

اثر پرایمینگ با استفاده از برخی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی بذرهای تریتیکاله (*x Triticosecale*) تحت تأثیر فرسودگی

ژیلا نظری، محمد صدقی* و رئوف سیدشریفی

گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ با استفاده از برخی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی بذرهای تریتیکاله تحت تأثیر فرسودگی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با 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 (۰/۹۵، ۰/۸۵، ۰/۷۵) و شش نوع پرایمینگ (شاهد، هیدروپرایمینگ، پرایمینگ با سائیتوکینین، پرایمینگ با اسپرمیدین، پرایمینگ با اسید سالیسیلیک، پرایمینگ با اکسین) بود. و همچنین بذرهای به‌منظور اعمال پرایمینگ به‌مدت ۲۴ ساعت، در دمای ۲۵ درجه سلیسیوس در محلول‌های آب‌مقطر و هورمون خیسانده شدند (هورمون‌های مورد استفاده با غلظت ۱ میلی‌مولار و به مدت ۲۴ ساعت براساس نتایج آزمون مقدماتی در نظر گرفته شدند. در آزمون مقدماتی غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌مولار بود). نتایج نشان داد که فرسودگی موجب کاهش درصد جوانه‌زنی شد، اما انواع پرایمینگ به‌ویژه پرایمینگ با اکسین سبب کاهش تأثیر فرسودگی و بهبود این صفت گردید. با افزایش فرسودگی مقدار استفاده از ذخایر بذر، کارایی استفاده از ذخایر، محتوای فنل کل، فلاونوئید، اسیدهای چرب کل و آنتوسیانین بذر کاهش و قندهای آزاد، گلوکز، هدایت الکتریکی و نشت یونی افزایش یافتند. مقدار استفاده از ذخایر بذر، محتوای فلاونوئید و آنتوسیانین در پرایمینگ با اکسین نسبت به شاهد به ترتیب در حدود ۰/۲۲، ۱۳/۷٪ و ۷۳/۴۶٪ افزایش نشان داد. مقدار نشت یونی و محتوای قندهای محلول در پرایمینگ با اکسین و فرسودگی ۷۵٪ نسبت به شاهد به ترتیب ۵۱٪ و ۸۴٪ کاهش نشان دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که پرایمینگ بذر تریتیکاله به‌ویژه پرایمینگ با اکسین، می‌تواند موجب تقویت بذرهای فرسوده و افزایش جوانه‌زنی گردد و از این‌جهت می‌توان جهت افزایش قدرت بذرهای فرسوده استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اکسین، پرایمینگ، فرسودگی، قندهای آزاد، گلوکز

مقدمه
غلات یکی از اجزای اصلی رژیم غذایی انسان بوده و نقش

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۹، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۲، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۱۲

* نویسنده مسئول، رایانامه: m_sedghi@uma.ac.ir



حق انتشار این مستند، متعلق به انجمن فیزیولوژی گیاهی ایران است. © ۱۴۰۳

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

است (van Hulst *et al.*, 2006). پرایمینگ بذرها یک تکنیک آسان، مقرون به‌صرفه و ایمن برای افزایش سبزشدن، رشد گیاهیچه، عملکرد و تحمل به تنش محصولات زراعی است (Hussain *et al.*, 2015). در پرایمینگ، به بذر اجازه داده می‌شود تا سطح معینی آبیگری را انجام دهد و باعث فعال شدن فعالیت‌های متابولیک پیش از جوانه‌زنی شود، ولی از خروج ریشه‌چه از پوشش بذر جلوگیری می‌شود (Paparella *et al.*, 2015). پرایمینگ باعث افزایش فعالیت پروتئازها، لیپازها و آمیلازها می‌شود که ذخایر غذایی را برای افزایش رشدونمو جنین تجزیه می‌کنند (Acharya *et al.*, 2020). امروزه از انواع هورمون‌ها، ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه برای پرایمینگ بذور استفاده می‌شود. استفاده از هورمون‌هایی مانند جیبرلین و اسید سالیسیلیک برای مقاصد پرایمینگ، به عنوان پرایمینگ هورمونی نامیده می‌شود. سعادت و همکاران (۱۳۹۸) افزایش مقدار استفاده از ذخایر بذر و کارایی استفاده از ذخایر بذر لوبیا چیتی تحت فرسودگی، در بذور پرایم‌شده با اسید سالیسیلیک نسبت به بذور پرایم نشده را گزارش کرده‌اند. هدایت الکتریکی شاخصی از پایداری غشاها است، همان‌طور که نتایج مقایسه میانگین‌ها آزمایشی نشان می‌دهد بیشتر تیمارهای محلول‌پاشی با اسید جاسمونیک و سالیسیلیک میزان هدایت الکتریکی کمتری نسبت به شاهد داشته‌اند یا به عبارت دیگر از پایداری غشای بیشتری نسبت به شاهد برخوردار بوده‌اند (رسولی و همکاران، ۱۳۹۸). پلی‌آمین‌های طبیعی باعث پایداری غشاءهای سلولی شده و هدایت الکتریکی کاهش یافته و بدین ترتیب فرسودگی را به تأخیر می‌اندازند (Kasukabe *et al.*, 2004; Pritsa and Voyiatzis, 2005). کاهش مقدار استفاده از ذخایر به گیاهیچه می‌تواند به دلیل کاهش فعالیت هورمون جیبرلین در فرآیند جوانه‌زنی باشد، در نتیجه پرایمینگ با استفاده از موادی که دارای ترکیبات جیبرلین هستند می‌تواند دلیلی بر افزایش مقدار استفاده از ذخایر بذر باشد (Sedghi *et al.*, 2010). نتایج مربوط به هدایت الکتریکی قبل و بعد از پرایم بذور ذرت تحت تیمارهای هورمونی اکسین و جیبرلیک نشان می‌داد که تیمار شاهد بیش‌ترین هدایت الکتریکی را در

مهمی در شکل‌گیری تمدن بشری ایفا کرده است (Yang, 2018). تریپتیکاله، غله دانه‌ریزی است که توسط انسان از تلاقی گندم به‌عنوان والد مادری و چاودار به‌عنوان والد پدری به وجود آمده است تا ویژگی‌های عملکرد و کیفیت دانه از گندم و مقاومت به بیماری‌ها و تنش‌های محیطی از چاودار، در یک گیاه ظهور کند (Bezabih *et al.*, 2019). طبق آخرین آمار جهانی در سال ۲۰۲۰، مساحت زیرکشت تریپتیکاله حدود ۳/۸ میلیون هکتار و تولید آن حدود ۱۵/۴ میلیون تن با میانگین عملکرد حدود ۴ تن در هکتار گزارش شده است (FAO, 2022).

فرسودگی بذر مسأله مهمی در ذخیره بذرها محسوب می‌شود که در نتیجه موجب افزایش هزینه‌های تولید محصولات کشاورزی می‌شود. در بعضی کشورها و نواحی جغرافیایی که بذرها در طول دوره رسیدگی و انبارداری با دما و رطوبت نسبی بالا مواجه هستند، فرسودگی به مراتب بیشتر است (Kim, 2018). تحقیقات نشان می‌دهد که طی فرسودگی، میزان تنفس، فعالیت آنزیم‌های مؤثر در تجزیه ذخایر بذر و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاهش می‌یابد (Govindaraj *et al.*, 2017). یکی از دلایل افزایش فرسودگی بذر گونه‌های فعال اکسیژن است. گونه‌های فعال اکسیژن می‌تواند در تضعیف آندوسپرم در طول جوانه‌زنی از طریق سست‌کردن دیواره سلولی شرکت کنند، اما تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن می‌تواند منجر به تنش اکسیداتیو و آسیب سلولی شود که منجر به فرسودگی بذر، جلوگیری از جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهیچه می‌شود (Han *et al.*, 2021). نتایج مطالعات مختلف حاکی از تخریب غشای سلولی و نشت الکترولیت‌ها از آن بر اثر فرسودگی بذر است که باعث افزایش هدایت الکتریکی در بذره‌های فرسوده می‌شود (عبدلی، ۱۳۹۹؛ اکبرزاده شرفی و همکاران، ۱۳۹۸).

اکنون رویکردهای متفاوتی برای بهبود تحمل گیاهان زراعی در برابر تنش‌های محیطی وجود دارد و در طی سالیان گذشته، پرایمینگ بذر به‌عنوان یک روش مطلوب جهت تولید گیاهان زراعی متحمل به تنش‌های محیطی مختلف معرفی شده

هر دو صفت مورد مطالعه داشت که در مقایسه میانگین شاهد و فرسودگی تسریع شده نیز مشهود بود (افشار نادری و همکاران، ۱۳۹۵). سایتوکینین در تحرک ذخایر بذر و استفاده از آن‌ها برای تأمین انرژی لازم برای رشد رویان در زمان جوانه‌زنی نقش کلیدی دارند (Fincher, 1989). گزارش شده است سایتوکینین‌ها باعث افزایش تجزیه نشاسته و تبدیل آن به قندهای محلول در گندم شده‌اند که ممکن است این امر منجر به افزایش شیب اسمزی و عاملی در جهت حفظ آب باشد (Boothby and Wright, 1962) و سبب افزایش فعالیت آنتی-اکسیدانت‌ها و جمع‌آوری گونه‌های فعال اکسیژن و نهایتاً کاهش آسیب به غشاء و افزایش پایداری غشاء سلولی شود (Sayd et al., 2010). ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها از جمله متابولیت‌های ثانویه هستند که از طریق سرکوب تولید گونه‌های فعال اکسیژن نقش آنتی‌اکسیدانی مهمی را در گیاه ایفا می‌کنند (Ma et al., 2016) و محتوای این ترکیبات یکی از شاخص‌های بیوشیمیایی مهم در تحمل تنش‌ها است (Amitha Mithra et al., 2017).

هدف از انجام این تحقیق، بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی بذور تریتیکاله در واکنش به فرسودگی و نقش انواع پرایمینگ بذر در بهبود جوانه‌زنی تریتیکاله بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۴۰۲ و در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل فرسودگی (۰/۷۵، ۰/۸۵، ۰/۹۵) و پرایمینگ (شاهد، آب مقطر، سایتوکینین، اسپرمیدین، اسید سالیسیلیک و اکسین) بودند. به منظور ایجاد فرسودگی (فرسودگی تسریع شده) توده‌های بذر در داخل آون با دمای ۴۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۱۰۰ درصد (تنظیم رطوبت آون با استفاده از قراردادن تشتک آب مقطر در درون آون انجام گرفت و درب آون کاملاً بسته نگه داشته شد و با رطوبت‌سنج دیجیتال پایش گردید (Tekrony, 1993) و به مدت دو و پنج

روز قرار گرفتند تا به درجه فرسودگی ۰/۸۵ و ۰/۷۵ برسند (Delouche and 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 پس از یک ماه قدرت جوانه‌زنی بذر به صفر رسید، بدست آمدند. همچنین، بذرها به منظور اعمال پرایمینگ به مدت ۲۴ ساعت، در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در محلول‌های آب مقطر و هورمون خیساننده شدند (هورمون‌های مورد استفاده از برند سیگما بود که با غلظت ۱ میلی‌مولار برای همه هورمون‌ها براساس نتایج آزمون مقدماتی در نظر گرفته شدند. در آزمون مقدماتی غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌مولار بود که مناسب‌ترین غلظت ۱ میلی‌مولار بود). پس از طی شدن مدت زمان مورد نظر، بذرها از محلول‌ها خارج و چندین بار با آب مقطر شستو و در دمای آزمایشگاه خشک شدند. پس از اعمال پرایمینگ، تعداد ۱۰۰ بذر درون هر پتری جهت کشت قرار گرفت (ایستا، ۲۰۰۷). شمارش بذرها (جوانه‌زده (خروج ریشه‌چه به اندازه حداقل ۲ میلی‌متر) به صورت روزانه در یک زمان معین انجام گردید و در صورت نیاز به محیط آب مقطر اضافه گردید (Soltani et al., 2001)، زمانی که تعداد بذرها (جوانه‌زده در بستر کشت در طول سه روز متوالی هیچ تغییری نکرد و ثابت ماند، شمارش متوقف شد (ISTA, 2009).

برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از برنامه Germin (Soltani et al., 2013)، محاسبه میزان استفاده از ذخایر و کارایی استفاده از ذخایر از فرمول‌های زیر محاسبه شد (جدول ۱) (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Soltani et al., 2013; Sedghi et al., 2010).
اندازه‌گیری گلوکز: برای اندازه‌گیری گلوکز، ابتدا معرف دی‌نیترو سالیسیلیک اسید (۱ گرم دی‌نیترو سالیسیلیک اسید و ۳۰ گرم تارتارات سدیم-پتاسیم) تهیه شد. ۰/۴ میلی‌لیتر معرف دی‌نیترو سالیسیلیک اسید به ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره (ساقه‌چه) اضافه شد و به مدت ۵ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۴۰ نانومتر خوانده شد و با کمک منحنی استاندارد مربوط گلوکز محاسبه شد (Dubois et al., 1956).

جدول ۱- روابط محاسباتی مورد استفاده برای تعیین برخی صفات تربیتکاله

منابع	روابط	صفات
Soltani <i>et al.</i> , 2013	$GP = (N \times 100) / M$	درصد جوانه‌زنی (Germination Percentage)
Soltani <i>et al.</i> , 2013؛ ۱۳۸۸؛ سطانی و همکاران،	$SRUE = SFDW / SRUR$	کارایی استفاده از ذخایر بذر (SRUE)
Sedghi <i>et al.</i> , 2010	$SRUR = SDW - RSDW$	مقدار استفاده از ذخایر بذر (SRUR)

اندازه‌گیری محتوای قندهای محلول: میزان قندهای

محلول به روش فنل سولفوریک (Kochert, 1978) و براساس هیدرولیز اسیدی قندهای محلول و ایجاد ترکیب فورفورال که با فنل تولید یک کمپلکس رنگی می‌کند، اندازه‌گیری شد. در این روش، ۰/۵ گرم وزن تر ریشه‌چه از هر تیمار با ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به‌وسیله هاون خوب ساییده گردید. پس از صاف کردن با تنظیم، از عصاره گیاهی حاصله ۲ میلی‌لیتر برداشته شد و بعد از افزودن ۱ میلی‌لیتر فنل (۵٪ وزنی- حجمی) و ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸٪ لوله‌ها به مدت یک ساعت به حال خود رها شدند تا رنگ ظاهر و تثبیت شود. پس از ظهور رنگ، میزان جذب در طول موج ۴۸۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکترومتر اندازه‌گیری و با استفاده از منحنی استاندارد قند گلوکز، میزان قند در ریشه‌چه تحت تیمار بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی: برای اجرای آزمون هدایت

الکتریکی بعد از اعمال فرسودگی و پرایمینگ (قبل از کاشت) از هر نمونه بذری، ۵۰ عدد به‌طور تصادفی جدا و پس از توزین، در ارلن‌های حاوی آب مقطر با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، ریخته شدند. پس از ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی مواد نشسته‌یافته از بذرها با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (Conductivity meter- LF 538) اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی محلول از روی نسبت عدد خوانده شده از دستگاه به وزن خشک ۵۰ عدد بذر خشک برحسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم محاسبه شد (Ellis and Roberts, 1981).

$$EC = ECs / W$$

EC: هدایت الکتریکی، ECs: عدد خوانده‌شده از دستگاه

هدایت و W: وزن خشک بذر (گرم)

اندازه‌گیری نشت یونی: برای این کار از برگچه‌های هر

تکرار شش دیسک دایره‌ای به اندازه یکسان تهیه شد. برگ‌های ۱۵ روزه تربیتکاله دارای عرض متوسط حدود ۸ میلی‌متر بودند. برای یکنواختی، از هر برگچه شش دیسک دایره‌ای با قطر ۵ میلی‌متر (تهیه‌شده با پانچ برگ) جدا گردید و در آزمایش استفاده شد. سپس نمونه‌ها در ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از گذشت ۲۴ ساعت هدایت الکتریکی هر نمونه (EC1) با استفاده از هدایت‌سنج الکتریکی اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری میزان کل نشت یونی در اثر مرگ سلول‌ها، لوله‌های آزمایش در حمام آب جوش با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۵ دقیقه قرار داده شدند و بعد از سرد شدن در دمای اتاق پس از ۲۴ ساعت مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC2) اندازه‌گیری گردید. محاسبه نشت یونی با استفاده از فرمول زیر انجام گرفت (Ritchie *et al.*, 1990).

$$EC1/EC2 = \text{نشت یونی}$$

اندازه‌گیری فنل کل: محتوای فنل کل با استفاده از معرف

فولین- سیوکالتیو توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. ابتدا غلظت ۱۰۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر از عصاره ساقه‌چه ساخته شد. برای اندازه‌گیری مقدار فنل کل، به ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره متانولی گیاه (متشکل از ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول هر عصاره با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول)، ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۱ میلی‌لیتر معرف فولین- سیوکالتیو ۵۰ درصد اضافه کرده و پس از ۵ دقیقه، ۵ میلی‌لیتر کربنات سدیم (۷ درصد) به آن اضافه گردید. سپس به مدت ۹۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری نموده و پس از آن جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر نسبت به شاهد خوانده شد. برای رسم منحنی کالیبراسیون،

صفات با SPSS بررسی شد. برای بررسی فرض نرمال بودن داده‌ها، از آزمون شاپیرو-ویلک روی باقی‌مانده‌های مدل ANOVA استفاده شد. نتایج نشان داد که باقی‌مانده‌ها توزیع نرمال دارند و تجزیه واریانس با فرضیات استاندارد با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گردید. میانگین‌ها براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه گردید.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف فرسودگی و پرایمینگ و اثرات متقابل آن‌ها بر درصد جوانه‌زنی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کم‌ترین درصد جوانه‌زنی (۷۱ درصد) در فرسودگی ۷۵٪ در شاهد و در شرایط بدون پرایمینگ و بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۹/۳۳ درصد) در تیمار پرایمینگ با اکسین در شرایط ۹۵٪ فرسودگی (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۳).

هدایت الکتریکی: اثر ساده تیمارهای فرسودگی و پرایمینگ بر هدایت الکتریکی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان هدایت الکتریکی در فرسودگی ۷۵٪ و کمترین میزان هدایت الکتریکی در فرسودگی ۹۵٪ به‌دست آمد (شکل ۱). همچنین، بیشترین میزان هدایت الکتریکی (۴۷/۰۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم) در عدم پرایمینگ و کمترین میزان هدایت الکتریکی (۳۵/۰۲۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم) در پرایمینگ با اکسین به‌دست آمد (شکل ۲).

نشت یونی: اثر سطوح مختلف فرسودگی و پرایمینگ و اثرات متقابل آن‌ها بر تغییرات نشت یونی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). میزان نشت یونی در اثر فرسودگی افزایش یافت. کمترین میزان نشت یونی (۲۳۳/۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در فرسودگی ۹۵٪ و در تیمار اکسین و بیشترین میزان نشت یونی (۴۷۵/۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در فرسودگی ۷۵٪ و عدم پرایمینگ بدست آمد (جدول ۳).

مقدار استفاده از ذخایر بذر و کارایی استفاده از ذخایر بذر: اثر ساده تیمارهای فرسودگی و پرایمینگ بر مقدار استفاده

گالیک اسید به‌عنوان استاندارد به کار رفت و میزان آن بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک در گرم عصاره (برحسب میانگین آن‌ها) گزارش شد (Kamali et al., 2016).

اندازه‌گیری مقدار فلاونوئید: به‌منظور سنجش مقدار فلاونوئیدی از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم و استفاده از اسپکتروفوتومتر انجام گرفت. برای این کار به ۰/۵ میلی‌لیتر از هر عصاره (بخش هوایی گیاه)، ۱/۵ میلی‌لیتر متانول (۸۰ درصد)، ۰/۱ میلی‌لیتر محلول کلرید آلومینیوم (۱۰ درصد متانولی)، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم (۱ مولار) و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و خوب مخلوط گردید. سپس جذب مخلوط بعد از گذشت ۴۰ دقیقه در دمای اتاق، در طول موج ۵۱۰ نانومتر نسبت به بلانک با دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد (Kamali et al., 2016).

اندازه‌گیری اسیدهای چرب کل: استخراج روغن برای تعیین اسیدهای چرب برابر روش Kornsteiner و همکاران (۲۰۰۶) انجام گرفت. در این روش ۰/۵ گرم از نمونه پودر شده (بذرهای آبنوشی کرده در روز چهارم آزمون جوانه‌زنی) توزین شد و ۵۰ میلی‌لیتر حلال n_ هگزان به آن اضافه شد. سپس به مدت هشت ساعت در دستگاه تکان‌دهنده، بدون نور و در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) قرار گرفت. برای جذب مواد جامد نمونه‌ها با ۸۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ و با قیف بوخنر صاف شد. سپس حلال نیز با دستگاه روتاری حذف و روی آن‌ها گاز نیتروژن قرار گرفت و در دمای ۲۱- درجه سلسیوس نگهداری شد. آماده‌سازی متیل استر اسیدهای چرب برابر روش Aocs CE 2-66 انجام گرفت. سپس ۱ میکرولیتر از محلول متیل‌استر اسیدهای چرب به جایگاه تزریق رنگ‌نگاری گاز-مایع تزریق شد.

اندازه‌گیری آنتوسیانین: ۰/۱ گرم نمونه برگی با ۵ میلی‌لیتر متانول اسیدی سائیده شد و بعد از قراردادن نمونه‌ها در شیکر به مدت چهار ساعت، عصاره حاصل در ۱۰۰۰۰ دور و به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۵ و ۶۵۷ نانومتر اندازه‌گیری شد (Ma et al., 2014).

داده‌های به‌دست آمده از نظر نرمال بودن و همبستگی بین

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر انفرادی و برهمکنش تیمارهای فرسودگی و انواع پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی، هدایت الکتریکی، نشت یونی، SRUE، SRUR، گلوکز، قندهای محلول، فنل، میزان فلاونوئید، اسیدهای چرب کل و آنتوسیانین تریتیکاله

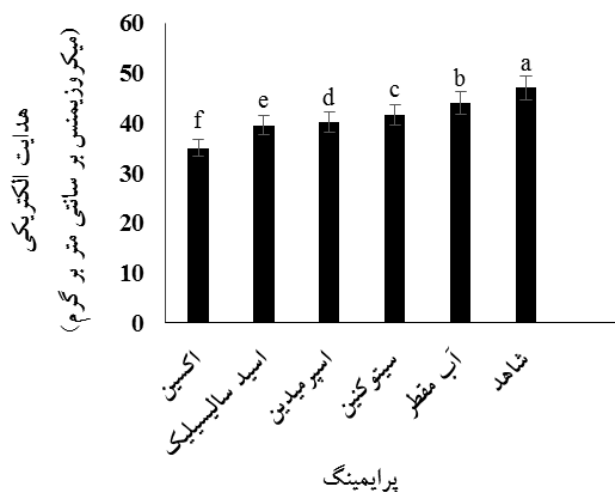
منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		درصد جوانه‌زنی	هدایت الکتریکی	نشت یونی	SRUR	SRUE
فرسودگی بذر	۲	۱۳۹۳/۵**	۳۱۲۵/۹**	۵۳۸۸**	۰/۱۶**	۰/۶۷۷*
پرایمینگ	۵	۱۴۹/۱۲**	۱۵۲/۰۴**	۱۴۵۹**	۰/۰۱**	۰/۱۵۸ ^{ns}
فرسودگی × پرایمینگ بذر	۱۰	۹/۵۲**	۳/۲۰ ^{ns}	۱۱۱۲/۵*	۰/۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۸۷ ^{ns}
خطا	۳۴	۰/۹۹۸	۲/۰۵۸	۴۲۸/۲	۰/۰۰۰۵	۰/۱۳۰
ضریب تغییرات		۱/۱۲	۳/۴۷۶	۵/۶۲۳	۵/۲۹۱	۱۱/۰۶

ns، ** و * به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪. کارایی استفاده از ذخایر بذر (SRUE)؛ مقدار استفاده از ذخایر بذر (SRUR)

ادامه جدول ۲-

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		قندهای محلول	فنل	فلاونوئید	اسیدهای چرب کل	آنتوسیانین
فرسودگی بذر	۲	۳/۵۷۳**	۰/۳۹**	۱۲/۷۸**	۶/۳۹**	۱۴/۰۴**
پرایمینگ	۵	۵۹۰/۷۸**	۰/۰۲۸**	۴/۵**	۰/۶۶**	۲/۲۷**
فرسودگی × پرایمینگ بذر	۱۰	۱/۶۰۹**	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۱*	۰/۰۱۹ ^{ns}	۰/۳۳۲**
خطا	۳۴	۰/۱۸۸۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۳	۰/۰۱۳	۰/۰۳۳
ضریب تغییرات		۴/۹۶۵	۲/۰۰۵۹	۰/۸۲	۲/۸۴	۷/۱۶

ns، ** و * به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪. کارایی استفاده از ذخایر بذر (SRUE)؛ مقدار استفاده از ذخایر بذر (SRUR)

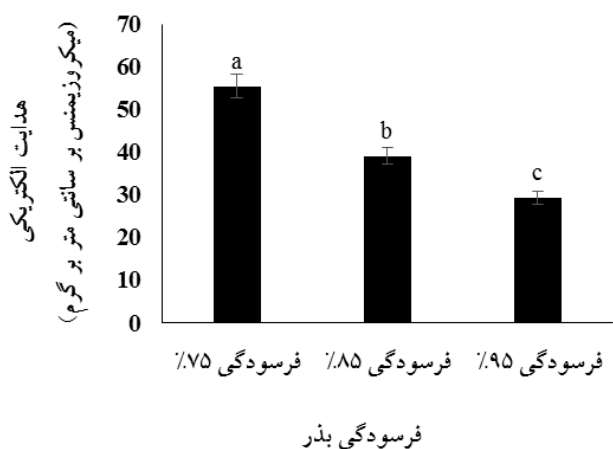


شکل ۱- مقایسه اثر فرسودگی بر هدایت الکتریکی بذر تریتیکاله (ستون‌های با حروف متفاوت از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ هستند).

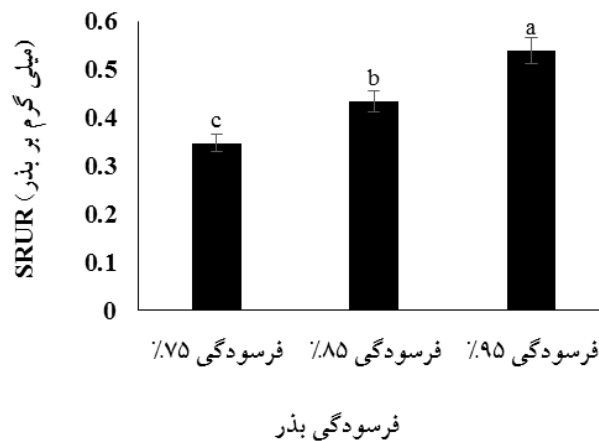
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل فرسودگی و پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی، نشت یونی، قندهای محلول و آنتوسیانین تریتیکاله

ترکیب تیماری	درصد جوانه‌زنی (%)	نشت یونی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	قندهای محلول (mM/g DW)	فلاونوئید (mg/g FW)	آنتوسیانین ($\mu\text{mol/g FW}$)
P1×V1	۹۳ ^f	۳۸۲ ^{de}	۴/۰۶۶ ⁱ	۲۴/۱ ^{efg}	۲/۵ ^{ef}
P2×V1	۹۵/۶۶ ^{de}	۳۲۹/۳ ^f	۳/۶۳۳ ^{ij}	۲۴/۴ ^{de}	۲/۷ ^{de}
P3×V1	۹۷ ^{cd}	۳۰۷ ^{fgh}	۳/۳۳۳ ^j	۲۴/۹ ^c	۳/۱ ^c
P4×V1	۹۸/۶۶ ^{ab}	۲۸۸/۳ ^h	۳/۲۳۳ ^j	۲۵/۳ ^b	۳/۸ ^b
P5×V1	۹۷/۶۶ ^{bc}	۲۹۲/۳ ^{gh}	۳/۱۶۶ ^{jk}	۲۴/۳ ^{ef}	۳/۶ ^b
P6×V1	۹۹/۳۳ ^a	۲۳۳/۶ ⁱ	۲/۵ ^k	۲۶/۲ ^a	۴/۹ ^a
P1×V2	۸۳ ^{kl}	۴۴۳/۳ ^{ab}	۹/۵۳۳ ^e	۲۳/۵ ^{hi}	۲/۱ ^g
P2×V2	۸۵ ^{ij}	۴۰۹ ^{bcd}	۸/۷۳۳ ^f	۲۳/۸ ^{gh}	۲/۲ ^{fg}
P3×V2	۸۸/۶۶ ^h	۳۹۵/۳ ^{cde}	۸/۳۳۳ ^{fg}	۲۴ ^{fg}	۲/۶ ^e
P4×V2	۹۱ ^g	۴۰۶ ^{cd}	۷/۹۳۳ ^g	۲۴/۱ ^{efg}	۲/۸ ^{cde}
P5×V2	۹۲/۶۶ ^f	۴۰۸/۶ ^{cd}	۷/۶۶۶ ^g	۲۳/۹ ^g	۲/۷ ^{de}
P6×V2	۹۴/۶۶ ^e	۳۷۸/۳ ^{de}	۶/۹۳۳ ^h	۲۵/۳ ^b	۳ ^{cd}
P1×V3	۷۱ ^o	۴۷۵/۳ ^a	۱۷/۴۳ ^a	۲۲/۶ ^l	۱/۳ ^j
P2×V3	۷۵/۳۳ ⁿ	۴۲۵/۶ ^{bc}	۱۵/۶۳ ^b	۲۲/۷ ^{kl}	۱/۴ ^{ij}
P3×V3	۷۸/۳۳ ^m	۳۹۱/۶ ^{cde}	۱۴/۶۶ ^c	۲۲/۹ ^{jkl}	۱/۶ ^{hij}
P4×V3	۸۲ ^l	۳۶۶/۶ ^e	۱۴/۴۳ ^c	۲۳/۲ ^{ij}	۱/۹ ^{gh}
P5×V3	۸۳/۶۶ ^{jk}	۳۶۵/۳ ^e	۱۴/۶۶ ^c	۲۳ ^{jk}	۱/۷ ^{hi}
P6×V3	۸۵/۶۶ ⁱ	۳۲۶/۶ ^{fg}	۱۱/۶ ^d	۲۴/۷ ^{cd}	۲/۱ ^g

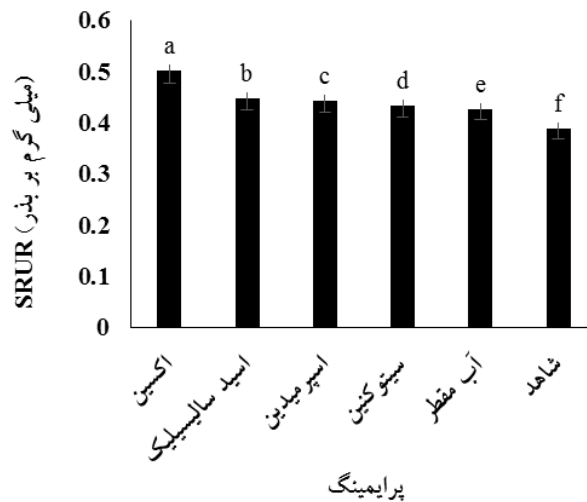
V₁, V₂ و V₃ به ترتیب فرسودگی ۹۵٪، ۸۵٪ و ۷۵٪، P₁, P₂, P₃, P₄, P₅ و P₆ به ترتیب عدم پرایمینگ، پرایمینگ با آب مقطر، پرایمینگ با سایتوکینین، پرایمینگ با اسپرمیدین، پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و اکسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون دانکن با هم ندارند.



شکل ۲- مقایسه اثر پرایمینگ بر هدایت الکتریکی بذر تریتیکاله (ستون‌های با حروف متفاوت از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ هستند).



شکل ۳- مقایسه اثر فرسودگی بر میزان SRUR (مقدار استفاده از ذخایر بذر) بذر تریکاله (ستون‌های با حروف متفاوت از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ هستند).

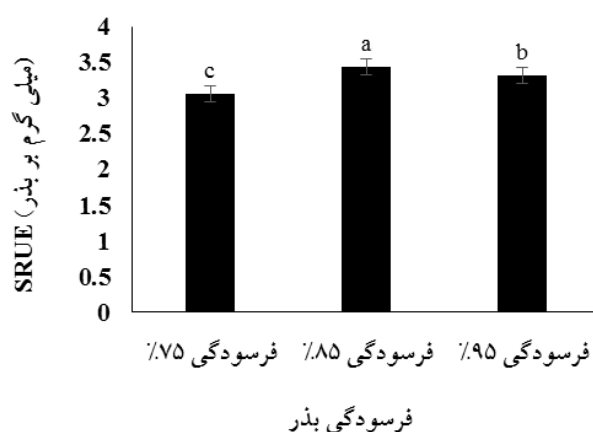


شکل ۴- مقایسه اثر پرایمینگ بر میزان SRUR (مقدار استفاده از ذخایر بذر) بذر تریکاله (ستون‌های با حروف متفاوت از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ هستند).

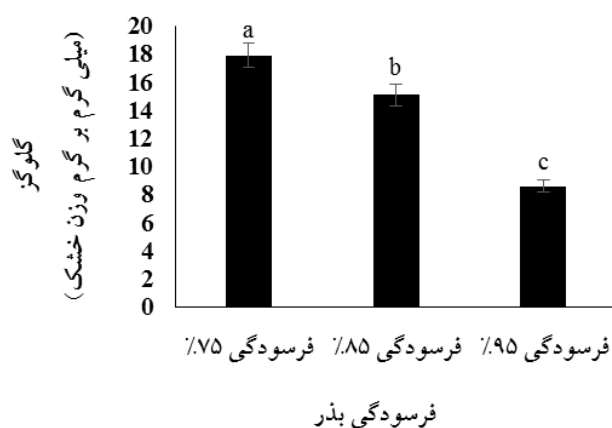
معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان کارایی استفاده از ذخایر در فرسودگی ۸۵٪ و کمترین میزان در فرسودگی ۷۵٪ به‌دست آمد (شکل ۵).

گلوگز: اثر ساده تیمارهای فرسودگی و پرایمینگ بر گلوگز در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان گلوگز در فرسودگی ۷۵٪ و کمترین میزان گلوگز در فرسودگی ۹۵٪ به‌دست آمد (شکل ۶). همچنین، بیشترین میزان گلوگز (۱۶/۴۲۲ میلی‌گرم بر گرم) در عدم پرایمینگ و کمترین میزان گلوگز (۱۱/۵۳۳ میلی‌گرم بر گرم) در پرایمینگ با اکسین

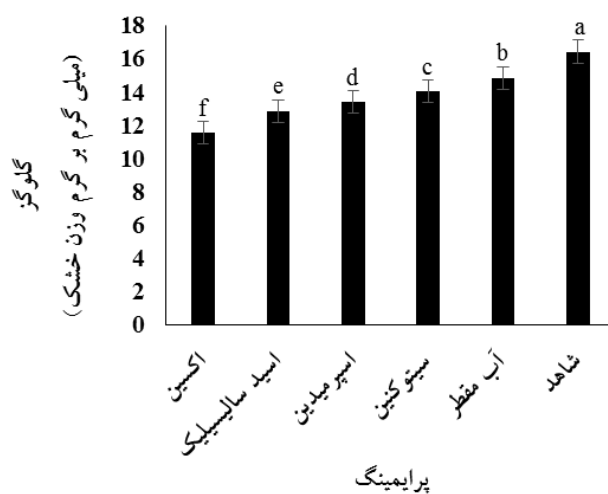
از ذخایر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). فرسودگی مقدار استفاده از ذخایر بذر کاهش داد به‌طوری‌که، بیشترین مقدار استفاده از ذخایر بذر در فرسودگی ۹۵٪ و کمترین میزان مقدار استفاده از ذخایر بذر در فرسودگی ۷۵٪ به‌دست آمد (شکل ۳). بیشترین مقدار استفاده از ذخایر بذر (۰/۵۰۱۱ میلی‌گرم بر بذر) در پرایمینگ با اکسین و کمترین میزان مقدار استفاده از ذخایر (۰/۳۸۸۹ میلی‌گرم بر بذر) در عدم پرایمینگ به‌دست آمد (شکل ۴). همچنین، تأثیر فرسودگی بر کارایی استفاده از ذخایر بذر نیز در سطح احتمال ۵٪



شکل ۵- مقایسه اثر فرسودگی بذر بر میزان SRUE (کارایی استفاده از ذخایر بذر) بذر تریتیکاله (ستون‌های با حروف متفاوت از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ هستند).



شکل ۶- مقایسه اثر فرسودگی بر گلوکز بذر تریتیکاله (ستون‌های با حروف متفاوت از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ هستند).



شکل ۷- مقایسه اثر پرایمینگ بر گلوکز بذر تریتیکاله (ستون‌های با حروف متفاوت از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ هستند).

به‌دست آمد (شکل ۷).

محتوای قندهای محلول: اثر سطوح مختلف فرسودگی و پرایمینگ و اثرات متقابل آن‌ها بر محتوای قندهای محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). محتوای قندهای محلول در اثر فرسودگی افزایش یافتند. کمترین محتوای قندهای محلول (۲/۵ میلی‌مولار بر گرم وزن خشک) در فرسودگی ۹۵٪ و در تیمار اکسین و بیشترین میزان محتوای قندهای محلول (۱۷/۴۳ میلی‌مولار بر گرم وزن خشک) در فرسودگی ۷۵٪ و عدم پرایمینگ بدست آمد (جدول ۳).

فنل کل: اثر ساده تیمارهای فرسودگی و پرایمینگ بر فنل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان فنل در فرسودگی ۹۵٪ و کمترین میزان فنل در فرسودگی ۷۵٪ به‌دست آمد (شکل ۸). همچنین، بیشترین میزان فنل (۱/۴۸ میلی‌مولار بر گرم وزن خشک) در پرایمینگ اکسین و کمترین میزان فنل (۱/۳۲ میلی‌مولار بر گرم وزن خشک) در عدم پرایمینگ به‌دست آمد (شکل ۹).

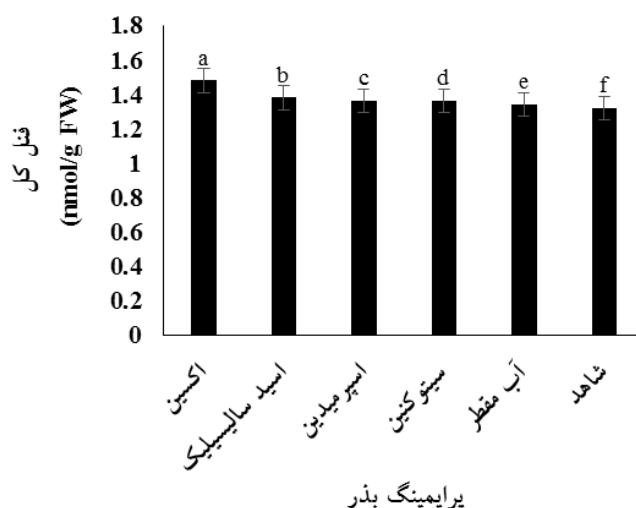
فلاونوئید: اثر سطوح مختلف فرسودگی و پرایمینگ و اثرات متقابل آن‌ها بر مقدار فلاونوئیدها در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). مقدار فلاونوئیدها در اثر فرسودگی کاهش یافتند. کمترین محتوای فلاونوئیدها (۲۲/۶ میلی‌گرم بر گرم) در فرسودگی ۷۵٪ و در عدم پرایمینگ و بیشترین مقدار فلاونوئیدها (۲۶/۲ میلی‌گرم بر گرم) در فرسودگی ۹۵٪ و پرایمینگ اکسین بدست آمد (جدول ۳).

اسیدهای چرب کل: اثر ساده تیمارهای فرسودگی و پرایمینگ بر اسیدهای چرب کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان اسیدهای چرب کل در فرسودگی ۹۵٪ و کمترین میزان در فرسودگی ۷۵٪ به‌دست آمد (شکل ۱۰). همچنین، بیشترین میزان اسیدهای چرب کل (۱۶/۴۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در پرایمینگ اکسین و کمترین میزان اسیدهای چرب کل (۱۱/۵۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در عدم پرایمینگ به‌دست آمد (شکل ۱۱).

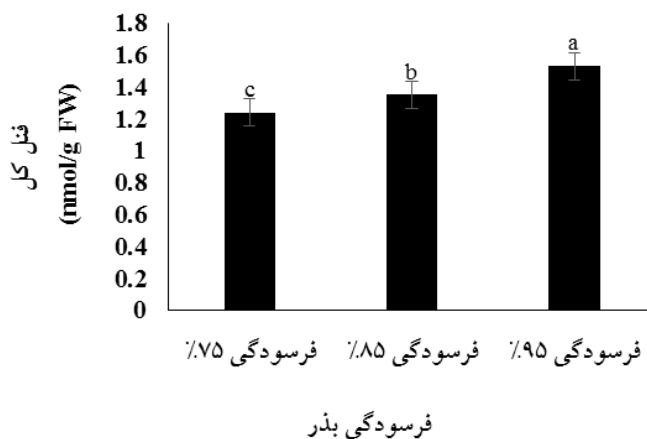
آنتوسیانین: اثر سطوح مختلف فرسودگی و پرایمینگ و اثرات متقابل آن‌ها بر آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد

معنی‌دار بود (جدول ۲). میزان آنتوسیانین در اثر فرسودگی کاهش یافت. کمترین میزان آنتوسیانین (۱/۳ A550/g FW) در فرسودگی ۷۵٪ و در عدم پرایمینگ و بیشترین میزان آنتوسیانین (۴/۹ A550/g FW) در فرسودگی ۹۵٪ و پرایمینگ اکسین بدست آمد (جدول ۳).

فرسودگی موجب آسیب به DNA، mRNA، تخریب ترکیبات بیوشیمیایی مواد ذخیره‌ای بذر و پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود و پراکسیداسیون لیپیدها اثر مخربی بر عملکرد میتوکندری از طریق اضمحلال غشا خواهد داشت و موجب کاهش میزان ATP تشکیل‌شده در جوانه‌زنی می‌شود. همچنین سبب تخریب غشای هسته شده و در نهایت منجر به تخریب DNA می‌شود که این مسأله در نهایت منجر به کاهش سنتز آنزیم‌های مورد نیاز برای مراحل اولیه جوانه‌زنی می‌شود (Mc Donald, 1999). بنابراین، کاهش درصد جوانه‌زنی به احتمال زیاد به دلایل ذکرشده مرتبط است (Ansari and Sharifzadeh, 2012). سعادت و همکاران (۱۳۹۸) در آزمایشی روی گیاه لوبیا نشان دادند که با افزایش فرسودگی بذر، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. اما پرایمینگ بذر با هورمون‌ها از جمله اسید سالیسیلیک موجب بهبود در درصد جوانه‌زنی و کاهش حساسیت بذر با عوامل محیطی شد. علت این واکنش، افزایش در فعالیت‌های تنفسی، تولید ATP، تحریک فعالیت RNA و پروتئین‌سازی در بذرهای پرایم‌شده بیان شده است. پرایمینگ بذر به‌طور عمده از طریق تأثیر بر متابولیسم، بیوشیمی و فعالیت‌های آنزیمی بذر می‌تواند سبب کارایی بهتر فرآیندهای بیولوژیک بذر نظیر جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه گردد. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی اثرات واضح و مشخصی بر جوانه‌زنی و مقاومت بذر در برابر شرایط نامساعد محیطی دارند (Dashtman et al., 2014; Hussian et al., 2013). نتایج تحقیقات نشان داد زمانی که بذر با بنیه‌های متفاوت با غلظت‌های متفاوت هورمون سایتوکینین تیمار می‌شوند، با افزایش غلظت هورمون سایتوکینین میانگین سرعت جوانه‌زنی افزایش می‌یابد (Rashidi et al., 2016). Safari و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی اثر هورمون اکسین بر جوانه‌زنی بذر گندم



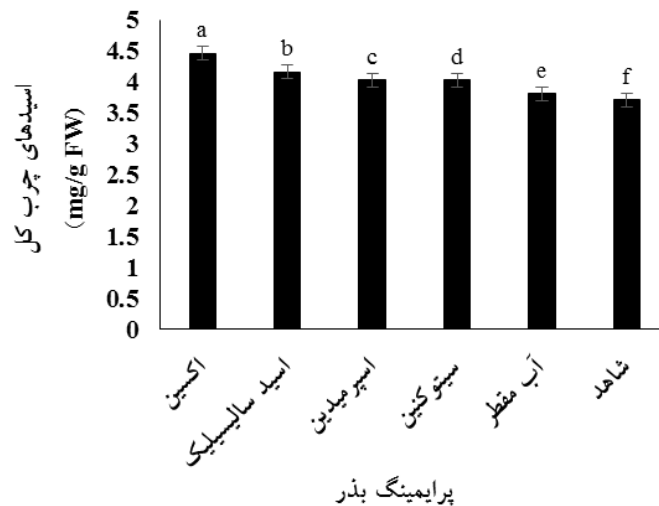
شکل ۸- مقایسه اثر فرسودگی بر فنل کل بذر تریتیکاله (ستون‌های با حروف متفاوت از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۵ هستند).



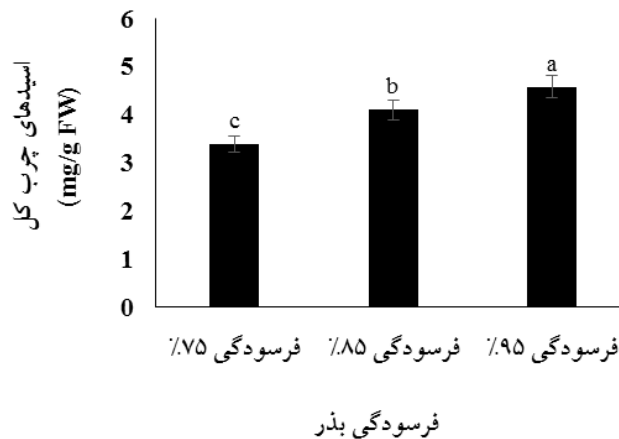
شکل ۹- مقایسه اثر پرایمینگ بر فنل کل بذر تریتیکاله (ستون‌های با حروف متفاوت از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۵ هستند).

درونی بذر موجب می‌شود تا مواد غذایی اندوخته در بذر از جمله نشاسته تجزیه و در آب حل شود و از این طریق انرژی لازم برای خروج ریشه‌چه و ساقه‌چه فراهم گردد. در نتیجه تنفس و مصرف غذایی درون بذر، وزن خشک کل زیست‌توده کاهش می‌یابد (Alizadeh, 1997). در تحقیقی که سعادت و همکاران (۱۳۹۸) بر روی بذور لوبیا انجام دادند، تأثیر هورمون پرایمینگ از جمله اسید سالیسیلیک بر روی بذرهای فرسوده بررسی شد، با افزایش سطوح فرسودگی بذرهای این گیاه، کاهش در مقدار استفاده از ذخایر بذر و کارایی استفاده از ذخایر بذر مشاهده گردید. ولی اعمال تیمار هورمون در هر

نشان دادند که با مصرف هورمون اکسین، درصد جوانه‌زنی بذر ارقام گندم مورد مطالعه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که اسپرمیدین در شرایط تنش و بدون تنش (شاهد) توانایی زیادی در بهبود جوانه‌زنی بذر دارد (Sheikhnavaž Jahed *et al.*, 2022). نتایج بررسی Soltani و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که فرسودگی منجر به افزایش تنفس و تنفس نیز منجر به هدر رفت ذخایر غذایی می‌شود. آنچه که مسلم است اینکه بذر، بعد از جذب آب و جوانه‌زنی، قبل از اینکه عمل فتوسنتز را انجام دهد از مواد غذایی اندوخته در درون خود استفاده می‌کند. ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌های



شکل ۱۰- مقایسه اثر فرسودگی بر مقدار اسیدهای چرب کل بذر تریتیکاله (ستون‌های با حروف متفاوت از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ هستند).



شکل ۱۱- مقایسه اثر پرایمینگ بر مقدار اسیدهای چرب کل بذر تریتیکاله (ستون‌های با حروف متفاوت از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ هستند).

فرسودگی منجر به افزایش تنفس و تنفس نیز منجر به هدررفت ذخایر غذایی شده است. نسبت بالای جیبرلین و سایتوکینین به آبسازیک اسید که مهم‌ترین بازدارنده جوانه‌زنی و رشد است، نشانه‌ای برای شروع فعالیت‌های متابولیکی بذر برای افزایش تقسیمات سلولی، تجزیه ذخایر سلولی و تحرک مواد به سمت جنین در حال تمایز است (Fincher, 1989; Guleryuz *et al.*, 2011; Hocart and Letham, 1990). سایتوکینین‌ها با تحرک سنتز DNA و RNA در بذر، رشد و تقسیم سلولی در جنین بذر را تسهیل نموده و به جوانه‌زنی کمک می‌کنند و یا با افزایش فعالیت α -آمیلاز و هیدرولیز

سطح فرسودگی بذور این گیاه، مقدار این صفت را نسبت به تیمار شاهدی که از هورمون استفاده نشده بود، کمتر کاهش داد. کاهش فعالیت آمیلاز در بذور گیاهان تحت تنش به کاهش تشکیل گلوکز از نشاسته منجر شده است که حاصل آن کاهش سنتز ساکاروز شده که این امر موجب کاهش کارایی ذخایر بذر می‌شود (Mehrabi *et al.*, 2007). در آزمایشی که بر مارتیغال و شکر تیغال انجام گرفت نتایج نشان داد که تنش کارایی استفاده از ذخایر را کاهش داد و بیشترین کارایی استفاده از ذخایر در شرایط شاهد حاصل شد (Parmoon *et al.*, 2015). نتایج بررسی سعادت و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد که

تحقیقات علیوند و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد در آبیاری کامل، هیدروپرایمینگ، غلظت یک و دو درصد به ترتیب ۷۰، ۵۵ و ۱۳۵ درصد بر محتوای قندهای محلول افزود که بیشترین میزان افزایش در این آزمایش مربوط به تیمار غلظت دو درصد عصاره زیره سبز بود. براساس آزمایشات شیخ‌نواز جاهد و همکاران (۱۴۰۱) بیشترین محتوای قندهای محلول (۱۵۶۱/۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط عدم فرسودگی، خشکی با شدت ۰/۷۵- مگاپاسکال و تیمار به روش هیدروپرایمینگ به- دست آمد. نشان داده شده است که اسید سالیسیلیک سبب تحریک هیدرولیز کربوهیدرات‌ها می‌شود و با افزایش ترکیباتی مانند قندهای محلول ضمن ایجاد یک منبع اسمزی سبب کاهش خسارت تنش می‌شود. براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس آزمایشات (قبری و همکاران، ۱۳۹۷)، در آبیاری پنج روز در میان و هفت روز در میان، با افزایش غلظت اسپرمیدین میزان قندهای محلول افزایش یافت. بالاترین میزان قندهای محلول در شرایط آبیاری هفت روز در میان و تیمار با اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار مشاهده گردید. تیمار اسپرمیدین متابولیسم نشاسته را در طول جوانه‌زنی بذر سورگوم کهنسال افزایش داد و محتوای قند محلول را افزایش داد، که نشان می‌دهد افزایش فعالیت هگزوکیناز، فسوفروکتوکیناز، و پیروات کیناز در دانه‌های سورگوم فرسوده تیمار شده با اسپرمیدین ممکن است نتیجه بخش باشد (Zhang et al., 2022). سیگنال‌دهی اکسین می‌تواند متابولیسم قند را با تنظیم بیان ژن‌های دخیل در بیوسنتز، انتقال و متابولیسم قند تحت تأثیر قرار دهد. برعکس، قندها می‌توانند انتقال و سیگنال‌دهی اکسین را تعدیل کنند و به‌طور بالقوه بر رشد ریشه، جذب مواد مغذی و پاسخ‌های تنش تأثیر بگذارند (Altaf et al., 2023). علاوه بر این، گزارش شده است که اکسین می‌تواند با قندها تحت تنش شوری با تنظیم بیان و فعالیت آلفا آمیلاز، آنزیم کلیدی درگیر در متابولیسم کربوهیدرات، تعامل کند (Khan et al., 2024). بنابراین، با تعدیل فعالیت α -آمیلاز، اکسین می‌تواند بر تجزیه نشاسته تأثیر بگذارد و منجر به تغییر در متابولیسم و تخصیص قند شود. هورمون‌های سایتوکینین با افزایش فعالیت آنزیم

نشاسته و یا با افزایش نفوذپذیری غشاء سیتوپلاسمی و در نتیجه انتقال سریع‌تر مواد بر روی جوانه‌زنی اثرگذار هستند (Nabaei et al., 2011). نتایج تحقیقی نشان داد که فعالیت آمیلاز بذرهای حاصل از فرسودگی با هیدروپرایمینگ در مقایسه با نمونه‌های شاهد دو تا چهار برابر القا شد. این شواهد با کاهش محتوای گلوکز و ساکارز در بذرهای حاصل از فرسودگی در طول پرایمینگ به مدت ۳ تا ۹ ساعت همراه بود، این به معنای نرخ تنفس بالاتر برای بذرهای حاصل از فرسودگی اولیه است. الگوی مشابهی از بذرهای پرایم‌شده مشاهده شد. با این حال، نرخ تنفس بذرهای هیدروپرایم‌شده برای ۳-۹ کمتر از بذرهای حاصل از فرسودگی بود (Wattanakupakin et al., 2012). اثر اسید سالیسیلیک بر متابولیسم ساکارز نشان داد که این هورمون از طریق افزایش فعالیت آنزیم اینورتاز در سلول، میزان گلوکز و فروکتوز را در شرایط تنش افزایش می‌دهد. آنزیم اینورتاز در ریشه نقش مهمی در کنترل و تنظیم تقسیم سلولی و همین‌طور طول‌شدن سلول‌ها و تمایز آن‌ها به‌وسیله تولید هگزوزها (گلوکز و فروکتوز) ایفا می‌کند که نه تنها کربن و انرژی را برای رشد ریشه فراهم می‌کند بلکه حسگرهای قند را نیز تحریک می‌کند (Al-HakiMi and Hamada, 2011). براساس آزمایشات Zhou و همکاران (۲۰۱۴) تفاوت در محتوای گلوکز در بذرهای پرایم شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از پرایم‌شده با آب در شرایط مختلف زمان جوانه‌زنی بود. بر این اساس، طی پرایمینگ ۱۸٪/۱۶ و ۱۶٪/۵ محتوای گلوکز بیشتر از تیمار آب در ۳ و ۷ روز جوانه‌زنی تحت تنش شد. گزارش شده است که فعالیت آلفا و بتا آمیلاز و گلوکز در بذرهای پس از پرایمینگ به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد (Liu et al., 2016). به‌طورکلی هورمون‌های گیاهی در تعیین دانه‌بندی غلات و تأمین مخزن کربوهیدراتی (ساکارز، گلوکز، فروکتوز) دخالت دارند. مشخص شده فرسودگی بذر موجب اختلال در عملکرد پروتئین‌ها و آنزیم‌های انتقال‌دهنده مواد می‌شود (لطیفی و همکاران، ۱۳۸۳). طبق تحقیقات شیخ‌نواز جاهد و همکاران (۱۴۰۱) با افزایش شدت فرسودگی محتوای قندهای محلول کاهش می‌یابد. نتایج

غشاء‌های سلولی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و این امر از طریق برهمکنش پلی‌آمین‌ها با بارهای منفی فسفولیپیدهای موجود در بین دو لایه لیپیدی یا پروتئین‌های متصل به غشاء باعث استحکام آن می‌شود که در نهایت به تغییر در نفوذپذیری غشاء و انتقال فعال مواد از طریق آن منجر می‌شود. همچنین، تشکیل کمپلکس‌های پلی‌آمین، فسفولیپید و آهن مانع از فعالیت پراکسیدازها شده و به پایداری غشاء منجر می‌شود (Kasukabe *et al.*, 2004; Pritsa and Voyiatzis, 2005). براساس آزمایشات افشار نادری و همکاران (۱۳۹۵) صفات درصد جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه و هدایت الکتریکی قبل و بعد از پرایمینگ با اکسین و جیبرلیک اسید اثر کاهشی بر صفات داشت و میانگین‌ها را در مقایسه با شاهد در گروه پایین‌تری قرار داد. طبق آزمایشات (عاقبت‌بخیر گلفرانی و همکاران، ۱۳۹۳) تیمار عدم کاربرد هورمون به‌همراه تنش شوری ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم موجب افزایش ۴۳/۲ درصدی هدایت الکتریکی نسبت به تیمار محلول‌پاشی توأم اکسین و جیبرلین به‌همراه عدم تنش شوری شد. در برخی مطالعات اعلام شد که کاربرد سایتوکینین در شرایط تنش‌های غیرزیستی می‌تواند پیری برگ را به‌وسیله جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد به تعویق اندازد (Grossman and Leshem, 2006) و باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌ها و جمع‌آوری گونه‌های فعال اکسیژن و نهایتاً کاهش آسیب به غشاء و افزایش پایداری غشاء سلولی شده و در نتیجه باعث کاهش هدایت الکتریکی می‌شود (Sayd *et al.*, 2010). تغییرات در ترکیب متابولیت‌های ثانویه نهال‌های به‌دست آمده از دانه‌های کلزا تحت فرسودگی سریع مقدار فنل، فلاونوئید و فلاونول موجود در نهال‌های کلزا که در معرض فرسودگی قرار گرفتند، افزایش معنی‌داری را در مقایسه با نهال‌های کلزا شاهد نشان داد. فنولیک‌ها و فلاونوئیدها با اهدای الکترون به ROS تشکیل‌شده در طول پیری در آندوسپرم و جنین از پراکسیداسیون لیپیدی جلوگیری می‌کنند. همبستگی بالایی بین محتوای فنل کل و زنده ماندن بذر وجود دارد و مواد فنلی نقش مهمی در جلوگیری از فرآیندهای فرسودگی بذر دارند (Naghisharifi *et al.*, 2024). گروه

اینورتاز باعث افزایش تبدیل نشاسته به قندهای محلول می‌شود (ماهرخ و همکاران، ۱۳۹۵). طبق تحقیقات ماهرخ و همکاران (۱۳۹۵) هورمون سایتوکینین بر قندهای محلول و نشاسته در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. پس از برداشت که میزان رطوبت کاهش می‌یابد، اکسیداسیون خودبه‌خودی چربی‌ها موجب تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود و طی مدت انبارداری این فرآیند ادامه پیدا می‌کند (Bailly, 2004). بدیهی است که هر مقدار که شرایط انبارداری بذر نامناسب باشد، بر شدت آن افزوده خواهد شد از طرف دیگر افزایش فرسودگی آن موجب تخریب و اختلال در عملکرد ارگان‌های سلولی و به‌خصوص میتوکندری و گلی‌اکسی‌زوم شده و تولید رادیکال‌های آزاد را افزایش می‌دهد (Kurek *et al.*, 2019). رادیکال‌های آزاد شامل پراکسید هیدروژن، سوپراکسید و هیدروکسیل به‌عنوان مولکول‌هایی سمی برای سلول شناخته شده‌اند که تجمع آن‌ها باعث پراکسیداسیون لیپیدهای غشا شده و موجب تخریب غشا سلولی می‌شوند (Ratajczak *et al.*, 2015; Bailly, 2004). نتیجه این اتفاق کاهش قدرت تراوایی غشا سلولی و افزایش نشت الکترولیت‌ها و هدایت الکتریکی خواهد شد. پرایمینگ بذر می‌تواند بر یکپارچگی غشای سلولی تأثیر بگذارد به‌طوری‌که برخی اجزای غشا مانند اسیدهای چرب در اثر انجام پرایمینگ، تغییر یافته و بعد از خشک کردن نمی‌توانند به وضعیت اولیه خود برگردند و در نتیجه از نشت مواد به خارج جلوگیری می‌گردد و باعث کاهش هدایت الکتریکی می‌شود (Mc Donald *et al.*, 2001). تحقیقی نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک از نشت یونی کمتری در مقایسه با گیاهان تیمار نشده برخوردار بود، که می‌تواند بیانگر تأثیر این ماده بر روی بهبود وضعیت غشاهای سلولی در برابر آسیب گونه‌های فعال اکسیژن باشد. بیشترین کاهش نشت الکترولیت در حضور هورمون در سطح خشکی ۴۰ درصد نسبت به شاهد مشاهده شد (سبک‌دست نودهی و مرادی، ۱۴۰۰). در نتایج مشابه اسید سالیسیلیک میزان نشت الکترولیت گیاه گوجه‌فرنگی را ۳۰ درصد کاهش داده بود (Smirnoff, 1993). پژوهش‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهند که پلی‌آمین‌ها ساختار و اعمال

مهم است (Dong and Lin, 2021). متابولیت‌های فنیل پروپانوئید، جز بالادستی متابولیسم فلاونوئید، یک مسیر کلیدی برای سنتز آنتی‌اکسیدان‌ها و تحمل ذخیره بذر هستند (Deng *et al.*, 2024). به عنوان مثال، در دانه‌های کلم چینی کهنه‌شده، بیوسنتز فلاونوئیدها با کاهش متابولیت‌هایی مانند اسید کلروژنیک و کامفرول، به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Lv *et al.*, 2024). همچنین بیوسنتز فنیل پروپانوئید به‌عنوان یک مسیر کلیدی برای سنتز آنتی‌اکسیدان و عدم تحمل ذخیره بذر شناسایی شده است (Liu *et al.*, 2022). تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش نشان داد که تیمار آگزورن Spd به‌طور قابل‌توجهی بیان ژن‌های دخیل در متابولیسم آنتی‌اکسیدانی، به‌ویژه در متابولیسم گلوکاتیون، بیوسنتز فنیل پروپانوئید و بیوسنتز فلاونوئید را تنظیم می‌کند (Xing *et al.*, 2025). بیوسنتز فنیل پروپانوئید و فلاونوئید نیز به‌طور قابل‌توجهی در دانه‌های تیمارشده با Spd غنی شد. فنیل پروپانوئیدها متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که به‌طور گسترده در رشد، نمو و پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی نقش دارند (Sharma *et al.*, 2019). این نه تنها در متابولیسم فنیل‌آلانین نقش دارد، بلکه با سنتز انواع محصولات طبیعی گیاهی مانند لیگنین و فلاونوئیدها نیز مرتبط است (Dong and Lin, 2021). به عنوان مثال، Qiao و همکاران (۲۰۲۴) دریافتند که تنظیم مسیر متابولیک فنیل پروپانوئید می‌تواند سنتز فلاونوئیدها را تقویت کرده و فعالیت آنتی‌اکسیدانی دانه‌های سویا را بهبود بخشد. نشان می‌دهد Spd آگزورن نقش کلیدی در تنظیم بیوسنتز فلاونوئید ایفا می‌کند و در نتیجه توانایی دفاع آنتی‌اکسیدانی دانه‌های فرسوده سورگوم را افزایش می‌دهد. محتوای متابولیت‌های فلاونوئید در دانه‌های فرسوده به‌طور معنی‌داری پس از تیمار آگزورن Spd افزایش یافت که ممکن است به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در طول جوانه‌زنی بذر مربوط باشد. علاوه‌براین، تیمار Spd بر متابولیت‌های مربوط به متابولیسم انرژی و سنتز اسیدهای آمینه تأثیر می‌گذارد که می‌تواند وضعیت انرژی و ظرفیت سنتز دانه‌های فرسوده را بهبود بخشد و در نتیجه سرعت جوانه‌زنی آنها را افزایش دهد (Duan *et al.*, 2024). طبق تحقیقات

هیدروکسیل ترکیبات فنلی مسئول فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سلول‌ها است. به‌منظور کاهش اثرات فرسودگی، گیاه ترکیبات فنلی بیشتری ترشح می‌کند (Kus *et al.*, 2014). تجزیه و تحلیل HPLC تأیید کرد که استفاده از روش پرایمینگ باعث تغییرات قابل‌توجهی در غلظت هر دو اسید فنولیک و فلاونوئیدها در برگ گندم شد. در مورد فلاونوئیدها، در گیاهان شاهد، نارینژین (۱/۷۲ میکروگرم گرم در گرم عصاره خشک) و روتین (۱/۲۰ میکروگرم گرم در گرم عصاره خشک) بیشترین فراوانی را داشتند. پس از پرایمینگ بذر با GA3، غلظت نارینژین و کوئرستین چهار برابر بیشتر بود، درحالی‌که هیدروپرایمینگ باعث افزایش ۲/۵ برابری سنتز روتین شد (Kanjevac *et al.*, 2022). محتوای بالاتر ترکیبات فنلی را می‌توان به عنوان یک مکانیسم تطبیقی در حفاظت گیاه از آسیب اکسیداتیو در نظر گرفت که در نتیجه تحمل به تنش را افزایش می‌دهد (Sun *et al.*, 2019). ترکیبات فنلی، از جمله فلاونوئیدها، نقش مهمی در از بین بردن ROS و پاسخ‌های دفاعی گیاه به محدودیت‌های محیطی دارند (Alvarez-Robles *et al.*, 2022). Ashraf و همکاران (۲۰۱۸) تأیید کرد که پرایمینگ می‌تواند غلظت ترکیبات فنلی را که آغازگر قابل‌توجهی پتانسیل آنتی‌اکسیدانی هستند، افزایش دهد. اطلاعات‌های مشابهی توسط Hatami و همکاران ثبت شده است (۲۰۲۱). با توجه به اینکه فنولیک اسیدها و فلاونوئیدها به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد‌رگ‌زایی، ضد‌تکثیری، ضدسرطان‌زایی و پیشاپوتوز بودن از اهمیت بالایی در پیشگیری یا درمان بیماری‌های مختلف برخوردار هستند (Abotaleb *et al.*, 2020)، استفاده از روش پرایمینگ بر روی دانه‌های گندم برای تولید متابولیت‌های ثانویه فعال زیستی می‌تواند اهمیت عملی داشته باشد. بر طبق آزمایش Sharif و همکاران (۲۰۱۹) محتوای فلاونوئیدها در غلظت‌های پایین‌تر تیمار اسید سالیسیلیک (۳۲/۸ میلی‌گرم بر گرم) کاهش و در غلظت‌های بالاتر (۴۱/۲۹ میلی‌گرم بر گرم) افزایش یافت. متابولیسم ثانویه، به‌ویژه متابولیت‌های فنلی که از طریق متابولیسم فلاونوئید تولید می‌شوند، در دفاع اکسیداتیو بسیار

می‌رسد که پلی‌آمین‌ها از طریق به تأخیر انداختن پیری گیاه، موجب افزایش طول دوره پر شدن دانه‌ها شده باشد و از سوی دیگر با تأخیر بر فعالیت برخی آنزیم‌های که در سنتز اسیدهای چرب دانه مشارکت می‌کنند، موجب بهبود نسبی کیفیت روغن گلرنگ از نظر ترکیب اسیدهای چرب غیراشباع شده باشند (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۹). ترکیبات فنلی خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی دارند که با به دام انداختن رادیکال‌های آزاد، کاهش تنش اکسیداتیو، مهار مولکول‌های بزرگ اکسیداسیون و DNA صدمه دیده، اثرات بیماری‌ها و جهش‌زایی را کاهش می‌دهند (Lawrence, 2002). در تحقیقات انجام‌شده (محدث و همکاران، ۱۳۹۹) مشخص شد، فنل در فرسودگی زیاد نسبت به فرسودگی متوسط ۶٪ و نسبت به فرسودگی کم ۲۴٪ کاهش یافت. تأثیر انبارداری بر ترکیبات فنلی به مدت زمان، شرایط نگهداری و زمان برداشت بستگی دارد. به طوری که با افزایش مدت زمان نگهداری (در اثر فرسودگی بذر) میزان فنل کل بیشتر کاهش می‌یابد. در تحقیقی گزارش کردند در بذره‌های سویا فرسوده تا ۳۶ ساعت مقدار فنل افزایش یافت اما بعد از افزایش مدت زمان فرسودگی مقدار آن کاهش یافت (Avila et al., 2012). نتایج مطالعات لطفعلی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵)، تأثیر پرایمینگ بذر با اکسین را بر افزایش فنل کل (ترکیبات دفاعی گیاه) را نشان می‌دهد. همچنین طبق مطالعات انجام‌شده، اکسین با بهبود رشد گیاه و افزایش ترکیبات فنلی، روند ایجاد بیماری را کاهش می‌دهد (Egamberdieva et al., 2016). در آزمایشی محتوای فنلی با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید افزایش یافت (Sharif et al., 2019). افزایش تولید فنل کل تحت کاربرد تنظیم‌کننده رشد سایتوکینین توسط محققین گزارش شده است (Paric et al., 2017). بدیهی است که اثر هورمون‌ها بسته به گونه گیاهی و گروه متابولیت ثانویه متفاوت است و معمولاً با کاربرد سایتوکینین‌ها، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و متابولیت‌های ثانویه از جمله فنولیک اسیدها افزایش می‌یابد (Honig et al., 2018). افزایش سطح ترکیبات فنلی آنتی‌اکسیدان در برگ‌ها را می‌توان به‌عنوان بخشی از پاسخ القاشده برای مقابله با استرس

Sheteiwiy و همکاران (۲۰۱۷) پرایمینگ با اسپرمیدین و اسید ۵ آمینولولینیک فنل کل، فلاونوئیدها و گلیسین بتائین بهبود یافتند. نتایج مقایسه میانگین اسیدهای چرب نشان‌دهنده این است که با افزایش مدت فرسودگی، مقدار اسیدهای چرب با تبعیت از مدل دو تکه‌ای افزایش یافت، به طوری که، مقدار اسیدهای چرب از ۱۱۰/۴ میکرومول بر گرم وزن تر در تیمار بدون فرسودگی به ۳۱۲/۵ میکرومول بر گرم وزن تر در تیمار هشت روز فرسودگی رسید (طهماسبی و همکاران، ۱۳۹۴). پژوهشگران افزایش اسیدهای چرب در طی فرسودگی بذر را ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های لیپاز همچون فسفولیپاز-دی دانسته‌اند (Wang et al., 2012). مطالعات مختلفی نشان می‌دهد با افزایش دوره فرسودگی میزان اسیدهای چرب افزایش می‌یابد (Borek et al., 2011). تحقیقات نشان داد که پرایمینگ باعث بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و اسیدهای چرب همیشه‌بهار می‌شود (اکبری و همکاران، ۱۳۹۶). مقدار کل اسیدهای چرب آزاد در ابتدای آزمایش برای همه ژنوتیپ‌ها کمترین مقدار بود و اسیدهای چرب آزاد در دانه‌های کمترین و پیرترین ژنوتیپ‌ها با سرعت‌های مختلف افزایش یافت. محتوای اسیدهای چرب آزاد در Bayer-12، Bayer-6 و Linas تا ۷۲ ساعت فرسودگی افزایش یافت، اما پس از ۹۶ ساعت فرسودگی کاهش یافت. Olas بالاترین محتوای اسیدهای چرب آزاد را در ۴۸ ساعت فرسودگی داشت (Onder et al., 2020). در تحقیق اکبری و همکاران (۱۳۹۶)، پرایمینگ شرایطی را در بذر به وجود آورد که مجموعه این شرایط موجب شد، ضمن بالاتر بودن صفات جوانه‌زنی، میزان اسیدهای چرب این بذور بیش‌تر از سایر بذور باشد. نتایج تحقیق نشان داد که اسید سالیسیلیک سبب افزایش اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع در گیاه کلزا می‌شود (عزتی و همکاران، ۱۳۹۸). مشخص شده است که فعالیت برخی آنزیم‌های سنتزکننده اسیدهای چرب، به ترکیبات پلی‌آمین‌ها بستگی دارد (Talaat and El-Din, 2007). بنابراین و با توجه به این که ترکیبات پلی‌آمین در بسیاری از فرآیندهای متابولیکی گیاهان و همچنین در رشد و نمو دانه‌ها نقش دارند، به‌نظر

سالیسیلیک اسید و نیترات پتاسیم با تحریک سنتز آنزیم‌ها و مواد آنتی‌اکسیدانی، به‌خصوص مواد فنلی و فلاونوئیدی موجب افزایش مقاومت گیاه در مقابل رادیکال‌های آزاد می‌گردند (Cakmak, 2005). افزایش محتوای آنتوسیانین به‌عنوان ماده‌ای آنتی‌اکسیدانی می‌تواند به‌دنبال همین خاصیت نیترات پتاسیم و سالیسیلیک اسید باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، با وجود اینکه فرسودگی درصد جوانه‌زنی، مقدار استفاده از ذخایر بذر، کارایی استفاده از ذخایر بذر، فلاونوئیدها، فنل، آنتوسیانین و اسیدهای چرب کل گیاهچه تریتیکاله را کاهش داد، ولی پرایمینگ بذر با تنظیم‌کننده‌های رشد اسید سالیسیلیک، سائتوکینین، اسپرمیدین و اکسین تأثیر زیادی بر بهبود جوانه‌زنی بذرهای تریتیکاله داشتند، براساس نتایج آزمایش حاضر، تأثیر اکسین برای بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی بذرهای فرسوده تریتیکاله بیشتر از دیگر تنظیم‌کننده‌های مورد آزمایش بود. بنابراین، انواع پرایمینگ به خصوص پرایمینگ با اکسین جهت کاهش آثار نامطلوب فرسودگی برای تریتیکاله قابل توصیه است.

اکسیداتیو در نظر گرفت (Bashandy and Abd-Alla, 2020). این امر توسط پرایمینگ اسپرمین توصیه می‌شود که آنتوسیانین‌ها و فنل‌ها را در برگ‌های ارقام انباشته می‌کند، جایی که مراحل اصلاح کلی به بهبود اثرات مخرب کم آبیاری کمک می‌کند. به موازات نتایج ارائه‌شده، Farooq و همکاران (۲۰۰۹) دریافتند که کاربرد PAS منجر به تجمع سطوح بالایی از پرولین آزاد، فنول‌های محلول و آنتوسیانین می‌شود، درحالی‌که تولید H_2O_2 و MDA را محدود می‌کند و نفوذپذیری نسبی غشاء را کاهش می‌دهد. همچنین، PAها برای تسهیل تجمع ترکیبات فنلی و پرولین آزاد برای محافظت در برابر آسیب اکسیداتیو گزارش شده‌اند (Kumar et al., 2003). طبق تحقیقات Mona و همکاران (۲۰۲۰)، پرایمینگ با اسپرمیدین با کاهش پراکسید هیدروژن از طریق فعالسازی آنتوسیانین‌ها، آنتی‌اکسیدان‌های کل و ترکیبات فنلی، تنش اکسیداتیو را کاهش می‌دهد. پژوهشگران مشاهده کردند که فرسودگی موجب افزایش فلاونوئید و آنتوسیانین در برگ گلرنگ گردید (Onder et al., 2020). طبق تحقیقات، اثر پرایمینگ بر محتوای آنتوسیانین گیاهچه معنی‌دار بود. آنتوسیانین رنگدانه فلاونوئیدی محلول در آب است (لطیفی و امید، ۱۳۹۸). این مولکول خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارد و از گیاه در مقابل اکسیداسیون نوری و رادیکال‌های آزاد محافظت می‌نماید (اسکندری‌نسب و همکاران، ۱۳۹۸). مشخص شده که

منابع

- اسکندری‌نسب، معظمه، رفیعی‌الحسینی، محمد، روشندل، پرتو، و تدین، محمودرضا (۱۳۹۸). بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و محتوای آنتوسیانین گیاهچه دانه سیاه (*Guizotia abyssinica*) تحت اثر سه نانوذره. *پژوهش‌های بذر ایران*، ۵، ۷۳-۸۹.
<http://dx.doi.org/10.29252/yuj.5.2.73>
- افشار نادری، حسام، کسرای، پورنگ، و اویسی، میثم (۱۳۹۵). تأثیر پرایمینگ هورمون اکسین و جیبرلیک اسید بر کاهش زوال بذر ذرت رقم سیتگل کراس ۷۰۴ (K.S.C 704). *پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر*، ۱۳، (۴).
- اکبرزاده شرفی، آمنه، عیسوند، حمیدرضا، اکبری، ناصر، و گودرزی، داریوش (۱۳۹۸). بررسی اثر جیبرلین، اسیدآسکوربیک و اسید سالیسیلیک بر کیفیت بذر، رنگیزه‌های فتوسنتزی و مالون دی‌آلدئید گیاهچه حاصل از بذر پیرشده آفتابگردان. *نشریه علوم و فناوری بذر ایران*، ۱، ۶۱۶-۶۱۲.
<https://doi.org/10.22034/ijst.2018.115205.1124>
- اکبری، منوچهر، یادگاری، مهرباب، و حامدی، بهزاد (۱۳۹۶). اثر پرایمینگ بر صفات رشدی و میزان اسیدهای چرب بذر همیشه‌بهار رقم قزوین (*Calendula officinalis* L.) تحت تنش اشعه فرابنفش و دما. *علوم و تحقیقات بذر ایران*، ۶(۲)، ۲۱۴-۲۰۳.

10.22124/JMS.2019.3600

رسولی، سیده فاطمه، قلی‌پور، منوچهر، جهان‌بین، کامبیز، و اصغری، حمیدرضا (۱۳۹۸). اثر اسید جاسمونیک و اسید سالیسیلیک بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، فنیل آلانین آمونیاپاز و ترکیب فنلی در استویا. *نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۷۸۰-۷۶۹.

سبکدست نودهی، منیژه، و مرادی، جمشید (۱۴۰۰). مطالعه تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های لوبیا در پاسخ به محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک تحت شرایط تنش خشکی. *پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۴(۴۲): 10.52547/jcb.14.42.117

سلطانی، افشین، کامکار، بهنام، گالشی، سراله، و اکرم قادری، فرشید (۱۳۸۸). اثر زوال بذر بر سبز شدن گندم در واکنش به تنش‌های محیطی. *مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی*. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۲(۲): ۴۳-۵۷.

سعادت، طیبه، صدقی، محمد، قلی‌پور، عبدقیوم، سید شریفی، رئوف، و شیخ بگلو، رقیه (۱۳۹۸). اثر پرایمینگ و فرسودگی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و تحرک ذخایر بذر لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris L.*) رقم صدری. *نشریه علوم و فناوری بذر ایران*، ۸(۲): ۱۹-۳۲. <https://doi.org/10.22034/ijst.2018.116851.1154>

شیخ‌نواز جاهد، پریسا، صدقی، محمد، سیدشرفی، رئوف، و سفالیان، امید (۱۴۰۱). تأثیر پرایمینگ بر جوانه‌زنی و ویژگی‌های گیاه‌چه در بذور فرسوده کدو پوست کاغذی تحت شرایط تنش خشکی. *علوم و تحقیقات بذر ایران*، ۹(۲): ۴۸-۳۱. <https://doi.org/10.22124/jms.2022.6150>

طهماسبی، بهاره، قادری‌فر، فرشید، صادقی‌پور، حمیدرضا، و گالشی، سرالله (۱۳۹۴). تأثیر زوال تسریع‌شده بر پارامترهای جوانه‌زنی، اسیدهای چرب و هیدروپراکسیدهای لیپیدی بذرهای آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*). *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۴(۱۲): <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1394.4.12.7.7>

عاقبت‌بخیر گلفرانی، مجتبی، قوشچی، فرشاد، و اویسی، میثم (۱۳۹۳). بررسی تأثیر پرایمینگ اکسین و جیبرلیک اسید بر برخی صفات کمی و کیفی گیاه لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris L.*) در شرایط تنش شوری. *پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر*، ۱۱(۳):

عبدلی، مجید (۱۳۹۹). تأثیر پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت هیبرید ذرت (*Zea mays L.*). *مجله علوم و تحقیقات بذر ایران*، ۷، ۱۵۹-۱۴۷. <https://doi.org/10.22124/jms.2020.4543>

عزتی، ناصر، ملکی، عباس، و فتحی، امین (۱۳۹۸). تأثیر خشکی و محلول‌پاشی اسید جیبرلیک و اسید سالیسیلیک بر عملکرد کمی و کیفی کلزا (*Brassica napus L.*). *نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۴(۵۶): ۹۴-۱۰۹. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.76712423.1398.14.56.5.9>

علیوند، محمد، و فرج‌زاده معماری تبریزی، الناز (۱۳۹۷). اثر تقویت‌کنندگی غلظت‌های مختلف عصاره‌های رازبانه، زیره سبز و نعنای بر خصوصیات فیزیولوژیکی جوانه‌زنی بذر و عملکرد دانه گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) تحت شرایط کم‌آبی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۱(۳): ۶۹۰-۶۷۵. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.581.1115>

فتحی‌امیر خیز، کیوان، امینی‌دهقی، مجید، مدس ثانوی، سیدعلی محمد، و رضازاده، علیرضا (۱۳۹۹). تأثیر کم‌آبیاری و محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها بر عملکرد دانه و روغن، کارایی مصرف آب و تولید اسیدهای چرب روغن دانه گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius L.*). *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۲(۳): ۹۶-۷۹. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.305009.654732>

قنبری، مژگان، فرزانه، محسن، و افتخاریان جهرمی، علیرضا (۱۳۹۷). اثر اسپرمیدین و دوره آبیاری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه کدو (*Cucurbita pepo L.*). *مجله علمی- پژوهشی زراعت و اصلاح نباتات ایران*، ۱۴(۳): ۸۷-۷۵.

لطفعلی نژاد، الهه، صانعی، سیدجواد، و رضوی، سید اسماعیل (۱۳۹۵). تأثیر پرایمینگ بذر با اکسین بر جوانه‌زنی، صفات فیزیولوژیک و کنترل بیماری رازوکتونیایی پنبه. *مجله علوم و تحقیقات بذر ایران*، ۵(۱): ۹۳-۸۳. <https://doi.org/10.22124/jms.2018.2902>

- لطیفی، سیدعلی، و امید، حشمت (۱۳۹۸). اثر پرایمینگ بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر و گیاهچه برنج رقم عنبر بو، تحت تنش کم‌آبی. *نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۱، ۵-۲۱. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008403.1398.11.44.1.2>.
- لطیفی، ناصر، سلطانی، افشین، و اسپانر، دین (۱۳۸۳). تأثیر دما بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی ارقام کلزا. *مجله علوم کشاورزی ایران*، ۹۱، ۹۶۹-۹۲۶.
- ماهرخ، علی، نبی‌پور، مجید، روشنفکر دزفولی، حبیب‌الله، و چوکان، رجب (۱۳۹۵). تأثیر هورمون اکسین و سیتوکنین بر کیفیت دانه ذرت تحت شرایط تنش خشکی. *مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی*، ۱۱ (۳۷).
- محدث اردبیلی، زهرا، عباسپور، حسین، توکل افشاری، رضا، و نبوی کلات، سیدمحسن (۱۳۹۹). مطالعه اثر پیری تسریع‌شده و اسید جبرلیک بر خصوصیات جوانه‌زنی، پراکسیداسیون لیپیدها، پروتئین محلول، فنل کل و هدایت الکتریکی بذر گندم (رقم پیشناز) (*Triticum aestivum* L.). *نشریه علوم و فناوری بذر ایران*، ۹ (۲)، ۶۰-۴۹. [10.1001.1.20085958.1398.11.37.18.0](https://doi.org/10.1001.1.20085958.1398.11.37.18.0).
- Abotaleb, M., Liskova, A., Kubatka, P., & Büsselberg, D. (2020). Therapeutic potential of plant phenolic acids in the treatment of cancer. *Biomolecules*, 10, 221. DOI: 10.3390/biom10020221
- Acharya, P., Jayaprakasha, G. K., Crosby, K. M., Jifon, J. L., & Patil, B. S. (2020). Nanoparticle-mediated seed priming improves germination, growth, yield, and quality of watermelons (*Citrullus lanatus*) at multi-locations in Texas. *Scientific Reports*, 10, 1-16. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61696-7>
- Al-Hakimi, A. M., & Hamada, A. M. (2011). Ascorbic acid, Thiamine or salicylic acid induced changes in some physiological parameters in wheat grown under copper stress. *Plant Protection Science*, 47(3), 92-108. DOI: 10.17221/20/2010-PPS
- Alizadeh, A. (1997). Water, Soil and Plants relations. Astan Quds Razavi Press.
- Altaf, M. A., Shahid, R., Kumar, R., Altaf, M. M., Kumar, A., Khan, L. U., et al. (2023). Phytohormones mediated modulation of abiotic stress tolerance and potential crosstalk in horticultural crops. *Journal Plant Growth Regulation*, 42, 4724-4750. [10.1007/s00344-022-10812-0](https://doi.org/10.1007/s00344-022-10812-0). DOI:10.1007/s00344-022-10812-0
- Alvarez-Robles, M. J., Clemente, R., Ferrer, M. A., Calderon, A., & Bernal, M. P. (2022). Effects of ascorbic acid addition on the oxidative stress response of *Oryza sativa* L. plants to As (V) exposure. *Plant Physiology and Biochemistry*, 186, 232-241. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.07.013>
- Amitha Mithra, S. V., Tyagi, A., Kumar, S., & Singh, A. (2017). Elicitor-induced biochemical and molecular manifestations to improve drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) through seed-priming. *Front Plant Sciences*, 6 (8), 934. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00934>
- Ansari, O., & Sharifzadeh, F. (2012). Improving germination characteristics of mountain rye (*Secale montanum*) primed seeds under slow moisture reduction and accelerated ageing conditions. *Journal of Seed Science and Technology*, 2(2), 68-76. [In Persian with English Summary]
- Ashraf, R., Sultana, B., Riaz, S., Mushtaq, M., Iqbal, M., Nazir, A., Atif, M., & Zafar, Z. (2018). Fortification of phenolics, antioxidant activities and biochemical attributes of radish root by plant leaf extract seed priming. *Biocatalysis Agricultural Biotechnology*, 16, 115-120. DOI:10.1016/j.cbac.2018.07.012
- Avila, M. R., Braccini, C., Giatti, M., Souza, G., Mandarino, G., Bazo, G. L., & Cabral, Y. C. F. (2012). Physiological quality, content and activity of antioxidants in soybean seeds artificially aged. *Revista Brasileira de Sementes*, 34 (3), 397-407. DOI:10.1590/S0101-31222012000300006
- Bailly, C. (2004). Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed Science Research*, 14, 93-107. DOI:10.1079/SSR2004159
- Bashandy, M. H., & Abd-Alla, (2020). MFA dawood, Alleviation of the toxicity of oily wastewater to canola plants by the N₂-fixing, aromatic hydrocarbon biodegrading bacterium *Stenotrophomonas maltophilia*-SR1. *Applied Soil Ecology*, 154(2), 103654. DOI:10.1016/j.apsoil.2020.103654
- Bezabih, A., Girmay, G., & Lakewu, A. (2019). Performance of triticale varieties for the marginal highlands of Wag-Lasta, Ethiopia. *Cogent Food and Agriculture*, 5, 1-11. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1574109>
- Boothby, D., & Wright, S. T. C. (1962). Effect of kinetin and other growth regulators on starch degradation. *Nature*, 196, 389-390. <https://doi.org/10.1038/196389a0>
- Borek, S., Kubala, S., Kubala, S., & Ratajczak, L. (2011). Comparative study of storage compound breakdown in germinating seeds of three lupine species. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, 1953-1968. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0744-6>
- Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Plant Nutrition and Soil Science*, 168, 521-530. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>
- Dashtman, F. P., Hosseini, M. K., & Esfahani, M. (2014). Improving rice seedling physiological and biochemical

- processes under low temperature by seed priming with salicylic. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 4, 565-572.
- 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>
- Deng, J., Che, X., Gu, Y., Qu, Y., & Liu, D. (2024). Integrated multi-omics investigation revealed the importance of phenylpropanoid metabolism in the defense response of *Lilium regale* Wilson to fusarium wilt. *Horticulture Research*, 11, 140. <https://doi.org/10.1093/hr/uhae140>
- Dong, N. Q., & Lin, H. X. (2021). Contribution of phenylpropanoid metabolism to plant development and plant-environment interactions FA. *Journal of Integrated Plant Biology*, 63, 30. [Google Scholar][Ref list]. DOI: 10.1111/jipb.13054
- Duan, H., Yu, Q., Ni, Y., Li, J., Yu, L., Yan, X., & Fan, L. (2024). Synergistic anti-aging effect of *Dendrobium officinale* polysaccharide and spermidine: A metabolomics analysis focusing on the regulation of lipid, nucleotide and energy metabolism. *International Journal of Biological Macromolecules*, 278, 135098. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.135098
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956) colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-356. <http://dx.doi.org/10.1021/ac60111a017>
- Egamberdieva, D., Li, L. I., Lindstrom, K., & Rasanen, L. A. (2016). A synergistic interaction between salt -tolerant pseudomonas and mesorhizobium strains improves growth and symbiotic performance of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fish.) under salt stress. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(6), 2829-2841.
- Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1981). The quantification of aging and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9, 374-409.
- FAO. (2022). FAOSTAT [Online]. Available at <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Farooq, M., Wahid, A., & Lee, D. J. (2009). Exogenously applied poly-amines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologia Plantarum*, 31, 937-945. View at publisherCrossref View in Scopus Google Scholar. DOI:10.1007/s11738-009-0307-2
- Fincher, G. B. (1989). Molecular and cellular biology associated with endosperm offset action in germinating cereal grains. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40: 305-346. DOI:10.1146/annurev.pp.40.060189.001513
- Govindaraj, M., Masilamani, P., Alex albert, V., & Bhaskaran, M. (2017). Role of antioxidants in seed quality. *A review Agricultural Review*, 91(9), 810-830. DOI:10.18805/ag.v38i03.8977
- Grossman, S., & Leshem, Y. (2006). Lowering of endogenous lipoxygenase activity in *Pisumsativum* foliage by cytokinin as related to senescence. *Physiologia Plantarum*, 43, 359-362.
- Guleryuz, G., Kirmizi, S., Arslan, H., & Sakar, F. S. (2011). Dormancy and germination in *Stachys germanica* L. subsp. *Bithynica* (Boiss.) *Flora*, 206, 943-948. DOI:10.1016/j.flora.2011.07.003
- Han, X., Fangwen, Y., Zhao, Y., Chen, H., Wan, Z., Li, L., Sun, L., Liu, L., Jiao, C., Liu, C., & Sha, A. (2021). ITRAQ based protein profile analysis revealed key proteins involved in regulation of drought-tolerance during seed germination in Adzuki bean. *Scientific Reports*, 11, 23725. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03178-y>
- Hatami, M., Khanizadeh, P., Bovand, F., & Aghaee, A. (2021). Silicon nanoparticle-mediated seed priming and *Pseudomonas* spp. Inoculation augment growth, physiology and antioxidant metabolic status in *Melissa officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 162, 113238. [Google Scholar] [CrossRef]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113238>
- Hocart, C. H., & Letham, D. S. (1990). Biosynthesis of cytokinin in germinating seeds of *Zea mays*. *Journal of Experimental Botany*, 41, 1525-1528. <https://doi.org/10.1093/jxb/41.12.1525>
- Honig, M., Plihalova, L., Husickova, A., Nisler, J., & Dolezal, K. (2018). Role of cytokinins in senescence, antioxidant defense and photosynthesis. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(12), 4045. doi: 10.3390/ijms19124045
- Hussain, S., Zheng, M., Khan, F., Khaliq, A., Fahad, S., Peng, S., Huang, J., Cui, K., & Nie, L. (2015). Benefits of rice seed priming are offset permanently by prolonged storage and the storage conditions. *Science Report*, 5, 8101. <https://doi.org/10.1038/srep08101>
- Hussian, I., Ahmad, R., Farooq, M., & Wahid, A. (2013). Seed priming improves the performance of poor quality wheat seed. *International Journal of Agriculture and Biology*, 15, 1343-1348.
- ISTA. (2009). International Rules for Seed Testing. The International Seed Testing Association. Zurich. Switzerland.
- Kamali, M., Khosroyar, S., Kamali, H., Ahmadzadeh Sani, T., & Mohammadi, A. (2016). Phytochemical screening and evaluation of antioxidant activities of *Dracocephalum kotschyi* and determination of its luteolin content. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 6(4), 425-433.
- Kanjevac, M., Bojovic, B., Ciric, A., Stankovic, M., & Jakovljevic, D. (2022). Seed priming improves biochemical and physiological performance of wheat seedlings under low-temperature conditions. *Mdpi Journal List Agriculture*, 13(1), 2. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010002>

- Kasukabe, Y., He, L., Nada, K., Misawa, S., Ihara, I., & Tachibana, S. (2004). Over expression of spermidine synthase enhances tolerance to multiple environmental stresses and up-regulates the expression of various stress-regulated genes in transgenic *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiology*, 4, 73-84. DOI: 10.1093/pcp/pch083
- Khan, A., Bibi, S., Javed, T., Mahmood, A., Mehmood, S., Javaid, M. M., et al. (2024). Effect of salinity stress and surfactant treatment with zinc and boron on morpho-physiological and biochemical indices of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *BMC Plant Biology*, 24, 138. 10.1186/s12870-024-04800-7 [Google Scholar]. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04800-7>
- Kim, D. H. (2018). Extending populous seed longevity by controlling seed moisture content and temperature. *PloS One*, 13(8), e0203080. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203080>
- Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by phenol-sulfuric acid method. In: Handbook of Physiological and Biochemical Methods (eds. Hellebust, J. A. and Craige, J. S.). Pp. 95-97. Cambridge University Press, London.
- Kornsteiner, M., Wagner, K. H., & Elmadfa, I. (2006). Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. *Food Chemistry*, 98, 381-387. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.033>
- Kumar, S. G., Mattareddy, A., & Sudhakar, C. (2003). NaCl effects on proline metabolism in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) with contrasting salt tolerance. *Plant Science*, 165, 1245-1251. DOI:10.1016/S0168-9452(03)00332-7
- 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>
- Kus, F., Congiu, D., Teper, Z., Sroka, I., & Jerkovic, C. I. G. (2014). Tuberoso antioxidant activity, color characteristics, total phenol content and general HPLC fingerprints of six polish unifloral honey types LWT. *Food Science and Technology*, 55(1), 124-130.
- Lawrence, R., Moltzan, B., & Moser, W. K. (2002). Oak decline and the future of missouri's forests. *Missouri Conservationist*, 63(7), 11-18.
- Liu, F., Li, N., Yu, Y., Chen, W., Yu, S., & He, H. (2022). Insights into the regulation of rice seed storability by seed tissue-specific transcriptomic and metabolic profiling. *Plants*, 11, 1570. doi: 10.3390/plants11121570
- Liu, Y., Xu, H., Wen, X., X., & Liao, Y. C. (2016). Effect of polyamine on seed germination of wheat under drought stress is related to changes in hormones and carbohydrates. *Journal of Integrative Agriculture*, 15, 2759-2774. [CrossRef]. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61366-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61366-7)
- Lv, H. X., Xu, H., Yang, K., & Yan, M. (2024). Comparative metabolomic analyses reveal metabolites associated with seed deterioration in Chinese cabbage. *Scientia Horticulturae*, 331, 113170. doi: 10.1016/j.scienta.2024.113170
- Ma, D., Sun, D., Wang, C., Li, Y., & Guo, T. (2014). Expression of flavonoid biosynthesis genes and accumulation of flavonoid in wheat leaves in response to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80, 60-66. DOI: 10.1016/j.plaphy.2014.03.024
- Ma, D., Sun, D., Wang, C., Qin, H., Ding, H., Li, Y., & Guo, T. (2016). Silicon application alleviates drought stress in wheat through transcriptional regulation of multiple antioxidant defense pathways. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35, 1-10. DOI:10.1007/s00344-015-9500-2
- Mc Donald, M. B. (1999). Seed deterioration: Physiology, repair and assessment. *Seed Science Technology*, 27, 177-237.
- McDonald, C. M., Floyd, C. D., & Waniska, R. D. (2001). Effect of accelerated aging on maize and sorghum. *Journal of Cereal Science*, 39, 301-351. (Journal). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2004.01.001>
- Mehrabi Olaadi, A. S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M. R., Omidi, M., & Tavakol Afshari, R. (2007). Effect of Absic acid and Chitin on seed germination and growth of wheat seedlings under salinity stress. *Journal of Research and Construction*, 20(4), 83-93. (In Persian).
- Mona, F., Dawood, A., Amany, H., & Abeed, A. (2020). Spermine-priming restrained water relations and biochemical deteriorations prompted by water deficit on two soybean cultivars. *Science Direct*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04038>
- Nabaei, M., Roshandel, P., & Mohammadkhani, A. (2011). Effective techniques to break seed dormancy and stimulate seed germination in *Rheum ribes* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(2), 212-223. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6398>
- Naghisharifi, H., Kolahi, M., Javaheriyani, M., & Zarg, B. (2024). Oxidative stress is the active pathway in canola seed aging, the role of oxidative stress in the development of seedlings grown from aged canola seed. *Plant Stress*, 11, 100313. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100313>
- Onder, S., Tonguc, M., Guvercin, D., & Karakurt, Y. (2020). Biochemical changes stimulated by accelerated aging in safflower seeds (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Seed Science*, 42, 1-12. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42227873>
- Paparella, S., Araujo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D., & Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: State of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports*, 34, 1281-1293. DOI: 10.1007/s00299-015-1784-y

- Paric, A., Karalija, E., & Cakar, J. (2017). Growth, secondary metabolites production, antioxidative and antimicrobial activity of mint under the influence of plant growth regulators. *Acta Biologica Szegediensis*, 61(2), 189-195.
- Parmoon, G. H., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., & Moosavi, S. A. (2015). Effects of seed priming on catalase activity and storage reservoirs of aged milk thistle seeds (*Silybum marianum* L.)(Gaertn). *Journal of Agricultural Sciences*, 362-372. DOI:10.1501/Tarimbil_0000001339
- Pritsa, T. S., & Voyiatzis, D. G. (2005). Correlation of ovary and leaf spermidine and spermine content with the alternate bearing habit of olive. *Journal of Plant Physiology*, 162, 1284-1291. DOI: 10.1016/j.jplph.2005.01.017
- Qiao, Z., Shi, Y., Yi, J., Zhu, J., Kang, Q., Qu, L., Yang, R., Lu, J., & Zhao, C. (2024). Low frequency ultrasound enhanced the antioxidant activity and isoflavones accumulation of soybean sprouts by inducing oxidant stress. *Food Bioscience*, 60, 104360. doi: 10.1016/j.fbio.2024.104360
- Rashidi, S., Abbas Dokht, H., Gholami, A., & Tawakkul Afshar, R. (2016). The effect of gibberellin and cytokinin on the improvement of germination and degenerate seed set characteristics of corn cultivars. *Scientific Research Quarterly Journal of Plant Physiology – Islamic Azad University, Ahvaz Branch*, 9(34). [In Persian with English Summary]
- Ratajczak, E., Malecka, A., Bagniewska-Zadworna, A., & Kalemba, E. M. (2015). The production, localization and spreading of reactive oxygen species contributes to the low vitality of long-term stored common beech (*Fagus sylvatica* L.) seeds. *Journal of Plant Physiology*, 174, 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.08.021>
- Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Haloday, A. S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
- Safari, K., Sohrabi, Y., Siosemardeh, A., & Sasani, Sh. (2019). Effect of seed priming on some morphophysiological characteristics of three wheat cultivars under laboratory and greenhouse conditions. *Plant Production and Genetics*, 1, 53-68.
- Sayd, S. S., Taie, A. A. H., & Taha, L. S. (2010). Micropropagation, antioxidant activity, total phenolics and flavonoids content of *Gardenia jasminoides* ellis as affected by growth regulators. *International Journal of Academic Research*, 2, 184-191.
- Sedghi, M., Nemati, A., & Esmailpour, B. (2010). Effect of seed priming on germination and seedling growth of two medicinal plants under salinity. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 22(2), 130-139. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v22i2.4900>
- Sharifi, Y., Nematzadeh, G. A., Ghasemi Omran, V., Sadat, T., Ghavami, T., & Ebrahimzadeh, M. A. (2019). Effect of salicylic acid on phenols and flavonoids content in callus culture of Iranian sodab (*Ruta graveolens*): A threatened medicinal plant of north of Iran. *Tabari Biomedical Student Research Journal*, 1, 3. Doi: 10.18502/tbsrj.v1i4.2250
- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., & Zheng, B. (2019). Epsilon of phenylpropanoid Pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, 24, 2452. doi: 10.3390/molecules24132452
- Sheikhnavaz Jahed, P., Sedghi, M., Seyed sharifi, R., & Sofalian, O. (2022). Effect of priming on germination indices of deteriorated seeds of pumpkin (*Cucurbita pepo*) in salinity conditions. *Plant Process and Function*, 11(50), 19. URL: <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1802-fa.html>. [In Persian with English Summary]
- Sheteiwiy, M., Shen, H., Xu, J., Guan, Y., Song, W., & Hu, J. (2017). Seed polyamines metabolism induced by seed priming with spermidine and 5-aminolevulinic acid for chilling tolerance improvement in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 137, 58-72. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.02.007>
- Smirnoff, N. (1993). The role of active oxygen in response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist*, 125, 27-58. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1993.tb03863.x
- Soltani, A., Zeinali, E., & Galeshi, S., (2001). Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. *Seed Science and Technology*, 29, 653-662.
- Soltani, E., Kamkar, B., Galeshi, S., & Akram Ghaderi, F. (2008). The effect of seed deterioration on seed reserves depletion and heterotrophic seedling growth of wheat. (In Persian, with English Abstract.) *Journal of Agricultural Sciences and Natur Resorce*, 15(1), 13-17.
- Soltani, A., Maddah, V., & Sinclair, T. (2013). SSM Wheat: A simulation model for wheat development, growth and yield. *International Journal of Plant Production*, 7(4), 711-740.
- Sun, C., Jin, L., Cai, Y., Huang, Y., Zheng, X., & Yu, T. (2019). L-Glutamate treatment enhances disease resistance of tomato fruit by inducing the expression of glutamate receptors and the accumulation of amino acids. *Food Chemistry*, 293, 263-270. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.04.113
- Talaat, I. M., & El-Din, K. M. G. (2007). Physiological effect of putrescine and heat hardening on *nigella sativa* L. plants. *International Journal of Agriculture and Biology*, 7, 358-362.
- Tekrony, D. M. (1993). Accelerated aging test. *Seed Technology Journal*, 17(2), 110-120.
- Van-hulten, M., pelser, M., Van-loon, L. C., Pieterse, C. M., & Ton, J. (2006). Costs and benefits of priming for defense in arabidopsis. *National Academy of Sciences*, 103, 5602-5607. doi: 10.1073/pnas.0510213103
- Wang, F., Wang, R., Jing, W., & Zhang, W. (2012). Quantitative dissection of lipid degradation in rice seeds during accelerated aging. *Plant Growth Regulation*, 66, 49-58.

- Wattanakupakin, P., Photchanachai, S., & Ratanakhanokchai, Kh. (2012). Hydropriming effects on carbohydrate metabolism, antioxidant enzyme activity and seed vigor of maize (*Zea mays* L.). *African Journal of Biotechnology*, 11(15). <http://dx.doi.org/10.5897/AJB11.3020>
- Xing, Y., Zhang, H., Liu, C., & Zhou, Y. (2025). Spermidine revives aged sorghum seed germination by boosting antioxidant defense. *PubMed Central*, 14(3), 349. doi: 10.3390/antiox14030349
- Yang, S., Wang, Y., Liu, R., Li, Q., & Yang, Z. (2018). Effects of straw application on nitrate leaching in fields in the yellow river irrigation zone of ningxia, china. *Scientific Reports*, 8(1), 954. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18152-w>
- Zhang, M., Li, B., Wan, Z., Chen, X., Liu, C., Liu, C., & Zhou, Y. (2022). Exogenous spermidine promotes germination of aged sorghum seeds by mediating sugar metabolism. *Plants*, 11, 2853. <https://doi.org/10.3390/plants11212853>
- Zhou, L., Yan, P., Zhang, Q., Xiao, M., Lin-Kai, H., & Yan-Hong, Y. (2014). Exogenous spermidine improves seed germination of white clover under water stress via involvement in starch metabolism. *Antioxidant Defenses and Relevant Gene Expression Molecules*, 19(11), 18003-18024. Doi: 10.3390/molecules191118003

Effect of priming using some growth regulators on germination indices and biochemical traits of triticale (*x Triticosecale*) seeds under aging

Zhila Nazari, Mohammad Sedghi* and Raouf Seyed Sharifi

Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract

This study was conducted in 2023 to investigate the effect of priming with some growth regulators on the germination indices and biochemical traits of triticale seeds under accelerated aging. The experiment was arranged as a factorial based on a completely randomized design with three replicates. It was carried out at the Seed Science and Technology Laboratory, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili. The treatments included three levels of aging (95%, 85%, and 75%) and six types of priming (control, hydro-priming, priming with cytokinins, priming with spermidine, priming with salicylic acid, and priming with auxin). Seeds were also primed by soaking for 24 hours at 25 °C in distilled water and hormone solutions (the hormones were used at a concentration of 1 mM for 24 hours, based on preliminary trial results). In the preliminary trial, concentrations of 0.25, 0.5, 1, 1.5, and 2 mM were tested. The results indicated that aging reduced the germination percentage; however, the types of priming, particularly priming with auxin, mitigated the effects of aging and improved this trait. With increasing aging, the amount of seed reserves utilized, utilization efficiency of reserves, total phenol content, flavonoids, total fatty acids, and anthocyanins decreased, while free sugars, glucose, electrical conductivity, and ion leakage increased. Seed reserve utilization, flavonoid content, and anthocyanin levels in the auxin priming treatment increased by approximately 22%, 13.7%, and 73.6%, respectively, compared to the control. Ion leakage and soluble sugar content in auxin priming at 75% aging decreased by 51% and 84%, respectively, compared to the control. The results of this study indicate that seed priming, especially with auxin, can enhance aged triticale seeds and improve germination; thus, this approach may serve as an effective strategy to enhance the viability of aged seeds.

Keywords: Auxin, Priming, Exhaustion, Free sugars, Glucose

Received: Mar. 09, 2025; Revised: Sep. 23, 2025; Accepted: Oct. 14, 2025; Published Online: June. 02, 2026

*Corresponding Author: m_sedghi@uma.ac.ir



Copyright © 2025 Iranian Society of Plant Physiology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited