

تأثیر کاربرد برگی سدیم نیتروپروساید بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک آلسترومریا (*Alstroemeria aurea*) رقم Orange Queen در شرایط کشت هیدروپونیک

سهیلا صادقی و زهره جبارزاده*

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱)

چکیده

به منظور ارزیابی کاربرد برگی سدیم نیتروپروساید بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی آلسترومریا رقم Orange Queen، پژوهشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط کشت هیدروپونیک در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه انجام گرفت. سدیم نیتروپروساید در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار به صورت محلول پاشی مورد استفاده قرار گرفت. شاخص‌هایی از قبیل وزن تر و خشک گلچه و ساقه گلدهنده، قطر غنچه و ساقه گلدهنده، طول غنچه و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل)، شاخص کلروفیل، میزان کاروتنوئید، قند محلول در گلبرگ و آنتوسیانین برگ و گلبرگ اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که کاربرد سدیم نیتروپروساید در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار، منجر به افزایش شاخص‌های مورفولوژیک از جمله وزن تر و خشک گلچه (افزایش ۷۵ درصدی در مقایسه با شاهد) و ساقه گلدهنده، قطر و طول غنچه و افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a، b و کل (افزایش ۳۳ درصدی) نسبت به شاهد شد. همچنین سدیم نیتروپروساید میزان قند محلول در گلبرگ (افزایش ۳۸ درصدی در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها) و همچنین میزان آنتوسیانین برگ و گلبرگ را نسبت به شاهد افزایش داد. در این پژوهش، از بین غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید، غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار مؤثرتر عمل کردند. به‌طور کلی نتایج حاصل نشان داد که کاربرد سدیم نیتروپروساید می‌تواند به دلیل نقش مهمی که در تقسیم سلولی، توسعه و رشد و نمو دارد در بهبود برخی خصوصیات بیوشیمیایی در آلسترومریا تأثیر چشمگیری داشته باشد.

کلمات کلیدی: آلسترومریا، آنتوسیانین، فتوسنتز، کشت بدون خاک، نیتریک اکسید

مقدمه

دائمی کشت می‌شود (قاسمی قهساره و کافی، ۱۳۹۷). برگ‌ها در گل آلسترومریا به صورت کامل و به رنگ سبز خاکستری تا سبز تیره به صورت پهن و روی ساقه با دمبرگ کوتاه هستند که اغلب ضخیم بوده و همچنین در دو طرف برگ بدون کرک هستند. آرایش برگ‌ها به صورت متناوب و گل‌ها به صورت فراهم هستند (ناصری و ابراهیمی گروی، ۱۳۸۹). گل آذین

آلسترومریا با نام انگلیسی Peruvian Lily و نام علمی *Alstromeria hybrida* L. از جمله گل‌های گلدانی و شاخه بریده بومی آمریکای جنوبی و متعلق به خانواده Alstromeriaceae و زیرشاخه تک لپه‌ای‌ها است (Ferrante et al., 2002). این گیاه در مناطق گرمسیری به عنوان گیاه علفی

* نویسنده مسؤول، نشانی پست الکترونیکی: z.jabbarzadeh@urmia.ac.ir

که توسط غایی (۱۳۹۶) در گل ژبربا (*Gerbera jamesonii*) به صورت کاربرد قبل از برداشت انجام شد، نتایج نشان داد که دو بار محلول پاشی با سدیم نیترو پروساید با فاصله یک ماه از هم موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل کل و محتوای آنتوسیانین گلبرگ می شود. علاوه بر این شاخص قطر ساقه با کاهش فعالیت ACC اکسیداز در غلظت ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیترو پروساید افزایش یافت. در آزمایش دیگری که توسط عبدی (۱۳۹۸) روی گل رز رقم "آوالانچ" در شرایط هیدروپونیک به صورت کاربرد قبل از برداشت انجام شد، نتایج نشان داد که بیشترین سطح و تعداد برگ، شاخص کلروفیل، وزن تر و خشک برگ و به طور کلی بهترین وضعیت ویژگی های رشدی رز در تیمار ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید حاصل شد. در پژوهشی دیگر تأثیر محلول پاشی سدیم نیتروپروساید (غلظت های صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی مولار) و اسید سالیسیلیک بر کاهش اثرات مضر تنش قلیایی در گیاه رز مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان داد که با کاربرد این تیمارها، اثرات منفی قلیائیت خاک بر گیاه کاهش می یابد و شاخص های رشدی گیاه از جمله تعداد و ضخامت برگ، وزن تر و خشک برگ و ساقه و ریشه، همچنین شاخص های گلدهی، رنگیزه های فتوسنتزی، قندهای محلول و میزان پروتئین کل افزایش می یابد و غلظت دو میلی مولار سدیم نیتروپروساید مؤثرتر از بقیه غلظت ها عمل کرد (Moazam Babasheikhali et al., 2021). از آنجایی که نیتریک اکسید در فرآیندهای رشد و نمو گیاهان، اثرات مثبتی مانند افزایش فتوسنتز، افزایش جذب آب، افزایش کیفیت و عملکرد گیاه دارد و لذا با توجه به اثر مثبت نیتریک اکسید در بهبود ویژگی های کمی و کیفی گیاهان، در این پژوهش، به بررسی تأثیر غلظت های مختلف نیتریک اکسید به صورت محلول پاشی بر برخی ویژگی های مورفوفیزیولوژیک آلسترومریا رقم Orange Queen پرداخته شد.

مواد و روش ها

آلسترومریا از نوع گرز مارپیچی است که هر گرز به صورت سیمپودیال توسعه یافته و بیش از چهار گل دارد که یکی بعد از دیگری باز می شود. آلسترومریا یکی از گل های شاخه بریده مهم در ایران بوده که به دلیل عملکرد زیاد، عمر گلجای طولانی، گل های زیبا و تنوع رنگ بسیار زیاد مورد توجه قرار گرفته است (مکوندی و همکاران، ۱۳۹۰).

نیتریک اکسید به عنوان یک مولکول زیستی فعال در بسیاری از فرآیندهای رشد و نمو گیاه دخیل است از جمله آن ها می توان به جوانه زنی، گلدهی، رسیدن میوه ها و پیری اندام ها اشاره کرد (Crawford and Guo, 2005). در گزارشی بیان شد که نیتریک اکسید در برخی فرآیندهای فیزیولوژیک مانند تعدیل اتیلن داخلی، اتلاف آب، ایمنی گیاه، بیوستنز آنتوسیانین، تولید کلروفیل، رشد ریشه و تشکیل گل و میوه دخیل است (Bowyer et al., 2003). علاوه بر این، نیتریک اکسید باعث افزایش سرعت فتوسنتز از طریق افزایش تولید کلروفیل، افزایش عملکرد میتوکندری و کلروپلاست، افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز، حفظ محتوای نسبی آب و کاهش اتلاف آب برگ از طریق بستن روزنه ها می شود (Tian and Lei, 2007). روش های کاربرد نیتریک اکسید در گیاهان مختلف به صورت روش تدخینی (Fumigation) و ترکیبات رهاکننده نیتریک اکسید است. روش تدخینی به صورت تیمار کوتاه مدت و در غلظت های کم مؤثر است (Bowyer et al., 2003). اما کاربرد این روش دارای هزینه بسیار زیادی می باشد بنابراین استفاده از ترکیبات رهاکننده نیتریک اکسید به علت سهولت کاربرد مورد توجه قرار گرفته است. ترکیبات رهاکننده نیتریک اکسید به صورت جامد هستند که به صورت شیمیایی نیتریک اکسید را ذخیره و در شرایط فیزیکی مناسب آن را رها می کنند (Wills et al., 2004). از جمله ترکیبات رایج آزادکننده نیتریک اکسید می توان به سدیم نیتروپروساید اشاره کرد (Ghadi, 2014).

در رابطه با تأثیر سدیم نیتروپروساید به عنوان آزادکننده نیتریک اکسید بر گیاهان مختلف پژوهش های بسیاری انجام شده که به اختصار به چند پژوهش اشاره می شود. در پژوهشی

جدول ۱- برنامه غذایی مورد استفاده برای آلسترومریا برای ۱۰۰ لیتر آب

سولفات منیزیم	نیترات پتاسیم	نیترات آمونیم	مولیبدات سدیم	بوراکس	مونوآمونیم فسفات	سولفات منگنز	سولفات روی	سولفات پتاسیم	کلات آهن	نیترات کلسیم-
۱۰ گرم	۳۲ گرم	۴ گرم	۰/۰۳۵ گرم	۰/۰۳ گرم	۵ گرم	۰/۲ گرم	۰/۱۵ گرم	۸ گرم	۵ گرم	۱۰ گرم

به منظور انجام این پژوهش، گیاهان آلسترومریا تکثیر یافته از ریزوم رقم Orange Queen (شرکت Royal Van Zan Ten) کشور هلند از یک گلخانه تجاری در ورامین خریداری و استفاده گردید. رقم Orange Queen یکی از ارقام گل بریدنی آلسترومریا است که رنگ گل های آن نارنجی بوده و لکه های تیره رنگی روی گلبرگ دیده می شود. طول ساقه گلدهنده آن در شرایط ایده آل به ۶۰ تا ۷۰ سانتی متر می رسد و طول عمر گل روی بوته زیاد است. این رقم در صورت مهیا بودن شرایط تغذیه ای می تواند تا ۲۵ درصد بیشتر از حد نرمال رشد داشته باشد (Faust and Dole, 2021).

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و سه تکرار و هر تکرار شامل دو گلدان و در هر گلدان یک گیاه انجام شد. به منظور کشت گیاه از محیط کشت غیرخاکی مخلوطی از پرلایت و کوکوپیت به نسبت یک به سه استفاده شد. گیاهان در گلدان هایی با سایز ۲۰ که ارتفاع گلدان ها ۱۹ سانتی متر و قطر آن ها ۲۴ سانتی متر (حجم ۷ لیتر) بود، کشت شدند. لازم به ذکر است که طی مراحل مختلف رشد، دمای گلخانه در روز ۲۱-۱۸ و دمای شب نیز ۱۲-۱۰ درجه سانتی گراد، طول روز ۱۰-۱۲ ساعت روشنایی، شدت نور $400-500 \mu\text{m}^2/\text{s}$ و رطوبت ۷۰-۶۰ درصد بود. گلدان ها توسط محلول غذایی تغذیه می شدند و نحوه تغذیه بدین صورت بود که یک روز در میان محلول غذایی (ارائه شده در جدول ۱) به گیاهان به میزان ۲۰۰-۱۵۰ میلی لیتر داده می شد و پس از دو بار تغذیه، آبیاری انجام می گرفت. پس از استقرار کامل گیاهان (حدوداً دو ماه پس از کاشت گیاهان، زمانی که گیاه از نظر رشد ساقه ارتفاعی در حدود ۵۰ سانتی متر و قطر ساقه در حدود ۵ میلی متر بودند) تیمار سدیم نیتروپروساید (شرکت Fluka ساخت کشور سوئیس) در چهار غلظت صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار به صورت محلول پاشی برگی هر

دو هفته یکبار (Azizi et al., 2021) و به مدت چهار ماه بر گیاهان اعمال شد و دو هفته بعد از آخرین تیماردهی، نمونه برداری از گیاهان جهت آنالیزهای بیوشیمیایی انجام گرفت.

اندازه گیری شاخص های مورفولوژیک گیاه: دو هفته پس

از پایان محلول پاشی گیاهان، اندازه گیری شاخص های مورفولوژیک شروع شد. برخی صفات مورفولوژیک در گلخانه و برخی پس از نمونه گیری تصادفی از گیاهان در آزمایشگاه اندازه گیری شدند.

اندازه گیری طول و قطر ساقه گلدهنده، طول و قطر

غنچه: در این پژوهش طول ساقه با استفاده از خط کش (با دقت ۱ میلی متر) از محل طوقه تا انتهای ترین قسمت گیاه به- عنوان شاخص طول ساقه گلدهنده اندازه گیری شد و به سانتی متر بیان گردید. قطر ساقه از سه قسمت پایین، وسط و بالای گیاه با کولیس دیجیتال (مدل NO:Z, 22855) اندازه گیری و میانگین آن ها محاسبه شد و داده ها برحسب میلی متر (با دقت ۰/۰۱ میلی متر) بیان گردیدند. همچنین قطر اولین غنچه ظاهر- شده در قسمت پایین و وسط غنچه با کولیس دیجیتالی اندازه گیری و میانگین آن ها محاسبه شدند، داده ها برحسب میلی متر (با دقت ۰/۰۱ میلی متر) بیان شد. طول غنچه گل از محل رویش گلبرگ روی نهج تا نوک غنچه توسط کولیس دیجیتال (با دقت ۰/۰۱ میلی متر) اندازه گیری شد و داده ها بر- حسب میلی متر بیان گردیدند.

اندازه گیری وزن تر و خشک گلچه و ساقه گلدهنده:

برای مقایسه وزن تر گیاهان تیمار شده با گیاهان شاهد، نمونه های برداشت شده به صورت تصادفی از گل و ساقه گلدهنده (از هر گلدان دو ساقه و از هر ساقه به طور تصادفی سه گل)، بلافاصله توسط ترازوی دیجیتال (METTLER, PJ300) و با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. برای تعیین وزن خشک گل و ساقه گیاهان هر گلدان، ابتدا نمونه ها در پاکت کاغذی قرار داده

گردید. سپس ۰/۱ میلی لیتر از عصاره توسط میکروپیت به داخل لوله آزمایش ریخته و میزان ۳ میلی لیتر آنترون به آن اضافه شد (طرز تهیه آنترون: ۱۵۰ میلی گرم آنترون در ۱۰۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد ریخته و به مدت ۸ ساعت روی همزن مغناطیسی قرار داده شد تا کاملاً حل شود). لوله‌های آزمایش تا زمان تشکیل ماده رنگی به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفتند. در نهایت بعد از سرد شدن، میزان جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده شد (Irigoyen *et al.*, 1992).

اندازه‌گیری آنتوسیانین کل برگ و گلبرگ: جهت اندازه‌گیری آنتوسیانین از روش Wagner (۱۹۷۹) استفاده شد. برای این منظور ابتدا ۰/۱ گرم از بافت تر برگ و یا گلبرگ، به کمک ۱۰ میلی لیتر متانول اسیدی کاملاً ساییده شد، سپس عصاره‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و تاریکی قرار داده شدند. در مرحله بعد سانتریفیوژ کردن عصاره به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور انجام شد و در نهایت خواندن جذب محلول رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل HALO DB-20 در طول موج ۵۵۰ نانومتر انجام شد. برای محاسبه غلظت آنتوسیانین از ضریب خاموشی معادل ($\epsilon=33000 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-2}$) استفاده گردید. A جذب نمونه، b عرض سل و c غلظت محلول مورد نظر است، در نهایت غلظت آنتوسیانین طبق رابطه $(A = \epsilon bc)$ برحسب میکرومول بر گرم وزن تازه حساب گردید. این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار و سه تکرار و هر تکرار شامل دو گلدان و در هر گلدان یک گیاه انجام شد. واکاوی آماری داده‌ها با کمک نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ و با آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد و رسم شکل‌ها با کمک نرم افزار Excel (۲۰۱۶) انجام شد.

نتایج و بحث

طول ساقه گلدهنده: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر سدیم نیتروپروساید بر طول ساقه گلدهنده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که فقط کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم

شده و سپس در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و پس از خارج نمودن نمونه‌ها از آون، مجدداً به کمک ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شدند.

شاخص کلروفیل: شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD مدل CCM-200 اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل a, b و کل و کاروتنوئید: جهت اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a, b و کل و کاروتنوئید از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) استفاده شد. برای این منظور ابتدا ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ در ۵ میلی لیتر استون ۸۰ درصد کاملاً ساییده شد تا توده یکنواختی ایجاد شود، مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۵۰۰ دور در دستگاه سانتریفیوژ (Brushless D.C.) قرار گرفت. در نهایت میزان جذب برای کلروفیل a, b و کاروتنوئید توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (HALO DB-20) به ترتیب در طول

موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. در نهایت، میزان کلروفیل a, b و کلروفیل کل و کاروتنوئید برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه براساس رابطه ۱ تا ۴ به دست آمد.

V: حجم نمونه، W: وزن تر نمونه برگی

رابطه ۱:

$$\text{Chla} = ((19.3 \times A663) - (0.86 \times A645)) \times V / 100W$$

رابطه ۲:

$$\text{Chlb} = (19.3 \times A645) - (3.60 \times A663) \times V / 100W$$

رابطه ۳:

$$\text{Chl total} = \text{Chla} + \text{Chlb}$$

رابطه ۴:

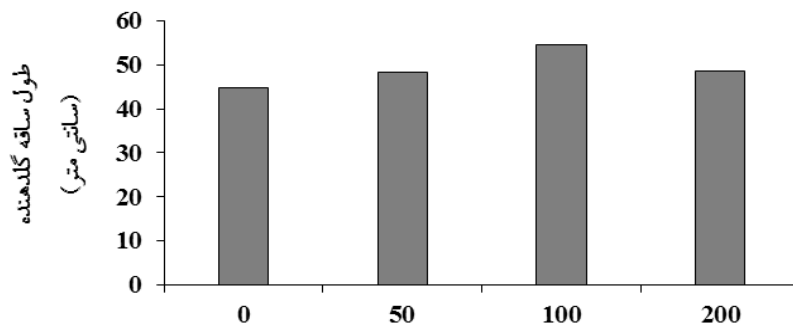
$$\text{Car} = \frac{100(A470) - 3.27(\text{mg chl a}) - 104(\text{mg chl b})}{227}$$

اندازه‌گیری قند محلول گلبرگ: ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تازه گلبرگ با ۵ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد کاملاً ساییده شد، سپس محلول رویی جدا و به لوله‌های آزمایش به حجم ۲۵ میلی لیتر انتقال داده شدند. در مرحله بعد ۵ درصد اتانول ۷۰ درصد به بخش جامد باقیمانده اضافه شد، دوباره محلول رویی به لوله‌های آزمایش به حجم ۲۵ میلی لیتر انتقال داده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس ویژگی های مورفولوژیکی گل آلسترومیرا در اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید

میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییرات
وزن خشک	وزن تر	قطر غنچه	طول غنچه	وزن خشک ساقه گلدهنده	وزن تر ساقه گلدهنده	قطر ساقه گلدهنده	طول ساقه گلدهنده		
۰/۰۰۰۳۲۲*	۰/۰۴۸۲**	۰/۶۱۵**	۰/۶۵۱*	۰/۲۸۵**	۱۷/۰۹۱**	۰/۴۵۷*	۴۸/۱۳**	۳	سدیم نیتروپروساید
۰/۰۰۰۰۴۸	۰/۰۰۲۶	۰/۰۶۳۵	۰/۰۷۳۱	۰/۰۱۲۵	۱/۲۰۰	۰/۰۶۷	۲/۵۶	۸	اشتباه آزمایشی
۷/۳۱	۶/۰۸	۲/۲۹	۶/۹۲	۱۰/۰۸	۱۰/۷۵	۵/۲۹	۳/۲۶		ضریب تغییرات

ns و **: به ترتیب نشان دهنده غیر معنی داری و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.



غلظت سدیم نیتروپروساید (میکرومولار)

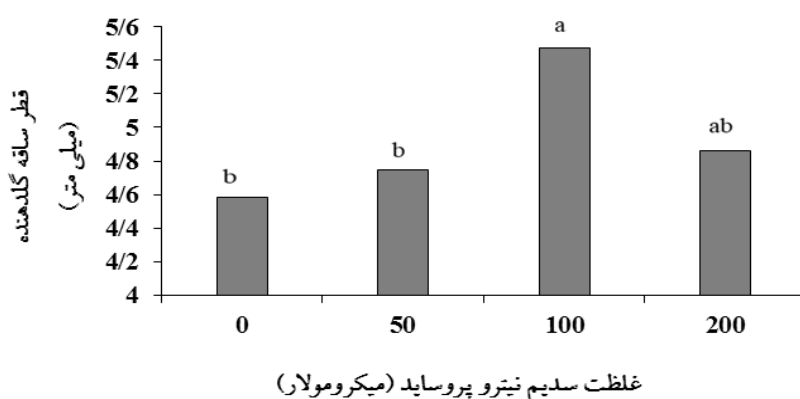
شکل ۱- تأثیر غلظت های مختلف سدیم نیتروپروساید بر طول ساقه گلدهنده در گل آلسترومیرا رقم 'Orange Queen'. حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد در بین میانگین ها با آزمون توکی است.

غلظت های ۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار اختلاف معنی داری نداشت (شکل ۲). با توجه به شکل ۲ مشاهده شد که غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید تأثیر بیشتری در افزایش قطر ساقه گلدهنده داشت.

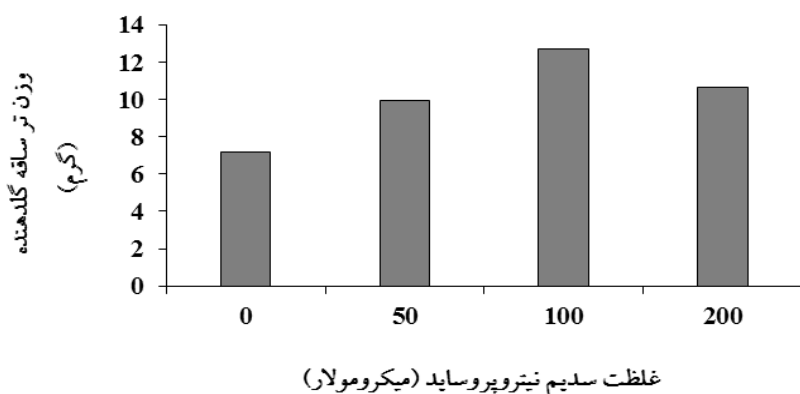
وزن تر و خشک ساقه گلدهنده: براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) مشخص شد که تأثیر کاربرد سدیم نیتروپروساید بر وزن تر و خشک ساقه گلدهنده در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد که تمامی غلظت های سدیم نیتروپروساید در افزایش وزن تر ساقه گلدهنده مؤثر بودند که البته فقط تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید توانست وزن تر ساقه گلدهنده را نسبت به شاهد به طور مؤثرتری افزایش دهد و این میزان را مقایسه با شاهد افزایش ۷۵ درصدی نشان داد (شکل ۳). همچنین مقایسه میانگین داده ها نشان داد که کاربرد تمامی غلظت های سدیم نیتروپروساید باعث افزایش معنی دار وزن

نیتروپروساید باعث افزایش چشمگیری در طول ساقه گلدهنده شد و بین سایر غلظت های سدیم نیتروپروساید و شاهد اختلاف معنی داری از لحاظ آماری مشاهده نشد. با توجه به شکل ۱، غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مؤثرتر از سایر غلظت های سدیم نیتروپروساید در افزایش طول ساقه گلدهنده عمل کرد و طول ساقه گلدهنده در این غلظت، ۵۴/۵ سانتی متر بود.

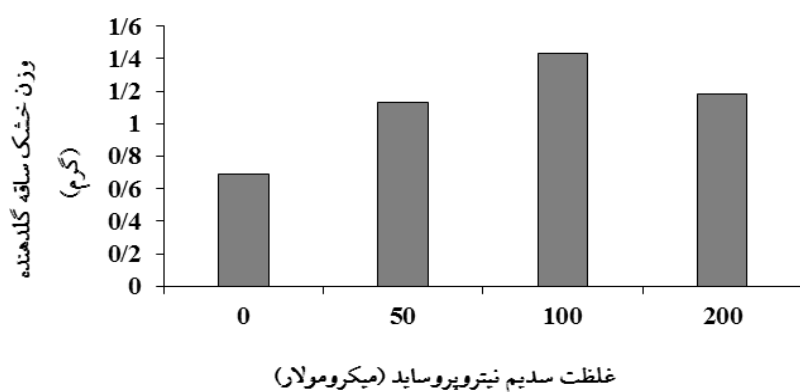
قطر ساقه گلدهنده: براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) مشخص شد که تأثیر کاربرد سدیم نیتروپروساید بر قطر ساقه گلدهنده در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود. نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد که فقط تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید توانست قطر ساقه گلدهنده را به طور معنی داری نسبت به شاهد افزایش دهد که این میزان ۵/۴۷ میلی متر بود. کمترین قطر ساقه گلدهنده نیز با میزان ۴/۵۸ میلی متر در تیمار شاهد مشاهده شد هر چند که با



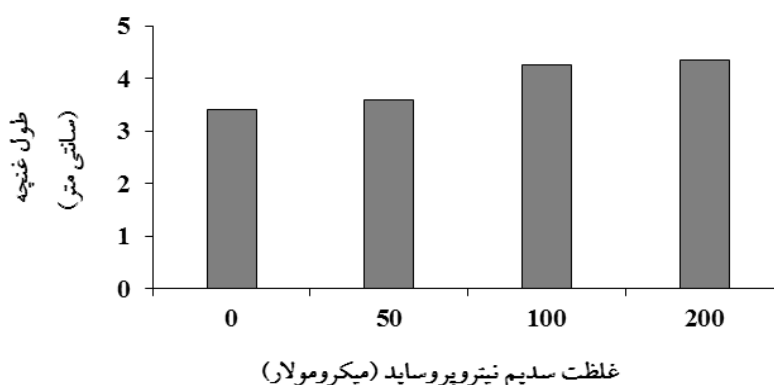
شکل ۲- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر قطر ساقه گلدهنده آلسترومریا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها با آزمون توکی است.



شکل ۳- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر وزن تر ساقه گلدهنده در گل آلسترومریا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در بین میانگین‌ها با آزمون توکی است.



شکل ۴- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر وزن خشک ساقه گلدهنده در گل آلسترومریا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در بین میانگین‌ها با آزمون توکی است.



شکل ۵- تأثیر غلظت های مختلف سدیم نیتروپروساید بر طول غنچه در گل آلسترومیرا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین ها با آزمون توکی است.

۱۰۰ میکرومولار نسبت به شاهد معنی دار بود به طوری که بیشترین قطر غنچه (۱۱/۴۳ میلی متر) در تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشاهده شد و کمترین قطر غنچه (۱۰/۴۸ میلی متر) در تیمار بدون کاربرد سدیم نیتروپروساید مشاهده شد (شکل ۶). همانطور که شکل ۶ نشان داد غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید نقش موثرتری در افزایش قطر غنچه در آلسترومیرا داشت.

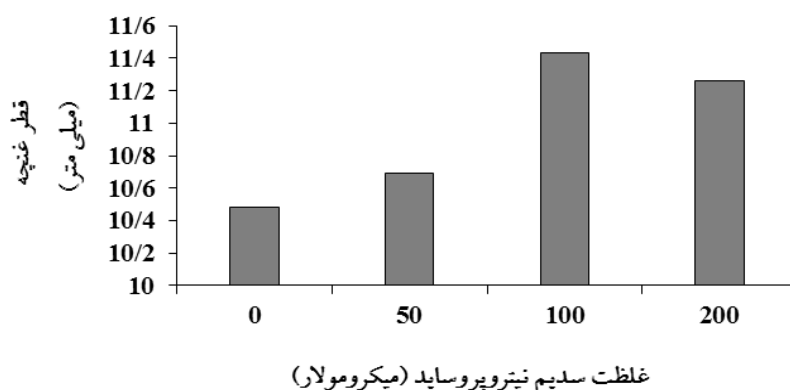
وزن تر گلچه: با توجه به نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) مشخص شد که تأثیر سدیم نیتروپروساید بر وزن تر گلچه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. مقایسه میانگین داده ها نشان داد که کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید باعث افزایش معنی دار وزن تر گلچه نسبت به شاهد شد به طوری که بیشترین وزن تر گلچه در تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید افزایش ۲۶ درصدی در مقایسه با شاهد نشان داد و بین غلظت های ۲۰۰ و ۵۰ و شاهد اختلاف معنی داری از لحاظ آماری وجود نداشت (شکل ۷). بنابراین می توان نتیجه گرفت که غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید نقش موثرتری در بهبود شاخص وزن تر گلچه داشت.

وزن خشک گلچه: با توجه به نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) مشخص شد که اثر سدیم نیتروپروساید بر وزن خشک گلچه در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود. مقایسه میانگین داده ها نشان داد که کاربرد سدیم

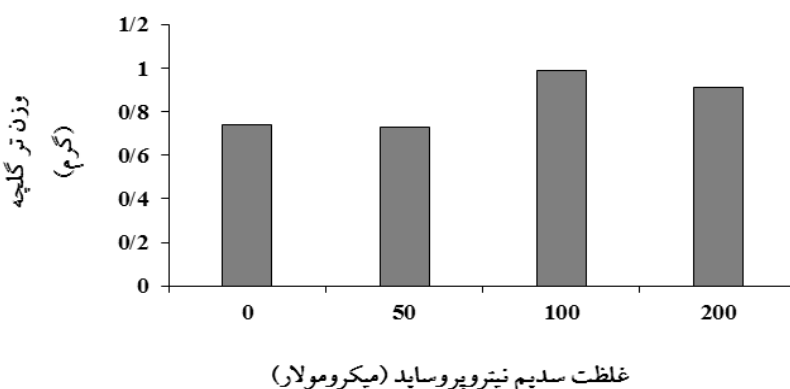
خشک ساقه گلدهنده نسبت به شاهد شد. با توجه به شکل، مشاهده می شود که کاربرد سدیم نیتروپروساید در غلظت ۱۰۰ میکرومولار میزان وزن خشک ساقه گلدهنده را بیش از ۱۰۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد (شکل ۴).

طول غنچه: با توجه به نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) طول غنچه نیز تحت تأثیر کاربرد غلظت های مختلف قرار گرفت. مقایسه میانگین داده ها نشان داد که کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث افزایش طول غنچه در آلسترومیرا شد به طوری که با افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید، طول غنچه نیز افزایش یافت و در غلظت ۲۰۰ میکرومولار، بیشترین طول غنچه را باعث شد هر چند که با غلظت ۱۰۰ میکرومولار اختلاف معنی داری نداشت. بنابراین می توان گفت غلظت مؤثر جهت افزایش طول غنچه در آلسترومیرا غلظت های ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید هستند. لازم به ذکر است که در تیمار ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید طول غنچه به ۴/۳۵ میلی متر رسید در حالی که در گیاهان شاهد، متوسط طول غنچه ۳/۴۱ میلی متر بود (شکل ۵).

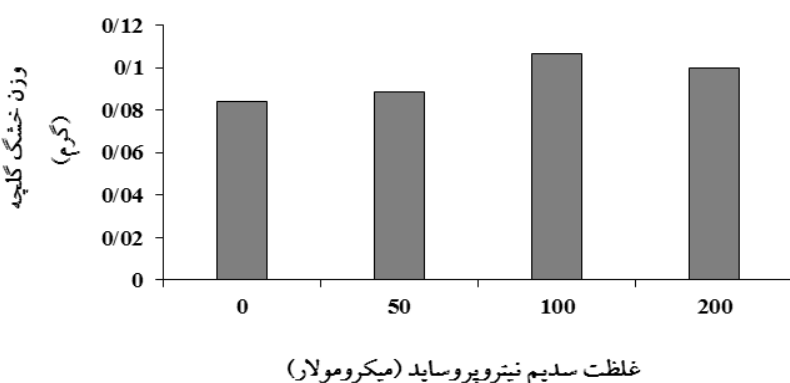
قطر غنچه: با توجه به نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) مشخص شد که تأثیر سدیم نیتروپروساید بر قطر غنچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. مقایسه میانگین داده ها نشان داد که کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث افزایش قطر غنچه شد که البته این افزایش، فقط در غلظت



شکل ۶- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر قطر غنچه در گل آلسترومریا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در بین میانگین‌ها با آزمون توکی است.



شکل ۷- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر وزن تر گلچه در گل آلسترومریا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در بین میانگین‌ها با آزمون توکی است.



شکل ۸- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر وزن خشک گلچه در گل آلسترومریا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در بین میانگین‌ها با آزمون توکی است.

نیتروپروساید در غلظت ۱۰۰ میکرومولار منجر به افزایش ۴۵ درصد در میزان وزن خشک گلچه در مقایسه با شاهد شد هر چند که این مقدار افزایش با غلظت های ۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید اختلاف معنی داری از لحاظ آماری نداشت (شکل ۸).

در پژوهش حاضر، کاربرد سدیم نیتروپروساید (به ویژه در غلظت ۱۰۰ میکرومولار) منجر به افزایش وزن تر و خشک گلچه، قطر و طول غنچه گردید. نیتریک اکسید به عنوان یک مولکول زیستی فعال، در بسیاری از فرآیندهای مختلف رشدی از جمله فتوسنتز، رشد و تقسیم سلولی نقش دارد (Salachna and Zawadzinska, 2018). تأثیر سدیم نیتروپروساید در تقسیم سلولی می تواند دلیل احتمالی در افزایش تعداد و طول گلچه، وزن تر و خشک گلچه، قطر و طول غنچه در پژوهش حاضر باشد. لازم به ذکر است که کاربرد نیتریک اکسید و ترکیبات رهاکننده آن در گیاهان مختلف بسته به گونه، رقم و غلظت مورد استفاده، نتایج متفاوتی را نشان می دهد به طور مثال در برخی از گیاهان زینتی از جمله لاله و سوسن شرقی، کاربرد نیتریک اکسید در غلظت های کم، منجر به افزایش شاخص های گلدهی از جمله طول و قطر غنچه می شود اما افزایش غلظت نیتریک اکسید منجر به کاهش این پارامترها می شود (Salachna and Zawadzinska, 2018). طی پژوهش های مختلف ثابت شده است که نیتریک اکسید یک عامل کلیدی در تنظیم تولید و فعالیت آنزیم سلولاز (محرک سست نمودن دیواره سلولی) می شود که از این طریق منجر به بزرگ شدن سلول ها می شود (اصغری، ۱۳۹۴). احتمال می رود که نیتریک اکسید از طریق تأثیر در فرآیند رشد رویشی و زایشی و تأثیر بر فعالیت هورمون های رشد توانسته است در افزایش شاخص های گلدهی از جمله طول و قطر غنچه و در نتیجه تولید گل هایی با کیفیت در پژوهش حاضر مؤثر واقع شود. همان طور که گزارش شد تأثیر سدیم نیتروپروساید بر اندازه گل در غلظت های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار تأثیر بهتری نسبت به ۵۰ میکرومولار داشت. در تأیید نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر، افزایش اندازه و بهبود شاخص های گلدهی در

اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید و سایر ترکیبات آزادکننده نیتریک اکسید در گلابول (Mittal et al., 2021) و ژربرا (Shabanian et al., 2018) نیز گزارش گردید. در بسیاری از پژوهش ها تأثیر نیتریک اکسید در افزایش قطر و در نتیجه افزایش استحکام ساقه مربوط به تأثیر ضداتیلنی سدیم نیتروپروساید دانسته شده است، زیرا نیتریک اکسید بازدارنده فعالیت و سنتز اتیلن در گیاهان عالی از طریق غیرفعال سازی اکسیداتیو ACC سنتتاز و ACC اکسیداز است (Misra et al., 2011). نیتریک اکسید منجر به افزایش تقسیم سلولی می شود (Arun et al., 2017). به نظر می رسد که کاربرد سدیم نیتروپروساید از این طریق توانسته منجر به افزایش قطر ساقه گلدهنده شود.

شاخص کلروفیل: نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که تأثیر سدیم نیتروپروساید بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده ها نشان داد که کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث افزایش شاخص کلروفیل شد که البته این افزایش، فقط در غلظت ۱۰۰ میکرومولار، اختلاف معنی داری با شاهد داشت. با توجه به شکل ۹، در غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید، شاخص کلروفیل به میزان SPAD ۴۴/۳۵ و در تیمار بدون کاربرد سدیم نیتروپروساید یعنی گیاه شاهد، میزان شاخص کلروفیل SPAD ۳۸/۹۱ بود (شکل ۹).

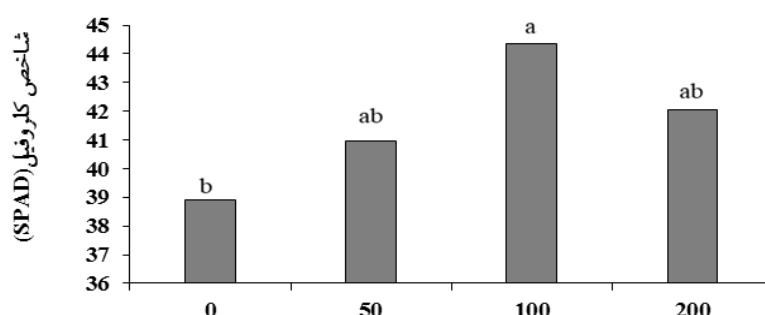
میزان کلروفیل a: براساس نتایج تجزیه واریانس داده ها مشخص شد که تأثیر سدیم نیتروپروساید بر میزان کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده ها نشان داد که با افزایش غلظت سدیم نیتروپروساید، میزان کلروفیل a افزایش یافت که البته این افزایش، فقط در غلظت ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید، اختلاف معنی داری با شاهد داشت با توجه به شکل ۱۰، با کاربرد ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید، میزان کلروفیل a به حدود ۱/۴۲ برابر گیاه شاهد رسیده است (شکل ۱۰).

میزان کلروفیل b: براساس جدول تجزیه واریانس مشخص شد که کاربرد سدیم نیتروپروساید بر میزان کلروفیل

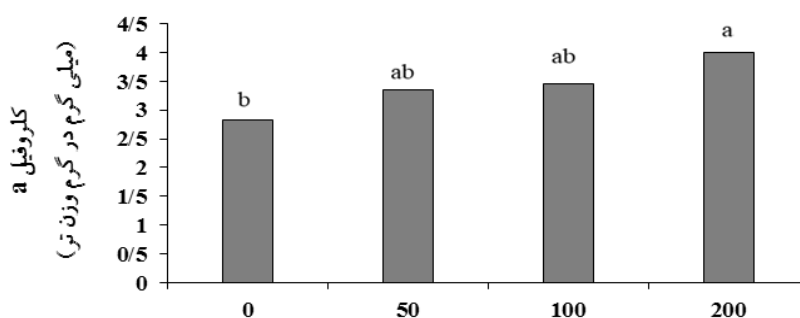
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های بیوشیمیایی گل آلسترومریا در اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید

میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییرات
آنتوسیانین گلبرگ	آنتوسیانین برگ	قند محلول کل	کاروتنوئید	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	شاخص کلروفیل		
۰/۷۸۶**	۳/۰۲۳**	۱۳۹۵۱/۵۸**	۰/۹۸۰ ^{ns}	۲/۸۳۰**	۰/۸۰۵*	۰/۷۶۸**	۱۵/۳۲**	۳	سدیم نیتروپروساید
۰/۰۱۳	۰/۱۰۲	۱۱۹/۳۵	۰/۳۹	۰/۳۶۳	۰/۱۵	۰/۰۹۹۱	۱/۷۷	۸	اشتباه آزمایشی
۵/۶۷	۶/۰۹	۳/۶۸۸	۱۸/۶۶	۱۱/۶۹	۲۲/۵۷	۹/۱۷	۳/۲۰		ضریب تغییرات

ns* و **: به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.



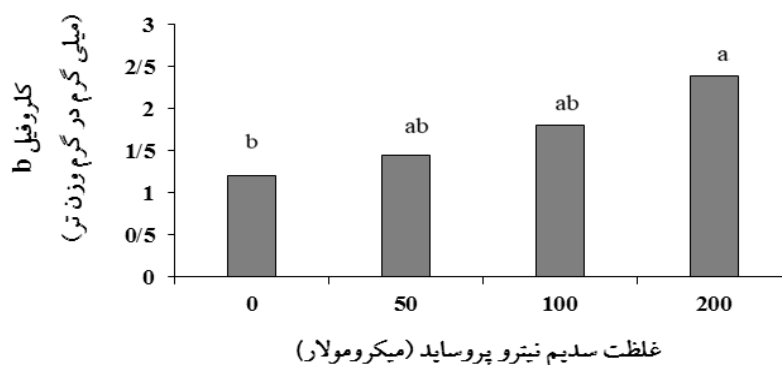
شکل ۹- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر شاخص کلروفیل آلسترومریا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در بین میانگین‌ها با آزمون توکی است.



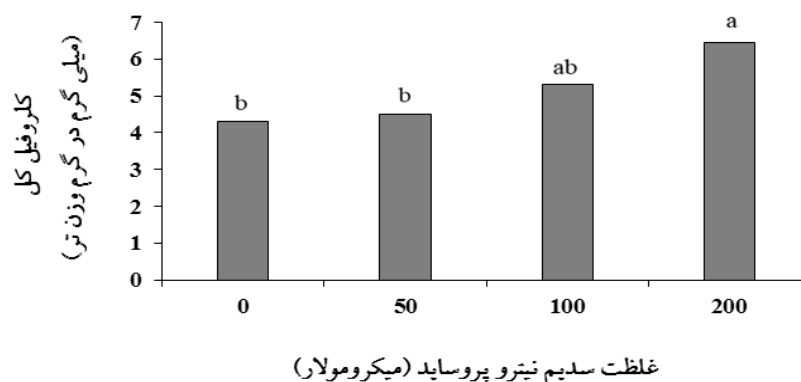
شکل ۱۰- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر میزان کلروفیل a آلسترومریا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در بین میانگین‌ها با آزمون توکی است.

ب برگ گیاه آلسترومریا در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در کلروفیل b نیز همانند کلروفیل a فقط کاربرد سدیم نیتروپروساید در غلظت ۲۰۰ میکرومولار اختلاف معنی‌داری با شاهد ایجاد کرد و توانست میزان کلروفیل b را تا دو برابر نسبت به شاهد افزایش دهد (شکل ۱۱).

ب برگ گیاه آلسترومریا در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در کلروفیل b نیز همانند کلروفیل a فقط کاربرد سدیم نیتروپروساید در غلظت ۲۰۰ میکرومولار اختلاف معنی‌داری با شاهد ایجاد کرد و توانست میزان کلروفیل b را تا دو برابر نسبت به شاهد افزایش دهد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر میزان کلروفیل b آلسترومریا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در بین میانگین‌ها با آزمون توکی است.



شکل ۱۲- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر میزان کلروفیل کل آلسترومریا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در بین میانگین‌ها با آزمون توکی است.

همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود کاربرد سدیم نیتروپروساید منجر به افزایش رنگی‌های فتوسنتزی از جمله میزان کلروفیل a، b، کل و میزان شاخص کلروفیل شد و در بین غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید، غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار تأثیر بهتری داشتند. گزارش‌های مختلف نشان‌دهنده این است که نیتریک اکسید به‌عنوان مولکول حفاظتی از غشای کلروپلاست عمل می‌کند. علاوه بر این، نیتریک اکسید در مسیرهای متابولیکی سنتز کلروفیل نیز دخیل است (Hemati et al., 2019). اصغری (۱۳۹۴) اذعان داشت که نیتریک اکسید از طریق تولید ترکیبات فنلی از جمله اسید سالیسیلیک منجر به حفاظت از کلروپلاست و جلوگیری از تخریب پروتئین و افزایش عمر بافت‌های فتوسنتزکننده می‌شود

میزان کلروفیل کل: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که تأثیر سدیم نیتروپروساید بر میزان کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که فقط کاربرد سدیم نیتروپروساید در غلظت ۲۰۰ میکرومولار با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۱۲). میزان کلروفیل کل در غلظت ۲۰۰ میکرومولار سدیم پروساید ۶/۴۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر بود که این غلظت، اختلاف معنی‌داری با شاهد (۴/۲۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و سایر تیمارها داشت.

کاروتنوئید: براساس جدول تجزیه واریانس مشخص شد که کاربرد سدیم نیتروپروساید تأثیری بر میزان کاروتنوئید در آلسترومریا نداشت (جدول ۳).

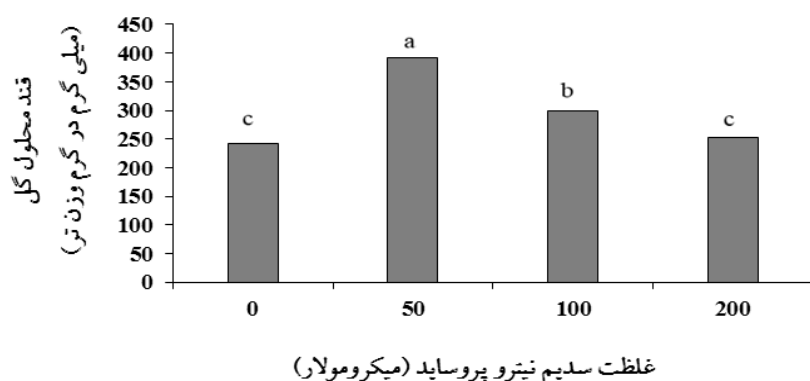
میکرومولار، غلظت قند محلول به حدی کاهش یافت که اختلاف معنی داری با شاهد نداشت (شکل ۱۳).

در شکل ۱۳ مشاهده شد که کاربرد سدیم نیتروپروساید منجر به افزایش قند محلول گلبرگ شد، و میزان قند گلبرگ در غلظت ۲۰۰ میکرومولار از لحاظ آماری مشابه شاهد بود که می تواند به این دلیل باشد که گلبرگ ها معمولاً به عنوان سینک قوی عمل می کنند و مواد قندی را صرف کیفیت و افزایش تعداد گلچه های خود می کنند. احتمال می رود که کاهش قند محلول در پژوهش حاضر به دلیل عمل گلبرگ ها به عنوان مصرف کننده قوی در جهت بهبود صفات گلدی در آلسترومیرا باشد. قندهای محلول در بافت های گیاهی از جمله فراوان ترین ترکیبات هستند و در گیاهان به عنوان منبع انرژی مورد استفاده قرار می گیرند (Ruan, 2014). علاوه بر این، قندهای محلول به عنوان محافظت کننده های اسمزی در تنظیم اسمزی سلول نقش دارند و در پاسخ به تنش های محیطی تجمع پیدا می کنند (Pagter *et al.*, 2005). با استناد به گزارش های مختلف می توان گفت که قندها با ممانعت از اتصالات جانبی بین غشاهای مجاور هم، منجر به نگهداری لیپیدها و پایداری پروتئین ها از طریق ایجاد پیوند هیدروژنی با دنباله های خطی، بیان ژن و تنظیم اسمزی می شوند (Ho *et al.*, 2001). در مباحث قبل ذکر گردید که کاربرد سدیم نیتروپروساید منجر به افزایش میزان کلروفیل برگ می شود، با توجه به اینکه قندها طی فتوسنتز تولید می شوند و در نهایت به مصرف گیاه می رسند یا به عنوان نشاسته در کلروپلاست ذخیره می شوند، پس می توان یک همبستگی مثبت بین افزایش رنگیزه های فتوسنتزی و میزان قند محلول تصور کرد و بیان نمود که افزایش میزان کلروفیل در اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید منجر به افزایش میزان قند محلول شده است. در تأیید نتایج پژوهش حاضر، افزایش میزان قند محلول در اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید را Savvas و Ntatsi (۲۰۱۵) در محصولات باغبانی گزارش کردند که نتایج پژوهش حاضر نیز مطابق آن است.

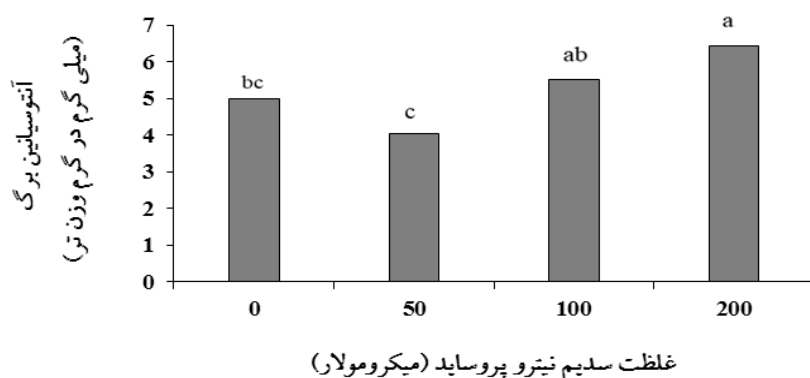
که به نظر می رسد از جمله دلایل افزایش رنگیزه های فتوسنتزی در پژوهش حاضر نیز باشد. علاوه بر این، در پژوهشی دیگر نیز گزارش شد که نیتریک اکسید در فرآیندهایی از جمله تقسیم سلولی، فتوسنتز و افزایش میزان کلروفیل برگ از طریق حفاظت و جلوگیری از تخریب آن دخالت دارد و این افزایش در میزان رنگیزه های فتوسنتزی را به عنصر آهن نسبت دادند که در حضور نیتریک اکسید میزان دسترسی به عنصر آهن (مورد نیاز در حلقه پیروکلروفیل) افزایش پیدا کرده و از این طریق منجر به افزایش میزان کلروفیل می شود (Fan *et al.*, 2014). می توان احتمال داد که در پژوهش حاضر نیز کاربرد سدیم نیتروپروساید به ویژه در غلظت های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار نیز از این طریق منجر به افزایش رنگیزه های فتوسنتزی شود. تأثیر مثبت نیتریک اکسید در افزایش رنگیزه های فتوسنتزی در گیاه رز توسط Salachna و Zawadzinska (۲۰۱۸) نیز گزارش شد که نتایج پژوهش حاضر نیز مطابق آن است.

در این پژوهش، سدیم نیتروپروساید تأثیر معنی داری بر کاروتنوئید نداشت. کاروتنوئید دارای دو وظیفه اساسی است (الف) دریافت نور و (ب) محافظت نوری در فتوسنتز (پیرزاد و محمدزاده، ۱۳۹۷). نقش کاروتنوئیدها در رابطه با محافظت نوری در طی فتوسنتز و جلوگیری از اکسیداسیون نوری در بحث تنش مطرح است با توجه به اینکه پژوهش حاضر در شرایط گلخانه و بدون تنش انجام گرفته است، احتمال دارد به این دلیل تأثیری بر میزان کاروتنوئید به عنوان مولکولی در حفاظت نوری نداشته باشد.

قند محلول گلبرگ: نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که تأثیر سدیم نیتروپروساید بر قند محلول گلبرگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده ها نشان داد که بیشترین میزان قند محلول گلبرگ (۳۹۱/۶۶ میلی گرم در گرم وزن تر) با کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشاهده شد. این در حالی است که کمترین مقدار قند محلول گلبرگ در شاهد و تیمار ۲۰۰



شکل ۱۳- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر میزان قند محلول گل آلسترومریا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان-دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در بین میانگین‌ها با آزمون توکی است.

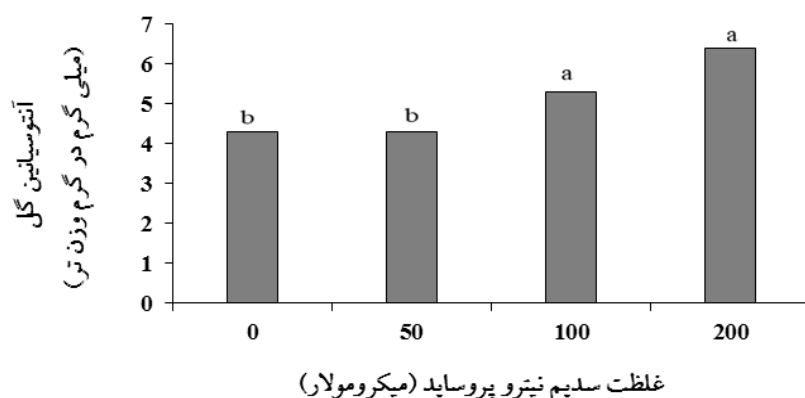


شکل ۱۴- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر میزان آنتوسیانین برگ آلسترومریا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان-دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در بین میانگین‌ها با آزمون توکی است.

کاربرد سدیم نیتروپروساید (شاهد) اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری نداشت (شکل ۱۴).

میزان آنتوسیانین گلبرگ: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که تأثیر سدیم نیتروپروساید بر میزان آنتوسیانین گلبرگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که فقط کاربرد غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید اختلاف معنی‌داری در میزان آنتوسیانین گلبرگ ایجاد کرد. کمترین میزان آنتوسیانین گل با میزان ۲/۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر در تیمارهای بدون کاربرد سدیم نیتروپروساید و غلظت ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشاهده شد (شکل ۱۵).

میزان آنتوسیانین برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر سدیم نیتروپروساید بر میزان آنتوسیانین برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث افزایش میزان آنتوسیانین برگ به‌ویژه در غلظت‌های بیشتر شد که این افزایش، در غلظت ۲۰۰ میکرومولار در بیشترین مقدار خود (۶/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بود و هر چند که با غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری نداشت. کمترین میزان آنتوسیانین برگ (۴/۰۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در غلظت ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشاهده شد که با تیمار بدون



شکل ۱۵- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر میزان آنتوسیانین گل آلسترومیا رقم 'Orange Queen'. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در بین میانگین‌ها با آزمون توکی است.

پژوهش حاضر نیز همخوانی دارد. همبستگی بین کاربرد سدیم نیتروپروساید در افزایش قند و در نتیجه افزایش آنتوسیانین در گل گلائیول (*Gladiolus hybrida*) توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Meena et al., 2016) که نتایج پژوهش حاضر نیز مطابق آن است.

نتیجه‌گیری

کاربرد سدیم نیتروپروساید به‌عنوان ترکیب زیستی رهاکننده نیتریک اکسید، به‌صورت محلول‌پاشی از طریق تأثیر بر تقسیم سلولی، ممانعت از سنتز اتیلن و تأثیر بر میزان فتوسنتز به‌طور چشمگیری توانست برخی ویژگی‌های مورفولوژیک از جمله وزن تر و خشک گلچه (افزایش ۷۵ درصدی در مقایسه با شاهد) و ساقه گل‌دهنده، قطر و طول غنچه و ویژگی‌های بیوشیمیایی از جمله کلروفیل a، b و کل و آنتوسیانین برگ و گلبرگ را در آلسترومیا رقم 'Orange Queen' بهبود بخشد و کاربرد غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار بیشترین تأثیر را در بهبود شاخص‌های وزن تر و خشک ساقه و گلچه و قطر و طول ساقه و غنچه، کلروفیل a، b و کل و آنتوسیانین برگ و گلبرگ داشتند.

همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود کاربرد غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید باعث بهبود میزان آنتوسیانین برگ و گلبرگ نسبت به شاهد شدند. آنتوسیانین‌ها از جمله مهم‌ترین گروه فلاونوئیدها و از مهم‌ترین رنگیزه‌های محلول در آب و قابل‌روئیت با چشم انسان هستند (Kong et al., 2008). به‌طورکلی تولید آنتوسیانین‌ها در گیاهان تحت تأثیر عوامل مختلف داخلی و خارجی مانند نور، دما، کربوهیدرات، هورمون‌های گیاهی و تنش آبی قرار می‌گیرد (Kim et al., 2006). آنتوسیانین‌ها از جمله ترکیبات رنگی در گیاهان هستند که از ترکیب آنتوسیانیدین‌ها با قند تشکیل می‌شوند و به‌طور عمده در واکنش ذخیره می‌شوند (جلیلی مرندی، ۱۳۸۹). همان‌طور که در مباحث قبل ذکر شد در پژوهش حاضر کاربرد سدیم نیتروپروساید منجر به افزایش قندهای محلول گردید، همچنین ثابت شده که آنتوسیانین‌ها از طریق ترکیب با قندها و آنتوسیانیدین‌ها به وجود می‌آیند، از آنجایی که در پژوهش حاضر کاربرد سدیم نیتروپروساید منجر به افزایش قند شد بنابراین می‌توان انتظار داشت که میزان آنتوسیانین نیز افزایش یابد. در تأیید نتایج پژوهش حاضر، در پژوهشی Mansouri (۲۰۱۲) گزارش کرد که کاربرد سدیم نیتروپروساید در داوودی (*Chrysanthemum morifolium*) منجر به افزایش میزان آنتوسیانین گلبرگ شد و با نتایج

- اصغری، م. (۱۳۹۴) هورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی جدید (غیرکلاسیک). انتشارات دانشگاه ارومیه.
- پیرزاد، ع. ر. و محمدزاده، س. (۱۳۹۷) فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه ارومیه.
- جلیلی مرندی، ر. (۱۳۸۹) فیزیولوژی تنش‌های محیطی و مکانیسم‌های مقاومت در گیاهان باغی (درختان میوه، سبزی‌ها، گیاهان زینتی و گیاهان دارویی). جهاد دانشگاهی ارومیه.
- عبدی، ر. (۱۳۹۸) تأثیر نیتریک اکسید و پوترسین بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گل رز (*Rosa hybrida*) رقم "Avalanche". پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه.
- غایی، س. (۱۳۹۶) ارزیابی پیش از برداشت اکسید نیتریک بر خصوصیات کیفی و کمی و عمر گلجایی ژبربا (*Gerbera jamesonii*) رقم Stanza. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- قاسمی قهساره، م. و کافی، م. (۱۳۹۷) گلکاری علمی و عملی. انتشارات مؤلف اصفهان.
- مکوندی، م.، رامین، ع. و مبلی، م. (۱۳۹۰) بررسی اثر تیمارهای مختلف شیمیایی بر بهبود کیفیت پس از برداشت و ماندگاری گل بریده آسترومریا. هفتمین کنگره علوم باغبانی. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ناصری، م. ت. و ابراهیمی گروی، م. (۱۳۸۹) فیزیولوژی گل‌های پیازی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- Arun, M., Naing, A. H., Jeon, S. M., Ai, T. N., Aye, T. and Kim, C. K. (2017) Sodium nitroprusside stimulates growth and shoot regeneration in chrysanthemum. *Horticulture, Environment and Biotechnology* 58: 78-84.
- Azizi, I., Esmailpour, B. and Fatemi, H. (2021) Exogenous nitric oxide on morphological, biochemical and antioxidant enzyme activity on savory (*Satureja hortensis* L.) plants under cadmium stress. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 20: 417-423.
- Bowyer, M. C., Wills, R. B. H., Badiyan, D. and Ku, V. V. V. (2003) Extending the postharvest life of carnations with nitric oxide comparison of fumigation and in vivo delivery. *Postharvest Biology and Technology* 30: 281-286.
- Crawford, N. M. and Guo, F. Q. (2005) New insights into nitric oxide metabolism and functions. *Trends in Plant Science* 259: 1360-1385.
- 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: 366-373.
- Faust, J. E. and Dole, J. M. (2021) Cut flower and foliage. Centre for Agriculture and Bioscience International.
- Ferrante, A., Hunter, D. A., Hackett, W. P. and Reid, M. S. (2002) Thidiazuron—a potent inhibitor of leaf senescence in *Alstroemeria*. *Postharvest Biology and Technology* 25: 333-338.
- Ghadi, N. A. (2014) Invest age of effects of sodium nitroprusside on plant (Review). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 7: 610-615.
- 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: 187-195.
- Ho, S., Chao, Y., Tong, W. and Yu, S. (2001) Sugar coordinately and differentially regulates growth and stress-related gene expression via a complex signal transduction network and multiple control mechanisms. *Plant Physiology* 46: 281-285.
- Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. and Sanchez-Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Plant Physiology* 84: 55-60.
- Kim, J. S., Lee, B. H., Kim, S. H., Ok, K. H. and Cho, K. Y. (2006) Response to environmental and chemical signals for anthocyanin biosynthesis in non-chlorophyllous corn (*Zea mays* L.) leaf. *Journal of Plant Biology* 49: 16-25.
- Kong, J. M., Chia, L. S., Goh, N. K., Chia, T. F. and Brouillard, R. (2008) Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry* 64: 923-933.
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382.
- Mansouri, H. (2012) Salicylic acid and sodium nitroprusside improve postharvest life of Chrysanthemums. *Scientia Horticulturae* 145: 29-33.
- Meena, H. S. and Afjal Ahmad, M. (2016) Effect of sodium nitroprusside (NO Donor) on postharvest. *Environment and Ecology* 34: 502-505.
- Misra, A. N., Misra, M. and Singh, R. (2011) Nitric oxide ameliorates stress responses in plants. *Plant, Soil and Environment* 57: 95-100.

- Mittal, I., Jhanji, Sh. and Dhatt, K. K. (2021) Efficacy of sodium nitroprusside, a nitric oxide donor, on vase life and postharvest attributes of gladiolus spikes. *Acta Physiologiae Plantarum* 43: 1-12.
- Moazam Babasheikhali, M., Jabbarzadeh, Z., Amiri, J., Barin, B. and Razavi, M. (2021) Foliar application of sodium nitroprusside and salicylic acid alleviates the adverse effects of alkaline soil on roses. *European Journal of Horticultural Science* 86: 78-87.
- Pagter, M., Bragato, C. and Brix, H. (2005) Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquatic Botany* 81: 285-299.
- Ruan, Y. L. (2014) Sucrose metabolism: Gateway to diverse carbon use and sugar signaling. *Plant Biology* 65: 33-67.
- Salachna, P. and Zawadzinska, A. (2018) Effect of nitric oxide on growth, flowering and bulb yield of *Eucomis autumnalis*. VII International Conference on Managing Quality in Chains (MQUIC2017) and II International Symposium on Ornamentals in 1201: 635-640.
- Savvas, D. and Ntatsi, G. (2015) Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 66-81.
- Shabaniyan, 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.
- Tian, X. R. and Lei, Y. B. (2007) Physiological responses of wheat seedling to drought and UV-B Radiation. Effect of exogenous sodium nitroprusside application. *Russian Journal of Plant Physiology* 54: 763-769.
- Wagner, G. J. (1979) Content and vacuole/ extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology* 64: 88-93.
- Wills, R. B. H., Bowyer, M. C. and Badiyan, D. (2004) Use of nitric oxide donor compound to extend the vase life of cut flowers. *Horticulture Science* 39: 1371-1382.

Effect of foliar application of sodium nitroprusside on some morphophysiological characteristics of *Alstroemeria aurea* 'Orange Queen' under hydroponic conditions

Soheila Sadeghi and Zohreh Jabbarzadeh*

Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
(Received: 09/12/2021, Accepted: 13/01/2022)

Abstract

In order to evaluate the foliar application of sodium nitroprusside on some morphological and biochemical properties of *Alstroemeria* cultivar Orange Queen, a research was conducted in a completely randomized design with 3 replications under hydroponic cultivation in the research greenhouse of Urmia University. Sodium nitroprusside was sprayed at concentrations of 0, 50, 100 and 200 μM . At the end of the study, indicators such as fresh and dry weight of florets and flowering stems, diameter of buds and flowering stems, bud length and some biochemical parameters including photosynthetic pigments (chlorophyll a, b and total), chlorophyll index, carotenoid content, soluble sugars and anthocyanin of leaves and petals were measured. The results showed that the application of sodium nitroprusside at concentrations of 100 and 200 μM , led to an increase in morphological parameters including fresh and dry weight of florets (75% increase compared to the control) as well as flowering stem, bud diameter and length and increasing of photosynthetic pigments such as chlorophyll a, b and total (33% increasing compared to the control. Also, sodium nitroprusside increased the amount of soluble sugar in the petals (38% increasing compared to the control and other treatments) and also the amount of leaf and petal anthocyanin compared to the control. In this study, 100 and 200 were more effective compare to the other treats. In general, the results showed that the application of sodium nitroprusside could have a significant effect on improving some biochemical properties in *Alstroemeria* due to its important role in cell division, development and growth.

Keywords: *Alstroemeria*, Anthocyanin, Nitric oxide, Photosynthesis, Soilless culture

Corresponding author, Email: Z.jabbarzadeh@urmia.ac.ir