

(OPEN ACCESS)

Effect of gum ghatti and SoluPotasse on phenological and physiological indices related to spring cold tolerance of grapevine

Nasim Paveh¹, Rouhollah Karimi^{*2}

1. M.Sc. Graduate in Horticultural Science, Dept. of Horticulture and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: nasim.paveh@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticulture and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran. E-mail: r.karimi@malayeru.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Spring cold is one of the main problems for grapevines in temperate regions, in some cases the severity of damage is very high and sometimes the entire crop will be lost. For this reason, it is necessary to use compounds that delay the bud burst and increase cold tolerance in vines. The present study was conducted with the aim of investigating the effect of foliar spraying of gum ghatti (GG) and SoluPotasse (SOP) on bud burst time and cold tolerance of Bidane-Sefid grapes.
Article history: Received: 04.24.2024 Revised: 05.07.2024 Accepted: 05.30.2024	
Keywords: Absciscic acid, Bud burst, Cold tolerance, Gibberellin, Grape, Proline	Materials and Methods: This experiment was carried out factorially (2×3) based on a randomized complete block design with 3 replications (one vine per replication). The first factor included GG in two concentrations (0 and 0.5%) and the second factor included SOP in three concentrations (0, 1 and 2%). Foliar spraying of different concentrations of GG and SOP was done in two stages in late March and early April, just before woolly bud stage until the buds were fully swollen, using a 10-liter sprayer until the water-drip stage on the vines.
	Results: According to the results, the highest effect of GG and SOP on bud burst time was related to the vines treated with 0.5% GG in combination with 2% SOP and the lowest effect was related to the control vines. Also, the highest days to bloom were related to the vines treated with 0.5% GG alone, and the lowest days to bloom were related to the vines treated with 1% SOP. Likewise, the highest percentage of fruit set was related to vines treated with 0.5% GG and 1% SOP. The highest and lowest content of ion leakage was related to control vines and vines treated with 0.5% GG + 2% SOP, respectively. Also, the highest content of malondialdehyde and hydrogen peroxide was related to the control vines and the lowest content of these membrane stability indices was related to those vines treated with the combination of 0.5% GG + 1% SOP. The highest content of proline and soluble carbohydrates was related to vines treated with 0.5% GG in combination with 1% SOP, and the lowest content of these osmoregulators was related to control vines. The highest content of total phenol was related to the vines treated with 1% SOP and the lowest content of this secondary metabolite was related to the control vines. The highest flavonoid content was related to the vines treated with the combination of 0.5% GG and 1%

SOP, and its lowest content was related to vines sprayed with 0.5% GG alone. The leaf chlorophyll content was the highest in vines treated with 1% SOP alone. Similarly, the highest activity of catalase enzyme was related to vines treated with 0.5% GG in combination with 2% SOP, and the highest activity of guaiacol-peroxidase and protein content was related to those vines treated with 0.5% GG and 1% SOP. The highest content of abscisic acid and the lowest content of gibberellin were related to vines treated with 0.5% GG + 1% SOP. The highest spermine content was related to the vines treated with the second level of in combination with the second level of SOP. Moreover, the highest content of spermidine was related to the vines treated with 2% SOP alone.

Conclusion: In general, the application of GG as a polysaccharide coating in combination with SOP as a source of potassium by extending the dormancy time and increasing the concentration of abscisic acid and soluble sugars led to a delay in bud burst and increased spring cold tolerance in grapevine plants.

Cite this article: Paveh, Nasim, Karimi, Rouhollah. 2025. Effect of gum ghatti and SoluPotasse on phenological and physiological indices related to spring cold tolerance of grapevine. *Journal of Plant Production Research*, 32 (2), 59-79.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jopp.2024.22382.3139

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثر صمغ‌هندی و سولوپتاس بر شاخص‌های فنولوژیکی و فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل سرمای بهاره انگور

نسیم پاوه^۱، روح‌الله کریمی^{۲*}

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: nasim.paveh@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: r.karimi@malayeru.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: سرمای بهاره یکی از مشکلات اساسی انگورکاری‌ها در مناطق معتدله است که در مواردی شدت صدمات بسیار بالا بوده و گاهی کل محصول از بین خواهد رفت. به همین سبب استفاده از ترکیباتی که باعث تأخیر در شکوفایی جوانه‌ها و تحمل به سرما در تاک‌ها شود ضروری می‌باشد. بنابراین پژوهش حاضر باهدف بررسی اثر محلول‌پاشی صمغ‌هندی و سولوپتاس بر زمان شکوفایی جوانه و تحمل به سرمای انگور بی‌دانه سفید انجام گرفت.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۰	مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل (۲×۳) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار (هر تکرار یک تاک) اجرا شد. عامل اول شامل صمغ‌هندی در دو غلظت (۰ و ۰/۵ درصد) و عامل دوم شامل سولوپتاس در سه غلظت (۰، ۱ و ۲ درصد) بود. محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف صمغ‌هندی و سولوپتاس طی دو مرحله در اواخر اسفند و اوایل فروردین درست کمی قبل از متورم شدن تا تورم کامل جوانه‌ها با استفاده از یک سم‌پاش ۱۰ لیتری تا مرحله آب چک روی تاک‌ها انجام شد.
واژه‌های کلیدی: اسیدآسیزیک، انگور، پرولین، تحمل به سرما، جیبرلین، شکوفایی جوانه	یافته‌ها: براساس نتایج بیش‌ترین تأثیر کاربرد صمغ‌هندی و سولوپتاس بر زمان باز شدن جوانه مربوط به تاک‌های تیمار شده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد در ترکیب با سولوپتاس ۲ درصد بود و کم‌ترین میزان تأثیر مربوط به تاک‌های شاهد می‌باشد. هم‌چنین بیش‌ترین میزان تأثیر بر روز تا گلدهی مربوط به تاک‌های تیمار شده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد به‌تنهایی بود و کم‌ترین میزان مربوط به تاک‌های تیمار شده با پتاسیم ۱ درصد می‌باشد. هم‌چنین بیش‌ترین درصد تشکیل میوه مربوط به تاک‌های تیمار شده با ترکیب صمغ‌هندی ۰/۵ درصد و سولوپتاس ۱ درصد بود. بیش‌ترین و کم‌ترین محتوای نشت یونی به ترتیب مربوط به تاک‌های شاهد و تاک‌های تیمار شده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد + سولوپتاس ۲ درصد بود. هم‌چنین بیش‌ترین محتوای

مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن مربوط به تاک‌های شاهد و کم‌ترین محتوی این شاخص‌های پایداری غشاء مربوط به تاک‌های تیمار شده با ترکیب صمغ‌هندی ۰/۵ درصد + سولوپتاس ۱ درصد بود. بیش‌ترین محتوای پرولین و کربوهیدرات محلول مربوط به تاک‌های تیمار شده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد در ترکیب با سولوپتاس ۱ درصد بود و کم‌ترین میزان محتوای این تنظیم‌کننده‌های اسمزی مربوط به تاک‌های شاهد بود. بیش‌ترین محتوای فنول کل مربوط به تاک‌های تیمار شده با سولوپتاس ۱ درصد و کم‌ترین محتوای فنول کل مربوط به تاک‌های شاهد بود. بیش‌ترین محتوای فلاونوئید مربوط به تاک‌های تیمار شده با ترکیب صمغ‌هندی ۰/۵ درصد + سولوپتاس ۱ درصد بود و کم‌ترین محتوای فلاونوئید کل مربوط به صمغ‌هندی ۰/۵ درصد به‌تنهایی می‌باشد. محتوای کلروفیل برگ در تاک‌های تیمار شده با پتاسیم ۱ درصد به‌تنهایی بالاترین مقدار بود. بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به تاک‌های تیمار شده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد در ترکیب با سولوپتاس ۲ درصد بود و بیش‌ترین فعالیت گایاکول‌پراکسیداز و محتوای پروتئین مربوط به تاک‌های تیمار شده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد + سولوپتاس ۱ درصد می‌باشد. بیش‌ترین محتوای اسیدآبسیزیک و کم‌ترین محتوای جیبرلین مربوط به تاک‌های تیمار شده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد + سولوپتاس ۱ درصد بود. هم‌چنین بیش‌ترین محتوای اسپرمین مربوط به تاک‌های تیمار شده با سطح دوم صمغ‌هندی با ترکیب با سطح دوم سولوپتاس بود. بیش‌ترین محتوای اسپرمیدین مربوط به تاک‌های تیمار شده با سولوپتاس ۲ درصد به‌تنهایی بود.

نتیجه‌گیری: در کل کاربرد صمغ‌هندی به‌عنوان یک پوشش پلی‌ساکاریدی در ترکیب با سولوپتاس به‌عنوان یک منبع پتاسیم با تمدید زمان خواب و افزایش غلظت اسیدآبسیزیک و قندهای محلول منجر به تأخیر در شکوفایی جوانه و افزایش تحمل به سرمای بهاره انگور شد.

استناد: پاوه، نسیم، کریمی، روح‌الله (۱۴۰۴). اثر صمغ‌هندی و سولوپتاس بر شاخص‌های فنولوژیکی و فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل سرمای بهاره انگور. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۲ (۲)، ۷۹-۵۹.

DOI: 10.22069/jopp.2024.22382.3139



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

انگور بانام علمی *Vitis vinifera* L. متعلق به خانواده انگورسانان (Vitaceae) دارای ۱۷ جنس و در حدود ۱۰۰۰ گونه است که اغلب به صورت بوته‌ای یا درختان بالارونده رشد می‌کنند. انگور در بیش از ۹۰ کشور جهان تولید می‌شود. کشت انگور به سرعت در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری از جمله مکزیک، ونزوئلا، پرو، برزیل، هند، تایلند و چین جنوبی توسعه یافته است که بر اساس تقاضای بازار محلی انجام می‌شود (۱). علاوه بر این انگور به لحاظ ارزش اقتصادی بالا یکی از مهم‌ترین محصولات باغی ایران و جهان است که به دلیل تولید فراآورده‌های متنوع مانند محصولات خشک (کشمش)، نوشیدنی و به صورت تازه خوری مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (۲).

تنش سرما یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که توزیع جغرافیایی گیاه و تولید محصول را محدود می‌کند. سرمای دیررس بهاره یکی از مشکلات پرورش انگور است که گاهی تا ۹۰ درصد محصول تاکستان‌ها را از بین می‌برد. خطر سرمازدگی برگ‌ها، شاخه‌های سبز و خوشه‌های گل انگور در اوایل فصل رشد در اکثر رقم‌های تجاری انگور وجود دارد (۳). علاوه بر این، تنش سرما معمولاً بر توزیع و بهره‌وری درختان میوه تأثیر می‌گذارد. در اقلیم سرد، خسارات سرمازدگی زمستانه و بهاره دو پدیده مخرب محیطی اصلی در تاکستان‌ها هستند که بر بهره‌وری محصول، کیفیت و حتی بقای تاک‌ها تأثیر می‌گذارند (۴). گیاهان به منظور غلبه بر دمای پایین دستخوش یکسری تغییرات ریخت‌شناسی، مولکولی، زیست‌شیمیایی و فیزیولوژیکی در اندام‌ها و بافت‌های خود می‌شوند که امکان زنده‌مانی در مواجهه با این شرایط نامساعد را برای آن‌ها فراهم می‌کند (۵). شروع سازگاری به سرما در تاک‌ها با کاهش و توقف کامل رشد و به دنبال آن پیری و ریزش برگ و توسعه پریدرم

(بلوغ چوب) در شاخه و جوانه همراه است. هم‌چنین تحمل یخ‌زدگی در تاک‌ها با کاهش محتوای آب بافت‌های تنه و شاخه و فراسردی جوانه‌ها افزایش می‌یابد. هم‌چنین افزایش برخی از قندهای محلول یا اسیدهای آمینه آزاد، زیست‌ساخت پروتئین‌های خاص، بیان ژن‌های دخیل در تحمل به سرما، افزایش اسیدهای چرب غیراشباع، ترکیبات فنولی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و سطوح فیتوهورمون‌ها، برخی از سازوکارهای گیاه در مواجهه با دمای پایین است که در راستای تکمیل فرایند سازگاری به سرما صورت می‌گیرد (۴، ۶، ۷).

یکی از شیوه‌های افزایش تحمل به تنش‌های محیطی در محصولات باغبانی استفاده از مولکول‌های طبیعی مانند پلی‌ساکاریدها هستند که با تحریک پاسخ‌های مرتبط با سامانه دفاعی گیاه موجب خنثی کردن اثرات مضر تنش‌های زیستی و غیرزیستی و بهبود عملکرد و کیفیت محصولات می‌شوند (۸). صمغ گاتی که عموماً به عنوان صمغ‌هندی شناخته می‌شود از درخت *Anogessu latifolia* متعلق به خانواده Combretaceae تهیه می‌شود (۹). صمغ‌هندی یک پلی‌ساکارید غیرنشاسته‌ای با وزن مولکولی بالا، محلول در آب و متورم‌شونده است که از نمک‌های منیزیم و کلسیم اسیدهای گائیک و چندین مونوساکارید تشکیل شده است. این پلی‌ساکارید طبیعی محصولی کم‌حجم است و ارزش آن به دلیل خواص امولسیون‌شوندگی عالی، تثبیت، تغلیظ، تحمل حرارت، پایداری pH، حامل و خواص زیست تخریب‌پذیری آن است به همین دلیل به طور گسترده در صنایع غذایی، داروسازی و تصفیه فاضلاب و تشکیل هیدروژل کاربرد دارد (۹). تعداد کمی مطالعات در زمینه کاربرد پوشش صمغ‌هندی بر کاهش سرمازدگی برخی محصولات باغبانی مانند انگور طی انبارمانی سرد گزارش شده است (۶) برای مثال کاربرد

ترکیبی صمغ‌هندی و کیتوزان منجر به کاهش درصد نش‌یونی، محتوای مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در انگور ریش‌بابا تحت انبارمانی سرد شده است که بیانگر دخالت این پلی‌ساکاریدهای طبیعی در بهبود تحمل به آسیب‌های ناشی از دمای پایین در محصولات باغبانی می‌باشد (۶). درواقع کاربرد صمغ‌هندی از طریق ایجاد یک دیوار انتخابی در اطراف حبه‌های انگور ضمن تأثیر بر تبادلات گازی فرآورده با محیط و افزایش پتانسیل ضد میکروبی، به بهبود خواص زیست‌فیزیکی و حفظ کیفیت پس از برداشت این محصول منجر شده است (۶). تاکنون پژوهش‌هایی در مورد اثر کاربرد صمغ‌هندی برافزایش تحمل به سرمای گیاهان انجام‌نشده است. باین‌حال کاربرد دیگر پلی‌ساکاریدهای طبیعی مانند کیتوزان موضوع برخی مطالعات قرار گرفته است به‌عنوان مثال در پژوهشی روی بوته‌های موز، کاربرد خارجی نانوذرات کیتوزان باعث افزایش وزن‌تر و خشک بوته، محتوای مواد مغذی، تجمع ترکیبات فنولی کل، کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و اسیدهای آمینه، رنگدانه‌های فتوستتزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز برگ گیاهان تحت تنش سرما شده است (۱۰). هم‌چنین محلول‌پاشی تاک‌های انگور یاقوتی با کیتوزان ۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر طی دو مرحله در اواخر اسفند انجام و مشخص شد که غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر کیتوزان تا ۸ روز در مقایسه با تاک‌های شاهد باعث تأخیر در زمان شکفتن جوانه و اجتناب از سرمازدگی بهاره می‌شود. به‌علاوه کم‌ترین نش‌یونی، محتوای مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در جوانه تاک‌های تیمار شده با غلظت ۲۰ گرم در لیتر کیتوزان مشاهده شد (۱۱).

تغذیه معدنی و تأمین کافی عناصر غذایی یکی از راهکارهای مدیریتی است که از لحاظ فیزیولوژیکی

اثر قابل‌توجهی بر میزان تحمل به تنش‌های محیطی در گیاهان دارد (۱۲، ۱۳). پتاسیم یکی از عناصر پرکاربرد در باغات انگور بوده و به‌عنوان یک عنصر ضروری در فرایندهای فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی متعددی مانند ساخت پروتئین‌ها، فرایند فتوستتزی، انتقال قند از برگ‌ها به میوه و شاخه‌ها شرکت می‌کند (۱۴). پتاسیم در فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی مانند آسیمپلاسیون کربن و تشکیل نشاسته، انتقال پروتئین و قند، فعال‌سازی بیش از ۶۰ نوع آنزیم، تنظیم روزنه‌ها و تشکیل آوند آبکش نقش دارد (۱۴). وجود غلظت‌های کافی پتاسیم، از طریق تنظیم اسمزی باعث تسهیل انتقال مواد غذایی، ساکارز و آمینواسیدها به جوانه‌ها شده و با کاهش آب آزاد سلولی و افزایش ذخایر کربوهیدراتی باعث افزایش تحمل به سرما می‌شود؛ بنابراین کاربرد تکمیلی پتاسیم عامل مهمی در تولید محصول، افزایش کیفیت میوه و تحمل به سرما است (۱۳). از طرفی کاربرد پلی‌ساکاریدهای طبیعی در ترکیب با منابع کودی پتاسیم می‌تواند با تقویت سامانه آنتی‌اکسیدانی، تجمع محلول‌های سازگار و تغییرات هورمونی منجر به افزایش تحمل به سرما شود (۲، ۱۵، ۱۶).

سرمازدگی بهاره یکی از تنش‌های محیطی خسارت‌زا است که روی باردهی و محصول نهایی انگور تأثیر به‌سزایی دارد. این کاهش محصول با ظهور و تداوم توده‌های هوای سرد در زمان شکوفا شدن جوانه‌ها نمود بیش‌تری پیدا کرده و مشابه با سرمای دیرس بهاره در سال ۱۳۹۴ (سه روز دمای $^{\circ}\text{C}$ -۲)، می‌تواند منجر به خسارت ۱۰۰ درصدی محصول بسیاری از تاکستان‌های غرب کشور شود. به‌منظور اجتناب از سرمازدگی بهاره بسیاری از تاکداران ملایر هرساله در فصل پاییز اقدام به خاک کردن بوته‌های تاک‌ها می‌کنند. این کار ضمن تحمیل هزینه‌های زیاد، اثرات نامطلوبی بر کیفیت رشد و تکامل جوانه‌ها دارد.

از آنجایی که انگور یکی وسیع‌ترین سطح کشت‌ها را در بین محصولات باغی در سطح کشور دارد بنابراین لازم است نسبت به ارائه راهکاری جهت کاهش خسارت سرمازدگی اقدام شود؛ بنابراین هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی اثر صمغ‌هندی و سولوپتاس بر زمان شکفتن جوانه و شاخص‌های فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی مرتبط با تحمل به سرمای بهار در انگور بی‌دانه سفید تحت تربیت داربستی بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و محل اجرای آزمایش: در پایان زمستان سال ۱۴۰۱ تعداد ۲۷ تاک انگور رقم بی‌دانه سفید با شرایط رشد و هرس یکنواخت واقع در تاکستان تحقیقاتی شماره یک دانشکده کشاورزی دانشگاه ملایر انتخاب و نشانه‌گذاری شدند. تاک‌های بافاصله 2×4 (متر) روی ردیف‌های شرقی- غربی تحت سامانه تربیت داربستی پرگولا کاشته شدند. این آزمایش به صورت فاکتوریل (2×3) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار (هر تکرار یک تاک) اجرا شد. عامل اول شامل صمغ‌هندی در دو غلظت (۰ و ۰/۵ درصد) و عامل دوم شامل سولوپتاس در سه غلظت (۰، ۱ و ۲ درصد) بود.

محل‌های غلظت‌های مختلف صمغ‌هندی و سولوپتاس طی دو مرحله در اواخر اسفند و اوایل فروردین درست کمی قبل از متورم شدن تا تورم کامل جوانه‌ها با استفاده از یک سم‌پاش ۱۰ لیتری تا مرحله آب چک روی تاک‌ها انجام شد. برای افزایش بازده جذب، ۰/۵ درصد مویان (تووین ۲۰) به محلول اضافه شد. تاک‌های شاهد با محلول آب و مویان محلول‌پاشی شدند. از لحاظ زمانی هرس تاک‌ها بر اساس عرف منطقه ملایر بعد از ظهور مرحله سه‌برگی و رفع خطر سرمای بهار در ۵ اردیبهشت‌ماه انجام شد. از لحاظ شدت هرس، تعداد ۱۵ شاخه

یک‌ساله حاوی دو اسپور ۲ و ۴ جوانه‌ای در هر تاک حفظ شد. سایر عملیات باغی مانند مبارزه با آفات و امراض، آبیاری و تغذیه نیز مطابق با عرف منطقه صورت گرفت. نمونه‌گیری جوانه‌ها یک هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی انجام شد که طی آن تعداد ۱۰ شاخه به طول ۲۵-۲۰ سانتی‌متر از گره‌های میانی شاخه‌های یک‌ساله انتخاب و جمع‌آوری شد. شاخه‌ها پس از علامت‌گذاری، درون حوله کاغذی مرطوب پیچیده شده و بلافاصله با یخدان یونولیتی برای ارزیابی‌های بعدی به آزمایشگاه باغبانی دانشگاه ملایر منتقل شدند.

ارزیابی صفات فیزیولوژیکی: اندازه‌گیری زمان باز شدن (شکفتن) جوانه و شکوفایی گل به عنوان بخشی از شاخص‌های دخیل در اجتناب از سرمای دیررس بهار در شرایط باغ روی شاخه‌های یک‌ساله تاک‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف صمغ‌هندی و سولوپتاس ثبت و مقایسه شدند. ملاک باز شدن جوانه‌ها رسیدن آن‌ها به مرحله نوک‌سبز بود. مدت‌زمان لازم برای باز شدن ۵۰ درصد جوانه‌ها از زمان محلول‌پاشی به عنوان تاریخ شکوفایی در نظر گرفته شد. تعداد روز تا گل‌دهی با ثبت روزهای از زمان محلول‌پاشی تا زمان شکوفایی ۱۰ درصد گل‌ها در خوشه در هر تیمار مشخص شد. درصد تشکیل میوه به ترتیب با شمارش گل‌های ریزش شده و حبه‌های تشکیل‌شده در هر خوشه محاسبه شد. درصد تشکیل میوه از فرمول $100 \times \text{تعداد گل} / \text{تعداد حبه} = \text{تشکیل میوه (درصد)}$ محاسبه شد (۱۰).

ارزیابی تحمل به سرما و تغییرات فیزیولوژیکی: یک هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی، تعداد ۱۰ تا ۱۵ شاخه به طول ۲۵-۲۰ سانتی‌متر از گره‌های میانی شاخه‌های یک‌ساله واقع در اطراف بوته‌های محلول‌پاشی شده با صمغ‌هندی و سولوپتاس انتخاب و جمع‌آوری شد. شاخه‌ها پس از اتیکت‌زنی، درون

SPAD) برگ از برگ‌های میانی شاخه‌های یک‌ساله اطراف تاک با استفاده از دستگاه کلروفیل متر مدل SPAD-CL01 (آتاگو، ساخت ژاپن) اندازه‌گیری شد.

پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء بر اساس غلظت مالون‌دی‌آلدهید (MDA) تولیدشده در اثر آسیب به غشاء و واکنش آن با تیوباربتوریک اسید اندازه‌گیری شد. پس از استخراج با تری‌کلرواستیک اسید، جذب نمونه‌ها در دو طول‌موج ۶۰۰ و ۵۳۲ نانومتر قرائت و بر اساس میکرومول بر گرم وزن‌تر بیان شد (۱۸). اندازه‌گیری محتوای پراکسید هیدروژن (H_2O_2) به روش لورتو و ولیکووا (۱۹) صورت گرفت. غلظت پراکسید هیدروژن نمونه‌ها به وسیله مقایسه جذب آن‌ها در طول‌موج ۳۹۰ نانومتر و منحنی استاندارد آن در طیفی از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومول بر میلی‌لیتر محاسبه و بر اساس میکرومول بر گرم وزن‌تر بیان شد. سنجش غلظت پروتئین محلول با معرف رنگی بریلینت‌بلو (G-250) در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر انجام شد (۲۰) با استفاده از منحنی استاندارد تهیه‌شده از غلظت‌های مختلف آلبومین گاوی، غلظت پروتئین محلول برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر بیان شد. برای سنجش پرولین عمل استخراج با کمک اسید سولفوسالسیلیک و اندازه‌گیری با حضور اسید استیک و معرف نین‌هیدرین انجام شد. میزان جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۱۸ نانومتر قرائت و غلظت پرولین جوانه برحسب میکرومول بر گرم وزن‌تر تعیین شد (۲۱).

استخراج و اندازه‌گیری فنول کل: استخراج و اندازه‌گیری فنول کل به روش معرف فولین-سیوکالتیو در حضور کربنات سدیم صورت گرفت و جذب نوری نمونه‌ها در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر قرائت و بر اساس میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم وزن‌تر بیان شد (۲۲) اندازه‌گیری قند محلول کل با روش رنگ سنجی به کمک آنترن در حضور اسید سولفوریک و قرائت در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر صورت گرفت (۲۳).

حوله کاغذی مرطوب پیچیده شده و بلافاصله با یخدان یونولیتی برای ارزیابی‌های بعدی به آزمایشگاه تحقیقات باغبانی دانشگاه ملایر منتقل شدند. ارزیابی تحمل به سرما به روش نشت یونی صورت گرفت. ابتدا به منظور حذف آلودگی‌های سطحی، شاخه‌ها با آب مقطر شستشو شدند. پس از حذف رطوبت اضافی با دستمال حوله‌ای، ۵ شاخه از هر رقم درون کیسه فریزرهای (فویل آلومینیومی با پارچه مرطوب) مجزا گذاشته و به مدت ۱۲ ساعت در معرض دمای سرمازدگی ($0^{\circ}C$) در یک اتاقک سرماساز ترموگرادیان (رادالکترونیک، تهران) قرار داده شدند. دمای شروع اتاقک سرماساز بر اساس دمای محیط در روز نمونه‌برداری تعیین و روند کاهش دمای آن $2^{\circ}C$ در هر ساعت بود (۳). بعد از کاهش تدریجی دما تا تیمار سرمایی هدف ($0^{\circ}C$)، دمای اتاقک سرما ساز به مدت ۱۲ ساعت در این دما ثابت باقی ماند.

بعد از اعمال تیمار سرمایی، شاخه‌ها از اتاقک سرماساز خارج و به منظور ذوب شدن تدریجی و ارزیابی نشت یونی، ابتدا ۲ ساعت در دمای $4^{\circ}C$ و سپس ۳ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند. سپس از شاخه‌های اختصاص یافته به هر تیمار دمایی پنج جوانه با چاقوی تیز جدا و به صورت جداگانه در قوطی‌های ۷۰ میلی‌لیتری حاوی ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر غوطه‌ور شد. قوطی‌ها به مدت ۲۰ ساعت روی شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه قرار داده شد. سپس هدایت الکتریکی (EC_1) آن‌ها با دستگاه هدایت‌سنج (آتاگو، ژاپن) اندازه‌گیری شد. سپس قوطی‌ها به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو ($121^{\circ}C$) و هدایت الکتریکی مجدد اندازه‌گیری (EC_2) و نشت یونی (EL) از رابطه $EL = (EC_1/EC_2) \times 100$ محاسبه شد (۱۷).

اندازه‌گیری محتوای آب جوانه با توزین جوانه‌ها قبل و بعد از قرار دادن در آون (مدت سه روز در دمای $70^{\circ}C$) تعیین شد (۲). میزان سبزی‌نگی (شاخص

غلظت قند محلول بر اساس منحنی استاندارد گلوکز تعیین و به صورت میلی گرم بر گرم وزن تر بیان شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، نمونه‌های بافت تازه جوانه (۱۰۰ میلی گرم) در ازت مایع کوبیده شده و تا زمان مصرف در دمای $^{\circ}\text{C} - 80$ نگهداری شدند. فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز (۲۴)، کاتالاز (۲۵) و گایاکول پراکسیداز (۲۶) به ترتیب در طول موج‌های ۲۹۰، ۲۴۰ و ۴۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. هر یک واحد از فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز به عنوان مقداری از این آنزیم‌ها به صورت جداگانه در نظر گرفته شد که موجب کاهش یک میکرومول H_2O_2 در هر دقیقه می‌شود. هر واحد فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به عنوان مقداری از آنزیم در نظر گرفته شد که موجب اکسیده شدن یک میکرومول آسکوربات در هر دقیقه می‌شود. میزان فعالیت هر سه آنزیم بر حسب واحد در میلی گرم پروتئین جوانه بیان شد. قرائت مربوط به تمامی شاخص‌های اندازه‌گیری شده در مطالعه حاضر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-VIS مدل SPEKOL 2000 شرکت آنالیتیک جنا آلمان انجام شد.

استخراج و اندازه‌گیری پلی آمین‌ها: مقدار ۲۵۰ میلی گرم از بافت گیاهی (جوانه) در ۲ میلی لیتر محلول ۴ درصد CLO_4H حاوی ۱ و ۷ دی آمینو هپتان (۵ میلی گرم در لیتر از اسید کلریدریک ۲ نرمال) هموژن گردید. بعد از یک ساعت ماندن در دمای $^{\circ}\text{C} 4$ از فیلتر ۰/۴۵ میکرون عبور داده شد. سپس روی ۰/۲ میلی لیتر از این محلول، مقدار ۱ میلی لیتر بافر کربنات با $\text{pH}=9$ و یک میلی لیتر دانسیل کلراید (۱۰ میلی گرم در ۱ میلی لیتر استون) اضافه و به خوبی به هم زده شد. این مخلوط به مدت یک ساعت در دمای $^{\circ}\text{C} 60$ و در تاریکی قرار داده شد. سپس تا زمان تزریق به دستگاه HPLC در یخچال نگهداری شد. پس از این مراحل

پلی آمین‌ها به فرم دانسیله درمی آیند که توسط ۳ میلی لیتر تولوئن از مواد دیگر جدا شده و سپس به دستگاه HPLC تزریق گردید. برای اندازه‌گیری غلظت پلی آمین‌ها ۱۰ میکرو لیتر از محلول پایانی مرحله جداسازی، به ستون کوچک با طول ۱۰ سانتی متر و قطر داخلی ۳ میلی متر مرحله معکوس از نوع Chorompac-Nederland متصل به دستگاه HPLC مدل Unickam-crystal 200 ساخت انگلستان، تزریق گردید. مرحله متحرک شامل مخلوط استو نیتریل فوق خالص و آب دیونیزه به ترتیب با نسبت ۷۲ به ۲۸ حجم به حجم می‌باشد که با سرعت ۲ میلی لیتر بر دقیقه حرکت آن با سامانه ایزوکرایک انجام شد. آشکارساز دستگاه از نوع UV و اندازه‌گیری پلی آمین‌های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین در طول موج ۳۳۷ نانومتر تنظیم گردید (۲۷).

استخراج و اندازه‌گیری اسیدآبسیزیک و اسیدجیرلیک: برای استخراج، یک گرم پودر منجمد شده بافت جوانه‌ها به ۱۰ میلی لیتر متانول ۸۰ درصد، ۰/۰۱ گرم پلی وینیل - پیرو لیدون (PVP) و ۰/۰۱ گرم ویتامین ث اضافه و به مدت یک شب در دمای $^{\circ}\text{C} 4$ روی شیکر با دور ۱۲۰ دور در دقیقه تکان داده شد تا عمل انحلال هورمون اسیدآبسیزیک به خوبی صورت گیرد. سپس مخلوط هموژن شده به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۴۰۰۰ سانتریفوژ و محلول رویی آن جدا شده و pH آن به ۸ رسانده شد. عمل استخراج از رسوبات باقی مانده دو بار تکرار شد. بعد از صاف کردن عصاره با کاغذ صافی (واتمن شماره ۱)، متانول اضافی تبخیر داده شد و سپس pH بخش باقی مانده با اسید هیدروکلریک ۰/۲ نرمال در حدود ۲/۵ تنظیم شده و به آن ۱۰ میلی لیتر اتیل استات اضافه شد. آن گاه اتیل استات تبخیر شده و به رسوب باقی مانده یک میلی لیتر محلول متانول ۳ درصد و اسیداستیک ۰/۱

تجزیه داده‌ها: برای تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات به دست آمده، از نرم افزار (SAS 9.1) استفاده گردید. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد بررسی شد و نمودارها با برنامه Excel ۲۰۱۰ رسم گردید.

نتایج و بحث

زمان باز شدن جوانه، روز تا گل‌دهی و درصد تشکیل میوه: بیش‌ترین زمان باز شدن جوانه مربوط به تاک‌های تیمار شده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد در ترکیب با سولوپتاس ۲ درصد بود و کم‌ترین زمان باز شدن جوانه مربوط به تاک‌های شاهد می‌باشد (جدول ۱). هم‌چنین بیش‌ترین تعداد روز تا گلدهی مربوط به تاک‌های تیمار شده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد و کم‌ترین میزان مربوط به تاک‌های تیمار شده با سولوپتاس ۱ درصد بود. هم‌چنین بیش‌ترین درصد تشکیل میوه مربوط به تاک‌های تیمار شده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد در ترکیب با سولوپتاس ۱ درصد و کم‌ترین درصد تشکیل میوه مربوط به تاک‌های شاهد بود (جدول ۱).

مولار اضافه شد تا به صورت محلول درآید. مخلوط حاصل با استفاده از صافی ۰/۴۵ میکرونی پالایش و از آن ۲۰ میکرولیتر برای مرحله ارزیابی برداشت شد (۲۸). برای ارزیابی با دستگاه HPLC، مقدار ۲۰ میکرولیتر محلول استخراج شده به ستون Diamonsic-C18 با قطر ذرات ۵ میکرومتر، طول ۲۵ سانتی‌متر، قطر داخلی ۴/۶ میلی‌متر با سامانه مرحله معکوس در دستگاه HPLC مدل Unicam-Crystal-200 ساخت کشور انگلیس تزریق گردید. مرحله متحرک از متانول ۲۰ تا ۷۵ درصد در اسیداستیک ۱ درصد با نرخ جریان ۰/۱ میلی‌لیتر در دقیقه شده برای جیبرلین و ۱/۲ میلی‌لیتر در دقیقه بر ای اسیدآبسیزیک تشکیل شده بود. از آشکارساز UV-Vis SPD MLOAD از نوع Photodiod array در طول موج ۲۶۰ نانومتر استفاده شد. بر اساس زمان بازداری استاندارد اسیدآبسیزیک و اسیدجیبرلینک و سطح زیر منحنی، مقدار اسیدآبسیزیک و جیبرلین نمونه‌ها مشخص و به صورت نانوگرم در گرم وزن تر بیان شد.

جدول ۱- اثر کاربرد صمغ‌هندی و سولوپتاس بر زمان باز شدن جوانه، روز تا گلدهی و درصد تشکیل میوه انگور بی‌دانه سفید.

Table 1. Effect of gum ghatti and SoluPotasse application on bud burst time, days to flowering and percentage of fruit set of Bidaneh Sefid grapevine.

تشکیل میوه Fruit set (%)	زمان تا گلدهی Bloom time (day)	زمان باز شدن جوانه Bud burst time (day)	تیمار Treatment
0.0001	0.0021	0.0241	P-value
23.16 ^c	51.66 ^c	17.67 ^d	G1K1
25.83 ^{ab}	53.0 ^{bc}	18.33 ^{cd}	G1K2
26.56 ^{ab}	54.33 ^{ab}	20.33 ^{bc}	G1K3
24.83 ^{bc}	55.33 ^a	20.66 ^b	G2K1
27.36 ^a	55.2 ^a	23.00 ^a	G2K2
26.43 ^{ab}	54.66 ^a	23.66 ^a	G2K3

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری (سطح ۵ درصد) اختلاف معنی‌داری ندارند (G_۱ = صمغ‌هندی ۰ درصد؛ G_۲ = صمغ‌هندی ۰/۵ درصد؛ K_۱ = سولوپتاس ۰ درصد، K_۲ = سولوپتاس ۱ درصد، K_۳ = سولوپتاس ۲ درصد)

Means with common letters in each column do not have a statistically (5% level) significant difference (G1 and G2: gum ghatti at 0 and 0.5%; K1, K2 and K3; SoluPotasse at 0, 1%, and 2%)

شاخص‌های پایداری غشاء (نشت یونی، مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن): بیش‌ترین مقدار نشت یونی مربوط به تاک‌های شاهد و کم‌ترین مقدار این شاخص مربوط به تاک‌های تیمار شده با ترکیب صمغ‌هندی ۰/۵ درصد و سولوپتاس ۲ درصد بود (جدول ۲). افزایش تحمل یخ‌زدگی در بوته‌های تیمار شده با مقادیر بالای پتاسیم نشان‌دهنده آسیب کم‌تر غشای سلولی و در نتیجه نشت کم‌تر محتوای سلول و محافظت از آب‌کشیدگی سلول در جوانه است (۱۴، ۳۰). بهبود وضعیت پتاسیم در گیاه باعث محافظت از غشاها در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از تنش یخ‌زدگی می‌شود و از این طریق باعث افزایش پایداری غشا در برابر نشت یونی می‌شود (۱۲، ۳۱). هم‌چنین بیش‌ترین میزان محتوای مالون‌دی‌آلدئید مربوط به تاک‌های شاهد و کم‌ترین محتوای مالون‌دی‌آلدئید مربوط به تاک‌های تیمار شده با ترکیب صمغ‌هندی ۰/۵ درصد در ترکیب سولوپتاس ۱ درصد بود (جدول ۲). مالون‌دی‌آلدئید ماده سمی حاصل از پراکسیداسیون اسیدهای چرب اشباع‌نشده غشای سلول بوده و به‌عنوان شاخص تنش اکسیداتیو، نشت یونی بالا و تخریب غشاء شناخته می‌شود (۶).

کاربرد ابتدای فصل کیتوزان به‌عنوان یک پلی‌ساکارید در انگور باعث تغییر زمان شکفتن جوانه و گل‌دهی شد (۱۱). هم‌چنین در پژوهشی کاربرد ترکیبی پتاسیم، کلسیم و روغن ولک باعث تأخیر در زمان شکوفایی و مدت‌زمان روز تا گل‌دهی شد (۲۹) که تأییدی بر یافته‌های مطالعه حاضر است. توانایی صمغ‌هندی در ایجاد لایه‌نازک پوششی در اطراف جوانه و به دنبال آن جلوگیری از تبادلات موقت گازها منجر به تجمع دی‌اکسیدکربن حاصل از تنفس در جوانه و ایجاد بازدارندگی برگشتی و کاهش سرعت تنفس و در نهایت تأخیر در شکوفایی جوانه می‌تواند مرتبط باشد. تحلیل دیگر این است که پلی‌ساکاریدها بیوستتز اکسین را از طریق بیان ژن‌های مرتبط با اکسین، بیوستتز و انتقال ایندوئیل‌استیک اسید را تسریع و فعالیت آنزیم ایندوئیل‌استیک اسید اکسیداز را کاهش می‌دهد (۳). از طرفی غلظت زیاد اکسین اثر بازدارندگی بر رشد و نمو گیاهان دارد، بنابراین به نظر می‌رسد که با برهم‌زدن مقدار اکسین درونی جوانه‌ها، می‌تواند سبب تأخیر در نمو و شکوفایی طبیعی جوانه‌ها شود. هم‌چنین، غلظت زیاد اکسین سبب القای تولید هورمون اتیلن می‌شود و این هورمون موجب تأخیر در مراحل نمو گیاه و از جمله باز شدن جوانه‌ها می‌شود (۳).

جدول ۲- اثر کاربرد صمغ‌هندی و سولوپتاس بر شاخص‌های پایداری غشاء انگور بی‌دانه سفید.

Table 2. Effect of gum ghatti and SoluPotasse application on membranal stability indices of Bidaneh Sefid grapevine.

پراکسید هیدروژن Hydrogen peroxide ($\mu\text{mol g}^{-1}$ FW)	مالون‌دی‌آلدئید Malondialdehyde ($\mu\text{mol g}^{-1}$ FW)	نشت یونی Ion leakage (%)	تیمار Treatment
0.0327	0.0001	0.0001	P-value
4.14 ^a	3.91 ^a	47.60 ^a	G1K1
0.10 ^d	2.90 ^b	40.93 ^c	G1K2
2.97 ^{bc}	2.44 ^c	41.23 ^c	G1K3
3.33 ^b	1.93 ^d	44.27 ^b	G2K1
0.10 ^d	1.49 ^e	39.47 ^c	G2K2
2.59 ^{cd}	2.00 ^d	30.27 ^d	G2K3

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری (سطح ۵ درصد) اختلاف معنی‌داری ندارند (G₁ = صمغ‌هندی ۰ درصد؛

G₂ = صمغ‌هندی ۰/۵ درصد؛ K₁ = سولوپتاس ۰ درصد، K₂ = سولوپتاس ۱ درصد، K₃ = سولوپتاس ۲ درصد)

Means with common letters in each column do not have a statistically (5% level) significant difference (G1 and G2: gum ghatti at 0 and 0.5%; K1, K2 and K3; SoluPotasse at 0, 1%, and 2%)

هم‌چنین بیش‌ترین محتوای پراکسید هیدروژن مربوط به تاک‌های شاهد و کم‌ترین محتوای پراکسید هیدروژن مربوط تاک‌های تیمار شده با ترکیب صمغ‌هندی ۰/۵ درصد و سولوپتاس ۱ درصد بود (جدول ۲). پراکسید هیدروژن در مقادیر کم به‌عنوان یک مولکول سیگنالی برای واکنش‌های مختلف درون‌سلولی و هم‌چنین جزء فعال دفاعی گیاه عمل می‌کند. از این‌رو، ممکن است نقش مهمی در انتقال سیگنال‌ها به سلول‌های گیاهی اطراف برای شروع مقاومت سیستمیک اکتسابی داشته باشد (۳۳). تنش سرما باعث از بین رفتن انسجام غشاء اندامک‌های درون‌سلولی و در نتیجه نشت مواد محلول می‌شود. نشت این مواد باعث افزایش هدایت الکتریکی محلول شده و این تغییر افزایشی به‌عنوان نشانه‌ای از آسیب یا مرگ سلول تلقی می‌شود. از طرف دیگر، تنش سرما باعث افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مالون‌دی‌آلدهید می‌شود (۳۴).

غشای سیتوپلاسمی سلول‌های گیاهان تحت تنش در مقایسه با گیاهان در شرایط معمولی از هدایت الکتریکی بالاتری برخوردار هستند، بالاتر بودن هدایت الکتریکی نشان‌دهنده پایین بودن پایداری غشاء سیتوپلاسمی می‌باشد. در نتیجه در شرایط تنش غشاء از پایداری کم‌تری برخوردار است و میزان نشت مواد درون‌سلولی در آن‌ها افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد کاربرد صمغ‌هندی با داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی، تمامیت غشاء، جذب انتخابی یون‌ها و نقل‌وانتقال یون را بهبود می‌بخشد بنابراین کاهش میزان نشت یونی در گیاهان تحت تنش در نتیجه تیمار

صمغ‌هندی را می‌توان به نقش مثبت این پلی‌ساکارید بر پایداری غشاء و بهبود نفوذپذیری انتخابی غشای پلاسمایی سلولی مربوط دانست. مطابق با نتایج این پژوهش عشقی و همکاران (۶) گزارش دادند در میوه انگور رقم ریش‌ببا در طول ذخیره‌سازی سرد، صمغ‌هندی و کیتوزان باعث تأخیر در تغییرات اسیداسکوربیک و پایداری غشا شد. از طرفی پوشش‌دهی با صمغ‌هندی برای حفظ شاخص‌های کیفی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه انگور باعث کاهش نشت یونی و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و کاهش سرمازدگی شد (۶). محلول‌پاشی ذرات کیتوزان در بوته‌های موز تحت تنش سرما باعث کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید و گونه فعال اکسیژن شد و با تجمع مواد محافظت‌کننده (کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و اسیدهای آمینه) به افزایش تحمل به تنش سرما در این گیاهان کمک کرد (۱۰) که تأییدی بر یافته‌های مطالعه حاضر است.

پرولین، کربوهیدرات، فنول و فلاونوئید کل: بیش‌ترین محتوای پرولین مربوط به تاک‌های تیمار شده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد در ترکیب با سولوپتاس ۱ درصد می‌باشد و کم‌ترین میزان محتوای پرولین مربوط به تاک‌های شاهد می‌باشد و هم‌چنین بیش‌ترین میزان محتوای کربوهیدرات مربوط به تاک‌های تیمار شده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد در ترکیب با سولوپتاس ۱ درصد می‌باشد و کم‌ترین محتوای کربوهیدرات مربوط به تاک‌های شاهد می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۳- اثر کاربرد صمغ‌هندی و سولوپتاس بر محتوای پرولین، کربوهیدرات، فنول و فلاونوئید (بر اساس وزن تر) انگور بی‌دانه سفید.

Table 3. Effect of gum ghatti and SoluPotasse application on proline, carbohydrates, phenols and flavonoids content (based on fresh weight) of Bidaneh Sefid grapevine.

تیمار Treatment	پرولین Proline ($\mu\text{mol g}^{-1}$ FW)	کربوهیدرات محلول soluble carbohydrate (mg g^{-1} FW)	فنول کل phenol (mg g^{-1} FW)	فلاونوئید کل Flavonoid (mg g^{-1} FW)
<i>P</i> -value	0.0034	0.0001	0.0004	0.0359
G1K1	1.32 ^e	23.51 ^e	7.30 ^c	3.09 ^c
G1K2	2.34 ^d	27.90 ^d	8.06 ^a	5.77 ^a
G1K3	2.70 ^{cd}	31.73 ^c	7.44 ^{bc}	5.94 ^a
G2K1	2.91 ^{bc}	22.93 ^e	7.36 ^c	3.99 ^b
G2K2	3.63 ^a	39.67 ^a	7.91 ^{ab}	6.24 ^a
G2K3	3.29 ^{ab}	36.24 ^b	7.64 ^{abc}	5.83 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری (سطح ۵ درصد) اختلاف معنی‌داری ندارند (G_۱= صمغ‌هندی ۰ درصد؛ G_۲= صمغ‌هندی ۰/۵ درصد؛ K_۱= سولوپتاس ۰ درصد، K_۲= سولوپتاس ۱ درصد، K_۳= ۲ سولوپتاس درصد)

Means with common letters in each column do not have a statistically (5% level) significant difference (G1 and G2: gum ghatti at 0 and 0.5%; K1, K2 and K3; SoluPotasse at 0, 1%, and 2%)

درختان میوه به‌منظور غلبه بر دمای پایین یکسری سازوکارهای سازگاری از خود نشان می‌دهند که امکان زنده‌مانی در مواجهه با این شرایط نامساعد را برای آن‌ها فراهم می‌کند. سازگاری به سرما مستلزم تغییر در جنبه‌های فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی مانند کربوهیدرات‌های محلول، پرولین، محتوای پروتئین‌های محلول، ترکیبات فنولی و تغییر در ساختار غشاء است که هم‌زمان با کاهش تدریجی دما در گیاهان ایجاد می‌شود (۲) با توجه به اهمیت کربوهیدرات‌های محلول در فرآیند تنظیم اسمزی، افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول در جوانه ممکن است به دلیل سازوکار تنظیم اسمزی در گیاه باشد. کربوهیدرات‌ها در القای سازوکارهای تحمل در برابر تنش بسیار مهم است، زیرا این ترکیبات به‌طور مستقیم با واکنش‌های فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتز و تنفس در ارتباط هستند (۳۶). کاربرد صمغ‌هندی منجر به افزایش محتوی کربوهیدرات در تاک‌های تیمار شده شد که ممکن است به این دلیل باشد که صمغ‌هندی عملکرد تنظیم‌کننده اسمزی یا محافظ اسمزی دارد که با سوخت‌وساز

تجمع پرولین در قسمت‌های رویشی گیاه ممکن است نشانه مهمی از تحمل به تنش باشد، زیرا چنین تجمعی، فشار اسمزی یون‌های واکوئل را متعادل می‌کند و جریان آب را حفظ می‌کند. علاوه بر این پرولین به‌عنوان یک محافظت‌کننده اسمزی می‌تواند از ساختار پروتئین‌ها محافظت کند (۳۵). افزایش میزان پرولین در گیاهان تیمار شده با صمغ‌هندی و سولوپتاس می‌تواند به این دلیل باشد که پرولین سهم قابل‌توجهی در کاهش تنش اسمزی و حفاظت از ساختارهای غشایی تحت شرایط تنش دارند. علاوه بر این، پرولین یک ترکیب غنی‌شده با نیتروژن است و گیاهان از این منبع درون‌زای نیتروژن در شرایط تنش غیرزیستی استفاده می‌کنند. در بررسی تحمل به سرمای برخی گیاهان مشخص شد که تجمع کربوهیدرات‌های محلول و پرولین در بافت جوانه طی دوره سازگاری به سرما افزایش چشمگیری پیدا می‌کند. هم‌چنین غلظت قندهای محلول همبستگی نزدیکی با تحمل یخ‌زدگی جوانه‌ها و بافت‌های شاخه تاک دارد که بیانگر ارتباط مثبت قندهای محلول و پرولین با افزایش تحمل یخ‌زدگی در انگور می‌باشد (۱، ۲).

می‌شود؛ بنابراین افزایش مقدار این ترکیبات احتمالاً به دلیل نقش آنتی‌اکسیدانی آن‌ها در برابر گونه‌های فعال اکسیژن است (۶).

محتوای آب و کلروفیل: بیشترین محتوای کلروفیل مربوط به تاک‌های تیمار شده با پتاسیم ۱ درصد می‌باشد و کم‌ترین محتوای کلروفیل مربوط به تاک‌های شاهد می‌باشد (جدول ۴). بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین ۸، محتوای آب در همه تیمارها به یک‌میزان می‌باشد (جدول ۴).

از مهم‌ترین دلایل کاهش کلروفیل، تخریب آن‌ها به وسیله گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد. از طرفی دیگر رقابت بین پیشی گرفتن آنزیم گلوتامیل‌کیناز به هنگام تنش از آنزیم گلوتامات‌لیگاز اولین آنزیم مسیر بیوسنتز کلروفیل باعث می‌شود تا پیش‌ساز گلوتامات بیش‌تر به مصرف اسید آمینه‌ها به‌ویژه پرولین برسد؛ بنابراین بیوسنتز کلروفیل با محدودیت مواجه می‌شود. صمغ‌هندی از طریق تأثیر بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و افزایش محتوای کلروفیل با افزایش سطح درون‌زای سیتوکینین‌ها که سنتز کلروفیل را تحریک می‌کند.

کربوهیدرات و افزایش تجمع کربوهیدرات‌ها تا حد زیادی به بهبود مقاومت به تنش از طریق افزایش تنظیم اسمزی، حفظ تعادل و استفاده از کربن و سایر عملکردهای حیاتی احتمالی کربوهیدرات‌ها در پاسخ به تنش کمک می‌کند (۶).

اثر صمغ‌هندی، سولوپتاس و اثر متقابل آن‌ها بر محتوای فنول‌کل و فلانویید کل معنی‌دار شد. بیش‌ترین میزان محتوای فنول مربوط به تاک‌های تیمار شده با سولوپتاس ۱ درصد می‌باشد و کم‌ترین محتوای فنول مربوط به تاک‌های شاهد می‌باشد (جدول ۴). نقش ترکیبات فنولی مربوط به خواص اکسیداسیون احیاء آن‌ها است که اثر مهمی در جذب، خشی‌سازی و حذف گونه‌های فعال اکسیژن و یا پراکسیدازهای تجزیه‌کننده دارند. انباشتگی انواع ترکیبات فنولی در شرایط تنشی می‌تواند به‌عنوان یک علامت عمل کند و برای راه‌اندازی زنجیره‌ای از واکنش‌های دیگر که در نهایت به افزایش تحمل تنش منجر می‌شوند، عمل نماید. صمغ‌هندی به‌عنوان یک محرک زیستی ممکن است دارای پتانسیل برای از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن باشد که باعث افزایش میزان ترکیبات فنولی

جدول ۴- اثر کاربرد صمغ‌هندی و سولوپتاس بر محتوای آب جوانه و کلروفیل برگ انگور بی‌دانه سفید.

Table 4. Effect of gum ghatti and SoluPotasse application on bud water content and chlorophyll index (SPAD) of Bidaneh Sefid grapevine.

شاخص کلروفیل (SPAD)	محتوای آب Water content (%)	تیمار Treatment
0.0333	0.6081	<i>P</i> -value
7.30 ^c	79.39 ^a	G1K1
8.06 ^a	79.06 ^a	G1K2
7.44 ^{bc}	78.13 ^a	G1K3
7.36 ^c	78.10 ^a	G2K1
7.91 ^{ab}	75.92 ^a	G2K2
7.64 ^{abc}	78.17 ^a	G2K3

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری (سطح ۵ درصد) اختلاف معنی‌داری ندارند (G_۱ = صمغ‌هندی ۰ درصد؛

G_۲ = صمغ‌هندی ۰/۵ درصد؛ K_۱ = سولوپتاس ۰ درصد، K_۲ = سولوپتاس ۱ درصد، K_۳ = سولوپتاس ۲ درصد)

Means with common letters in each column do not have a statistically (5% level) significant difference (G1 and G2: gum ghatti at 0 and 0.5%; K1, K2 and K3; SoluPotasse at 0, 1%, and 2%)

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به تاک‌های تیمارشده با ترکیب صمغ‌هندی ۰/۵ درصد + سولوپتاس ۲ درصد می‌باشد و کم‌ترین فعالیت کاتالاز مربوط به تاک‌های شاهد می‌باشد هم‌چنین بیش‌ترین فعالیت گایاکول پراکسیداز مربوط به تاک‌های تیمارشده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد به همراه سولوپتاس ۱ درصد می‌باشد (جدول ۵). سامانه آنتی‌اکسیدانی سلول نقش مهمی در گیاهان تحت تنش سرما ایفا می‌کند. مهم‌ترین آنزیم‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ختشی‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز، به‌عنوان آنزیم‌های خط مقدم دفاع علیه اثرات مخرب تنش سرما عمل می‌کنند. در مطالعه حاضر فعالیت هر چهار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در تاک‌های سرما دیده در مقایسه با تاک‌های باقی‌مانده در دمای معمول بیش‌تر بود. افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی یکی از سازوکارهای مهم گیاهان به‌منظور افزایش تحمل به تنش دمای پایین می‌باشد (۳۷).

جدول ۵- اثر کاربرد صمغ‌هندی و سولوپتاس بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و پروتئین جوانه انگور بی‌دانه سفید.
Table 5. Effect of gum ghatti and SoluPotasse application on the activity of bud catalase, guaiacol peroxidase enzymes and protein of Bidaneh Sefid grapevine.

پروتئین محلول Protein (mg g ⁻¹ FW)	گایاکول پراکسیداز Guaiacol peroxidase (Unit mg ⁻¹ protein)	کاتالاز Catalase (Unit mg ⁻¹ protein)	تیمار Treatment
0.0305	0.0003	0.0059	P-value
1.54 ^b	4.64 ^c	2.59 ^b	G1K1
2.09 ^{ab}	6.73 ^c	3.85 ^b	G1K2
2.21 ^{ab}	9.78 ^b	3.93 ^b	G1K3
1.76 ^{ab}	5.40 ^c	2.58 ^c	G2K1
2.52 ^a	14.16 ^a	4.14 ^b	G2K2
2.39 ^{ab}	12.61 ^{ab}	2.59 ^a	G2K3

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری (سطح ۵ درصد) اختلاف معنی‌داری ندارند (G₁ = صمغ‌هندی ۰ درصد؛ G₂ = صمغ‌هندی ۰/۵ درصد؛ K₁ = سولوپتاس ۰ درصد، K₂ = سولوپتاس ۱ درصد، K₃ = سولوپتاس ۲ درصد)

Means with common letters in each column do not have a statistically (5% level) significant difference (G1 and G2: gum ghatti at 0 and 0.5%; K1, K2 and K3; SoluPotasse at 0, 1%, and 2%)

است که می‌تواند باعث محافظت گیاه از صدمات کشنده آب‌کشیدگی شود (۳۷). پروتئین‌های محلول می‌توانند به‌عنوان عوامل تنظیم‌کننده اسمزی عمل کنند. غلظت‌های بالای پروتئین‌های محلول موجب می‌شود سلول‌ها پتانسیل اسمزی نسبتاً پایینی داشته باشند و در برابر تنش مقاومت کنند (۳۸).

اسیدآبسیزیک و جیرلین: بیش‌ترین محتوای اسیدآبسیزیک مربوط به تاک‌های تیمارشده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد ترکیب با سولوپتاس ۱ درصد می‌باشد و

بیش‌ترین محتوای پروتئین مربوط به تاک‌های تیمار شده با ترکیب صمغ‌هندی ۰/۵ درصد و سولوپتاس ۱ درصد می‌باشد و کم‌ترین محتوای پروتئین مربوط به تاک‌های شاهد می‌باشد (جدول ۵). محتوای پروتئین‌های محلول یکی از شاخص‌های مهم نشان‌دهنده وضعیت فیزیولوژیکی در سلول‌های گیاهی است. در این مطالعه محتوای پروتئین‌های محلول بعد از اعمال تنش سرما افزایش یافت. این افزایش یکی از معمول‌ترین تغییرات زیست‌شیمیایی

هم‌چنین کم‌ترین محتوای اسیدآبسیزیک مربوط به تاک‌های شاهد می‌باشد (جدول ۶). اسیدآبسیزیک نقش مؤثری در تنظیم فرآیند سازگاری به سرمای تاک‌ها دارد. افزون بر این، مشخص شده که سطح این هورمون درون‌زا با ورود تاک‌ها به مرحله رکود افزایش و بعد از رکود مقدار آن کاهش می‌یابد که بیانگر نقش اسیدآبسیزیک به‌عنوان بازدارنده شکوفایی جوانه‌های در حال خواب تاک می‌باشد (۴). اسیدآبسیزیک خواب جوانه‌ها در درختان چندساله را تنظیم می‌کند تا با شرایط نامناسب محیطی که در طول پاییز و زمستان با آن مواجه می‌شود، مقابله کند و از مریستم‌های جوان در برابر آسیب یخ‌زدگی محافظت می‌کند (۳۹). به نظر می‌رسد که صمغ‌هندی و سولوپتاس از طریق افزایش اسیدآبسیزیک سبب خواب جوانه‌ها و تأخیر در شکفتن آن‌ها در فصل بهار شده و در نتیجه از جوانه‌های انگور در مقابل سرمازدگی بهاره حفاظت کرده است. در مطالعه‌ای روی انگور رابطه نزدیکی بین محتوای اسیدآبسیزیک و خواب جوانه مشاهده شد. از سوی دیگر، تیمار اسیدآبسیزیک از شکستن خواب جوانه‌ها جلوگیری کرد که نشان می‌دهد اسیدآبسیزیک ممکن است نقش مهمی در القاء خواب داشته باشد. به‌علاوه محتوای اسیدآبسیزیک قبل از شکوفایی جوانه‌ها به اوج خود رسیده است. این ممکن است یک راهبرد محافظتی برای زنده ماندن انگور تحت سرما باشد (۱۲). از آنجایی که اسیدآبسیزیک به‌عنوان یک سیگنال درون‌زا عمل می‌کند گیاهان را قادر می‌سازد که بر شرایط نامناسب محیطی غلبه کنند و هم‌چنین

گزارش شده است که می‌تواند تنظیم رونویسی از ژن‌های ضروری کد کننده پروتئین‌های درگیر در فرآیندهای فیزیولوژیکی متنوع را کنترل کند (۴۰). به نظر می‌رسد صمغ‌هندی با افزایش سطح اسیدآبسیزیک در جوانه‌های انگور سبب القاء خواب جوانه‌های گل و افزایش تحمل به سرمای آن‌ها شده است. از طرف دیگر تغذیه برگ‌ی پتاسیم منجر به افزایش اسیدآبسیزیک درون‌زاد در جوانه انگور و افزایش تحمل به یخ‌زدگی زمستانه شده است (۱۲) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

بیش‌ترین محتوای جیبرلین مربوط به تاک‌های شاهد می‌باشد و کم‌ترین محتوای جیبرلین مربوط به تاک‌های تیمار شده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد ترکیب با سولوپتاس ۱ درصد می‌باشد (جدول ۶). هم‌زمان با گرم شدن هوا در اواخر زمستان درختان وارد مرحله خروج از سازگاری به سرما یا شکست خواب می‌شوند که در این هنگام غلظت اسیدجیبرلیک در جوانه افزایش پیدا می‌کند در این شرایط هر عاملی که مانع از افزایش غلظت این هورمون رشد در جوانه شود منجر به تأخیر در تکامل بخش‌های مختلف مریستم و شکوفایی جوانه می‌شود. در مطالعه حاضر تاک‌هایی که با ترکیب صمغ‌هندی ۰/۵ درصد + سولوپتاس ۱ درصد تیمار شده بودند محتوای اسیدجیبرلیک کم‌تری داشتند که بیانگر آن است که دست‌کم بخشی از تأخیر ایجاد شده در شکوفایی جوانه ناشی از تأثیر این ترکیبات در جلوگیری از بیوسنتز یا عمل اسیدجیبرلیک در جوانه‌های در حال رشد در ابتدای فصل می‌باشد (۴).

جدول ۶- اثر کاربرد صمغ هندی و سولوپتاس بر محتوای اسیدآبسیزیک و اسیدجیبرلیک انگور بی‌دانه سفید.

Table 6. Effect of gum ghatti and SoluPotasse application on abscisic acid and gibberellic acid content of Bidaneh Sefid grapevine.

اسیدجیبرلیک Gibberellins (nmol g ⁻¹ FW)	اسیدآبسیزیک Abscisic acid (nmol g ⁻¹ FW)	تیمار Treatment
0.0222	0.0003	<i>P</i> -value
93.05 ^a	25.86 ^d	G1K1
78.01 ^{bc}	32.56 ^c	G1K2
81.90 ^b	31.98 ^c	G1K3
79.68 ^b	27.56 ^{cd}	G2K1
73.86 ^d	47.54 ^a	G2K2
77.38 ^c	40.93 ^b	G2K3

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری (سطح ۵ درصد) اختلاف معنی‌داری ندارند (G_۱ = صمغ هندی ۰ درصد؛ G_۲ = صمغ هندی ۰/۵ درصد؛ K_۱ = سولوپتاس ۰ درصد، K_۲ = سولوپتاس ۱ درصد، K_۳ = سولوپتاس ۲ درصد)

Means with common letters in each column do not have a statistically (5% level) significant difference (G1 and G2: gum ghatti at 0 and 0.5%; K1, K2 and K3; SoluPotasse at 0, 1%, and 2%)

به‌طورکلی، جیبرلین و اسیدآبسیزیک نقش متضاد در تنظیم رشد گیاه دارند. جیبرلین برای تقویت رشد گیاه و شکستن خواب جوانه در نظر گرفته می‌شود و اسیدآبسیزیک مانع رشد گیاه می‌شود (۳۹). هورمون‌های درون‌زا گیاهی به‌ویژه اسیدآبسیزیک، جیبرلین و اکسین جنبه‌های زیادی از رشد و نمو درختان از جمله القای خواب و شکوفایی جوانه را واسطه می‌کنند (۳).

گیاهان با کاهش غلظت جیبرلین از طریق تنش اکسیداتیو بالاتر و تجمع مواد اسمزی در برابر تنش سرما مقاومت نشان می‌دهد (۴۱).

پوترسین، اسپرمیدین، اسپرمین: براساس نتایج، بیش‌ترین محتوای اسپرمین مربوط به تاک‌های تیمار شده با سطح دوم صمغ‌هندی با ترکیب با سطح دوم سولوپتاس بود (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر کاربرد صمغ هندی و سولوپتاس بر محتوای پوترسین، اسپرمین و اسپرمیدین انگور بی‌دانه سفید.

Table 7. Effect of gum ghatti and SoluPotasse application on putrescine, spermine, and spermidine content of Bidaneh Sefid grapevine.

اسپرمیدین Spermidine (μmol g ⁻¹ FW)	اسپرمین Spermine (μmol g ⁻¹ FW)	پوترسین Putrescine (μmol g ⁻¹ FW)	تیمار Treatment
0.0001	0.0001	0.0012	<i>P</i> -value
26.84 ^c	15.71 ^{cd}	57.12 ^d	G1K1
35.01 ^a	15.78 ^{cd}	63.56 ^{bc}	G1K2
30.16 ^{abc}	19.50 ^c	61.11 ^c	G1K3
29.34 ^{bc}	14.45 ^d	58.89 ^d	G2K1
34.32 ^a	34.46 ^a	81.97 ^a	G2K2
32.51 ^{ab}	30.21 ^b	70.42 ^b	G2K3

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری (سطح ۵ درصد) اختلاف معنی‌داری ندارند (G_۱ = صمغ هندی ۰ درصد؛ G_۲ = صمغ هندی ۰/۵ درصد؛ K_۱ = سولوپتاس ۰ درصد، K_۲ = سولوپتاس ۱ درصد، K_۳ = سولوپتاس ۲ درصد)

Means with common letters in each column do not have a statistically (5% level) significant difference (G1 and G2: gum ghatti at 0 and 0.5%; K1, K2 and K3; SoluPotasse at 0, 1%, and 2%)

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج کاربرد صمغ‌هندی ۰/۵ درصد در ترکیب با سولوپتاس ۲ درصد زمان باز شدن جوانه را تا ۶ روز در مقایسه با تاک‌های شاهد به تأخیر انداخت. با این حال بیش‌ترین میزان تأثیر بر روز تا گلدهی (۴ روز) مربوط به تاک‌های تیمارشده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد به‌تنهایی بود. کم‌ترین محتوای نشت یونی، محتوای مالون‌دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن مربوط به تاک‌های با ترکیب صمغ‌هندی ۰/۵ درصد + سولوپتاس ۱ درصد بود. به‌علاوه محلول‌پاشی صمغ‌هندی ۰/۵ درصد در ترکیب با سولوپتاس ۲ درصد ضمن افزایش تنظیم‌کننده‌های اسمزی پرولین، پروتئین، کربوهیدرات و قندهای محلول و هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدانی و فنول کل منجر به کاهش پراکسیداسیون لیپیدی، تجمع پراکسید هیدروژن و کاهش نشت یونی و افزایش تحمل به سرما در جوانه تاک‌های انگور شد؛ بنابراین محلول‌پاشی صمغ‌هندی ۰/۵ درصد در ترکیب با سولوپتاس ۲ درصد می‌تواند به‌عنوان راهکاری جهت اجتناب از سرمای دیررس بهاره در تاک‌های انگور بی‌دانه سفید استفاده شود. در کل کاربرد ترکیبی صمغ‌هندی به‌عنوان یک پوشش پلی‌ساکاریدی در ترکیب با سولوپتاس به‌عنوان یک منبع پتاسیم با تمدید زمان خواب و حفظ غلظت اسیدآسیزیک و قندهای محلول منجر به تأخیر در شکوفایی جوانه و تحمل به سرمای بهاره انگور شد.

هم‌چنین کم‌ترین محتوای این پلی‌آمین مربوط به تاک‌های تیمارشده با صمغ‌هندی ۰/۵ درصد به‌تنهایی بود که البته با تاک‌های تیمارشده با سولوپتاس ۱ درصد به‌تنهایی و هم‌چنین تاک‌های شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین محتوای اسپرمیدین مربوط به تاک‌های تیمارشده با سولوپتاس ۲ درصد به‌تنهایی بود که البته از لحاظ آماری تاک‌های تیمارشده با صمغ ۰/۵ درصد در ترکیب با سولوپتاس ۱ درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت و هم‌چنین کم‌ترین محتوای اسپرمیدین مربوط به تاک‌های شاهد بود (جدول ۷). پلی‌آمین‌ها به دلیل ماهیت پلی‌کاتیونی که دارند با پکتین‌های دیواره سلول متصل شده و آن‌ها از آسیب گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کنند. پلی‌آمین‌ها ممکن است به‌عنوان مولکول سیگنالی عمل کنند که با تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش غلظت پراکسید هیدروژن از طریق حذف گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. از سوی دیگر صمغ‌هندی با افزایش غلظت پلی‌آمین جوانه، سبب افزایش اسمولیت‌های درون‌زا شده و از سامانه فتوسنتزی در برابر آسیب غشایی ناشی از ROS محافظت کند. افزایش محتوای پلی‌آمین‌های جوانه در اثر کاربرد سولفات پتاسیم در انگور بی‌دانه سفید در طی مرحله سازگاری به سرما مشاهده شده است (۱۲) که تأییدی بر یافته‌های مطالعه حاضر است.

منابع

1. Keller, M. (2015). *The science of grapevines. The Science of Grapevines. Anatomy and Physiology*, 2nd ed.; Elsevier Academic Press: London, UK.
2. Karimi, R. (2014). Evaluation of the effect of nutrition and abscisic acid on grape cold tolerance. Ph.D Dissertation in Horticulture. BuAli Sina University, pp 205. [In Persian]
3. Karimi, R. (2019). Spring frost tolerance increase in Sultana grapevine by early season application of calcium sulfate and zinc sulfate. *Journal of Plant Nutrition*, 42(19), 2666-2681.
4. Karimi, R. (2020). Cold hardiness evaluation of 20 commercial table grape (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 433-450.

5. Beheshti Rooy, S. S., Hosseini Salekdeh, G., Ghabooli, M., Gholami, M., & Karimi, R. (2017). Cold-induced physiological and biochemical responses of three grapevine cultivars differing in cold tolerance. *Acta physiologiae plantarum*, 39, 1-13.
6. Eshghi, S., Karimi, R., Shiri, A., Karami, M., & Moradi, M. (2021). The novel edible coating based on chitosan and gum ghatti to improve the quality and safety of 'Rishbaba' table grape during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(4), 3683-3693.
7. Juurakko, C. L., & Walker, V. K. (2021). Cold acclimation and prospects for cold-resilient crops. *Plant Stress*, 2, 100028.
8. Quitadamo, F., De Simone, V., Beleggia, R., & Trono, D. (2021). Chitosan-induced activation of the antioxidant defense system counteracts the adverse effects of salinity in durum wheat. *Plants*, 10(7), 1365.
9. Singh, R., Priya, H., Kumar, S. R., Trivedi, D., Prasad, N., Ahmad, F., & Rana, S. S. (2024). Gum Ghatti: A Comprehensive Review on Production, Processing, Remarkable Properties, and Diverse Applications. *ACS omega*, 9(9), 9974-9990.
10. Wang, A., Li, J., Al-Huqail, A. A., Al-Harbi, M. S., Ali, E. F., Wang, J., & Eissa, M. A. (2021). Mechanisms of chitosan nanoparticles in the regulation of cold stress resistance in banana plants. *Nanomaterials*, 11(10), 2670.
11. Safamanesh, H. (2022). Effect of foliar spray of chitosan on budbreak time and spring cold tolerance of Yaghooti grapevine (*Vitis vinifera* L.). MSc Thesis in Horticulture, Malayer University, pp, 105. [In Persian]
12. Karimi, R. (2017). Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. *Scientia Horticulturae*, 215, 184-194.
13. Waraich, E. A., Ahmad, R., Halim, A., & Aziz, T. (2012). Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(2), 221-244.
14. Marschner, H. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants. Second edition, San Diego: Academic Press.
15. Hafez, Y., Attia, K., Alamery, S., Ghazy, A., Al-Doss, A., Ibrahim, E., & Abdelaal, K. (2020). Beneficial effects of biochar and chitosan on antioxidative capacity, osmolytes accumulation, and anatomical characters of water-stressed barley plants. *Agronomy*, 10(5), 630.
16. ALKahtani, M. D., Attia, K. A., Hafez, Y. M., Khan, N., Eid, A. M., Ali, M. A., & Abdelaal, K. A. (2020). Chlorophyll fluorescence parameters and antioxidant defense system can display salt tolerance of salt acclimated sweet pepper plants treated with chitosan and plant growth promoting rhizobacteria. *Agronomy*, 10(8), 1180.
17. Campos, P. S., nia Quartin, V., chicho Ramalho, J., & Nunes, M. A. (2003). Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of Coffea sp. plants. *Journal of Plant Physiology*, 160(3), 283-292.
18. Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189-198.
19. Velikova, V., & Loreto, F. (2005). On the relationship between isoprene emission and thermotolerance in Phragmites australis leaves exposed to high temperatures and during the recovery from a heat stress. *Plant, Cell & Environment*, 28(3), 318-327.
20. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
21. Bates, L. S., Waldren, R. P. A., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.

22. Velioglu, Y., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 4113-4117.
23. Yemm, E. W., & Willis, A. (1954). The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal*, 57(3), 508.
24. Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and cell physiology*, 22(5), 867-880.
25. Bergmeyer, N. (1970). Methoden der Enzymatischen Analyse, vol 1. AkademieVerlag, Berlin, pp. 636-647.
26. Herzog, V., & Fahimi, H. D. (1973). Determination of the activity of peroxidase. *Analytical Biochemistry*, 55, 554-562.
27. Walter, H. J. P., & Geuns, J. M. (1987). High speed HPLC analysis of polyamines in plant tissues. *Plant Physiology*, 83(2), 232-234.
28. Li, Z., Zhao, X., Sandhu, A. K., & Gu, L. (2010). Effects of exogenous abscisic acid on yield, antioxidant capacities, and phytochemical contents of greenhouse grown lettuces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(10), 6503-6509.
29. Karimi, R., Saberi, A., & Khadivi, A. (2021). Effects of foliar spray of agricultural grade mineral oil in springtime, in combination with potassium and calcium sulfates on the phenological and biophysical indices of clusters, and foliar nutritional levels in grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Sultana (Id. Thompson seedless, Sultanina). *Biological Research*, 54.
30. Ershadi, A., Karimi, R., & Mahdei, K. N. (2016). Freezing tolerance and its relationship with soluble carbohydrates, proline and water content in 12 grapevine cultivars. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(1), 1-10.
31. Sarikhani, H., Haghi, H., Ershadi, A., Esna-Ashari, M., & Pouya, M. (2014). Foliar application of potassium sulphate enhances the cold-hardiness of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 89(2), 141-146.
32. Shin, K. S., Chakrabarty, D., & Paek, K. Y. (2002). Sprouting rate, change of carbohydrate contents and related enzymes during cold treatment of lily bulblets regenerated in vitro. *Scientia Horticulturae*, 96(1-4), 195-204.
33. Kumaraswamy, R. V., Saharan, V., Kumari, S., Choudhary, R. C., Pal, A., Sharma, S. S., & Biswas, P. (2021). Chitosan-silicon nanofertilizer to enhance plant growth and yield in maize (*Zea mays* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 159, 53-66.
34. Cansev, A., Gulen, H., Celik, G., & Eris, A. (2012). Alterations in total phenolic content and antioxidant capacity in response to low temperatures in olive (*Olea europaea* L. "Gemlik"). *Plant Arch*, 12(1), 489-494.
35. Attia, M. S., Osman, M. S., Mohamed, A. S., Mahgoub, H. A., Garada, M. O., Abdelmouty, E. S., & Abdel Latef, A. A. H. (2021). Impact of foliar application of chitosan dissolved in different organic acids on isozymes, protein patterns and physio-biochemical characteristics of tomato grown under salinity stress. *Plants*, 10(2), 388, 1-23.
36. Chien, P. J., Sheu, F., & Yang, F. H. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 225-229.
37. Karimi, R., Ershadi, A., Rezaei Nejad, A., & Khanizadeh, S. (2016). Absciscic acid alleviates the deleterious effects of cold stress on 'Sultana' grapevine (*Vitis vinifera* L.) plants by improving the antioxidant activity and photosynthetic capacity of leaves. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 91(4), 386-395.

38. Roussos, P. A., Ntanos, E., Tsafouros, A., & Denaxa, N. K. (2020). Strawberry physiological and biochemical responses to chilling and freezing stress and application of alleviating factors as countermeasures. *Journal of Berry Research*, 10(3), 437-457.
39. Wang, D., & Gao, Z. (2016). Expression of ABA metabolism-related genes suggests similarities and differences between seed dormancy and bud dormancy of peach (*Prunus persica*). *Frontiers in Plant Science*, 6, 170443.
41. Ahmad, B., Zaid, A., Sadiq, Y., Bashir, S., & Wani, S. H. (2019). Role of selective exogenous elicitors in plant responses to abiotic stress tolerance. *Plant Abiotic Stress Tolerance: Agronomic, Molecular and Biotechnological Approaches*, 273-290.
42. Zeng, Y. H., Zahng, Y. P., Xiang, J., Hui, W. U., Chen, H. Z., Zhang, Y. K., & Zhu, D. F. (2016). Effects of chilling tolerance induced by spermidine pretreatment on antioxidative activity, endogenous hormones and ultrastructure of indica-japonica hybrid rice seedlings. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(2), 295-308.

