



<https://ijpb.ui.ac.ir/?lang=en>
Journal of Plant Biological Sciences
E-ISSN: 3041-9603
Vol. 16, Issue 3, No. 61, 2024
Document Type: Research Paper
Received: 22/05/2025 Accepted: 03/08/2025

The effect of priming on the antioxidant system and seed deterioration indices of triticale (*X Triticosecale*)

Gilla Nazari¹, Mohammad Sedghi¹*, Raouf Seyed Sharifi¹

¹Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Science and Technology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract

To examine the effect of priming on germination indices and some biochemical traits of deteriorated triticale seeds, a factorial experiment was performed in a completely randomized design with three replications at the Laboratory of Seed Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili in 2023. Treatments included seed deterioration (5%, 15%, and 25%) and priming (no prime, distilled water, cytokinin, spermidine, salicylic acid, and auxin). The hormones used were prepared at a concentration of 1 mM based on preliminary test results. In the initial test, concentrations of 0.25, 0.5, 1, 1.5, and 2 mM of each hormone were tested, and the most suitable concentration was found to be 1 mM. The results showed that priming with auxin caused the most significant increase in the activities of catalase (40.39%), superoxide dismutase (46.7%), polyphenol oxidase (73.01%), and kayagol peroxidase (17.56%) compared to the control. Additionally, the levels of malondialdehyde (21.1 nmol/g fresh weight), hydrogen peroxide (103 nmol/g fresh weight), and superoxide (35 units) were the lowest in priming with auxin. The levels of Maillard and Amadori products increased due to exhaustion, but decreased by 0.63 and 0.017, respectively, in priming with auxin. In general, the results indicate that seed treatment with auxin can mitigate the detrimental effects of exhaustion on certain triticale seedling traits and enhance seedling growth by stimulating antioxidant enzymes and neutralizing free radicals.

Keywords: Auxin, MDA, Priming, Salicylic acid, Spermidine

*Corresponding author: m_sedghi@uma.ac.ir



Introduction

Triticale (\times Triticosecale), a hybrid of wheat and rye, exhibits superior biomass production and adaptability. However, its seed viability can significantly decline due to deterioration during storage. Seed aging is associated with oxidative stress, membrane degradation, and biochemical changes, including the accumulation of Maillard and Amadori products. These changes impair seedling establishment and vigor. Reactive oxygen species (ROS), including hydrogen peroxide (H_2O_2) and superoxide radicals (O_2^-), play a crucial role in cellular damage. The antioxidant defense system, particularly enzymes like catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), guaiacol peroxidase (POD), and polyphenol oxidase (PPO), counteract ROS toxicity. Seed priming, particularly with plant growth regulators, has been recognized as a practical approach to mitigate the effects of seed aging by enhancing antioxidant defenses and repairing cellular structures. In this study, we investigated the effects of different priming treatments, including hydropriming, cytokinin, spermidine, salicylic acid, and auxin, on seedling antioxidant activity and deterioration indices under accelerated aging conditions.

Materials and Methods

A factorial experiment based on a completely randomized design with three replications was conducted at the Seed Science and Technology Laboratory, University of Mohaghegh Ardabili, in 2023. The experiment included three levels of seed deterioration (95%, 85%, and 75% viability) induced through accelerated aging (40 °C and 100% RH), and six priming treatments: control (unprimed), hydropriming, cytokinin, spermidine, salicylic acid, and auxin, all applied at 1 mM concentration based on preliminary trials. Priming was carried out by soaking seeds for 24 hours at 25 °C, followed by drying to their initial moisture content. Antioxidant enzyme activities (CAT, SOD, POD, PPO, and APX), ROS levels (H_2O_2 and O_2^-), and seed deterioration indicators (Malondialdehyde – MDA, Maillard, and Amadori products) were evaluated using spectrophotometric methods. Antioxidant capacity was also assessed via the DPPH radical scavenging assay.

Results and Discussion

Priming with auxin significantly enhanced the activity of CAT, SOD, POD, and PPO, especially under high deterioration (75% viability). CAT activity increased by 40.39%, SOD by 46.7%, PPO by 73.01%, and POD by 17.56% compared to unprimed controls. These enhancements imply a stronger enzymatic detoxification of ROS, improving the seedling's resilience under oxidative stress. Ascorbate peroxidase (APX) activity was also highest in auxin-primed seeds under severe aging.

Auxin-primed seeds exhibited the lowest levels of H_2O_2 (103 nmol/g FW) and superoxide (35 U/1000), indicating efficient ROS neutralization. Conversely, unprimed seeds with viability below 75% showed the highest ROS accumulation. DPPH radical scavenging activity was also significantly higher in auxin-primed seeds, confirming improved antioxidant potential.

Malondialdehyde (MDA), a key marker of membrane lipid peroxidation, was lowest in auxin-primed seeds (21.1 nmol/g FW) and highest in cytokinin-primed seeds under severe aging (60.2 nmol/g FW). This reduction in MDA highlights the protective role of auxin against membrane degradation.

Both Amadori and Maillard product levels were elevated under seed aging, but auxin priming substantially reduced their accumulation. Amadori content dropped to 0.017 (A550), and Maillard product index declined to 0.63%, indicating reduced non-enzymatic glycation and oxidative damage to proteins.

Auxin may activate transcription factors and gene networks associated with antioxidant enzymes, enhancing their expression during germination. Similar observations were reported in rice and soybean, where auxin

priming improved photosynthesis, chlorophyll content, and stress tolerance by modulating ROS signaling. Polyamines, such as spermidine, also showed beneficial effects by stabilizing membranes and scavenging ROS, although to a lesser extent than auxin.

Conclusion

Priming triticale seeds with auxin significantly enhances antioxidant enzyme activities, mitigates oxidative damage, and reduces biochemical markers of seed deterioration. This leads to improved seedling vigor even under severe aging stress. Among the treatments studied, auxin was the most effective in restoring physiological and biochemical seed quality, followed by salicylic acid and spermidine. Seed priming, therefore, represents a promising pre-sowing strategy to extend seed longevity and enhance field emergence under stress conditions.

تأثیر پرایمینگ بر سیستم آنتی اکسیدانی و شاخص های فرسودگی بذر تریتیکاله (*x Triticosecale*)

ژیلا نظری^۱، محمد صدقی^{۱*}، رئوف سیدشریفی^۱

اگره تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و فناوری کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

برای بررسی تأثیر پرایمینگ توسط ترکیبات مختلف بر آنزیم های آنتی اکسیدانی، فرآورده های میلارد و آمادوری و مالون دی الدیئید بذر تریتیکاله تحت تأثیر پیری تسریع شده آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح فرسودگی (۷۵٪، ۸۵٪، ۹۵٪) و شش سطح پرایمینگ شامل شاهد، هیدرو پرایمینگ، پرایمینگ با سیتوکینین، پرایمینگ با اسپرمیدین، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید و پرایمینگ با اکسین (هورمون های مورد استفاده با غلظت ۱ میلی مولار بر اساس نتایج آزمون مقدماتی در نظر گرفته شدند. در آزمون مقدماتی غلظت های ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی مولار از هر هورمون استفاده شد که مناسب ترین غلظت ۱ میلی مولار بود) هستند. نتایج نشان دادند پرایمینگ با اکسین بیش ترین افزایش را در فعالیت آنزیم های کاتالاز (۴۰/۳۹٪)، سوپر اکسید دیسموتاز (۴۶/۷٪)، پلی فنل اکسیداز (۷۳/۰۱٪) و کایا گول پراکسیداز (۱۷/۵۶٪) نسبت به شاهد ایجاد کرد. همچنین میزان مالون دی الدیئید (۲۱/۱ نانومول در گرم وزن تر)، پراکسید هیدروژن (۱۰۳ نانومول در گرم وزن تازه) و سوپر اکسید (۳۵ U*1000) در پرایمینگ با اکسین کم ترین میزان را نشان داد. همچنین میزان فرآورده های میلارد و آمادوری در اثر فرسودگی افزایش یافتند، ولی در پرایمینگ با اکسین به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۱۷ کاهش نشان داد. به طور کلی، نتایج نشان دادند تیمار بذر با اکسین با تحریک آنزیم های آنتی اکسیدانی و خنثی کردن رادیکال های آزاد می تواند اثرات مضر فرسودگی را بر برخی صفات گیاهیچه تریتیکاله کاهش داده و رشد گیاهیچه را بهبود بخشد.

واژه های کلیدی: سالیسیلیک اسید، اکسین، اسپرمیدین، پرایمینگ، مالون دی الدیئید

*Corresponding author: m_sedghi@uma.ac.ir



مقدمه

تریتیکاله با نام علمی (*Triticosecale* ×) از تیره غلات، از تلاقی گندم نان و چاودار به وجود آمده است. تریتیکاله از نظر ریخت‌شناسی بسیار مشابه والدش گندم است، اما از بنیه رشد بیش‌تری برخوردار است. گل‌آذین تریتیکاله سنبله‌ای است و اغلب به‌طور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از سنبله‌های گندم و چاودار است (Fallahi et al., 2019). جوانه‌زنی یکی از حساس‌ترین و اصلی‌ترین مراحل فنولوژیکی در چرخه زندگی گیاه و یک فرایند کلیدی در سبز شدن گیاهچه است (Chaichi et al., 2022). جوانه‌زنی بذر، مرحله پیچیده و پویایی از رشد گیاه است و به روش آثاری که بر روی استقرار گیاهچه دارد می‌تواند عملکرد را بهبود بخشد (Ma et al., 2018). از سوی دیگر، از عوامل محدود کننده این مرحله می‌توان به عوامل درونی بذر و عوامل محیطی اشاره کرد. فرسودگی یکی از عوامل درونی است که تحت تأثیر عوامل محیطی تسریع می‌شود. فرسودگی فرآیندی غیرقابل برگشت و متفاوت در بین توده‌های بذری است (Coolbear, 2020). یکی از مهم‌ترین آثار فرسودگی، آسیب به ساختار اسیدهای نوکلئیک و کاهش فعالیت آنزیم‌ها است که آثار بالینی آن با کاهش درصد، سرعت جوانه‌زنی و استقرار ضعیف گیاهان زراعی آشکار می‌شود (Coolbear, 2020). همچنین با افزایش میزان شدت فرسودگی بذور، فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان بذر کاهش نشان دادند (Hajiabbasi et al., 2017; Darabi et al., 2021). بنابراین راهکارهایی که سرعت فرسودگی را کاهش می‌دهند و یا کارایی بذور فرسوده را هنگام استقرار بهبود می‌بخشند، مورد استقبال مصرف‌کنندگان بذر است. به‌همین منظور تیمارهای بذری و روش‌های بهینه‌سازی آن‌ها در جهت بهره‌برداری هر چه بهتر از توانایی‌های بذر در حال توسعه هستند. علت اصلی فرسودگی بذر، تجمع قندهای احیایی و وقوع واکنش‌های مایلارد و آمادوری است (Shaaban et al., 2017). در

واکنش‌های آمادوری و مایلارد، ابتدا گلوکز فعال (به شکل خطی) به گروه آمین پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه حمله می‌کند و موجب تولید محصولات آمادوری می‌شود. سپس، این محصولات تغییر وضعیت می‌دهند و محصولات نهایی گلیکوزیده را تولید می‌کنند (محصولات مایلارد یا محصولات قهوه‌ای) (Veselovsky & Veselova, 2012). بررسی‌ها نشان داده‌اند که فرسودگی تسریع شده، منجر به کاهش قابلیت حیات بذرهای گندم شده که همگام با تجمع تولیدهای مایلارد بوده است (Shaaban et al., 2017). وقوع واکنش مایلارد منجر به ایجاد خسارت آنزیم‌ها و کاهش فعالیت آنزیمی می‌شود. نتایج پژوهش‌های Strelec et al. (2008) نشان داد در مدت فرسودگی، گلیکوزیلاسیون غیرآنزیمی پروتئین‌های بذر گندم، به شکل‌گیری گلیکوزیل آمین در واکنش آمادوری منجر می‌شود. آن‌ها بیان کردند که شکل‌گیری تولیدات آمادوری به شرایط نگهداری بذر بستگی دارد. نتایج حاصل از بررسی پژوهشگران بر محصولاتی از جمله گندم، ماش، نخود، عدس و لوبیا بیانگر این است که محصولات حاصل از واکنش‌های آمادوری در طی انبارداری بذر افزایش می‌یابد، به‌طوری که میزان این واکنش‌ها در بذر به رطوبت و دما بستگی داشته و در نهایت موجب کاهش در بنیه بذر می‌شوند (Lehner et al., 2008; Moussou et al., 2017).

پرایمینگ بذر روشی مقرون به‌صرفه و کم‌خطر جهت بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه توسط القاء فعالیت متابولیک پیش از جوانه‌زنی بوده که می‌توان در کاهش آثار منفی فرسودگی بذور، مفید باشد (Subramanyam et al., 2019; Migahid et al., 2019). پرایمینگ به‌عنوان یک تکنیک، برای بهبود تحمل تنش غیر زیستی در گیاهان در نظر گرفته می‌شود (Anwar et al., 2021) و به‌عنوان تیمار بذر قبل از کاشت تعریف می‌شود که در آن بذرها به‌طور کامل در آب یا محلول

پراکسید هیدروژن می‌شود. پراکسید هیدروژن به علت پایداری بالا دارای فراوانی بیش‌تری نسبت به سایر ROSها است که در حضور Fe^{2+} منجر به تولید رادیکال هیدروکسیل می‌شود. پراکسید هیدروژن اکثر آنزیم‌ها را با اکسید کردن گروه تیولی آنها غیر فعال می‌کند. از سوی دیگر رادیکال هیدروکسیل توانایی بر همکنش با تمامی ماکرومولکول‌های زیستی را طی فرآیندهای انبارداری و جوانه‌زنی دارد (Rane et al., 2021). بنابراین در صورت افزایش و تجمع، کاهش قوه‌نامیه و قدرت نامیه بذر و در نهایت مرگ سلول را منجر خواهند شد (Petla et al., 2016). پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک روی بذر نخود (*Cicer arietinum* L.) (Kaur et al., 2022) و گندم (*Triticum aestivum* L.) (Azmat et al., 2020) سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های APX، SOD، POD و CAT شده است. پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید بر روی برنج فعالیت کاتالاز، اسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را به بیش از دو برابر افزایش داد (Ali et al., 2021). (Varier et al., 2010) گزارش کردند تیمارهای پرایمینگ سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در پنبه شده است. گزارش‌های مختلفی حاکی از آن است که استفاده از تیمارهای مختلف بذر، سبب افزایش در شاخص‌های جوانه‌زنی بذرهای فرسوده می‌شود (Alivand, 2012). پرایمینگ سبب کاهش فرسودگی و بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گیاهیچه تریتیکاله در واکنش به فرسودگی و نقش پرایمینگ بذر با هیدرو پرایمینگ، سالیسیلیک اسید، سیتوکنین، اکسین و اسپرمیدین بر روی بذر تریتیکاله است.

مواد و روش‌ها

برای تأثیر پرایمینگ توسط ترکیبات مختلف بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، فرآورده‌های میلارد و آمادوری و مالون

شیمیایی غوطه‌ور شده و تا زمان استفاده بعدی خشک می‌شوند (Iqbal et al., 2020). پرایمینگ بذرهای تنش متوسطی را روی بذرهای ایجاد می‌کند که سبب ایجاد یک واکنش تنش‌زا در بذرهای شده و به تحمل تنش آینده کمک می‌کند (Ding et al., 2019). پرایمینگ قبل از جوانه‌زنی، متابولیسم بذر، تولید RNA، آنتی‌اکسیدانت‌ها و سنتز پروتئین را فعال می‌کند که در نتیجه جوانه‌زنی و نمو مناسب بذر را تضمین می‌کند (Feghhenabi et al., 2020). تیمارهای پرایمینگ از ظهور رادیکال جلوگیری می‌کنند، اما جوانه‌زنی را افزایش می‌دهند و فرآیندهای مرتبط با جوانه‌زنی را آغاز می‌کنند (Saddiq et al., 2019). پژوهش‌های متعددی پرایمینگ بذر را به‌عنوان یک تکنیک رایج جوانه‌زنی، بهبود ویژگی‌های ریخت‌شناسی و افزایش رشد گیاه در شرایط بدون تنش و تنش توصیف کردند (Rhaman et al., 2021). پیش‌تیمار بذر با هورمون‌های رشد توسط افزایش سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن سبب تثبیت تراکم و افزایش عملکرد گیاهان زراعی در شرایط مختلف می‌شود (Kaya et al., 2020). کنترل گونه‌های فعال اکسیژن (Reactive Oxygen Species) به اختصار ROS، یکی از دلایل اصلی بهبود صفات ذکر شده است. گونه‌های فعال اکسیژن شامل رادیکال‌های آزاد اکسیژن سوپراکسید (O_2^-) و هیدروکسیل (OH^-) و همچنین غیررادیکال‌ها پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و اکسیژن منفرد (O_2) هستند که در اثر فرسودگی بذر تولید می‌شوند و طیف وسیعی از آسیب‌ها را به مولکول‌های حیاتی وارد می‌کنند (Jeevan Kumar et al., 2015). این مولکول‌ها دارای عملکرد دوگانه‌ای در بذر هستند. در غلظت‌های بالا، منجر به آسیب ساختار و عملکرد سلول‌ها و در غلظت‌های پائین به‌عنوان پیام‌رسان ثانویه در واکنش به جوانه‌زنی و پاسخ به محیط عمل می‌کنند (Sachdev et al., 2021). عموماً احیا O_2^- در حضور آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) سبب تولید یک مولکول اکسیژن و

پس از یک ماه قدرت جوانه‌زنی بذر به صفر رسید، بدست آمدند.

تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

جهت تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در تربیتکاله، پس از باز شدن برگ‌های اولیه از هر تیمار پنج گیاهچه به طور تصادفی انتخاب و پس از قرار دادن در فویل آلومینیومی، به فریزر با دمای ۷۲- درجه منتقل شدند. برای استخراج عصاره آنزیمی، نیم گرم نمونه از هر تیمار وزن شده و در داخل هاون چینی توسط نیتروژن مایع هموژن شده و بعد از آن پنج میلی‌لیتر از بافر فسفات سرد (PH=۷/۵) حاوی نیم میلی‌مولار EDTA به هاون افزوده شد. سپس، هموژن‌ها به اپندورف‌های دو میلی‌لیتری منتقل و به مدت ۱۵ دقیقه با دمای چهار درجه سانتی‌گراد در ۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ شدند. تمامی مراحل در روند تهیه عصاره آنزیمی در دمای یک الی چهار درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. جهت پیشگیری از انجماد و ذوب متوالی نمونه‌ها، سوپرناتانت حاصل به سه قسمت تقسیم شد و تا زمان اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Sairam et al., 2002). برای اندازه‌گیری سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از روش (Aebi, 1984) تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت شد. برای اندازه‌گیری فعالیت سوپر اکسید دسموتاز از روش بولر و همکاران (Bowler et al., 1991) و برای اندازه‌گیری سنجش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز از روش Mishra Kar & (1976) و جهت اندازه‌گیری گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز از روش Asada & Nakano (1981) استفاده شد. بدین صورت که ۱/۵ میلی مولار پیروگالول ۰/۰۲ مولار را با هم مخلوط کرده و سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره پروتئینی استخراج شده به آن‌ها افزوده،

دی‌الدئید بذور تربیتکاله تحت تأثیر پیری تسریع شده، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تیمارها شامل سه سطح فرسودگی (۰/۷۵، ۰/۸۵ و ۰/۹۵٪ که سطح ۰/۹۵٪ به‌عنوان شاهد بود)، و شش سطح پرایمینگ شاهد (بدون پرایمینگ)، هیدرو پرایمینگ، پرایمینگ با سیتوکنین، پرایمینگ با اسپرمیدین، پرایمینگ با سالیسیلیک اسید، پرایمینگ با اکسین، (هورمون‌های مورد استفاده با غلظت ۱ میلی‌مولار بر اساس نتایج آزمون مقدماتی در نظر گرفته شدند. در آزمون مقدماتی غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌مولار از هر هورمون استفاده شد که مناسب‌ترین غلظت ۱ میلی‌مولار بود) بود. بذرها برای اعمال پرایمینگ به مدت ۲۴ ساعت، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در محلول‌های آب مقطر و هورمون خیسانده شدند. پس از طی شدن مدت زمان مورد نظر، بذرها از محلول‌ها خارج و چندین بار با آب مقطر شسته و در دمای آزمایشگاه خشک شدند. پس از اعمال پرایمینگ، تعداد ۱۰۰ بذر درون هر پتری جهت کشت قرار گرفت (ISTA, 2012). شمارش بذرهای جوانه‌زده (خروج ریشه‌چه به اندازه حداقل دو میلی‌متر) به صورت روزانه در یک زمان معین انجام شدند و در صورت نیاز به محیط آب مقطر اضافه شد (Soltani et al., 2001)، زمانی که تعداد بذرهای جوانه‌زده در بستر کشت در طول سه روز متوالی هیچ تغییری نکرد و ثابت ماند، شمارش متوقف شد (ISTA, 2009). جهت ایجاد فرسودگی (فرسودگی تسریع شده) توده‌های بذر در داخل آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۱۰۰ درصد به مدت ۲ و ۵ روز قرار گرفتند تا به درجه فرسودگی ۰/۸۵٪ و ۰/۷۵٪ برسند (Delouche & Baskin, 1973). این تعداد روزهای مورد نیاز برای رسیدن به فرسودگی ۰/۸۵٪ و ۰/۷۵٪ از آزمون مقدماتی که به مدت یک ماه ادامه یافت و در آن

میزان تجمع تولیدهای میلارد در سایر تکرارهای هر نمونه، با این دامنه طول موج اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری H_2O_2 بر اساس روش Velikova et al. (2000) صورت گرفت. ابتدا ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت تازه با ۵ میلی‌لیتر (تری کلرواستیک اسید) TCA با غلظت ۰/۱ درصد در هاون چینی بر روی یخ سائیده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ (دور بر دقیقه) درون سانتریفیوژ و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. سپس ۵۰۰ میکرولیتر از محلول رویی با ۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار مخلوط شد و جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۹۰ نانومتر توسط کووت شیشه‌ای و با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل AE-UV1600 خوانده شدند.

برای اندازه‌گیری میزان مهار رادیکال‌های آزاد DPPH (دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل): ابتدا یک میلی‌لیتر از عصاره متانولی با یک میلی‌لیتر DPPH با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار مخلوط شد. برای نمونه شاهد یک میلی‌لیتر متانول خالص به جای یک میلی‌لیتر عصاره متانولی قرار داده شد و برای بلانک از متانول خالص استفاده شد. بعد از ۳۰ دقیقه تاریکی، نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکترومتر خوانده شدند. اعداد به دست آمده از جذب نمونه توسط رابطه ۱ به درصد مهار رادیکال آزاد تبدیل شد (Miliauskas et al., 2004).

رابطه (۱):

درصد جذب شاهد \times (درصد جذب) = درصد DPPH

نمونه - درصد جذب شاهد

اعداد به دست آمده برابر با درصد مهار رادیکال‌های آزاد در عصاره متانولی (۰/۱ میلی‌گرم در لیتر) نمونه‌ها هستند (Bondet et al., 1997).

اندازه‌گیری مالون دی‌الدئید: بدین منظور مقدار ۱ گرم نمونه تر در ۳ میلی‌لیتر محلول ۲۰٪ تری کلرواستیک اسید حاوی ۰/۵٪ تیوباریتوریک اسید هموژنیزه شد. مخلوط

ورتکس شده و سپس جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر خوانده شد.

اندازه‌گیری فراورده‌های میلارد و آمادوری

برای استخراج و دیالیز پروتئین‌ها برای اندازه‌گیری واکنش‌های آمادوری و میلارد، ابتدا ۰/۵ گرم بافت بذری (بر مبنای وزن تازه) با شش میلی‌لیتر بافر استخراج، کاملاً هموژنیزه شد. عصاره حاصل، پس از صاف شدن و سانتریفیوژ، به مدت ۱۶ ساعت داخل لوله‌های دیالیز با کات آف ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلو دالتون دیالیز شد. از عصاره حاصل، برای اندازه‌گیری تولید آمادوری و میلارد استفاده شد (Sun & Leopold, 1995). اندازه‌گیری محصولات آمادوری از واکنش عصاره دیالیز شده پروتئین بذر تریتیکاله بر اساس روش Wettlaufer & Leopold (1991)، با معرف نیترو بلو تترازولیوم انجام شد. بدین منظور، مقدار ۱۰۰ میکرولیتر عصاره دیالیز شده به یک میلی‌لیتر از معرف نیترو بلو تترازولیوم ۰/۵ میلی‌مولار در سدیم کربنات ۱۰۰ میلی‌مولار با PH برابر ۱۰/۳، اضافه شد. محلول بلانک، حاوی ۱۱۰۰ میکرولیتر معرف نیترو بلو تترازولیوم بود. تغییرات جذب هر نمونه در طول موج ۵۵۰ نانومتر به مدت ۱۰ دقیقه و هر ۳۰ ثانیه یک بار با دستگاه اسپکتروفتومتر ثبت و فاصله زمانی صفر تا ۸ دقیقه برای محاسبه میزان محصولات آمادوری استفاده شد.

میزان محصولات میلارد، توسط اندازه‌گیری میزان فلوروسانس پروتئین‌های استخراج شده از بذر با دستگاه اسپکتروفلورومتر (مدل F-2500، شرکت Hitachi، ژاپن) اندازه‌گیری شد (Sun & Leopold, 1995). بدین منظور، برای هر یک از نمونه‌ها به طور جداگانه در تکرار اول، میزان ۰/۳ گرم از پروتئین با طیف طول موج ۳۲۰ تا ۴۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. پیک به دست آمده در همه نمونه‌ها، با اندکی تغییر، ۳۷۰/۴۴۰ به دست آمد، سپس

فعالیت (۰/۰۱۰۲) در فرسودگی ۹۵٪ به دست آمد (شکل ۱). از سوی دیگر، بیشترین میزان فعالیت اسکوربات پراکسیداز (۰/۰۱۳) در پرایمینگ با اکسین و کمترین (۰/۰۱۰۰۶) در عدم پرایمینگ به دست آمد (شکل ۲).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت‌ها می‌توانند با کاهش میزان رادیکال‌های آزاد، از فرسودگی بذر جلوگیری کرده و روند آن را کند کنند (Thirajah & Kapilan, 2015)، واقع، تعادل گونه‌های فعال اکسیژن تحت تنش شکسته شده و برای جلوگیری از آسیب اکسیداتیو سازوکار دفاعی آنتی‌اکسیدانی فعال می‌شود (Farooq et al., 2019)، اما کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌ها پس از ادامه یافتن روند فرسودگی، می‌تواند نشان‌دهنده شکست سلزوکار دفاعی سیستم‌های آنتی‌اکسیدانت بذر در برابر این رادیکال‌ها باشد. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت بذر در روزهای اول فرسودگی افزایش یافته اما با افزایش روند فرسودگی، قابلیت دفاع را از دست می‌دهند و از مقدار آن‌ها کاسته می‌شود (Kaewnaee et al, 2011). افزایش بیش‌تر فرسودگی موجب کاهش بیان ژن آنزیم‌های آنتی-اکسیدانت شد. این کاهش نیز می‌تواند به علت تخریب ساختارهای تولید کننده آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت توسط رادیکال‌های سمی یا به عبارتی عاملی برای غیر فعال شدن یا تخریب آنزیم‌ها باشد (Shim et al., 2003). بر اساس پژوهش‌های Ghaderi & Aliloo (2023) کاهش معنی‌دار در میزان فعالیت آنزیم‌های APX، CAT و GP نشان‌دهنده حساسیت این آنزیم‌ها به فرسودگی بذر است. عوامل زیادی در فرسودگی بذر مشارکت دارند که موجب کاهش قدرت بذر می‌شوند که در بین آنها تجمع گونه‌های فعال اکسیژن از مخرب‌ترین عوامل به‌شمار می‌روند. تجمع این مواد سمی سبب پراکسیده شدن چربی‌ها و غیر فعال شدن آنزیم‌ها می‌شوند (Coolbear, 2020). کاهش در میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت به احتمال قوی مربوط به حمله این مواد سمی به ساختار پروتئینی آنزیم‌ها

حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در بن ماری قرار داده شد و سپس سریعاً در حمام یخ سرد شد. ۱/۵ میلی‌لیتر از محلول حاصل در ۱۵۰۰۰ (دور بر دقیقه) به مدت ۱۰ دقیقه در دمای محیط سانتریفیوژ شد. مقدار جذب روشن‌آور در طول موج ۵۳۲ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد. ضمن آنکه مقدار جذب غیراختصاصی خوانده شده در طول موج ۶۰۰ نانومتر از میزان جذب در ۵۳۲ نانومتر کسر شد. غلظت MDA توسط ضریب خاموشی ۱۵۵ (بر میلی‌متر بر سانتی‌متر) محاسبه شد (Heath & Packer, 1968).

نتایج و بحث

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف فرسودگی و پرایمینگ و آثار متقابل آنها بر میزان فعالیت کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، گایاکول پراکسیداز و پلی فنل‌اکسیداز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). طبق نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین فعالیت کاتالاز (۳۳/۲ میلی‌گرم بر پروتئین)، سوپراکسید دیسموتاز (۷۷/۵ میلی‌گرم بر پروتئین)، گایاکول پراکسیداز (۱۱۸/۴ میلی‌گرم بر پروتئین) و پلی فنل‌اکسیداز (۱۸/۹ میلی‌گرم بر پروتئین) در فرسودگی ۷۵٪ و پرایمینگ با اکسین مشاهده شد و کم‌ترین فعالیت کاتالاز (۱۹/۸ میلی‌گرم بر پروتئین)، سوپراکسید دیسموتاز (۴۱/۳ میلی‌گرم بر پروتئین)، گایاکول پراکسیداز (۹۷/۶ میلی‌گرم بر پروتئین) و پلی فنل‌اکسیداز (۵/۱ میلی‌گرم بر پروتئین) در ۹۵٪ فرسودگی و بدون پرایمینگ مشاهده شد (جدول ۳). همچنین اثر ساده تیمارهای فرسودگی و پرایمینگ بر میزان فعالیت اسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱) و بیش‌ترین میزان فعالیت اسکوربات پراکسیداز (۰/۰۱۲) در فرسودگی ۷۵٪ و کم‌ترین میزان

ساختارهای گیاهچه‌ای افزایش یافته است (Ghaderi & Nourbakhshian et al., 2023). در پژوهش (Aliloo, 2023) در بین تیمارهای پرایمینگ، تیمار هیدروپرایمینگ برتری معنی‌داری را در مقایسه با عدم پرایمینگ برای افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی و کاهش میزان H_2O_2 را داشت. در یک بررسی پرایمینگ بذرهای گندم و جو با سالیسیلیک اسید سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و افزایش تحمل گیاهچه‌ها به تنش شد (Hanan, 2014). بر اساس بعضی شواهد موجود، سالیسیلیک اسید با اثر بر H_2O_2 توان آنتی‌اکسیدانی را افزایش و از گیاه در برابر تنش‌های اکسیداتیو حفاظت می‌کند (Posmyk et al., 2005). افزایش آنزیم کاتالاز و پراکسیداز با آب مقطر و سالیسیلیک اسید تحت تنش گزارش شده است (Saadat et al., 2022). تیمارهای آلی همانند سالیسیلیک اسید می‌توانند با افزایش و تنظیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و هیدرولیز کننده نشاسته در طی جوانه‌زنی موجب بهبود عملکرد بالفعل بذر در شرایط متغیر محیطی شود (Coolbear, 2020). زیرا افزایش فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن در اثر فرسودگی سبب برهم خوردن تعادل درون سلولی می‌شود (Jeevan Kumar et al., 2015). سالیسیلیک اسید یکی از پیچیده‌ترین هورمون‌های گیاهی از لحاظ نحوه عمل آن بر فیزیولوژی گیاه است به علت اینکه از طریق مسیرهای متعدد متابولیکی فعالیت گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. افزایش سطح بیان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در تیمارهای بذری توسط این هورمون گزارش شده است (Tayyab et al., 2020). به اعتقاد پژوهشگران مختلف اثر حفاظتی پلی‌آمین‌ها متفاوت است و ممکن است چندگانه باشد. به عنوان مثال، این ترکیبات علاوه بر اینکه سبب حذف رادیکال‌های آزاد ثبات غشاء می‌شوند، می‌توانند بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز) و نیز پرولین موثر باشند (Liu et al., 2006). همچنین افزایش فعالیت کاتالاز با کاربرد اسپرمیدین و ملاتونین نتایج مشابهی در

است که مطابق با یافته‌های (Balouchi & Ostadian, 2018) در مورد کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در طی فرایند فرسودگی بذر کتان (*Linum usitatissimum* L.) بود. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی از جمله کاتالاز، پراکسیداز و گلوکاتیون ردکتاز در سم زدایی پراکسید هیدروژن با تبدیل آن به آب و اکسیژن و توقف سمیت آن است (Hasanuzzaman et al., 2021). نتایج آزمایش (Nouri & Navabpour, 2024) نشان دادند هیدروپرایمینگ میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را نسبت به شاهد افزایش داد. پرایمینگ در بذر فرسوده سبب ترمیم سیستم آنتی‌اکسیدانت و بهبود ساختارهای درون سلولی و غشا می‌شود (Moori & Eisvand, 2016). پرایمینگ توسط تاثیر بر سازماندهی سازوکارهای دفاعی آنتی‌اکسیدانی، افزایش برخی از تنظیم کننده‌های رشد، تجمع پرولین و افزایش در شاخص‌های جوانه‌زنی، سبب بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت می‌شود که با پژوهش‌های (Dadnia, 2016) مطابقت دارد. استفاده از پرایمینگ بذر موجب بهبود فعالیت‌های متابولیک قبل از جوانه‌زنی، فعال‌سازی مسیرهای بازسازی DNA، سنتز RNA، سنتز پروتئین و سازوکارهای آنتی‌اکسیدانت می‌شود (Saddiq et al., 2019). پرایمینگ در بهبود بیوستنر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت به عنوان عامل حیاتی در حفاظت از ساختار غشا عمل کرده و منجر به افزایش بقای گیاهان در شرایط تنش می‌شود (Yasir et al., 2023). در واقع، پرایمینگ فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را جهت از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن تسریع کرده و توانایی تحمل تنش در گیاهچه‌ها را افزایش می‌دهد (Sen & Puthur, 2020). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان می‌دهد سیستم‌های دفاعی گیاه تحت تاثیر تیمار منتخب فعال شده است. افزایش ۶۰ درصد وزن خشک گیاهچه هم‌زمان با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان می‌دهد که صدمات وارده به ساختار و عملکرد سلول‌های بذری کاهش یافته و در نتیجه توان بذر در تبدیل ذخایر بذری به

های آنتی‌اکسیدانت و نوع آنزیم غالب موثر باشد (Mittova et al., 2002). در پژوهش Ghasemi & Ehsanpour (2018) به‌طور متوسط در تنش هورمون اکسین موجب افزایش فعالیت بیش‌تر آنزیم‌های CAT و APX شد. بنابراین بخشی از تحمل به تنش گیاه تنباکو می‌تواند نتیجه عمل این آنزیم‌ها در حضور اکسین باشد. نتایج پژوهش‌ها نشان دادند افزایش میزان گاباکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز در گیاهان سویا به‌علت اکسین است. افزایش این شاخص‌ها می‌تواند به‌علت افزایش بیان ژن‌های این آنزیم‌ها باشد (Balestrasse et al., 2001). در پژوهش Sepehri & Rouhi (2016)، آثار منفی فرسودگی بذر و شرایط خشکی توسط پیش‌تیمار هورمون سیتوکینین سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و به‌ویژه آسکوربات پراکسیداز شد که منجر به بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر شد.

گیاه کدو و درخت هلو گزارش شده است (Gao et al., 2016; Ganbari et al., 2018). بر اساس نتایج پژوهشگران با کاربرد ترکیبات پلی آمینی، تحمل به تنش، از طریق بالا رفتن توانایی آنتی‌اکسیدانی گیاه افزایش می‌یابد (Mahros et al., 2011). گیاهان در برابر آسیب اکسیداتیو سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی مختلفی را به‌کار می‌گیرند. از میان ROSها رادیکال‌های سوپراکسید برای ساختارهای سلولی مخرب‌ترین گونه هستند. سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) یک آنزیم کلیدی در دفاع سلولی، تبدیل رادیکال‌های سوپراکسید به H_2O_2 و O_2 را به‌عهده دارد (Raza et al., 2007). افزایش تولید H_2O_2 متعاقباً توسط فعالیت سمیت‌زدایی پراکسیدازها و یا کاتالاز خنثی می‌شود (Foyer et al., 2003). آنزیم CAT نسبت به APX تمایل کمتری به حذف H_2O_2 دارد در حضور غلظت‌های بالای H_2O_2 فعالیت می‌کند، اما APX به‌علت تمایل بیشتر در غلظت‌های پائین H_2O_2 در تعیین مقدار فعالیت هر یک از آنزیم‌ها

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر انفرادی و برهمکنش تیمارهای فرسودگی و انواع پرایمینگ بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، مالون دی‌الدئید و فرآورده‌های میلارد و آمادوری تری‌تیکاله

Table 1- Analysis of variance (mean square) for seed vigor treatments and priming on antioxidant enzymes, MDA and Maillard and Amadori triticale

Sources of variation	df	Mean square					
		PPO	CAT	SOD	Guaiacol-POD	MDA	Ascorbate-POD
Seed vigor	2	162**	91.8**	1871**	29**	1698**	0.00**
Seed priming	5	53.7**	76.9**	28.4**	14.4**	261**	0.00**
Seed vigor × seed priming	10	6.83**	2.18 ^{ns}	41.6**	5.37**	1.68*	0.00 ^{ns}
Error	34	0.51	0.462	4.36	1.07	3.78	0.00
C.V. (%)		7.57	2.65	3.92	0.97	5.35	2.19

ns, ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

Ns, * and ** ns and ** are respectively non-significant and significant at 5% and 1% probability level

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر انفرادی و برهمکنش تیمارهای فرسودگی و انواع پرایمینگ بر آنزیم‌های آنتی-اکسیدانت، مالون دی‌الدئید و فرآورده‌های میلارد و آمادوری تریتیکاله

Table 2- Analysis of variance (mean square) for seed vigor treatments and priming on antioxidant enzymes, MDA and Maillard and Amadori triticale

Sources of variation	df	Mean square				
		Maillard	Amadori	H ₂ O ₂	O ₂	DPPH
Seed vigor	2	0.72**	0.0003**	104**	2523**	45.1**
Seed priming	5	0.17**	0.00017**	303**	640**	4.69 ^{ns}
Seed vigor × seed priming	10	0.003 ^{ns}	0.00**	67.9*	16.7*	0.07 ^{ns}
Error	34	0.0018	0.00	28.8	6.6	11.13
C.V. (%)		5.13	4.12	3.61	4.56	1.8

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

ns, * and ** are respectively non-significant and significant at 5% and 1% probability level

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل فرسودگی و پرایمینگ بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، مالون دی‌الدئید و فرآورده‌های آمادوری تریتیکاله

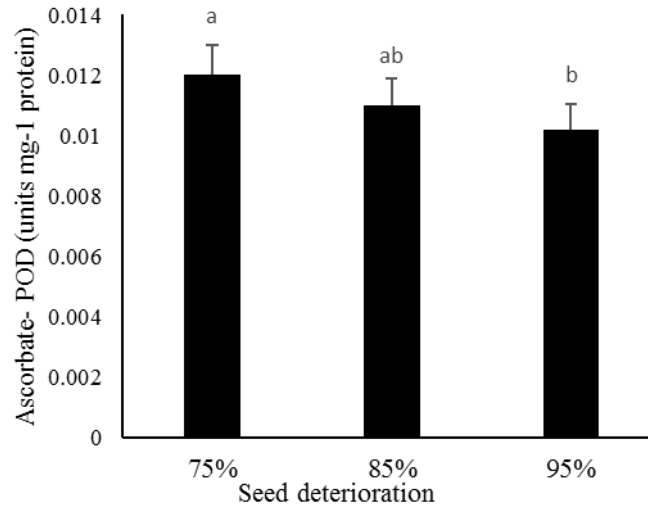
Table 3- Mean comparison for the effect of seed vigor and priming on antioxidant enzymes, MDA and Amadori triticale.

Treatment combination	PPO (U/mg Protein)	CAT (micromol H ₂ O ₂ /min g FW)	SOD (U/min g FW)	Guaiacol-POD (U/min g FW)	MDA (nmol/g FW)	Amadori (A550)	H ₂ O ₂ (nmol/g FW)	O ₂ - (U*1000)
V1×P1	5.1 ^l	19.8 ^j	41.3 ^h	97.6 ^h	36.4 ^e	0.026 ^{hi}	149 ^{ef}	52 ^{ghi}
V1×P2	5.5 ^{kl}	21.5 ⁱ	43.6 ^{gh}	100.4 ^g	30.2 ^{gh}	0.025 ^{ji}	132 ^h	49 ^{ji}
V1×P3	6.2 ^{kl}	23.6 ^{gh}	45.8 ^{fg}	102.8 ^f	27.4 ^{hi}	0.023 ^{kl}	120 ⁱ	45 ^{jk}
V1×P4	7.6 ^{hi}	25.1 ^{ef}	45.9 ^{fg}	103.6 ^f	23.6 ^{jk}	0.022 ^{lm}	115 ⁱ	41 ^k
V1×P5	6.4 ^{jk}	23.9 ^g	45.1 ^g	102.5 ^f	24.7 ^{ji}	0.023 ^{kl}	117 ⁱ	43 ^k
V1×P6	8.3 ^{fgh}	26.3 ^d	45.9 ^{ef}	106.3 ^e	21.1 ^k	0.017 ⁿ	103 ^j	35 ^l
V2×P1	6.7 ^{ji}	21.6 ⁱ	44.3 ^{gh}	99.4 ^g	41.7 ^d	0.032 ^c	176 ^c	69 ^c
V2×P2	7.8 ^{ghi}	23.7 ^{gh}	45.8 ^{fg}	102.8 ^f	37.3 ^c	0.03 ^{de}	163 ^d	66 ^c
V2×P3	9.2 ^{ef}	26.4 ^d	49.6 ^c	105.7 ^c	35.1 ^{ef}	0.027 ^{gh}	155 ^{de}	58 ^{ef}
V2×P4	10.5 ^d	27.1 ^d	50.7 ^c	108.9 ^d	33.1 ^{fg}	0.024 ^{jk}	143 ^{fg}	51 ^{hi}
V2×P5	10.1 ^{de}	26.2 ^{de}	51.1 ^c	106.3 ^e	34.6 ^{ef}	0.025 ^{ji}	145 ^{fg}	54 ^{fgh}
V2×P6	12.6 ^c	28.8 ^{bc}	58.3 ^d	111.7 ^b	28.9 ^h	0.021 ^m	131 ^h	42 ^k
V3×P1	7.6 ^{hi}	22.6 ^{hi}	51.8 ^c	103.5 ^f	54.6 ^a	0.039 ^a	204 ^a	82 ^a
V3×P2	8.9 ^{fg}	24.3 ^{fg}	55.8 ^d	106.9 ^c	60.2 ^b	0.036 ^b	189 ^b	75 ^b
V3×P3	11.7 ^c	28.7 ^c	64.2 ^c	109.7 ^{cd}	48.2 ^{bc}	0.031 ^{cd}	173 ^c	68 ^c
V3×P4	13.9 ^b	29.9 ^b	68.7 ^d	110.7 ^{bc}	45.9 ^c	0.028 ^{fg}	157 ^{de}	61 ^{de}
V3×P5	14.1 ^b	28.6 ^c	70.1 ^b	112.1 ^b	46.2 ^c	0.029 ^{ef}	161 ^d	65 ^{cd}
V3×P6	18.9 ^a	33.2 ^a	77.5 ^a	118.4 ^a	34.2 ^{ef}	0.022 ^{lm}	139 ^{gh}	56 ^{fg}
LSD	1.19	1.12	3.46	1.72	3.22	0.0018	8.91	4.26

V₁ و V₂ و V₃ به ترتیب فرسودگی ۹۵٪، ۸۵٪ و ۷۵٪؛ P₁، P₂، P₃، P₄، P₅ و P₆ به ترتیب عدم پرایمینگ، پرایمینگ با آب مقطر، پرایمینگ با سیتو کینین، پرایمینگ

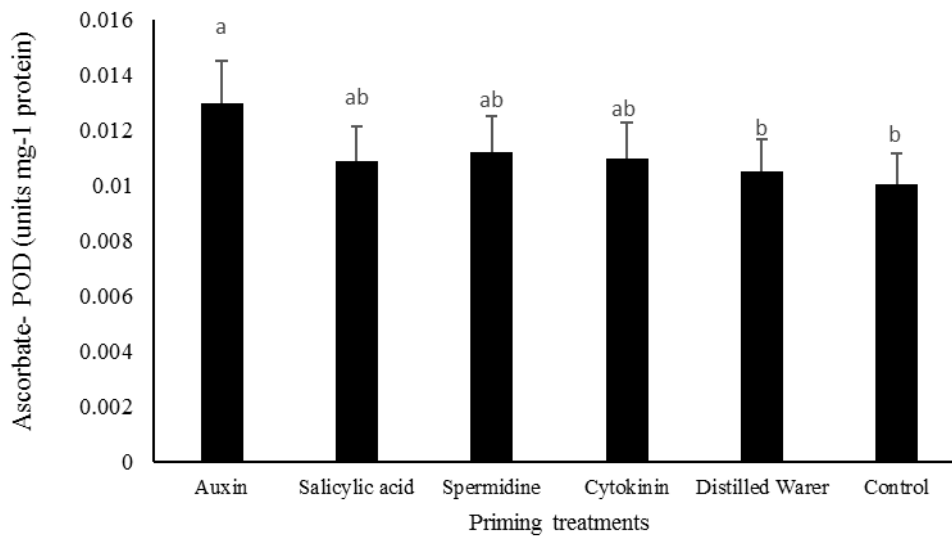
با اسپرمیدین، پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و اکسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن با هم ندارند.

V₁, V₂ and V₃ are 95%, 85% and 75% of viability, respectively. P₁, P₂, P₃, P₄, P₅, and P₆ are without priming, priming with distilled water, priming with cytokinin, priming with spermidine, priming with salicylic acid and auxin, respectively. Means with similar letters in each column are not statistically different based on Duncan's test.



شکل ۱- مقایسه اثر فرسودگی بر میزان فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز در گیاهچه تریتیکاله (داده‌ها میانگین سه تکرار \pm خطای استاندارد میانگین است، حروف متفاوت در هر ستون بیانگر تفاوت معنی دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد است)

Figure 1- Comparison of the effect of deterioration on Ascorbat-POD activity in triticale seedling (Values are the mean of three replicates \pm SE of three separate measurements, in each coloumn different letters show significant difference at 5% probability level)



شکل ۲- مقایسه اثر پرایمینگ بر میزان فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز در گیاهچه تریتیکاله (داده‌ها میانگین سه تکرار \pm خطای استاندارد میانگین است، حروف متفاوت در هر ستون بیانگر تفاوت معنی دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد است)

Figure 2- Comparison of the effect of priming on Ascorbat-POD activity in triticale seedling (Values are the mean of three replicates \pm SE of three separate measurements, in each coloumn different letters show significant difference at 5% probability level)

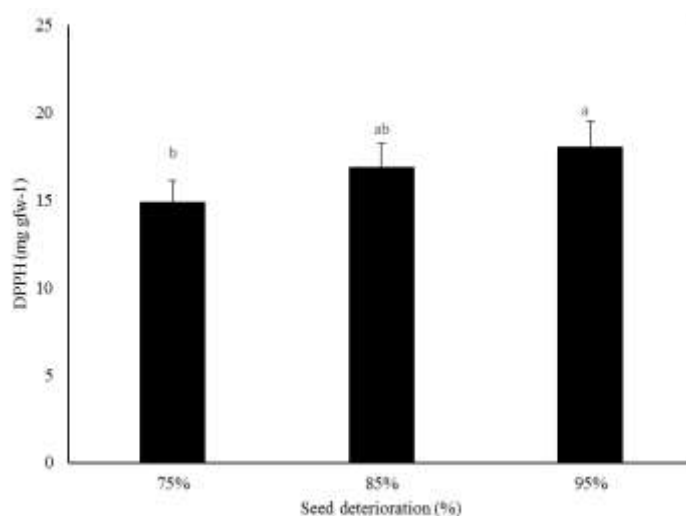
آنتی‌اکسیدانی کل (۱۸/۰۵) در فرسودگی ۹۵٪ و کم‌ترین میزان (۱۴/۹۱) در فرسودگی ۷۵٪ به‌دست آمد (شکل ۳). سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی در پاسخ گیاه به شرایط تنش‌زا مانند فرسودگی بازی می‌کند و گیاهان را در

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (DPPH)

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، فقط اثر ساده تیمارهای فرسودگی بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین میزان ظرفیت

استفاده می‌شود (Kaur et al., 2022).

مقابل آسیب‌های اکسیداتیو محافظت می‌کند. مهار فعالیت رادیکال DPPH برای ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل



شکل ۳- مقایسه اثر فرسودگی بر DPPH بذرهای تریتیکاله (داده‌ها میانگین سه تکرار \pm خطای استاندارد میانگین است، حروف متفاوت در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد است)

Figure 3- Comparison of the effect of priming on DPPH in triticale seeds (Values are the mean of three replicates \pm SE of three separate measurements, in each column different letters show significant difference at 5% probability level)

استفاده از سالیسیلیک اسید در فرآیند پرایمینگ بذر روی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت موثر بود (Eftekhar et al., 2019). در پژوهش Sourazar et al. (2022) مشخص شد که کاربرد سالیسیلیک اسید و آب در فرآیند پرایمینگ بذر منجر به افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از قبیل کاتالاز، پلی فنول اکسیداز و پراکسید شد و همچنین میزان پراکسید هیدروژن در نتیجه‌ی افزایش پراکسیداسیون لیپید با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید، شدت فرسودگی مصنوعی و مدت زمان انبارداری طبیعی افزایش یافت. گزارش‌های مختلفی حاکی از آن است که H_2O_2 به‌عنوان مولکول پیام‌رسان عمل می‌کند و آبشار واکنش‌های حفاظتی را در گیاهان در مقابله با تنش به راه می‌اندازد (Wang et al., 2007). از سوی دیگر، پراکسید هیدروژن موجب فعال شدن کانال‌های کلسمی می‌شود. یکی از سازوکارهای عمل سالیسیلیک اسید، افزایش پراکسید هیدروژن می‌باشد که به‌دنبال آن دیگر

پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و سوپراکسید (O_2^-)

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف فرسودگی و پرایمینگ و آثار متقابل آن‌ها بر میزان پراکسید هیدروژن و سوپراکسید در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین میزان پراکسید هیدروژن (۲۰۴) و سوپر اکسید (۸۲) در فرسودگی ۷۵٪ و بدون پرایمینگ به‌دست آمد و کم‌ترین میزان پراکسید هیدروژن (۱۰۳) و سوپر اکسید (۳۵) در ۹۵٪ فرسودگی و پرایمینگ با اکسین به‌دست آمد (جدول ۳). بر اساس نتایج Ghaderi-Far et al. (2014) در مدت فرسودگی بذر، رادیکال‌های آزاد با اثر خود بر پراکسیداسیون لیپید تسریع پدیده فرسودگی را سبب می‌شوند. سوپراکسید دسموتاز اولین سیستم دفاعی آنزیمی است که یون‌های سوپراکسید را به هیدروژن پراکسید و آب تبدیل می‌کند و بعد از آن کاتالاز تولید شده می‌تواند پراکسید هیدروژن را تجزیه کند (Petridis et al., 2012).

ریشه‌های حاصل از بذره‌های پرایم شده با IAA را روشن کند. پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که IAA اعمال شده به صورت خارجی یا القا شده توسط پرایمینگ، محتوای کلروفیل، سرعت فتوسنتز، تجمع قند و هدایت روزنه را افزایش می‌دهد. در مجموع، این موارد ممکن است به عنوان جاذب ROS و محافظ غشاء عمل کنند (Li et al., 2019). پراکسید هیدروژن اثرات مخربی در رشد و نمو گیاه دارد و اکسین تا حدود زیادی سبب مهار آن شده است (Ghasemi & Ehsanpour, 2018). CAT به عنوان یک آنزیمی آنتی‌اکسیدانت به سرعت H_2O_2 را از بین می‌برد و این در شرایطی است که افزایش غلظت اکسین می‌تواند توسط اثر بر غلظت ABA در بافت گیاهی موثر باشد (Zand et al., 2010). پرایمینگ بذره‌های فرسوده با هورمون سیتوکینین و جیبرلین سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز و کاتالاز شد. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کاهش نقش تخریبی رادیکال‌های آزاد اکسیژن و حفظ غلظت آن‌ها در حد بهینه اهمیت زیادی دارد (Rashidi et al., 2019). پرایمینگ بذر موجب کاهش خسارت غشای سلولی شده و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن را کاهش می‌دهد و از این روش می‌تواند موجب افزایش جوانه‌زنی شود. آنتی‌اکسیدانت‌ها می‌توانند با کم کردن میزان رادیکال‌های آزاد از فرسودگی بذر جلوگیری و روند آن را کند کنند (Thiayarajeh & Kapilon, 2015).

مالون‌دی‌الدئید

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف فرسودگی و پرایمینگ و اثر متقابل آن‌ها بر میزان مالون‌دی‌الدئید در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). طبق نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین میزان مالون‌دی‌الدئید (۶۰/۲) در فرسودگی ۷۵٪ و پرایمینگ با سیتوکینین به‌دست آمد، و کم‌ترین میزان مالون‌دی‌الدئید (۲۱/۱) در

مسیرهای پاسخ به تنش به راه می‌افتند (Hayat & Ahmad, 2007). در بررسی (Shooryabi et al., 2012) در رقم MCC414، کاربرد سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) در شرایط ۲۵٪ ظرفیت زراعی، مقدار H_2O_2 را به طور مشخصی افزایش داد. بر اساس نتایج حاصل از بررسی (Nouri & Navabpour, 2024) مشخص شد که تولید پراکسید هیدروژن با افزایش غلظت کاربرد سالیسیلیک اسید در فرآیند پرایمینگ بذر افزایش یافت. بر اساس پژوهش‌های انجام گرفته دریافتند کاربرد برون‌زاد پلی‌آمین منجر به کاهش رادیکال سوپراکسید و مقدار H_2O_2 می‌شود و در نهایت تنش اکسیداتیو گیاه را کاهش می‌دهد (Orabi et al., 2010). پرایمینگ سیگنال IAA، سم‌زدایی اولیه‌ی ROS را در نهال‌های ذرت کنترل می‌کند. گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، رادیکال سوپراکسید (O_2)، رادیکال هیدروکسیل (OH^-) و اکسیژن تک‌ (1O_2) در صورت تولید بیش از حد می‌توانند مضر باشند (Kohli et al., 2019). با این حال، ROS به طور فزاینده‌ای به عنوان مولکول‌های سیگنالینگ حیاتی در نظر گرفته می‌شوند که نقش‌های تنظیمی در رشد، توسعه و افزایش تحمل به تنش گیاه ایفا می‌کنند (Ellouzi et al., 2024). پژوهش دیگری نقش H_2O_2 را در تحریک جاذبه‌گرایی تنظیم شده توسط اکسین در ریشه‌های ذرت نشان داد (Xia et al., 2015). (Ivanchenko et al., 2013) نشان دادند اکسین تجمع H_2O_2 را در ریشه‌های *Solanum lycopersicum* افزایش داده و منجر به طویل شدن سلول‌های ریشه می‌شود. این گزارش‌ها حاکی از آن است که علی‌رغم ماهیت سمی آن، H_2O_2 ممکن است به عنوان واحدهای سیگنالینگ مرکزی در طول پرایمینگ جوانه‌زنی بذر عمل کند. پژوهش‌های قبلی نقش نشانگرهای استرس اکسیداتیو را در فرآیند پرایمینگ برجسته کرده است (Ellouzi et al., 2021 Ellouzi et al., 2024)، که می‌تواند تا حدی رشد افزایش یافته مشاهده شده در

فعال گونه‌های فعال اکسیژن در فرآیند شکست خواب و القای جوانه‌زنی در بذر است (Yousif Abdullah Al, 2024). در فرآیند پرایمینگ بذر که به شروع مقدمات برای جوانه‌زنی بذر همراه است، میزان تولید گونه‌های فعال اکسیژن از قبیل پراکسید هیدروژن افزایش یافته که به دنبال آن با پراکسیداسیون بیش‌تر غشای سلولی میزان نشت الکترولیت‌ها و همچنین میزان تولید مالون‌دی‌الدهید که بیانگر افزایش پراکسیداسیون غشای سلول است افزایش می‌یابد (Liu et al., 2022). همچنین در پژوهش Nouri & Navabpour (2024) افزایش تولید مالون‌دی‌الدهید و پراکسید هیدروژن با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید به‌علت نقش القایی این ماده در شروع فرآیند جوانه‌زنی بذر و در نتیجه افزایش پراکسیداسیون لپیدی بوده که منجر به افزایش تولید مالون‌دی‌الدهید و پراکسید هیدروژن شده است. Wani et al. (2023) نشان دادند افزایش بیش از اندازه تولید مالون‌دی‌الدهید در بذر نشانه شروع کاهش قابلیت حیات در آنها است و این تولید نیز با افزایش محتوای رطوبتی افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج Sheikhnawaz Jahed et al. (2014) کم‌ترین میزان مالون‌دی‌الدهید در شرایط بدون تنش و در پرایمینگ با اسپرمیدین به‌دست آمد، اعمال پرایمینگ با اسپرمیدین میزان مالون‌دی‌الدهید را ۸/۴۷ درصد نسبت به شاهد کاهش داد که بیان شده است علت کاهش آثار مخرب رادیکال‌های آزاد و حفاظت از غشاء توسط پرایمینگ است و بدین وسیله از صدمه اسیدهای چرب غیر اشباع و کاهش نفوذپذیری غشا جلوگیری می‌کنند (Qi et al., 2010). بنابراین علت کاهش پراکسیداسیون لپیدها را می‌توان در- نتیجه عملکرد پلی‌آمین‌ها در از بین بردن رادیکال‌های آزاد دانست.

فراورده‌های میلارد و آمادوری

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف فرسودگی و پرایمینگ و آثار متقابل آنها بر میزان

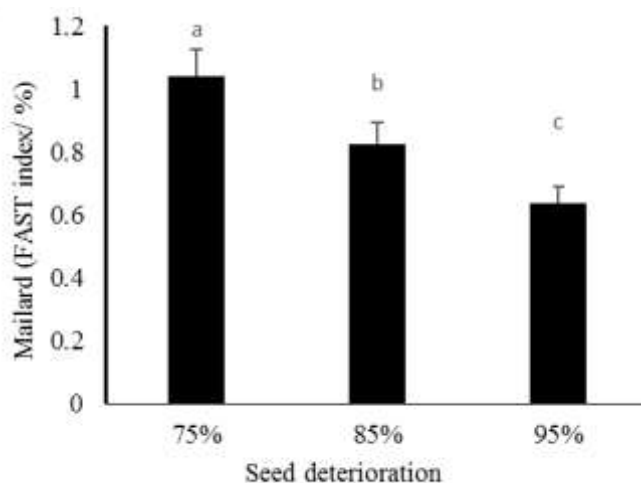
فرسودگی ۹۵٪ و پرایمینگ با اکسین مشاهده شد (جدول ۳). مالون‌دی‌الدهید شاخصی از پراکسیداسیون غشای سلولی بوده و با نشت مواد از غشاء همبستگی مثبت دارد، هر چه میزان این شاخص افزایش یابد پراکسیداسیون غشاء و نشت الکترولیت‌ها از غشاء بیشتر و در نتیجه خسارات احتمالی بیشتر است. بر اساس نتایج Jyoti & Malik (2013) در بذرهای فرسوده کاهش معنی‌داری در پروتئین، کل قندها و محتوای چربی دیده می‌شود، به‌طوری که اسیدهای چرب آزاد، پراکسید هیدروژن و گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابند. در نتیجه این وقایع، اسیدهای چرب غیر اشباع موجود در غشای سلولی به رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن حساس شده و ترکیبات ناشی از پراکسیداسیون چربی مانند لپیدهای ترکیبی و مالون‌دی‌الدهید تولید می‌شوند. رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپراکسید تولید شده در جریان تنش اکسیداتیو به محض حضور در سلول می‌توانند واکنش‌های زنجیره‌ای اکسیداتیو را به‌صورت اتواکسیداسیونی و یا لپید هیدروپراکسیدها شروع نمایند که منجر به تولید لپید هیدروپراکسیدها می‌شود. لپید هیدروپراکسیدها بسیار واکنش‌پذیر بوده و احتمال واکنش با ترکیبات ثانویه سمی حاصل از پراکسیداسیون مانند مالون‌دی‌الدهید را دارند. مالون‌دی‌الدهید محصول پراکسیداسیون اسید لینولئیک است و توانایی آسیب رساندن به پروتئین‌های غشاء را از روش cross-linking دارد (Varier et al., 2010). افزایش پراکسیداسیون لپیدی و نیز افزایش میزان MDA با افزایش فرسودگی در سویا گزارش شده است (Xia et al., 2015). نتایج پژوهش‌های Sepehri & Rouhi (2016) نشان داد کم‌ترین مقادیر مالون‌دی‌الدهید به بذرهای پیش‌تیمار شده با سیتوکینین (به‌ویژه در ۱۵۰ قسمت در میلیون) و بیش‌ترین مقادیر به بذور شاهد تعلق دارد. در شرایط پرایمینگ با آب و سالیسیلیک اسید میزان تولید مالون‌دی‌الدهید و پراکسید هیدروژن افزایش یافت. افزایش تولید گونه‌های فعالی اکسیژن در زمان شروع فرآیند جوانه‌زنی بذر به‌علت نقش

فرآورده‌های آمادوری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین میزان آمادوری (۰/۰۳۹) در فرسودگی ۷۵٪ و بدون پرایمینگ و کم‌ترین میزان آمادوری (۰/۰۱۷) در فرسودگی ۹۵٪ و پرایمینگ با اکسین به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین اثر ساده تیمارهای فرسودگی و پرایمینگ بر مقدار فرآورده‌های میلارد در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). فرسودگی مقدار فرآورده‌های میلارد را افزایش داد، به‌طوری که کم‌ترین مقدار میلارد (۰/۶۳۸) در فرسودگی ۹۵٪ و بیش‌ترین مقدار (۱/۰۴) در فرسودگی ۷۵٪ به‌دست آمد (شکل ۴)، و پرایمینگ مقدار فرآورده‌های میلارد را کاهش داد، به‌طوری که بیش‌ترین مقدار فرآورده‌های میلارد (۱/۰۲۳) در عدم پرایمینگ و کم‌ترین (۰/۶۳) در پرایمینگ با اکسین به دست آمد (شکل ۵). فرآیند پراکسیداسیون لیپید با تولید آلدئیدها، کتون‌ها، الکل‌ها و فرآیند هیدرولیز قندها با تولید قندهای احیایی، از دلایل اصلی فرسودگی بذر با راه اندازی واکنش‌های غیرآنزیمی آمادوری و میلارد هستند (Shaaban et al., 2017). این فرآیندها در هر دو شرایط فرسودگی مصنوعی و انبارداری طبیعی اتفاق می‌افتند (Murthy & Sun, 2000). واکنش‌های آمادوری و میلارد یک سری از واکنش‌های پیچیده هستند که به‌دنبال واکنش کربونیل‌آمین اولیه انجام می‌شوند. بررسی‌ها نشان داده‌اند که فرسودگی تسریع شده، کاهش قابلیت حیات بذرهای گندم را سبب شده که همگام با تجمع تولیدات میلارد بوده است (Shaaban et al., 2017). نتایج پژوهش‌های (Strelec et al., 2008) نشان داد در مدت فرسودگی بذر، گلیکوزیلاسیون غیرآنزیمی پروتئین‌های بذر گندم، به شکل‌گیری گلیکوزیل‌آمین در واکنش آمادوری منجر می‌شود. آن‌ها بیان کردند که شکل‌گیری تولیدات آمادوری به شرایط نگهداری بذر بستگی دارد. وقوع واکنش میلارد خسارت به آنزیم‌ها و کاهش فعالیت آنزیمی را سبب شد (Gamer et al.,

1987). (Murthy et al. (2003 بیان کردند که در بذرهای ماش، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از قبیل کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز به واکنش‌های میلارد حساس هستند و همچنین نشان دادند قابلیت حیات بذرها به تجمع تولیدات میلارد حساس است و وقوع این واکنش، کاهش قابلیت حیات بذر را موجب می‌شود. همچنین آن‌ها بیان کردند تجمع تولیدهای میلارد، حتی پس از ازبین رفتن کامل قابلیت حیات بذر و تبدیل آن به بذر مرده، ادامه دارد. افزایش مدت انبارداری و همچنین افزایش شدت فرسودگی مصنوعی، منجر به افزایش تولید و تجمع محصولات آمادوری شد. همچنین فرسودگی مصنوعی و انبارداری طبیعی، میزان میلارد را افزایش داد (Shaaban et al., 2017). بر اساس نتایج (Hanan & Salava (2014 با افزایش تجمع تولیدهای آمادوری، تغییرات پس از ترجمه در برخی از پروتئین‌های سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی ایجاد می‌شود که کاهش کارایی این سیستم و ضعف در جوانه‌زنی را سبب می‌شود. نتایج پژوهش (Shaaban et al., 2017) افزایش میزان تجمع تولیدهای آمادوری و میلارد را با افزایش شدت فرسودگی مصنوعی و همچنین افزایش مدت انبارداری طبیعی نشان داد. قندهای احیایی، نیروی محرکه اولیه برای شروع اجباری واکنش‌های آمادوری و میلارد هستند و از این نظر ضروری هستند (Colville et al., 2012). در ادامه واکنش و با افزایش میزان قندهای احیایی یا آلدئیدها و کتون‌ها، واکنش‌های آمادوری و میلارد افزایش می‌یابند. هیدروپرایمینگ تأثیر معنی‌داری بر کاهش محصولات آمادوری و میلارد در مقایسه با شاهد داشت (Yari et al., 2019). یکی از دلایل کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اضافه شدن قندهای احیا شده به پروتئین‌هاست که به واکنش میلارد معروف است و در شرایط پیری و فرسودگی بذر اتفاق می‌افتد (Murthy et al., 2003). همچنین حمله رادیکال‌های آزاد به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تخریب ساختار آن‌ها نیز موجب کاهش

(Mansouri & Omid, 2022). همچنین پرایمینگ بذور با سیتوکینین سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت پراکسیداز و کاتالاز می‌شود (Rashidy, 2019). این نتایج نشان داده اند پرایمینگ موجب کاهش واکنش‌های میلارد و آمادوری می‌شود. بر اساس پژوهش‌های Yari et al. (2019) همه تیمارهای پلی‌آمین سبب کاهش معنی‌داری در میزان محصولات آمادوری و میلارد داشتند، تیمار اسپرمین دارای بیش‌ترین تأثیر مثبت بر کاهش میزان محصولات آمادوری و میلارد بود، و حداقل واکنش آمادوری و میلارد در بذورهای تیمار شده با اسپرمیدین مشاهده شد.

فعالیت این آنزیم‌ها می‌شود (Kurek et al., 2019). آثار مثبت پرایمینگ بذور فرسوده بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گزارش‌های متعدد آمده است (Ansari et al., 2012; Moori & Eisvand, 2017). پرایمینگ بذور با افزایش RNA و متابولیسم پروتئین‌ها و همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده مواد غذایی موجب افزایش سنتز و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز می‌شود، مشخص شده که استفاده از سالیسیلیک اسید با تامین نیتروژن مورد نیاز برای سنتز پروتئین‌ها، موجب افزایش سنتز و فعالیت آنزیم‌ها می‌شود



شکل ۴- مقایسه اثر فرسودگی بر میزان فرآورده‌های میلارد در بذورهای تریتیکاله (داده‌ها میانگین سه تکرار \pm خطای استاندارد میانگین است، حروف متفاوت در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد است)

Figure 4- Comparison of the effect of deterioration on Mailard products in triticale seeds (Values are the mean of three replicates \pm SE of three separate measurements, in each column different letters show significant difference at 5% probability level)



شکل ۵- مقایسه اثر پرایمینگ بر میزان فرآورده‌های میلارد در بذرهای تریتیکاله (داده‌ها میانگین سه تکرار \pm خطای استاندارد میانگین است، حروف متفاوت در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد است)

Figure 5- Comparison of the effect of priming on Mailard products in triticale seeds (Values are the mean of three replicates \pm SE of three separate measurements, in each coloumn different letters show significant difference at 5% probability level)

References

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121-126
[https://doi.org/10.1016/s0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/s0076-6879(84)05016-3)
- Ali, L. G., Nulit, R., Ibrahim, M. H., & Yien, C. Y. S. (2021). Efficacy of KNO₃, SiO₂ and SA priming for improving emergence, seedling growth and antioxidant enzymes of rice (*Oryza sativa*), under drought. *Scientific Reports*, 11, 1-11.
<http://doi.org/10.1038/s41598-021-83434-3>
- Alivand, R. (2012). *The study of deterioration in oil seed crops under different storage conditions* [Unpublished master Thesis]. University of Tehran.
- Ansari, O., Chogazardi, H. R., Sharifzadeh, F., & Nazarli, H. (2012). Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (*Secale montanum*) as affected by drought stress. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 2, 43-48.
<https://repository.iuls.ro/xmlui/handle/20.500.12811/2297>
- Anwar, M. P., Khalid, M. A. I., Islam, A. M., Yeasmin, S., Sharif, A., Hadifa, A., Ismail, I. A., Hossain, A., & El Sabagh, A. (2021). Potentiality of different seed priming agents to mitigate cold stress of winter rice seedling. *Phyton*, 90(5), 1491.
<https://doi.org/10.32604/phyton.2021.015822>
- Azmat, A., Yasmin, H., Hassan, M. N., Nosheen, A., Naz, R., Sajjad, M., Ilyas, N., & Akhtar, M. N. (2020). Coapplication of bio-fertilizer and salicylic acid improves growth, photosynthetic pigments and stress tolerance in wheat under drought stress. *Plant Biology*, 8, e9960.
<https://doi.org/10.7717/peerj.9960>
- Balestrasse, K. B., Gardey, L., Gallego, S. M., & Temaro, M. L. (2001). Response of antioxidant defense system in soybean nodules and roots subjected to cadmium stress. *Australian Journal of Plant Physiology*, 28(6), 497-504.
<https://doi.org/10.1071/PP00158>
- Balouchi, H., & Ostadian Bidgoly, R. (2018). Effect of seed deterioration on germination and antioxidant enzymes activity of oil flax (*Linum usitatissimum* L.) Red Bazrak genotype. *Journal of Plant Process and Function*, 7(23), 205-218.
<https://jispp.iut.ac.ir/article-1-953-fa.html> [In Persian]

- Bondet, V., Brand-Williams, W., & Berset, C. (1997). Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH free radical method. *LWT - Food Science and Technology*, 30(6), 609-615. <https://doi.org/10.1006/food.1997.0240>
- Bowler, C., Slooten, L., Vandenbranden, S., De Rycke, R., Botterman, J., Sybesma, C., Van Montagu, M., & Inzé, D. (1991). Manganese superoxide dismutase can reduce cellular damage mediated by oxygen radicals in transgenic plants. *The EMBO Journal*, 10, 1723-1732. <https://doi.org/10.1002/j.1460-2075.1991.tb07696.x>
- Chaichi, M., Nemati, A., Dadrasi, A., Heydari, M., Hassanisaadi, M., Yousefi, A. R., & Mastinu, A. (2022). Germination of *Triticum aestivum* L.: Effects of soil-seed interaction on the growth of seedlings. *Soil Systems*, 6(2), 37. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6020037>
- Colville, L., Emma, L. B., Antony, S. L., Hugh, W. P., Laurence, C., & Ilse, K. (2012). Volatile fingerprints of seeds of four species indicate the involvement of alcoholic fermentation, lipid peroxidation, and maillard reactions in seed deterioration during ageing and desiccation stress. *Journal of Experimental Botany*, 63(18), 6519-6530. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers307>
- Coolbear, P. (2020). Mechanisms of seed deterioration. In *Seed Quality*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003075226>
- Dadnia, M. R. (2016) Effect of humic acid on activity of antioxidant enzymes and yield of castor bean (*Ricinus communis*) under water deficit condition. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(41), 85-98. <https://sanad.iau.ir/Journal/jcep/Article/956470> [In Persian]
- Darabi, F., Valipour, M., Naseri, R., & Moradi, M. (2017). The effects of accelerated aging test on germination and activity of antioxidant enzymes of maize (*Zea mays*) hybrid varieties seeds. *Iranian Journal of Seed Research*, 4(1), 45-59. <http://dx.doi.org/10.29252/yujs.4.1.45> [In Persian]
- Delouche, J. C., & Baskin., C. C. (1973). Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Technology Papers*, 1, 427-452. <https://scholarsjunction.msstate.edu/seedtechpapers/10>.
- Ding, F., Wang, R., & Chen, B. (2019). Effect of exogenous ammonium gluconate on growth, ion flux and antioxidant enzymes of maize (*Zea Mays* L.) seedlings under NaCl stress. *Plant Biology*, 21(4), 643-651. <https://doi.org/10.1111/plb.12963>
- Eftekhari, N., Fallah, S., Abbasi Sooraki, A., Khodaverdiloo, H., & Rahimi, A. (2019). Effect of salicylic acid and potassium nitrate pretreatment on enhancing the sunflower tolerance in contaminated soils with cadmium. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 6(2), 161-175. <https://doi.org/10.22124/jms.2019.3595> [In Persian]
- Ellouzi, H., Oueslati, S., Hessini, K., Rabhi, M., & Abdelly, C. (2021). Seed-priming with H₂O₂ alleviates subsequent salt stress by preventing ROS production and amplifying antioxidant defense in cauliflower seeds and seedlings. *Scientia Horticulturae*, 288, 110360. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110360>
- Ellouzi, H., Slimene-Debez, I. B., Amraoui, S., Rabhi, M., Hanana, M., Alyami, n. m., Debez, A., Abdelly, C. H., & Zorrig, W. (2024). Effect of seed priming with auxin on ROS detoxification and carbohydrate metabolism and their relationship with germination and early seedling establishment in salt stressed maize. *BMC Plant Biology*, 24(704), 2283. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05413-w>
- Fallahi, H. A., Ramezani, M. R., Andarkhor, A. A., & Kamel, M. (2019). Triticale agriculture. Mazandaran. *Agricultural Extension Management*. [In Persian]
- Farooq, M. A., Niazi, A. K., Akhtar, J., Saifullah, M., Farooq, Z., Souri, N., & Rengel, Z. (2019). Acquiring control: the evolution of ROS-induced oxidative stress and redox signaling pathways in plant stress responses. *Plant Physiology and*

- Biochemistry*, 141, 353-369.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.039>
- Feghhenabi, F., Hadi, H., Khodaverdiloo, H., & Van Genuchten, M. T. (2020). Seed priming alleviated salinity stress during germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Water Management*, 231, 106022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106022>
- Foyer, CH., & Noctor, G. (2003). Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. *Physiologia Plantarum*, 119(3), 355-64. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2003.00223.x>
- Gamer, M. H., Wang, G. M., & Spector, A. (1987). Stimulation of glucosylated lens epithelial Na, KATPase by an aldose reductase inhibitor. *Experiment Eye Research*, 45(2), 339-345. [https://doi.org/10.1016/s0014-4835\(87\)80155-0](https://doi.org/10.1016/s0014-4835(87)80155-0)
- Ganbari, M., Farzaneh, M., & Eftekharian Jahromi, A. (2018). Effect of spermidine and irrigation period on some physiological characteristics of cucurbit (*Cucurbita pepo* L.). *Agricultural Plant Breed*, 14(3), 75-87. <https://sanad.iau.ir/Journal/iapb/Article/1095926> [In Persian]
- Gao, H., Zhang, Z. K., Chai, H., Cheng, K., Yang, N., Wang, Y., Yang, D.N., & Cao, W. (2016). Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. *Postharvest Biology Biotechnology*, 118, 103-110. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.03.006>
- Ghaderi, M., & Aliloo, A. A. (2023). Improving activity of antioxidant enzymes and vigor in rapeseed by salicylic acid and gum arabic seed priming. *Plant Process and Function*, 12(54), 123-138. <https://jispp.iut.ac.ir/article-1-1763-fa.html> [In Persian]
- Ghaderi-Far, F., Soltani, A., & Sadeghipour, H. R. (2014). Biochemical changes in pumpkin seeds during ageing: lipid peroxidation and membrane damages. *Iranian Journal of Plant Biology*, 6(20), 69-112. https://ijpb.ui.ac.ir/article_18925.html [In Persian]
- Ghasemi, S., & Ehsanpour, A. A. (2018). The effect of IAA on stress resistance of tobacco seedlings (*Nicotiana glumbaginifolia*) under in vitro culture conditions. *Journal of Cell and Tissue (JCT) Spring*, 9(1). <http://doi.org/10.52547/JCT.9.1.86> [In Persian]
- Hajiabbasi, M., Tavakkol Afshari, R., Abbasi, A., & Kamaei, R. (2021). Effects of salicylic acid and ethylene on the germination and gene expression of alpha and beta amylase in deteriorated soybean seeds (*Glycine max*). *Iranians Journal of Seed Science and Technology*, 10(1), 156-141. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2019.125038.1257> [In Persian]
- Hanan, M. A., & Salwa, A. A. (2014). Effects of gamma irradiation on biochemical and antioxidant defense system in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *International Journal of Advanced Research*, 2(8), 287-300.
- Hasanuzzaman, M., Inafuku, M., Nahar, K., Fujita, M., & Oku, H. (2021). Nitric oxide regulates plant growth, physiology, antioxidant defense, and ion homeostasis to confer salt tolerance in the mangrove species. *Kandelia obovata*. *Antioxidants*, 10, 611. <https://doi.org/10.3390/antiox10040611>
- Hayat, S., & Ahmad, A. (2007) *Salicylic acid: a plant hormone*. Springer.
- Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photo peroxidation in isolated chloroplasts I kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)

- Iqbal, H., Yaning, C., Rehman, H., Waqas, M., Ahmed, Z., Raza, S. T., & Shareef, M. (2020). Improving heat stress tolerance in late planted spring maize by using different exogenous elicitors. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 80, 30-40. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000100030>
- ISTA. (2009) *International rules for seed testing*. The International Seed Testing Association. Zurich. Switzerland.
- ISTA. (2012) *International rules for seed testing*. The International Seed Testing Association (ISTA).
- Ivanchenko, M. G., den, Os. D., Monshausen, G. B., Dubrovsky, J. G., Bednářová, A., & Krishnan N. (2013). Auxin increases the hydrogen peroxide (H₂O₂) concentration in tomato (*Solanum lycopersicum*) root tips while inhibiting root growth. *Annals of Botany*, 112, 1107-1116. <https://doi.org/10.1093/aob/mct181>
- Jeevan Kumar, S., Rajendra Prasad, S., Banerjee, R., & Thammineni, C. (2015). Seed birth to death: dual functions of reactive oxygen species in seed physiology. *Annals of Botany*, 116, 663-668. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv098>
- Jyoti, U., & Malik, C. P. (2013). Seed deterioration: A review. *International Journal of Life Science Botany and Pharmacy Research*, 2, 374-85. http://ijlbpr.com/jlbpradmin/upload/ijlbpr_51dd852cb1918.pdf
- Kaewnaree, P., Vichitphan, S., Klanrit, P., Siri, B., & Vichitphan, K. (2011). Effect of accelerated aging process on seed quality and biochemical changes in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Seeds Biotechnology*, 10(2), 175-182. <https://doi.org/10.3923/biotech.2011.175.182>
- Kar, M., & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57(2), 315-319. <https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315>
- Kaur, H., Hussain, S. J., Kaur, G., Poor, P., Alamri, S., Siddiqui, M. H., & Khan, M. I. R. (2022). Salicylic acid improves nitrogen fixation, growth, yield and antioxidant defence mechanisms in chickpea genotypes under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10592-7>
- Kaya, C., Senbayram, M., Akram, N. A., Ashraf, M., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2020). Sulfur-enriched leonardite and humic acid soil amendments enhance tolerance to drought and phosphorus deficiency stress in maize (*Zea mays* L.). *Scientific Reports*, 10, 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62669-6>
- Kohli, S. K., Khanna, K., Bhardwaj, R., Abd Allah, E. F., Ahmad, P., & Corpas, F. J. (2019). Assessment of subcellular ROS and NO metabolism in higher plants: multifunctional signaling molecules. *Antioxidants*, 8, 641. <https://doi.org/10.3390/antiox8120641>
- Kurek, K., Plitta -Michalak, B., & Ratajczak, E. (2019). Reactive oxygen species as potential drivers of the seed aging process. *Plants*, 8, 193 -174. <https://doi.org/10.3390/plants8060174>
- Lehner, A., Mamadou, N., Poels, P., Come, D., Bailly, C., & Corbineau, F. (2008). Changes in soluble carbohydrates, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in the embryo during ageing in wheat grains. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 555-565. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.017>
- Li, J., Guan, Y., Yuan, L., Hou, J., Wang, C., Liu, F., et al. (2019) Effects of exogenous IAA in regulating photosynthetic capacity, carbohydrate metabolism and yield of *Zizania latifolia*. *Scientia Horticulturae*, 253, 276-85. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.058>
- Liu, J. H., Nada, k., Hond, C., Kitashiba, H., Wen, X. P., Pang, X. M., & Moriguchi, T. (2006). Polyamine biosynthesis of apple callus under salt stress: importance of arginine decarboxylase pathway respons. *Journal of Experimental Botany*, 57,

2589-2599.

<https://doi.org/10.1093/jxb/erl018>

- Liu, X., Quan, W., & Bartels, D. (2022). Stress memory responses and seed priming correlate with drought tolerance in plants: An overview. *Plantas*, 255, 45. <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03828-z>
- Ma, H. Y., Zhao, D. D., Ning, Q. R., Wei, J. P., Li, Y., Wang, M. M., & Liang, Z. W. (2018). A multi-year beneficial effect of seed priming with gibberellic acid-3 (GA₃) on plant growth and production in a perennial grass, *Leymus chinensis*. *Scientific Reports*, 8(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31471-w>
- Mahros, K. M., Badawy, E. M., Mahgoub, M. H., Habib, A. M., & El-Sayed, I. M. (2011). Effect of putrescine and uniconazole treatments on flower characters and photosynthetic pigments of *Chrysanthemum indicum* L. *Plant. Agricultural Journal of Science*, 7, 399-408. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20113217568>
- Mansouri, A., & Omid, H. (2022). Effect of priming and seed age on germination, photosynthetic pigments, and biochemical content of Quinoa seedling. *Plant Process and Function*, 11 (50), 15. <https://jispp.iut.ac.ir/article-1-1813-fa.html> [In Persian]
- Migahid, M. M., Elghobashy, R. M., Bidak, L. M., & Amin. A. W. (2019). Priming of *Silybum marianum* (L.) Gaertn seeds with H₂O₂ and magnetic field ameliorates seawater stress. *Heliyon*, 5(6), e01886. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01886>
- Miliauskas, G., Venskutonis, P. R., & Van Beek, T. A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chemistry*, 85(2), 231-237. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.05.007>
- Mittova, V., Guy, M., Tal, M., & Volokita, M. (2002). Response of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii* to salt-dependent oxidative stress: increased activities of antioxidant enzymes in root plastids. *Free Radical Research*, 36(2), 195-202. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1120405.x>
- Moori, S., & Eisvand, H. R. (2017). Plant growth regulators and ascorbic acid affect physiological quality of wheat seedlings obtained from deteriorated seeds. *Pakistan Journal of Botany*, 49(5), 1811 -1819. <https://www.pakbs.org/pjbot/papers/1507286193.pdf>
- Moori, S., & Eisvand, R. (2016). The effect of priming with salicylic acid and ascorbic acid on germination indices and biochemical traits in wheat seed deterioration. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 6(3), 381-398. https://jms.guilan.ac.ir/article_3835.html [In Persian]
- Moussou, N., Corzo-Martinez, M., LuzSanz, M., Zaidi, F., Montilla, A., & Villamiel, M. (2017). Assessment of maillard reaction evolution, prebiotic carbohydrates, antioxidant activity and αamylase inhibition in pulse flours. *Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 890-900. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2298-5>
- Murthy, U. M. N., & Sun, W. Q. (2000). Protein modification by Amadori and Maillard reactions during seed storage: roles of sugar hydrolysis and lipid peroxidation. *Journal of Experimental Botany*, 348, 1221-1228. <https://doi.org/10.1093/jxb/51.348.1221>
- Murthy, U. M. N., Kumar, P. P., & Sun, W. Q. (2003). Mechanisms of seed ageing under different storage conditions for *Vigna radiate* (L.) Wilczek: lipid peroxidation, sugar hydrolysis, Maillard reactions and their relationship to glass state transition. *Journal of Experimental Botany*, 54, 10571067. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg092>
- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*,

- 22, 867-880.
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>
- Nourbakhshian, J., Nabipour, M., Maskerbashi, M., & Amoagaei, R. (2015). Evaluation of dry matter and antioxidant enzyme activity in spruce seedlings under the influence of priming and seed size under drought stress conditions. *Plant Process and Function*, 4(14), 125-138. <https://jispp.iut.ac.ir/article-1-263-fa.html> [In Persian]
- Nouri, H., & Navabpour, S. (2024). The effect of hydropriming and hormone-priming on the antioxidant systems of chickpea seeds. *Iranian Plant and Biotechnology Quarterly Journal*, 19(2), 30-47. <https://doi.org/10.71829/Biology-2024-1130616> [In Persian]
- Orabi, S. A., Salman, S. R., & Shalaby, M. A. (2010). Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World Journal of Agricultural Sciences*, 6(3), 252-259. <https://B2n.ir/uu3691>
- Petla, B. P., Kamble, N. U., Kumar, M., Verma, P., Ghosh, S., Singh, A., Rao, V., Salvi, P., Kaur, H., & Saxena, S. C. (2016). Rice protein l-isoaspartyl methyltransferase isoforms differentially accumulate during seed maturation to restrict deleterious isoAsp and reactive oxygen species accumulation and are implicated in seed vigor and longevity. *New Phytologist*, 211, 627-645. <https://doi.org/10.1111/nph.13923>
- Petridis, A., Therios, I., Samouris, G., Koundouras, S., & Giannakoula, A. (2012). Effect of water deficit on leaf phenolic composition, gas exchange, oxidative damage and antioxidant activity of four Greek olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Journal Plant Biochemistry and Physiology*, 60, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.07.014>
- Posmyk, M. M., Bailly, C., Szafranska, K., Janas, K. M., & Corbineau, F. (2005). Antioxidant enzymes and isoflavonoids in chilled soybean (*Glycine max* L. Merr.) seedlings. *Plant Physiology*, 162, 403-412. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.08.004>
- Qi, F. G., Wang, H., & Liu, X. (2010). Effect of MeJA on contents of endogenous hormones in wheat seedling under cold stress. *Plant Physiology Communications*, 46, 1155-1158. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20113242657>
- Rane, J., Singh, A. K., Tiwari, M., Prasad, P. V., & Jagadish, S. K. (2021). Effective use of water in crop plants in dryland agriculture: Implications of reactive oxygen species and antioxidative system. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.778270>
- Rashidi, S., Abbasdokht, H., Gholami, A., & TavakkolAfshari, R. (2019). Effect of hormone priming and deterioration of seed germination characteristics and antioxidant enzymes activity in corn cultivars seed (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 6(2), 229-243. <https://doi.org/10.22124/jms.2019.3602> [In Persian].
- Rashidy, S. (2019). The study of the effects of cytokinin and gibberellin on germination characteristics and antioxidant enzymes activity in deteriorated seeds of corn cultivars (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 295, 110-125. http://ecophysiology.gorganiau.ac.ir/article_671942.html [In Persian].
- Raza, S. H., Athar, H. R., Ashraf, M., & Hameed, A. (2007). Glycinebetaine-induced modulation of antioxidant enzymes activities and ion accumulation in two wheat cultivars differing in salt tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 60(3), 368-76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.12.009>
- Rhaman, M. S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C. C., Murata, Y., & Hasanuzzaman, M. (2021). Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*, 10, 37. <https://doi.org/10.3390/plants10010037>

- Saadat, T., Alidoost, H., & Sedghi, M. (2022). The effect of priming on the activity and gene expression of antioxidant enzymes in rice. *Journal of Seed Research*, 11(4), 46-54.
<https://doi.org/10.30495/jsr.2022.1928952.1210> [In Persian]
- Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. *Antioxidants*, 10, 277.
<https://doi.org/10.3390/antiox10020277>
- Saddiq, M. S., Iqbal, S., Afzal, I., Ibrahim, A. M., Bakhtavar, M. A., Hafeez, M. B., Jahanzai, B., & Maqbool, M. M. (2019). Mitigation of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings through physiological seed enhancements. *Journal of Plant Nutrition*, 42(10), 192-204.
<http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2019.1609509>
- Sairam, R. K., Rao, K. V., & Srivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163, 1037-1046.
[https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00278-9](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9)
- Sen, A., & Puthur, J. T. (2020). Influence of different seed priming techniques on oxidative and antioxidative responses during the germination of *Oryza sativa* varieties. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(3), 551-565.
<https://doi.org/10.1007/s12298-019-00750-9>
- Sepehri, A., & Rouhi, H. R. (2016). Effect of cytokinin on morphological and physiological characteristics and antioxidant enzymes activity of aged groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seeds under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 5(2), 181-198.
http://ijsst.areo.ir/article_108248_en.html [In Persian]
- Shaaban, M., Ghaderifar, F., Sadeghipour, h., & Yamchi, A. (2017). Mechanism of deterioration in chickpea seeds, relationship between sugar hydrolysis and lipid peroxidation with Amadori and Maillard reactions. *Iranian Journal of Plant Biology*, 31.
<https://doi.org/10.22108/ijpb.2017.21534> [In Persian]
- Sheikhnawaz-Jahed, P., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & Sefalian, O. (2014). The effect of priming on germination characteristics of spent seeds of paper-skin pumpkin (*Cucurbita pepo*) under salt stress conditions. *Plant Process and Function*, 11(50), 309-326.
<https://jispp.iut.ac.ir/article-1-1802-fa.html> [In Persian]
- Shim, I. S., Momose, Y., Yamamoto, A., Kim, D. W., & Usui, K. (2003). Inhibition of catalase activity by oxidative stress and its relationship to salicylic acid accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*, 39(3), 285-292.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1022861312375>
- Shooryabi, M., Ganjeali, A., & Abrishamci, P. (2012). Investigating the effect of salicylic acid on enzymes activity and antioxidant compounds of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 5(1), 41-54.
<https://doi.org/10.22077/escs.2012.113> [In Persian].
- Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E., & Latifi, N. (2001). Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea voasts of Iran. *Seed Science and Technology*, 29(3), 653-662.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20013151205>
- Sourazar, K., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. (2022). The effect of priming on physiological and biochemical traits of French bean (*Phaseolus vulgaris*) under cobalt chloride stress. *Iranian Journal of Seeds Research*, 9(1), 7.
<http://yujs.yu.ac.ir/jisr/article-1-524-fa.html> [In Persian].
- Strelec, I., Hardi, Z. U., & Hlevnjak, M. (2008). Accumulation of Amadori and Maillard products in wheat seeds aged under

- different storage conditions. *Croatica Chemica Acta*, 81(1), 131-137. <https://hrcaj.srce.hr/23436>
- Subramanyam, K., Laing, G. D., & Van Damme, E. J. M. (2019). Sodium selenate treatment using a combination of seed priming and foliar spray alleviates salinity stress in rice. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1-17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00116>
- Sun, W. Q., & Leopold, A. C. (1995). The Maillard reaction and oxidative stress during aging of soybean seeds. *Plant Physiology*, 94, 94-104. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1995.tb00789.x>
- Tayyab, N., Naz, R., Yasmin, H., Nosheen, A., Keyani, R., Sajjad, M., Hassan, M. N., & Roberts, T. H. (2020). Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate drought-induced stress in maize. *Plos One*, 15, e0232269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232269>
- Thirajah, M., & Kapilan, R. (2015). Effect of aging on the germination characteristics and enzyme activity of sunflower seeds. *International Journal of Research and Innovations in Earth Science*, 2(6), 147-150. <https://www.researchgate.net/publication/291357524>
- Variar, A., Kuriakose, A., & Dadlani, M. (2010). The subcellular basis of seed priming. *Current Science*, 99 (4), 450-456. <http://www.jstor.org/stable/24109568>
- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, 151, 59-66. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1)
- Veselovsky, V. A., & Veselova, T. V. (2012). Lipid peroxidation, carbohydrate hydrolysis, and amadori maillard reaction at early stages of dry seed aging. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59(6), 811-817. <https://doi.org/10.1134/S1021443712030181>
- Wang, Y., Liu, C., Li, K., Sun, F., Hu, H., Li, X., Zhao, Y., Han, C., Zhang, W., Duan, Y., Liu, M., & Li, X. (2007). *Arabidopsis* EIN2 modulates stress response through abscisic acid response pathway. *Plant Molecular Biology*, 64, 633-644. <https://doi.org/10.1007/s11103-007-9182-7>
- Wani, A. S., Ahmad, A., Hayat, S., & Tahir, I. (2023). Epibrassinolide and proline alleviate the photosynthetic and yield inhibition under salt stress by acting on antioxidant system in mustard. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 385-394. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.01.002>
- Wettlaufer, S. H., & Leopold, A. C. (1991). Relevance of Amadori and Maillard products to seed deterioration. *Plant Physiology*, 97, 165-169. <https://doi.org/10.1104/pp.97.1.165>
- Xia, X.-J., Zhou, Y. H., Shi, K., Zhou, J., Foyer, C. H., & Yu, J. Q. (2015). Interplay between reactive oxygen species and hormones in the control of plant development and stress tolerance. *Journal Experimental Botany*, 66 (28), 39-56. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv089>
- Yari, L., Sedghi, M., Hamidi, A., & Seyed Sharifi, R. (2019). Effect of seed treatments on Amadori and Maillard products change and seed vigour in barley (*Hordeum vulgare* L.) After 8 month storage. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 6(2), 189-201. <https://doi.org/10.22124/jms.2019.3599> [In Persian]
- Yasir, T. A., Muhammad Ateeq, M., Wasaya, A., Hussain, M., Sarwar, N., Khura Mubeen, K., Aziz, M., Iqbal, M. A., Ogbaga, C., Al-Ashkar, I., Md Atikur, R., & El Sabagh, A. (2023). Seed priming and foliar supplementation with β -aminobutyric acid alleviates drought stress through mitigation of oxidative stress and enhancement of antioxidant defense in linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Phyton*, 92(11), 3114-3131. <https://doi.org/10.32604/phyton.2023.029502>
- Yousif Abdullah Al Hijab, L., Al-Hazmi, N. E., & Naguib, D. M. (2024). Rhizobacteria priming improves common bean seeds germination under different abiotic

stresses through improving hydrolysis and antioxidant enzymes kinetics parameters. *Rhizosphere*, 29, 100842.

<https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100842>

Zand, B., Soroosh zadeh, A., Ghanati, F., & Moradi, F. (2010). Effect of zinc and

auxin foliar application on some anti-oxidant enzymes activity in corn leaf. *Journal of Plant Biological Sciences*, 2(3), 35-48.

<https://civilica.com/doc/1376688>

[In

Persian].

