنک و در نور کم انجام گرفت. سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۲۵۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد و عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به لوله شیشه‌ای انتقال داده شد. جهت تنظیم دستگاه اسپکتروفتومتر از استون استفاده گردید. در پایان، مقداری از نمونه‌های داخل لوله در سل اسپکتروفتومتر ریخته شد و سپس به طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۲، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر مورد قرائت قرار گرفت. در نهایت با استفاده از معادله‌های زیر، میزان کلروفیل a ,b و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر نمونه‌ها محاسبه شد (Lichtenthaler and Buschmann, 2001).

معادله (۱) $Chla = (11.75 \times A_{662} - 2.350 \times A_{645})$

معادله (۲) $Chlb = (18.61 \times A_{645} - 3.960 \times A_{662})$

معادله (۳) $Total\ Chl = Chla + Chlb$

معادله (۴) $Car = 1000 \times A_{470} - 2.27 \times Chla - 81.4 \times Chlb/227$

اندازه‌گیری عمر گلجای

پس از باز شدن کامل ۳ غنچه از گل‌ها، شاخه‌های گل لیزیانتوس از ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری از بوته جدا شدند و در ظروف حاوی ۲۰۰ میلی‌لیتر آب قرار گرفتند و به اتاقک رشد با دمای ۲±۱۹ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۷۰–۶۵ درصد، طول روز ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی و شدت نور ۱۵ میکرومول بر متر مربع بر ثانیه تامین شده با نور فلورسنت منتقل شدند و برای هر تیمار ۴ تکرار در نظر گرفته شد. طول عمر گل‌ها از زمان جدا شدن از گیاه مادری تا زمان پژمردگی مورد محاسبه قرار گرفت. زمانی که ۵۰ درصد گلچه‌ها پژمرده شدند، عمر ماندگاری گل لیزیانتوس خاتمه یافت (Cho *et al.*, 2001).

تجزیه آماری داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی، از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۱ درصد انجام گرفت. همچنین، برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel (2016) استفاده گردید.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد مورد استفاده در پژوهش، در سطح احتمال ۱ درصد بر تمام صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده گیاه لیزیانتوس معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مربوط به تاثیر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر برخی شاخص‌های رشدی لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Table 2- The ANOVA results for the effect of foliar application of growth regulators on some growth indicators of Lisianthus cv. 'Mariachi Blue'

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares								
		سطح برگ Leaf Area	طول ساقه Stem Length	وزن تر برگ Leaf Fresh Weight	وزن خشک برگ Leaf Dry Weight	وزن تر گل Flower Fresh Weight	وزن خشک گل Flower Dry Weight	طول گل Flower Length	قطر گل Flower Diameter	تعداد غنچه Number of Buds
تیمار Treatment	9	325644.913**	47.63**	0.03**	0.0004**	0.93**	0.02**	31.6**	11114.94**	41.51**
خطای آزمایشی Erorr	30	71843	7.50	0.003	0.00004	0.09	0.003	2.86	10.87	1.98
ضریب تغییرات C.V (%)	–	12.46	7.33	10	10.74	9.39	11.18	4.41	7.07	13.87

**: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

**: Significant at 1% of probability level

سطح برگ

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها مشاهده می‌شود که تنها تیمار اسیدسالیسلیک ۱ میلی‌مولار از لحاظ آماری نسبت به شاهد، اختلاف معنی‌دار نشان داد و دارای بیشترین سطح برگ (۲۸۶۶/۲ میلی‌متر مربع) بود. لازم به ذکر است که تیمار ۱ میلی‌مولار اسیدسالیسلیک با تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱).

طول ساقه

مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از آن است که به غیر از تیمارهای اسید سالیسلیک ۰/۵ میلی‌مولار و سدیم‌نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار، سایر تیمارها باعث افزایش معنی‌دار طول ساقه در لیزیانتوس نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۲).

وزن خشک برگ

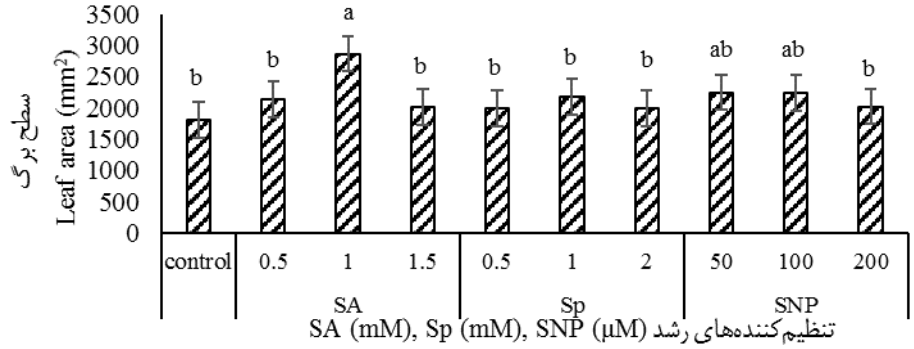
مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از آن است که تمامی غلظت‌های اسیدسالیسلیک باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ نسبت به شاهد شدند، سایر تیمارها تاثیر چندانی در وزن خشک برگ نداشتند (شکل ۴).

وزن تر برگ

مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که تمامی تیمارهای به کار برده شده در پژوهش، باعث افزایش معنی‌دار وزن تر برگ نسبت به شاهد شدند. بیشترین وزن تر برگ مربوط به غلظت ۱ میلی‌مولار اسیدسالیسلیک بود که افزایش تقریبا دوبرابری نسبت به شاهد داشت (شکل ۳).

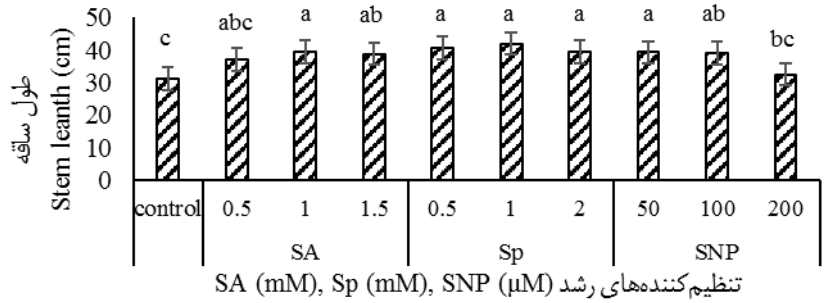
وزن تر گل

مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که از بین تیمارهای به‌کار رفته در پژوهش، غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین و نیز غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید، وزن تر گل را به طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش دادند، البته تفاوت این تیمارها با تمامی غلظت‌های اسید سالیسلیک معنی‌دار نبود (شکل ۵).



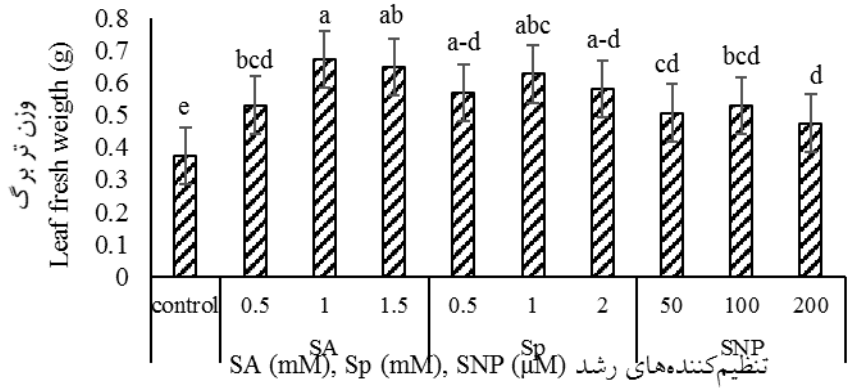
شکل ۱- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر سطح برگ لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 1- The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the leaf area of lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, *p≤0.01*)



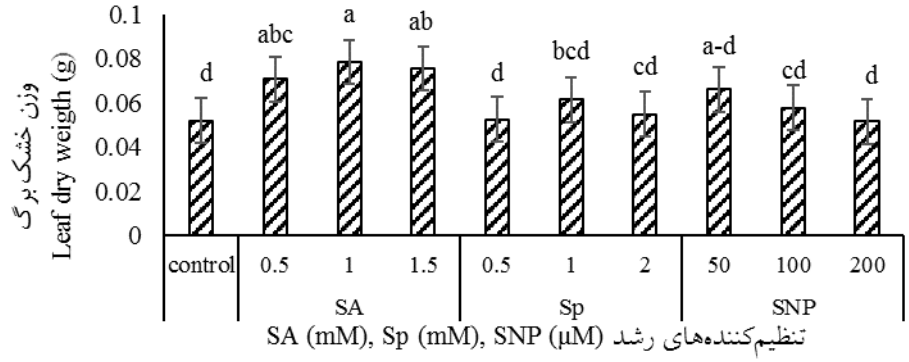
شکل ۲- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر طول ساقه لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 2- The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the stem length of lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, *p≤0.01*)



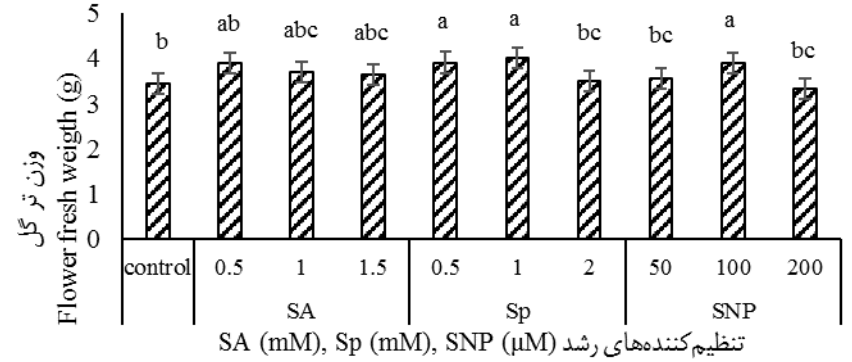
شکل ۳- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر وزن تر برگ لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 3- The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the leaf fresh weight of Lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, $p \leq 0.01$)



شکل ٤- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر وزن خشک برگ لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 4- The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the leaf dry weight of lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, $p \leq 0.01$)



شکل ۵- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر وزن تر گل لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 5- The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the flower fresh weight of lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, $p \leq 0.01$)

وزن خشک گل

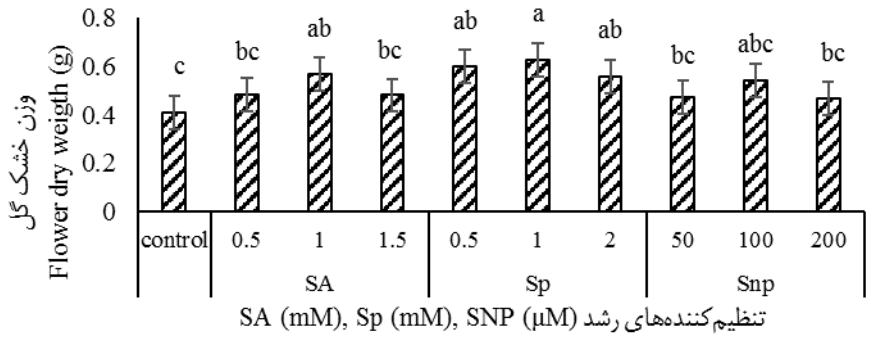
با توجه به نمودار مقایسه میانگین، تمامی غلظت‌های اسپرمیدین و نیز غلظت ۱ میلی‌مولار اسیدسالیسلیک باعث افزایش معنی‌دار وزن تر خشک گل نسبت به شاهد شدند. در این شاخص نیز همانند وزن گل، بیشترین افزایش وزن خشک گل (۰/۶۲۵ گرم)، مربوط به غلظت ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین بود. لازم به ذکر است که کمترین وزن خشک گل (۰/۴۰۷ گرم) مربوط به شاهد بود (شکل ۶).

طول گل

مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسیدسالیسلیک، ۱ و ۲ میلی‌مولار اسپرمیدین و ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید، باعث افزایش معنی دار طول گل نسبت به شاهد شدند (شکل ۷).

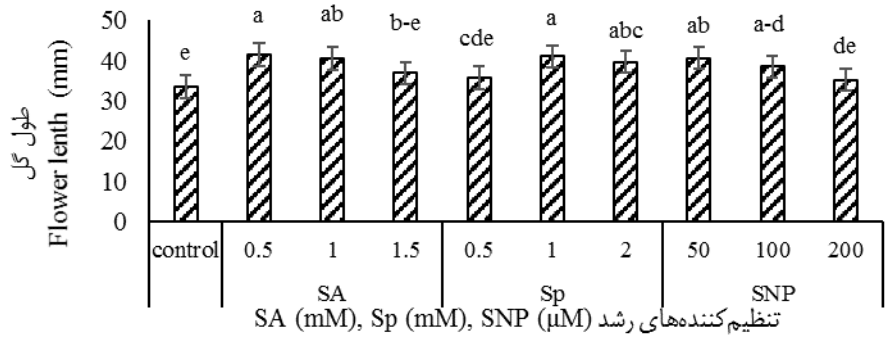
قطر گل

با توجه به نمودار مقایسه میانگین مشاهده می‌شود که غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسیدسالیسلیک، ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین و ۵۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید باعث افزایش معنی‌دار قطر گل نسبت به شاهد شدند. غلظت ۱ میلی‌مولار اسیدسالیسلیک با افزایش حدود ۱/۵ برابری قطر گل، بیشترین تاثیر را در مقایسه با سایر تنظیم‌کننده‌های رشد بر قطر گل لیزیانتوس داشت. در این پژوهش، کمترین قطر گل نیز مربوط به شاهد بود (شکل ۸).



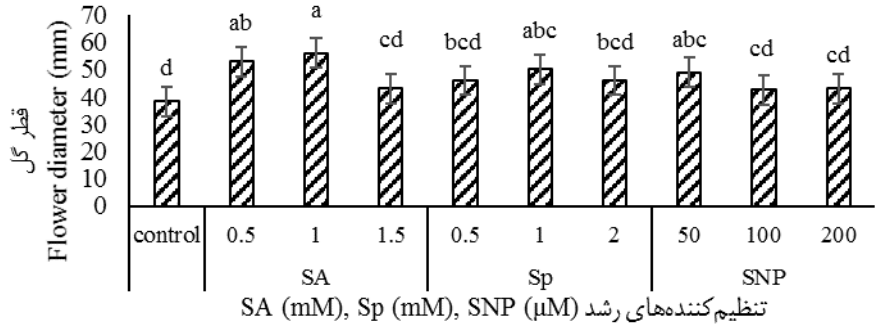
شکل ٦- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر وزن خشک گل لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 6- The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the flower dry weight of lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, *p≤0.01*)



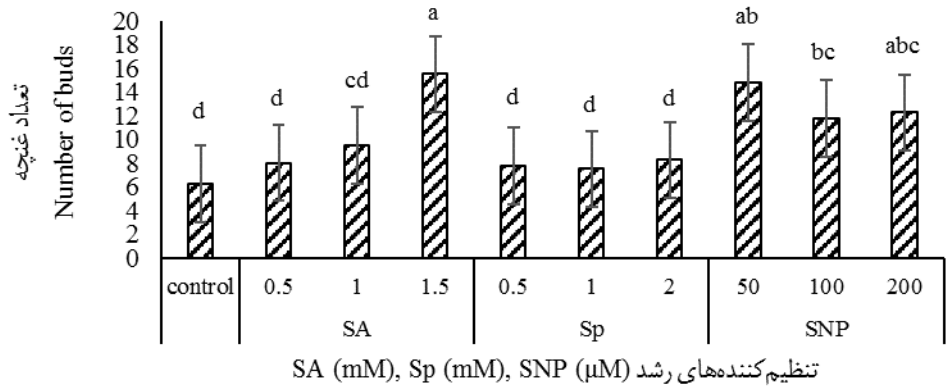
شکل ۷- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر طول گل لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 7- The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the flower length of lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, *p≤0.01*)



شکل ۸- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر قطر گل لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 8- The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the flower diameter of lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, *p≤0.01*)



شکل ۹- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر تعداد غنچه لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 9- The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the number of buds lisianthus cv.'Mariachi Blue' (Tukey, *p≤0.01*)

تعداد غنچه

با توجه به نمودارهای مقایسه میانگین مشاهده می‌شود که تمامی غلظت های سدیم نیتروپروساید و نیز غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسلیک باعث افزایش معنی‌دار تعداد غنچه نسبت به شاهد شدند. لازم به ذکر است که از بین تیمارهای موثر، غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسلیک با افزایش بیش از دو برابری بیشترین تاثیر را بر تعداد غنچه‌های لیزیانتوس داشت (شکل ۹).

با توجه به جدول تجزیه واریانس و نمودارهای مقایسه میانگین، مشاهده شد که تنظیم‌کننده‌های رشد اسیدسالیسلیک، اسپرمیدین و سدیم‌نیتروپروساید، نسبت به شاهد باعث بهبود بعضی شاخص‌های مورفولوریکی لیزیانتوس شدند.

رشد و نمو گیاهان و انتقال از فاز رویشی به زایشی، توسط عوامل محیطی مثل طول روز، دما، مواد غذایی و همچنین عوامل درونی گیاه انجام می‌شود. عوامل محیطی با اثر بر برگ‌ها و ریشه‌های گیاه و با افزایش فتوسنتز و جذب مواد غذایی از طریق ریشه‌ها بر مریستم اثر گذاشته و منجر به تغییر فرآیندهای رشدی و تغییر اندام‌های گل می شوند. همچنین هورمون‌ها و تنظیم کننده‌های رشد گیاهی مثل اسید آبسیزیک، اسیدسالیسلیک، سایتوکینین، پلی‌آمین‌ها و اتیلن و در نهایت نیتریک اکسید نقش مهمی در فرآیندهای رشد، نمو و گلدهی ایفا می‌کنند (Alcazar and Tiburcio, 2018).

اسیدسالیسلیک نقش مهمی در تنظیم برخی فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان مانند رشد و نمو، جذب و انتقال یون، فعالیت روزنه‌ها و نفوذپذیری غشاء ایفا می‌کند که در فتوسنتز گیاه موثر بوده و با افزایش فتوسنتز، میزان رشد گیاه به واسطه تامین کربوهیدرات در گیاه افزایش پیدا می‌کند. فتوسنتز عامل اصلی تولید ماده خشک در گیاهان است (Ghilavizadeh *et al.*, 2019). همچنین مشخص

شده است که هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد می‌توانند عملکرد فیزیولوژیکی گیاهان مانند فتوسنتز را بهبود بخشیده و انتقال مواد جذب کننده از منبع به مخزن را افزایش دهند (Zarei *et al.*, 2013). به احتمال زیاد یکی از دلایل تاثیر مثبت اسیدسالیسلیک در فرآیند رشد لیزیانتوس و افزایش وزن تر و خشک برگ و سطح برگ در این پژوهش، تاثیر آن بر فتوسنتز و فعالیت روزنه‌ها در برگ و در نهایت کنترل تبخیر و تعرق در گیاه و جذب بیشتر CO_2 از محیط برای انجام فتوسنتز می‌باشد. تأثیر اسیدسالیسلیک بر فرآیندهای رشد و نمو گیاهان به غلظت، نوع گیاه، مرحله رشد گیاه و شرایط محیطی بستگی دارد (Ghilavizadeh *et al.*, 2019). همانطور که گفته شد، اسیدسالیسلیک، سیستم فتوسنتزی گیاهان را تقویت می‌کند و این امر مستقیما" روی رشد رویشی، گلدهی و زیست توده گیاهان تاثیرگذار می‌باشد. همچنین در تنظیم فرآیندهای رشد گیاهی نقش دارد. اسیدسالیسلیک در گیاهان زینتی موجب تشکیل ریشه، جوانه‌زنی و تحریک گلدهی در شاخه‌های جوان می‌شود. همچنین باعث افزایش جذب مواد معدنی، جذب CO_2 و بر این اساس افزایش میزان فتوسنتز می‌شود. همچنین این ماده، نقشی اساسی در تعادل اکسین، سیتوکینین و آبسیزیک اسید دارد (Gad *et al.*, 2016). پس با توجه به نقش‌های اسیدسالیسلیک در فرآیند رشد رویشی و افزایش فتوسنتز احتمالاً موجب افزایش رشد زایشی لیزیانتوس در پژوهش حاضر گردیده و با افزایش ذخیره کربوهیدرات و تاثیر بر فعالیت هورمون‌های اکسین، سیتوکنین و آبسیزیک اسید، موجب بهبود کیفیت گل (افزایش قطر و طول گل) شده، همچنین با افزایش رشد رویشی باعث تولید تعداد بیشتر شاخه گلدهنده و تولید غنچه و گل بیشتر شده است. مطابق با نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر در سایر بررسی‌ها نیز، اسیدسالیسلیک موجب افزایش قطر ساقه، غنچه و گل در گل کوکب شد و همچنین تعداد شاخه‌های گل را نیز افزایش داد (Nabigol *et al.*, 2016). همچنین در پژوهشی دیگر، میزان ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدسالیسلیک باعث افزایش طول ساقه گلدهنده و قطر گل شاخه‌بریده لیلیوم شد، اما با افزایش میزان اسیدسالیسلیک، افزایش طول ساقه گلدهنده متوقف شد (Seyed Hajizadeh and Aliloo, 2013).

در رابطه با اسیدسالیسلیک و تاثیر آن بر رشد و نمو و گل‌دهی لیزیانتوس در پژوهش حاضر، مشاهده می‌شود که تقریباً غلظت ۱ میلی‌مولار، غلظت مناسبی بود اگرچه سایر غلظت‌ها نیز تاثیر مثبتی، نسبت به شاهد داشتند. نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر با نتایج سایر پژوهشگران در رابطه با تاثیر محلول‌پاشی برگی اسیدسالیسلیک روی گیاهان، هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط معمولی مطابقت داشت، که محدوده غلظت مناسب در این پژوهش در آنها نیز موجب افزایش پارامترهای رشد گیاه مانند حجم ریشه، سطح برگ، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، زیست توده گیاه، رشد زایشی و ... شد (Azooz and Youssef, 2010، Khazaei and Estaji, 2019، Loutfy *et al.*, 2012، Shahmoradi and Naderi, 2018).

اسپرمیدین که یکی از پلی‌آمین‌های مهم در گیاهان محسوب می‌شود در این پژوهش، تاثیر مثبتی بر برخی صفات رشدی لیزیانتوس داشت. پلی‌آمین‌ها در طیف گسترده‌ای از مراحل رشد و نمو از جمله تقسیم سلولی، جنین‌زایی، رشد ریشه، گل‌دهی، رشد میوه و پیری برگ نقش دارند و با تقسیم سلولی و تاثیر بر فعالیت سیتوکنین موجب افزایش سطح و ضخامت برگ و قطر ساقه می‌شوند (Setia and Setia, 2018). مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که پلی‌آمین‌ها با اکسین و جیبرلین ارتباط مستقیم دارند (Asna Ashari and Zokai Khosroshahi, 2008)، همچنین با توجه به مطالعات متعدد، مشخص شده است که اکسین و جیبرلین باعث بزرگ شدن سلول و افزایش طول ساقه می‌شوند (Kusano and Suzuki, 2015)، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که یکی از دلایل تاثیر اسپرمیدین بر طول ساقه لیزیانتوس در این پژوهش، احتمالاً از طریق ارتباط آن با هورمون‌های جیبرلین و اکسین باشد. همچنین اسپرمیدین با تاثیر بر افزایش سطح و طول برگ و ارتباط با سایر هورمون‌های گیاهی باعث افزایش زیست توده گیاه از جمله وزن تر و خشک برگ می‌شود. مطابق با نتایج به دست آمده از این پژوهش، در بررسی محلول‌پاشی برگی پلی‌آمین‌ها به‌همراه سولفات کلسیم بر رز، مشاهده گردید که پلی‌آمین‌ها به‌همراه سولفات کلسیم باعث افزایش صفاتی همچون طول ساقه، قطر ساقه گلدهنده، وزن تر و خشک برگ و ساقه و افزایش سطح برگ شدند و بیشترین تاثیر اسپرمیدین در بین غلظت‌های ۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی مولار، غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار آن بود (Hosseini Farahi and Aboutalebi Jahroomi, 2018). همچنین نتایج پژوهشی دیگر که در مورد تاثیر محلول‌پاشی برگی پلی‌آمین‌ها (۰، ۱، ۲ و ۴ میلی‌مولار) روی رز صورت گرفت، نشان داد که غلظت ۱ میلی‌مولار پلی‌آمین‌ها، بهترین تاثیر را در رشد و فتوسنتز رز داشت و اسپرمیدین عملکرد بهتری نسبت به سایر پلی‌آمین‌ها در رشد ریشه داشت (Yousefi *et al.*, 2019). اسپرمیدین در پژوهش حاضر باعث افزایش کیفیت گل لیزیانتوس نیز شد. همانطور که می‌دانیم رشد گیاه توسط منبع کربن حمایت می‌شود که می‌تواند سرعت رشد گیاه را تعیین کند در حالی‌که جهت و مسیر رشد گیاه توسط تنظیم‌کننده‌های رشد تعیین می‌گردد. تاثیر پلی‌آمین‌ها در رشد به دلیل تامین کربن و نیتروژن گیاه است. همچنین پلی‌آمین‌ها مولکول‌های کاتیونی با بار مثبت هستند که با ایجاد فشار سلولی، نقش مفیدی در رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کنند. استفاده از محلول‌پاشی برگی پلی‌آمین‌ها موجب افزایش رشد رویشی و زایشی در گیاهان می‌شود و باعث تولید گل با کیفیت می‌گردد (Abbasi *et al.*, 2017). همچنین گزارش شده است که پلی‌آمین‌ها میزان آبسیزیک اسید درونی را افزایش می‌دهند. افزایش پروموتورهای آبسیزیک اسید

موجب افزایش انتقال کربوهیدرات از قسمت ساقه به قسمت‌های زایشی گیاه می‌شود (Kahrobaiyan *et al.*, 2019). بنابراین اسپرمیدین به‌عنوان پلی‌آمین، احتمالاً کربن مورد نیاز برای لیزیانتوس را از طریق فعالیت‌های فتوسنتزی و تاثیر بر فعالیت سایر هورمون‌ها تامین کرده و همچنین انتقال کربوهیدرات به قسمت زایشی باعث تولید غنچه درشت و در نهایت گل با کیفیت شده است. در تایید نتایج به دست آمده از این پژوهش، در محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها روی گلایول مشاهده شد که پلی‌آمین‌ها موجب افزایش تعداد گل در بوته و افزایش وزن تر و خشک گل نسبت به شاهد شدند (Jabbar *et al.*, 2018). همچنین در پژوهشی دیگر تاثیر محلول‌پاشی برگی پلی‌آمین‌ها به‌همراه سولفات کلسیم روی رز بررسی شد و مشاهده شد که پلی‌آمین‌ها به‌همراه سولفات کلسیم باعث افزایش تعداد ساقه گلدهنده و افزایش کیفیت گل شدند و بیشترین تاثیر را اسپرمیدین در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار داشت (Hosseini Farahi and Aboutalebi Jahroomi, 2018).

در پژوهش حاضر، سدیم‌نیتروپروساید باعث افزایش معنی‌دار طول ساقه و زیست‌توده لیزیانتوس نسبت به شاهد شد و اگرچه باعث افزایش سطح برگ نیز شد ولی این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. مطالعات صورت گرفته در رابطه با نیتریک اکسید نشان داده است که این تنظیم‌کننده رشد در مهم‌ترین فرآیندهای گیاهی نظیر فتوسنتز، تنفس، رشد و تقسیم سلول‌ها دخالت دارد و یکی از دلایل تاثیر نیتریک اکسید می‌تواند به دلیل ارتباط آن در سنتز و فعالیت هورمون‌های سیتوکنین و اکسین باشد که این هورمون‌های گیاهی نقش عمده در افزایش سرعت تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول دارند که در نهایت باعث افزایش رشد رویشی از طریق تقسیم سلولی و افزایش طول سلول، فتوسنتز، میزان کربوهیدارت، رشد زایشی و در نهایت بهبود کیفیت و عملکرد در گیاهان می‌شوند. همچنین نیتریک اکسید در اثر تغییرات سطح هورمونی که در گیاه هنگام فرآیند رشد تولید می‌شود، باعث سیگنال‌دهی و تغییر اندازه سلول‌ها می‌شود (Arun *et al.*, 2017). بنابراین سدیم نیتروپروساید نیز همانند اسپرمیدین با تاثیر بر هورمون‌های رشد گیاهی، موجب افزایش طول ساقه (با تاثیر بر هورمون‌های اکسین و جیبرلین) و وزن تر و خشک برگ در لیزیانتوس شد و بهترین تاثیر آن نیز در غلظت‌های ۵۰ و۱۰۰ میکرومولار بود و با افزایش غلظت به ۲۰۰ میکرومولار از تاثیر آن کاسته شد. نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج سایر پژوهش‌های صورت گرفته مطابقت داشت. در محلول‌پاشی برگی سدیم نیتروپروساید روی گل جعفری، مشاهده شد که سدیم نیتروپروساید در غلظت ۱۰۰ میکرومولار، بیشترین رشد را در اندام‌های هوایی گیاه باعث شد و با افزایش غلظت، از تاثیر آن کاسته شده است (Hosseini and Rezainejad, 2016). همچنین در نتایج به دست آمده که روی همیشه بهار صورت گرفت، مشاهده شد که سدیم نیتروپروساید باعث افزایش رشد و بهبود شاخص‌های مورفولوژیکی در گیاه همیشه بهار شد (Jabbarzadeh *et al.*, 2015). در بررسی دیگر، مشاهده شد که نیتریک اکسید روی ماش در شرایط بدون تنش تاثیری بر سطح برگ ندارد (Nahar *et al.*, 2016). سدیم نیتروپروساید نیز مانند پلی‌آمین‌ها و اسیدسالیسلیک، بسته به نوع گیاه، شرایط محیط و رقم در غلظت‌های متفاوت، تاثیرهای متفاوتی نشان می‌دهد. نیتریک اکسید 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). به احتمال قوی، تاثیر سدیم‌نیتروپروساید بر افزایش تعداد غنچه و گل و همچنین تولید گل با کیفیت در لیزیانتوس در پژوهش حاضر به دلیل تاثیر در فرآیند رشد رویشی و زایشی و تاثیر بر فعالیت هورمون‌های رشد بوده است و همانطور که مشاهده می‌شود در تاثیر سدیم‌نیتروپروساید بر کیفیت گل، غلظت ۵۰ میکرومولار تاثیر بهتری نسبت به ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار داشت و با افزایش غلظت، تاثیر آن کاهش یافت. در تایید نتایج به‌دست آمده، در گونه‌ای اکومیس و سوسن شرقی، غلظت‌های کم سدیم-نیتروپروساید باعث افزایش تعداد شاخه گل، طول و قطر گل شده که با افزایش غلظت، قطر گل و طول گل کاهش یافت (Salachna and Zawadzińska, 2018، Wang *et al.*, 2015).

صفات فیزیولوژیکی و عمر گلجای

صفات فیزیولوژیکی که در این پژوهش مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفتند شامل: شاخص کلروفیل، محتوای کلروفیل (کلروفیلa، کلروفیل b و کلروفیل کل) و کاروتنوئید بود. همچنین عمر گلجای لیزیانتوس نیز بعد از جدا کردن شاخه گل از بوته اندازه‌گیری شد که نتایج مربوط به آن‌ها در جدول ۳ آمده است. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد مورد استفاده در پژوهش، در سطح احتمال ۱ درصد بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عمر گلجای گل لیزیانتوس معنی‌دار بود.

شاخص کلروفیل

با توجه به نمودار مقایسه میانگین مشاهده می‌شود که تمامی غلظت‌های اسپرمیدین، غلظت های ۰/۵ و ۱ میلی مولار اسیدسالیسلیک و غلظت ۵۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید باعث افزایش معنی دار شاخص کلروفیل نسبت به شاهد شدند. در این پژوهش، کمترین شاخص کلروفیل (SPAD ۴۷/۵) مربوط به شاهد بود (شکل ۱۰).

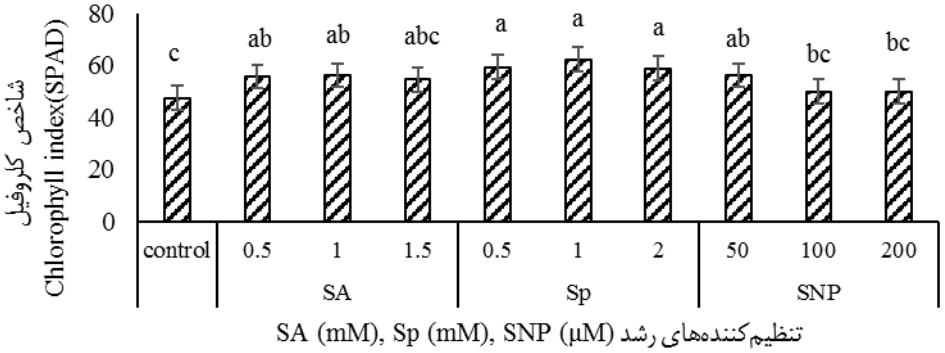
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مربوط به تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد بر برخی صفات فیزیولوژیکی و عمر گلجای لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Table 3- The ANOVA results for the effect of growth regulators on some physiological traits and vase life of lisianthus cv. 'Mariachi Blue'

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares					
		شاخص کلروفیل Chlorophyll Index	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	عمر گلجای Vase life
تنظیم کننده‌های رشد Growth regulators	9	86.6**	0.02**	0.0123**	0.053**	0.023**	24.78**
خطای آزمایشی Erorr	30	10.95	0.002	0.0008	0.003	0.0006	2.5
ضریب تغییرات C.V (%)	-	6.01	6.68	10	6	4	13.18

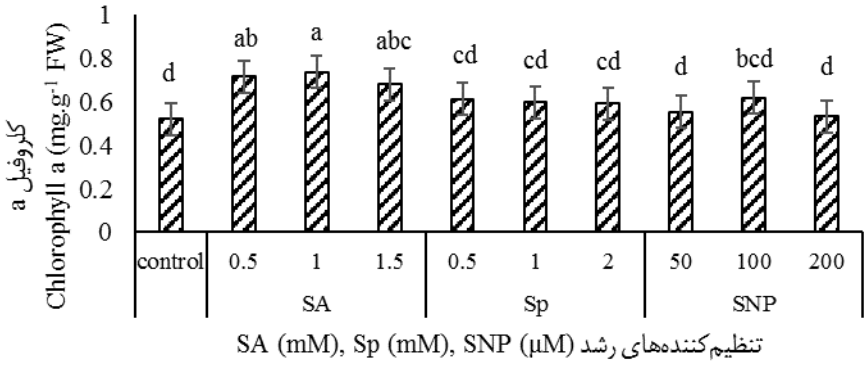
**: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

**: Significant at 1% of probability level



شکل ۱۰- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر شاخص کلروفیل لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 10- The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the chlorophyll index of lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, $p \leq 0.01$)



شکل ۱۱- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر میزان کلروفیل a لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 11 - The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the chlorophyll a content of lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, $p \leq 0.01$)

کلروفیل a

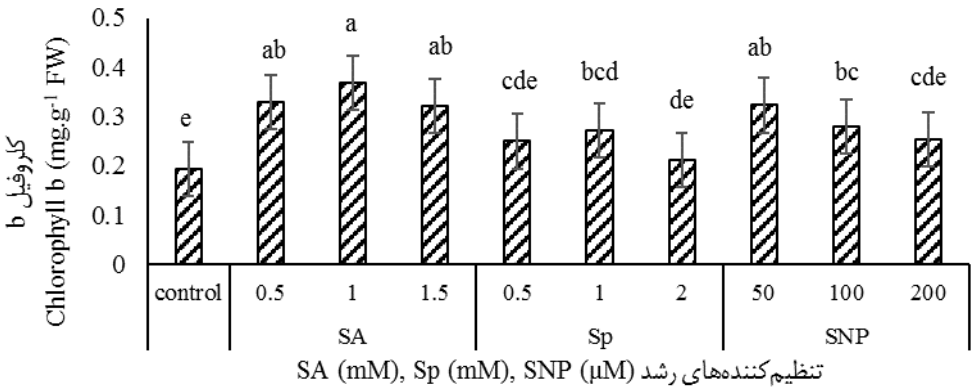
مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که از بین تیمارهای به کار برده شده در پژوهش حاضر، تنها اسیدسالیسلیک (در تمامی غلظت-های مورد آزمایش) باعث افزایش معنی دار کلروفیل a نسبت به شاهد شد (شکل ۱۱).

کلروفیل b

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها مشاهده می‌شود تنظیم‌کننده‌های رشد بر میزان کلروفیل b نیز تاثیر افزایشی و مثبت داشتند و به غیر از غلظت‌های ۰/۵ و ۲ میلی‌مولار اسپرمیدین و نیز تیمار ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید، بقیه تیمارها تاثیر مثبت و معنی‌داری بر میزان کلروفیل b نسبت به شاهد داشتند. بیشترین میزان کلروفیل b در غلظت ۱ میلی‌مولار اسیدسالیسلیک مشاهده شد که افزایش تقریبا دوبرابری نسبت به شاهد نشان داد و کمترین میزان کلروفیل b نیز در شاهد مشاهده شد (شکل ۱۲).

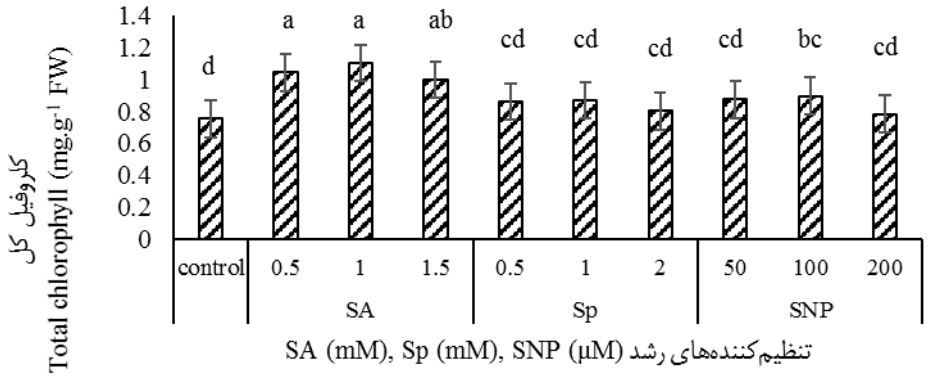
کلروفیل کل

مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که تمامی غلظت‌های اسیدسالیسلیک و نیز غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل کل نسبت به شاهد شدند، بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری با شاهد در میزان کلروفیل کل نداشتند (شکل ۱۳).



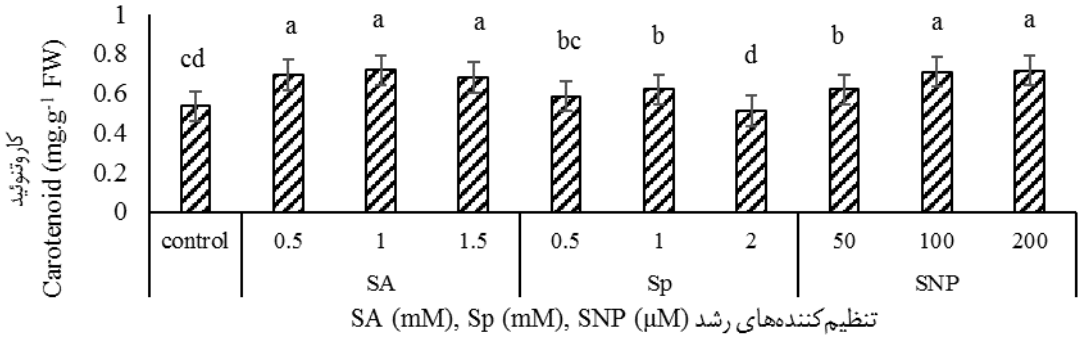
شکل ۱۲- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر میزان کلروفیل b لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 12- The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the chlorophyll b content of lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, *p≤0.01*)



شکل ۱۳- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر میزان کلروفیل کل لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 13- The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on total chlorophyll content of lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, *p≤0.01*)



شکل ۱۴- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر میزان کاروتنوئید لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 14– The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the carotenoid content of lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, *p≤0.01*)

کاروتنوئید

با توجه به نمودار مقایسه میانگین، تمامی غلظت‌های اسیدسالیسلیک و سدیم‌نیتروپروساید و نیز غلظت ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین باعث افزایش معنی‌دار کارتنوئید نسبت به شاهد شدند (شکل ۱۴).

فتوسنتز یکی از مهم‌ترین فرایندهای گیاهی تلقی می‌شود که کربوهیدرات لازم برای رشد گیاه را تامین می‌کند. از طرفی، هر چه مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان بیشتر باشد باعث افزایش کیفیت ظاهری گیاه و همچنین سرسبزی آن می‌شوند. مطالعات صورت گرفته حاکی از آن است که افزایش محتوای کلروفیل موجب افزایش فتوسنتز و افزایش مقدار کربوهیدرات‌ها می‌شود (Kafi *et al.*, 2013). از طرف دیگر نیز محتوای کلروفیل تحت تاثیر مدیریت تغذیه‌ای گیاه به‌ویژه نیتروژن می‌باشد، کمبود نیتروژن می‌تواند مانع تشکیل کلروفیل برگ شود و میزان آن را در برگ کاهش دهد (Najm *et al.*, 2012). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که اسیدسالیسلیک در قسمت‌های مختلف گیاهی توزیع پیدا می‌کند و با تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی ارتباط دارد. همچنین گزارش شده است که اسیدسالیسلیک در رابطه با جذب عناصر غذایی در گیاهان تاثیر گذار است و به‌عنوان مولکول سیگنالی در گیاهان عمل می‌کند و مکانیسم‌های رشد گیاهان را تحت کنترل دارد (Janda *et al.*, 2020). اسیدسالیسلیک میزان جذب CO_2 را در گیاهان افزایش می‌دهد و موجب افزایش فتوسنتز می‌گردد. افزایش فتوسنتز در گیاهان موجب افزایش میزان جذب نسبی آب در برگ می‌گردد و رشد گیاهان افزایش می‌یابد. L-TRP[1] یک هورمون گیاهی درونی است که رشد گیاهان را تحریک می‌کند و میزان آن در سلول با افزایش مقدار آب، افزایش می‌یابد. بنابراین با افزایش جذب CO_2 توسط اسیدسالیسلیک، میزان فتوسنتز در گیاهان افزایش پیدا می‌کند و میزان جذب نسبی آب به دنبال آن افزایش پیدا می‌کند و با افزایش جذب آب در سلول‌های گیاهی، میزان هورمون رشد L-TRP افزایش پیدا می‌کند و موجب افزایش رشد در گیاهان می‌شود (Vazirimehr and Rigi, 2014). همچنین اسیدسالیسلیک موجب تنظیم فعالیت روزنه‌های گیاهان می‌شود. در کل محلول‌پاشی اسیدسالیسلیک به رقم و ژنوتیپ گیاه وابسته می‌باشد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که اسیدسالیسلیک نقش مثبتی در افزایش میزان فتوسنتز با تاثیر بر عمل روزنه‌ها، رنگدانه‌ها، ساختار کلروپلاست‌ها و آنزیم‌های درگیر در فرآیند فتوسنتز دارد (Khan *et al.*, 2010، Poor *et al.*, 2011). همانطور که گفته شد اسیدسالیسلیک با تاثیر بر جذب CO_2، کنترل فعالیت روزنه‌ای، تاثیر بر تنظیم‌کننده‌های رشد و جلوگیری از تخریب کلروفیل باعث افزایش فتوسنتز در گیاهان می‌شود. احتمالاً در پژوهش حاضر نیز با تاثیرات خود بر رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کاروتنوئید) و نیز کنترل میزان آب (تبخیر و تعرق) از طریق فعالیت روزنه‌ها در برگ موجب افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ لیزیانتوس شده است. کاروتنوئید جزء رنگیزه‌هایی است که در تمام برگ‌های سبز گیاه و حتی قسمت‌های بدون سبزینه گیاهان یافت می‌شود. کاروتنوئید به‌همراه کلروفیل در کلروپلاست برگ حضور دارد ولی به‌دلیل غالبیت کلروفیل رنگ سبز نمایان می‌شود و رنگ‌های زرد و نارنجی پنهان می‌مانند (Khosh-khoui *et al.*, 2010). در تایید نتایج به دست آمده، در مطالعات صورت گرفته در آلسترومریا، کاربرد اسیدسالیسلیک به صورت محلول‌پاشی در مرحله قبل از برداشت باعث افزایش میزان کلروفیل شد و در بین تیمارهای مورد مطالعه، تیمارهای مربوط به اسیدسالیسلیک نسبت به شاهد بیشترین میزان کلروفیل را داشتند (Ershad Langroudi *et al.*, 2020). همچنین در پژوهش‌های صورت گرفته مشاهده شد که اسیدسالیسلیک موجب افزایش محتوای کلروفیل، افزایش سنتز کاروتنوئید و فتوسنتز در ذرت، خیار و سایر محصولات باغبانی گردید (Vazirimehr and

1- L-Triptophan

Rigi, 2014). در بررسی مربوط به لوبیای سفید تحت تنش شوری، اسیدسالیسلیک باعث کاهش اثر شوری بر گیاه و افزایش رنگدانه‌های گیاه و رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش رشد گیاه شد (Hadi *et al.*, 2014). اسیدسالیسلیک همچنین در فلفل و لوبیا چشم بلبلی نیز موجب افزایش چشمگیر در شاخص کلروفیل و محتوای کلروفیل شد (Afshari *et al.*, 2013، Khazaei and Estaji, 2019).

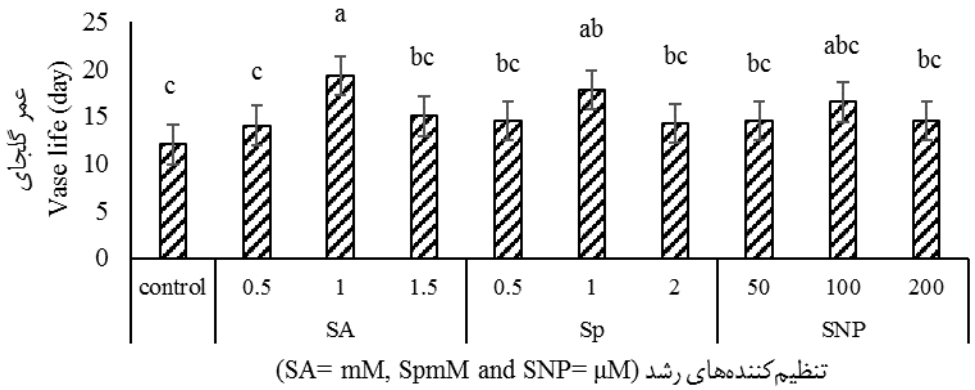
در این پژوهش، اسپرمیدین موجب افزایش محتوای کلروفیل b و کاروتنوئید در لیزیانتوس شد احتمالاً دلیل آن، تاثیر پلی‌آمین‌ها در کنترل فعالیت هورمون‌های رشد گیاهی، افزایش سطح برگ، تنظیم فشار اسمزی در گیاهان، کنترل فعالیت روزنه‌ای و تاثیرات بی‌شمار پلی‌آمین‌ها در گیاهان باشد. گزارش شده است که پلی‌آمین‌ها جذب و تجمع نیتروژن را در گیاهان افزایش می‌دهند. پلی‌آمین‌ها باعث افزایش فتوسنتز و تخلیه ریشه می‌شوند که این کار به جذب بهتر عناصر غذایی به‌وسیله ریشه گیاهان کمک می‌کند. افزایش جذب بعضی از عناصر توسط پلی‌آمین‌ها مثل پتاسیم که نقش مهمی در فتوسنتز ایفا می‌کند و تاثیر مستقیم روی افزایش رشد گیاه، رنگیزه‌های فتوسنتزی و جذب CO_2 ایفا می‌کند از دیگر دلایل افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید می باشد (Hosseini Farahi and Aboutalebi Jahroomi, 2018). پلی‌آمین‌ها منبع نیتروژن نیز محسوب می‌شوند بنابراین نیتروژن که یکی از فاکتورهای لازم برای فتوسنتز و تشکیل کلروفیل است با تامین آن توسط اسپرمیدین در این پژوهش، احتمالاً موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتز و محتوای کلروفیل در لیزیانتوس شده است (Kusano and Suzuki, 2015). مطابق با پژوهش صورت گرفته، در پژوهشی که روی رز انجام شد کاربرد پلی‌آمین‌ها در غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌مولار به همراه اسید هیومیک موجب افزایش شاخص کلروفیل شد که علت آن را نقش‌های حیاتی پلی‌آمین‌ها در فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاهان و همچنین نقش شبه هورمونی اسید هیومیک در گسترش ریشه همراه با پلی‌آمین‌ها بیان کرده‌اند (Dastyaran and Hosseini Farahi, 2014). در پژوهش دیگری نیز استفاده از پلی‌آمین‌ها به‌دلیل تاثیر آن در تغذیه گیاه موجب افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ شد (Wu *et al.*, 2012).

نیتریک اکسید در فرآیندهایی مثل تقسیم سلولی، فتوسنتز و افزایش میزان کلروفیل کل دخالت دارد که این افزایش کلروفیل توسط نیتریک اکسید می‌تواند با اثر بر قابلیت جذب آهن توسط گیاه باشد، که در حضور نیتریک اکسید دسترسی به آهن بیشتر می‌شود و با اثر بر متابولیسم کلروفیل باعث افزایش سنتز کلروفیل و مانع از تخریب آن می‌شود و همچنین نیتریک اکسید به دلیل خاصیت آنتی اکسیدانی خود باعث حفظ کلروفیل در گیاه می‌شود (Fan *et al.*, 2014). بنابراین سدیم‌نیتروپروساید نیز مانند اسیدسالیسلیک و اسپرمیدین، با تاثیر بر فرآیند رشد گیاهی و افزایش سطح برگ و همچنین افزایش سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی موجب افزایش محتوای کلروفیل و کارتنوئید در پژوهش حاضر شد. در تایید نتایج به دست آمده در سایر مطالعات صورت گرفته روی گونه‌ای اکومیس (گل آناناسی) و سوسن شرقی مشاهده شد که سدیم‌نیتروپروساید در غلظت های مناسب، تاثیر مثبت و افزایشی روی محتوای کلروفیل و کاروتنوئید دارد (Salachna and Zawadzińska, 2018، Wang *et al.*, 2015). همچنین در پژوهشی دیگر روی پسته، نتایج نشان داد که سدیم‌نیتروپروساید در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار باعث افزایش کلروفیل a و b در برگ‌ها شد (Eslami *et al.*, 2019).

عمر گلجای

مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که در بین تیمارهای به کار برده شده در پژوهش، فقط تیمار ۱ میلی‌مولار اسیدسالیسلیک و اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار باعث افزایش معنی دار عمر گلجای نسبت به شاهد شدند. اسید سالیسلیک با غلظت ۱ میلی‌مولار بیشترین عمر گلجای (۱۹/۲۵ روز) را داشت و کمترین عمر گلجای مربوط به شاهد بود که بعد از گذشت ۱۲ روز شادابی خود را از دست داد (شکل ۱۵).

مدت زمان عمر گل‌های بریدنی مربوط به عوامل ژنتیکی آن‌ها بوده و در میان رقم‌های یک گونه نیز به شدت متفاوت است. اختلاف در ماندگاری رقم‌های مختلف گل‌های شاخه بریده، با قطر و سفتی ساقه آن‌ها مرتبط است. هر چه ساقه‌های گل قطورتر باشد میزان خمیدگی و شکستگی شاخه گل کمتر است و ذخیره کافی برای تنفس گل‌ها دارند و در نتیجه عمر گلجای و ماندگاری آن‌ها بیشتر است. همچنین یکی از عوامل مهم و تعیین کننده در فرآیند فتوسنتز، شدت نور است که به طور مستقیم با میزان کربوهیدرات‌ها در ارتباط است. گل‌ها درجات مختلفی از حساسیت به اتیلن را دارا می‌باشند. پیری گل ها حساسیت آن‌ها را نسبت به اتیلن افزایش می‌دهد. زمانی که شاخه گل از بوته گیاه جدا می‌شود چون تمام مواد غذایی و آب خود را از طریق بوته (گیاه مادری) تامین می‌کرد و این ارتباط قطع می‌شود در نتیجه سریعا وارد مرحله پیری شده و با تخریب اجزای سلولی و از دست دادن آب، گیاه از بین می‌رود. اسیدسالیسلیک می‌تواند رنج وسیعی از فعالیت‌های اکسیداتیو را کنترل کند و از تخریب دیواره سلولی جلوگیری کند که این امر باعث کاهش از دست دادن آب سلول می‌شود (Edrisi, 2006). اسیدسالیسلیک یک تنظیم‌کننده رشد است که در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان شرکت می‌کند. باعث تحریک گل‌دهی در طیف وسیعی از گیاهان، افزایش عمر گل، کنترل جذب یون توسط ریشه‌ها و هدایت روزنه‌ای می‌شود (Vazirimehr and Rigi, 2014).



شکل ۱۵- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (اسید سالیسلیک (SA)، اسپرمیدین (Sp) و سدیم نیتروپروساید (SNP)) بر عمر گلجای گل شاخه بریده لیزیانتوس رقم 'ماریاچی بلو'

Figure 15- The effect of growth regulators (salicylic acid (SA), spermidine (Sp) and sodium nitroprusside (SNP)) on the vase life of cut flowers of Lisianthus cv. 'Mariachi Blue' (Tukey, *p≤0.01*)

همچنین گزارش شده است که اسیدسالیسلیک با کاهش نشت یونی و کاهش تجمع یون‌های سمی در سلول گیاهان باعث افزایش کیفیت و ماندگاری بیشتر گیاهان می‌شود (Zarei *et al.*, 2013). بنابراین در پژوهش حاضر نیز احتمالاً اسیدسالیسلیک در ابتدا با افزایش فتوسنتز و افزایش میزان کربوهیدرات در لیزیانتوس، منبع ذخیره برای گل شاخه بریده را تامین کرده و با خاصیت آنتی‌اکسیدانی خود، کاهش نشت یونی، افزایش میزان جذب آب و افزایش محلول نسبی در گل بریدنی لیزیانتوس موجب افزایش عمر گلجای آن در این پژوهش شد. در تایید نتایج به دست آمده، در مطالعه‌ای مشاهده شد که اسید سالیسلیک در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار بهترین تاثیر را بر عمر گلجای گل‌بریده گلایول داشت (Jalili Marandi *et al.*, 2011). مطالعات بی‌شمار دیگری صورت گرفته که نشان می‌دهند اسیدسالیسلیک با غلظت‌های مختلف موجب افزایش عمر گلجای گل‌بریده آلسترومریا می‌شود (Ershad Langroudi *et al.*, 2020).

در پژوهش حاضر، احتمالا اسپرمیدین با تاثیر بر فتوسنتز و افزایش کربوهیدرات در گیاه و همچنین خاصیت ضد اتیلنی خود عمر گلجای لیزیانتوس را افزایش داد. با توجه به اینکه اثرات محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها مشابه با سیتوکینین است. به‌منظور توضیح نقش‌های مختلف فیزیولوژیکی پلی‌آمین‌ها در سطح مولکولی، مکانیسم‌های مختلفی ارائه شده است. پلی‌آمین‌ها که بطور طبیعی چندحلقه‌ای هستند، می‌توانند به محل‌های اسیدی زیست مولکول‌ها مانند اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و فسفولیپیدهای غشای سلولی و سایر ترکیبات آنیونی سلول متصل شوند. در pH فیزیولوژیک، پلی‌آمین‌ها عملکردهای فیزیولوژیکی زیادی را با اتصال به بارهای منفی DNA و فسفولیپیدها انجام می‌دهند و بدین ترتیب عملکرد هسته و غشای سلولی را تثبیت می‌کنند. پلی‌آمین‌ها همچنین با مهار انتقال رادیکال‌های آزاد در سیستم‌های مختلف، نقش مهمی در پراکسیداسیون لیپیدها و مهار انتقال ACC به اتیلن دارند (Setia and Setia, 2018). مطابق با نتایج حاصل شده از اثر اسپرمیدین بر عمر گلجای لیزیانتوس، در مطالعاتی که روی پلی‌آمین‌ها صورت گرفت نتایج نشان دادند که پلی‌آمین‌ها موجب افزایش عمر گل‌های شاخه‌بریده سوسن، ژربرا و میخک می‌شوند (Amorim *et al.*, 2017). در آزمایشی دیگر، پلی‌آمین‌ها به‌همراه بور باعث به تاخیر انداختن پیری در ژربرا شدند (Vieira *et al.*, 2017). نیتریک اکسید توانایی ممانعت از تولید اتیلن را دارد و در نتیجه باعث کاهش سرعت تخریب و تجزیه پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی شود. ترکیبات فنلی دارای اثرات بیولوژیکی چند گانه‌ای هستند که از جمله این اثرات می‌توان به فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها اشاره کرد. ترکیبات فنولی که در نتیجه فعال شدن آنزیم PAL و در اثر نیتریک اکسید تولید می شوند، دارای اثرات مهم آنتی اکسیدانی هستند. فعالیت آنتی اکسیدانی ترکیبات فنولی به دلیل داشتن خصوصیات اکسایش و کاهش آن‌ها است. تولید گونه‌های فعال اکسیژن و پراکسید هیدروژن طی نگهداری محصولات به میزان زیادی اتفاق می‌افتد. اگرچه گونه‌های فعال اکسیژن می‌توانند به عنوان سیگنال‌ها و پیام‌های ثانویه برای فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی سلول‌ها در مقابل شرایط نامناسب عمل کنند، اما تجمع زیاد آنها می‌تواند باعث افزایش اکسیداتیو در مولکول های زیستی و در نهایت موجب مرگ سلول شود. گفته می‌شود که نیتریک اکسید عامل تحریک تولید بسیاری از آنتی اکسیدان‌ها در محصولات پس از برداشت است (Asghari, 2015). بنابراین سدیم-نیتروپروساید نیز می تواند همانند اسیدسالیسلیک و اسپرمیدین با تاثیر

بر کربوهیدرات و همچنین خاصیت آنتی‌اکسیدانی خود، بر عمر گلجای گیاهان موثر باشد (Salachna and Zawadzińska, 2018، Seyf *et al.*, 2012، Shabanian *et al.*, 2018، Wang *et al.*, 2015).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل، در بین سه تنظیم کننده رشد، اسیدسالیسلیک در بیشتر شاخص‌های مورفولوژیکی مورد بررسی (سطح برگ، طول ساقه، وزن تر و خشک برگ و گل، تعداد غنچه، طول و قطر گل) نسبت به سدیم‌نیتروپروساید و اسپرمیدین تاثیر بهتری داشت. اسپرمیدین، طول ساقه، وزن تر برگ، وزن تر و خشک گل، طول و قطر گل را نسبت به شاهد افزایش داد و سدیم نیتروپروساید نیز به غیر از سطح برگ و وزن خشک برگ در بقیه شاخص‌های مورفولوژیکی تاثیر مثبتی داشت. به طور تقریبی، غلظت های مناسب اسیدسالیسلیک ۱ و ۱/۵میلی‌مولار، برای اسپرمیدین، ۱/۵ و ۱ میلی‌مولار و برای سدیم‌نیتروپروساید نیز ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار بود. در رابطه با شاخص‌های فیزیولوژیکی نیز هر سه تنظیم‌کننده رشد نسبت به شاهد موجب تاثیر مثبت بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید شدند ولی اسیدسالیسلیک نسبت به دو تیمار دیگر تاثیر بیشتری داشت و غلظت مناسب به طور تقریبی برای اسیدسالیسلیک و اسپرمیدین ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و برای سدیم نیتروپروساید ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار بود. از بین تیمارهای مورد بررسی، تنها تیمار ۱ میلی مولار اسیدسالیسلیک و اسپرمیدین ۱ میلی مولار باعث افزایش معنی دار عمر گلجای نسبت به شاهد شدند.

منابع

1. Abbasi, N.A., Ali, I., Hafiz, I.A., & Khan, A.S. (2017). Application of polyamines in horticulture: A review. *International Journal of Biosciences 10*(5): 319-342. https://doi.org/10.12692/ijb/10.5.319-342.
2. Afshari, M., Shekari, F., Azimkhani, R., Habibi, H., & Fotokian, M.H. (2013). Effects of foliar application of salicylic acid on growth and physiological attributes of cowpea under water stress conditions. *Iran Agricultural Research 32*(1): 55-70.
3. Aelaei, M., Mirzaei Mashoud, M., & Mortazavi, S.N. (2017). Effect of postharvest salicylic acid treatment on physico-chemical attributes and vase-life of rose (*Rosa hybrida* cv. Hater Class) cut flowers. *Plant Production Technology 17*(1): 47-33. (In Persian with English abstract)
4. Alcazar, R., & Tiburcio, A.F. (2018). *Polyamines*. Springer. 509 p.
5. Amorim, T.L., Medeiros, D.C., Oliveira, A.S., Paes, A.R., Júnior, W.S., & Moreira, D.A. (2017). Gibberellin and polyamines in plant growth, development and postharvest senescence of ornamental plants – a review. *Amazonian Journal of Plant* 1: 1-13. https://doi.org/10.26545/B00000X.
6. Arun, M., Naing, A.H., Jeon, S.M., Ai, T.N., Aye, T., & Kim, C.K. (2017). Sodium nitroprusside stimulates growth and shoot regeneration in chrysanthemum. *Horticulture, Environment and Biotechnology 58*(1): 78-84. https://doi.org/10.1007/s13580-017-0070-z.
7. Asghari, M.R. (2015). *Classic plant growth hormones and regulators*. University of Urmia, 352 p. (In Persian)
8. Asna Ashari, M., & Zokai Khosroshahi, M. (2008). *Polyamines and horticultural sciences*. Bu Ali Sina University Press. 163 p. (In Persian)
9. Azooz, M.M., & Youssef, M.M. (2010). Evaluation of heat shock and salicylic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in Hassawi wheat. *American Journal of Plant Physiology 5*(2): 56-70. https://doi.org/10.3923/ajpp.2010.56.70.
10. Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A., & 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.
11. Cho, M.S., Celikel, F.G., Dodge, L., & Reid, M.S. (2001). Sucrose enhances the postharvest quality of cut flower of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) shinn. *Acta Horticulturae* 543: 304-315. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.543.37.
12. Dastyaran, M., & Hosseini Farahi, M. (2014). Effect of humic acid and putrescine on growth and flowering characteristics of roses in soilless system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Cultures* 20: 243-252. (In Persian)
13. Deng, Y., Wang, C., Huo, J., Hu, W., & 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.
14. Edrisi, B. (2006). *Lisianthus*. Publications of the Research Institute of Flowers and Ornamental Plants. 51 p. (In Persian)
15. Ershad Langroudi, M., Hashemabadi, D., Kalate Jari, S., & Asadpour, L. (2020). Effects of pre- and postharvest applications of acid salicylic on the vase life of cut Alstroemeria flowers (*Alstroemeria hybrida*). *Journal of Horticulture and Postharvest Research 3*(1): 115-124. https://doi.org/10.22077/jhpr.2019.2409.1053.
16. Eslami, M., Nasibi, F., Manouchehri Kalantari, K., Khezri, M., & 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. https://doi.org/10.22059/ijhst.2019.270762.265.

17. Fan, H.F., Du, C.X., Ding, L., & 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.
18. Gad, M.M.., Abdul-Hafeez, E.Y., & Ibrahim, O.H.M. (2016). Foliar application of salicylic acid and gibberellic acid enhances growth and flowering of *Ixora coccinea* L. plants. *International Journal of Plant Production 7*(1): 85-91. https://doi.org/10.21608/jpp.2016.43477.
19. Ghilavizadeh, A., Hadidi Masouleh, E., Zakerin, H.R., Valadabadi, S.A.R., Sayfzadeh, S., & Yousefi, M. (2019). Influence of salicylic acid on growth, yield and macro-elements absorption of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under water stress. *Journal of Medicinal Plants and By-products* 1: 67-75.
20. Gupta, D.K., Palma, J.M., & Corpas, F.J. (2019). *Nitric oxide and hydrogen peroxide signaling in higher plants*. Springer, 275p.
21. Hadi, H., Najafabadi, A., & Amirnia, R. (2014). Comparison of different treatment methods of salicylic acid on some physiological traits of white bean under salinity stress. *Cercetari Agronomics in Moldova 47*(3): 97-105. https://doi.org/10.2478/cerce-2014-0030.
22. Hohn, D., Peil, R.M.N., Marchi, P.M., Grolli, P.R., Perin, L., & Rosa, D.S.B. (2019). Growth and quality of lisianthus [*Eustoma grandiflorum* (Shinn.)] cultivated in rice husk substrates in troughs with leaching recirculation. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas 13*(3): 458-465. https://doi.org/10.17584/rcch.2019vl3i3.9891.
23. Hosseini Farahi, M., & Aboutalebi Jahroomi, A. (2018). Effect of pre-harvest foliar application of polyamines and calcium sulfate on vegetative characteristics and mineral nutrient uptake in *Rosa hybrida*. *Journal of Ornamental Plants 8*(4): 241-253.
24. Hosseini, H., & Rezainejad, A. (2016). The effect of foliar application of sodium nitroprusside on drought stress tolerance in marigold. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 17*(3): 298-285. (In Persian with English abstract)
25. Jabbarzadeh, M., Tehraniifar, A., Amiri, J., & Abedi, B. (2015). Investigation of the protective role of nitric oxide in reducing damage caused by salinity stress in marigold (*Calendula officinalis* L. cv. Gitan Orange). *Agricultural Sciences and Industries 30*(2): 191-185. (In Persian with English abstract)
26. Jabbar, A., Tehranifar, A., Shour, M., & Nemati, H. (2018). Effect of putrescine and different media on vegetative growth, floret and some biochemical parameters of gladiolus under soilless conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7: 71-80.
27. Jalili Marandi, R., Hassani, A., Abdollahi, A., & Hanafi, S. (2011). Improvement of the vase life of cut gladiolus flowers by essential oils, salicylic acid and silver thiosulfate. *Journal of Medicinal Plants Research 5*(20): 5039-5043.
28. Janda, T., Szalai, G., & Pál, P. (2020). Salicylic acid signaling in plants. *International Journal of Molecular Sciences 21*(2655): 1-6. https://doi.org/10.3390/ijms21072655.
29. Kafi, M., Daneshvar, N., Nikbakht, A., Hakimi, M., Rajali, F., & Daneshkhah, M. (2013). Effect of humic acid and mycorrhizal fungus on some characteristics of Lolium combination of white speed green. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Cultures 4*(13): 49-58. (In Persian with English abstract)
30. Kahrobaiyan, M., Nemati, S.H., Rahemi, M., Kholdebarin, B., & Teranifar, A. (2019). Morphological responses of ornamental sunflower to putrescine treatment under drought conditions. *Applied Ecology and Environmental Research 17*(3): 6117-6127. https://doi.org/10.15666/aeer/1703_61176127.
31. Khan, N.A., Syeed, S., Masood, A., Nazar, R., & Iqbal, N. (2010). Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. *International Journal of Plant Biology* 1: 1-8. https://doi.org/10.4081/pb.2010.e1.
32. Khazaei, Z., & Estaji, A. (2019). *Effects of foliar application of salicylic acid on some of morphological parameters pepper seedlings under drought stress conditions*. 2nd international & 6th national confrence on organic and conventional agriculture, Ardabil, https://civilica.com/doc/932166.
33. Khosh-khoui, M., Sheibani, B., Rouhani, E., & Tafazzoli, A.A. (2010). *Principles of horticulture*. Shiraz University Press, 19th Edition, 596 p. (In Persian)
34. Kusano, T., & Suzuki, H. (2015). *Polyamines*. Springer, 336p.
35. Lichtenthaler, H.K., & Buschmann, C. (2001). Extraction of photosynthetic tissues: chlorophylls and carotenoids. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* F4.2.1-F4.2.6. https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0402s01.
36. Loutfy, N., El-Tayeb, M.A., Hassanen, A.M., Moustafa, M.F., Sakuma, Y., & Inouhe, M. (2012). Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Research 125*(1): 173-184. https://doi.org/10.1007/s10265-011-0419-9.
37. Miri, S.M., Savari, A., Behzad, K., & Mohajer Iravani, B. (2016). Promotion of callus initiation, shoot

regeneration and proliferation in Lisianthus. *Iranian Journal of Plant Physiology* *6*(4): 1855-1860. https://doi.org/10.30495/ijpp.2016.532656.

38. Mohammad Saeed, A.A.J., Abdulhadi, M.D., & Salih, S.M. (2019). Response of gerbera (*Gerbera jamesonii*) cv. 'Great Smoky Mountains' to foliar application of putrescine, spermidine and salicylic acid. *International Conference on Agricultural Sciences* 388: 1-11. https://doi.org/10.1088/1755-1315/388/1/012067.
39. Nabigol, A., Ghodsi, Sh., & Hadavi, E. (2016). *The effect of putrescine and salicylic acid on growth and flowering characteristics of Dahlia*. 1st International and 2nd National Ornamental Plants Congress, 23-25 August, Ferdowsi University, Mashhad, Iran, Pp. 1-5.
40. Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Alam, M.M., Rahman, A., Suzuki, T., & Fujita, M. (2016). Polyamine and nitric oxide crosstalk: antagonistic effects on cadmium toxicity in mung bean plants through upregulating the metal detoxification, antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems. *Ecotoxicology and Environmental Safety 126*: 245-255. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.026.
41. Najm, A.A., Haj Seyed Hadi, M.R., Fazeli, F., Darzi, M.T., & Rahi, A. (2012). Effect of integrated management of nitrogen fertilizer and Cattle manure on the leaf chlorophyll, yield and tuber glycoalkaloids of Agria potato. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 43: 912-923. https://doi.org/10.1080/00103624.2012.653027.
42. Poor, P., Gémes, K., Horváth, F., Szepesi, A., Simon, M.L., & Tari, I. (2011). Salicylic acid treatment via the rooting medium interferes with stomatal response, CO_2 fixation rate and carbohydrate metabolism in tomato, and decreases harmful effects of subsequent salt stress. *Plant Biology 13*(1): 105-114. https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2010.00344.x.
43. Salachna, P., & 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 1201: 635-640. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1201.85.
44. Setia, N., & Setia, R.C. (2018). Polyamines: An overview and prospects in crop improvement. *Punjab Agricultural University* 21: 376-393.
45. Seyed Hajizadeh, H., & Aliloo, A.A. (2013). The effectiveness of pre-harvest salicylic acid application on physiological traits in lilium (*Lilium longiflorum* L.) cut flower. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences 1*(12): 344-350. https://doi.org/10.12983/IJSRES-2013-P344-350.
46. Seyf, M., Khalighi, A., Mostofi, Y., & Naderi, R. (2012). Effect of sodium nitroprusside on vase life and postharvest quality of a cut rose cultivar (*Rosa hybrida* Utopia). *Journal of Agricultural Science 4*(12): 174-181. https://doi.org/10.5539/jas.v4n12p174.
47. Shabanian, S., Esfahani, M.N., Karamian, R., & 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.
48. Shahmoradi, H., & Naderi, D. (2018). Improving effects of salicylic acid on morphological, physiological and biochemical responses of salt-imposed Winter Jasmine. *International Journal of Horticultural Science and Technology 5*(2): 219-230. https://doi.org/10.22059/ijhst.2018.259507.246.
49. Shimizu, H., & Ichimura, K. (2010). Postharvest physiology and technology of cut eustoma flowers. *Journal of Japanese Society of Horticultural Science 79*(3): 227-238. https://doi.org/10.2503/jjshs1.79.227.
50. Vazirimehr, M.R., & Rigi, Kh. (2014). Effect of salicylic acid in agriculture. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences 4*(2): 291-295.
51. Vieira, M.R.S., Moura, F.D., Simões, N.A., Souza, A.V., Santos, C.M.G., Paes, R.A., & Leal, H.Y. (2017). Application of polyamine and boron improves quality of potted gerbera cv. Kosak. *Journal of Applied Horticulture 19*(1): 1-5. https://doi.org/10.37855/jah.2017.v19i01.15.
52. Wang, M., Li, B., Zhu, Y.C., Niu, L.J., Jin, X., Xu, Q.Q., & 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.
53. Wu, Q.S., Zou, Y.N., Liu M., & Cheng, K. (2012). Effects of exogenous putrescine on mycorrhiza, root system architecture, and physiological traits of *Glomus mosseae* colonized trifoliate orange seedlings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici ClujNapoca 40*(2): 80-85. https://doi.org/10.15835/nbha4027926.
54. Yousefi, F., Jabbarzadeh, Z., Amiri, J., & 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. https://doi.org/10.1038/s41598-019-52547-1.
55. Zarei, M., Sinaki, J.M., Rahbari, A., & Abbaspour, H. (2013). Effects of planting date and salicylic acid on physiological traits of forage maize hybrids. *Iranian Journal of Plant Physiology 3*(2): 687-693.
56. Zeb, A., Fazal Ullah, E., Syeda Leeda Gul, E., Maaz Khan, E., Zainub, B., Noman Khan, M., & Amin, N. (2017). Influence of salicylic acid on growth and flowering of Zinnia cultivars. *Science International (Lahore) 29(*6): 1329-1335.