



Influence of Planting Date and Foliar Application of Antifreeze Compounds on Some Morpho-physiological Traits of Potato Cultivars in Ardabil Region

Maghsoud Ziachehreh¹, Ahmad Tobeh², Davoud Hassanpanah³ and Salim Farzaneh^{4*}

- 1- Ph.D. Student, Department of Engineering of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
- 2- Professor, Department of Engineering of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
- 3- Associate Professor, Horticultural and Agronomical Researches Department, Center of Agricultural and Natural Resources Researches & Education-Ardabil (Moghan), AREEO, Ardabil, Iran
- 4- Associate Professor, Department of Engineering of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

*Corresponding author: SalimFarzaneh@yahoo.com

(Received: 31 October 2022

Revise: 21 November 2022

Accepted: 25 November 2022)

Extended Abstract

- 1. Introduction:** Potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the most important food products in the world, which is rich in carbohydrates, proteins, vitamins and other nutrients. Choosing the suitable planting date and cultivars is one of the most important and effective ways to reduce the negative effects of environmental stresses on potato characteristics. Cold stress is one of the limiting factors for production of agricultural crops. One of the adverse effects of this stress is increasing the biosynthesis rate of reactive oxygen species that causes oxidative stress. Plants have enzymatic and non-enzymatic mechanisms to overcome oxidative stress. The enzymatic antioxidant defense system includes different enzymes such as superoxide dismutase, catalase, polyphenol oxidase, guaiacol peroxidases and ascorbate peroxidase, and the non-enzymatic antioxidants include the soluble sugars, proline, carotenoids and other compounds such as flavonoids, and polyphenols. Nowadays, application of antifreeze compounds in agriculture is widely used technique to overcome chilling injuries. These substances are quickly absorbed by plants and increase the metabolic activity rate of plants. As a result, the amount of antifreeze proteins, amino acids, carbohydrates, lipids, vitamins and minerals increases in the plant organs leading to more resistance rate of plant cells against freezing. Potassium is one of the elements that reduces the effects of environmental stresses such as drought, salinity, high temperatures, cold, etc. through the accumulation of soluble carbohydrates and osmotic regulation. Also, potassium plays a role in regulating the activity of enzymes related to the detoxification of reactive oxygen species. The aim of the current study was to investigate the influence of cultivar, planting date and foliar application of antifreeze compounds on some of most important morpho-physiological characteristics of potato crop.
- 2. Materials and Methods:** The current study was conducted as a split-factorial experiment based on randomized complete blocks design with three replications at Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Station during two cultivation seasons (2018-2019 and 2019-2020). The investigated factors included planting date in two levels (August 1st and 11th), foliar application of antifreeze compound at two levels (foliar application with a mixture of Frezzebon amino acid + potassium, and water as a control) and potato cultivars at 10 levels (901375, 901475, 902375, 8708-7, 8709-106, 7009-3, 905675, 8707-26, Agria and Savalan). Foliar applications were performed at the end of the growth season as same time as the increased likelihood of cold weather (considering the weather forecasts and the measured temperatures in the field and their correlation, one week before the possibility of temperatures below 7 °C). Furthermore, before the spraying treatments, samples were taken from the experimental treatments and frozen using liquid nitrogen and stored in a freezer. After 24 h of freezing, the samples were again collected from the experimental treatments and rapidly frozen using liquid nitrogen before being transferred to the laboratory for measurement of the desired characteristics. After collecting the samples, laboratory experiments were conducted at the Faculty of Agriculture of Ardabil University of Medical Sciences and the Agricultural and Natural Resources Research Station in Ardabil.
- 3. Results and Discussion:** Based on the obtained results, it was found that the foliar application of the amino acid Freezbon combined with potassium increased the yield, number of tuber per plant, leaf relative water content, proline and the activity of antioxidant enzymes. Also, the planting date of August 1st has the highest yield, number of tuber per plant, leaf relative water content, potassium and proline content, and the activity of catalase, superoxide dismutase and polyphenol oxidase enzymes. In terms of yield,

901475 cultivar had the highest yield (43.02 ton ha⁻¹) and Agria cultivar had the lowest yield (26.35 ton ha⁻¹). Among the cultivars studied, 8708-26 cultivar had the highest leaf relative water content, potassium and sodium content. The maximum content of proline and antioxidant enzymes activity were related to 7009-3 and 8707-26 cultivars. Based on these results, it seems that the planting date of August 1st and the foliar application of Freezbon with potassium can enhance the cold tolerance threshold, growth, and performance of potato cultivars in regions with cold weather by regulating physiological and biochemical responses. The results of the current study in line with the observations of the other conducted researches on different horticultural crops demonstrated that choosing appropriate planting date and application of antifreeze compounds positively influence the accumulation rate of osmoprotectants, cells antioxidant capacity and plant water and nutrient status resulting in a significant increase in cold resistance rate of plant cells.

- 4. Conclusion:** Foliar application of antifreeze compounds Freezbon amino acid + potassium, and planting date on August 1st can positively influence potato cultivars yield and physiological characteristics under cold conditions, therefore this foliar treatment and planting date are recommendable to overcome negative effects of cold stress on potato characteristics in cultivation reigns with cold weather.

Keywords: Antioxidant enzymes, Freezbon, Potassium, Proline, Yield

Citation: Ziachehreh, M., Tobeh, A., Hassanpanah, D. & Farzaheh, S. (2024). Influence of planting date and foliar application of antifreeze compounds on some morpho-physiological traits of potato cultivars in Ardabil region. *Journal of Vegetables Sciences*, 14(2), 136-159. doi: 10.22034/IUVS.2022.1971753.1245

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>).





تأثیر تاریخ کاشت و محلول پاشی ترکیبات ضدسرما بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی ارقام سیب زمینی در منطقه اردبیل

مقصود ضیاچهره^۱، احمد توبه^۲، داود حسن پناه^۳ و سلیم فرزانه^{۴*}

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق

اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل،

ایران

۳- دانشیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)،

سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

۴- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی،

اردبیل، ایران

*نویسنده مسئول: SalimFarzaneh@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۹

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تاریخ کاشت و مواد ضدسرما بر افزایش مقاومت به سرمای پاییزه سیب زمینی، آزمایشی به صورت اسپیلت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل طی دو سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹ اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل تاریخ کاشت در دو سطح (۱۰ و ۲۰ مرداد ماه)، مواد ضدسرما در دو سطح (محلول پاشی با مخلوط اسید آمینه فریزین + پتاسیم و آب به عنوان شاهد) و ارقام سیب زمینی در ۱۰ سطح (۹۰۱۳۷۵، ۹۰۱۴۷۵، ۹۰۲۳۷۵، ۸۷۰۸-۷، ۸۷۰۹-۱۰۶، ۸۷۰۹-۳، ۷۰۰۹-۳، ۹۰۵۶۷۵، ۸۷۰۷-۲۶، آگریا و ساوالان) بودند. نتایج نشان داد که محلول پاشی اسید آمینه فریزین توأم با پتاسیم سبب افزایش عملکرد، تعداد غده در بوته، محتوای نسبی آب، میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گردید. هم‌چنین، کشت در تاریخ ۱۰ مرداد موجب افزایش عملکرد، تعداد غده در بوته، محتوای نسبی آب، میزان پتاسیم، پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پلی فنول اکسیداز گردید. از لحاظ عملکرد، رقم ۹۰۱۴۷۵ دارای بیشترین میزان عملکرد (۴۳/۰۲ تن در هکتار) و رقم آگریا دارای کمترین میزان عملکرد (۲۶/۳۵ تن در هکتار) بودند. از بین ارقام مورد مطالعه رقم ۸۷۰۸-۲۶ بالاترین محتوای نسبی آب، میزان پتاسیم و سدیم را به خود اختصاص داد. حداکثر محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز مربوط به ارقام ۷۰۰۹-۳ و ۸۷۰۷ بود. براساس نتایج پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد که تاریخ کاشت ۱۰ مرداد و محلول پاشی اسید آمینه فریزین به همراه پتاسیم می‌تواند برای افزایش مقاومت گیاه سیب زمینی به سرما قابل توصیه باشد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پتاسیم، پرولین، فریزین، عملکرد

استناد: ضیاچهره، م.، توبه، ا.، حسن پناه، د. و فرزانه، س. (۱۴۰۲). تأثیر تاریخ کاشت و محلول پاشی ترکیبات ضدسرما بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی ارقام سیب زمینی در منطقه اردبیل. علوم سبزی‌ها، ۱۴(۲)، ۱۵۹-۱۳۶.

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 به صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

کردند. Dwelle و Kleinkoph (۲۰۰۳) بیان داشتند که با تأخیر در کاشت سیب‌زمینی، تعداد غده‌ها افزایش و وزن متوسط غده‌ها کاهش پیدا می‌کند. همچنین گزارش گردیده است که کاشت دیر هنگام سیب‌زمینی، به دلیل کوتاه‌تر شدن دوره رشدی سبب کاهش عملکرد می‌شود (Kawakami *et al.*, 2005).

از میان تنش‌های محیطی، تنش سرمایی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی می‌باشد (Zhu *et al.*, 2007). تنش سرمایی به‌طور مستقیم به‌علت ممانعت از واکنش‌های متابولیکی گیاه و نیز از طریق القای تنش اکسیداتیو و اسمرزی سبب جلوگیری از رشد و نمو گیاهان می‌گردد (Chinnusamy *et al.*, 2007). از نشانه‌های آسیب تنش دمای پایین می‌توان به رنگ‌پریدگی، کاهش رشد و سرعت فتوسنتز، خشک شدن گیاه، حساسیت بیشتر به بیماری‌ها و آفات، افزایش نشت یونی از غشا، تغییر در میزان تولید اتیلن و تنفس اشاره کرد (Kuan-Hung *et al.*, 2006). یکی از اثرات مخرب تنش سرمایی تولید گونه‌های فعال اکسیژنی می‌باشد که متابولیسم طبیعی گیاهان را از طریق پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک و آسیب به اندام‌های فتوسنتزی به‌شدت مختل می‌کند (Banerjee & Roychoudhury, 2019). برای از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن و مبارزه با آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تجمع و فعالیت آن‌ها، گیاهان سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی مختلفی از جمله سیستم‌های مهارکننده آنزیمی و غیرآنزیمی را دارا هستند (Zhou *et al.*, 2005). سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی شامل آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پلی‌فنول اکسیداز، پراکسیدازهای گایاکول و آسکوربات پراکسیداز می‌باشد (Hajivand *et al.*, 2022). سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی نیز شامل سنتز املاح سازگار مانند قندهای محلول، پرولین، آسکوربات، توکوفرول، کاروتنوئیدها و سایر ترکیبات از جمله فلاونوئیدها، مانیتول‌ها و پلی‌فنول‌ها و سنتز

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) پس از برنج، گندم و ذرت، چهارمین محصول مهم غذایی در جهان از لحاظ میزان تولید و همچنین مهم‌ترین محصول غذایی غیرغلات به‌شمار می‌رود که در بیش از ۱۰۰ کشور دنیا و عمدتاً در کشورهای اروپایی و آسیایی کشت می‌گردد (Razdan & Mattoo, 2005; Ilyas *et al.*, 2021). این محصول از نظر ارزش غذایی سرشار از کربوهیدرات، پروتئین، فیبر، ویتامین C، کلسیم، فسفر، آهن، نشاسته و هم‌چنین حاوی ویتامین‌هایی مانند نیاسین، تیامین و گروه ویتامین‌های B است (Thongam *et al.*, 2017; Barzegari Barogh *et al.*, 2023). سیب‌زمینی یک گیاه حساس به شرایط اقلیمی بوده و رشد و تولید آن تحت تأثیر عوامل متعددی از قبیل کیفیت غده بذری، نوع رقم، زمان کاشت، تغذیه، آبیاری، و شیوع آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز قرار می‌گیرد (Chadha, 2009; Kazemi *et al.*, 2023). از میان این عوامل، تاریخ کاشت و نوع رقم نقش بسیار مهمی در سازگاری سیب‌زمینی نسبت به تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند (Yang *et al.*, 2021). تغییر زمان کاشت یکی از مهم‌ترین راه‌کارهای مدیریتی مؤثر در جهت کاهش اثرات زیان‌بار تنش‌های محیطی است که می‌تواند به‌علت تغییر طول روز، دما و رطوبت نسبی تأثیر مهمی در رشد و نمو گیاه داشته باشد (Khichar & Niwas, 2006). به‌طوری که با انتخاب تاریخ کاشت مناسب در هر منطقه می‌توان از مواجهه گیاه سیب‌زمینی با تنش‌های محیطی در طی مراحل حساس رشدی جلوگیری کرده و شرایط محیطی را به‌نفع غده‌سازی بهینه تغییر داد و از خسارت بر کیفیت غده‌های تولیدی نیز جلوگیری کرد (Siddique *et al.*, 1990). در این راستا گزارش گردیده است که انتخاب رقم و تاریخ کاشت مناسب تکنیکی مفید و مؤثر در مقابله با تنش سرمایی می‌باشند (Schittenhelm *et al.*, 2006). Li و همکاران (۲۰۲۱b) انتخاب تاریخ کاشت دیر هنگام همراه با کشت ارقام کم‌رشد را جهت تثبیت و افزایش عملکرد سیب‌زمینی برای انطباق با شرایط متنوع محیطی پیشنهاد

سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و در نتیجه کاهش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند (Baninasab, Berova *et al.*, 2002). (۲۰۰۹) نیز اظهار داشت که ماده ضدسرما پیکلوپوترازول مقدار پرولین در گیاهچه‌های هندوانه را تحت تنش سرما به-طور قابل توجهی افزایش داد.

یکی دیگر از مکانیزم‌های تحمل به سرما، تعادل عناصر غذایی در گیاه می‌باشد که از طریق افزایش ذخیره کربوهیدرات در بافت‌ها باعث افزایش تحمل به تنش‌های دمای پایین در گیاهان می‌شود (Cheng & Ranwala, 2004). در این زمینه گزارش گردیده است که پتاسیم در کاهش اثرات تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری و دمایی نقش مهمی دارد (Waraich *et al.*, 2012). این عنصر از طریق تجمع کربوهیدرات‌های محلول و تنظیم اسمزی باعث سازگاری گیاه به شرایط تنش سرمایی می‌شود (Webster & Ebdon, 2005). هم‌چنین پتاسیم در تنظیم فعالیت آنزیم‌های مرتبط با سمی‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن نقش دارد (Cakmak, 2005). نتایج یک پژوهش نشان داد که کاربرد پتاسیم سبب کاهش آسیب‌های ناشی از سرمازدگی و افزایش عملکرد گیاه گردید (Kant & Kafkafi, 2002). Devi و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند که مصرف پتاسیم سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش سرما شده و میزان تولید گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش داد. در مطالعه‌ای افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی با کاربرد پتاسیم مشاهده گردید (Colpan *et al.*, 2013). افزایش مقدار پرولین در اثر محلول پاشی سولفات پتاسیم در مطالعه Karimi و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده شد.

از آنجایی که استان اردبیل جزء استان‌های سردسیر کشور می‌باشد و بخشی از دوره رشد سریع گیاه سیب-زمینی و شروع غده‌زایی آن با شرایط سرد منطقه همزمان می‌باشد و از طرفی مطالعات اندکی در خصوص تأثیر مواد ضدسرما در کنترل سرمازدگی مزارع سیب-زمینی صورت گرفته است، بنابراین پژوهش حاضر به-منظور بررسی تأثیر مواد ضدسرماهای (اسیدآمین

پروتئین‌های خاص می‌باشد (Karmakar *et al.*, 2014). گزارش گردیده است که سطوح فعالیت آنتی-اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی به‌عنوان یک سیستم حفاظتی تحت شرایط تنش سرما افزایش می‌یابد (Kocsy *et al.*, 2001). Xu و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند که تحت تنش سرما، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، قندهای محلول و پرولین در برگ‌های سیب‌زمینی افزایش یافت. در پژوهشی مشخص گردید که فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی افزایش می‌یابد (Thipyapong *et al.*, 2004). افزایش محتوای پرولین در گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش سرما گزارش شده است (Jafari *et al.*, 2006).

امروزه کاربرد روش‌های کارآمد، سریع و دارای هزینه کم در کاهش خسارت سرمازدگی از قبیل اسپری مواد ضدسرما در کشاورزی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است (Miura & Tad, 2014). گیاهان به‌واسطه جذب سریع این ترکیبات، فعالیت متابولیکی خود را افزایش می‌دهند و از این طریق سبب افزایش میزان پروتئین-های ضدیخ، آمینواسیدها، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی در اندام‌های خود می‌شوند که باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر اثرات زیان‌بار حاصل از سرمازدگی و یخ‌زدگی خواهد شد (Darini *et al.*, 2013). مواد ضدسرما از دو طریق، کاهش نقطه انجماد در گیاه و جذب باکتری و ترکیبات معدنی همراه رستی-سیانین، اگزوالوستیک و اسید پیروویک سبب القای مقاومت در برابر سرما می‌شوند. ترکیب رستی-سیانین دارای عنصر مس می‌باشد که واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب تشکیل گلیکوپروتئین می‌شود و این پروتئین نیز موجب افزایش تحمل گیاه به سرما خواهد شد (Venkatesh & Dayananda, 2008). Hajivand و Rahmati (۲۰۱۸) بیان داشتند که محلول پاشی مواد ضدسرما موجب افزایش میزان اسمولیت‌ها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد و اجزای عملکرد انگور گردید. گزارش گردیده است که ترکیبات ضدسرماهای تریازول

توانایی تحمل سرما را نداشتند، حداقل با محلول پاشی اسیدآمینه فریزین و پتاسیم، توانایی تحمل به سرما در آن‌ها ایجاد شده بود. غده‌های بذری (قطر ۳۵ تا ۴۵ میلی‌متر) پس از ضدعفونی با قارچ‌کش ایپرودیون+کاربندازیم در عمق ۱۵ سانتی‌متری در دو طرف پشته‌هایی به فاصله ۱/۵ متر و فاصله روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر کشت شدند. آبیاری به صورت قطره‌ای و با توجه به نیاز آبی گیاه و شرایط منطقه انجام گردید. در پایان فصل رشد و با افزایش احتمال بروز سرما، با توجه به پیش‌بینی‌های هواشناسی و نیز دماهای اندازه‌گیری شده در مزرعه و ارتباط میان آن‌ها، یک هفته قبل از احتمال بروز دماهای زیر ۷ درجه سانتی‌گراد، تیمار محلول‌پاشی انجام گردید. هم‌چنین قبل از انجام محلول‌پاشی، نمونه‌برداری از تیمارهای آزمایشی انجام گرفت و نمونه‌ها با استفاده از ازت مایع، منجمد گردیده و در فریزر نگهداری شدند. ۲۴ ساعت پس از برطرف شدن سرما، مجدداً از تیمارهای آزمایشی نمونه‌برداری شد و پس از انجماد سریع توسط ازت مایع جهت اندازه‌گیری صفات موردنظر به آزمایشگاه منتقل شدند. بررسی‌های آزمایشگاهی نیز در آزمایشگاه‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی و ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل انجام گردید.

میزان پرولین برگ با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) و محتوای سدیم و پتاسیم برگ‌ها با استفاده از دستگاه فلیم‌فتمتر (Garcia Morales et al., 2012) تعیین شد. استخراج عصاره کل جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها به روش Sudhakar و همکاران (۲۰۰۱) انجام شد و سنجش فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و کاتالاز به روش Karo و Mishra (۱۹۷۶) و سوپراکسید دیسموتاز به روش Giannopolitis و Ries (۱۹۷۷) انجام گردید. محتوای آب نسبی برگ با استفاده از روش Tambussi و همکاران (۲۰۰۵) و از طریق رابطه ۱ اندازه‌گیری شد:

$$RWC = (F_w - D_w) / (T_w - D_w) \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

فریزین و پتاسیم) و تاریخ کاشت بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی (از قبیل عملکرد، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی) ارقام مختلف سیب‌زمینی در منطقه اردبیل و در شرایط مزرعه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹ در اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل واقع در ۱۰ کیلومتری شرق اردبیل (روستای آلاروق) با مختصات ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض جغرافیایی و ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه طول جغرافیایی و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا اجرا شد. متوسط حداکثر و حداقل دمای سالیانه و حداکثر مطلق دمای منطقه در زمان آزمایش، به ترتیب ۱۹/۸، ۱۵/۱۸ و ۲۱/۵۸ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه ۳۰۷/۱ میلی‌متر بود. آزمایش به صورت اسپیلت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد و فاکتورهای آزمایشی شامل تاریخ کاشت در دو سطح (۱۰ و ۲۰ مرداد ماه) در کرت اصلی، محلول‌پاشی با مواد ضدسرما در دو سطح (محلول‌پاشی با مخلوط اسیدآمینه فریزین و پتاسیم به نسبت ۱ به ۱ و محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد) و ارقام سیب‌زمینی در ۱۰ سطح (۹۰۱۳۷۵، ۹۰۱۴۷۵، ۹۰۲۳۷۵، ۷-۸۷۰۸، ۱۰۶-۸۷۰۹، ۳-۷۰۰۹، ۹۰۵۶۷۵، ۲۶-۸۷۰۷، آگریا و ساوالان) در کرت‌های فرعی بودند. خاک مزرعه، لومی‌رسی و دارای ۰/۹ درصد مواد آلی، pH= ۷/۱ و هدایت الکتریکی یک میلی‌موس بود. انتخاب تاریخ‌های ۱۰ و ۲۰ مرداد ماه به دلیل اطمینان از همزمانی مراحل انتهایی رشد ارقام با تنش سرما و یخبندان بود. اسیدآمینه فریزین از شرکت بن آسیا تهیه گردید. ارقام مورد بررسی، از آزمایشات سازگاری ارقام امیدبخش انتخاب شده بودند که در سال قبل از آزمایش با محلول-پاشی اسیدآمینه فریزین و پتاسیم (به نسبت ۱ به ۱) به مدت سه روز، دماهای یخبندان را تحمل کرده بودند و به‌نظر می‌رسید که حتی اگر این ارقام به طور کامل

که در این رابطه RWC محتوای نسبی آب، Fw وزن تر، Tw وزن آماس یافته و Dw وزن خشک است. تعداد غده و میزان عملکرد از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد گردید. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای SAS 9.1 و Excel استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

عملکرد کل و تعداد غده در بوته

براساس نتایج به دست آمده محلول پاشی ترکیب ضدسرما فریزین توأم با پتاسیم سبب افزایش عملکرد و تعداد غده در بوته گردید. به طوری که نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بین سال، محلول ضدسرما و رقم نشان داد که بیشترین عملکرد (۵۰/۴۹ تن در هکتار) و تعداد غده در بوته (۱۲/۱۴ عدد) از ترکیب تیماری محلول پاشی اسیدآمینه فریزین و پتاسیم در رقم ۹۰۱۴۷۵ و در سال دوم کشت به دست آمد (جدول ۱). کمترین عملکرد مربوط به ترکیبات تیماری عدم کاربرد محلول ضدسرما، رقم ۱۰۶-۸۷۰۹ (۲۲/۷ تن در هکتار)، عدم مصرف محلول ضدسرما و رقم آگریا (۲۳/۰۶ تن در هکتار)، عدم کاربرد محلول ضدسرما و رقم ۳-۷۰۰۹ (۲۳/۷ تن در هکتار) در سال اول و عدم کاربرد محلول ضدسرما و رقم ساوالان (۲۳/۰۲ تن در هکتار) در سال دوم بود (جدول ۱). کمترین میانگین تعداد غده در بوته نیز متعلق به عدم محلول پاشی با مواد ضدسرما و رقم ۱۰۶-۸۷۰۹ (۵ عدد) در سال اول آزمایش بود (جدول ۱). هم‌چنین نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تاریخ کاشت ۱۰ مرداد ماه نسبت به تاریخ کاشت ۲۰ مرداد ماه از عملکرد بالاتری برخوردار بود. در این راستا، اثر ترکیب تیماری سال، تاریخ کاشت و رقم مشخص کرد که بالاترین عملکرد کل از رقم ۹۰۱۴۷۵، تاریخ کاشت ۱۰ مرداد در سال دوم کشت (۵۴/۷ تن در هکتار)، رقم ۲۶-۸۷۰۷، تاریخ کاشت ۱۰ مرداد در سال دوم کشت (۵۲/۸ تن در هکتار) و رقم ۹۰۵۶۷۵، تاریخ کاشت ۱۰ مرداد در سال اول کشت (۵۱/۵۹ تن در

هکتار) به دست آمد (جدول ۳). پایینترین میزان عملکرد کل (۲۰/۹۷ تن در هکتار) مربوط به رقم ساوالان، تاریخ کاشت ۲۰ مرداد در سال دوم می‌باشد (جدول ۳). از طرفی اثر متقابل بین ترکیب ضدسرما، تاریخ کاشت و سال نشان داد که بیشترین عملکرد (۳۹/۹۶ تن در هکتار) و تعداد غده در بوته (۹/۲ عدد) در حالت کاربرد محلول ضدسرما، تاریخ کشت ۱۰ مرداد و سال دوم مشاهده گردید (جدول ۴). کمترین این صفات (به ترتیب ۲۶/۵۴ تن در هکتار و ۶/۳۳ عدد) از عدم محلول پاشی ترکیب ضدسرما، ۲۰ مرداد و در سال دوم کاشت حاصل شدند (جدول ۴). هم‌چنین ترکیب تیماری سه‌گانه ضدسرما × تاریخ کاشت × رقم بیانگر آن است که بالاترین میزان تعداد غده در بوته (۱۲/۸۵ عدد) متعلق به ترکیب تیماری محلول پاشی ماده ضدسرما × رقم ۹۰۱۴۷۵ × ۱۰ مرداد و کمترین آن از ترکیبات تیماری عدم کاربرد محلول ضدسرما × ۲۰ مرداد × رقم آگریا (۵/۰۴ عدد) و عدم کاربرد محلول ضدسرما × ۲۰ مرداد × رقم ۱۰۶-۸۷۰۹ (۵/۱ عدد) به دست آمد (جدول ۲).

مشخص گردیده است که گیاه سیب زمینی از مکانیزم‌های مختلفی برای سازگاری با شرایط تنش محیطی استفاده می‌کند که یکی از آن‌ها کاهش تعداد غده می‌باشد که این امر سبب برقراری تعادل توزیع مواد پرورده به غده‌ها می‌شود و در نتیجه اندازه غده‌ها بزرگ‌تر می‌شود (Al-Mahmud et al., 2014). هم‌چنین اعلام گردیده است که تنش سرمایی سبب کاهش عملکرد سیب زمینی می‌گردد (Darini et al., 2013). کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی نیز تحت شرایط تنش سرمایی در مطالعه Allen و Ort (۲۰۰۱) نشان داده شده است. در این راستا عنوان شده است که فتوسنتز گیاهان در شرایط دمای پایین پس از مدت کوتاهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در نتیجه موجب کاهش عملکرد و محصول گیاه می‌شود (Ort, 2002). Darini و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که کاربرد ترکیبات ضدسرما سبب افزایش عملکرد ارقام سیب زمینی گردید.

است که تنش دماهای پایین سبب کاهش محتوای نسبی آب می‌شود (Rani *et al.*, 2021). کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش دمای پایین می‌تواند به دلیل کاهش هدایت هیدرولیکی ریشه و یا تنظیم اسمزی باشد که سبب کاهش جذب آب توسط ریشه در دماهای پایین می‌شود (Wilkinson *et al.*, 2001). از طرفی پایین بودن محتوای آب نسبی برگ در دماهای پایین را می‌توان به شکستن مولکول‌های درشت مانند پلی‌ساکاریدها و تولید قندهای ساده‌تر نسبت داد که سبب افزایش پتانسیل اسمزی و کاهش محتوای آب نسبی می‌گردد (Joshi *et al.*, 2007). هم‌چنین عنوان شده است که در شرایط تنش سرمایی میزان ورود آب از طریق ریشه به دلیل افزایش ویسکوزیته آب و کاهش سیالیت غشاها کاهش می‌یابد (Erdal, 2012). Manafi و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که تنش سرمایی محتوای نسبی آب برگ گیاه سویا را کاهش داد، اما محلول‌پاشی با ۵- آمینولولینیک اسید سبب بهبود محتوای نسبی آب در شرایط تنش سرمایی گردید. گزارش گردیده است که در شرایط تنش سرمایی محتوای نسبی آب برگ گیاه ذرت کاهش پیدا کرد و محلول‌پاشی با غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک منجر به افزایش ۷/۸ و ۱۲/۸ درصدی محتوای نسبی آب نسبت به عدم محلول‌پاشی گردید (Kafi *et al.*, 2018). براساس مطالعات صورت گرفته مشخص گردید که مصرف نترات پتاسیم سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ گیاه سیب‌زمینی گردید (Dkhil *et al.*, 2011). عنصر پتاسیم از طریق تنظیم اسمزی موجب افزایش جذب آب توسط واکوئل‌های سلولی می‌شود و از این طریق سبب بهبود محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Marschner, 2012). گزارش شده است که وجود پتاسیم کافی سبب بهبود عملکرد سلول‌های نگهبان روزنه می‌شود و در نتیجه باز و بسته شدن روزنه‌ها به‌طور مناسبی انجام می‌شود. در نهایت اتلاف آب از سلول‌ها به‌صورت بخار کاهش پیدا می‌کند و از این طریق سبب افزایش محتوای آبی نسبی برگ می‌شود (Karimi, 2017).

Bayat و Sepehri (۲۰۱۳) بیان داشتند که محلول-پاشی اسید سالیسیلیک و پاکلوبوترازول باعث افزایش تعداد دانه در بلال و افزایش عملکرد گیاه ذرت گردید. از طرفی افزایش عملکرد سیب‌زمینی با کاربرد پتاسیم به‌اثبات رسیده است (Abdul-Hannan *et al.*, 2011). عنصر پتاسیم موجب بهبود تحمل گیاه به شرایط نامساعد محیطی می‌شود و از طریق افزایش سطح برگ و میزان کلروفیل موجب افزایش فتوسنتز و عملکرد می‌شود (Cakmak, 2005). Cheema و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که عنصر پتاسیم سبب افزایش شاخص سطح برگ می‌گردد و از این طریق موجب افزایش تجمع ماده خشک و در نهایت افزایش عملکرد می‌گردد.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج مقایسات میانگین نشان داد که ترکیب تیماری محلول‌پاشی ماده ضدسرما، رقم ۲۶-۸۷۰۷ در سال دوم کشت دارای بالاترین محتوای نسبی آب (۹۹/۳ درصد) بود. ترکیبات تیماری کاربرد محلول ضدسرما، رقم ساوالان در سال دوم (۵۱/۱۶ درصد) و عدم استفاده از محلول ضدسرما، رقم ۹۰۱۳۷۵ در سال دوم آزمایش (۵۳ درصد) دارای کم‌ترین محتوای نسبی آب بودند (جدول ۱). از طرفی نتایج مقایسه میانگین برای اثر متقابل سال، ماده ضدسرما و تاریخ کاشت بیانگر آن بود که ترکیبات تیماری مصرف محلول ضدسرما × تاریخ کاشت ۱۰ مرداد × سال دوم آزمایش (۸۳/۹ درصد)، کاربرد محلول ضدسرما × تاریخ کاشت ۲۰ مرداد × سال دوم کشت (۸۰/۴۱ درصد) و عدم کاربرد محلول ضدسرما × تاریخ کاشت ۱۰ مرداد × سال دوم آزمایش (۸۳/۳۹ درصد) دارای حداکثر و ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی ماده ضدسرما × تاریخ کاشت ۲۰ مرداد × سال دوم کشت (۶۹/۹۸ درصد) دارای حداقل محتوای نسبی آب بودند (جدول ۴).

یک شاخص مهم برای تعیین وضعیت آب در گیاهان، محتوای نسبی آب است که میزان تأمین آب و میزان تعرق از بافت برگ را نشان می‌دهد (Lugojan & Ciulca, 2011). براساس گزارش‌ها مشخص گردیده

جدول ۱- اثر متقابل محلول پاشی ترکیبات ضدسرما در سال بر عملکرد، تعداد غده در بوته و محتوای نسبی آب

برگ ارقام سیب زمینی

Table 1- Interaction of antifreeze compounds foliar application and year on yield, number of tuber per plant and leaf relative water content of potato cultivars

ترکیب تیماری Treatment combination	عملکرد (تن در هکتار) Yield (ton ha ⁻¹)	تعداد غده در بوته Number of tuber per plant	محتوای نسبی آب برگ (درصد) Leaf relative water content (%)
۹۰۱۳۷۵ (First year × Antifreeze × 901375) × ماده ضدسرما × سال اول	43.31 b-e	10.33 b-d	77.95 f-j
۹۰۱۴۷۵ (First year × Antifreeze × 901475) × ماده ضدسرما × سال اول	37.98 e-h	9.16 d-g	82.1 e-i
۹۰۲۳۷۵ (First year × Antifreeze × 902375) × ماده ضدسرما × سال اول	32.3 g-m	7.5 h-l	82.06 e-i
۸۷۰۸-۷ (First year × Antifreeze × 8708-7) × ماده ضدسرما × سال اول	40.5 c-f	9.5 d-f	78.8 f-j
۸۷۰۹-۱۰۶ (First year × Antifreeze × 8709-106) × ماده ضدسرما × سال اول	26.35 m-p	6 l-q	77.7 f-j
ساوالان (First year × Antifreeze × Savalan) × ماده ضدسرما × سال اول	25.56 n-p	5.66 n-q	76.86 g-j
۷۰۰۹-۳ (First year × Antifreeze × 7009-3) × ماده ضدسرما × سال اول	33.3 g-k	7.83 g-j	70.33 i-m
۹۰۵۶۷۵ (First year × Antifreeze × 905675) × ماده ضدسرما × سال اول	27.25 k-p	6.33 j-q	65 j-o
۸۷۰۷-۲۶ (First year × Antifreeze × 8707-26) × ماده ضدسرما × سال اول	46.5 a-c	9.83 c-e	74.51 h-k
۹۰۱۳۷۵ (First year × Water × 901375) × آب × سال اول	31.63 h-n	7.5 h-l	76.8 g-j
۹۰۱۴۷۵ (First year × Water × 901475) × آب × سال اول	37.21 e-i	9.16 d-g	72.91 i-l
۹۰۲۳۷۵ (First year × Water × 902375) × آب × سال اول	38.63 d-g	9.66 c-e	82.05 e-i
۸۷۰۸-۷ (First year × Water × 8708-7) × آب × سال اول	34.95 f-j	8 f-i	82.03 e-i
آگریا (First year × Water × Agria) × آب × سال اول	37.91 e-h	9.16 d-g	78.76 f-j
۸۷۰۹-۱۰۶ (First year × Water × 8709-106) × آب × سال اول	23.06 p	5.33 o-q	77.68 f-j
ساوالان (First year × Water × Savalan) × آب × سال اول	22.7 p	5 q	76.85 g-j
۷۰۰۹-۳ (First year × Water × 7009-3) × آب × سال اول	26.86 l-p	6.16 k-q	70.28 i-m
۹۰۵۶۷۵ (First year × Water × 905675) × آب × سال اول	23.7 p	5.16 pq	64.95 j-o
۸۷۰۷-۲۶ (First year × Water × 8707-26) × آب × سال اول	40.03 p-f	9.5 d-f	74.48 h-k
۹۰۱۳۷۵ (Second year × Antifreeze × 901375) × ماده ضدسرما × سال دوم	30.43 j-o	7.5 h-l	77.38 f-j
۹۰۱۴۷۵ (Second year × Antifreeze × 901475) × ماده ضدسرما × سال دوم	31.37 i-n	7.47 h-m	56.5 m-o
۹۰۲۳۷۵ (Second year × Antifreeze × 902375) × ماده ضدسرما × سال دوم	50.49 a	12.14 a	98.9 ab
۸۷۰۸-۷ (Second year × Antifreeze × 8708-7) × ماده ضدسرما × سال دوم	32.17 h-m	7.45 h-m	82.66 e-i
آگریا (Second year × Antifreeze × Agria) × ماده ضدسرما × سال دوم	30.13 j-o	7.04 i-n	59.38 l-o
۸۷۰۹-۱۰۶ (Second year × Antifreeze × 8709-106) × ماده ضدسرما × سال دوم	30.31 j-o	6.88 i-o	91.43 c-f
ساوالان (Second year × Antifreeze × Savalan) × ماده ضدسرما × سال دوم	33.15 g-l	7.34 h-m	95.63 c-e
۷۰۰۹-۳ (Second year × Antifreeze × 7009-3) × ماده ضدسرما × سال دوم	24.08 op	5.65 n-q	51.16 o
۹۰۵۶۷۵ (Second year × Antifreeze × 905675) × ماده ضدسرما × سال دوم	37.51 e-i	7.68 e-h	88.98 d-g
۸۷۰۷-۲۶ (Second year × Antifreeze × 8707-26) × ماده ضدسرما × سال دوم	35.64 f-j	7.64 g-k	58.58 m-o
۹۰۱۳۷۵ (Second year × Water × 901375) × آب × سال دوم	49.42 ab	11.7 ab	99.3 a
۹۰۱۴۷۵ (Second year × Water × 901475) × آب × سال دوم	27.11 k-p	6.67 i-p	53 o
۹۰۲۳۷۵ (Second year × Water × 902375) × آب × سال دوم	44.97 a-d	11.25 a-c	95.61 c-e
۸۷۰۸-۷ (Second year × Water × 8708-7) × آب × سال دوم	28.44 k-p	6.53 i-q	67.41 j-n
آگریا (Second year × Water × Agria) × آب × سال دوم	26.4 m-p	5.36 j-q	54.61 no
۸۷۰۹-۱۰۶ (Second year × Water × 8709-106) × آب × سال دوم	25.68 n-p	5.88 m-q	88.03 d-h
ساوالان (Second year × Water × Savalan) × آب × سال دوم	27.38 k-p	5.97 l-q	93.78 c-e
۷۰۰۹-۳ (Second year × Water × 7009-3) × آب × سال دوم	23.02 p	5.2 pq	62.03 k-o
۹۰۵۶۷۵ (Second year × Water × 905675) × آب × سال دوم	32.35 g-m	6.99 i-n	88.76 d-g
۸۷۰۷-۲۶ (Second year × Water × 8707-26) × آب × سال دوم	31.46 i-n	7.49 h-m	59.16 l-o
LSD _{0.05}	6.4	1.61	14.08

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

Means with similar letters in each column are not significantly different

جدول ۲- اثر متقابل محلول پاشی ترکیبات ضد سرما و تاریخ کاشت بر تعداد غده در بوته ارقام سیب زمینی

Table 2- Interaction of antifreeze compounds foliar application and planting date on number of tuber per plant of potato cultivars

		تعداد غده در بوته									
		901375	901475	902375	8708-7	Agria	8709-106	Savalan	7009-3	905675	8707-26
ضد سرما (Antifreeze)	۱۰ مرداد	10.33	12.85	8.91	9	7.08	7.39	7.1	8.3	8.99	10.11 b-
	August 1	bc	a	c-h	c-h	i-p	g-n	i-p	e-k	c-h	d
	۲۰ مرداد	7.47	8.45	6.04	7.54	5.8	5.61	6.38	6.71	8.48	9.08
	August 11	g-n	d-k	m-q	g-n	n-q	o-q	l-q	j-q	d-j	c-g
آب (Water)	۱۰ مرداد	8.56	11.5	7.82	8.17	6.17	5.87	5.41	6.3	9.63	9.74
	August 1	c-i	ab	f-l	e-k	l-q	n-q	pq	l-q	c-e	b-e
	۲۰ مرداد	7.28	9.41	6.7	7.35	5.04	5.1	5.96	5.85 n-	7.36	7.75
	August 11	h-o	c-f	k-q	g-o	q	q	n-q	q	g-o	f-m
LSD _{0.05}		1.77									

میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

Means with similar letters are not significantly different

جدول ۳- اثر متقابل سال و تاریخ کاشت بر عملکرد و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ارقام سیب زمینی

Table 3- Interaction of year and planting date on yield and SOD enzyme activity of potato cultivars

سال (Year)	رقم (Cultivar)	عملکرد (تن در هکتار) Yield (ton ha ⁻¹)		سوپراکسید دیسموتاز (واحد/میلی‌گرم پروتئین) SOD (Unit mg ⁻¹ protein)	
		۱۰ مرداد August 1	۲۰ مرداد August 11	۱۰ مرداد August 1	۲۰ مرداد August 11
سال اول (First year)	901375	45.6 b	34.93 f-h	5.8 jk	5.85 i-k
	901475	43.7 bc	32.91 g-k	5.85 jk	6.43 g-j
	902375	38.35 d-f	28.9 k-p	6 i-k	6.63 e-i
	8708-7	42.79 bc	35.7 e-g	5.38 kl	6.76 e-h
	Agria	25.43 o-q	23.98 qr	6.06 h-k	6.53 f-j
	8709-106	25.41 o-q	22.85 qr	5.41 kl	6.11 h-k
	Savalan	29.65 j-o	30.51 i-m	6.45 f-j	5.83 jk
	7009-3	26.33 m-q	24.61 p-r	6.13 h-k	6.45 f-j
	905675	51.59 a	35.01 f-h	5.8 jk	6.23 g-j
	8707-26	28.68 k-p	33.38 g-j	5.8 jk	6.26 g-j
سال دوم (Second year)	901375	33.95 g-j	24.53 p-r	4.33 mn	4.2 mn
	901475	54.57 a	40.88 cd	7.33 de	8.13 c
	902375	34.13 f-i	26.49 l-q	5.38 kl	6.18 h-j
	8708-7	30.84 h-l	25.69 o-q	3.91 n	4.86 lm
	Agria	31.11 h-k	24.88 p-r	7.53 cd	6.8 d-h
	8709-106	34.22 f-i	26.31 m-q	7.31 de	7.2 d-f
	Savalan	26.13 n-q	20.97 r	5.83 jk	4.1 n
	7009-3	39.73 c-e	30.13 i-n	9.36 b	8.13 c
	905675	36.79 d-g	30.31 i-n	4.13 mn	5.41 kl
	8707-26	52.8 a	36.97 d-g	10.71 a	6.95 d-g
LSD _{0.05}		4.38		0.76	

میانگین‌های با حروف مشابه در هر صفت اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند. SOD: آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

Means with similar letters in each trait are not significantly different. SOD: Superoxide dismutase enzyme

محتوای پتاسیم و سدیم

بر اساس نتایج، محتوای پتاسیم و سدیم برگ گیاه سیب زمینی تحت تأثیر مواد ضدسرما قرار نگرفت. در صورتی که اثر تاریخ کاشت بر میزان پتاسیم و اثر رقم بر میزان پتاسیم و سدیم معنی دار بود. اثر متقابل سه-گانه سال، ماده ضدسرما و رقم نشان داد که بیشترین محتوای پتاسیم (۰/۰۹۶ میلی گرم در گرم وزن خشک) و سدیم برگ (۰/۰۸۶ میلی گرم در گرم وزن خشک) در محلول پاشی با مخلوط آسیدامینه فریزبن و پتاسیم، رقم ۲۶-۸۷۰۷ و در سال دوم کشت مشاهده گردید (جدول ۵). کمترین میزان پتاسیم (۰/۰۴۱ میلی گرم در گرم وزن خشک) از ترکیبات تیماری عدم مصرف ترکیبات ضدسرما، رقم ۷-۸۷۰۸ در سال دوم و هم چنین کاربرد ضدسرما، رقم ساوالان در سال دوم کشت به دست آمد (جدول ۵). پایینترین میزان سدیم (۰/۰۳۱ میلی گرم در گرم وزن خشک) نیز از اثر متقابل بین محلول پاشی محلول ضدسرما، رقم ساوالان و در سال دوم حاصل گردید (جدول ۵). این در حالی است که اثر متقابل تاریخ کاشت، ماده ضدسرما و سال بر میزان پتاسیم نشان داد که تاریخهای کاشت ۱۰ و ۲۰ مرداد به همراه محلول پاشی با ترکیب ضدسرما در سال دوم کاشت دارای بیشترین محتوای پتاسیم (به ترتیب ۰/۰۶۵ و ۰/۰۶۶ میلی گرم در گرم وزن خشک) بودند (جدول ۴). کمترین مقدار پتاسیم نیز از ترکیبات تیماری تاریخ کاشت ۲۰ مرداد، عدم مصرف محلول ضدسرما در سال دوم (۰/۰۵۵ میلی گرم در گرم وزن خشک) و هم چنین تاریخ کشت ۱۰ مرداد، عدم کاربرد محلول ضدسرما در سال اول آزمایش (۰/۰۵۵ میلی گرم در گرم وزن خشک) به دست آمد (جدول ۴).

تغذیه مواد معدنی هم در شرایط مساعد و هم در شرایط تنشهای محیطی برای بقای گیاهان ضروری

است. تنش سرما از جمله تنشهایی است که سبب کاهش مقدار جذب مواد معدنی می شود. از این رو کاربرد عناصر معدنی نقش مهمی در کاهش اثرات زیان بار حاصل از تنشهای غیرزنده دارد (Sheteiwy *et al.*, 2019). یکی از این عناصر پتاسیم می باشد که نقش ویژه ای را در حیات و بقای گیاهان تحت شرایط تنشهای محیطی ایفا می کند. به طوری که در شرایط کمبود پتاسیم، حساسیت گیاهان به تنشهای محیطی افزایش می یابد (Cakmak, 2002). Seema و همکاران (۲۰۱۸) بیان داشتند که تنش سرمایی سبب کاهش میزان پتاسیم می شود. عنوان گردیده است که مصرف پتاسیم در گیاهان سبب افزایش غلظت این عنصر در بافت های گیاهی می شود و از طرفی میزان سدیم را کاهش می دهد (Fayez & Bazaid, 2014). در مطالعه ای مشخص گردید که استفاده از عنصر پتاسیم سبب افزایش میزان این عنصر در بافت های سیب زمینی گردید (Bhattarai & Swarnima, 2016). گزارش گردیده است که کاربرد پتاسیم از طریق افزایش تجمع ترکیبات فنولی، اسید آسبزیک و قندهای محلول در بافت های گیاه باعث کاهش اثرات سرما بر بوته های انگور شده است (Karimi, 2017). Tari و همکاران (۲۰۰۲) گزارش دادند که استفاده از سالیسیلیک اسید از تجمع یون های سدیم و کلر در گیاه گوجه فرنگی جلوگیری می کند. در تحقیقی عنوان شده است که سالیسیلیک اسید، جذب سدیم را کاهش و پتاسیم را افزایش می دهد (Raghani *et al.*, 2016). Amobeigi و Razavizadeh (۲۰۱۳) عنوان کردند که کاربرد پاکلوبوترازول در گیاهان کلزا، با کاهش تجمع سدیم و جلوگیری از کاهش پتاسیم اثر حفاظتی در مقابل تنش خشکی داشت.

جدول ۴- اثر متقابل محلول پاشی مواد ضدسرما و تاریخ کاشت بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی سیبزمینی در طی دو سال آزمایش

Table 4- Interaction of antifreeze compounds foliar application and planting date on some morphophysiological traits of potato cultivars during two years of the experiment

ترکیب تیماری Treatment combination	عملکرد (تن در هکتار) Yield (ton ha ⁻¹)	تعداد غده در بوته Number of tuber per plant	محتوای نسبی آب برگ (درصد) Leaf relative water content (%)	پتاسیم برگ (میلی‌گرم در گرم وزن خشک) K ⁺ -leaf (mg g ⁻¹ DW)	سوپراکسید دیسموتاز (واحد/میلی‌گرم پروتئین) SOD (Unit mg ⁻¹ protein)	کاتالاز (میکرومول پراکسید هیدروژن/دقیقه/میلی‌گرم پروتئین) CAT (μmol H ₂ O ₂ min ⁻¹ mg protein)
۱۰ مرداد × ضدسرما × سال اول (First year × Antifreeze × August 1)	38.48 ab	8.8 ab	75.82 ab	0.06 ab	5.9 abc	6.99 abc
۲۰ مرداد × ضدسرما × سال اول (First year × Antifreeze × August 11)	30.47 de	7.13 cd	76.6 ab	0.063 ab	6.33 abc	6.98 abc
۱۰ مرداد × آب × سال اول (First year × Water × August 1)	33.01 cd	7.7 c	74.78 ab	0.055 b	5.83 bc	6.71 bc
۲۰ مرداد × آب × سال اول (First year × Water × August 11)	30.09 de	7.23 cd	76.7 ab	0.061 ab	6.31 abc	6.96 abc
۱۰ مرداد × ضدسرما × سال دوم (Second year × Antifreeze × August 1)	39.96 a	9.22 a	83.89 a	0.065 a	6.57 ab	7.69 a
۲۰ مرداد × ضدسرما × سال دوم (Second year × Antifreeze × August 11)	30.89 cd	7.18 cd	80.41 a	0.066 a	6.62 a	7.31 ab
۱۰ مرداد × آب × سال دوم (Second year × Water × August 1)	34.89 bc	8.14 bc	83.39 a	0.061 ab	6.6 a	7.58 ab
۲۰ مرداد × آب × سال دوم (Second year × Water × August 11)	26.54 e	6.33 d	69.98 b	0.055 b	5.77 c	6.38 c
LSD _{0.05}	4.08	1.07	9.67	0.008	0.74	0.9

Means with similar letters in each column are not significantly different. SOD: Superoxide dismutase enzyme & CAT: Catalase enzyme

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

SOD: آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و CAT: آنزیم کاتالاز

میزان پرولین

میزان پرولین تحت تأثیر تیمارهای تاریخ کاشت و رقم اختلاف معنی داری را نشان داد. در صورتی که اثر ترکیبات ضدسرما بر روی این شاخص غیرمعنی دار بود. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان پرولین (۰/۰۶۴ میلی گرم در گرم وزن تر) در تاریخ کاشت ۱۰ مرداد و کمترین این شاخص (۰/۰۵۹ میلی گرم در گرم وزن تر) در تاریخ کاشت ۲۰ مرداد مشاهده گردید. هم‌چنین ارقام ۲۶-۸۷۰۷ و ۳-۷۰۰۹ دارای بالاترین میزان پرولین (۰/۰۷۳ میلی گرم در گرم وزن تر) و رقم ساوالان دارای پایین‌ترین محتوای پرولین (۰/۰۵۱ میلی گرم در گرم وزن تر) بود. براساس نتایج به‌دست آمده مشخص گردید که اثر متقابل سه‌گانه سال، ترکیبات ضدسرما و رقم تأثیر معنی داری بر میزان پرولین ارقام سیب‌زمینی داشت. به طوری که اثر متقابل این سه تیمار نشان داد که بالاترین میزان تجمع پرولین (۰/۰۹۵ میلی گرم در گرم وزن تر) در رقم ۲۶-۸۷۰۷، محلول پاشی ترکیبات ضدسرما فریزین و پتاسیم در سال دوم کشت به‌دست آمد (جدول ۵). از طرفی، حداقل میزان انباشت پرولین (۰/۰۴۱ میلی گرم در گرم وزن تر) در رقم ۹۰۱۳۷۵، عدم مصرف ترکیبات ضدسرما و در سال دوم آزمایش حاصل شد (جدول ۵).

افزایش تحمل به تنش سرما در گیاهان با فرآیندهای سازگاری فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی مختلفی همراه است که یکی از این‌ها، تغییر در سنتز محلول‌های سازگار از قبیل پرولین، بتائین و قندهای محلول می‌باشد (Kazemi Shahandashti *et al.*, 2014). پرولین اسید آمینه‌ای است که تحت تنش‌های محیطی در گیاهان تجمع می‌یابد و باعث تنظیم اسمزی و

محافظت از غشای سلولی، حفظ انرژی، کاهش پتانسیل آب، از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن، کاهش نقطه انجماد آب در شیره سلولی، تثبیت نسبت $NAD^+/NADH$ و افزایش فعالیت فتوشیمیایی فتوسیستم II می‌شود (Kishor *et al.*, 2005; Verbruggen & Hermans, 2008). تجمع پرولین در طول تنش سرما را می‌توان به مکانیزم‌های گوناگون از جمله بیوسنتز پرولین، کاهش در سرعت اکسیداسیون پرولین به گلوتامات، کاهش کاربرد پرولین برای سنتز پروتئین و افزایش مکانیزم تبدیل پروتئین و تنظیم-کننده پروتئین‌های محافظ تنش دمایی نسبت داد (Akbari *et al.*, 2018). Dörffling و همکاران (۲۰۰۹) اظهار داشتند که افزایش محتوای پرولین در اندام‌های گیاهی سبب افزایش تحمل به سرما می‌شود. در این راستا همبستگی مثبتی بین تجمع پرولین و افزایش مقاومت به سرما گزارش شده است (Verbruggen & Hermans, 2008). Soleimani، Aghdam و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که میزان پرولین برگ‌های گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط تنش سرما افزایش می‌یابد. افزایش در میزان پرولین برگ‌های گیاه سیب‌زمینی تحت تنش سرمایی در مطالعات Li و همکاران (۲۰۲۱a) به‌اثبات رسیده است. افزایش محتوای پرولین در ارقام سیب‌زمینی با کاربرد ترکیبات ضدسرما گزارش گردیده است (Darini *et al.*, 2013). هم‌چنین Farzaneh و همکاران (۲۰۱۴) بیان داشتند که در شرایط تنش سرمایی، محلول پاشی با ترکیب ضدسرما اسید سالیسیلیک سبب افزایش محتوای پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ و ریشه گیاه بادمجان گردید.

جدول ۵- اثر متقابل محلول پاشی ترکیبات ضدسرما و سال بر میزان پتاسیم، سدیم، پرولین و فعالیت آنزیم‌های

ارقام سیب‌زمینی

Table 5- Interaction of antifreeze compounds foliar application and year on K⁺, Na⁺, proline content and enzymes activity of potato cultivars

ترکیب تیماری Treatment combination	پتاسیم برگ (میلی‌گرم در گرم وزن خشک) K ⁺ of leaf (mg g ⁻¹ DW)	سدیم برگ (میلی- گرم در گرم وزن خشک) Na ⁺ of leaf (mg g ⁻¹ DW)	پرولین (میلی- گرم در گرم وزن تر) Proline (mg g ⁻¹ FW)	سوپراکسید دیسموتاز (واحد/میلی‌گرم پروتئین) SOD (Unit mg ⁻¹ protein)	کاتالاز (میکرومول پراکسید هیدروژن/دقیقه/میلی‌گرم پروتئین) CAT (μmol H ₂ O ₂ min ⁻¹ mg protein)
۹۰۱۳۷۵ × ماده ضدسرما × سال اول (First year × Antifreeze × 901375)	0.078 b-d	0.062 b-e	0.075 b-d	6.06 h-k	7.81 e-i
۹۰۱۴۷۵ × ماده ضدسرما × سال اول (First year × Antifreeze × 901475)	0.064 e-j	0.048 e-k	0.055 f-m	6.15 g-k	7.13 f-k
۹۰۲۳۷۵ × ماده ضدسرما × سال اول (First year × Antifreeze × 902375)	0.062 f-l	0.055 c-i	0.068 c-f	6.31 f-j	7.06 f-l
۸۷۰۸-۷ × ماده ضدسرما × سال اول (First year × Antifreeze × 8708-7)	0.062 f-l	0.056 c-i	0.066 c-f	6.08 h-k	6.63 i-n
آگریا × ماده ضدسرما × سال اول (First year × Antifreeze × Agria)	0.066 d-i	0.048 e-k	0.063 d-h	6.3 f-j	7.2 f-j
۸۷۰۹-۱۰۶ × ماده ضدسرما × سال اول (First year × Antifreeze × 8709-106)	0.057 h-o	0.047 g-k	0.056 f-m	5.78 jk	6.61 i-n
ساوالان × ماده ضدسرما × سال اول (First year × Antifreeze × Savalan)	0.056 h-p	0.042 i-l	0.058 e-k	6.15 g-k	6.46 i-n
۷۰۰۹-۳ × ماده ضدسرما × سال اول (First year × Antifreeze × 7009-3)	0.051 j-q	0.042 i-l	0.062 d-i	6.3 f-j	7 g-l
۹۰۵۶۷۵ × ماده ضدسرما × سال اول (First year × Antifreeze × 905675)	0.058 g-n	0.046 g-k	0.06 d-j	6.01 i-k	7.08 f-l
۸۷۰۷-۲۶ × ماده ضدسرما × سال اول (First year × Antifreeze × 8707-26)	0.06 g-m	0.054 c-i	0.059 d-j	6.03 i-k	6.85 h-n
۹۰۱۳۷۵ × آب × سال اول (First year × Water × 901375)	0.06 g-n	0.048 f-k	0.056 f-m	5.71 j-l	6.45 j-n
۹۰۱۴۷۵ × آب × سال اول (First year × Water × 901475)	0.062 f-l	0.05 d-j	0.053 f-m	6.13 h-k	7.11 f-k
۹۰۲۳۷۵ × آب × سال اول (First year × Water × 902375)	0.06 g-m	0.057 c-h	0.066 c-g	6.31 f-j	7.03 f-l
۸۷۰۸-۷ × آب × سال اول (First year × Water × 8708-7)	0.06 g-m	0.058 c-h	0.064 d-h	6.06 h-k	6.6 i-n
آگریا × آب × سال اول (First year × Water × Agria)	0.064 e-j	0.05 d-j	0.061 d-j	6.3 f-j	7.2 f-j
۸۷۰۹-۱۰۶ × آب × سال اول (First year × Water × 8709-106)	0.055 h-p	0.049 e-k	0.054 f-m	5.75 j-l	6.6 i-n
ساوالان × آب × سال اول (First year × Water × Savalan)	0.054 i-q	0.044 h-l	0.056 f-m	6.13 h-k	6.45 j-n
۷۰۰۹-۳ × آب × سال اول (First year × Water × 7009-3)	0.049 l-q	0.044 h-l	0.06 d-j	6.28 g-j	6.96 h-m
۹۰۵۶۷۵ × آب × سال اول (First year × Water × 905675)	0.056 h-o	0.048 e-k	0.058 e-k	6.01 i-k	7.08 f-l
۸۷۰۷-۲۶ × آب × سال اول (First year × Water × 8707-26)	0.059 g-n	0.055 c-i	0.058 e-k	6.03 i-k	6.86 h-n
۹۰۱۳۷۵ × ماده ضدسرما × سال دوم (Second year × Antifreeze × 901375)	0.055 h-p	0.044 h-l	0.053 f-m	4.4 no	5.56 no
۹۰۱۴۷۵ × ماده ضدسرما × سال دوم (Second year × Antifreeze × 901475)	0.086 ab	0.066 bc	0.075 b-d	8.33 bc	9.63 a-c
۹۰۲۳۷۵ × ماده ضدسرما × سال دوم (Second year × Antifreeze × 902375)	0.063 e-k	0.055 c-i	0.068 c-f	6.36 f-j	7.1 f-k
۸۷۰۸-۷ × ماده ضدسرما × سال دوم (Second year × Antifreeze × 8708-7)	0.047 m-q	0.042 i-l	0.051 g-m	4.6 m-o	5 o
آگریا × ماده ضدسرما × سال دوم (Second year × Antifreeze × Agria)	0.076 b-e	0.055 c-i	0.072 b-e	7.28 d-f	8.36 c-f
۸۷۰۹-۱۰۶ × ماده ضدسرما × سال دوم (Second year × Antifreeze × 8709-106)	0.075 b-f	0.061 b-f	0.073 b-e	7.55 c-e	8.65 b-e
ساوالان × ماده ضدسرما × سال دوم (Second year × Antifreeze × Savalan)	0.041 q	0.031 l	0.042 lm	4.48 m-o	4.7 o

ادامه جدول ۵ Continuation of Table 5

۷۰۰۹-۳ × ماده ضدسرما × سال دوم (Second year × Antifreeze × 7009-3)	0.069 c-h	0.059 c-g	0.085 ab	8.66 ab	9.65 a-c
۹۰۵۶۷۵ × ماده ضدسرما × سال دوم (Second year × Antifreeze × 905675)	0.046 n-q	0.036 j-l	0.047 i-m	4.78 l-o	5.58 no
۸۷۰۷-۲۶ × ماده ضدسرما × سال دوم (Second year × Antifreeze × 8707-26)	0.096 a	0.086 a	0.095 a	9.51 a	10.78 a
۹۰۱۳۷۵ × آب × سال دوم (Second year × Water × 901375)	0.043 pq	0.035 kl	0.041 m	4.13 o	4.71 o
۹۰۱۴۷۵ × آب × سال دوم (Second year × Water × 901475)	0.071 c-g	0.059 c-g	0.061 d-j	7.13 e-g	8.33 c-g
۹۰۲۳۷۵ × آب × سال دوم (Second year × Water × 902375)	0.049 k-q	0.047 g-k	0.054 f-m	5.2 k-n	5.78 k-o
۸۷۰۸-۷ × آب × سال دوم (Second year × Water × 8708-7)	0.041 q	0.039 j-l	0.044 k-m	4.18 o	4.55 o
آگریا × آب × سال دوم (Second year × Water × Agria)	0.071 c-g	0.056 c-i	0.068 c-f	7.05 e-h	8.06 d-h
۸۷۰۹-۱۰۶ × آب × سال دوم (Second year × Water × 8709-106)	0.067 c-i	0.059 c-g	0.065 c-h	6.96 e-i	8 d-h
ساوالان × آب × سال دوم (Second year × Water × Savalan)	0.048 m-q	0.038 k-l	0.05 h-m	5.45 j-m	5.73 l-o
۷۰۰۹-۳ × آب × سال دوم (Second year × Water × 7009-3)	0.067 c-i	0.063 b-d	0.084 ab	8.83 ab	9.83 ab
۹۰۵۶۷۵ × آب × سال دوم (Second year × Water × 905675)	0.045 o-q	0.038 j-l	0.046 j-m	4.76 l-o	5.61 m-o
۸۷۰۷/۲۶ × آب × سال دوم (Second year × Water × 8707-26)	0.08 bc	0.075 ab	0.08 a-c	8.15 b-d	9.18 b-d
LSD _{0.05}	0.013	0.014	0.015	0.99	1.35

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم ندارند. SOD: آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و CAT: میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم ندارند. SOD: سوپراکسید دیسموتاز و CAT: کاتالاز

Means with similar letters in each column are not significantly different. SOD: Superoxide dismutase enzyme & CAT: Catalase enzyme

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

کاربرد محلول ضدسرما در سال دوم (۶/۶) واحد در میلی گرم پروتئین) به دست آمد (جدول ۴). ترکیب تیماری تاریخ کاشت ۱۰ مرداد و محلول پاشی با ترکیبات ضدسرما در سال دوم آزمایش نیز بالاترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۷/۶۹ میکرومول پراکسید هیدروژن در دقیقه بر میلی گرم پروتئین) را به خود اختصاص داد (جدول ۴). کمترین فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (۵/۷۷) واحد در میلی گرم پروتئین) و کاتالاز (۶/۳۸ میکرومول پراکسید هیدروژن در دقیقه بر میلی گرم پروتئین) متعلق به ترکیب تیماری تاریخ کاشت ۲۰ مرداد به همراه عدم کاربرد ترکیبات ضدسرما در سال دوم کاشت بود (جدول ۴). اثر ترکیب تیماری رقم، ماده ضدسرما و سال نشان داد که بالاترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۹/۵۱) واحد در میلی گرم پروتئین) و کاتالاز (۱۰/۷۸ میکرومول

نتایج حاصل از مقایسات میانگین برای اثر سه گانه ترکیب تیماری سال، تاریخ کاشت و رقم مشخص کرد که حداکثر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۱۰/۷۱) واحد در میلی گرم پروتئین) در رقم ۸۷۰۷-۲۶، تاریخ کاشت ۱۰ مرداد و سال دوم آزمایش و حداقل فعالیت این آنزیم نیز در ترکیبات تیماری رقم ۸۷۰۸-۷ × ۱۰ مرداد × سال دوم (۳/۹۱) واحد در میلی گرم پروتئین) و رقم ساوالان × ۲۰ مرداد × سال دوم (۴/۱) واحد در میلی گرم پروتئین) مشاهده گردید (جدول ۳). نتایج مقایسات میانگین برای اثر متقابل تاریخ کاشت، ترکیبات ضدسرما و سال نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در ترکیبات تیماری کاشت در ۲۰ مرداد و کاربرد محلول ضدسرما در سال دوم (۶/۶۲) واحد در میلی گرم پروتئین) و کاشت در ۱۰ مرداد و عدم

تنش سرمایی، گیاهان مکانیزم‌هایی از جمله فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز، پلی‌فنول اکسیداز و آسکوربات پراکسیداز را دارا هستند (Jiang & Zhang, 2004) که این آنزیم‌ها با حذف رادیکال‌های آزاد سبب پایداری غشاء و ایجاد سازگاری بیش‌تر گیاه با محیط در زمان مواجهه با تنش‌ها می‌شوند (Shigeoka *et al.*, 2002). نتایج بسیاری در رابطه با همبستگی بین تنش سرمایی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی وجود دارد (Duan *et al.*, 2001; Payton *et al.*, 2012). در این راستا، Xu و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در برگ‌های چهار رقم سیب‌زمینی در مراحل اولیه تنش سرمایی افزایش یافت. هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در برگ‌های سیب‌زمینی تحت تأثیر تنش دمایی پایین توسط Yang و همکاران (۲۰۱۶) گزارش شده است. از طرفی نشان داده شده است که تنش سرمایی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاهان سیب‌زمینی می‌شود (Che *et al.*, 2020). Nazari و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشتند که میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز در ارقام نخود در شرایط تنش سرمایی ۴ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. نتایج مطالعه‌ای افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاهان تحت تأثیر ماده ضدسرما‌ی اسید سالیسیلیک را گزارش کرده است (Kang *et al.*, 2003). عنوان شده است که ترکیب ضدسرما‌ی پاکلوبوترازول از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش‌های محیطی در سیب‌زمینی شیرین می‌شود (Lin *et al.*, 2006). هم‌چنین، افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز و سیمت‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن با کاربرد پتاسیم در شرایط تنش شوری گزارش گردیده است (Jan *et al.*, 2017). Abbasi و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که کاربرد برگی پتاسیم سبب

پراکسید هیدروژن در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) در ترکیب تیماری محلول‌پاشی با ترکیب ضدسرما، رقم ۲۶-۸۷۰۷ و در سال دوم آزمایش مشاهده گردید (جدول ۵). کم‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز متعلق به ارقام ۹۰۱۳۷۵ و ۷-۸۷۰۸، عدم کاربرد ترکیبات ضدسرما و در سال دوم کاشت (به‌ترتیب ۴/۱۳ و ۴/۱۸ واحد در میلی‌گرم پروتئین) بود. هم‌چنین، پایین‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز در ارقام ۷-۸۷۰۸ و ۹۰۱۳۷۵ و در حالت عدم محلول‌پاشی با مواد ضدسرما و در سال دوم (به‌ترتیب ۴/۵۵ و ۴/۷۱ میکرومول پراکسید هیدروژن در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) و نیز از رقم ساوالان همراه با مصرف توأم فریزین و پتاسیم در سال دوم کاشت (۴/۷ میکرومول پراکسید هیدروژن در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) به‌دست آمد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه رقم، تاریخ کاشت و مواد ضدسرما مشخص کرد که رقم ۹۰۱۳۷۵ در حالت کاربرد ترکیبات ضدسرما و کشت در تاریخ ۱۰ مرداد ماه دارای بالاترین (۶/۹۱ واحد در میلی‌گرم پروتئین) و رقم ۷-۸۷۰۸ در حالت مصرف ترکیبات ضدسرما و کشت در تاریخ ۱۰ مرداد ماه دارای پایین‌ترین (۲/۹۸ واحد در میلی‌گرم پروتئین) فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز بود (جدول ۶). از طرفی، اثر سال در رقم نشان داد که بیش‌ترین فعالیت این آنزیم (۶/۰۹ و ۶/۰۵ واحد در میلی‌گرم پروتئین) را به‌ترتیب ارقام ۳-۷۰۰۹ و ۲۶-۸۷۰۷ در سال دوم آزمایش به‌خود اختصاص دادند. کم‌ترین فعالیت آن (۳ واحد در میلی‌گرم پروتئین) نیز مربوط به رقم ۷-۸۷۰۸ در سال دوم کاشت بود (شکل ۱). قرار گرفتن طولانی‌مدت گیاهان در معرض دماهای پایین سبب افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد. گونه‌های فعال اکسیژنی باعث ایجاد اثرات زیان‌باری در گیاه مانند تنش اکسیداتیو، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، تغییر ماهیت پروتئین، پراکسیداسیون لیپیدی و آسیب نوکلئوتیدی می‌گردند، که به‌عنوان یک واکنش ثانویه به تنش سرمایی در نظر گرفته می‌شود (Kuk *et al.*, 2013; Tian *et al.*, 2003). برای تعدیل اثرات ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال تولیدشده تحت تأثیر

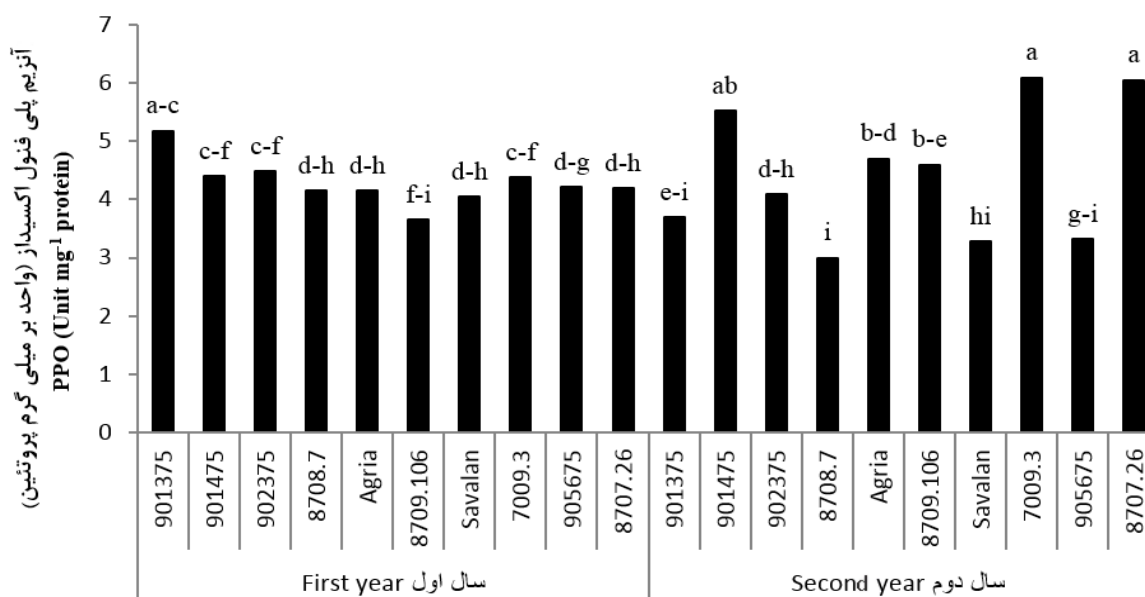
افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه ذرت شد.

جدول ۶- اثر متقابل محلول پاشی مواد ضدسرما و تاریخ کاشت بر فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز ارقام سیب زمینی

Table 6- Interaction of antifreeze compounds foliar application and planting date on PPO enzyme activity of potato cultivars

		پلی فنول اکسیداز (واحد/میلی گرم پروتئین) PPO (Unit mg ⁻¹ protein)										
		901375	901475	902375	8708-7	Agria	8709-106	Savalan	7009-3	905675	8707-26	
ضدسرما (Anifreeze)	۱۰ مرداد	6.91	5.15	4.28	2.98	4.25	4.06	3.98	5.73	3.36	5.51	
	August 1	a	b-f	d-j	j	d-j	e-j	f-j	a-c	h-j	b-d	
	۲۰ مرداد	3.76	5.18	4.7	4.33	4.7	4.38	3.03	4.68	4.18	5.18	
آب (Water)	۱۰ مرداد	3.4	5.05	3.91	3.1	4.11	4.13	4.56	5.83	3.48	5.41	
	August 1	h-j	b-g	f-j	ij	e-j	e-j	b-h	ab	h-j	b-e	
	۲۰ مرداد	3.68	4.46	4.25	3.93	4.63	3.96	3.1	4.7	4.06	4.36	
		August 11	h-j	c-h	d-j	f-j	b-h	f-j	ij	b-h	e-j	d-i
LSD _{0.05}		1.35										

میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف آماری معنی داری با هم ندارند. PPO: آنزیم پلی فنول اکسیداز
Means with similar letters are not significantly different. PPO: Polyphenol oxidase enzyme



شکل ۱- فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز ارقام سیب زمینی در دو سال آزمایش. PPO: آنزیم پلی فنول اکسیداز
Figure 1- PPO activity of potato cultivars in two years of experiment. PPO: Polyphenol oxidase enzyme

نتیجه گیری کلی
این مطالعه اثر اسیدآمینه فریزبن توأم با پتاسیم و تاریخ کاشت را بر واکنش‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ارقام مختلف سیب زمینی مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که محلول پاشی اسیدآمینه فریزبن و پتاسیم عملکرد و اجزای عملکرد، محتوای نسبی آب، پروتئین و

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد. هم-چنین، تاریخ کاشت ۱۰ مرداد ماه نسبت به ۲۰ مرداد ماه تأثیر مؤثرتری بر بهبود عملکرد و صفات مورد مطالعه داشت. در این پژوهش رقم ۹۰۱۴۷۵ دارای بیشترین و رقم آگریا دارای کمترین میزان عملکرد و ارقام ۷۰۰۹-۳ و ۸۷۰۷-۲۶ دارای بالاترین محتوای پروتئین و فعالیت

ضدسرما (اسیدآمینه فریزین + پتاسیم) می‌تواند آستانه تحمل به سرما و رشد و نمو و عملکرد ارقام سیب‌زمینی را در مناطقی که محصول در معرض تنش سرمایی قرار دارد از طریق تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بهبود بخشد.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بودند. نتایج این مطالعه نقش محافظتی مواد ضدسرما در کاهش اثرات زیان‌بار ناشی از تنش سرما را به بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی و افزایش تجمع پرولین نسبت می‌دهد. در نهایت، نتایج حاکی از آن بود که استفاده از ترکیبات

References

- Abbasi, G. H., Akhtar, J., Anwar-ul-Haq, M. & Ahmad, N. (2012). Screening of maize hybrids for salt tolerance at seedling stage under hydroponic condition. *Soil and Environment*, 31(1), 83-90.
- Abdul-Hannan, A., Arif, M., Ranjha, A. M., Abid, A., Fan, X. H. & Li. Y. C. (2011). Using soil potassium adsorption and yield response models to determine potassium fertilizer rates for potato crop on a calcareous soil in Pakistan. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(6), 645-655.
- Akbari, M., Mahna, N., Ramesh, K., Bandehagh, A. & Mazzuca, S. (2018). Ion homeostasis, osmoregulation, and physiological changes in the roots and leaves of pistachio rootstocks in response to salinity. *Protoplasma*, 255(5), 1349-1362.
- Allen, D. J. & Ort, D. R. (2001). Impact of chilling temperature on photosynthesis in warm climate plants. *Trends in Plant Science*, 6, 36-42.
- Al-Mahmud, A., Hossain, A., Al-Mamun, A., Ebna Habib, S. H., Rahaman, S. H., Ali Khan, S. H. & Bazzaz, M. (2014). Plant canopy, tuber yield and growth analysis of potato under moderate and severe drought condition. *Journal of Plant Science*, 2(5), 201-208.
- Amobeigi, M. & Razavizadeh, R. (2013). Effects of drought stress and PBA on flavonoid accumulation and minerals in *Brassica napus*. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 8(31), 12-22. (In Farsi)
- Banerjee, A. & Roychoudhury, A. (2019). Cold stress and photosynthesis. *Photosynthesis, Productivity and Environmental Stress*, 27-37.
- Baninasab, B. (2009). Amelioration of chilling stress by paclobutrazol in watermelon seedlings. *Scientia Horticulturae*, 121(2), 144-148.
- Barzegari Barogh, R., Hassanpanah, D., Esmailpour, B., Jahanbakhsh Gade Kahriz, S. & Kalateh Jari, S. (2023). The effect of using biological fertilizers on the morphological characteristics, nutrients, and soluble solids of the obtained plantlets from tissue culture of (*Solanum tuberosum* L.) cv. Gelli and Agria. *Journal of Vegetables Sciences*, 6(2), 97-108. (In Farsi) doi: 10.22034/iuvs.2021.138417.1123
- Bates, I. S., Waldern, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free prolin for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.
- Berova, M., Zlatev, Z. & Stoeva, N. (2002). Effect of paclobutrazol on wheat seedlings under low temperature stress. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 28, 75-84.
- Bhattarai, B. & Swarnima, K. C. (2016). Effect of potassium on quality and yield of potato tubers-A review. *International Journal of Agriculture and Environmental Science*, 3(6), 7-12.

- Cakmak, I. (2002). Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant and Soil*, 247(1), 3-24.
- Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 521-530.
- Chadha, K. L. (2009). Handbook of Horticulture, ICAR, New Delhi. 1031 pages.
- Che, Y., Zhang, N., Zhu, X., Li, S., Wang, S. & Si, H. (2020). Enhanced tolerance of the transgenic potato plants overexpressing Cu/Zn superoxide dismutase to low temperature. *Scientia Horticulturae*, 261, 108949.
- Cheema, M. A., Wahid, M. A., Sattar, A., Rasul, F. & Saleem, M. F. (2012). Influence of different levels of potassium on growth, yield and quality of canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 49(2), 163-168.
- Cheng, L., Ma, F. & Ranwala, D. (2004). Nitrogen storage and its interaction with carbohydrates of young apple trees in response to nitrogen supply. *Tree Physiology*, 24(1), 91-98.
- Chinnusamy, V., Zhu, J. & Zhu, J. K. (2007). Cold stress regulation of gene expression in plants. *Trends in Plant Science*, 12(10), 444-451.
- Çolpan, E., Zengin, M. & Özbahçe, A. (2013). The effects of potassium on the yield and fruit quality components of stick tomato. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54(1), 20-28.
- Darini, A., Fathi, Gh., Gharineh, M. H., Alami-Saeid, Kh., Khodadadi, M. & Siadat, S. A. (2013). Effect of planting date and application of anti-freeze on tuber yield and some physiological traits of potato cultivars in autumn planting in Jiroft region of Iran. *Seed and Plant Production Journal*, 29(4), 443-459. (In Farsi)
- Devi, B. S. R., Kim, Y. J., Selvi, S. K., Gayathri, S., Altanzul, K., Parvin, S., Yang, D. U., Lee, O. R., Lee, S. & Yang, D. C. (2012). Influence of potassium nitrate on antioxidant level and secondary metabolite genes under cold stress in *Panax ginseng*. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59(3), 318-325.
- Dkhil, B. B., Denden, M. & Aboud, S. (2011). Foliar potassium fertilization and its effect on growth, yield and quality of potato grown under loann-sandy soil and semi-arid. *International Journal of Agricultural Research*, 6(7), 593-600.
- Dörffling, K., Dörffling, H. & Luck, E. (2009). Improved frost tolerance and winter hardiness in proline overaccumulating winter wheat mutants obtained by in vitro-selection is associated with increased carbohydrate, soluble protein and abscisic acid (ABA) levels. *Euphytica*, 165(3), 545-556.
- Duan, M., Feng, H. L., Wang, L. Y., Li, D. & Meng, Q. W. (2012). Overexpression of thylakoidal ascorbate peroxidase shows enhanced resistance to chilling stress in tomato. *Journal of Plant Physiology*, 169(9), 867-877.
- Erdal, S. (2012). Androsterone-induced molecular and physiological changes in maize seedlings in response to chilling stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 57, 1-7.
- Farzaneh, M., Ghanbari, M., Eftekharian Jahromi, A. & Jaavaanmardi, Sh. (2014). Effect of salicylic acid foliar application on osmolytes content and photosynthetic pigments of eggplant (*Solanum melongena* L.) under cold stress. *Journal of Iranian Plant*

- Ecophysiological Research*, 8(32), 75-83. (In Farsi)
- Fayez, K. A. & Bazaid, S. A. (2014). Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13, 45-55.
 - García Morales, S., Trejo-Téllez, L. I., Gómez Merino, F. C., Caldana, C., Espinosa-Victoria, D. & Herrera Cabrera, B. E. (2012). Growth, photosynthetic activity, and potassium and sodium concentration in rice plants under salt stress. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 34(3), 317-324.
 - Giannopolitis, C. N. & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59(2), 309-314
 - Hajivand, S. & Rahmati, M. (2018). The effects of anti-freeze compounds on the effective biological materials in freezing tolerance of grape under the orchard conditions. *Journal of Horticultural Science*, 32(1), 159-170. (In Farsi)
 - Hajivand, S., Kashanizadeh, S. & Javanshah, A. (2022). Effects of different antifreeze chemicals on late spring frost in pistachio. *Protoplasma*, 259(1), 91-102.
 - Ilyas, M., Ayub, G., Imran, A., Awan, A. & Ahmad, M. (2021). Calcium and boron effect on production and quality of autumn potato crop under chilling temperature. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(4), 375-388.
 - Jafari, S. R., Manouchehr Kalantari, Kh. & Turkzadeh, M. (2006). The evaluation of paclobutrazol effects on increase cold hardiness in tomato seedlings (*lycopersicum esculentum* L.). *Iranian Journal of Biology*, 19(3), 290-298. (In Farsi)
 - Jan, A. U., Hadi, F., Nawaz, M. A. & Rahman, K. (2017). Potassium and zinc increase tolerance to salt stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 116, 139-149.
 - Jiang, M. Y. & Zhang, J. H. (2004). Abscisic acid and antioxidant defense in plant cells. *Acta Botanica Sinica*, 46(1), 1-9.
 - Joshi, S. C., Chandra, S. & Palni, L. M. S. (2007). Differences in photosynthetic characteristics and accumulation of osmoprotectants in saplings of evergreen plants grown inside and outside a glasshouse during the winter season. *Photosynthetica*, 45(4), 594-600.
 - Kafi, M., Tarigholeslami, M., Nezami, A. & Zarghami, R. (2018). Effect of salicylic acid on improving chilling stress damage in corn hybrid SC 400 (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 6(19), 281-292. (In Farsi)
 - Kang, G., Wang, C., Sun, G. & Wang, Z. (2003). Salicylic acid changes activities of H₂O₂-metabolizing enzymes and increases the chilling tolerance of banana seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 50(1), 9-15.
 - Kant, S. & Kafkafi, U. (2002). Potassium and abiotic stresses in plants. In: Potassium for Sustainable Crop Production (eds. N.S. Pasricha and S.K. Bansal), 233-251. Gurgaon, India: Potash Institute of India.
 - Karimi, R. (2017). Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. *Scientia Horticultura*, 215, 184-194.
 - Karimi, R., Ershadi, A. & Esna Ashari, M. (2014). Effects of late-season nitrogen and potassium spray

- on dormant buds cold tolerance of 'Bidaneh Sefid' grapevine. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 15(3), 419-434. (In Farsi)
- Karmakar, N., Chakravarty, A., Bandopadhyay, P. K. & Kanti Da, P. (2014). Response of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seedlings under moisture and heavy metal stress with special reference to antioxidant system. *African Journal of Biotechnology*, 13(3), 434-440.
 - Karo, M. & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase and polyphenol oxidase activity during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57, 315-319.
 - Kawakami, J., Iwama, K. & Jitsuyama, Y. (2005). Effects of planting date on growth and yield of two potato cultivars from microtubers and conventional seed tubers. *Plant Production Science*, 8(1), 74-78.
 - Kazemi, B., Alymanesh, M. R., & Beigi, S. (2023). Isolation of *Rhizospheric Pantoea* sp. and *Pseudomonas* sp. bacteria and evaluation of their bio-control ability against *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* causes of tubers and vegetables rot. *Journal of Vegetables Sciences*, 7(1), 167-182. (In Farsi) doi: 10.22034/iuvs.2022.555204.1209
 - Kazemi Shahandashti, S. S., Maali-Amiri, R., Zeinali, H., Khazaei, M., Talei, A. & Ramezani, S. S. (2014). Effect of short-term cold stress on oxidative damage and transcript accumulation of defense-related genes in chickpea seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 171(13), 1106-1116.
 - Khichar, M. L. & Niwas, R. (2006). Microclimatic profiles under different sowing environments in wheat. *Journal of Agrometeorology*, 8(2), 201-209.
 - Kishor, P. K., Sangam, S., Amrutha, R. N., Laxmi, P. S., Naidu, K. R., Rao, K. S., Rao, S., Reddy, K. J., Theriappan, P. & Sreenivasulu, N. (2005). Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science*, 88(3), 424-438.
 - Kleinkopf G. E. & Dwelle R. B. (2003). Delaying of tuber initiation and shortened tuber bulking periods reduce tuber yield in potato crop. *Plant and Cell Physiology*, 11, 303-314.
 - Kocsy, G., Galiba, G. & Brunold, C. (2001). Role of glutathione in adaptation and signaling during chilling and cold acclimation in plants. *Physiologia Plantarum*, 113(2), 158-164.
 - Kuan-Hung, L., Fu-Hsiang, P., Shih-Ying, H. & Hsiao-Feng, L. (2006). Pre-treating paclobutrazol enhanced chilling tolerance of sweet potato. *Journal of Plant Growth Regulation*, 49, 249-262.
 - Kuk, Y. I., Shin, J. S., Burgos, N. R., Hwang, T. E., Han, O., Cho, B. H., Jung, S. & Guh, J. O. (2003). Antioxidative enzymes offer protection from chilling damage in rice plants. *Crop Science*, 43(6), 2109-2117.
 - Li, H., Luo, W., Ji, R., Xu, Y., Xu, G., Qiu, S. & Tang, H. (2021a). A comparative proteomics study of cold responses in potato leaves. *Heliyon*, 7(2), e06002.
 - Li, Y., Wang, J., Tang, J., Wang, E., Pan, Z., Pan, X. & Hu, Q. (2021b). Optimum planting date and cultivar maturity to optimize potato yield and yield stability in North China. *Field Crops Research*, 269, 108179.
 - Lin, K. H. R., Tsou, C. C., Hwang, S. Y., Chen, L. F. O. & Lo, H. F. (2006). Paclobutrazol pre-treatment enhanced flooding tolerance of sweet

- potato. *Journal of Plant Physiology*, 163(7), 750-760.
- Lugojan, C. & Ciulca, S. (2011). Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 15(2), 173-177.
 - Manafi, E., Modarres-Sanavy, S. A. M., Agha Alikhani, M. & Modares Vameghi, S. M. (2014). Effect of concentration and application methods of 5-aminolevulinic acid on inducing cold resistance of Soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Crop Production*, 7(2), 157-174. (In Farsi)
 - Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd edition, Academic Press, London.
 - Miura, K. & Tada, Y. (2014). Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Frontiers in Plant Science*, 5(4), 1-12.
 - Nazari, M., Maali Amiri, R. & Ramezani S. S. (2011). Study on the activity and relative gene expression of catalase and peroxidase enzymes in the Iranian chickpea genotypes under cold stress. *Genetics in the 3rd Millennium*. 9(1), 2290-2299. (In Farsi)
 - Ort, D. R. (2002). Chilling-induced limitations on photosynthesis in warm climate plants: contrasting mechanisms. *Environmental Control in Biology*, 40, 7-18.
 - Payton, P., Webb, R., Kornyejev, D., Allen, R. & Holaday, A. S. (2001). Protecting cotton photosynthesis during moderate chilling at high light intensity by increasing chloroplastic antioxidant enzyme activity. *Journal of Experimental Botany*, 52(365), 2345-2354.
 - Raghani, M., Estaji, A., Bagheri, V. & Aryakia, E. (2016). Effect of salinity stress and salicylic acid on some morphophysiological characteristics of eggplant (*Solanum melongena* var. Taki) in soilless culture. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 7(3), 77-87. (In Farsi)
 - Rani, A., Kiran, A., Sharma, K. D., Prasad, P. V., Jha, U. C., Siddique, K. H. & Nayyar, H. (2021). Cold tolerance during the reproductive phase in chickpea (*Cicer arietinum* L.) is associated with superior cold acclimation ability involving antioxidants and cryoprotective solutes in anthers and ovules. *Antioxidants*, 10(11), 1693.
 - Razdan, M. K. & Mattoo, A. K. (2005). Genetic improvement of solanaceous crops, volume 1: potato. CRC Press.
 - Schittenhelm, S., Sourell, H. & Lopmeier, F. J. (2006). Drought resistance of potato cultivars with contrasting canopy architecture. *European Journal of Agronomy*, 24, 193-202.
 - Seema, N., Azm, Y., Singh, P. K. & Kumar, M. (2018). Effect of cold stress on primary nutrient level during seedling growth of Boro rice. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Special Issue-7, 3739-3744.
 - Sepehri, A. & Bayat, S. (2013). The effect of salicylic acid and paclobutrazol on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) under water stress. *Plant Productions*, 35(4), 55-68. (In Farsi)
 - Sheteiwy, M. S., An, J., Yin, M., Jia, X., Guan, Y., He, F. & Hu, J. (2019). Cold plasma treatment and exogenous salicylic acid priming enhances salinity tolerance of *Oryza sativa* seedlings. *Protoplasma*, 256(1), 79-99.
 - Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tamoi, M., Miyagawa, Y., Takeda, T., Yabuta, Y. & Yoshimura, K. (2002). Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. *Journal of*

- Experimental Botany*, 53(372), 1305-1319.
- Siddique, K., Tennant, H. & Belford, P. K. (1990). Growth development and weight interception of old and modern potato cultivars in mediterranean type environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, 41, 431-437.
 - Soleimani Aghdam, M., Asghari, M., Khorsandi, A., Muradbeygi, H., Mohamadkhani, N., Mohayjeji, M. & Hassanpor aghdam, M. B. (2014). Possible mechanisms of salicylic acid to reduce the effects of frost after harvest tomato fruit. *Journal of Plant Research (Journal of Biology Iran)*, 27(2), 34-46. (In Farsi)
 - Sudhakar, C., Lakshmi, A. & Giridara Kumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, 167, 613-619.
 - Tambussi, E. A., Nogués, S. & Araus, J. L. (2005). Ear of durum wheat under water stress: water relations and photosynthetic metabolism. *Planta*, 221(3), 446-458.
 - Tari, I., Csiszar, J., Szalai, G., Horvath, F., Pecsvaradi, A., Kiss, G., Szepesi, A., Szabo, M. & Erdei, L. (2002). Acclimation of tomato plants to salinity stress after a salicylic acid pre-treatment. *Acta Biologica Szegediensis*, 46(3-4), 55-56.
 - Thipyapong, P., Hunt, M. D. & Steffens, J. C. (2004). Antisense downregulation of polyphenol oxidase results in enhanced disease susceptibility. *Planta*, 220(1), 105-117.
 - Thongam, B., Kadam, A. S., Singh, A. A. & Singh, Y. H. (2017). Influence of planting dates on growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(6), 1243-1246.
 - Tian, S., Qin, G. & Li, B. (2013). Reactive oxygen species involved in regulating fruit senescence and fungal pathogenicity. *Plant Molecular Biology*, 82(6), 593-602.
 - Venketesh, S. & Dayananda, C. (2008). Properties, potentials, and prospects of antifreeze proteins. *Critical Reviews in Biotechnology*, 28(1), 57-82.
 - Verbruggen, N. & Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*, 35(4), 753-759.
 - 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.
 - Webster, D. E. & Ebdon, J. S. (2005). Effects of nitrogen and potassium fertilization on perennial ryegrass cold tolerance during deacclimation in late winter and early spring. *HortScience*, 40(3), 842-849.
 - Wilkinson, S., Clephan, A. L. & Davies, W. J. (2001). Rapid low temperature-induced stomatal closure occurs in cold-tolerant *Commelina communis* leaves but not in cold-sensitive tobacco leaves, via a mechanism that involves apoplastic calcium but not abscisic acid. *Plant Physiology*, 126(4), 1566-1578.
 - Xu, J., Zheng, X., Yan, H., Tang, X., Xiong, J., Wei, M., Qin, W. & Li, W. (2016). Physiological responses of different potato varieties to cold stress at seedling stage. *Journal of Southern Agriculture*, 47(11), 1837-1943.
 - Yang, H. & Guo, H. (2016). Physiological responds of potato seedlings to low temperature stress and comprehensive evaluation on their cold tolerance. *Southwest*

- China Journal of Agricultural Sciences*, 29(11), 2560-2566.
- Yang, J., He, Y., Luo, S., Ma, X., Li, Z., Lin, Z. & Zhang, Z. (2021). Optimizing the optimal planting period for potato based on different water-temperature year types in the agro-pastoral ecotone of north China. *Agriculture*, 11(11), 1061.
 - Zhou, B., Guo, Z. & Liu, Z. (2005). Effects of abscisic acid on antioxidant systems of *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Sw. under chilling stress. *Crop Science*, 45(2), 599-605.
 - Zhu, J., Dong, C. H. & Zhu, J. K. (2007). Interplay between cold-responsive gene regulation, metabolism and RNA processing during plant cold acclimation. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(3), 290-295.