علوم و تحقیقات بذر ایران
سال دهم/ شماره اول/ ۱۴۰۲ (۸۱ - ۶۷)

مقاله پژوهشی

DOI: 10.22124/jms.2023.23130.1726
DOR: 20.1001.1.24763780.1402.10.1.6.9

اثر پرایمینگ و فرسودگی بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت برخی آنزیم‌های هیدرولیتیک و چرخه گلی‌اکسیلات در ذرت (*Zea mays* L.)

هانیه سعادت[1*]، محمد صدقی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۳

چکیده

به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ و فرسودگی بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت برخی آنزیم‌های هیدرولیتیک و چرخه گلی‌اکسیلات در گیاهچه ذرت آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل تیمار پیری تسریع شده در سه سطح (صفر، ۱۱ و ۱۳روز) و پرایمینگ در چهار سطح (شاهد، هیدرو پرایمینگ، پرایمینگ با اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی‌مولار) و جیبرلین (۲۰ میلی‌مولار)) بود. نتایج نشان داد که فرسودگی شاخص‌های جوانه‌زنی شامل درصدجوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، ضریب جوانه‌زنی و ارزش جوانه‌زنی را کاهش داد، ولی پرایمینگ با اسیدسالیسیلیک، هیدرو به‌ویژه جیبرلین این صفات را بهبود بخشید. کمترین سرعت جوانه‌زنی روزانه و میانگین مدت جوانه‌زنی در هیدروپرایمینگ، پرایمینگ با اسیدسالیسیلیک مخصوصا پرایمینگ با جیبرلین و بدون فرسودگی حاصل شد. فعالیت آنزیم‌های آلفا آمیلاز و مالات سنتاز در تیمار جیبرلین و بدون فرسودگی نسبت به شاهد به ترتیب با ۷۱ درصد و ۲۶ درصد افزایش نشان دادند. بیش‌ترین فعالیت آنزیم لیپاز در تیمار جیبرلین (۷۳/۴۱ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) حاصل گردید. همچنین، فرسودگی باعث کاهش فعالیت آنزیم لیپاز شد. درکل، استفاده از پیش‌تیمار جیبرلین موجب تقویت شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت برخی آنزیم‌های هیدرولیتیک و چرخه گلی‌اکسیلات بذرهای فرسوده ذرت شد و رشد گیاهچه را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: آمیلاز، پرایمینگ، شاخص‌های جوانه‌زنی، فرسودگی، لیپاز، مالات سنتاز

۱- دانشجوی دکترای تخصصی اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران t.saadat2020@uma.ac.ir
۲- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران m_sedghi@uma.ac.ir
* نویسنده مسئول: t.saadat2020@uma.ac.ir

مقدمه

فرسودگی بذر، از دست دادن کیفیت فیزیولوژیکی و مرگ بذر در اثر عوامل نامطلوب محیطی مانند بالا بودن دما، رطوبت و فشار اکسیژن محیط نگهداری بذر است (Kapoor *et al*., 2010). فرسودگی باعث اختلال در یکپارچگی غشای سلول، نشت مواد از سلول، کاهش انرژی سوخت و ساز، تخریب ساختار DNA و RNA می‌شود که اثرات منفی روی بذر دارد (Jyoti and Malik, 2013) و بروز این پدیده باعث کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی از جمله درصد و سرعت جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی گیاهچه می‌شود (Asadi Aghblaghi *et al*., 2014; Santos *et al*., 2021; Darabi *et al*., 2017; Baharvand *et al*., 2017; Hampton, 2003; Hajiabbasi *et al*., 2021). با افزایش در شدت فرسودگی بذور، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بذر کاهش نشان دادند (Darabi et al., 2017; Baharvand et al., 2017; Hajiabbasi et al., 2021). همچنین، فرسودگی باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های لیپاز، آمیلاز و مالات سنتاز می‌شود (Zhan *et al*., 2014; Khatami *et al*., 2019).

پرایمینگ بذر روشی مقرون به صرفه و کم خطر جهت بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه از طریق القای فعالیت متابولیک پیش از جوانه‌زنی بوده که می‌توان در کاهش آثار منفی فرسودگی بذور، مفید باشد (Migahid *et al*., 2019; Subramanyam *et al*., 2019). علت تسریع جوانه‌زنی در بذور پرایم شده ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده مانند آلفاآمیلاز، بتاآمیلاز و تجزیه کننده‌های چربی مانند ایزوسیترات لیاز، افزایش سطح شارژ انرژی زیستی در قالب افزایش مقدار ATP، افزایش سنتز DNA و RNA، افزایش تعداد و در عین حال ارتقای عملکرد میتوکندری‌ها و افزایش شاخص‌های رشد مانند طول گیاهچه، بهبود رشد، بنیه گیاهچه گزارش شده است (Afzal *et al*., 2004; Armin et al., 2010; Namdari and Sharifzadeh, 2018; khoshvagti, 2019; Abdoli, 2020). تاثیر مثبت پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی، درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت جوانه‌زنی روزانه، سرعت جوانه‌زنی روزانه، ضریب جوانه‌زنی در گیاهچه کینوا، ذرت، نخود و برنج (Abdoli, 2020; Gholami and Dehghi, 2022; Hussein, 2017; Zheng *et al*., 2016; Singh *et al*., 2016; Siyadat et al., 2011) توسط محققین مختلف گزارش شده است. نتایج تحقیق سعادت و همکاران (Saadat *et al*., 2020b; Saadat *et al*., 2019) بر لوبیا در پرایمینگ با جیبرلین و اسید سالیسیلیک و آب مقطر نشان داد که فرسودگی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه و طول گیاهچه را کاهش داد، ولی پرایمینگ به‌ویژه پرایمینگ با جیبرلین این صفات را بهبود بخشید. سعادت و همکاران (Saadat *et al*., 2019) گزارش کردند که فرسودگی موجب کاهش فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز شد، ولی انواع پرایمینگ شامل آب مقطر، جیبرلین و اسید سالیسیلیک فعالیت این آنزیم را در برنج افزایش داد. چرخه گلی‌اکسیلات در گیاهان خصوصاً در طی مراحل جوانه‌زنی ضروری است زیرا در تخریب چربی‌های ذخیره شده در بذرها برای سنتز گلوکز در بافت‌های فتوسنتزی توسعه نیافته استفاده می‌شود (Ensign, 2006). این چرخه در تامین اسکلت کربنی برای سنتز کربوهیدرات‌ها و در میکروارگانیسم‌ها و گیاهان نقش آناپلورتیک دارد. چرخه گلی‌اکسیلات این نقش حیاتی را از طریق تولید سوکسینات از استیل کوآ انجام می‌دهد (Eastmond and Graham, 2001). افزایش فعالیت آنزیم‌های آلفاآمیلاز، لیپاز و مالات سنتاز در درخت گل ابریشم و ذرت گزارش شده است (Sedghi *et al*., 2011; Khatami *et al*., 2019).

هدف از انجام این پژوهش، بررسی انواع پرایمینگ از جمله هیدروپرایمینگ، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین تحت فرسودگی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت برخی آنزیم‌های هیدرولیتیک و چرخه گلی‌اکسیلات در گیاهچه ذرت با هدف کاهش اثرات سوء فرسودگی بذر و بهبود بذرهای فرسوده ذرت تحت پرایمینگ بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ و فرسودگی بذر بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت برخی آنزیم‌های هیدرولیتیک و چرخه گلی‌اکسیلات در گیاهچه ذرت آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۱۲ عامل شامل تیمار پیری تسریع شده در سه سطح (صفر، ۱۱ و ۱۳روز) و پرایمینگ در چهار سطح (شاهد، هیدروپرایمینگ، جیبرلین و اسید سالیسیلیک) در

دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ انجام شد. طی آزمون پیری تسریع شده، بذرها در داخل آون با دمای ۴۰ درجه‌ی سلسیوس و رطوبت نسبی ۲± ۹۵ درصد به مدت ۱۱ و ۱۳ روز قرار داده شدند. سپس بذرهای فرسوده به همراه شاهد در درون محلول‌های پرایمینگ به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند. برای محلول اسید سالیسیلیک و جیبرلین به ترتیب از غلظت ۱۰۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده شد. بعد از پرایمینگ، بذرها چندین بار توسط آب مقطر شستشو شدند، سپس، آزمون جوانه‌زنی استاندارد روی بذرها انجام شد. جوانه‌زنی در پتری‌دیش در سه تکرار ۲۵ بذری در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت هشت روز انجام گرفت (ISTA, 2012). در این روش، از کاغذهای صافی (Boeco-Germany) استفاده شد. کف ظرف با استفاده از یک لایه کاغذ صافی پوشانده و ۲۵ عدد بذر روی کاغذ صافی که با آب مقطر خیسانده شده بود، قرار گرفت. پس از بستن درب، ظرف به داخل ژرمیناتور منتقل شد. در این مرحله از آزمون، شمارش بذرها یک روز پس از انتقال بذرها به محیط‌های کشت آغاز شد و تا ثابت شدن جوانه‌زنی (۸ روز) پس از کاشت ادامه یافت. معیار جوانه‌زنی یک بذر، خروج ریشه‌چه به میزان ۲ میلی‌متر از پوسته بذر در نظر گرفته شد. سپس، شاخص‌های جوانه‌زنی اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

جدول ۱- روابط محاسباتی شاخص های جوانه‌زنی مورد مطالعه در آزمایش

Table 1. Equations for the calculation of germination indices studied in the experiment

منابع Sources	روابط Equations	
Liopa-Tsakalidi *et al*., 2012	GP = (N×100) / M	درصد جوانه‌زنی (Germination percentage)
Fathi Amirkhiz *et al*., 2014	GC =1/MGT × 100	ضریب جوانه‌زنی(Germination coefficient)
Ellis and Roberts, 1980	GR =$\sum_{I=1}^{N} Si\ /Di$	سرعت جوانه‌زنی(Germination rate)
Stephanie *et al*., 2005	DGS = 1/MDG	سرعت جوانه‌زنی روزانه (Daily Germination rate)
Hunter *et al*., 1984	MDG = GP/Tx	میانگین جوانه‌زنی روزانه (Mean of daily Germination)
Omedi *et al*., 2013	MGT = Σ (Ni) / Σ N	میانگین مدت جوانه‌زنی (Mean of Germination time)
Ghasemi Golazani and Dalil, 2011	GV = GP × MDG	ارزش جوانه‌زنی (Germination value)

N: تعداد بذر جوانه‌زده، M: تعداد کل بذور، Si: تعداد بذور جوانه‌زده در هر روز، Di: تعداد روز تا شمارش iام و N تعداد دفعات شمارش، Tx:تعداد روزهای آزمایش (طول دوره اجرای آزمایش) و Ni: تعداد بذر جوانه زده.

سنجش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز: چهار روز پس از جوانه‌زنی و مطابق روش دومان و همکاران (Doman *et al*., 2006) فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز اندازه‌گیری شد. بذرها در بافر فسفات ۶۰ میلی‌مولار (pH= ۶/۸) هموژنیزه و سپس در ۱۲۰۰۰g و به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. فعالیت آنزیم در محیط واکنش که حاوی ۶۰ میلی مولار بافر فسفات (pH= ۶/۸)، ۴۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر کلسیم کلراید و۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر نشاسته بود، مشخص شد. عصاره آنزیم (یک میلی‌لیتر) پس از۲۰ دقیقه انکوباسیون در حمام آب گرم به محیط آزمایش اضافه شد. فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز با استفاده از نشاسته و با طول موج ۶۲۰ نانومتر به صورت میکروگرم نشاسته و گرم بر دقیقه مواد تازه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مشخص شد.

سنجش فعالیت آنزیم لیپاز: نمونه‌ها سه بار با آب مقطر شستشو و با هاون در ۲۵ میلی‌لیتر محیط آسیاب، خرد شدند. محیط آسیاب شامل ۰/۶ مول ساکارز، ۱میلی‌مولار اتیلن دی آمین ترا استیک اسید،۱۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم، ۱ میلی‌مولار کلرید منیزیم، ۲ میلی‌مول دی تیوتریتول، ۰/۱۵ مولار بافر تریس با pH= ۷/۵ بود. هموژن حاصل پس از عبور دادن از کاغذ صافی در ۱۳۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۵ درجه سانتریفیوژ شد. روشناور حاصل بار دیگر در ۱۲۰۰۰ دور به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵ درجه سانتریفیوژ گردید و روشناور حاصل از آن جهت تعیین فعالیت لیپاز مورد استفاده قرار گرفت. سنجش فعالیت آنزیم لیپاز به روش رنگ سنجی انجام شد. مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر از عصاره آنزیم با ۱۰۰ میلی‌لیتر تری لینولئین۵۰ میلی‌مولار در بافر صمغ اقاقیای ۰/۵٪ مخلوط شد. سپس، بافر سنجش ۱۰۰ میلی‌مولار سوکسینات-هیدروکسید سدیم با pH= ۴/۷ و دی تیوتریتول ۵ میلی‌مولار به مدت۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه قرار داده شد. واکنش با حرارت ۱۰۰ درجه به مدت

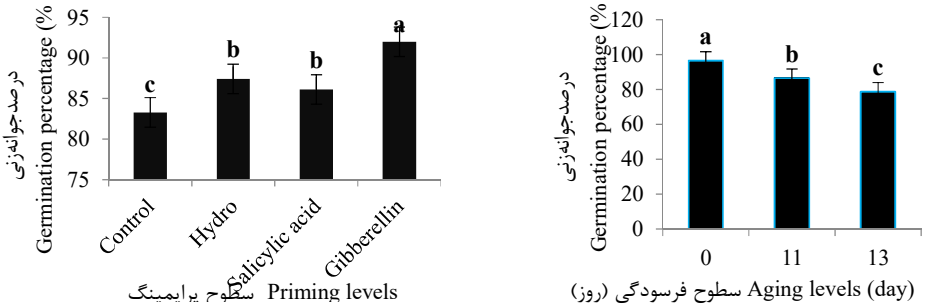
۵ دقیقه متوقف شد. سنجش فعالیت آنزیم لیپاز در طول موج ۴۱۰ توسط اسپکتروفتومتر تعیین گردید (Huang *et al*., 1985).

سنجش فعالیت آنزیم مالات سنتاز: فعالیت این آنزیم طبق روش اصلاح شده کوپر و بیورز (Cooper and Beevers, 1962) اندازه‌گیری شد. میزان جذب در ۱ میلی‌لیتر از مخلوط مورد آزمایش که شامل بافر فسفات (pH= ۶/۵)، ۱۰۰ میلی‌مولار استیل کوآنزیم A، ۰/۵ میلی‌مولار سدیم گلی‌اکسیلات، ۳ میلی‌مولار کلرید منیزیم و ۱۰۰ میلی‌مولار 5,5'-dithiobis-2-nitrobenzoic acid (DTNB) بود در طول موج ۴۱۲ نانومتر به مدت ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. در واقع واکنش با افزایش گلی‌اکسیلات در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد آغاز شد.

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. برای رسم شکل‌ها از نرم افزار Excel 2018 استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی روی درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی شکل ۱ حاکی از آن بود که درصد جوانه‌زنی در پیش‌تیمار با جیبرلین ۱۰ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد و این صفت با تشدید فرسودگی کاهش یافت. به‌طوری که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در شاهد (بدون فرسودگی) (۹۶/۵ درصد) و کم‌ترین آن در فرسودگی ۱۳ روز (۷۸/۷ درصد) بود. بر طبق نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که با افزایش سطوح فرسودگی از درصد جوانه‌زنی کاسته می‌شود (شکل ۱). پرایمینگ با اسیدسالیسیلیک و هیدرو (آب مقطر) نیز اثر مثبتی بر درصد جوانه‌زنی داشت، به‌طوری‌که بعد از جیبرلین، اسیدسالیسیلیک و هیدرو (آب مقطر) بیش‌ترین میزان درصدجوانه‌زنی را نشان دادند (شکل ۱). فرسودگی بذر از طریق تاثیر بر نفوذپذیری غشا، افزایش تنفس و کاهش انرژی اولیه برای جوانه‌زنی، تخریب آنزیم‌ها و آسیب رسیدن به ساختار سلولی باعث کاهش درصد جوانه‌زنی می‌شود (Roberts and Osei-Bonsu, 1998; McDonald, 1999). هم‌چنین، فعال نشدن آنزیم‌های هیدرولیتیک مانند لیپاز، پروتئاز و آمیلاز طی فرسودگی باعث اختلال در متابولیسم مواد ذخیره‌ای از جمله چربی، کربوهیدرات‌ها و پروتئین شده و در نتیجه جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Job *et al*., 2005). انصاری و شریف‌زاده (Ansari and Sharifzadeh, 2012)، تخریب غشا ناشی از پراکسیداسیون لیپیدها و کاهش تولید ATP را نتیجه کاهش درصد جوانه‌زنی در بذور فرسوده گزارش کردند. پرایمینگ با افزایش تقسیم سلولی و تحریک فعالیت‌های درون جنینی در بذرها درصد جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (Bose and Mishra, 1992). همچنین، توانایی بالاتر



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی بر روی درصد جوانه‌زنی در ذرت. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Fig. 1. Mean Comparison for the effect of Aging and priming on Germination Percentage in Maize. The different letters in each column indicate significant differences at 1% probability level.

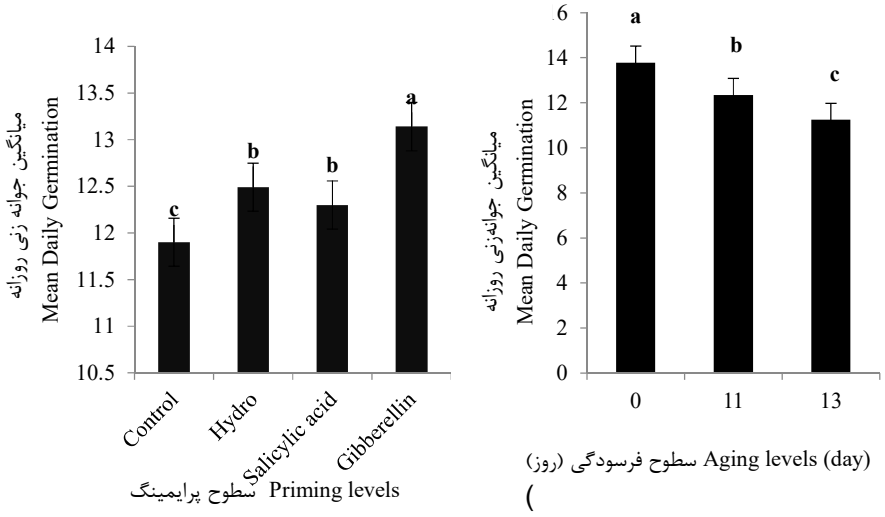
جذب آب در بذور پرایم شده نسبت به بذور پرایم نشده تاثیر مثبت بر درصد جوانه‌زنی دارد (Ghana and Scgillinger, 2003).

سرعت جوانه‌زنی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی و همچنین، اثر متقابل آن‌ها روی سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی (۴/۹۳ بذر در روز) از پیش‌تیمار با جیبرلین و بدون فرسودگی مشاهده شد (جدول ۳). البته سطوح اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ نیز در سرعت جوانه‌زنی موثر بود (جدول ۳). پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک موجب افزایش سطوح اکسین و سیتوکینین در بافت‌های گیاهچه شده که با تأثیر بر رشد و تقسیمات سلولی منجر به افزایش رشد گیاهچه می‌شود (Sakhabutdinova, 2007). کاهش سرعت جوانه‌زنی طی فرسودگی به خاطر وقفه‌ای است که در شروع فرآیند جوانه‌زنی در بذرهای فرسوده ایجاد می‌شود. که توسط سیادت و همکاران (Siadat *et al*., 2011) روی ذرت، سعادت و صدقی (Saadat and Sedghi, 2021) روی لوبیا گزارش شده است. در واقع، علت کاهش سرعت جوانه‌زنی در بذرهای تحت تنش، افزایش گونه‌های فعال اکسیژن است که باعث تخریب پروتئین‌های بذر و کاهش سرعت فعالیت‌های متابولیک می‌شود (Caruso *et al*., 2009). در پژوهش حاضر، به نظر می‌آید که جیبرلین با تاثیر بر روی فعالیت آنزیم‌های آمیلاز، لیپاز و مالات سنتاز، بر فرآیندهای جوانه‌زنی اثر گذاشته و سرعت جوانه‌زنی را تسریع می‌کند و باعث استقرار بهتر گیاهچه می‌شود. افزایش در فعالیت‌های تنفسی، سنتز ATP، پروتئین‌سازی در بذور پرایم شده و تحریک فعال‌سازی RNA را نیز از دلایل افزایش سرعت جوانه‌زنی در بذرهای پرایم شده گزارش کرده‌اند (Amirian, 2015; Khajeh Hosseini *et al*., 2003; Chojnowski *et al*., 1997).

سرعت جوانه‌زنی روزانه و میانگین مدت جوانه‌زنی: همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی و اثر متقابل آن‌ها روی افزایش دهد. اما تاثیر جیبرلین بیشتر از اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ بود. به‌طوری‌که در پیش‌تیمار با جیبرلین میانگین جوانه‌زنی روزانه ۹/۴ درصد در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد. با افزایش فرسودگی کاهشی در سرعت جوانه‌زنی روزانه و میانگین مدت جوانه‌زنی معنی‌دار است. بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۰۹۵) و میانگین مدت جوانه‌زنی (۰/۸۵۷ روز) در شاهد (بدون پرایمینگ) با فرسودگی ۱۳ روز مشاهده شد و کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۰۷۱) و میانگین مدت جوانه‌زنی (۰/۲۰۴) از پیش‌تیمار با جیبرلین و بدون فرسودگی به‌دست آمد (جدول ۳). البته کاربرد اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ نیز سرعت جوانه‌زنی روزانه و میانگین مدت جوانه‌زنی را کاهش داد. اما تاثیر جیبرلین بیشتر از اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ بود (جدول ۳). افزایش سرعت جوانه‌زنی روزانه طی فرسودگی با نتایج سعادت و صدقی (Saadat and Sedghi, 2021) مطابقت داشت. احتمالا دلیل افزایش سرعت جوانه‌زنی در اثر پرایمینگ، فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده کربوهیدرات و پروتئین در بذر باشد (Ashraf *et al*., 2008). پرایمینگ سبب ایجاد برخی تغییرات فیزیولوژیک از قبیل تغییر در مقدار قند و ترکیبات آلی و یون‌های تجمع یافته در بذر و ریشه می‌شود که باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی و مقاومت بیش‌تر آن در برابر تنش می‌گردد (Hurly *et al*., 1991). بذر برای ترمیم خسارت‌های وارد شده به غشای سلول‌ها و آغاز فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و جلوگیری از بروز تنش به زمان نیاز دارد که پرایمینگ باعث ترمیم این خسارت‌ها شده (Mori and Isvand, 2018)، در نتیجه مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی در بذور فرسوده افزایش و در بذور پرایم شده کاهش می‌یابد (Bailly *et al*., 2000). کاهش میانگین مدت زمان جوانه‌زنی در اثر پرایمینگ می‌تواند مربوط به پیشرفت بیشتر مراحل جوانه‌زنی در آن‌ها باشد که با سرعت بیشتر جذب آب همراه است (Moradi *et al*., 2010).

میانگین جوانه‌زنی روزانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی روی میانگین جوانه‌زنی روزانه معنی‌دار بود (جدول ۲). پرایمینگ با جیبرلین، اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ توانست میانگین جوانه‌زنی روزانه را میانگین جوانه‌زنی روزانه مشاهده شد، به‌طوری که میزان کاهش میانگین جوانه‌زنی روزانه نسبت به شاهد فرسودگی در حدود ۱۸ درصد بود (شکل ۲). میانگین جوانه‌زنی روزانه شاخصی از سرعت جوانه‌زنی روزانه است

(Stephanie *et al*., 2005). افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک، افزایش سنتز ATP، RNA و DNA باشد (Afzal *et al*., 2004). کاهش این صفت ناشی از فرسودگی بذور نیز گزارش شده است. گزارش‌ها نشان داده است که پرایمینگ تاثیر مثبتی بر میانگین جوانه‌زنی روزانه در استویا و لوبیا تحت شرایط فرسودگی دارد (Agigi Shahvardi and Saadat and Sedghi, 2021; Omidi, 2016).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی بر روی میانگین جوانه‌زنی روزانه در ذرت.

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

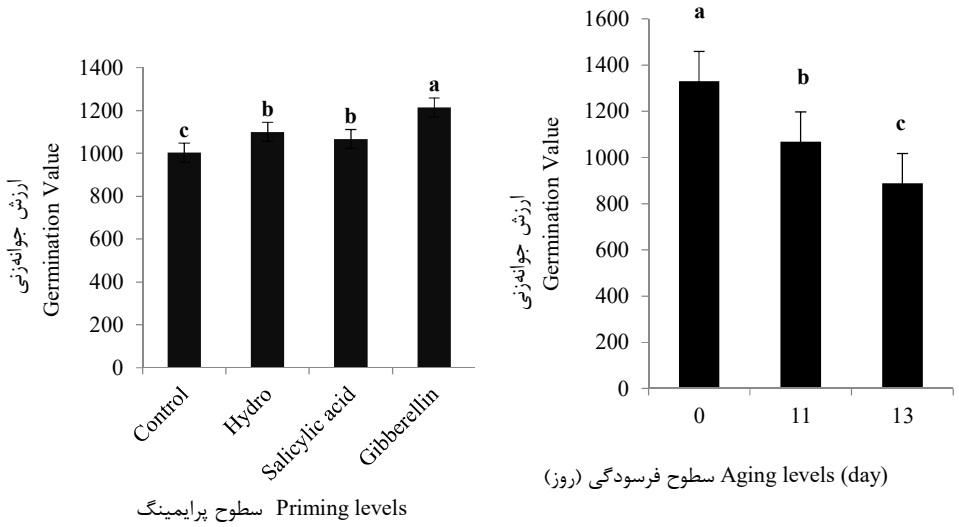
Fig. 2. Mean Comparison for the effect of Aging and priming on Mean Daily Germination (C and D) in Maize. The different letters in each column indicate significant differences at 1% probability level.

ضریب جوانه‌زنی: ضریب سرعت جوانه‌زنی، سرعت و شتاب جوانه‌زنی بذرها می‌باشد (Scot *et al*., 1984). تجزیه واریانس میانگین مربعات این صفت در جدول ۲ نشان می‌دهد، که اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی و اثر متقابل آن‌ها روی ضریب جوانه‌زنی معنی‌دار است. کاربرد جیبرلین، اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ توانست ضریب جوانه‌زنی را افزایش دهد. اما تاثیر جیبرلین بیشتر از اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ بود. به‌طوری‌که بیش‌ترین ضریب جوانه‌زنی (۴۹۲/۸۸) از پیش‌تیمار با جیبرلین و بدون فرسودگی مشاهده شد و کم‌ترین ضریب جوانه‌زنی (۱۱۶/۷۳) در شاهد (بدون پرایمینگ) با فرسودگی ۱۳ روز مشاهد شد (جدول ۳). پرایمینگ با جیبرلین باعث افزایش قابل توجهی در ضریب جوانه‌زنی شده است که با نتایج تحقیق سعادت و صدقی (Saadat and Sedghi, 2021) روی لوبیا در پرایمینگ با جیبرلین تحت شرایط فرسودگی مطابقت داشت. از آنجایی که ضریب جوانه‌زنی عکس میانگین مدت جوانه‌زنی است، کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی طی پرایمینگ باعث افزایش ضریب جوانه‌زنی خواهد شد. در این پژوهش، افزایش ضریب جوانه‌زنی در تیمار با جیبرلین با کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی همراه بوده است (جدول ۳). هرچه بذور دارای ضریب جوانه‌زنی بالاتری باشند، دارای درصد جوانه‌زنی بالاتری نیز خواهند بود (Bagheri *et al*., 2013)، که با نتایج پژوهش حاضر در مورد درصد جوانه‌زنی مطابقت دارد (شکل ۱).

ارزش جوانه‌زنی: تجزیه واریانس جدول ۲ نشان داد، که اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی روی ارزش جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. ارزش جوانه‌زنی در پیش‌تیمار با جیبرلین ۱۷ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد

و این صفت با تشدید فرسودگی کاهش یافت، به‌طوری که مقدار کاهش ارزش جوانه‌زنی نسبت به شاهد فرسودگی ۳۳ درصد بود (شکل ۳). سطوح اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ نیز ارزش جوانه‌زنی را افزایش می‌دهند ولی تاثیر جیبرلین بیشتر از این دو سطوح است (شکل ۳). بیش‌ترین ارزش جوانه‌زنی در پرایمینگ با جیبرلین

به‌دست آمد که با نتایج محمدیان و همکاران (Mohammadian *et al*., 2017) مطابقت داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش سطوح مختلف فرسودگی، شاخص‌های جوانه‌زنی را کاهش داد که مطابق نتیجه به‌دست آمده در سایر پژوهش‌ها بود (Murray and Eisvand, 2018; Saadat *et al*., 2020a; Saadat *et al*., 2019; Saadat and Sedghi, 2021)، ولی هیدرو پرایمینگ، پرایمینگ با جیبرلین و اسید سالیسیلیک این صفات را بهبود بخشید که در این میان تاثیر پرایمینگ با جیبرلین بیشتر از سایر روش‌ها بود.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی بر روی ارزش جوانه‌زنی در ذرت. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Fig. 3. Mean Comparison for the effect of Aging and priming on Germination Value in Maize. The different letters in each column indicate significant differences at 1% probability level.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ و فرسودگی بر روی صفات فیزیولوژیکی گیاهچه ذرت

Table 3. Mean Comparison for the interaction effect of deterioration (D) and priming (P) for studied traits in maize

اثر متقابل Interaction Effect	سرعت جوانه‌زنی Germination Rate	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily Germination Speed	میانگین مدت جوانه‌زنی Mean germination time	ضریب جوانه‌زنی Germination Coefficient
P1A1	1.847d	0.0739ef	0.586b	184.69d
P1A2	1.192e	0.085c	0.839a	119.17e
P1A3	1.167e	0.095a	0.857a	116.73e
P2A1	2.627c	0.0726ef	0.391de	262.68c
P2A2	2.245cd	0.081d	0.446cd	224.45cd
P2A3	1.215e	0.089b	0.823a	121.53e
P3A1	3.235b	0.0732ef	0.309def	323.46b
P3A2	3.223b	0.083cd	0.310def	322.32b
P3A3	1.946d	0.089b	0.559bc	194.62d
P4A1	4.929a	0.071f	0.204f	492.88a
P4A2	4.666a	0.076e	0.216f	466.64a
P4A3	3.588b	0.083cd	0.282ef	358.77b

P1 شاهد، P2: هیدروپرایمینگ، P3: اسیدسالیسیلیک: P4: جیبرلین، A1: بدون فرسودگی، A2: فرسودگی ۱۱روز، A3: فرسودگی ۱۳ روز.
حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

P1: without priming, P2: hydropriming, P3 salicylic acid, P4: gibberellin, D1: without Aging, D2: Aging of 11 days, D3; Aging of 13 days. The different letters in each column indicate significant differences at 1% probability level

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر پرایمینگ و فرسودگی بر روی صفات مطالعه شده در ذرت

Tabel 2. Analysis of variance for the effect of Aging and priming on studied traits in maize

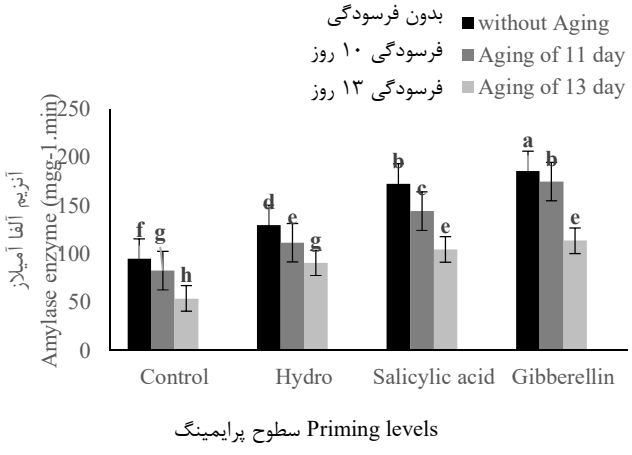
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات M.S									
		درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination Rate	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily Germination rate	میانگین مدت جوانه‌زنی Mean Germination time	میانگین جوانه‌زنی روزانه Mean Daily Germination	ضریب جوانه‌زنی Germination Coefficient	ارزش جوانه‌زنی Germination Value	آمیلاز Amylase	لیپاز Lipase	مالات سنتاز Malate Synthase
پرایمینگ Priming (P)	3	117.70**	15.026**	0.00011120**	0.457**	2.402**	150262.3**	70738.3**	11594.7**	149.9**	0.124**
فرسودگی Aging (A)	2	951.02**	4.453**	0.00082600**	0.209**	19.409**	44532.8**	593375.2**	9206.2**	54.6**	0.539**
P*A	6	8.17ns	0.251**	0.00001226*	0.031**	0.167ns	2507.4**	3898.3ns	289.5**	7.7ns	0.031 **
خطا Error	22	3.58	0.051	0.00000346	0.006	0.073	512.6	2200.5	23.2	3.3	0.008
ضریب تغییر CV(/.)		2.17	8.523	2.297286	15.435	2.169	8.5	4. 8	3.9	2.6	3.743

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

.ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively

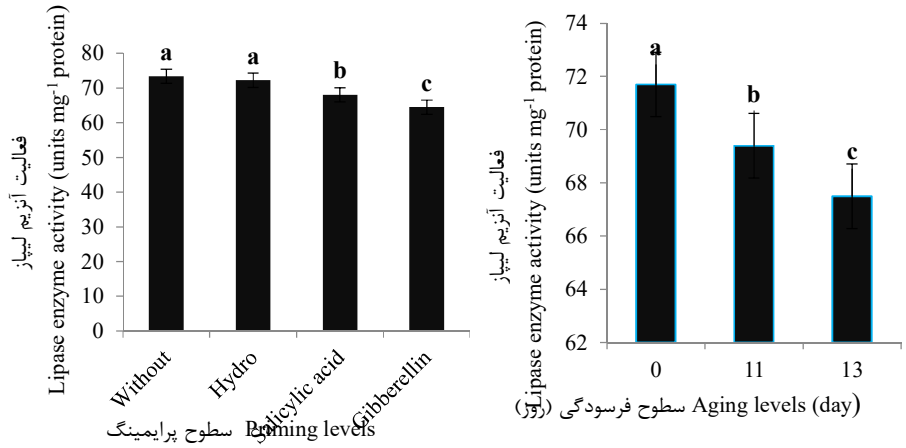
فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک: در این تحقیق، اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی بر فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک مورد بررسی و اثر متقابل آن‌ها تنها بر فعالیت آنزیم لیپاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). پرایمینگ با جیبرلین، اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ توانست روی آلفا آمیلاز و لیپاز تاثیر بگذارد، اما تاثیر جیبرلین بیشتر از اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ بود. به‌طوری‌که بیش‌ترین فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز (۱۸۵/۷ mg/g min) از پیش‌تیمار با جیبرلین و بدون فرسودگی و کم‌ترین آن (۵۳/۷ mg/g min) در شاهد و فرسودگی ۱۳ روز مشاهده گردید (شکل ۴) و میزان فعالیت آنزیم لیپاز در پیش‌تیمار با جیبرلین ۱۲ درصد نسبت به شاهد (بدون پرایمینگ) افزایش نشان داد و این صفت با تشدید فرسودگی کاهش یافت. به‌طوری که میزان کاهش فعالیت آنزیم لیپاز نسبت به تیمار شاهد فرسودگی در حدود ۶ درصد بود (شکل ۵). بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و لیپاز در بذرهای پرایم شده با جیبرلین و بدون فرسودگی به‌دست آمد که با نتایج تحقیق بابائی و همکاران (Babaei *et al*., 2018) و سعادت و همکاران (Saadat *et al*., 2019) روی ذرت و برنج مطابقت داشت. آنزیم‌های آلفا آمیلاز و لیپاز جزو آنزیم‌های هیدرولیتیک هستند که به ترتیب در تجزیه ذخایر نشاسته‌ای و لیپیدی نقش مهمی دارند. آلفا آمیلاز به وسیله جیبرلین از طریق تحریک هورمونی سنتز می‌گردد. در این آزمایش با افزایش شدت فرسودگی، فعالیت آنزیم نیز کاسته شد که به احتمال زیاد دلیل آن اختلال در مسیر بیوسنتز جیبرلین است. طوری که در بذرهای پرایم شده با جیبرلین میزان فعالیت آن افزایش یافت. با افزایش فعالیت آنزیم‌های آلفا آمیلاز و لیپاز، طی پرایمینگ مواد ذخیره‌ای به ساکارز و گلوکز تبدیل شده و به جنین انتقال می‌یابند و موجب رشد جنین شده و در نتیجه جوانه‌زنی و رشد گیاهچه افزایش می‌یابد (Parera and Cantliffe, 1994). در واقع، جیبرلین در هنگام جوانه‌زنی بذر از طریق نسخه‌برداری، تاثیر بر تولید و فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز باعث تجزیه نشاسته به قند شده و موجب تامین انرژی مورد نیاز برای فرایند جوانه‌زنی می‌گردد (Varner, 1964; Hartman *et al*., 1990).

فعالیت آنزیم مالات سنتاز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی و اثر متقابل آن‌ها بر فعالیت مالات سنتاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). پرایمینگ با جیبرلین، اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ توانست مالات سنتاز را افزایش دهد. اما تاثیر جیبرلین بیشتر از اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ بود. به‌طوری‌که بیش‌ترین فعالیت مالات سنتاز (units mg^{-1} protein ۲/۷۰۸) از پیش‌تیمار با جیبرلین و بدون فرسودگی و



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ و فرسودگی بر روی فعایت آنزیم آلفا آمیلاز در ذرت. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

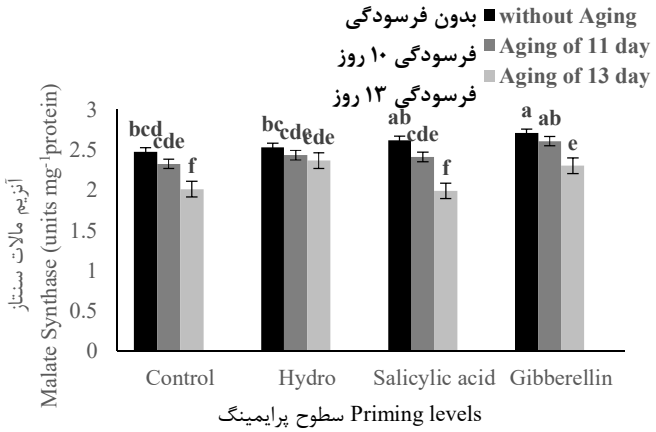
Fig. 4. Mean Comparison for the interaction effect of Aging and priming on Amylase enzyme activity in Maize. The different letters in each column indicate significant differences at 1% probability level.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر ساده پرایمینگ و فرسودگی بر روی فعالیت آنزیم لیپاز در ذرت. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Fig. 5. Mean Comparison for the effect of Aging and priming on Lipase enzyme activity in Maize. The different letters in each column indicate significant differences at 1% probability level.

کم‌ترین آن (۲/۰۱۱ units mg^{-1}protein) در شاهد (بدون پرایمینگ) و فرسودگی ۱۳ روز مشاهده گردید (شکل ۶). مالات سنتاز منحصر به چرخه گلی‌اکسیلات است (Sedghi et al., 2011). فعالیت مالات سنتاز هم در این تحقیق طی فرسودگی کاهش یاقت و پرایمینگ با جیبرلین باعث افزایش این آنزیم چرخه گلی‌اکسیلات شد که با نتایج تحقیقات بابائی و همکاران (Babaei et al., 2018) مطابقت داشت. گلی‌اکسی‌زوم محل انجام چرخه گلی‌اکسیلات است. این چرخه به بذرها اجازه می‌دهد تا از لیپیدها به عنوان یک منبع انرژی در طول جوانه‌زنی استفاده کنند (Berg et al., 2002). کاهش فعالیت آنزیم مالات سنتاز با افزایش فرسودگی، بیانگر کاهش تبدیل لیپید به قند است و در نهایت لیپیدهای موجود به عنوان پیش ماده مناسب در واکنش‌های پراکسیداسیون استفاده می‌شوند. در واقع، یک رابطه قوی بین تجزیه لیپید و ظهور آنزیم مالات سنتاز در طول رشد وجود دارد (Eastmond and Graham, 2001).



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ و فرسودگی بر روی فعایت آنزیم مالات سنتاز در ذرت. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Fig. 6. Mean Comparison for the interaction effect of Aging and priming on Malate Synthase enzyme activity in Maize. The different letters in each column indicate significant differences at 1% probability level.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج تحقیق نشان داد صفات مورد بررسی از جمله درصد جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه و ارزش جوانه‌زنی در بذور فرسوده تا سطح معنی‌دار نسبت به بذور غیر فرسوده کاهش یافت و اعمال پرایمینگ موجب افزایش فعالیت آنزیم لیپاز، آلفا آمیلاز و مالات سنتاز در بذور فرسوده ذرت گردید. به‌طور کلی با وجود اینکه هیدرو پرایمینگ و اسید سالیسیلیک توانست به بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های فرسوده کمک کند، اما تاثیر پرایمینگ با جیبرلین بیشتر بود. در نهایت، پرایمینگ بذر با هیدرو (آب مقطر)، اسید سالیسیلیک و جیبرلین می‌تواند راهکاری مناسب برای تعدیل اثر فرسودگی باشد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مسئولین دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

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)**

Afzal, I., Aslam, N., Mahmood, F., Hameed, A., Irfan, S. and Ahmad, G. 2004. Enhancement of germination and emergence of canola seeds by different priming techniques. Biological, Santa Cruz do Su. 16(1): 19-34. **(Journal)**

Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H. and Mousavi, S. A. 2017. Effect of Chitosan on Seed Germination and Biochemical Traits of Milk Thistle (*Silybum marianum* L.) Seedling under Salt Stress. Iranian Journal of Seed Research, 3(2): 118-105. (In Persian)**(Journal)**

Amrian, M. 2015. The effect of different levels of selenium nanoparticles on onion (*Allium cepa* L.) seed germination. The 5th National Nanotechnology Conference from Theory to Application. 20 Feb, Isfahan, Iran. **(Conference)**

Ansari, A. and Sharifzadeh, F. 2013. 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): 76-68. (In Persian)**(Journal)**

Armin, M., Asgharipour, M. and Rezvani-Omrani, M. 2010. The effect of seed priming on germination and seedling growth of watermelon (*Citrullus lanatus*). Advences in Enviremental Biology, 4(3): 501-505. **(Journal)**

Asadi Aqbalaghi, M., Permon, Q. and Mansani, H. 2015. The effect of accelerated aging on the process of seed germination and seedling growth of pumpkin. Journal of Seed Research, 5(2): 60-68. (In Persian)**(Journal)**

Ashraf, M., Athar, H. R., Harris, P. J. C. and Kwon, T. R. 2008. Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. Advanced in Agronomy, 97: 45-92. **(Journal)**

Babaei, K., Tajbakhsh, M. and Siosemardeh, A. 2018. Effect of Priming and Sowing Date of Seed on Growth Indices of Plant and yield and Yield Components of seed of Maize Single Cross 260 (Fajr). Plant Production Technology. 19(2): 209-193. (In Persian)**(Journal)**

Bagheri, M., Amoozegar, M. A., Schumann, P., Didari, M., Mehrshad, M., Sproer, C., Sanchez-Porro, C. and Ventosa, A. 2013. *Ornithinibacillus halophilus* sp. nov., a moderately halophilic, Gram-stain-positive, endospore-forming bacterium from hypersaline lake. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 63: 844-848. **(Journal)**

Baharvand, N., Mahdavi, B. and Dehajipour Heidarabadi, M. 2017. Effect of ascorbic acid on germination and activities of antioxidant enzymes of deteriorated safflower Goldasht cultivar seeds. Iranian Journal of Seed Science and Research, 4(3): 1-12. (In Persian)**(Journal)**

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

Berg, J. M., Tymoczko, J. L. and Stryer, L. 2002.Biochemistry (6th ed.). W. H. Freeman Publishing, New York. **(Book)**

Bose, B. and Mishra, T. 1992. Response of wheat seed to presowing seed treatment with Mg (NO3) 2. Journal of Annals of agricultural science, 13: 132-136. **(Journal)**

Caruso, G., C. Cavaliere, P. Foglia, R. Gubbiotti, R. Samperi and A. Lagana, 2009. Analysis of drought responsive proteins in wheat (Triticum durum) by 2D-PAGE and MALDI-TOF mass spectrometry. Plant Science, 177: 570–576. **(Journal)**

Chojnowski, M., Corbineau, F. and Come, D. 1997. Physiological and biochemical changes induced in sunflower seeds by osmopriming and subsequent drying, storage and aging. Seed Science Research, 7: 323-332. **(Journal)**

Cooper, T. G. D. and Beevers, H. 1969. Mitochondria and glyoxysomes from castor bean endosperm: enzyme constituents and catalytic capacity. Journal of Biological Chemistry, 244: 3507–3513. **(Journal)**

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)**

Duman, I. 2006. Effect of seed priming with PEG and K3PO4 on germination and seedling growth in lettuce. Pakistan Journal of Biological Sciences, 9(5): 923-928. **(Journal)**

Eastmond, P. J. and Graham, L. A. 2001. Re-examining the role of the glyoxylate cycle in oilseeds. Trends in Plant Science, 6(2): 72-77. **(Journal)**

Ellis, R. H., Roberts, E. H. 1980. Seed physiology and seed quality in soybean. Advances in Legume Science. pp: 287-311. **(Journal)**

Ensign, S. A. 2006. Revisiting the glyoxylate cycle: alternate pathways for microbial acetate assimilation. Molecular Microbiology, 61(2): 274-276. **(Journal)**

Esterbauer, H. and Grill, D. 1978. Seasonal variation of glutathione and glutathione reductase in needles of Picea abies. Plant Physiology. 61:119–121. **(Journal)**

Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M.and Hashmati, S. 2014. Investigating the effect of iron fertilization on chlorophyll content, quantum efficiency of photosynthesis II and some biochemical traits in safflower under low irrigation conditions. Iranian Journal of Agricultural Plant Sciences, 1: 137-145. (In Persian)**(Journal)**

Ghana, S. G. and Schillinger, W. F. 2003. Seed priming winter wheat for germination, emergence, and yield. Crop Science, 43(6): 2135-2141. **(Journal)**

Ghasemi Golazani, K. and Dalil, B. 2011. Germination tests and seed strength. Publications University of Mashhad. (In Persian)**(Book)**

Gholami, SH. and Dehaghi, M. A. 2022. The effect of priming with different concentrations of selenium on germination indices of quinoa seedlings (*Chenopodium quinoa* Willd.). Agronomy, 24(1): 85-95. (In Persian)**(Journal)**

Hajiabbasi, M., Tavakkol Afshari, R., Abbasi, A. and Kamaei, R. 2021. Effects of salicylic acid and ethylene on the germination and gene expression of alpha and beta amylase in deteriorated soybean seeds (Glycine max). Iranians Journal of Seed Science and Technology, 10(1): 156-141. (In Persian)**(Journal)**

Hampton, J. G. 2003. Methods of viability and vigour testing: A critical and appraisal. In: Basra, A. (Eds.) Seed Quality, Basic Mechanisms and Agricultural Implications. CBS Publishers and Distributers, New Delhi. pp: 81 -118.

Hartman, H., Kester, D. and Davis, F. 1990. Plant Propagation, Principle and Practices (9^{th} ed.). Pearsom, Kindle. **(Book)**

Huang, A. H. C. 1985. Lipid bodies, 1. In: Linskins, H. F. and Jackson, F. (Eds.) Modern Methods of Plant Analysis, Berlin. pp: 145-151.

Hunter, E., Glasbey, C. and Naylor, R. 1984. The analysis of data from germination tests. The Journal of Agricultural Science, 102(1): 207-213. **(Journal)**

Hurly, R. F., Van Staden, J. and Smith, M. T. 1991. Improved germination in seeds of guayule (*Parthenium argentatum*) following polyethylene glycol and gibberellic acid pretreatments. Annals of Applied Biology, 118: 175-184. **(Journal)**

Hussein, H. J. 2017. The Effect of Seed Priming with Salicylic Acid and Ascorbic Acid on Viability of Local Okra (*Abelmoschus Esculentus* L.) Seeds Stored for Three Years. Journal of Global Pharma Technology, 8(9): 110-115. **(Journal)**

ISTA. 2012. International Rules for Seed Testing. Bassersdorf, Switzerland: The International Seed Testing Association (ISTA). **(Handbook)**

Job, D., Whalley, C. and Johnstone, S. M. L. 2005. Grey matter changes over time in high risk subjects developing schizophrenia. Neuroimage, 25(4): 1023-1030. **(Journal)**

Jyoti, U. and Malik, C. P. 2013. Seed deterioration: A review. International Journal of Life Science Botany and Pharmacy Research, 2: 374-85. **(Journal)**

Kapoor, R., Arya, A., Siddiqui, M. A., Amir, A. and Kumar, H. 2010. Seed deterioration in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated aging. Asian Journal Plant Science, 9(3): 158- 162. **(Journal)**

Khajeh Hosseini, A., Powell, A. and Bingham, I. J. 2003. The interaction between salinity stress and seed vigour during germination of soyabean seeds. Seed Science and Technology, 31: 715-725. **(Journal)**

Khatami, S. R., Sedghi, M. and Seyed Sharifi, R. 2019. Effect of priming and osmotic stress on the germination and activity of hydrolytic and glyoxylate cycle enzymes of hybrid maize (*Zea mays* L. SC704) seed. Iranian Journal of Seed Science and Research, 6(1): 67-78. (In Persian)**(Journal)**

Khushvagti, H. 2019. Investigating the effect of seed priming on the morphological traits of corn seeds. The 4th International Congress of Agricultural Development, Natural Resources. 13-15 Feb, Environment and Tourism of Iran, Tabriz, Iran. **(Conference)**

Liopa-Tsakalidi, A., Kaspiris, G., Salahas, G. and Barouchas, P. 2012. Effect of salicylic acid (SA) and gibberellic acid (GA1) pre-soaking on seed germination of Stevia (*Stevia rebaudiana*) under salt stress. Journal of Medicinal Plants Research, 6: 416-423. **(Journal)**

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

Migahid, M. M., Elghobashy, R. M., Bidak, L. M. and Amin. A. W. 2019. Priming of *Silybum marianum* (L.) Gaertn seeds with H2O2 and magnetic field ameliorates seawater stress. Heliyon, 5(6): e01886.

Mohamadian, E., Kianmehr, H., Ataei Somagh, H., Azad Nafas Mahjor, N., Safari, F. and Safarzadeh, A. 2018. Effect of methyl jasmonate pretreatment on germination indices and biochemical traits of Stevia seedlings (*Stevia rebuadiana*) under salt stress. Iranian Journal of Seed Research, 5(1): 101-117. (In Persian)**(Journal)**

Moradi, A., Sharifzadeh, F., Tawak Afshari, R. and Maali Amiri, R. 2010. Effect of seed priming on germination and growth of Agropyron elongatum at normal and drought stress condition. Journal of Range, 4(3): 362-373. (In Persian)**(Journal)**

Murray, S. and Eisvand, H. R. 2018. The effect of priming with salicylic acid and ascorbic acid on germination indices and biochemical traits in wheat seed deterioration. Iranian Seed Science and Research, 6(3): 398-381. (In Persian)**(Journal)**

Namdari, A. and Sharifzade, F. 2018. The restoring influence of priming treatments on germination of Smooth vetch (*Vicia dasycarpa*) under drought stress and maintaining this advantage following aging by using post priming heat shock treatment. Iranian Journal of Plant Biology, 10(3): 41-54. (In Persian)**(Journal)**

Omidi, H., Naghdi Badi, H. A. and Jafarzadeh. L. 2015. Seeds of medicinal plants and crops. Shahed University Press. **(Book)**

Parera, C. and Cantliffe, D. 1994. Dehydration rate after solid matrix alters seed performance of shrunken-2 corn. Journal of the American Society for Horticultural Science, 119: 629-35. **(Journal)**

Rajjou, L. and Debeaujon, I. 2008**.** Seed longevity: survival and maintenance of high germination ability of dry seeds. Comptes Rendus Biologies, 331: 796-805. **(Journal)**

Roberts, E. H. and Osei-Bonsu, K. 1988. Seed and seedling vigour. In: Summerfield, R. J. (Eds.) World Crops: Cool Season Food Legumes, Kluwer. pp: 897–910

Saadat, H. and Sedghi, M. 2021. Effect of priming and aging on Physiological, biochemical traits seed common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Seed Research, 11(3): 75-87. (In Persian)**(Journal)**

Saadat, T., Alidost, H. and Sedghi, M. 2019. The effect of priming and exhaustion on the germination of rice seed masses with different strength. Journal of Seed Research, 10(4): 60-67. (In Persian)**(Journal)**

Saadat, T., Sedghi, M., Gholipouri, A., Seyed Sharifi, R. and Sheykhbaglou, R. 2020a. The effect of priming deterioration on the activity of antioxidant enzymes and the mobility of seed reserves in

French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Sadri. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 8(2): 19-32. (In Persian)**(Journal)**

Saadat, T., Sedghi, M., Gholipouri, A., Seyed Sharifi, R. and Sheykhbaglou, R. 2020b. Effect of seed priming and aging on germination, biochemical traits and antioxidant enzyme gene expression in common bean (*Phaseolus vulgaris* l.). Iranian Journal of Seed Science and Research, 7(1): 1-13. (In Persian)**(Journal)**

Santos, R. F., Placido, H. F., Bosche, L. L., Neto, H. Z., Ferando, H. and Alessandro, B. 2021. Accelerated aging methodologies for evaluating physiological potential of treated soybean seeds. Journal of Seed Science, 43 (4): 1- 10. **(Journal)**

Scot, S. J., James, R. A. and Williams, W. A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Science, 24: 1192-1199. **(Journal)**

Sedghi, M., Khomari, S. and Amanpour-Balaneji, B. 2011. Effect of Seed Vigor and Hormone Priming on Glyoxylate Cycle Enzymes Activity in Persian Silk Tree (*Albizia julibrissin Durazz.*). World Applied Science Journal, 13(3): 541-544. **(Journal)**

Singh, V., Upadhyay, R. S., Sarma, B. K. and Singh, H. B. 2016. Seed bio-priming with Trichoderma asperellum effectively modulate plant growth promotion in pea. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology, 9(3): 361-365. **(Journal)**

Siyadat, S. A., Sharafizadeh, M. and Mousavi, S. A. 2011. The effect of priming hormone on the reduction of corn seed burnout. Quarterly journal of plant physiology, 3(10): 83-67. (In Persian)**(Journal)**

Stephanie, E. B., Svoboda, V. P., Paul, A.T. and Marc, W. V. I.. 2005. Controlled drought affects morphology and anatomy of Salvia solendens. Horticultural Society, 130(5): 775-781. **(Journal)**

Subramanyam, K., Laing, G. D. and Van Damme, E. J. M. 2019. Sodium selenate treatment using a combination of seed priming and foliar spray alleviates salinity stress in rice. Frontiers in Plant Science, 10: 1-17. **(Journal)**

Varner, J. E. 1964. Gibberlic acid controlled synthesisof α-amylase in barley endosperm. Plant Physiology, 39: 413-415. **(Journal)**

Zhan, J., Li, W., He, H. Y., Li, C. Z. and He, L. F. 2014**.** Mitochondrial alterations during Alinduced PCD in peanut root tips. Plant Physiology and Biochemistry, 75: 105-113. **(Journal)**

Zheng, M., Tao, Y., Hussain, S., Jiang, Q., Peng, S., Huang, J. and Nie, L. 2016. Seed priming in dry direct-seeded rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under drought stress. Plant growth regulation, 78(2): 167-178. **(Journal)**

Effect of seed priming and aging on germination indices and activity of some hydrolytic enzymes and glyoxylate cycle in corn (*Zea mays* L.)

Haniyeh Saadat1[1*], Mohammad Sedghi[2]

Received: October 25, 2022 Accepted: February 2, 2023

Abstract

In order to investigate the effect of priming and aging on germination indices and activity of hydrolytic enzymes and cycle glyoxylate in corn seed, a factorial experiment was conducted based on completely randomized design at the University of Mohaghegh Ardabili in 2022 with 3 replications. Treatments were accelerated aging (control without aging, 11 and 13 days) and priming (control, hydro-priming, priming by gibberellin (20 mg lit-1) and salicylic acid (100 mg lit-1)).The results showed that aging of germination indicators including germination percentage (GR), Germination Rate (GR), Mean Daily Germination (MDG), Germination Coefficient (GC), Germination Value (GV) decreased, but priming with salicylic acid, hydro especially gibberellin improved these traits. The lowest Daily Germination Speed (DGS) and Mean Germination Time (MGT) were obtained in hydropriming, priming with salicylic acid, especially priming with gibberellin and the control (without priming). The amylase and malate synthase enzymes activity in gibberellin treatment and non-aged compared to the control showed an increase respectively about 71% and 26%. The most lipase enzyme activity (73.41 unit mg-1 protein) was observed in treatment with gibberellin. Aging decreased lipase enzyme activity. In general, using gibberellin pretreatment strengthened weak corn seeds the germination indices and activity of hydrolytic enzymes glyoxylate cycle and increased seedling growth.

Keywords: Aging; Amylase; Germination Indicators; Lipase; Malate Synthase; Priming

How to cite this article
Saadat, H. and Sedghi, M. 2023. Effect of seed priming and aging on germination indices and activity of some hydrolytic enzymes and glyoxylate cycle in corn (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Seed Science and Research, 10(1): 67-81. (In Persian)**(Journal)**
DOI: 10.22124/jms.2023.23130.1726

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/

1. Ph.D student of Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. t.saadat@gmail.com
2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. m_sedghi@uma.ac.ir
*Corresponding author**:** t.saadat@gmail.com