علوم و تحقیقات بذر ایران
سال هفتم/ شماره دوم/ ۱۳۹۹ (۱۵۹ - ۱۴۷)

DOI: 10.22124/jms.2020.4543

تأثیر پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت هیبرید ذرت (*Zea mays* L.)

مجید عبدلی*

تاریخ دریافت: ۹۷/۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۲۲

چکیده

به‌منظور بررسی اثر پیری تسریع‌شده و هیدروپرایمینگ بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی گیاهچه ذرت (سینگل کراس ۷۰۱)، آزمایشی طی سال ۱۳۹۴ در آزمایشگاه پژوهشی دانشگاه مراغه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح پیری تسریع‌شده بذر (صفر (شاهد)، ۲ و ۴ روز) و سه سطح پیش‌تیمار بذر (بدون پرایمینگ و هیدروپرایمینگ به‌مدت ۱۲ و ۲۴ ساعت) بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر تمام صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی فقط اثر متقابل پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، میزان نشت یونی، درصد و سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار بود. در این بین، اثرات ساده و متقابل پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر نسبت طولی ساقه‌چه به ریشه‌چه غیرمعنی‌دار بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که در اثر پیری بذر، کلیه صفات مورد مطالعه کاهش یافتند به‌طوری‌که میزان پروتئین‌های محلول، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر در اثر پیری ۲ روزه به‌ترتیب به‌میزان ۱۳/۷، ۱۰/۹، ۱۴/۸، ۱۴/۸ و ۳۳/۲ درصد و در اثر پیری ۴ روزه به‌ترتیب به‌میزان ۳۶/۸، ۳۳/۴، ۳۲/۴، ۳۵/۰ و ۶۷/۹ درصد نسبت به بذر شاهد (بدون پیری) کاهش یافتند. نتایج نشانگر این مطلب بود که با افزایش مدت زمان هیدوپرایمینگ بذور از ۱۲ به ۲۴ ساعت بر میزان پروتئین‌های محلول، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر افزوده شد. بر اساس نتایج حاصل از اثرات متقابل مشخص گردید که در بذور شاهد اعمال هیدروپرایمینگ به‌مدت ۲۴ ساعت بیش‌ترین و در بذور پیرشده (به‌مدت ۴ روز) عدم هیدروپرایمینگ کم‌ترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و درصد و سرعت جوانه‌زنی را داشتند. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان بیان کرد که هیدروپرایمینگ (مخصوصاً به‌مدت ۲۴ ساعت) می‌تواند برخی از اثرات مخرب و جزئی که طی پیری بذر رخ می‌دهند را کاهش دهد و از این تکنیک می‌توان برای کاهش خسارات ناشی از پیری بذور ذرت بهره گرفت.

واژه‌های کلیدی: بنیه بذر، پیش‌تیمار بذر، پیری تسریع‌شده، ذرت، طول گیاهچه

دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
*نویسنده مسئول: majid.abdoli64@yahoo.com

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی با قدرت تطابق بالا به شرایط محیطی است و تقریباً در اکثر مناطق مختلف کشور کشت می‌شود. بذر مهم‌ترین نهاده بخش کشاورزی است و معمولاً بذرهای اغلب گیاهان زراعی پس از برداشت به‌مدت چندین ماه و یا چندین سال در انبار ذخیره و نگهداری می‌شوند. فرآیند پیری بذر حتی در بهترین شرایط انبارداری نیز رخ می‌دهد. در این بین، شرایط محیطی محل نگهداری بذور یکی از عوامل تعیین‌کننده قدرت و بنیه بذور است به‌طوری‌که اگر شرایط نگهداری مخصوصاً دما و رطوبت مناسب نباشد سبب کاهش شدید بنیه بذر می‌گردد (ISTA, 2003). بنابراین پیری و زوال بذر در طی دوره انبارداری باعث افت کیفیت بذر، کاهش بنیه و درصد جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و در نهایت عملکرد گیاه در شرایط مزرعه می‌شود (McDonough *et al.*, 2004; Seiadat *et al.*, 2012).

تحقیقات مختلفی در گیاهان زراعی و دارویی در زمینه تأثیر فرسودگی و زوال بذر بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی انجام شده است. به‌طور مثال احمدی و مسعودی (Ahmadi and Masoudi, 2017) طی تحقیقات خود بر روی ارقام مختلف کنجد اظهار کردند که بذرهای دارای بنیه قوی، کم‌تر تحت تأثیر پیری تسریع‌شده قرار گرفتند. همچنین گزارش شده است که در اثر پیری بذر میزان جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و عملکرد گیاه در مزرعه کاهش یافت (Mohamadzadeh *et al.*, 2012). در طی زوال بذر، تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مختلفی در آن صورت می‌گیرد که این تغییرات شامل تولید گونه‌های فعال اکسیژن[1]، کاهش یکپارچگی غشاء سلولی و کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت است (Janmohammadi *et al.*, 2008; Demir Kaya *et al.*, 2010; Mansouri-Far *et al.*, 2015). گودرزیان و همکاران (Goodarzian *et al.*, 2014) و دارابی و همکاران (Darabi *et al.*, 2017) گزارش کردند که با افزایش مدت زمان پیری در بذور ذرت صفات درصد جوانه‌زنی، درصد گیاهچه طبیعی، پروتئین‌های محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت کاهش یافتند. دلایل مختلفی در مورد کاهش جوانه‌زنی بذور پیر ذکرشده است که می‌توان به پراکسیداسیون لیپیدها، اختلال در سنتز RNA و DNA اشاره کرد (McDonald, 1999).

در این میان می‌توان با یک سری از روش‌ها بر اثرات منفی فرسودگی بذر بر پارامترهای جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی فائق آمد. یکی از این روش‌ها، تکنیک پرایمینگ است و این ایده مطرح شده که احتمالاً پرایمینگ می‌تواند برخی از اثرات مخرب که طی فرسودگی بذر رخ می‌دهند را جبران کند. در این مورد مک دونالد (McDonald, 1999) گزارش نمود که بهبود بذرهای فرسوده‌شده با عمل پرایمینگ قابل اجرا است البته میزان این بهبود بسته به نوع بذر و مدت زمان پیری متغیر است. نتایج متفاوتی در مورد تأثیر پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذرهای زوال‌یافته گزارش شده است. برخی از محققین به تأثیر مثبت (Ansari and Sharif Zadeh, 2012; Younesi *et al.*, 2014; Najafi *et al.*, 2016) و برخی دیگر عدم تأثیر پرایمینگ بر پارامترهای جوانه‌زنی بذور فرسوده اشاره کرده‌اند. از آن‌جاکه نتایج ضد و نقیضی در مورد تأثیر پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی بذور پیرشده گیاه ذرت وجود دارد، هدف از اجرای این تحقیق بررسی اثر هیدروپرایمینگ و پیری تسریع‌شده بذر بر سازوکارهای آنزیمی، شاخص‌های جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی گیاهچه ذرت بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر هیدروپرایمینگ و پیری تسریع-شده بذر بر سیستم دفاعی، جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی، آزمایشی در آزمایشگاه پژوهشی دانشگاه مراغه به-صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۴ بر روی ذرت (سینگل کراس ۷۰۱) انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح بذور پیرشده (صفر (شاهد)، ۲ و ۴ روز) و سه سطح پرایمینگ (شاهد (عدم پرایمینگ یا بذر خشک) و هیدروپرایمینگ به‌مدت ۱۲ و ۲۴ ساعت) بودند. تیمار پیری تسریع‌شده در دمای ۱±۴۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۱±۹۵ درصد در مدت زمان‌های مشخص (۲ و ۴ روز) اعمال شد. برای کنترل مناسب دما و رطوبت از یک دستگاه دماسنج و رطوبت-سنج دیجیتال (مدل TFA آلمان) در داخل دستگاه ژرمیناتور استفاده شد. برای هیدروپرایمینگ‌کردن، بذور در دمای ۲۳ درجه سلسیوس در مدت زمان مشخص در

[1]Reactive oxygen species (ROS)

آب مقطر غوطه‌ور شدند. پس از این مدت، بذور پیش-تیمارشده بر روی پارچه تمیز پهن شدند تا در دمای محیط خشک شوند. پس از خشک‌شدن بذور پرایمینگ-شده به همراه بذر خشک (عدم پرایمینگ) آماده آزمون بودند. در این مرحله بذور تیمارشده به دو بخش تقسیم شدند که (۱) بخشی برای اندازه‌گیری آنزیم‌ها و صفات بیوشیمیایی و (۲) بخش دیگر برای اندازه‌گیری شاخص-های جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی مورد استفاده قرار گرفت.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و صفات بیوشیمیایی: به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم-های آنتی اکسیدانت، میزان پروتئین‌های محلول و نشت یونی از قسمت جنین استفاده شد. برای این منظور ابتدا بذرهای تیمارشده به طور مجزا در پتری‌دیش‌های ضدعفونی‌شده قرار گرفتند و سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه گردید و به‌مدت ۱۲ ساعت در ژرمیناتور با دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۲±۶۵ درصد قرار داده شدند. سپس پوشش بذر جدا و جنین‌ها در فویل آلومینیومی پیچیده و بلافاصله در نیتروژن مایع فریز شدند و تا زمان اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها و میزان پروتئین‌های محلول در دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

جهت اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و میزان پروتئین‌های محلول، ابتدا عصاره آنزیمی تهیه شد. برای این منظور ۰/۵ گرم از نمونه‌ها در نیتروژن مایع خرد شد، سپس ۲ میلی‌لیتر بافر استخراج (تریس اسید کلریدریک با pH معادل ۷/۵) به آن اضافه گردید و در هاون چینی به-طور کامل هموژنیزه شد. نمونه‌های هموژن‌شده به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس با دور ۱۳۰۰۰ سانتریفیوژ شدند و فاز بالایی جهت اندازه‌گیری صفات جدا گردید. سپس از روش ناکانو و آسادا (Nakano and Asada, 1981) برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و از روش بائوچامپ و فریدوویچ (Beauchamp and Fridovich, 1971) برای اندازه-گیری میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بهره گرفته شد. تعیین میزان پروتئین‌های محلول به روش برادفورد (Bradford, 1976) انجام شد. مبنای روش فوق، اتصال رنگ کوماسی برلیانت بلو G250 موجود در معرف به مولکول پروتئین است و از آلبومین سرم گاوی (BSA) به عنوان استاندارد پروتئین استفاده شد. اندازه-گیری نشت یونی طبق روش تاملا و همکاران (Tammela *et al*., 2005) صورت گرفت.

اندازه‌گیری شاخص‌های جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی: برای انجام آزمایش ابتدا پتری‌دیش‌های[1] ۹ سانتی‌متری به‌منظور جلوگیری از آلودگی شسته شده و در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۱۵ دقیقه اتوکلاو شدند. سپس تعداد ۵۰ بذر در هر پتری‌دیش که در کف آن یک عدد کاغذ صافی قرار داده شد بود، کشت شدند. به پتری‌دیش‌ها مقدار ۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید. در نهایت پتری‌دیش‌ها به ژرمیناتور که در دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۲±۶۵ درصد تنظیم شده بود انتقال یافتند. در طول اجرای آزمایش، شمارش بذور جوانه‌زده به‌طور روزانه و در ساعت معینی انجام شد و بذوری که ریشه‌چه آن‌ها قابل رویت و به ۲ میلی‌متر رسیده بودند به‌عنوان بذور جوانه‌زده شمارش شدند. شمارش تا روز هفتم ادامه یافت و بعد از این مدت تمامی گیاهچه‌های موجود در هر پتری‌دیش، برداشت شدند و طول ساقه‌چه و ریشه‌چه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شدند. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه ۱ استفاده شد (Agrawal, 1991).

$$PG = (Ni / Nt) \times 100 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

PG درصد جوانه‌زنی، Ni تعداد بذور جوانه‌زده تا روز i ام، Nt تعداد کل بذر

برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۲ استفاده شد (Maguire, 1962; ISTA, 2003)

$$GR = \Sigma Si / Di \quad \text{(رابطه ۲)}$$

GR سرعت جوانه‌زنی، Si تعداد بذر جوانه‌زده در هر شمارش، Di تعداد روز تا شمارش iام

شاخص بنیه بذر نیز از رابطه شماره ۳ محاسبه گرید (Abdul-Baki and Anderson, 1973)

$$SVI = (PG \times PL) / 100 \quad \text{(رابطه ۳)}$$

SVI شاخص بنیه بذر، PG درصد جوانه‌زنی و PL طول گیاهچه بر حسب سانتی‌متر (مجموع طول ساقه‌چه و ریشه‌چه)

نسبت طولی ساقه‌چه به ریشه‌چه از رابطه ۴ محاسبه شد

$$S/R\ ratio = SL / RL \quad \text{(رابطه ۴)}$$

[1]Petri dish

S/R ratio نسبت طولی ساقه‌چه به ریشه‌چه، SL طول ساقه‌چه بر حسب سانتی‌متر، RL طول ریشه‌چه بر حسب سانتی‌متر

در نهایت برای محاسبات و تجزیه آماری داده‌های بدست‌آمده از نرم‌افزار SAS (Version 8) استفاده شد و مقایسات میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel (Version 10) بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

میزان پروتئین‌های محلول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر میزان پروتئین‌های محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود درحالی‌که اثر متقابل دو تیمار فوق بر صفت یادشده غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین میزان پروتئین‌های محلول در پاسخ به پیری بذر نشان داد که با افزایش مدت زمان پیری از مقدار پروتئین‌های محلول کاسته شد، به‌طوری‌که در اثر پیری ۲ و ۴ روز، مقدار پروتئین‌های محلول به میزان ۱۳/۷ و ۳۶/۸ درصد کاهش یافت (جدول ۲). از دلایل کاهش غلظت پروتئین‌های محلول در اثر شرایط تنش مثل پیری بذر می‌توان به افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین‌ها، کاهش سنتز پروتئین و نیز تجمع اسید آمینه آزاد از جمله پرولین اشاره کرد (Ranjan *et al*., 2001). در راستای نتایج حاصل از این تحقیق، طی بررسی‌های دارابی و همکاران (Darabi *et al*., 2017) بر روی هیبریدهای مختلف ذرت مشخص گردید که میزان پروتئین‌های محلول کاهش معنی‌داری را با افزایش مدت زمان زوال بذر داشت. از سویی یائو و همکاران (Yao *et al*., 2012) و گودرزیان و همکاران (Goodarzian *et al*., 2014) و شیدایی و همکاران (Sheidaei *et al*., 2018) نیز به کاهش محتوای پروتئین‌های محلول در ارقام مختلف نخود، ذرت و سویا در اثر پیری بذر اذعان کرده‌اند.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که هیدروپرایمینگ تأثیر قابل توجهی بر میزان پروتئین‌های محلول داشت به‌طوری‌که از ۶۹/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در بذر خشک (بدون پرایمینگ) به ۸۴/۱ و ۱۰۰/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به‌ترتیب در بذور هیدروپرایمینگ‌شده به‌مدت ۱۲ و ۲۴ ساعت رسید (جدول ۲). بر اساس نتایج حاصل می‌توان دریافت که هیدروپرایمینگ در افزایش کمی و کیفی سنتز پروتئین‌ها مؤثر است. احتمالاً اثرات مثبت پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی گیاهچه بخاطر افزایش متابولیسم پروتئین‌ها و RNA در بذور پرایمینگ‌شده، افزایش سنتز پروتئین در جنین و افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده مواد ذخیره‌ای بذر باشد (Siviritepe and Dourado, 1995; Khan *et al*., 2003). همچنین در این ارتباط بیان شده که پرایمینگ بذر، فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده و آنتی اکسیدانت و غلظت پروتئین‌های محلول در بذر را بهبود بخشید (Afzal *et al*., 2005).

فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر میزان فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در سطح یک درصد معنی‌دار بود، در این بین فقط اثر متقابل پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). نتایج حاصل از اثر متقابل پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر روی میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نشان داد که علیرغم افزایش فعالیت آنزیم یادشده در اثر افزایش مدت زمان هیدروپرایمینگ ولی این روند در تمامی سطوح پیری تغییراتی را داشت به عبارت دیگر با افزایش پیری تسریع‌شده اعمال هیدورپرایمینگ ۱۲ و ۱۴ ساعت نسبت به عدم پرایمینگ سبب افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز شد (شکل ۱ الف). به‌طورکلی در بذور پیرنشده (شاهد) اعمال هیدروپرایمینگ به‌مدت ۲۴ ساعت بیش‌ترین و در بذور پیرشده به‌مدت ۴ روز، عدم هیدروپرایمینگ کم‌ترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز را داشت (شکل ۱ الف). از سویی نتایج مقایسه میانگین مؤید این مطلب بود که با افزایش مدت زمان پیری از میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز کاسته می‌شود به‌طوری‌که در اثر پیری ۲ و ۴ روز، میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از ۱۲۸/۲واحد بر میلی‌گرم پروتئین در بذر بدون پیری (شاهد) به ۱۱۴/۲ و ۸۵/۴ واحد بر میلی‌گرم پروتئین رسید (جدول ۲). کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در اثر پیری بذر به

دلایل مختلفی ممکن است رخ دهد که می‌توان به آسیب دیدن RNA، کاهش سنتز پروتئین‌های سازنده آنزیم‌های فوق (Basra *et al*., 2003) و حتی حمله گونه‌های فعال اکسیژن به آنزیم‌های آنتی اکسیدانن و تخریب آن‌ها اشاره کرد (Bailly *et al*., 2000). مطابق با نتایج این تحقیق دارابی و همکاران (Darabi *et al*., 2017) اظهار کردند که فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت (از جمله آنزیم‌های پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز) در تمام هیبریدهای ذرت در طول زوال بذر کاهش قابل توجهی داشت. همچنین نتایج مشابهی توسط توکل افشاری و همکاران (Tavakol Afshari *et al*., 2009) بر روی کلزا و گودرزیان و همکاران (Goodarzian *et al*., 2014) بر روی ذرت ارائه شده است.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که هیدروپرایمینگ تأثیر قابل توجهی بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز داشت به‌طوری‌که در اثر هیدروپرایمینگ به‌مدت ۱۲ و ۱۴ ساعت افزایش ۱۵/۹ و ۳۱/۸ درصدی در فعالیت آنزیم فوق مشاهده شد (جدول ۲). موفقیت در جوانه‌زنی به عوامل مختلفی بستگی دارد که یکی از آن‌ها، سازوکارهای آنزیمی است که در گیاه به هنگام جوانه‌زنی فعال می‌گردد. هر چه سازوکارهای آنزیمی مرتبط با جوانه‌زنی و همچنین حذف گونه‌های فعال اکسیژن کاراتر باشند به طبع موفقیت در فرآیند جوانه‌زنی قطعی‌تر است

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی تحت تیمارهای پیری بذر و هیدروپرایمینگ در گیاهچه ذرت

Table 1. Analysis of variance (Mean squares) of study traits under aging of seed and hydro-priming treatments in corn seedling

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)			
		میزان پروتئین‌های محلول Soluble proteins contents	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase activity	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase activity	نشت یونی Ion leakage
پیری بذر Aging of seed (AS)	2	3217.1 **	1511.0 **	4280.2 **	0.691 **
هیدروپرایمینگ Hydro-priming(H)	2	2162.8 **	833.4 **	2017.5 **	0.308 **
AS×H	4	10.9 ns	74.1 **	43.9 ns	0.023 **
خطا Error	18	6.52	13.4	28.3	0.0001
ضریب تغییرات CV (%)		4.03	5.31	5.87	0.31

ادامه جدول ۱

The Continue of the table 1

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)					
		طول ساقه‌چه Plumule length	طول ریشه‌چه Radicle length	نسبت طولی ساقه‌چه به ریشه‌چه Ratio of plumule to radicle	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	شاخص بنیه بذر Seed vigor index
پیری بذر Aging of seed (AS)	2	102.0 **	157.3 **	0.0035 ns	5766.3 **	41.1 **	18532855.1**
هیدروپرایمینگ Hydro-priming (H)	2	75.3 **	89.9 **	0.0004 ns	553.4 **	24.6 **	4337020.8**
AS×H	4	0.369 ns	0.850 ns	0.0038 ns	75.9 **	1.43 **	20406.4 ns
خطا Error	18	0.361	0.583	0.0029	7.61	0.100	20797.0
ضریب تغییرات CV (%)		3.40	4.86	6.95	4.91	2.06	5.14

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **, non-significant and significant at the 5 and 1% levels of probability, respectively

مطابق با نتایج این مطالعه، یونسی و همکاران (Younesi *et al*., 2014) گزارش کردند که تیمار بذر ارزن با آب (هیدروپرایمینگ به‌مدت ۲۴ ساعت) سبب افزایش فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانت کاتالاز در شرایط پیری و عدم پیری بذر می‌شود. از سویی نجفی و همکاران (Najafi *et al*., 2016) طی مطالعات خود بر روی کلزا بیان کردند که پیش‌تیمار آبی موجب بهبود اثرات ناشی از فرسودگی بذر بر فعالیت آنزیم پراکسیداز شد. احتمالاً

پرایمینگ به‌عنوان یک محرک عمل می‌کند که یکسری از مؤلفه‌ها را که در نهایت به فعالیت بهتر آنزیم‌های آنتی اکسیدانت ختم می‌شود، بهبود می‌بخشد.

نشت یونی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مشخص گردید که اثرت ساده و متقابل پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر میزان نشت یونی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج اثر متقابل پیری بذر در هیدروپرایمینگ نشان داد که در تمامی سطوح پیری تسریع‌شده با افزایش مدت زمان هیدروپرایمینگ‌کردن بذور از میزان نشت یونی کاسته شد ولی این تغییرات متفاوت بود (شکل ۱ ب).

به‌طورکلی در بذور پیرشده به‌مدت ۴ روز، عدم هیدروپرایمینگ بیش‌ترین میزان نشت یونی را به خود اختصاص داد و در تیمار عدم پیری اعمال ۲۴ ساعت هیدروپرایمینگ کم‌ترین میزان صفت فوق را داشت (شکل ۱ ب). به نظر می‌رسد که هیدروپرایمینگ باعث شده که غشاءهای سلولی سریع‌تر خود را در برابر خسارات ناشی از پیری، بازیابی کنند.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر ساده پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر میزان پروتئین‌های محلول، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر ذرت

Table 2. Mean comparison of the effect of aging of seed and hydro-priming on soluble proteins contents, superoxide dismutase activity, plumule length, radicle length and seed vigor index of corn

تیمارهای آزمایشی Treatments		میزان پروتئین‌های محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Soluble proteins contents (mg/g FW)	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) Superoxide dismutase activity (U/mg protein)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Plumule length (cm)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	شاخص بنیه بذر Seed vigor index
پیری بذر (روز) Aging of seed (days)						
صفر (شاهد) 0 (control)		101.5 a	128.2 a	21.0 a	23.7 a	4228.8 a
۲	2	87.6 b	114.2 b	17.9 b	20.2 b	2823.9 b
۲	4	64.1 c	85.4 c	14.2 c	15.4 c	1359.0 c
مدت زمان هیدروپرایمینگ (ساعت) Hydro-priming (hours)						
صفر (بدون پرایمینگ) 0 (non-priming)		69.1 c	94.3 c	14.9 c	16.8 c	2144.1 c
۱۲	12	84.1 b	109.3 b	17.5 b	19.5 b	2739.6 b
۲۴	24	100.1 a	124.3 a	20.7 a	23.1 a	3528.0 a

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means with the same letters in each column do not have a significant difference in the probability level of 5% according to Duncan's Multiple Range test.

احتمالاً در پی پیری بذر، میزان تولید گونه‌های فعال اکسیژن نسبت به جمع‌آوری و حذف آن‌ها توسط سیستم دفاعی آنزیمی (مانند کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و غیره) و غیرآنزیمی (مانند فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها و غیره) افزایش می‌یابد که در پی آن تجمع رادیکال‌های آزاد صورت گرفته و موجب تخریب غشاء سلولی می‌شوند، این حالت باعث افزایش قابلیت نفوذپذیری غشاء سلولی شده و میزان نشت یونی از سیتوسول افزایش پیدا می‌کند که پیامد نهایی آن مرگ سلول است. در این مورد دارابی و همکاران (Darabi *et al*., 2017) گزارش کردند که در تمامی هیبریدهای ذرت (زودرس تا دیررس) با افزایش زمان پیری، میزان نشت یونی افزایش یافت. در مطالعات مختلف مشخص شده است که در اثر زوال بذر نشت یونی افزایش می‌یابد که این امر با کاهش توانایی بذر برای جوانه‌زنی همراه است (Pukacka and Ratajczak, 2005; Kibinza *et al*., 2006; Sadrabadi Haghighi, 2014; Goodarzian *et al*., 2014; Sheidaei *et al*., 2018).

طول ساقه‌چه و ریشه‌چه

طبق نتایج تجزیه واریانس اثر ساده پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر متقابل پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر صفات فوق معنی‌دار نبود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش پیری بذر از

طول ساقه‌چه و ریشه‌چه کاسته می‌شود (جدول ۲). به طوری‌که طول ساقه‌چه از ۲۱/۰ سانتی‌متر در شرایط شاهد (بدون پیری) به ۱۷/۹ و ۱۴/۲ سانتی‌متر در شرایط پیری بذر به مدت ۲ و ۴ روز رسید (جدول ۲). همچنین روند مشابهی در مورد طول ریشه‌چه مشاهده شد به‌طوری که طول ریشه‌چه از ۲۳/۷ سانتی‌متر در شرایط شاهد (بدون پیری) به ۲۰/۲ و ۱۵/۴ سانتی‌متر در شرایط پیری بذر به‌مدت ۲ و ۴ روز تنزل یافت (جدول ۲). طول گیاهچه (مجموع طول ساقه‌چه و ریشه‌چه) معیاری از بنیه بذر بوده و همبستگی قابل‌توجهی بین طول گیاهچه و بنیه بذر گزارش شده است، پس ارزیابی این شاخص در سنجش بنیه بذر مؤثر است (Ahmadi and Masoudi, 2017). یکی از اثرات پیری زودرس تخریب پروتئین‌ها، آسیب‌دیدن غشاء سلولی و مختل شدن فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده و آنزیم‌های آنتی اکسیدانت است.

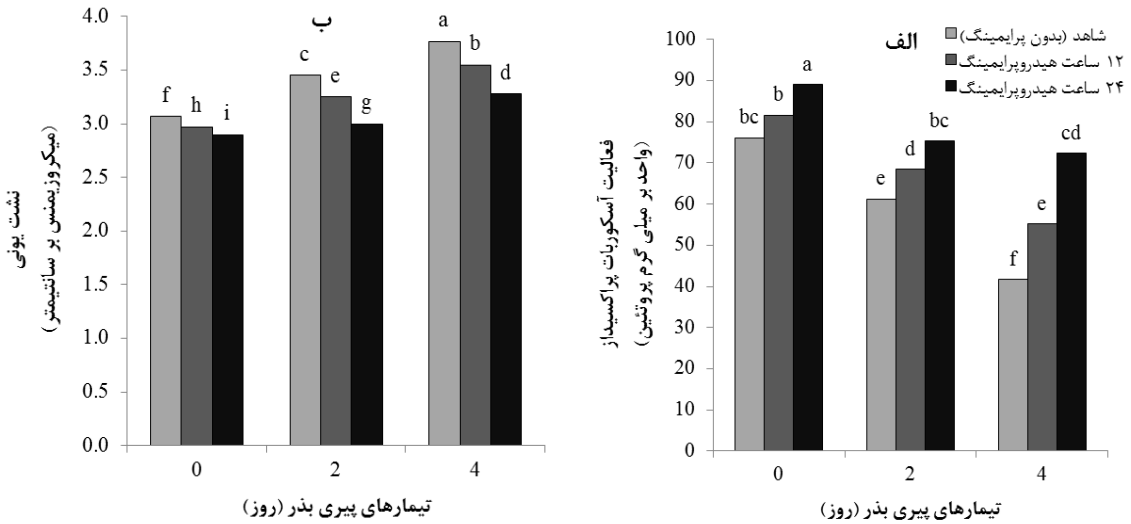
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی ذرت

Table 3. Mean comparison of interactions between aging of seed and hydro-priming on germination percent and germination rate of corn

تیمارهای آزمایشی Treatments		درصد جوانه‌زنی (درصد) Germination percentage (%)			سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (seed per day)		
Aging of seed (days)	پیری بذر (روز)	مدت زمان هیدروپرایمینگ (ساعت) Hydro-priming (hours)			مدت زمان هیدروپرایمینگ (ساعت) Hydro-priming (hours)		
		صفر (بدون پرایمینگ) 0 (non-priming)	۱۲ 12	۲۴ 24	صفر (بدون پرایمینگ) 0 (non-priming)	۱۲ 12	۲۴ 24
0 (control)	صفر (شاهد)	90.6 b	95.7 a	97.0 a	15.7 c	17.1 b	20.0 a
2	۲	66.7 e	72.0 d	81.4 c	13.3 f	14.9 d	17.0 b
4	۴	31.4 h	43.4 g	57.3 f	12.5 g	13.3 f	14.3 e

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means with the same letters in each column do not have a significant difference in the probability level of 5% according to Duncan's Multiple Range test.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز (الف) و نشت یونی از غشاء (ب) ذرت. میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 1. Mean comparison of interactions between aging of seed and hydro-priming on ascorbate peroxidase activity (A) and ion leakage (B) of corn. The means with the same letters in each column do not have a significant difference in the probability level of 5% according to Duncan's Multiple Range test.

در نتیجه فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیک طی جوانه‌زنی تحت تأثیر قرار می‌گیرد که این امر سبب کاهش میزان جوانه‌زنی و کاهش طول و بیوماس گیاهچه‌های حاصل از بذور فرسوده می‌گردد (Bayat and Rabiee, 2006; Khoshkharam *et al*., 2010; Goodarzian *et al*., 2014).

نتایج مقایسه میانگین نشانگر این مطلب بود که با افزایش مدت زمان هیدوپرایمینگ بذور ذرت بر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه حاصل از این بذور افزوده می‌شود. به‌طوری‌که در اثر هیدروپرایمینگ به‌مدت ۱۲ ساعت، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به‌ترتیب در حدود ۱۷/۴ و ۱۶/۱ درصد افزایش یافت و این درحالی بود که در اثر هیدروپرایمینگ به‌مدت ۲۴ ساعت تقریباً ۳۸/۹ و ۳۷/۵ درصد بر طول ساقه‌چه و ریشه‌چه نسبت بذر خشک (بدون پرایمینگ) افزوده شد (جدول ۲). بر اساس نتایج حاصل می‌توان بیان کرد که اثر هیدروپرایمینگ (در هر دو مدت زمان ۱۲ و ۲۴ ساعت) بر طول ساقه‌چه بیش‌تر از طول ریشه‌چه است (جدول ۲).

احتمالاً پرایمینگ سبب تسریع فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت شده که پیامد آن کاهش خسارت ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن بر بیومولکول‌هاست و همچنین ممکن است پرایمینگ سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده اندوخته بذری از جمله آمیلاز و پروتئاز شده است که پیامد آن شکسته‌شدن مؤثر ماکرو مولکول‌ها (نشاسته) به مولکول‌های کوچک (گلوکز) مورد نیاز برای ساختن قسمت‌های مختلف رویان مثل ساقه‌چه و ریشه‌چه است و از این طریق هیدروپرایمینگ به‌عنوان یکی از روش‌های پرایمینگ سبب افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در این آزمایش شده است. در این ارتباط، افزایش ساختار گیاهچه و سرعت رشد بیش‌تر به فعالیت آنزیم‌های آمیلاز، اینورتاز، ساکارز سنتتاز و ساکارز فسفات سنتتاز در ساقه‌چه و همچنین ساکارز سنتتاز و اینورتاز در ریشه‌چه بذور هیدروپرایمینگ شده نسبت داده شده است (Kaur *et al*., 2002; Kaur *et al*., 2005). از طرفی بیان شده که پرایمینگ باعث افزایش سطح انرژی زیستی[1]، افزایش سنتز RNA و DNA، افزایش تعداد و عملکرد میتوکندری‌ها می‌گردد که این امر سبب افزایش میزان جوانه‌زنی بذور و جثه گیاهچه در شرایط نامناسب محیطی می‌شود (Demir Kaya *et al*., 2006). بسیاری از محققین اثرات مثبت پرایمینگ را بر جوانه‌زنی گیاهان مختلف از جمله آفتابگردان (Demir Kaya *e al*., 2006)، رازیانه (Abdoli, 2014) و سویا (Abdoli and Rasaei, 2018) گزارش کرده‌اند.

درصد جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس مؤید این مطلب بود که اثرات ساده و متقابل پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی نشان داد که در شرایط بدون پیری، اعمال ۱۲ و ۲۴ ساعت هیدروپرایمینگ اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند و بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی را به خود اختصاص دادند. درحالی‌که در پیری بذر به‌مدت ۴ روز، عدم پرایمینگ کم‌ترین میزان درصد جوانه‌زنی را داشت (جدول ۳). به بیان دیگر می‌توان بیان کرد که در شرایط بدون پیری بذر اعمال هیدروپرایمینگ با مدت زمان مختلف (۱۲ و ۲۴ ساعت) تأثیر قابل توجهی بر درصد جوانه‌زنی بذور نداشت ولی با افزایش مدت زمان پیری از ۲ به ۴ روز اعمال هیدروپرایمینگ مخصوصاً ۲۴ ساعت سبب افزایش درصد جوانه‌زنی شد.

مطابق با نتایج این تحقیق یونسی و همکاران (Younesi *et al*., 2014) طی تحقیقات خود بر روی ارزن مرواریدی (*Panucum miliaceum*) گزارش کردند که بالاترین شاخص‌های جوانه‌زنی (شامل درصد جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی، درصد گیاهچه طبیعی و ویگور بذر) در تیمار هیدروپرایمینگ بذر در شرایط بدون پیری بدست آمد. در تحقیق دیگری گزارش شده است که هیدروپرایمینگ باعث افزایش تحمل به شوری بذر لوبیا در مرحله جوانه‌زنی شد و از طرفی افزایش قدرت جوانه‌زنی بذرهای انبارداری‌شده جهت کشت مؤثر گردید (Ghanbari *et al*., 2018). در این ارتباط سایر محققین بر روی آفتابگردان، سویا، ذرت (Mansouri-Far *et al*., 2015; De Figueiredo *et al*., 2003)، پنبه (Barsa *et al*., 2003)، گندم (Soltani *et al*., 2009) و گلرنگ (Khoshkharam *et al*., 2010) گزارش کردند که درصد جوانه‌زنی با افزایش دوره تسریع پیری کاهش پیدا کرد.

همچنین مهاجری و همکاران (Mohajeri *et al*., 2017) اظهار کردند که اعمال پیری زودرس موجب کاهش درصد جوانه‌زنی لوبیا چیتی در مقایسه با شاهد شد ولی پرایمینگ در افزایش میزان جوانه‌زنی بذور نقش مؤثری دارد.

[1]Adenosine triphosphate (ATP)

سرعت جوانه‌زنی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که اثرات ساده و متقابل پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر سرعت جوانه‌زنی نشان داد که در بذور پیرنشده (شاهد) اعمال هیدروپرایمینگ به‌مدت ۲۴ ساعت بیش‌ترین و در بذور پیرشده به‌مدت ۴ روز عدم هیدروپرایمینگ کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی را داشت (جدول ۳).

بر اساس نتایج می‌توان دریافت که با افزایش مدت زمان پیری بذور اثرات هیدروپرایمینگ‌کردن کاهش می‌یابد. در زمان شروع فرآیند جوانه‌زنی بذور پیرشده، بذر برای جبران خسارات وارده به غشاء سلولی و دیگر قسمت‌های گیاه نیاز به زمان قابل توجهی دارد که این امر موجب می‌شود تا این بذور مدت زمان بیش‌تری را نسبت به بذور سالم صرف فرآیند جوانه‌زنی نمایند. از دیگر دلایل کاهش سرعت جوانه‌زنی در بذرهای پیرشده می‌توان به کاهش مصرف مواد ذخیره‌ای و کاهش انتقال مواد غذایی از آندوسپرم به محور رویان اشاره کرد که سبب کاهش رشد محور رویان می‌شود، احتمالاً اعمال تیمارهای پرایمینگ می‌تواند تا حدودی سبب افزایش تجزیه و انتقال مواد ذخیره شده در آندوسپرم به رویان گردد که پیامد آن افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی است. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al*., 2011) گزارش کردند که پیری بذر سبب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود و ارتباط معنی‌داری بین کیفیت و طول عمر بذر (انبارداری) وجود دارد. افزایش مدت زمان جوانه‌زنی (یا به‌عبارتی کاهش سرعت جوانه‌زنی) در تحقیقات دیگر پژوهشگران در بذور فرسوده نخود (Sadrabadi Haghighi, 2014) و ذرت (Mansouri-Far *et al*., 2015) گزارش شده است.

شاخص بنیه بذر

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده پیری بذر و هیدروپرایمینگ بر شاخص بنیه بذر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی اثرات متقابل تیمارهای فوق بر شاخص یادشده غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که در اثر پیری بذر، شاخص بنیه بذر تنزل یافت به‌طوری‌که در اثر پیری ۲ و ۴ روز به‌ترتیب به‌میزان ۳۳/۲ و ۶۷/۹ درصد نسبت به بذر شاهد (بدون پیری) کاهش یافت (جدول ۲). احتمالاً پیری و زوال بذر (پیری تسریع‌شده) سبب افزایش تواید گونه‌های فعال اکسیژن شده که منجر به افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و تخریب غشاء سلولی می‌گردد، در نتیجه یکپارچگی غشاء سلولی از بین می‌رود و میزان نشت یونی از درون سلول افزایش می‌یابد و از طرفی سبب اختلال در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت (Darabi *et al*., 2017) و آنزیم‌های کلیدی تجزیه‌کننده ذخایر بذر می‌شود که پیامد نهایی آن کاهش توان جوانه‌زنی و بنیه بذر است (Copeland and McDonald, 1985; Basra *et al*., 2003). در این تحقیق، کاهش شاخص بنیه بذر ناشی از کاهش عوامل مؤثر در آن یعنی درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه است که هر دو صفت فوق در شرایط پیری بذر تنزل می‌یابند. مطابق با نتایج این مطالعه، جهانبخشی و همکاران (Jahanbakhshi *et al*., 2012) و نهفته استرآباد و همکاران (Nahofte Esterabad *et al*., 2016) طی بررسی‌های خود به‌ترتیب بر روی ماش و ذرت گزارش کردند که قوه نامیه بذر تحت تأثیر فرسودگی بذر قرار گرفت و به‌شدت کاهش پیدا کرد.

بر اساس نتایج حاصل مشخص شد که در اثر پرایمینگ‌کردن بذور ذرت با آب بر شاخص بنیه بذر افزوده شد به‌طوری‌که در اثر هیدروپرایمینگ‌کردن به‌مدت ۱۲ و ۲۴ ساعت به‌میزان ۲۷/۸ و ۶۴/۵ درصد بر شاخص بنیه بذر افزوده شد (جدول ۲). در این ارتباط صدرآبادی حقیقی (Sadrabadi Haghighi, 2014) اظهار نمود که در پیش‌تیمارهای مختلف، فقط هیدروپرایمینگ باعث بهبود خصوصیات جوانه‌زنی بذر نخود فرنگی در تمام تیمارهای پیری تسریع‌شده شد. گزارشات مختلفی حاکی از آن است که استفاده از تیمارهای مختلف بذری سبب افزایش پارامترهای مرتبط با جوانه‌زنی می‌شود (Abdoli, 2014; Ansari and Sharif Zadeh, 2012; Abdoli and Rasaei, 2018).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که پیری بذر سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت، محتوای پروتئین‌های محلول، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر شد و با افزایش مدت زمان پیری از ۲ به ۴ روز

صفات فوق به‌شدت کاهش می‌یابند. از طرفی هیدروپرایمینگ‌کردن بذور به‌مدت ۱۲ ساعت سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر می‌گردد این درحالی است که با افزایش هیدروپرایمینگ به ۲۴ ساعت میزان صفات یادشده با شدت بیش‌تری افزایش می‌یابد. همچنین مشخص گردید که در بذور پیرنشده (شاهد) اعمال هیدروپرایمینگ به‌مدت ۲۴ ساعت بیش‌ترین و در بذور پیرشده (به‌مدت ۴ روز) عدم هیدروپرایمینگ کم‌ترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را دارند. با توجه به نتایج حاصل می‌توان بیان کرد که هیدروپرایمینگ (مخصوصاً به‌مدت ۲۴ ساعت) می‌تواند برخی از اثرات مخرب و جزئی که طی فرسودگی بذر رخ می‌دهند را برطرف کند ولی اگر میزان پیری به‌شدت زیاد باشد از کارایی هیدروپرایمینگ کاسته می‌شود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مسئولین دانشگاه مراغه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Abdoli, M. 2014. Effect of seed priming on seed dormancy, vigor and seedling characteristics of fennel (*Foeniculum vulgare* L.). Acta Advances in Agricultural Sciences, 2(8): 18-24. **(Journal)**

Abdoli, M. and Rasaei, B. 2018. The effects of hydro-priming and osmo-priming using nitrate salts on germination indices of soybean seedling (*Glycine max* L.). Journal of Seed Research, 7(4): 11-22. (In Persian)**(Journal)**

Abdul-Baki, A.A. and AndersonJ.D. 1973. Vigor determination in soybean by multiple criteria. Crop Science, 13: 630-633. **(Journal)**

Afzal, I., Basra, S.M.A., Ahmad, N. and Farooq, M. 2005. Optimization of hormonal priming techniques for alleviation of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). Caderno de Pesquisa série Biologia, 17(1): 95-109. **(Journal)**

Agrawal, R.L. 1991. Seed Technology. Oxford and IBH, Publishing. 258 p. **(Book)**

Ahmadi, M. and Masoudi, B. 2017. Investigation of accelerated aging on germination and growing of sesame (*Sesamum indicum* L.) seedlings varieties. Code: ICANC-2/211, 2nd National Congress of Healthy Agriculture, Nutrition, Society. Tehran. 1-10 p. (In Persian)**(Conference)**

Ansari, O. and Sharif Zadeh, F. 2012. Slow moisture content reduction (SMCR) can improve some seed germination indexes in primed seeds of Mountain Rye (*Secale montanum*) under accelerated aging conditions. Journal of Seed Research, 2(2): 68-76. (In Persian)**(Journal)**

Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F. and Côme, D. 2000. Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. Seed Science Research, 10(1): 35-42. **(Journal)**

Basra, S.M.A., Ahmad, N., Khan, M.M., Iqbal, N. and Cheema, M.A. 2003. Assessment of cotton seed deterioration during accelerated ageing. Seed Science and Technology, 31(3): 531-540. **(Journal)**

Bayat, M. and Rabiee, B. 2006. The effect of cold stress and aging on the components germination and seedling growth of five Rapeseed. Journal of Agricultural Science and Natural Resources, 2(7): 46-57. (In Persian)**(Journal)**

Beauchamp, C. and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutases: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry, 44(1): 276-287. **(Journal)**

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72(1-2): 248-254. **(Journal)**

Copeland, L.O. and Mcdonald, M.B. 1985. The Chemistry of seeds. In Principles of seed science and technology, 2nd Ed., Macmillan Publ. Company, Macmillan. INS, New York. **(Book)**

Darabi, F., Valipour, M., Naseri, R. and 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. (In Persian)**(Journal)**

De Figueiredo, E., Albuquerque, M.C. and De Carvalho, N.M. 2003. Effect of the type of environmental stress on the emergence of sunflower (*Hellianthus annns* L.), soybean (*Glycine max*

L.) and maize (*Zea mays* L.) seeds with different levels of vigor. Seed Science and Technology, 31: 465-479. **(Journal)**

Demir Kaya, M., Dietz, K.J. and Sivritepe, H.O. 2010. Changes in antioxidant enzymes during ageing of onion seeds. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 38(1): 49-52. **(Journal)**

Demir Kaya, M., Okçu, G., Atak, M., Çikili, Y. and Kolsarici, Ö. 2006. Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). European Journal of Agronomy, 24(4): 291-295. **(Journal)**

Ghanbari, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mokhtassi Bidgoli, A. and Talebi-Siah Saran, P. 2018. Effect of hydropriming and seed aging on seed germination and biochemical characteristics of pinto bean (*Phaseolus vulgaris*) seed under salt stress. Iranian Journal of Seed Research, 4(2): 37-55. (In Persian)**(Journal)**

Goodarzian, M., Ghasemi, E., Mansouri-Far, C., Saeidi, M. and Heidari, Z. 2014. The effect of accelerated aging on germination indices and activity of antioxidant enzymes in different hybrids of maize embryos. Journal of Seed Research, 4(2): 38-44. (In Persian)**(Journal)**

ISTA. 2003. Handbook for Seedling Evaluation. 3rd edition, International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland. 223 p. **(Handbook)**

Jahanbakhshi, A., Ebdali, A., Sharafizadeh, M. and Habibi Khaneyani, B. 2012. Osmo-priming effects on germination and yield of the vetch under exhaustion. Journal of Crop Physiology, 4(16): 19-32. (In Persian)**(Journal)**

Janmohammadi, M., Fallahnezhad, Y., Golshan, M. and Mohammadi, H. 2008. Controlled ageing for storability assessment and predicting seedling early growth of canola cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of Agricultural and Biological Science, 3(5-6): 22-26. **(Journal)**

Kaur, S., Gupta, A.K. and Kaur, N. 2002. Effect of osmo- and hydropriming of chickpea seeds on seedling growth and carbohydrate metabolism under water deficit stress. Plant Growth Regulation, 37(1): 17- 22. **(Journal)**

Kaur, S., Gupta, A.K. and Kaur, N. 2005. Seed priming increases crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea. Journal of Agronomy and Crop Science, 191: 81-87. **(Journal)**

Khan, M., Qasim, M., Javid Iqbal, M., Naeem, A. and Abbas, M. 2003. Effect of seed humidification on germinability, vigor and leakage in Cockscom (*Celosia argentea* L.). International Journal of Agriculture and Biology, 5: 499-503. **(Journal)**

Khoshkharam, M., Shahrajabeyan, M. Soleimani, A. and Fathi, G. 2010. Burnout effect on seed germination and seedling growth components two safflower varieties. 5th National Conference of New Ideas in Agriculture. Khorasgan-Islamic Azad University, Khorasgan Branch. Iran. pp: 1-3. (In Persian)**(Conference)**

Kibinza, S., Vinel, D., Côme, D., Bailly, C. and Corbineau, F. 2006. Sunflower seed deterioration as related to moisture content during ageing, energy metabolism and active oxygen species scavenging. Physiologia Plantarum, 128(3): 496-506. **(Journal)**

Maguire, J.D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science, 2: 176-177. **(Journal)**

Mansouri-Far, C., Goodarzian-Ghahfarokhi, M., Saeidi, M. and Abdoli, M. 2015. Antioxidant enzyme activity and germination characteristics of different maize hybrid seeds during ageing. Environmental and Experimental Biology, 13: 177-182. **(Journal)**

McDonald, M.B. 1999. Seed determination: physiology, repair and assessment. Seed Science and Technology, 27: 177-237. **(Journal)**

McDonough, C.M., Floyd, C.D., Waniska, R.D. and Rooney, L.W. 2004. Effect of accelerated aging on maize, sorghum, and sorghum meal. Journal of Cereal Science, 39(3): 351- 361. **(Journal)**

Mohajeri, F., Ramroudi, M., Taghvaei, M. and Galavi, M. 2017. The effect of accelerated aging on seed germination traits produced from treated mother plant in three bean cultivars. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 6(1): 101-112. (In Persian)**(Journal)**

Mohamadzadeh, A., Majnonhoseini, N., Ghafari, M., Asadi, S., Dosti, A. and Khavazi, K. 2012. Effect of aging on germination of seeds and bacteria growth and yield of two cultivars of red Lvyba (*Pharsalus vulgaris* L). Iranian Journal of Crop Sciences, 43(4): 589-600. (In Persian)**(Journal)**

Mohammadi, H., Soltani, A., Sadeghipour, H.R. and Zeinali, E. 2011. Effect of seed aging on subsequent seed reserve utilization and seedling growth in soybean. International Journal of Plant Production, 5(1): 65-70. **(Journal)**

Nahofte Esterabad, A., Rahemi Karizaki, A. and Nakhzari Moghadam, A. 2016. Effect of seed deterioration on germination parameters and growth seedling of two maize varieties. Iranian Journal of Seed Science and Research, 3(2): 1-11. (In Persian)**(Journal)**

Najafi, G., Khomari, S. and Javadi, A. 2016. The response of rapeseed seed germination to seed vigor and hydro-priming changes. Journal of Seed Research, 5(4): 54-70. (In Persian)**(Journal)**

Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology, 22(5): 867-880. **(Journal)**

Pukacka, S. and Ratajczak, E. 2005. Production and scavenging of reactive oxygen species in Fagussylvatica seeds during storage at varied temperature and humidity. Journal of Plant Physiology, 162: 873-885. **(Journal)**

Ranjan, R., Bohra, S.P. and Jeet, A.M. 2001. Book of Plant Senescence. Jodhpur, Agrobios New York. pp. 18-42. **(Book)**

Sadrabadi Haghighi, R. 2014. Effects of accelerated aging and acid scarification of seed coat with hydrochloric acid on seed germination characteristics of chickpea c.v. Kaka. Journal of Crop Ecophysiology, 7(4): 485-498. (In Persian)**(Journal)**

Seiadat, S.A., Moosavi, A. and Sharafizadeh, M. 2012. Effect of seed priming on antioxidant activity and germination characteristics of Maize seeds under different aging treatments. Research Journals of Seed Science, 5(2):51-62. **(Journal)**

Sheidaei, S., Heidari Sharisabad, H., Hamidi, A., Noormohammadi, G. and Moghaddam, A. 2018. Impact of storage period of soybean seed on lipids peroxidation, soluble sugars, protein, electrical conductivity, quality characteristics and seedling emergence. Iranian Journal of Seed Science and Research, 5(4): 46-60. (In Persian)**(Journal)**

Siviritepe, H.O. and Dourado, A.M. 1995. The effects of priming treatments on the viability and accumulation of chromosomal damage in aged pea seeds. Annual Botany, 75: 165-171. **(Journal)**

Soltani, A., Kamkar, B. Ghaleshi, S. and Ghaderi, F. 2009. Deterioration effect on seed germination of wheat in response to environmental stresses. Electronic Journal of Crop Production, 2(2): 43-58. (In Persian)**(Journal)**

Tammela, P., Vaananen, P.S., Lakso, I., Hopia, A., Vourela, H. and Nygrem, M. 2005. Tocopherols, tocoterienols and fatty acids as indicators of natural ageing in *Pinus syluestris* seeds. Scandinavian Journal of Forest Research, 20(5): 378-384. **(Journal)**

Tavakol Afshari, R.S., Rashidi, S. and Alizadeh, H. 2009. Effects of seed aging on germination characteristics and on catalase and peroxidase activities in two canola cultivars (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crop Science, 40: 125-133. (In Persian)**(Journal)**

Yao, Z., Liu, L., Gao, F. and Rampitschi, C. 2012. Development and seed aging mediated regulation of antioxidative genes and differential expression of proteins during pre and post-germinative phases in pea. Journal of Plant Physiology, 169: 1477-1488. **(Journal)**

Younesi, E., Bahari, A.A., Azadi, M.S. and Ansari, O. 2014. The effect of hydropriming and accelerated aging on germination indexes and catalase enzyme in pearl millet (*Panicum miliaceum*). Journal of Seed Research, 3(4): 61-70. (In Persian)**(Journal)**

Effect of aging of seed and hydro-priming on germination characteristics and activity of some antioxidant enzymes of hybrid corn (*Zea mays* L.)

Majid Abdoli*

Received: January 16, 2019 Accepted: March 13, 2019

Abstract

In order to investigate the effects of accelerated aging and hydro-priming of seed on germination and growth characteristics of corn seedling (cv. single cross 701), a factorial experiment was conducted based on completely randomized design with three replications in the research laboratory of University of Maragheh, Iran in 2015 year. Factors included three level of accelerated aging of seed (zero (control) and 2 and 4 days) and three level of pre-treatment of seed (Non-priming and hydro-priming for a period of 12 and 24 hours). The results of analysis of variance (ANOVA) showed that the simple effect of aging of seed and hydro-priming on all studied traits was significant at 1% probability level, but only the interaction of aging of seed and hydro-priming was significant on ascorbate peroxidase activity, electrolyte leakage rate, germination percent and germination rate. Simple and interaction effects of aging of seed and hydro-priming on the ratio of plumule to radicle were non-significant. The results of the mean comparison showed that all of the traits were reduced due to aging of seed. The soluble proteins contents, superoxide dismutase activity, plumule length, radicle length and seed vigor index due to seed aging of 2 days were 13.7, 10.9, 14.8, 14.8 and 33.2%, respectively, and due to seed aging of 4 days, they decreased by 36.8, 33.4, 32.4, 35.0 and 67.9%, respectively, relative to the control (without aging of seed). The results indicated that by increasing the duration of the hydro-priming of seeds from 12 to 24 hours, the soluble proteins contents, superoxide dismutase activity, plumule length, radicle length and seed vigor index were increased. Based on the results of interaction effects it was found that in the non-aged seed (control) applying hydro-priming for 24 hours was the highest and in the aged seeds (for 4 days), no hydro-priming had the least ascorbate peroxidase activity and percentage and germination rate. According to the results of this research, it can be stated that hydro-priming (especially for 24 hours) can decrease some of the destructive and minor effects of seed aging, and this technique can be used for reduction of the damage caused by the aging of corn seeds.

Key words: Accelerated aging; Corn; Seedling length; Seed pre-treatment; Seed vigor

How to cite this article

Abdoli, M. 2020. Effect of aging of seed and hydro-priming on germination characteristics and activity of some antioxidant enzymes of hybrid corn (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Seed Science and Research, 7(2): 147-159. (In Persian)**(Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2020.4543

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

Ph.D. of Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

*Corresponding author: majid.abdoli64@yahoo.com