

## اثر محلول پاشی ملاتونین و سدیم نیتروپروساید بر تعدیل شوری و بهبود ویژگی های مورفو- فیزیولوژیک گل شاخه بریدنی ژربرا (*Gerbera jamesonii*)

جعفر عباسی<sup>۱</sup>، معظم حسن پور اصیل<sup>۲\*</sup> و جمالعلی الفتی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۳)

### چکیده

ملاتونین کارکردهای فیزیولوژیک متفاوتی در گیاهان دارد، از آن جمله، به عنوان سیگنال تنظیم کننده فعال رشد عمل می کند. آزمایشی به صورت فاکتوریل، در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی، به منظور بررسی اثر ملاتونین و سدیم نیتروپروساید (SNP) بر ویژگی های مورفوفیزیولوژیک گل شاخه بریدنی ژربرا (*Gerbera jamesonii*)، رقم Malibu، در شرایط تنش شوری انجام گرفت. در این آزمایش، فاکتور اول شامل ملاتونین و SNP در پنج سطح (شاهد (بدون ملاتونین و SNP)، ۱/۱ میلی مولار ملاتونین + صفر SNP، ۱/۱ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP، ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + صفر SNP و ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP) و فاکتور دوم شامل دو سطح رسانایی الکتریکی آب آبیاری (۲ و ۴ دسی زیمنس بر متر) بود. ویژگی های مورد بررسی شامل مواد جامد محلول، پایداری غشای سلولی، پتانسیل آب برگ، ساقه و ریشه، کارایی مصرف آب، قند احیا، انواع کلروفیل، کاروتنوئید، پرولین، سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز و مقدار پروتئین کل بودند. بر اساس مقایسه میانگین ها، تیمارهای ۱/۱ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP، ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + صفر SNP و ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP بیشترین مقدار پایداری غشاء را در شوری ۲ دسی زیمنس بر متر نشان دادند و با افزایش سطح شوری به ۴ دسی زیمنس بر متر، مقدار پایداری غشاء کاهش یافت. مقدار کلروفیل های a، b و کل در تیمارهای ۱/۱ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP، ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + صفر SNP و ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP بیشتر از تیمارهای شاهد و ۱/۱ میلی مولار ملاتونین بود. مقدار آنزیم های SOD، CAT و APX هنگام استفاده از ملاتونین و SNP به صورت توأم نسبت به شاهد افزایش یافتند. بنابراین، می توان ملاتونین و SNP را به عنوان ترکیب های مؤثر و بسیار مفید در مقاومت گل بریدنی ژربرا به شرایط تنش شوری معرفی کرد.

واژه های کلیدی: پروتئین، پرولین، پتانسیل آب ریشه و برگ، پایداری غشاء، سوپراکسید دیسموتاز

### مقدمه

(Compositae) است. ژربرا یکی از گیاهان زینتی مهم است که

هم به صورت گلدانی و هم شاخه بریدنی مورد استفاده قرار

گل ژربرا (*Gerbera jamesonii*) گیاهی متعلق به تیره کاسنی

۱. گروه علوم باغبانی، پردیس دانشگاه گیلان، رشت

۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hassanpour1@gmail.com

می‌گیرد (۲۸). در سال‌های اخیر، پرورش آن در ایران نیز با رشد چشم‌گیری همراه بوده است. بر اساس آمار منتشر شده در سال ۱۳۹۵، سطح زیر کشت گلخانه‌ای ژربرا ۳۸ هکتار است و میزان تولید سالانه آن بیش از ۱۰۰ میلیون شاخه گل است (۳۳). این گل، پس از رُز (*Rosa hybrida*)، داوودی (*Chrysanthemum morifolium*)، لاله (*Tulipa gesneriana*) و لیلیوم (*Lilium longiflorum*) مهم‌ترین گل از نظر میزان تولید و مصرف محسوب می‌شود که ارزش اقتصادی زیادی در صنعت بین‌المللی گل‌شاخه بریدنی دارد (۳۳). شرایط رشد و ماندگاری گل و طول عمر گیاهان بستگی به شرایط پرورش گیاهان، زمان مناسب برداشت و مراقب‌های پس از برداشت دارد. (۲۳) گیاهان پرورش‌یافته تحت شرایط مطلوب بهترین کیفیت را خواهند داشت. عوامل متعددی کیفیت گل‌های شاخه بریدنی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۳۰). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داده که عوامل پیش از برداشت از جمله تغذیه و کیفیت آب آبیاری از اهمیت دوچندانی برخوردار هستند (۱۳). توجه زیاد به آبیاری ضروری است. کمبود آب یا افزایش آن در محیط کشت، کیفیت و دوام گل‌های شاخه بریدنی را کاهش می‌دهد و تنش آبی مانند شوری زیاد، منجر به تسریع فرایند پیری می‌شود (۱۶). محدودیت آب‌های شیرین، استفاده از منابع مختلف آب مانند آب چاه‌ها، پساب‌ها و آب بازیافتی را ایجاب کرده است. از این‌رو، امروزه اثر کیفیت آب آبیاری، به ویژه شوری و قلیائیت آب، بر رشد و نمو گیاهی اهمیت دارد. تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی در کاهش تولید محصولات گیاهی است. تنش شوری به میزان قابل توجهی باعث کاهش رشد و کیفیت گل ژربرا می‌شود (۴۷). تنش‌های مختلف سبب کاهش عمر گیاه و پیری زودرس شده و گیاهان بدون مکانیسم‌های دفاعی توان حفظ غشاء سلولی را نخواهند داشت. گزارش شده که نیتریک اکسید با تبدیل سوپراکسید به پراکسید هیدروژن، آنیون را از سلول حذف می‌کند و از طرف دیگر با القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مانند آسکوربات پراکسیداز (APX)، سمیت آب اکسیژنه را نیز کاهش می‌دهد (۵ و ۲۰).

ملاتونین یکی دیگر از مواد جدیدی است که اخیراً در

حفظ کیفیت، پیش و پس از برداشت محصولات، مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۲). ملاتونین با فرمول شیمیایی N-acetyl-5-methoxy tryptamine هورمونی است که حضور آن در اندام‌های مختلف گیاهان شامل ریشه، ساقه، برگ، گل و بذرها اثبات رسیده است (۱۱). ملاتونین کارکردهای فیزیولوژیک متفاوتی در گیاهان دارد. از آن جمله، به عنوان سیگنال تنظیم‌کننده فعال رشد عمل می‌کند. یک نقش قابل توجه ملاتونین، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن و حفاظت از گیاه در برابر تنش‌های اکسیداتیو درونی و محیطی است (۴۳). فعالیت آنتی‌اکسیدانی ملاتونین به چند طریق از جمله خنثی کردن رادیکال‌های آزاد، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی، ممانعت از غیرفعال شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و نیز جلوگیری از تولید رادیکال‌های آزاد (۱۱ و ۳۶) است. وانگ و همکاران (۴۷) و شی و همکاران (۳۷) آثار مثبت ملاتونین را در جلوگیری از تخریب کلروفیل در برگ‌های در حال رشد گونه *Malus hapehensis* که سبب کنترل پیری می‌شود را تأیید کرده‌اند. سان و همکاران (۴۱) اثر ملاتونین را بر رسیدگی پس از برداشت و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که تیمار ۵ میکرومول در لیتر ملاتونین مقدار لیکوپن را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. تیمار ۵ میکرومول در لیتر ملاتونین مقدار بیان ژن‌های آکوپورین، نرم‌شدن میوه و پکتین‌های محلول در آب را افزایش داد و مقدار پروتوپکتین‌ها به میزان ۱۹/۵ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد (۱۵ و ۴۱). کافی و همکاران (۱۶) اثر محلول‌پاشی هفتگی ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر هومیک اسید برای بهبود کمیت و کیفیت گل ژربرای رقم مالیبو را مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که به صورت معنی‌داری باعث بهبود پایداری غشای سلولی قطعات گلبرگ شد و تنش ناشی از پیرشدن ساقه گل را کاهش داد. در پژوهش دیگری که اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و تیمار بر ویژگی‌های بیوشیمیایی گل ژربرا بررسی شد، گزارش شد که تیمار در غلظت ۲۵۰ میکرومولار سبب افزایش میزان کلروفیل a و b و کلروفیل کل، به ترتیب با میانگین ۳۶/۶، ۱۷/۲ و ۶۱/۱ میکروگرم بر گرم وزن تازه شد؛ درحالی که بیشترین میزان

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های مخلوط خاکی مورد آزمایش

ویژگی	pH گل اشباع	شوری گل اشباع (dS/m)	نیتروژن کل (%)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	درصد اشباع (%)	مواد خنثی شونده (%)
مقدار	۶/۷	۲/۲	۰/۴۱	۳۰/۲	۳۵۴	۵۱	۱۰/۲

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های آب آبیاری مورد استفاده

ویژگی	پتاسیم (ppm)	سدیم (ppm)	کلسیم (ppm)	منیزیم (ppm)	کربنات (ppm)	بی‌کربنات (ppm)	pH	شوری (dS/m)	نسبت جذب سدیم $^{+5}/(meq/L)$
مقدار	۰/۴۱	۵۷/۱۸	۱۳/۰۸	۱۱/۷	۰	۲۸/۶۳	۶/۹	۱/۸۲	۱۰/۲

کاروتنوئید ۷/۸ میکروگرم بر گرم وزن تازه مربوط به تیامین ۵۰۰ میکرومولار گزارش شده است (۲۴).

اگرچه در مورد بهبود آثار منفی تنش در گیاهان راهکارهایی ارائه شده است، اما دانسته‌ها در مورد نقش فیزیولوژیک NO و ملاتونین در تعدیل تنش خشکی در گیاهان زینتی محدود بوده و در مورد گیاه ژربرا نیز هیچ پژوهشی انجام نشده است. در پژوهش حاضر، نقش SNP و ملاتونین در تعدیل اثر شوری و بهبود رشد و کیفیت گل شاخه بریدنی ژربرا رقم مالیبو مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار سال ۱۳۹۶ در یک گلخانه‌ی تجاری تولید گل‌های زینتی واقع در شهرستان ساوه (استان مرکزی) انجام شد. ابتدا نشاءهای سه تا چهار برگی ژربرا رقم Malibu تهیه شد و در گلدان‌هایی با ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر در مخلوط حاوی خاک، کوکوپیت و پرلیت به نسبت حجمی ۱:۱:۱ کشت شدند و درون گلخانه که از نظر نور و دما مناسب بود قرار داده شدند. میزان دمای گلخانه  $18 \pm 2$  درجه سلسیوس، رطوبت نسبی  $60 \pm 5$  درصد، سیکل نوری به صورت ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی و با شدت نوری برابر ۴۰۰۰ لوکس نور بود. برخی ویژگی‌های خاک و آب آبیاری در جدول‌های (۱) و (۲) ذکر شده‌اند.

آزمایش به صورت فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با دو فاکتور و سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اول شامل ملاتونین و SNP در پنج سطح ( $a_1$  = شاهد (بدون ملاتونین و SNP)،  $a_2$  = ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین + صفر SNP،  $a_3$  = ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP،  $a_4$  = ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین + صفر SNP و  $a_5$  = ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP) انجام شد. بدین ترتیب ملاتونین و SNP در دو زمان (رویشی: ۱۰ روز پس از کاشت نشاء و زایشی: ۴۵ روز پس از کاشت نشاء) به مقدار ۱۰ میلی لیتر برای هر گلدان محلول پاشی شده و آب مقطر به عنوان شاهد استفاده شد. فاکتور دوم شامل دو سطح رسانایی الکتریکی آب آبیاری ( $b_1$  = ۲ دسی‌زیمنس بر متر و  $b_2$  = ۴ دسی‌زیمنس بر متر با استفاده از نمک NaCl) در نظر گرفته شد. در مجموع ۶۰ گلدان کشت شد.

## ویژگی‌های مورد بررسی

مواد جامد محلول (TSS) گلبزرگ از طریق دستگاه قندسنج (رفراکتومتر) دیجیتالی مدل CDT1 Belgium، ساخت کشور ژاپن، و بر اساس شاخص بریکس (شکست نور) به صورت درصد اندازه‌گیری و محاسبه شد (۳).

برای اندازه‌گیری شاخص پایداری غشای سلولی (Cell membrane stability index) (۳۹) ابتدا ۱۰ میلی لیتر آب

Y عملکرد (وزن خشک) برحسب کیلوگرم و ET تبخیر و تعرق در طول فصل رشد برحسب مترمکعب (کل آب مصرفی) است (۱۸). میزان قندهای قابل احیا به‌روش طیف نورسنجی اندازه‌گیری شد (۲۰). مقدار کلروفیل a، b، کل و میزان کاروتنوئید گلبرگ از طریق استخراج با متانول اسیدی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Analytic jena- SPEKOL 1300) به‌روش لیختن-تالر (۲۰) اندازه‌گیری شد:

$$C_a \text{ (mg/g FW)} = 15/65 \times A_{665/2} - 7/340 \times A_{652/4} \quad [3]$$

$$C_b \text{ (mg/g FW)} = 27/05 \times A_{652/4} - 11/21 \times A_{665/2} \quad [4]$$

$$C_{(a+b)} \text{ (mg/g FW)} = C_a + C_b \quad [5]$$

$$Car \text{ (mg/g FW)} = 1274/5 \times A_{470} - 2/1 \times C_a - 88/05 \times C_b / 198 \quad [6]$$

که  $C_a$ ،  $C_b$ ،  $C_{(a+b)}$  و Car کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید کل و  $A_{470}$ ،  $A_{652/4}$ ،  $A_{665/2}$  میزان نور جذبی محلول در طول موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ نانومتر است. اندازه‌گیری انباشت پروتئین با استفاده از رنگ‌سنجی انجام گرفت (۴). فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بر اساس روش دابلز و همکاران (۱۰) اندازه‌گیری شد. در این روش، بازدارندگی آنزیم SOD از احیای نوری نیتروبلوترازولیوم (NBT) اساس اندازه‌گیری فعالیت آنزیم است. سنجش فعالیت کاتالاز بر اساس کاهش جذب آب اکسیژنه در طول موج ۲۴۰ نانومتر انجام شد (۱۱). سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز (APX) در برگ با استفاده از روش ناکانو و آسادا (۲۹) انجام گرفت. سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز (PPO) در برگ با استفاده از روش نیکولی و همکاران (۳۱) انجام گرفت. در این روش، از پیروگالول (Pyrogallol) به‌عنوان پیش‌ماده آنزیم استفاده شد. برای سنجش غلظت پروتئین برگ، به لوله‌های آزمایش حاوی ۵ میلی‌لیتر معرف بیوره ۱۰۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی افزوده شد و به‌سرعت با همزن آزمایشگاهی مخلوط شد. پس از ۵ دقیقه،

مقطر در فالتون ریخته شد و سپس یک گرم گلبرگ به آن افزوده شد. نمونه‌ها در بن‌ماری در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به‌مدت یک ساعت قرار گرفتند و پس از خروج نمونه‌ها از بن‌ماری میزان  $EC_1$  توسط دستگاه EC متر خوانده شد. سپس، نمونه‌ها در اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۲ اتمسفر به‌مدت ۲۰ دقیقه قرار داده و مجدداً میزان  $EC_2$  خوانده شد. در نهایت، برای محاسبه درصد شاخص پایداری غشای سلولی اعداد حاصل در فرمول زیر جایگذاری شد:

$$[1] \quad \{1 - (EC_1/EC_2)\} \times 100 = \text{شاخص پایداری غشای سلولی}$$

که  $EC_1$  و  $EC_2$  به‌ترتیب مقادیر رسانایی الکتریکی در دماهای ۳۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس است.

پتانسیل آب برگ، ساقه و ریشه توسط دستگاه اتاقک فشار (Pressure chamber) اندازه‌گیری شد (۳۹). در این روش، یک قطعه زنده گیاهی (برگ، ساقه، ریشه) داخل دستگاه اتاقک فشار قرار داده شد، به‌طوری که قسمت انتهایی اندام مورد نظر مثل انتهای ساقه یا دم‌برگ از دستگاه بیرون باشد (این محل با استفاده از واشرهای مخصوص بسته شد تا هیچ روزه‌ای برای ورود و خروج هوا باقی نماند). سپس، گاز بی‌اثر نیتروژن به‌صورت متراکم وارد اتاقک فشار شد به این ترتیب که فشار گاز ورودی به اتاقک به‌وسیله شیر ورودی تنظیم شد. افزایش تدریجی فشار هوای اتاقک تا زمانی که اولین قطره از شیره گیاهی از انتهای اندام مورد نظر خارج شود ادامه یافت. عدد فشارسنج قرائت شد و آن عدد با علامت منفی به‌عنوان پتانسیل آبی گیاه در نظر گرفته شد. زمانی شیره گیاهی از انتهای اندام خارج می‌شود که فشار هوای وارد بر آب در اندام گیاهی با نیروهای وارد از طرف گیاه و سیستم آوند چوبی بر آب به حالت تعادل برسند. از این رو، پتانسیل اندازه‌گیری‌شده در این حالت برابر با پتانسیل آبی گیاه است.

کارایی مصرف آب (WUE) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$[2] \quad WUE = Y/ET$$

که در آن WUE کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب،

سیستم ریشه منجر به افزایش محتوای مواد جامد محلول در گیاه گوجه‌فرنگی شد (۲۶).

اثر برهم‌کنش ترکیب ملاتونین و SNP با شوری بر پایداری غشاء در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). بر اساس نتایج این جدول، تیمارهای ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP، ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین + صفر SNP و ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP بیشترین مقدار پایداری غشاء را در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر نشان دادند و با افزایش سطح شوری به ۴ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار پایداری غشاء کاهش یافت. با این تفاوت که در تیمارهای حاوی SNP این کاهش کمتر بود (شکل ۱). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که نقش سدیم نیتروپروساید در جلوگیری از کاهش پایداری غشاء بیشتر از ملاتونین بود (۲۷).

نتایج نشان داد که برهم‌کنش تیمارهای ملاتونین، SNP و شوری بر پتانسیل آب برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، کمترین مقدار پتانسیل آب برگ در تیمار ۴ دسی‌زیمنس بر متر و بدون استفاده از ملاتونین و SNP به‌دست آمد. بیشترین مقدار پتانسیل آب برگ در تیمارهای با شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر و همزمان با استفاده از ملاتونین و SNP مشاهده شد (شکل ۲).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که آثار اصلی تیمارهای ملاتونین و SNP و سطح شوری آب آبیاری بر مقدار پتانسیل آب ساقه و ریشه ژربرا در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مقدار پتانسیل آب ساقه و ریشه در تیمارهای حاوی هر دو مقدار ملاتونین و SNP و یا ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین به‌تنهایی، به طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های شاهد و تیمار ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین بود (جدول ۴). با افزایش سطح شوری آب آبیاری از ۲ به ۴ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار پتانسیل آب ساقه و ریشه نیز کاهش یافت و به‌ترتیب از ۲/۴۲- و ۲/۱- به ۳/۴۴- و ۳/۰۶- مگاپاسکال رسید (جدول ۵). همین‌طور، نتایج تجزیه واریانس

جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد آلومین محاسبه شد (۶).

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MS Excel مرتب شد و نمودارهای مورد نیاز از طریق این نرم‌افزار رسم شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SPSS V.20 و MSTATC انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمار اصلی ملاتونین و SNP اثر معنی‌داری بر مقدار مواد جامد محلول (TSS) گلب‌رگ گل ژربرا در سطح احتمال ۱٪ داشت (جدول ۳). ولی تیمار شوری و برهم‌کنش شوری و ملاتونین و SNP اثر معنی‌داری بر مقدار TSS گلب‌رگ نشان ندادند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مقدار TSS در تیمارهایی که شامل هر دو تیمار ملاتونین و SNP و یا ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین به‌تنهایی بود از مقدار TSS نمونه‌های شاهد بیشتر شد و همگی در یک سطح آماری قرار گرفتند (جدول ۴). برخی پژوهشگران بر این باورند که ملاتونین با کاهش تولید بیش از حد ROSها سبب کاهش تخریب کلروفیل، کاهش آسیب به کلروپلاست و در نتیجه جلوگیری از پیری می‌شود (۱ و ۲). لیو و همکاران (۲۱) پژوهشی با هدف بررسی اثر استفاده درازمدت ملاتونین بر عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی رقم "زیفن" انجام دادند. گیاهان رشدیافته از بذرهای خیس‌شده در ملاتونین بیشترین عملکرد، اسید آسکوربیک، لیکوپن و کلسیم را داشتند. همچنین، گزارش شد که میزان مواد جامد محلول میوه‌های گوجه‌فرنگی در اثر استفاده از ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین تفاوت معنی‌داری با شاهد داشت و بیشتر از آن بوده است (۲۱). مواد جامد محلول نقش کلیدی در متابولیسم گیاه و حفظ تعادل اسمزی در سلول‌ها و در نهایت بافت ایفا می‌کنند (۴۰). پژوهشگران گزارش کرده‌اند که اعمال شوری در بخشی از

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گل زیر رقم مالمیو تحت تأثیر تیمارهای ملاتونین، SNP و میزان شوری آب آبیاری

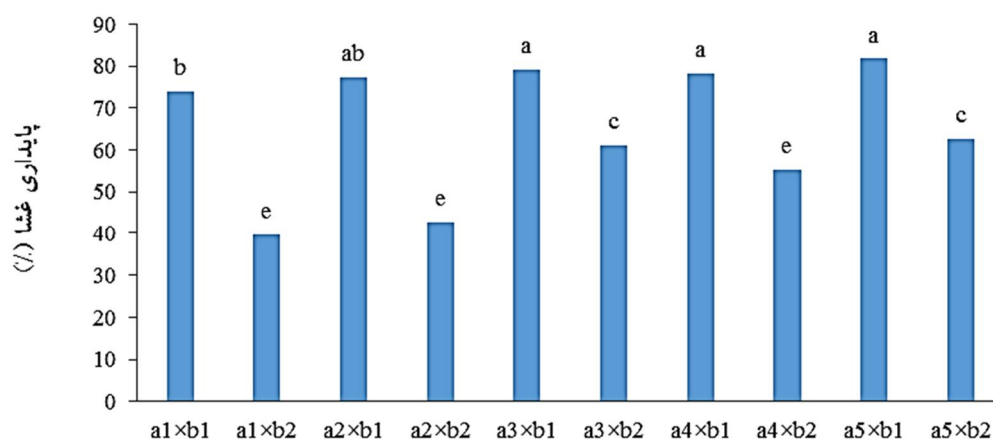
میانگین مربعات											
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		TSS گلبرگ	پایداری غشا	پتانسیل آب برگ	پتانسیل آب ساقه	پتانسیل آب ریشه	کارایی مصرف آب	قند احیا	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
تکرار	۲	۱/۰۶ <sup>ns</sup>	۱۱۳/۷۸ <sup>**</sup>	۰/۰۳ <sup>*</sup>	۰/۲۱ <sup>*</sup>	۰/۱۴ <sup>*</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۱ <sup>*</sup>	۰/۱۶ <sup>**</sup>	۰/۱۱ <sup>**</sup>	۰/۵۴ <sup>**</sup>
ملاتونین و (A) SNP	۴	۸/۵ <sup>**</sup>	۳۴۳/۷ <sup>**</sup>	۰/۲۴ <sup>**</sup>	۰/۶۵ <sup>**</sup>	۰/۵۵ <sup>**</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۶ <sup>**</sup>	۰/۲۷ <sup>**</sup>	۰/۰۹ <sup>**</sup>	۰/۶۵ <sup>**</sup>
شوری (B)	۱	۱/۳۲ <sup>ns</sup>	۶۹۱۲/۷ <sup>**</sup>	۱/۲۶ <sup>**</sup>	۷/۸ <sup>**</sup>	۷/۰۰ <sup>**</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۸ <sup>ns</sup>	۱/۸ <sup>**</sup>	۰/۴۴ <sup>**</sup>	۳/۸۶ <sup>**</sup>
A×B	۴	۰/۰۶ <sup>ns</sup>	۵۷/۹ <sup>*</sup>	۰/۰۷ <sup>**</sup>	۰/۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۴ <sup>ns</sup>
خطا	۱۸	۰/۳۵	۱۴/۹	۰/۰۰۷	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲
ضرب تغییرات (/)	۱۰/۵	۱۳/۴۶	۱۴/۰۱	۹/۰۸	۱۳/۲۵	۱۶/۷۲	۱۱/۹۳	۱۵/۸۰	۱۲/۰۰	۱۸/۰۷	۱۸/۰۷

ns و \* به ترتیب بیانگر اثر معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اثر معنی دار است.

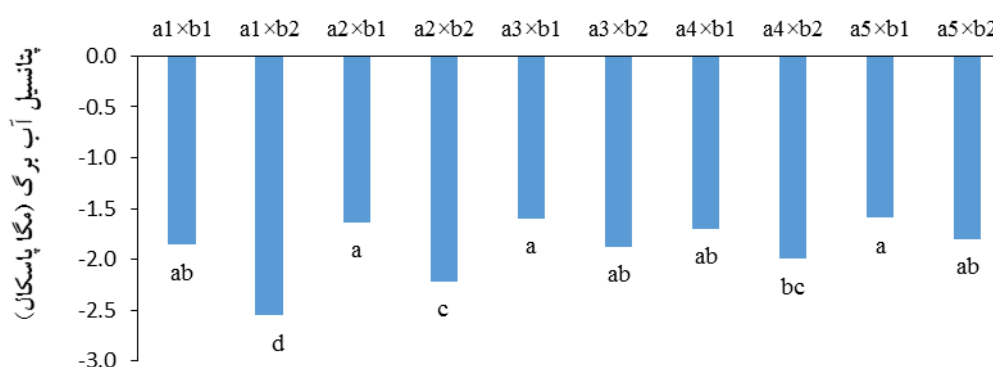
جدول ۴. مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای ملاتونین و SNP بر برخی صفات مورد مطالعه گل ژبررا رقم مالیو

ملاتونین و SNP	TSS گلبرگ (%)	پتانسیل آب ساقه (MPa)	پتانسیل آب ریشه (MPa)	قند احیا (mg/g FW)	کلروفیل <i>a</i> (mg/g FW)	کلروفیل <i>b</i> (mg/g FW)	کلروفیل کل (mg/g FW)
شاهد	۶/۶ <sup>b</sup>	-۳/۴۴ <sup>c</sup>	-۳/۰۳ <sup>c</sup>	۱/۲۲ <sup>b</sup>	۴/۶۵ <sup>c</sup>	۱/۸۰ <sup>d</sup>	۶/۴۶ <sup>c</sup>
۰/۱ میلی مولار ملاتونین	۶/۸ <sup>b</sup>	-۳/۰۴ <sup>b</sup>	-۲/۷۲ <sup>b</sup>	۱/۳۰ <sup>b</sup>	۴/۸۴ <sup>b</sup>	۱/۹۱ <sup>c</sup>	۶/۷۶ <sup>b</sup>
۰/۱ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP	۸/۸ <sup>a</sup>	-۲/۶۶ <sup>a</sup>	-۲/۳۴ <sup>a</sup>	۱/۴۸ <sup>a</sup>	۵/۱۴ <sup>a</sup>	۲/۰۲ <sup>b</sup>	۷/۱۷ <sup>a</sup>
۰/۲ میلی مولار ملاتونین + صفر SNP	۸/۸ <sup>a</sup>	-۲/۸۷ <sup>ab</sup>	-۲/۴۸ <sup>a</sup>	۱/۵۰ <sup>a</sup>	۵/۰۵ <sup>a</sup>	۲/۰۷ <sup>ab</sup>	۷/۱۲ <sup>a</sup>
۰/۲ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP	۹/۰ <sup>a</sup>	-۲/۶۳ <sup>a</sup>	-۲/۲۹ <sup>a</sup>	۱/۵۵ <sup>a</sup>	۵/۱۴ <sup>a</sup>	۲/۱۰ <sup>a</sup>	۷/۲۴ <sup>a</sup>

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن ندارند.



شکل ۱. مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای ملاتونین و SNP (a1, a2, ..., a5) و سطوح شوری آب آبیاری (b1 و b2) بر پایداری غشاء گل بریدنی ژبررا رقم مالیو



شکل ۲. مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای ملاتونین، SNP (a1, a2, ..., a5) و سطوح شوری آب آبیاری (b1 و b2) بر پتانسیل آب برگ گل ژبررا رقم مالیو

جدول ۵. میانگین اثر اصلی تیمار شوری آب بر برخی صفات مورد مطالعه گل ژربا رقم مالیبو

پروتئین کل (mg/ml)	پلی فنل اکسیداز ( $\mu\text{m}^{-1} \text{min}^{-1} \text{mg P}$ )	کاتالاز ( $\mu\text{m}^{-1} \text{min}^{-1} \text{mg P}$ )	سوپرااکسید دیسموتاز ( $\mu\text{m}^{-1} \text{min}^{-1} \text{mg P}$ )	کاروتنوئید (mg/g FW)	کلروفیل کل (mg/g FW)	کلروفیل b (mg/g FW)	کلروفیل a (mg/g FW)	پتانسیل آب ریشه (MPa)	پتانسیل آب ساقه (MPa)	شوری (dS/m)
۲۵/۰ <sup>a</sup>	۱/۱ <sup>b</sup>	۰/۲ <sup>b</sup>	۵/۴ <sup>b</sup>	۱/۵ <sup>a</sup>	۷/۳ <sup>a</sup>	۲/۱ <sup>a</sup>	۵/۲ <sup>a</sup>	-۲/۱ <sup>a</sup>	-۲/۴ <sup>a</sup>	۲
۲۱/۳ <sup>b</sup>	۱/۳ <sup>a</sup>	۰/۲ <sup>a</sup>	۶/۱ <sup>a</sup>	۱/۴ <sup>b</sup>	۶/۶ <sup>b</sup>	۱/۹ <sup>b</sup>	۴/۷ <sup>b</sup>	-۳/۱ <sup>b</sup>	-۳/۴ <sup>b</sup>	۴

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ ندارند.

نشان داد که تیمارهای مورد استفاده اثر معنی داری بر مقدار کارایی مصرف آب در گل ژربرا نشان ندادند (جدول ۳). لشم و ویلس (۱۹) گزارش کردند که نیتریک اکسید به عنوان عامل تنظیم کننده رشد و نمو گیاهی با کاهش تولید اتیلن می تواند فرایند پیری را به تأخیر بیندازد. سولیس مونوز و همکاران (۴۰) نیز نشان دادند که عمر گلجایی هشت گونه گل شاخه بریدنی با استفاده از محلول نگهدارنده حاوی NO/EDTA افزایش یافته که البته اثر آن بر هشت گونه گل یکسان نبوده و نتایج متفاوتی در گل های مختلف به دست آمده است.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر اصلی تیمار ملاتونین و SNP بر مقدار قند قابل احیا در گل ژربرا در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین ها نشان داد که تیمارهای ۱/۱ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP، ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + صفر SNP و ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP بیشترین مقدار قند قابل احیا را نشان دادند و هر سه در یک سطح آماری قرار گرفتند. کمترین مقدار قند قابل احیا در نمونه شاهد و نمونه های تحت تیمار ۱/۱ میلی مولار ملاتونین به دست آمد که تفاوت معنی داری با هم نداشتند (جدول ۴). پاسخ کل کربوهیدرات ها به شوری نسبت به قندهای احیا کننده و قابل حل کاملاً متفاوت است. با افزایش شوری معمولاً نشاسته و کربوهیدرات های کل کاهش می یابند؛ ولی قندهای احیا کننده افزایش می یابند (۴۲). یکی از مکانیسم هایی که احتمالاً در افزایش مقاومت گیاه به شوری توسط ترکیباتی مانند ملاتونین و SNP مورد توجه قرار می گیرد تحریک سنتز مواد اسمزی به وسیله این مواد در چندین پژوهش مشخص شده است (۴۶). ملاتونین بر ترکیب اسیدهای آمینه و کربوهیدرات های گیاهان میزبان در شرایط شوری تأثیر می گذارد و با افزایش مقدار قند قابل احیا، سبب افزایش سنتز ترکیبات ثانویه و مقاومت گیاه در برابر تنش شوری می شود (۳۴ و ۴۳). لازم به ذکر است که اکسید نیتریک به مقدار زیادی بیوستز اتیلن را از طریق غیرفعال کردن اکسیداتیوی کوفاکتورهای آنزیم های ACC سنتز و ACC اکسیداز کاهش داده و موجب افزایش

ماندگاری برخی از گل های بریدنی می شود (۱۲ و ۱۸). مقدار کلروفیل های a، b و کل تحت تأثیر تیمارهای اصلی ملاتونین و SNP و سطوح شوری آب آبیاری، تغییرات معنی داری در سطح احتمال ۱٪ نشان داد؛ ولی اثر برهم کنش دو تیمار معنی دار نبود (جدول ۳). همچنین، مقایسه میانگین ها نشان داد که مقدار کلروفیل های a، b و کل در تیمارهای ۱/۱ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP، ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + صفر SNP و ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP بیشتر از تیمارهای شاهد و ۱/۱ میلی مولار ملاتونین بود. مقدار کلروفیل های a، b و کل در سطح شوری ۲ دسی زیمنس بر متر نسبت به سطح ۴ دسی زیمنس بر متر بیشتر بود (جدول ۴). ترکیب ملاتونین به دلیل ویژگی های ضدپیری و شبه هورمونی که دارد از پیرشدن بافت و تجزیه کلروفیل جلوگیری کرده و سبب افزایش ماندگاری محصول می شود (۵۰). لیو و همکاران (۲۱) گزارش کردند که تیمار ملاتونین می تواند برای افزایش سرعت فتوسنتز و تولید آسیمیلات ها در گوجه فرنگی مورد استفاده قرار گیرد. چنین نتیجه ای توسط وانگ و همکاران (۴۷) روی خیارهای تحت تنش خشکی نیز گزارش شده است. ما و همکاران (۲۲) نقش پوشش ملاتونین را بر ماندگاری و مقاومت به تنش های میوه سیب مورد بررسی قرار دادند. گزارش شد که میوه های تیمار شده با ملاتونین، کلروفیل خود را در مدت ۱۵ روز پس از انبار (۹۱/۷۲ درصد) بیشتر از شاهد (۸۵/۷۹ درصد) حفظ کردند (۲۲). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای اصلی ملاتونین و SNP و سطوح شوری آب آبیاری اثر معنی داری بر مقدار کاروتنوئید کل گلبرگ در سطح احتمال ۱٪ داشتند. ولی اثر برهم کنش این دو تیمار تأثیر معنی داری بر مقدار کاروتنوئید نداشت (جدول ۶). مقایسه میانگین ها نشان داد که مقدار کاروتنوئید در تیمارهای ۱/۱ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP، ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + صفر SNP و ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP در یک سطح آماری قرار گرفتند و بیشتر از نمونه شاهد و تیمار ۱/۱ میلی مولار ملاتونین بود (جدول ۴).

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گل ژربرا رقم مالیبو تحت تأثیر تیمارهای ملاتونین، SNP و میزان شوری (رسانایی الکتریکی) آب آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کاروتنوئید	پرولین	سوپراکسید دیسموتاز	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز
تکرار	۲	۰/۰۴**	۱۲/۳۲ <sup>ns</sup>	۱/۹۸**	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۹۷ <sup>ns</sup>
ملاتونین و SNP	۴	۰/۰۴**	۱۱۸/۲۳**	۱۳/۵۳**	۰/۰۲**	۰/۳۵**	۱۰/۳۵**
شوری	۱	۰/۱۲**	۱۸۱۷/۲۵**	۴/۳۳**	۰/۰۱**	۰/۰۶ <sup>ns</sup>	۱۰۱/۳**
ملاتونین و SNP × شوری	۴	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۷۸/۰۷**	۰/۱۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۶۷ <sup>ns</sup>
خطا	۱۸	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۴/۵۵	۰/۲۸	۰/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۲	۰/۴
ضریب تغییرات (%)		۱۱/۳۲	۱۲/۸۰	۹/۱۴	۱۷/۰۱	۱۴/۱۵	۱۶/۵
							۱۰/۷

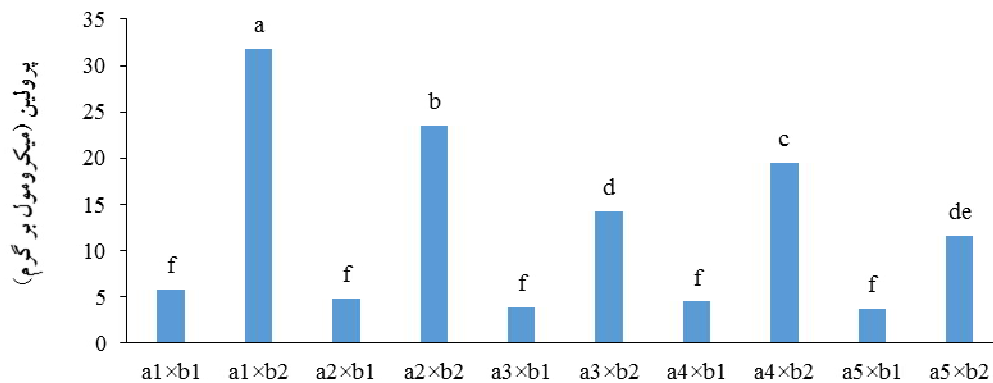
ns، \* و \*\* به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اثر معنی‌دار است.

کاروتنوئیدها ترکیبات فعال گیاهی هستند که شامل رنگیزه‌های مختلف و مواد دارای فعالیت دفاعی و آنتی‌اکسیدانی هستند (۴۴). کلروفیل‌ها جزو رنگدانه‌های کاروتنوئیدی بافت گلبرگ هستند. یکی از مهم‌ترین نقش‌های ملاتونین در گیاهان این است که به عنوان اولین خط دفاعی گیاه در برابر شرایط نامساعد محیطی و داخلی به عنوان یک آنتی‌اکسیدان و محافظت‌کننده قوی ایفای نقش می‌کند و از این طریق سبب حفظ کاروتنوئیدها در برابر انواع تنش‌ها، به ویژه تنش‌های اکسیداتیو، می‌شود (۹). گزارش شده که تیمارهای ۱۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام DETA/NO در به تأخیر انداختن بیماری پوسیدگی ساقه، کاهش رشد کپک و حفظ بهتر رنگ گل مؤثر بوده و افزایش عمر پس از برداشت حدود ۱۰ الی ۴۰ درصد نسبت به شاهد و STS مشاهده شد (۷).

نتایج نشان داد که اثر برهم‌کنش ملاتونین و SNP در سطح شوری آب بر مقدار پرولین در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۶). مقدار پرولین در تمام تیمارهایی که سطح شوری آن ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود در یک سطح قرار گرفت و با افزایش شوری به ۴ دسی‌زیمنس بر متر مقدار پرولین نیز افزایش نشان داد. تیمارهای ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP و ۰/۲ میلی‌مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار

SNP مقدار پرولین کمتری داشتند که این نشان از کنترل پیامدهای مخرب شوری بر بافت گیاه توسط این دو ماده دارد. در فیزیولوژی تنش گیاهی، عموماً نظر بر این است که تجمع مواد محلول سازگار در حفظ تعادل اسمزی سلولی نقش دارند (۴۵). برای نمونه تجمع پرولین در گیاه مقاومت به شوری را افزایش می‌دهد و هرچه میزان افزایش پرولین در بافت‌های گیاه بیشتر شود، گیاه دارای مقاومت بیشتری به تنش خواهد بود (۱۷). در اینجا، مشاهده شد که با افزایش میزان شوری، مقدار پرولین نیز افزایش یافته است و هنگام تیمار با ملاتونین و سدیم نیتروپروساید این افزایش نسبت به شاهد کمتر شده است. این یافته بیان‌کننده آن است که مواد ملاتونین و سدیم نیتروپروساید اثر مخرب شوری را در گیاه کاهش داده و نیاز به افزایش سنتز پرولین نیز کاهش یافته است (شکل ۳).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای اصلی ملاتونین و SNP و سطوح شوری آب آبیاری اثر معنی‌داری بر مقدار آنزیم‌های SOD، CAT و PPO در سطح احتمال ۱٪ داشتند ولی اثر برهم‌کنش این تیمارها بر مقدار هیچیک از آنزیم‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۶). مقدار آنزیم APX تنها تحت تأثیر تیمارهای اصلی ملاتونین و SNP تغییرات معنی‌داری در سطح ۱٪ نشان داد (جدول ۶). مقدار آنزیم‌های SOD، CAT، APX



شکل ۳. مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای ملاتونین، SNP (a1, a2, ..., a5) و سطوح شوری آب آبیاری (b1 و b2) بر مقدار پراولین گل ژربرا رقم مالیبو

پوتریسن، اسپرمیدین و اسپرمین با افزایش بیان ژن‌های سنتز کننده آرژنین دکربوکسیلاز و ارنیتین دکربوکسیلاز، (۲) تجمع بیشتر ۷-بوتیریک اسید با افزایش بیان ژن‌های سنتزکننده گلوتامات دکربوکسیلاز و پلی آمین اکسیداز و (۳) تجمع بیشتر پراولین با افزایش بیان ژن‌های سنتزکننده پیرولین-۵-کربوکسیلات سینتاز و اورنیتین آمینوترانسفراز و کاهش بیان ژن سنتزکننده پراولین دهیدروژناز (۷). همچنین، نتایج نشان داد که اثر اصلی تیمارهای ملاتونین و SNP و سطح شوری بر مقدار پروتئین کل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مقدار پروتئین کل در تیمارهای ۱/۱ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP و ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP به ترتیب ۲۴/۴۴ و ۲۴/۳۴ میلی گرم بر گرم وزن تازه و بیشتر از سایر تیمارها بود. کمترین مقدار پروتئین کل نیز در نمونه شاهد با مقدار ۲۱/۳۱ میلی گرم بر گرم وزن تازه به دست آمد (جدول ۴). با افزایش شوری آب آبیاری از ۲ به ۴ دسی زیمنس بر متر، مقدار پروتئین کل نیز از ۲۵ به ۲۱/۳۲ میلی گرم بر میلی لیتر کاهش یافت (جدول ۷). گزارش شده که نیتریک اکسید با مهار فعالیت آنزیم ACC اکسیداز و جلوگیری از تولید اتیلن، واکنش با گونه‌های فعال اکسیژن و کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی و القای بیان ژن‌های مربوط به آنزیم‌های آنتی اکسیدان باعث تأخیر در فرایند پیری می‌شود (۶ و ۱۴).

هنگام استفاده از ملاتونین و SNP به صورت توأم نسبت به شاهد افزایش نشان داد و در تیمارهای ۱/۱ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP، ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + صفر SNP و ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP بیشترین مقدار را داشت (جدول ۷). مقدار آنزیم PPO در نمونه شاهد بیشتر بود و در تیمارهای ۱/۱ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP و ۲/۲ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP کمترین مقدار را داشت (جدول ۷). این آنزیم در شرایط تنش افزایش می‌یابد و کاهش مقدار آن نشان از شرایط نرمال و آمادگی و تقویت گیاه در برابر تنش‌های مختلف دارد. مقدار آنزیم‌های آنتی اکسیدان SOD، CAT و PPO با افزایش سطح شوری از ۲ به ۴ دسی زیمنس بر متر افزایش یافت (جدول ۷) و این نشان‌دهنده نقش دفاعی این آنزیم‌ها در شرایط تنش شوری است. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل اثر ملاتونین در افزایش مواد جامد محلول (۲۵)، کاهش نشت یونی (۱۰ و ۱۱)، حفاظت از بافت در برابر انواع تنش‌های اکسیداتیو و جلوگیری از تخریب مولکول‌های دفاعی گیاه (۷)، استفاده از این ترکیب سبب کاهش اثر شوری و حفظ شرایط نرمال رشد گل ژربرا شده است. کائو و همکاران (۷) گزارش کردند مکانیسم عمل ملاتونین در مقاومت به شوری از سه طریق در گیاه اعمال می‌شود: (۱) افزایش سنتز درونی پلی آمین‌های

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر اصلی تیمار ملاتونین و SNP بر برخی صفات مورد مطالعه گل ژیرا رقم مالیبو

پروتئین کل (mg/g FW)	پسوی اکسیداز ( $\mu\text{m}^{-1} \text{min}^{-1}$ mg P)	آسکوربات پراکسیداز ( $\mu\text{m}^{-1} \text{min}^{-1}$ mg P)	کاتالاز ( $\mu\text{m}^{-1} \text{min}^{-1}$ mg P)	سوپراکسید دیسموتاز ( $\mu\text{m}^{-1} \text{min}^{-1}$ mg P)	کاروتنوئید (mg/g FW)	SNP و ملاتونین
۲۱/۳ <sup>c</sup>	۱/۴ <sup>a</sup>	۰/۷ <sup>b</sup>	۰/۲ <sup>d</sup>	۳/۴ <sup>c</sup>	۱/۳ <sup>c</sup>	شاهد
۲۲/۵ <sup>b</sup>	۱/۳ <sup>b</sup>	۰/۸ <sup>b</sup>	۰/۲ <sup>c</sup>	۵/۱ <sup>b</sup>	۱/۴ <sup>c</sup>	۰/۱ میلی مولار ملاتونین
۲۴/۴ <sup>a</sup>	۱/۵ <sup>c</sup>	۱/۲ <sup>a</sup>	۰/۳ <sup>a</sup>	۶/۷ <sup>a</sup>	۱/۵ <sup>ab</sup>	۰/۱ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP
۲۳/۲ <sup>b</sup>	۱/۲ <sup>b</sup>	۰/۱ <sup>a</sup>	۰/۲ <sup>b</sup>	۶/۶ <sup>a</sup>	۱/۴ <sup>b</sup>	۰/۲ میلی مولار ملاتونین + SNP صفر
۲۴/۳ <sup>a</sup>	۱/۵ <sup>c</sup>	۱/۲ <sup>a</sup>	۰/۳ <sup>a</sup>	۷/۵ <sup>a</sup>	۱/۵ <sup>a</sup>	۰/۲ میلی مولار ملاتونین + ۱۰ میکرومولار SNP

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

### نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار گل‌های شاخه بریدنی ژربرا با ملاتونین و سدیم نیتروپروساید سبب بهبود رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک در شرایط تنش شوری شده است. در این بررسی، به نظر می‌رسد سدیم نیتروپروساید از طریق واکنش مستقیم با گونه‌های فعال اکسیژن و یا فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان عمل کرده و با حفظ ساختارهای سلول، فرایند پیری را به تأخیر انداخته است. ترکیب توأم ملاتونین و SNP اثر بیشتری بر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به استفاده از ملاتونین به تنهایی، حتی در غلظت بیشتر داشته است و به نظر می‌رسد این دو ترکیب نقش مکمل یکدیگر را در بهبود شرایط گیاه در تنش شوری دارند. ملاتونین به دلیل داشتن نقش آنتی اکسیدانی و ضدپیری از تجزیه کلروفیل‌ها به طور معنی داری جلوگیری کرد. استفاده از ملاتونین در هر دو غلظت به کار رفته سبب کاهش نشت یونی و کاهش خسارت تنش شوری شد. ملاتونین و سدیم نیتروپروساید همچنین با افزایش فعالیت آنزیم‌های SOD، CAT، APX و کاهش فعالیت آنزیم PPO توانسته کیفیت گل-های شاخه بریدنی ژربرا رقم مالیو را حفظ کند. با توجه به نتایج این پژوهش، ملاتونین و سدیم نیتروپروساید را می‌توان به عنوان ترکیب مؤثر و بسیار مفید در مقاومت گل ژربرا به شرایط تنش شوری معرفی کرد. بهترین تیمار برای افزایش و حفظ کیفیت گل شاخه بریدنی ژربرا رقم مالیو در شرایط تنش شوری، استفاده از ۰/۱ میلی مولار ملاتونین و ۱۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید بود.

در برخی پژوهش‌ها نیز گزارش شده که در فرایند پیری در گل‌های شاخه بریدنی، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان مثل APX و CAT افزایش می‌یابد (۸ و ۴۹). با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، مقدار پروتئین کل نیز افزایش نشان می‌دهد. البته نقش سدیم نیتروپروساید در افزایش فعالیت و القای بیان آنزیم‌های آنتی اکسیدان در بسیاری از تنش‌های غیرزیستی نیز گزارش شده است (۳۰).

از لحاظ تغییرات متابولیک، پیری در نتیجه انجام فرایندهای اکسیداتیو ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن رخ می‌دهد (۲۹). انواع گونه‌های اکسیژن فعال، بر خلاف اکسیژن اتمسفری، از میل ترکیبی بسیار زیادی برای واکنش با تمامی ماکرومولکول‌های زیستی سلول برخوردارند. به طوری که این ترکیبات با پروتئین‌ها، لیپیدها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک سلول واکنش داده و سبب تخریب پروتئینی آنها و غیرفعال شدن آنزیم‌ها، آسیب به غشاءها و تجزیه پلی ساکاریدها می‌شوند (۳۱). سلول‌های گیاهی برای مقابله با آثار مخرب انواع اکسیژن فعال، از یک سری مکانیزم‌های دفاعی برخوردارند که آنها را قادر می‌سازند تا با جمع‌آوری انواع اکسیژن فعال از آسیب به ساختارهای اساسی سلول پیشگیری کنند (۴۸). مکانیزم‌های دفاعی سلول شامل آنتی اکسیدان‌های غیرآنزیمی (مانند آسکوربات، گلوتاتیون، توکوفرول، کاروتنوئیدها) و آنزیم‌های آنتی اکسیدان (مانند سوپراکسیداز دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز) است (۴۷).

### منابع مورد استفاده

1. Apel, K. and H. Hirt. 2004. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress and signal transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55: 373–399.
2. Arnao, M.B. and J. Hernández-Ruiz. 2009. Protective effect of melatonin against chlorophyll degradation during the senescence of barley leaves. *J. Pineal Res.* 46: 58–63.
3. Basha, S.M., H.K.N. Vasanthaiah, D.M. Kambiranda, K. Easwaran and G. Queeley. 2012. Genetic variation in sugar composition among muscadine, Florida hybrid bunch and bunch grape genotypes. *Int. J. Wine Res.* 4: 15–23.
4. Bates, L.S., R.P. Waldren and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil* 39(1): 205–207.
5. Beligni, M.V., A. Fath, P.C. Bethke, L. Lamattina and R.L. Jones. 2002. Nitric oxide acts as an antioxidant and delays programmed cell death in barley aleurone layers. *Plant Physiol.* 129: 1642–1650.

6. Bradford, M.N. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 248–254.
7. Cao, S., C. Song, J. Shao, K. Bian, W. Chen and Z. Yang. 2016. Exogenous melatonin treatment increases chilling tolerance and induces defence response in harvested peach fruit during cold storage. *J. Agric. Food Chem.* 64(25): 5215–5222.
8. Chakrabarty, D., J. Chatterjee and S.K. Datta. 2007. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in chrysanthemum florets. *Plant Growth Regul.* 53: 107–115.
9. Dole, J.M. and F.H. Wilkins. 1999. *Floriculture: Principles and Species*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, pp. 356–360.
10. Dubbels, R., R.J. Reiter and E. Klenke. 1995. Melatonin in edible plants identified by radio immunoassay and by high performance liquid chromatography-mass spectrometry. *J. Pineal Res.* 18: 28–31.
11. Galano, A., D.X. Tan and R.J. Reiter. 2011. Melatonin as a natural ally against oxidative stress: A physicochemical examination. *J. Pineal Res.* 51: 1–16.
12. Guo, F.Q. and N.M. Crawford. 2005. Arabidopsis nitric oxide synthase1 is targeted to mitochondria and protects against oxidative damage and dark-induced senescence. *Plant Cell.* 17: 3436–3450.
13. Huang, K.T. and C.H. Kao. 2005. Nitric oxide counteracts the senescence of rice leaves induced by hydrogen peroxide. *Bot. Bull.- Acad. Sin. Taipei.* 46: 21–28.
14. Kadayifci, A., G.I. Tuyulu, Y. Ucar and B. Cakmak. 2005. Crop water use of onion (*Allium cepa*) in Turkey. *Agric. Water Manage.* 72: 59–68.
15. Kader, A.A. 2002. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. University of California, Agric. and Nat. Resour. Publ., 535 p.
16. Kafi, M., M. Babalar, A. Nikbakht, H. Ebrahimzadeh, N. Etemadi and S. Samavat. 2009. Effect of humic acid spray on nutrients uptake, protein content and postharvest life of *Gerbera Jamesonii* L. Cv. Malibu. *Iran. J. Hort. Sci.* 40(1): 69–75. (In Farsi)
17. Kishor, P.B., S. Sangam and R.N. Amrutha. 2005 Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Curr. Sci.* 88: 424–438.
18. Kopyra, M. and E.A. Gwozdz. 2003. Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of *Lupinus luteus*. *Plant Physiol. Biochem.* 41: 1011–1017.
19. Leshem, Y.Y. and R.B.H. Wills. 1998. Harnessing senescence delaying gases nitric oxide and nitrous oxide: a novel approach to postharvest control of fresh horticultural produce. *Biol. Plant.* 41(1): 1–10.
20. Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophyll and carotenoids: Pigments of photosynthesis biomembranes. *Method. Enzymol.* 148: 350–382.
21. Liu, J., R. Zhang, Y. Sun, Z. Liu, W. Jin and Y. Sun. 2016. The beneficial effects of exogenous melatonin on tomato fruit properties. *Sci. Hort.* 207: 14–20.
22. Ma, Q., T. Zhang, P. Zhang and Z.Y. Wang. 2016. Melatonin attenuates postharvest physiological deterioration of cassava storage roots. *J. Pineal Res.* 60(4): 424–434.
23. Mansouri, M., M. Shoor, A. Tehranifar and Y. Salahvarzi. 2015. Investigation of biochemical changes induced by salicylic acid and thiamine on *Gerbera jamesonii* L., cv. Pink Elegance. *Hort. Sci.* 29(1): 127–133.
24. Mateos-Naranjo, E., L. Andrade's-Moreno and A.J. Davy. 2013. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. *Plant Physiol. Biochem.* 63: 115–121.
25. Mizrahi, Y., E. Taleisnik, V. Kagan-Zur, Y. Zohar, R. Offenbach, E. Matan and R. Golan. 1988. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 113: 202–205.
26. Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7: 405–410.
27. Naing, A., K. Lee and C.K. Kim. 2017. Involvement of sodium nitroprusside (SNP) in the mechanism that delays stem bending of different gerbera cultivars. *Front. Plant Sci.* 8: 2045–2057.
28. Nair, S.A., V. Singh and T.V. Sharma. 2003. Effect of chemical preservatives on enhancing vase-life of gerbera flowers. *J. Trop. Agric.* 41: 56–58.
29. Nakano, Y. and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplast. *Plant Cell Physiol.* 22: 867–880.
30. Nasibi, F. 2011. Effect of different concentrations of sodium nitroprusside (SNP) pretreatment on oxidative damages induced by drought stress in tomato plant. *Iran. J. Plant Biol.* 9(3): 63–74. (In Farsi)
31. Nicoli, M.C., B.E. Elizabel, A. Piotti and C.R. Leric. 1991. Effect of sugar and maillard reaction products on polyphenol oxidase and peroxidase activity in food. *J. Food Biochem.* 15: 169–184.
32. Paradies, G., G. Petrosillo, V. Paradies, R.J. Reiter and F.M. Ruggiero. 2010. Melatonin, cardiolipin and mitochondrial bioenergetics in health and disease. *J. Pineal Res.* 48: 297–310.
33. Radmehr, A. 2016. *Flowers and Ornamental Plants*. Annual Report of Gerbera Branch Statistics, Department of Horticulture, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Iran, 347 p. (In Farsi)

34. Rodriguez, C., J.C. Mayo and R.M. Sainz. 2004. Regulation of antioxidant enzymes: A significant role for melatonin. J. Pineal Res. 36: 1–9.
35. Shapiro, A.D. 2005. Nitric oxide signaling in plants. Vitam. Horm. 72: 339–398.
36. Shen, X., Y. Zhou, L. Duan, Z. Li, A.E. Eneji and J. Li. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. J. Plant Physiol. 167(15): 1248–1252.
37. Shi, H., Reiter, R.J., Tan, D.X., and Z. Chan. 2015. Indole-3-acetic and inducible 17 positively modulates natural leaf senescence through melatonin-mediated pathway in Arabidopsis. J. Pineal Res. 58: 26–33.
38. Singh, A., J. Kumar and P. Kumar. 2008. Effect of plant growth regulators and sucrose on postharvest physiology, membrane stability and vase life of cut spikes of gladiolus. Plant Growth Regul. 55: 221–229.
39. Sivakumar, P., P. Sharmila, V. Jain and P. Pardha Saradhi. 2002. Sugars have potential to curtail oxygenase activity of rubisco. Biochem. Biophys. Res. Commun. 298: 247–250.
40. Solis-Munoz, P., J.A. Solis-Herruzo and D. Fernandez-Moreira. 2011. Melatonin improves mitochondrial respiratory chain activity and liver morphology in mice. J. Pineal Res. 51: 113–123.
41. Sun, Q., N. Zhang, J. Wang, H. Zhang, D. Li, J. Shi, R. Li, S. Weeda, B. Zhao, S. Ren and Y.D. Guo. 2014. Melatonin promotes ripening and improves quality of tomato fruit during postharvest life. J. Exp. Bot. 33: 1–12.
42. Tan, D.X. 2015. Melatonin and plants. J. Exp. Bot. 66: 625–626.
43. Tavarini, S., E.D. Innocenti, D. Remorini, R. Massai and L. Guidi. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. Food Chem. 107: 282–288.
44. Thomas, H. 2013. Senescence, ageing and death of the whole plant. New Phytol. 197: 696–711.
45. Valliyodan, B. and Nguyen H.T. 2006. Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. Curr. Opin. Plant Biol. 9: 189–195.
46. Vaughan, J.G. and P.A. Judd. 2003. The Oxford Book of Health Foods. Oxford University Press, 116 p.
47. Wang, P., X. Sun, C. Chang, F. Feng, D. Liang and L. Cheng. 2013. Delay in leaf senescence of *Malus hupehensis* by long-term melatonin application is associated with its regulation of metabolic status and protein degradation. J. Pineal Res. 55: 424–434.
48. Wills, R.B.H. and M.C. Bowyer. 2003. Use of nitric oxide to extend the postharvest life of horticultural produce. Acta Hort. 599: 519–521.
49. Zeng, C.L., L. Liu and X. Guo. 2011. The physiological responses of carnation cut flower to exogenous nitric oxide. Sci. Hort. 127: 424–430.
50. Zheng, X.L., S.P. Tian, X.H. Meng and B.Q. Li. 2013. Physiological and biochemical responses in peach fruit to oxalic acid treatment during storage at room temperature. Food Chem. 104: 156–162.

## Effects of Melatonin and Sodium Nitroprusside (SNP) Spray on Salinity Adjustment and Improving the Morpho-physiological Traits of Cut Flower *Gerbera Jamesonii*

J. Abbasi<sup>1</sup>, M. Hassanpour Asil<sup>2\*</sup> and J. A. Olfati<sup>2</sup>

(Received: 16 september 2018; Accepted: 23 April 2018)

### Abstract

Melatonin has different physiological functions in plants, such as active growth regulator signal. A factorial experiment, based on randomized complete blocks design, was carried out in order to evaluate of the effect of melatonin and sodium nitroprusside (SNP) on morpho-physiological traits of cut flower *Gerbera* (*Gerbera jamesonii* cv. Malibu) under salinity stress. The first factor in this experiment was melatonin and SNP at 5 levels (control (without melatonin and SNP), 0.1 mM melatonin + 0 SNP, 0.1 mM melatonin + 10  $\mu$ M SNP, 0.2 mM melatonin + 0 SNP, 0.2 mM melatonin + 10  $\mu$ M SNP) and the second factor consisted of irrigation water with two levels of electrical conductivity (i.e., 2 and 4 dS/m). The studied traits consisted of soluble solids, cell membrane stability, leaf, shoot and root water potential, water use efficiency, reduced glucose, different kinds of chlorophyll, carotenoid, proline, superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase, polyphenol oxidase and total protein content. Based on the means' comparisons, 0.1 mM melatonin + 10  $\mu$ M SNP, 0.2 mM melatonin + 0 SNP and 0.2 mM melatonin + 10  $\mu$ M SNP treatments had the highest membrane stability at 2 dS/m salinity level, and with increasing the salinity level to 4 dS/m, the membrane stability decreased. The amounts of chlorophylls *a*, *b* and total in the 0.1 mM melatonin + 10  $\mu$ M SNP, 0.2 mM melatonin + 0 SNP and 0.2 mM melatonin + 10  $\mu$ M SNP were significantly higher than control and 0.1 mM melatonin treatments. The amounts of SOD, CAT, and APX enzymes increased when combined with melatonin and SNP in comparison to the control. Therefore, melatonin and SNP can be recommended as an effective and very useful combination in the resistance of gerbera cut flower to salt stress conditions.

**Keywords:** Protein, Proline, Root and leaf water potential, Membrane stability, Superoxide dismutase.

1. Dept. of Hort. Sci., Campus 2, Univ. of Guilan, Rasht, Iran.

1. Dept. of Hort. Sci., Faculty of Agric. Sci., Univ. of Guilan, Rasht, Iran.

\* Corresponding Author, Email: hassanpour1@gmail.com