Journal of Vegetables Sciences, Autumn & Winter 2023, Vol 6, No 12 (2), Pages 17-28

doi: 10.22034/iuvs.2021.530193.1160 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Effect of Foliar Application of Salicylic Acid on the Chilling Injury of Cucumber Fruit During the Storage

Mir Amir Hosseini[1], Rahim Naghshiband Hassani[2*] and Fariborz Zaree Nahandi[3]

1- M.Sc. Graduate, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
3- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.

[*]**Corresponding author:** rahnaghsh@yahoo.com

(**Received:** 13 May 2021 **Revised:** 16 June 2021 **Accepted:** 9 August 2021)

Extended Abstract

1. Introduction: Fresh cucumber fruits are perishable and their quality is impacted by abiotic stresses. During postharvest life, due to internal and external factors, chemical and physical changes occur in fresh fruits, which may result in serious losses in nutritional quality. Chilling injury (CI) as an abiotic stress during storage of vegetables, also mostly increases susceptibility to decay, leads to economic losses. Salicylic acid (SA), a natural and safe phenolic compound, has been found to generate a wide range of metabolic and physiological responses in plants and exhibited a high potential in controlling postharvest losses of horticultural crops. The mechanisms of SA treatment in alleviating CI were extensively, which could be attributed to enhancing membrane integrity and antioxidant system activity. The goal of this study were to examine the effects of SA on controlling postharvest CI of cucumber fruit, with investigate the chlorophyll fluorescence by SA in reducing damage on cell membranes integrity in relation to chilling injury of the cucumber fruit during cold storage preservation.

2. Materials and Methods: This study is a factorial experiment in a completely randomized design in three replications in private greenhouse located in Marand city in mid-August 2017. The factors of this experiment was the different concentrations of salicylic acid (0, 0.25, 0.5 and 1 mM) and distilled water during (0, 6 and 12) days of storage, pre-storage and post-storage on greenhouse cucumber of Nagin variety were studied on fruit weight loss, total soluble solids (TSS), amount of fluorescence chlorophyll, ion leakage, rate of frost damage. Traits were evaluated before, between and after storage. In order to investigate the effects of storage of fruits, they were transferred to the refrigerator, and after 12 days of storage with comparison of the fruits of treated plants with control fruit, Effects of pre-harvest salicylic acid foliar application on Cucumbers were evaluated for exposure to chilling.

3. Results and Discussion: The results showed that different salicylic acid levels were effective in reducing fruit weight, and the highest weight loss (6.64%) was observed in distilled water treatment. The effect of SA treatment in reducing weight loss of fruits might be due to the fact that SA suppressed the transpiration of cucumber fruit by closing stomata of the treated fruit. In this experiment fruit treated with SA developed significantly lower chilling injury than control fruits. The suppression effect of salicylic acid treatment in SA treated cucumber fruit might be due to delaying the ripening process and lowering the incidence of chilling injury. The highest soluble solids (3.25 Brix) were achieved in the middle part of storage in 0.25 mM of SA treatment fruits and the lowest TSS (1.38 Brix) was observed before storage in 0.5 mM SA. The highest levels of Fv/Fm (0.81) was observed in middle of the storage (0) and control treatment and the lowest (0.67) in post storage (1 mM). Therefore, storage had a negative effect on the chlorophyll fluorescence index. A significant decrease in Fv/Fm, implying suppressed photochemical activity, for cucumbers stored at chilling temperatures of 4˚C and 7˚C, compared to those at 10˚C and 13˚C.The highest level of chilling damage in control treatment (distilled water) and the lowest was in the level of 1 mM salicylic acid. The highest level of ion leakage was in the treatment with distilled water, and the lowest level was at the level of 0.5 mM salicylic acid. An increase in ion leakage indicates leakiness of ions due to a loss of membrane integrity. This is an inherent feature of plants which are exposed to stresses such as low temperature.

4. Conclusion: Cold storage preservation induced chilling injury in cucumber fruit. The results showed that pretreatment with salicylic acid at a concentration of 0.5 mM can be commercially effective to improve the parameters of weight and performance, growth and protection from stress. The use of salicylic acid, which is known as an internal signal molecule, is mainly discussed in the tolerance of natural stresses in plants, can increase the plant's resistance to stresses and improve the growth and development of plants. These results suggested that SA as a postharvest tool could effectively alleviate chilling injury and enhance chilling tolerance of cucumber fruit. However, further studies are needed to explore the commercial use of SA in alleviating CI of cucumber fruit.

Keywords: Chilling stress, Greenhouse cucumber, Postharvest, Salicylic acid.

Citation: Hosseini, M. A., Naghshiband Hassani, R. & Zaree Nahandi, F. (2022). Effect of foliar application of salicylic acid on the chilling injury of cucumber fruit during the storage. *Journal of Vegetables Sciences*, 6(2), 17-28. doi: 10.22034/iuvs.2021.530193.1160.

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال ۶، دوره ۱۲، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۲۸-۱۷

شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/iuvs.2021.530193.1160

تأثیر کاربرد محلول‌پاشی قبل از برداشت با اسید سالیسیلیک روی آسیب سرمازدگی میوه خیار در طول دوره انبارمانی

میر امیر حسینی[۱]، رحیم نقشی‌بند حسنی[۲*] و فریبرز زارع‌نهندی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

[*]نویسنده مسئول: rahnaghsh@yahoo.com

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۰/۰۲/۲۳ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۰/۰۳/۲۶ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۰/۰۵/۱۸)

چکیده

میوه خیار از میوه‌های با فسادپذیری بالا بوده که کیفیت آن تحت تأثیر عوامل تنش‌های غیرزیستی قرار می‌گیرد. در طول عمر پس از برداشت در اثر عوامل درونی و بیرونی تغییرات فیزیکی و شیمیایی در میوه خیار ایجاد می‌شوند که منجر به بروز مشکلات جدی در کیفیت خوراکی آن می‌شود. آسیب سرمازدگی به‌عنوان یک تنش غیرزیستی در طول دوره انبارمانی سبزیجات منجر به افزایش ضایعات ناشی از فساد محصول شده که سبب کاهش ارزش اقتصادی آن‌ها می‌شود. این مطالعه به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ی تجاری واقع در شهرستان مرند در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک (۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و آب مقطر در روزهای انبارمانی (صفر، شش و ۱۲ روز) ، قبل از انبارمانی و پس از انبارمانی بر روی خیار گلخانه‌ای رقم ناگین بودند. وزن میوه، میزان مواد جامد محلول، میزان کلروفیل فلورسنس، نشت یونی، میزان صدمات سرمازدگی قبل از انبارمانی، مابین انبارمانی و پس از آن مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفتند. به‌منظور بررسی اثرات انبارمانی میوه‌ها به سردخانه منتقل شدند و پس از ۱۲ روز انبارمانی با مقایسه میوه گیاهان تیمار شده با میوه شاهد، اثرات محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک قبل از برداشت روی خیار در معرض سرمازدگی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سطوح مختلف اسید سالیسیلیک بر روی کاهش وزن میوه مؤثر بوده است و بیشترین کاهش وزن میوه (۶/۶۴ درصد) در تیمار استفاده از آب مقطر و بیشترین مواد جامد محلول (۳/۲۵ درصد بریکس) در زمان مابین انبارمانی در تیمار ۰/۲۵ میلی‌مولار و کمترین (۱/۳۸ درصد بریکس) در تیمار ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، بیشترین میزان شاخص کلروفیل فلورسنس (۰/۸۱) در زمان مابین انبارمانی در تیمار شاهد و آب مقطر و کمترین (۰/۶۷) در تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بعد از انبارمانی مشاهده گردید، بنابراین انبارمانی تأثیر منفی بر روی شاخص کلروفیل فلورسانس داشت. بیشترین میزان خسارت سرمازدگی در تیمار آب مقطر و کمترین آن در سطح ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود. بیشترین میزان نشت‌یونی در تیمار آب مقطر و تیمار ۰ میلی مولار اسید سالیسیلیک و کمترین میزان آن در سطح ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود. نتایج نشان داد که پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار می‌تواند به‌صورت تجارتی برای بهبود پارامترهای وزن و عملکرد، رشد و محافظت از تنش‌ها مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: آسیب سرمایی، خیار گلخانه‌ای، پس از برداشت، اسید سالیسیلیک.

استناد: حسینی، م. ا.، نقشی‌بند حسنی، ر. و زارع‌نهندی، ف. (۱۴۰۱). اثر کاربرد محلول‌پاشی قبل از برداشت با اسید سالیسیلیک روی آسیب سرمازدگی میوه خیار در طول دوره انبارمانی. *علوم سبزی‌ها*، ۶ (۲)، ۲۸-۱۷.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

امروزه بشر به‌دنبال بررسی اثرات برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر عملکرد و حفاظت گیاهان از تنش‌های مختلف فیزیولوژیک است. هر چند که امروزه آب به‌عنوان مهمترین عامل محدودکننده تولید در گیاهان مطرح است، اما دمای پایین را می‌توان به‌عنوان شاخص اصلی در تعیین قلمرو گسترش و پراکنش گیاهان محسوب کرد (Iba, 2002). در واقع می‌توان الگوی گسترش رشد گیاهان در پهنه گیتی را با مناطق دمایی متصور بر کره زمین منطبق دانست. سرما در زمره یکی از زیان‌بارترین عوامل خسارت‌زا به‌شمار می‌رود، بنابراین توجه بسیاری از پژوهشگران بیشتر نقاط دنیا به این زمینه معطوف شده است. روش‌های مطالعه تحمل به سرما از تنوع گسترده‌ای برخوردار بوده چرا که پتانسیل ژنتیکی گونه‌ها و ارقام در تحمل سرما و راهکار آنان برای اجتناب یا تحمل آن از طیف گسترده‌ای برخوردار است و این در حالی است که در پیکره گیاه نیز اندام‌ها، بافت‌ها و سلول‌های متفاوت در تظاهر این پتانسیل ژنتیکی به شیوه‌های متنوعی فعالیت دارند (Limin & Fowler, 2006). همچنین در شرایط مزرعه، به‌طور معمول تنش سرما با دیگر تنش‌های زیستی و غیرزیستی درهم می‌آمیزد به‌طوری که دیدگاه‌ها و تئوری‌های متعددی از سوی اندیشمندان پیرامون مقوله تحمل سرما پیشنهاد شده است.

میوه خیار با نام علمی *Cucumis sativus* از خانواده Cucurbitaceae به‌عنوان یکی از مواد غذایی در اکثر کشورها، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش قیمت این کالا در بازار بین‌المللی، اهمیت دستیابی به خودکفایی این محصول، روزبه‌روز افزایش بیشتری پیدا می‌کند. در گزارش سالیانه انتشارات سازمان خواربار جهانی (فائو)، اظهار شده که عملکرد خیار در واحد سطح، در کشور ایران از متوسط تولید جهانی پایین‌تر بوده است. در بین مواردی که کارشناسان، این سازمان به‌عنوان دلایل پایین بودن عملکرد این محصول در کشور ایران ارائه داده‌اند، ناکافی بودن میزان دانش فنی کشاورزان و اطلاعات کم در مورد نحوه انبارداری مناسب می‌باشد. در طول انبارداری و قرار گرفتن در سردخانه معمولاً گیاهان و به‌خصوص گیاهان که از قبل در معرض سرما قرار گرفته باشند و حساس به سرما که در معرض خسارت سرما و یخزدگی قرار گرفته بودند، همزمان با آب شدن یخ‌ها، به سلول‌ها و بافت‌های این گیاه آسیب رسیده و کیفیت و بازارپسندی خود را از دست می‌دهد. سرمازدگی باعث تجمع گونه‌های اکسیژن فعال مانند پراکسید هیدروژن در سلول‌های گیاهی و آسیب رساندن به لیپیدهای غشاء، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مهمترین ترکیبات، در سیستم‌های حذف کردن گونه‌های فعال اکسیژن هستند (Gill & Tuteja, 2010). همچنین گیاهان عالی برای جلوگیری از ایجاد خسارت توسط تنش دمایی پایین، توانایی تغییر الگو تظاهر برخی ژن‌های مؤثر در ایجاد تحمل را دارند (Fowler *et al*., 1996). روند سازش در این گیاهان مستلزم برخی تغییرات در فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی است که بسته به نوع و مرحله نموی گیاه، این توانایی در جهت ایجاد تحمل به تنش دمایی پایین تحمل است (Kolesnichenko *et al*., 2003).

با وجود انجام برخی مطالعات در رابطه با ارتباط صفات نموی با تحمل به سرما و انبارمانی در ژنوتیپ‌ها و گیاهان مختلف گزارش‌های مختلفی به‌دست آمده است (Herman *et al*., 2006). به‌نظر می‌رسد نتایج به‌دست آمده شدیداً تحت تأثیر آنزیم‌ها و هورمون‌های گیاهی هستند.

گیاهان در پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده پروتئین‌هایی را تولید می‌کنند. تعداد زیادی از این پروتئین‌ها به‌وسیله فیتوهورمون‌هایی مانند آبسیزیک اسید (Jin *et al*., 2000) و اسید سالیسیلیک (Hoyos & Zhang, 2000; Yusuf, 2013) فعال می‌شوند. اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک مولکول سیگنال درونی شناخته شده که عمدتاً در تحمل تنش‌های طبیعی در گیاهان مورد بحث قرار می‌گیرد. اسید سالیسیلیک توسط تعداد زیادی از گیاهان سنتز می‌شود (Ding *et al*., 2002) که تحت فشار عوامل نامطلوب غیرزنده، در بافت گیاهان انباشته می‌شود و در افزایش مقاومت به

تنش‌ها از جمله تنش سرما همکاری می‌کند (Saltveit *et al.*, 2002). این آزمایش با هدف اثرات اسید سالیسیلیک در طی مراحل قبل از برداشت در تنش‌های محیطی پس از برداشت که موجب ضایعات، در مصرف میوه‌ها خصوصاً خیار می‌گردد، طراحی گردید.

مواد و روش‌ها

خیار گلخانه‌ای F1 رقم ناگین در گلخانه شخصی (خاکی و پلاستیکی) حسینی واقع در شهرستان مرند- آذربایجان شرقی- ایران در اواخر مرداد ماه کشت شد و نشاءها چهار روز بعد به زمین اصلی در گلخانه منتقل شدند. شرایط گلخانه تا حدودی قابل کنترل بوده و از لحاظ دمایی ۱۸ درجه سانتی‌گراد شبانه و ۲۵ درجه سانتی‌گراد روزانه و رطوبت نسبی ۶۵ درصد بود. تیمارها شامل سه غلظت (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و آب مقطر و دوره‌های مختلف انبارمانی (صفر، ۶ و ۱۲ روز) بودند.

میوه خیار از اواخر مهرماه زمانی که تعداد ۱۳ برگ روی گیاه باشد قابل برداشت خواهد بود. تیمارها سی‌ام مهر ماه روی بوته‌های خیاری که در یک ردیف و در شرایط یکسانی از جهت تغذیه، نور و تهویه قرار دارند اعمال گشت.

اسید سالیسیلیک دارای وزن مولکولی ۱۳۸/۱۲ گرم بر مول می‌باشد که غلظت‌های ۰/۲۵ ۰/۵ و ۱ میلی‌مول به‌ترتیب با ۰/۰۳۴ گرم ، ۰/۶۹ گرم و ۰/۱۳۸ گرم از آن تهیه شد. اسید سالیسیلیک در ۵-۲ سی‌سی اتانول ۹۶ درصد حل گشته و غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی‌مول (pH=۶-۶/۵)، با آب مقطر به‌میزان لازم خواهد رسید. لازم به ذکر است که محلول به‌مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد.

جذب برگ‌های پایینی در محلول‌پاشی، سریع‌تر و مؤثرتر اتفاق می‌افتد. محلول‌پاشی در این تحقیق در مرحله ۱۳ برگی و دو هفته قبل از برداشت صورت گرفت، طوری‌که با یک سم‌پاش اتومایزر تا مرحله چکه کردن از گیاه ادامه داشت.

برداشت خیار موقعی خواهد بود که میوه‌ها صاف، سبز تیره، ترد و هم‌اندازه باشند و اندازه میوه ضریب و شاخص مناسبی برای برداشت نمی‌باشد، چیدن با بریدن دمگل میوه به کشیدن یا پیچاندن میوه در حین برداشت ترجیح داده شد. میوه‌های خیار برداشت شده در ظروف سوراخ‌دار با سوراخ‌های یک سانتی‌متری و ۱۵ میوه (پنج نمونه در سه تکرار) گذاشته شده و در هفت درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد انبار گردید.

برای اندازه‌گیری کاهش وزن، میوه‌ها دو بار یکی قبل از انبارمانی و دیگری در پایان انبارمانی توزین شده و کاهش وزن تازه به‌صورت درصد وزن اولیه محاسبه شد.

اندازه‌گیری نشت الکترولیتی به‌وسیله روش Yang و همکاران (۲۰۱۱) ارزیابی شد. اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل که شاخص مناسبی برای سرمازدگی می‌تواند باشد با استفاده از یک فلورومتر (Hansatech مدل Handy PEA) اعمال می‌گردد. اولین سنجش برای همه خیارها در بازه زمانی ۳۰ دقیقه پس از سرد کردن اولیه صورت گرفت و متعاقباً سنجش‌هایی قبل از انبارمانی و شش روز پس از انبارمانی و در انتهای انبارمانی انجام پذیرفت و سپس با استفاده از F_{00} (فلورسنس حداقلی)، Fm (فلورسنس حداکثری) و رابطه Fv/Fm (Fv=Fm- F0) در دو نقطه مقابل نزدیک مرکز هر میوه خیار مورد ارزیابی قرار گرفت (Harris., 2008). فلورسنس کلروفیل بین نقاط خیار به‌صورت متغیری بازتاب داشته است، چنانچه Fv/Fm در مناطق روشن‌تر میوه نسبت به نقاط متقابل آن بالاتر بود (DeEll *et al.*, 1999).

برآورد صدمات سرمازدگی در یک مقیاس به‌طور بصری صورت می‌گیرد به‌طوری‌که در صورت وجود هیچ گونه نشانه از فرورفتگی سطحی و لکه‌های آبکی تیره اعداد (۰)؛ ۱(۲۵ درصد علائم سرمازدگی)، ۲ (۵۰-۲۵ درصد علائم سرمازدگی)، ۳ (۷۵-۵۱ درصد علائم سرمازدگی) ۴ (۱۰۰ درصد علائم سرمازدگی) به آن تعلق گرفت. در نهایت با استفاده از فرمول زیر صدمات سرمازدگی قابل ارزیابی بود:

$$\Sigma(A\times B)/Z$$

A: سطح مقیاس علائم سرمازدگی، B: تعداد میوه در هر سطح و Z: تعداد کل میوه‌ها در هر واحد آزمایشی

مواد جامد محلول کل خیار در ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از یک رفراکتومتر دیجیتالی دقیق سلولی، (Hicksville, Inc NSG, Atayo ژاپن) مورد سنجش قرار گرفت. محتویات مواد جامد به‌صورت یک درصد از مقیاس بریکس (Brix) بیان شد. که در سه زمان متفاوت در طول دوره انبارمانی ارزیابی شد.

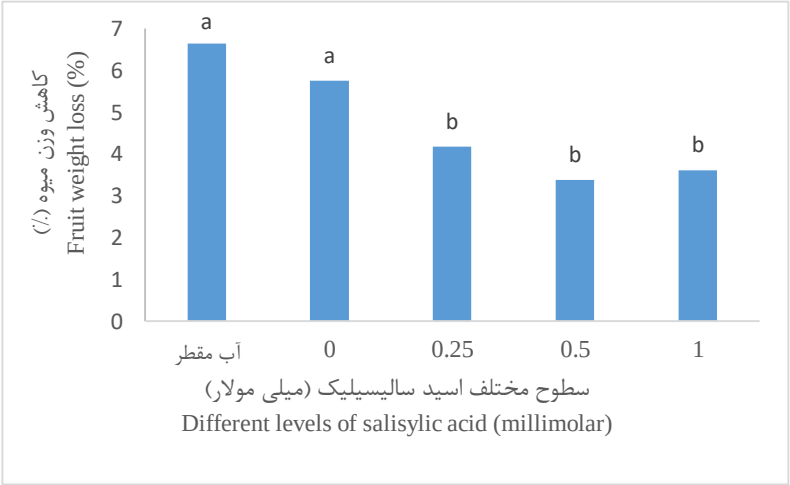
آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نسخه ۶ نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر اسید سالیسیلیک و سرما بر روی کاهش وزن میوه

مقایسه میانگین نشان داد که بالاترین کاهش وزن میوه (۶/۶۴ درصد) در تیمار استفاده از آب مقطر و کمترین وزن میوه (۳/۳۸ درصد) در تیمار ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌دست آمد (شکل ۱).

کاهش عملکرد گیاه در شرایط سرما ممکن است به‌دلایل مختلفی از جمله کاهش سطح برگ، میزان کلروفیل، اختلال در فتوسنتز و انتقال مواد پرورده، افزایش تنفس و اختلال در جذب مواد غذایی از خاک باشد. طی مطالعاتی توسط محققان گزارش شده است که کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک ممکن است اثرات مخرب عوامل استرس‌زای مختلف را کاهش دهد که این حفاظت می‌تواند در ظرفیت فتوسنتزی بالاتر آشکار شود (Radwan *et al.*, 2012; Horvath *et al.*, 2007; Sasheva *et al.*, 2013; Tirani *et al.*, 2013).



شکل ۱- اثر متقابل سطوح مختلف اسید سالیسیلیک بر روی کاهش وزن میوه

Figure 1- Interaction effect of different levels of salicylic acid on fruit weight loss

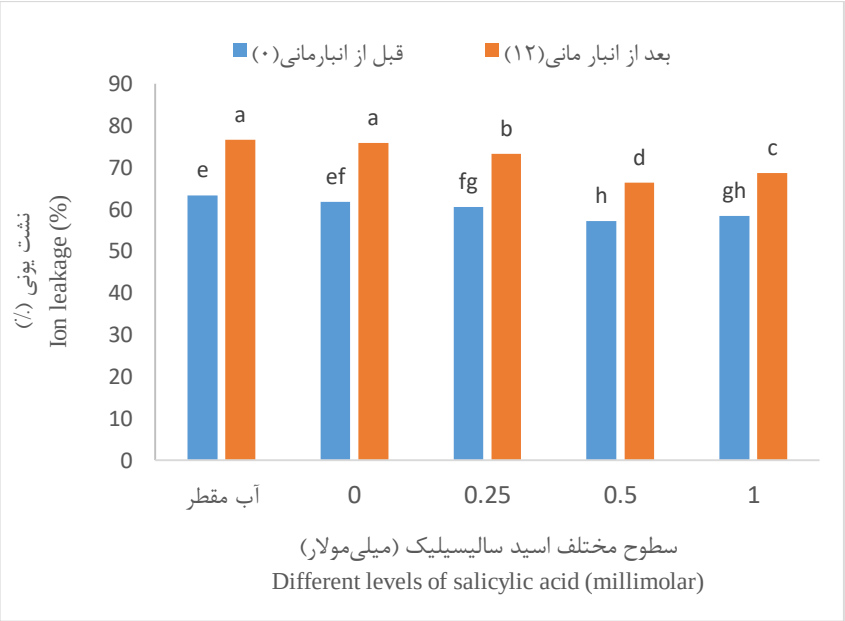
تأثیر اسید سالیسیلیک بر روی نشت‌یونی

نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین نشت‌یونی در زمان پایان انبارمانی در تیمار آب مقطر و شاهد و کمترین نشت‌یونی در تیمار ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در قبل از انبارمانی مشاهده گردید (شکل ۲).

غشاهای بیولوژیک اولین هدف تنش‌های غیرزنده در گیاهان هستند (Bajji *et al.*, 2002). در نتیجه صدمه به غشای سلولی گیاه، تراوایی افزایش یافته و

نشت الکتریکی از سلول باعث پژمردگی گیاه می‌شود (Ghamarnia & Gowing, 2005). در این تحقیق اگرچه با انبارمانی شدت تنش نشت الکترولیتی غشاء زیاد شد؛ اما کاربرد اسید سالیسیلک در این شرایط سبب بهبود غشاء و در نتیجه کاهش نشت الکترولیت شد. تنش سرما از طریق تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن طی فرآیند تنفس و فتوسنتز موجب آسیب به پروتئین‌ها، چربی‌ها، اسیدهای نوکلئیک و غشاء سلولی شده و در نتیجه موجب مرگ سلولی می‌شود (Li *et al.*, 2016). به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک از طریق افزایش یکپارچگی غشاء و کاهش تنش اکسیداتیو سبب کاهش نشت‌یونی و در نتیجه کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر گیاه می‌شود. در این‌باره گزارش شده است که اسید سالیسیلیک در غلظت ۰/۱ میلی‌مولار سبب کاهش نشت‌یونی در خیار نسبت به شاهد شد (Singh & Usha, 2003).

تنش سرما در گیاهان ابتدا سبب نشت‌یونی نمی‌شود که این اهمیت سازگاری به سرما در گیاه را تأیید می‌کند اما ادامه اعمال این تیمار سبب افزایش میزان خسارت به گیاه شده است؛ بنابراین، تشکیل ترکیبات اکسیدکننده لیپیدها مانند مالون‌دی‌آلدهید و القای افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌ها می‌توانند نشانه‌هایی از تجمع بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن و در نتیجه بروز تنش اکسیداتیو باشند (Todesco *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2014).



شکل ۲- اثر متقابل سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و زمان‌های مختلف انبارمانی بر روی نشت یونی

Figure 2- Interaction effect of different levels of salicylic acid and different storage times on ion leakage

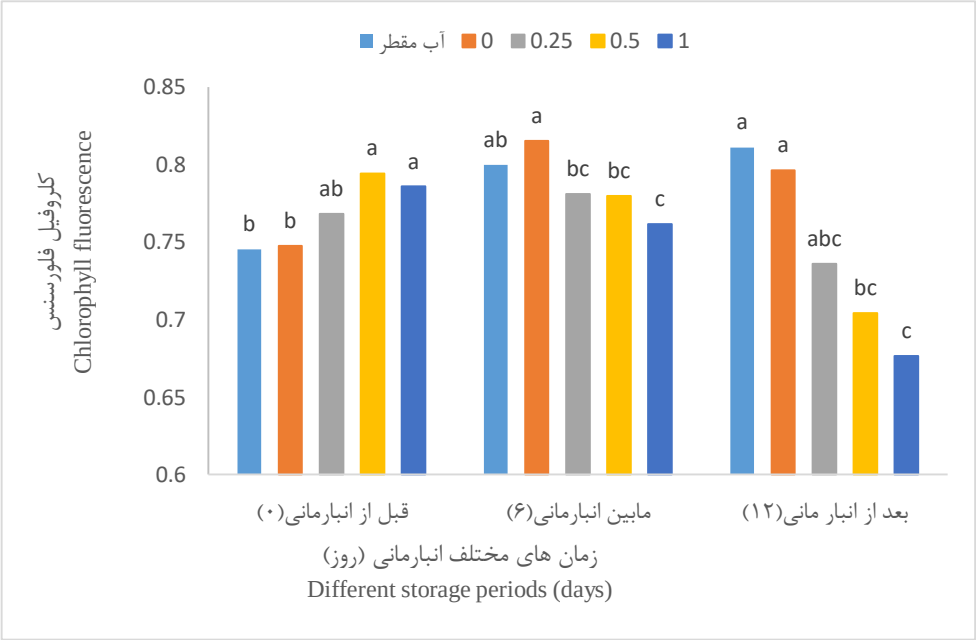
تأثیر اسید سالیسیلیک بر کلروفیل فلورسنس

نتایج نشان داد که سطوح اسید سالیسیلیک و زمان‌های مختلف انبارمانی در سطح پنج درصد بر روی شاخص‌های فلورسانس کلروفیل تفاوت معنی‌دار بود. بین سطوح اسید سالیسیلیک و زمان‌های مختلف انبارمانی تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد وجود داشت (شکل ۳). بیشترین میزان کلروفیل فلورسنس در زمان مابین انبارمانی در تیمار شاهد و آب مقطر و کمترین میزان کلروفیل فلورسنس در تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بعد از انبارمانی مشاهده گردید (شکل ۳) چنانچه انبارمانی تأثیر منفی بر روی شاخص کلروفیل فلورسانس داشت.

با تنش سرما و انبارمانی، میزان شاخص‌های Fm، Fv و Fv/Fm کاهش و در شاخص F0 افزایش نشان

می‌دهد. از دلایل دیگر بهبود پارامترهای رشد تحت تأثیر تیمار اسید سالیسیلیک می‌توان به تأثیر آن بر دستگاه فتوسنتزی و حفاظت از آن، مقدار فتوسنتز، فعالیت آنزیم روبیسکو، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی (Ghasemzadeh *et al.* 2012)، هدایت روزنه‌ای، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، کاهش تنش اکسیداتیو و نشت‌یونی، افزایش همبستگی غشاهای زیستی، متابولیسم نیتروژن و تغذیه معدنی گیاه را نام برد (Afzal & Ahmad, 2006; Fatma *et al.*, 2018).

کاهش تنش اکسیداتیو و آسیب غشایی، همراه با افزایش پارامترهای رشد و رنگیزه‌های فتوسنتزی در پاسخ استعمال برگی اسید سالیسیلیک، ممکن است مربوط به القای پاسخ‌های آنتی‌اکسیدان باشد که سلول‌ها را از آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش محافظت می‌نماید (Janda *et al.*, 2014). هنگامی که اسید سالیسیلیک در غلظت و زمان مناسب به‌کار برده می‌شود موجب یک تنش اکسیداتیو موقت و گذرا در سلول‌های گیاهی شده که به‌عنوان یک فرآیند مقاوم‌سازی عمل می‌نماید و موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سلول می‌گردد (Hayat & Ahmad, 2007).



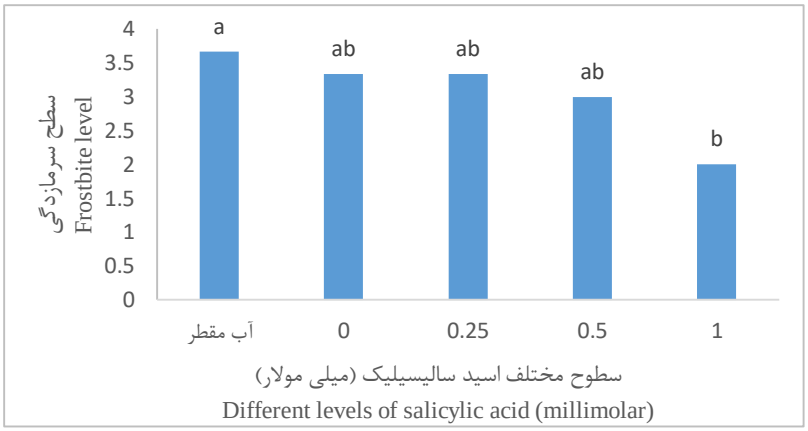
شکل ۳- اثر متقابل سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و زمان‌های مختلف انبارمانی بر روی کلروفیل فلورسنس

Figure 3- Interaction effect of different levels of salicylic acid and different storage times on chlorophyll fluorescence

تأثیر اسید سالیسیلیک بر سطح سرمازدگی

مقایسه میانگین نشان داد که بالاترین سطح سرمازدگی در تیمار استفاده از آب مقطر و کمترین سطح سرمازدگی در تیمار ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به دست آمد (شکل ۴).

در تحقیقی (Rajasekaran *et al.*, 2002) اسید سالیسیلیک باعث تحریک بافت‌ها در دماهای پایین می‌شود؛ در دماهای پایین ترکیبات ترموژن مثل استیل اسید سالیسیلیک، اسید سالیسیلیک و ۲ و ۶-دی‌هیدروکسی‌بنزوئیک اسید باعث تحریک جوانه‌زنی می‌شود. این امکان وجود دارد که این ترکیبات با اثر بر روی بیوسنتز جیبرلین باعث شادابی بافت‌ها و کاهش خسارت ناشی از انبارداری و سرمازدگی گردد (Rajasekaran *et al.*, 2002).



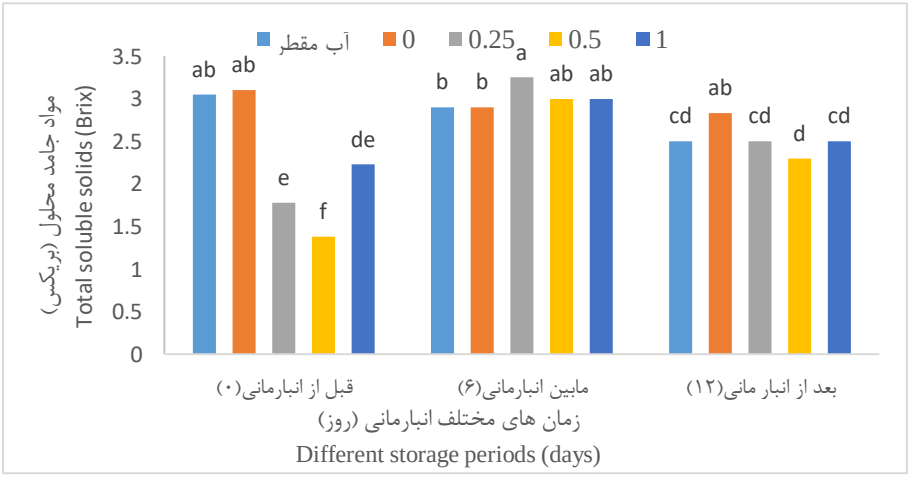
شکل ۴- اثر متقابل سطوح مختلف اسید سالیسیلیک بر روی سطح سرمازدگی

Figure 4- Interaction effect of different levels of salicylic acid on frostbite level

تأثیر اسید سالیسیلیک بر روی مواد جامد محلول

نتایج تجزیه واریانس صفت سطح سرمازدگی میوه نشان داد که اثر تیمار اسید سالیسیلیک و اثر متقابل اسید سالیسیلیک و زمان‌های مختلف انبارمانی در سطح پنج درصد و زمان‌های مختلف انبارمانی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. این بدان معناست که سطوح اسید سالیسیلیک با هم تفاوت معنی‌دار داشته‌اند؛ اما بیشترین میزان مواد جامد محلول در تیمار ۰/۲۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در مابین انبارمانی و کمترین در تیمار ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد (شکل ۵).

افزایش تجمع کربوهیدرات‌های محلول در اثر تنش مشاهده می‌شود که این روند با کاربرد اسید سالیسیلیک افزایش می‌یابد. کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش به‌عنوان اسمولیت‌های سازگار نقش مهمی در القای تحمل به خشکی ایفا می‌کنند. گزارش شده است که طی تنش تجمع کربوهیدرات‌ها به‌عنوان اسمولیت‌های محافظ افزایش می‌یابد (He *et al.*, 2005). همچنین گزارش شده است که تنش سبب افزایش قندهای محلول، پرولین، فنول و گلایسین بتائین شد و این افزایش در رقم متحمل بیشتر از رقم حساس بود (Tsantill *et al.*, 2002). افزایش میزان اسمولیت‌ها در اثر تنش توسط (Yang *et al.*, 2007) هم مشاهده شده است.



شکل ۵- اثر متقابل سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و زمان‌های مختلف انبارمانی بر روی مواد جامد محلول

Figure 5- Interaction effect of different levels of salicylic acid and different storage times on total soluble solids

نتیجه‌گیری کلی

طبق نتایج به‌دست آمده مشخص شد که اسید سالیسیلیک بر روی صفات مورد مطالعه در این تحقیق در شرایط تنش سرما و انبارمانی باعث تغییرات فیزیولوژیکی متعددی شده تا از این طریق به سمت سازگاری و یا کاهش اثرات صدمات وارده در این شرایط پیش بروند. تنش سرما سبب بروز اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی مانند کاهش فتوسنتز، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و کاهش پایداری غشاء سلولی به واسطه تنش اکسیداتیو می‌شود، اما کاربرد اسید سالیسیلیک در این شرایط در اغلب صفات سبب کاهش صدمات وارده از سوی تنش سرما و انبارمانی می‌گردد.

اسید سالیسیلیک باعث می‌شود گیاهان در زمان مواجهه با تنش، میزان اسمولیت‌های محلول در شیره سلولی را بالا ببرند که باعث بالا رفتن میزان پتانسیل اسمزی در گیاه می‌شود. زمانی که میزان پتانسیل اسمزی بالا باشد، گیاه می‌تواند روزنه‌های خود را باز نگه‌داشته و با این کار علاوه میزان فتوسنتز، کارایی فتوسیستم‌ها و در نهایت عملکرد بالا رود.

پراکسیداسیون لیپیدی و نشت‌یونی طی تنش افزایش پیدا می‌کند که با کاربرد و استفاده از اسید سالیسیلیک می‌توان اثرات مضر را کاهش داد. بالا بودن نشت‌یونی نشان‌دهنده صدمه بالای ترکیبات اکسیداتیو به لیپیدهای غشای سلولی بوده و بالا بودن آن می‌تواند نشان‌دهنده حساسیت گیاه نسبت به انواع تنش‌های محیطی باشد. استفاده از اسید سالیسیلیک در تنش‌ها در بیوسنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مؤثر بوده و باعث کاهش نشت‌یونی می‌گردد.

اسید سالیسیلیک باعث تغییرات در برخی شاخص‌های عمومی خسارت و دفاع گیاه مانند پراکسیدهیدروژن، مالون‌دی‌آلدئید، فعالیت لیپوکسی ژناز و الگوی اسیدهای چرب غشاء می‌شود که بخشی از تحمل در مقابله با تنش اکسیداتیو القاء شده توسط سرما را فراهم کرده و در حفظ یکپارچگی غشاء سلولی کمک می‌کند. تحت تنش سرما، سلول با افزایش میزان قندها در جهت تولید انرژی بیشتر و همچنین در جهت مستحکم کردن سلول فعالیت می‌کند. افزایش میزان گلوکز و فروکتوز ممکن است در اثر تخریب بیشتر ساکارز باشد؛ بنابراین به نظر می‌رسد سلول با افزایش متابولیسم خود در جهت حمایت از فعالیت‌های سلولی پاسخ‌های متابولیتی در کربوهیدرات‌ها را می‌دهد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از دانشگاه تبریز بخاطر تأمین هزینه انجام آزمایش‌های مربوط به اندازه‌گیری صفات مختلف در این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را دارند.

References

- Afzal, I., Basra, S. M., Farooq, M. & Nawaz, A. (2006). Alleviation of salinity stress in spring wheat by hormonal priming with ABA, salicylic acid and ascorbic acid. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8(1), 23-28.
- Bajguz, A. & Hayat, S. (2009). Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(1), 1-8.
- Bajji, M., Kinet, J. M. & Lutts, S. (2002). The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regulation*, 36(1), 61-70.
- DeEll, J. R., van Kooten, O., Prange, R. K. & Murr, D. P. (1999). Applications of chlorophyll fluorescence techniques in postharvest physiology.

Horticultural Reviews, 23, 69-107.
- Ding, C. K. & Wang, C. Y. (2003). The dual effects of methyl salicylate on ripening and expression of ethylene biosynthetic genes in tomato fruit. *Plant science*, 164(4), 589-596.
- Ding, C. K., Wang, C., Gross, K. C. & Smith, D. L. (2002). Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. *Planta*, 214(6), 895-901.
- El-Tayeb, M. A. (2005). Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*, 45(3), 215-224.
- Fatma, F., Kamal, A. & Srivastava, A. (2018). Exogenous application of salicylic acid mitigates the toxic effect of pesticides in *vigna radiata* L. wilczek. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(4), 1185–1194.
- Fowler, D. B., Chauvin, L. P., Limin, A. E. & Sarhan, F. (1996). The regulatory role of vernalization in the expression of low-temperature-induced genes in wheat and rye. *Theoretical and Applied Genetics*, 93(4), 554-559.
- Ghamarnia, H. & Gowing, J. W. (2005, May). Effect of water stress on three wheat cultivars. In *ICID 21st European Regional Conference* (pp. 15-19).
- Ghasemzadeh, A., Jaafar, H., & Karimi, E. (2012). Involvement of salicylic acid on antioxidant and anticancer properties, anthocyanin production and chalcone synthase activity in ginger (zingiber officinale roscoe) varieties. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(12), 14828–14844.
- Gill, S. S. & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909-930.
- Han, T., Wang, Y., Li, L. & Gc, X. (2003). Effects of exogenous salicylic acid on postharvest physiology of peaches. Acta Horticulturae, 628, 1232-1237.
- Harris, A. (2008). Spectral reflectance and photosynthetic properties of *Sphagnum mosses* exposed to progressive drought. *Ecohydrology: Ecosystems, Land and Water Process Interactions, Ecohydrogeomorphology*, 1(1), 35-42.
- Hayat, S. & Ahmad, A. (Eds.). (2007). *Salicylic acid-a plant hormone*. Springer Science & Business Media.
- Herman, E. M., Rotter, K., Premakumar, R., Elwinger, G., Bae, R., Ehler-King, L. & Livingston III, D. P. (2006). Additional freeze hardiness in wheat acquired by exposure to− 3 C is associated with extensive physiological, morphological, and molecular changes. *Journal of Experimental Botany*, 57(14), 3601-3618.
- He, Y., Liu, Y., Cao, W., Huai, M., Xu, B. & Huang, B. (2005). Effects of salicylic acid on heat tolerance associated with antioxidant metabolism in Kentucky bluegrass. *Crop Science*, 45(3), 988-995.
- Horvath, E., Szalai, G. & Janda, T. (2007). Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26(3), 290-300.
- Hoyos, M. E. & Zhang, S. (2000). Calcium-independent activation of salicylic acid-induced protein kinase and a 40-kilodalton protein kinase by hyperosmotic stress. *Plant Physiology*, 122(4), 1355-1364.
- Iba, K. (2002). Acclimative response to temperature stress in higher plants: approaches of gene engineering for temperature tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 53(1), 225-245.
- Janda, T., Gondor, O. K., Yordanova, R., Szalai, G. & Pál, M. (2014). Salicylic acid and photosynthesis: Signalling and effects. *Acta Physiologiae Plantarum*, *36*(10), 2537–2546.
- Jin, S., Chen, C. C. S. & Plant, A. L. (2000). Regulation by ABA of osmotic-

stress-induced changes in protein synthesis in tomato roots. *Plant, Cell & Environment*, 23(1), 51-60.
- Kolesnichenko, A. V., Pobezhimova, T. P., Grabelnych, O. I., Tourchaninova, V. V., Korzun, A. M., Koroleva, N. A. & Voinikov, V. K. (2003). Difference between the temperature of non-hardened and hardened winter wheat seedling shoots during cold stress. *Journal of Thermal Biology*, 28(3), 235-244.
- Li, D., Limwachiranon, J., Li, L., Du, R. & Luo, Z. (2016). Involvement of energy metabolism to chilling tolerance induced by hydrogen sulfide in cold-stored banana fruit. *Food Chemistry*, 208,272–278.
- Li, T., Hu, Y., Du, X., Tang, H., Shen, C. & Wu, J. (2014). Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress in *Torreya grandis* cv. Merrillii seedlings by activating photosynthesis and enhancing antioxidant systems. *PLoS ONE*, 9(10), e109492.
- Limin, A. E. & Fowler, D. B. (2006). Low-temperature tolerance and genetic potential in wheat (*Triticum aestivum* L.): response to photoperiod, vernalization, and plant development. *Planta*, 224(2), 360-366.
- Radwan, D. E. M. & Soltan, D. M. (2012). The negative effects of clethodim in photosynthesis and gas-exchange status of maize plants are ameliorated by salicylic acid pretreatment. *Photosynthetica*, 50(2), 171-179.
- Rajasekaran, L. R., Claude, A. S. & Caldwell, D. (2002). Stand establishment in processing carrots effects of various temperature regimes on germination and the role of salicylates in promoting germination at low temperatures. *Canadian Journal of Plant Science*, 82(2), 443-450.
- Saltveit, M. E. (2001). Chilling injury is reduced in cucumber and rice seedlings and in tomato pericarp discs by heat-shocks applied after chilling. *Postharvest Biology and Technology*, 21(2), 169-177.
- Sasheva, P., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G. & Maslenkova, L. (2013). Study of primary photosynthetic reactions in winter wheat cultivars after cold hardening and freezing effect of salicylic acid. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(2), 45-48.
- Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fatkhutdinova, R. A. & Fatkhutdinova, D. R. (2003). Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant science*, 164(3), 317-322.
- Singh, B. & Usha, K. (2003). Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation*, 39(2), 137-141.
- Tirani, M. M., Nasibi, F. & Kalantari, K. M. (2013). Interaction of salicylic acid and ethylene and their effects on some physiological and biochemical parameters in canola plants (*Brassica napus* L.). *Photosynthetica*, 51(3), 411-418.
- Todesco, M., Balasubramanian, S., Hu, T. T., Traw, M. B., Horton, M., Epple, P. & Weigel, D. (2010). Natural allelic variation underlying a major fitness trade-off in *Arabidopsis thaliana*. *Nature*, 465(7298), 632-636.
- Tsantili, E., Konstantinidis, K., Athanasopoulos, P. E. & Pontikis, C. (2002). Effects of postharvest calcium treatments on respiration and quality attributes in lemon fruit during storage. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 77(4), 479-484.
- Yang, Y., Qi, M. & Mei, C. (2004). Endogenous salicylic acid protects rice plants from oxidative damage caused by aging as well as biotic and abiotic stress. *The Plant Journal*, 40(6), 909-919.
- Yang, H., Wu, F. & Cheng, J. (2011). Reduced chilling injury in cucumber by nitric oxide and the antioxidant response. *Food chemistry*, 127(3), 1237-1242.

- Yusuf, M., Hayat, S., Alyemeni, M. N., Fariduddin, Q. & Ahmad, A. (2013). Salicylic Acid: Physiological Roles in Plants. *SALICYLIC ACID*, 15–30.