به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۲ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۹
صفحه‌های ۴۲-۲۷

واکنش قابلیت حیات بذرهای کلزا به تیمارهای پرایمینگ و شرایط خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده

محسن ملک[۱]، فرشید قادری‌فر[۲*]، بنیامین ترابی[۲]، حمیدرضا صادقی‌پور[۳]
۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه زراعت، دانشکده تولیدات گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۲. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده تولیدات گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۳. دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های خشک‌کردن (تیمارهای پسابیدگی)، تیمارهای شوک حرارتی و تنش اسمزی بر قابلیت حیات بذرهای پرایم‌شده ارقام کلزا، آزمایشی در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. در این مطالعه بذرهای سه رقم کلزا بانام‌های دی‌کا- ایکس‌پاور، تراپر و هایولا۵۰، بلافاصله پس از پرایمینگ، در معرض تیمارهای مختلف پسابیدگی، شوک حرارتی و پتانسیل اسمزی قرار گرفتند. سپس به‌منظور بررسی قابلیت حیات بذرهای تیمارشده با روش‌های مختلف پرایمینگ و شرایط مختلف در مرحله خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده، در معرض آزمون زوال کنترل‌شده قرار گرفتند و درنهایت با استفاده از برازش مدل لجستیک سه پارامتره به داده‌های درصد جوانه‌زنی طی آزمون زوال کنترل‌شده؛ زمان کاهش جوانه‌زنی بذرها به ۵۰ درصد محاسبه و به‌عنوان معیار مقایسه قابلیت حیات بذرها قرار گرفت. نتایج نشان داد پاسخ ارقام کلزا به تیمارهای مختلف، متفاوت بود. به‌طورکلی تیمارهای شوک حرارتی توانستند در رقم‌های دی‌کا- ایکس‌پاور و تراپر بسیار مفید واقع‌شده و منجر به افزایش قابلیت ماندگاری بذرها شوند. در مقابل تیمارهای تنش اسمزی اغلب دارای اثرات منفی بر ماندگاری بذرهای تمامی ارقام داشتند. هم‌چنین پرایمینگ به‌روش اسموپرایمینگ و خشک‌کردن بذرها به‌روش آرام دارای اثرات منفی بیش‌تری نسبت به هیدروپرایمینگ و خشک‌کردن سریع بودند.

کلیدواژه‌ها: اسموپرایمینگ، انبارداری، روش‌های خشک‌کردن، زوال کنترل‌شده، شوک حرارتی، هیدروپرایمینگ، .

Rapeseed Seed Viability Reaction to Priming Treatments and Drying Conditions of Primed Seeds

Mohsen Malek[1], Farshid Ghaderi-Far[2*], Benjamin Torabi[2], HamidReza Sadeghipour[3]
1. Former M.Sc. Student, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Recourses, Gorgan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Scinces, Golestan University, Gorgan, Iran.
Received: July 16, 2019 Accepted: September 30, 2019

Abstract

In order to investigate the effects of drying methods (desiccation treatment), heat shock, and osmotic stress treatments on viability of primed seeds from different rapeseed cultivars, an experiment has been conducted in 2017-2018 at the Seed Research Laboratory of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. In this study, seeds of three canola cultivars, i.e., Dk-xpower, Teraper, and Hayola50, all exposed to priming treatments, undergo desiccation, heat shock, and osmotic stress treatments. Thereafter, to investigate the effects of different treatments, the treated seeds have been subjected to controlled deterioration test. Finally, after fitting the three-parameter logistic model to germination percentage during controlled deterioration test, the time for germination decline to 50% has been calculated and used as the criterion to compare seed viability. Results show that the response of rapeseed cultivars to different treatments have been different. Furthermore, priming methods and different treatments in drying phase of primed seeds, display varied effects on seeds' lifespan. In general, heat shock treatments are found efficient in Dk-xpower and Traper cultivars as they increase seeds' lifespan. In contrast, osmotic stress treatments often have had negative effects on seed viability in all canola cultivars. Even, "osmopriming" and subsequent slow drying of primed seeds have had more negative effects than "hydroperiming", associated with fast drying methods.

Keywords: Controlled deterioration test, drying methods, heat shock, hydropriming, osmopriming, storage.

* نویسنده مسئول Email: farshidghaderifar@gau.ac.ir

۱. مقدمه

پرایمینگ یکی از تکنیک‌های بهبود رفتارهای جوانه‌زنی و سبزشدن بذرها می‌باشد. در طی پرایمینگ بذرها تا سطح مشخصی (قبل از خروج ریشه‌چه) آب جذب می‌کنند و سپس تا رطوبت اولیه خود خشک‌شده و طی این آب‌نوشی، متابولیسم‌های مرتبط با جوانه‌زنی فعال می‌شوند (Farooq *et al*., 2006; Ibrahim, 2016). هنگامی‌که بذرها مجدداً آب جذب می‌کنند تغییرات فیزیولوژیک مرتبط با جوانه‌زنی دوباره فعال‌شده و روند جوانه‌زنی سریع‌تر انجام می‌شود (González-Zertuche *et al*., 2002). ازجمله اثرات مثبت پرایمینگ گسترش دامنه دمایی جوانه‌زنی، افزایش درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و هم‌چنین رفع کمون در برخی گونه‌های خاص و به‌طورکلی افزایش کارایی جوانه‌زنی و سبزشدن بذرها می‌باشد (McDonald, 2000; Malek *et al*., 2019). بااین‌حال پرایمینگ غالباً باعث کاهش قابلیت انبارداری بذرها می‌شود (Schwember & Bradford, 2005). به‌طوری‌که اثرات منفی پرایمینگ بر قابلیت حیات بذرها، عمده‌ترین محدودیت استفاده از این تکنیک است (Gurusinghe *et al*., 2002; Hussain *et al*., 2015). کاهش قابلیت ماندگاری بذرهای پرایم‌شده[1] در گیاهان مختلف توسط پژوهش‌گران گزارش شده است. به‌عنوان‌مثال در بذرهای گوجه‌فرنگی (Argerich *et al*., 1989)، کاهو (Schwember & Bradford, 2005; Hill *et al*., 2007)، ذرت شیرین (Chiu *et al*., 2002) و برنج (Hussain *et al*., 2015) پرایمینگ باعث تشدید فرایند زوال و درنهایت کاهش قابلیت حیات بذرها شد. از طرفی گزارش‌هایی مبنی بر بهبود ماندگاری بذرها توسط پرایمینگ نیز وجود دارد (Dearman *et al*., 1986; Butler *et al*., 2009; Malek *et al*., 2019). این تناقض توسط پژوهش‌گران مختلف بررسی و عده‌ای معتقدند، می‌توان با اعمال تیمارهای مختلف و هم‌چنین روش‌های متفاوت خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده، تأثیر سوء پرایمینگ بر قابلیت انبارداری بذرها را تا حد زیادی کاهش داد و از آثار مثبت این تکنیک بهره برد (Bruggink *et al*., 1999).

در پیش‌تیمار پرایمینگ بذر، بذرها طی فرایند آب‌نوشی ممکن است با افزایش جذب آب از حدی معین، تحمل به پسابیدگی را از دست داده و نسبت به زوال در اثر انبارداری حساس شوند. به‌طورکلی وقتی بذرهای خشک آب جذب می‌کنند تحمل به پسابیدگی تا مدتی بدون تغییر باقی می‌ماند و بذرها می‌توانند بدون هیچ آسیبی دوباره خشک شوند؛ اما هنگامی‌که به بذر اجازه داده شود به‌مدت طولانی‌تری آب جذب کند، تحمل به پسابیدگی به‌تدریج کاهش‌یافته و خشک‌کردن منجر به ایجاد اثرات مخرب در ساختار بذر می‌گردد (Powell, 2000). دما و رطوبت نسبی در مرحله خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده ارتباط مستقیمی با کیفیت بذرها دارد و اثرات و مزایای پرایمینگ را به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد. بااین‌حال در اکثر مواقع به نحوه خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده توجه نمی‌شود. پژوهش‌گران هم‌چنین علت وجود تناقض درخصوص قابلیت ماندگاری بذرهای پرایم‌شده را مرتبط با مکانیسم‌های پسابیدگی و خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده می‌دانند (Parera & Cantliffe, 1994; Sliwinska & Jendrzejczak, 2002). بین تحمل به پسابیدگی و قابلیت انبارداری بذرها، همبستگی مستقیم وجود داشته و از طرفی مکانیسم‌های دخیل در تحمل به پسابیدگی، ارتباط مستقیمی با قابلیت ماندگاری بذرها دارند (Ellis & Hong, 1994; Ellis & Hong, 2007). تحمل به پسابیدگی به عوامل مختلفی چون محتوی ساکارز، برخی الیگو ساکاریدهای خاص، پروتئین‌های محلول و سرعت کاهش رطوبت بستگی دارد

1. Primed seeds

(Bewley *et al*., 2013).

روش‌های متفاوتی برای خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده پیشنهاد شده است. از مرسوم‌ترین این روش‌ها، دو روش خشک‌کردن آرام و سریع است. در روش سریع رطوبت بذرهای پرایم‌شده به‌سرعت و طی مدت‌زمان کوتاهی کاهش می‌یابد؛ اما این کاهش رطوبت در روش آرام با سرعت کم‌تری انجام‌شده و مدت بیش‌تری طول می‌کشد تا بذرها به رطوبت اولیه خود برسند (Hay & Probert, 1995). Soeda *et al*. (2005) گزارش کردند که خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده با روش‌های مختلف باعث بیان الگوهای ژنی متفاوت می‌شود که می‌تواند باعث سنتز پروتئین‌های مختلفی گردد. ازاین‌رو، نحوه خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده در واکنش نسبت به شرایط محیطی نگهداری و به‌دنبال آن جوانه‌زنی بسیار حائز اهمیت است.

علاوه بر روش‌های مختلف خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده، پژوهش‌گران اعمال تیمارهایی قبل از خشک‌کردن بذرها را نیز در افزایش قابلیت ماندگاری بذرهای پرایم‌شده مؤثر می‌دانند که از پرکاربردترین این روش‌ها اعمال شوک حرارتی و تنش اسمزی قبل از کاهش رطوبت بذرهای پرایم‌شده است (Bruggink *et al*., 1999). در روش تنش پتانسیل اسمزی، بذرها بلافاصله پس از اعمال پرایمینگ در محلول‌های دارای پتانسیل اسمزی پایین، مانند پلی‌اتیلن گلیکول به‌مدت چند ساعت یا چند روز قرار می‌گیرند و سپس خشک می‌شوند. در شوک حرارتی بذرهای پرایم‌شده به‌مدت کوتاهی در دمای بالا قرار می‌گیرند. پژوهش‌گران بیان کردند این عمل باعث بیان ژن‌های مربوط به سنتز پروتئین‌های شوک حرارتی می‌شود که این پروتئین‌ها باعث مقاومت بذر به تنش‌های بعدی ازجمله زوال می‌شود (Schipper *et al*., 2001; Hussain *et al*, 2015).

در مطالعات زوال بذر درک عوامل بنیادی که باعث القای پیری می‌شوند امری مهم است. از مهم‌ترین این مکانیسم‌ها بررسی پراکسیداسیون لیپیدها، تراوایی غشای سلولی و فعالیت آنزیم‌ها می‌باشد. یکی از ساده‌ترین و درعین‌حال پرکاربردترین راه‌های مطالعه آسیب‌های وارده به غشای سلولی آزمون هدایت الکتریکی است. این آزمون بر پایه نشت الکترولیت‌ها از غشای سلولی استوار بوده و آزمون بسیار ساده، کم‌هزینه و درعین‌حال دارای دقت و کاربرد زیاد و علاوه بر آن، یکی از مهم‌ترین آزمون‌های قدرت بذر می‌باشد (Vieira *et al*., 2002; Balouchi *et al*., 2014; Gorzin *et al*., 2015).

هدف از این مطالعه، با توجه به موارد مذکور و هم‌چنین اهمیت آن در فرآوری بذر کلزا، بررسی تأثیر روش‌های خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده و هم‌چنین اعمال تیمارهای شوک حرارتی و پتانسیل اسمزی بعد از پرایمینگ بذرها بر قابلیت انبارداری بذرهای پرایم‌شده‌ی ارقام کلزا می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۹۷-۱۳۹۶ در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. در این مطالعه از بذرهای سه رقم کلزا بانام‌های دی‌کا- ایکس‌پاور[1]، تراپر[2] و هایولا۵۰[3] تولیدشده در سال ۱۳۹۶ استفاده شد. بذرها از مرکز مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان گرگان تهیه و تا پایان مراحل انجام آزمایش درون ظرف‌های مهروموم‌شده و در یخچال با دمای ۲±۸ نگهداری شدند. لازم به‌ذکر است محموله‌های بذری استفاده‌شده در ارقام دی‌کا- ایکس‌پاور، تراپر و هایولا۵۰ به‌ترتیب دارای جوانه‌زنی اولیه معادل ۸۹، ۹۸ و ۹۲ درصد

1. Dk-xpower
2. Traper
3. Hayola50

بودند.

۲. ۱. اعمال تیمارهای پرایمینگ

به‌منظور اعمال تیمارهای پرایمینگ، از دو روش هیدروپرایمینگ و اسموپرایمینگ استفاده شد. در روش هیدروپرایمینگ بذرها درون بشر به حالت غوطه‌ور در آب با نسبت ۱ به ۵ (به‌ازای هر گرم بذر ۵ میلی‌لیتر آب استفاده شد) به‌مدت ۱۲ ساعت قرار گرفتند (Jafar *et al.*, 2012). در طی مدت آب‌نوشی به‌منظور اکسیژن‌رسانی و جلوگیری از خسارات ناشی از کمبود اکسیژن، هوادهی با استفاده از پمپ آکواریوم صورت گرفت (Bujalski & Nienow, 1991). هوادهی به‌صورتی انجام می‌شد که بذرها در طی آب‌نوشی به‌صورت معلق در آب بودند. در روش اسموپرایمینگ از روش ارائه‌شده توسط Farhoudi *et al.* (2007) همراه با تغییراتی استفاده شد. در این روش بذرهای کلزا به‌مدت ۱۶ ساعت در محلول ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر (dSm^{-1}) کلرید سدیم غوطه‌ور شدند. در این روش نیز هوادهی در طی پرایمینگ صورت گرفت.

۲. ۲. روش‌های خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده (تیمارهای پسابیدگی)

پس از اتمام پرایمینگ، بذرها با دو روش آرام و سریع خشک شدند (Bruggink *et al.*, 1999). در روش سریع، بذرها در ظرف‌های وکیوم با ابعاد ۴×۹×۱۳ سانتی‌متر با استفاده از توری سیمی روی ۱۵۰ گرم سیلیکاژل قرار گرفتند تا رطوبت بذرها کاهش یافت و به رطوبت اولیه برسد. در روش آرام ابتدا بذرهای پرایم‌شده روی توری سیمی در ظرف‌های وکیوم حاوی ۴۰ میلی‌لیتر محلول اشباع کلرید سدیم (رطوبت نسبی ۷۵ درصد) به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفتند. پس از گذشت ۷۲ ساعت، بذرها خارج‌شده و به‌مدت ۸ ساعت به ظرف‌های حاوی سیلیکاژل منتقل‌شده (روش سریع) تا به رطوبت اولیه خود برسند. لازم به‌ذکر است هر دو روش خشک‌کردن در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت.

۲. ۳. اعمال تیمارهای شوک حرارتی و پتانسیل اسمزی به بذرهای پرایم‌شده

در این بخش با توجه به نتایج قسمت قبل تیمارهای کارآمدتر پرایمینگ (هیدروپرایمینگ) و روش خشک‌کردن (سریع) انتخاب شد و تیمارهای شوک حرارتی و پتانسیل اسمزی بر آن‌ها اعمال شد (تیمارهای این بخش با توجه به روش‌های ارائه‌شده توسط Bruggink *et al.* (1999) باکمی تغییرات طراحی و اجرا شد).

به‌منظور اعمال شوک حرارتی به بذرهای پرایم‌شده به دو صورت عمل شد:

۱- بذرها بلافاصله پس از اتمام آب‌نوشی (پرایمینگ) به لوله‌های فالکن ۱۴ میلی‌لیتری منتقل شدند و به‌مدت ۱/۵ و ۳ ساعت در بن‌ماری با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از اتمام این مدت بذرها توسط روش سریع خشک شدند.

۲- بذرها پس از اتمام پرایمینگ در ظرف‌های وکیوم توسط توری سیمی روی ۱۵۰ گرم سیلیکا ژل قرار گرفتند و به‌مدت ۸ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. لازم به‌ذکر است رطوبت بذرها طی این مدت به مقدار اولیه خود (۴/۵-۶ درصد) رسید.

به‌منظور اعمال تیمارهای تنش اسمزی، بذرهای پرایم‌شده بلافاصله به پتری‌های شیشه‌ای با قطر ۱۴ سانتی‌متر و یک‌لایه حوله کاغذی، حاوی ۱۵ میلی‌لیتر محلول پلی‌اتیلن گلیکول ۸۰۰۰ با پتانسیل‌های ۱/۵- و ۲/۵- مگا پاسکال در دماهای ۱۰ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. پس از گذشت ۷۲ ساعت، بذرهای تیمارهای مختلف توسط آب مقطر شسته شدند و در

دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌روش سریع خشک شدند.

۲. ٤. آزمون زوال کنترل‌شده

به‌منظور مقایسه ماندگاری بذرها در تیمارهای مختلف از آزمون زوال کنترل‌شده[1] با روش ارائه‌شده توسط Bruggink *et al.* (1999) همراه با تغییراتی انجام شد. در این آزمون پس از اعمال تیمارهای مختلف و هم‌چنین روش‌های خشک‌کردن، بذرهای هر تیمار به‌طور جداگانه توسط توری سیمی درون ظرف‌های وکیوم حاوی ٤۰ میلی‌لیتر محلول اشباع کلرید سدیم قرار گرفتند (مشابه با روش خشک‌کردن آرام) و به‌مدت ٤۸ ساعت به دمای ۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. این کار باعث می‌شود رطوبت بذرها افزایش‌یافته و به مقدار ۰/۳±۹ درصد (بر مبنای وزن‌تر) برسد. سپس بذرها در لوله‌های فالکن ١٤ میلی‌لیتری قرار گرفتند. به‌منظور اطمینان از عدم تبادل رطوبت بذرها با محیط بیرون درب لوله‌های فالکن توسط چسب پلاستیکی پلمپ شد. سپس لوله‌ها به بن‌ماری با دمای ٤۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و به‌مدت ۱۰ روز نگهداری و در فواصل مختلف (یک یا دو روز) از تیمارهای مختلف نمونه‌گیری و آزمون‌های جوانه‌زنی و هدایت الکتریکی روی بذرها انجام شد.

۲. ۵. آزمون جوانه‌زنی

آزمون جوانه‌زنی در تمامی تیمارهای آزمایش در سه تکرار انجام شد. به این منظور سه تکرار ۲۵ بذری از هر تیمار درون پتری‌دیش‌هایی با قطر ۹ سانتی‌متر و حاوی یک‌لایه حوله کاغذی و ۵ میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفت و به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شد. شمارش بذرهای جوانه‌زده به‌مدت ده روز انجام گرفت و معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر یا بیش‌تر در نظر گرفته شد (Soltani *et al.*, 2001). سپس به داده‌های درصد جوانه‌زنی در مقابل زمان (دوره زوال) مدل لجستیک سه پارامتره (رابطه۱) (Ghaderi-Far *et al.*, 2012) برازش داده شد و درنهایت با استفاده از درون‌یابی مدل، زمان کاهش جوانه‌زنی به ۵۰ درصد (p50) محاسبه و به‌عنوان مبنای مقایسه قابلیت انبارداری بذرها در تیمارهای مختلف استفاده شد (Timple & Hay 2018). لازم به ذکر است بالابودن مقدار عددی این پارامتر بیانگر قابلیت ماندگاری بیش‌تر یا به‌عبارتی بالاتربودن مقاومت به زوال در محموله‌های بذری می‌باشد.

$$Y = \frac{G_{max}}{(1+(\frac{X}{D_{50}})^{\wedge}b)}$$ (رابطه ۱)

در این رابطه: Y درصد جوانه‌زنی، G_{max} حداکثر مقدار جوانه‌زنی (درصد)، D_{50} مدت‌زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی (روز پس از شروع آزمون زوال)، X زمان (روز) و b شیب منحنی می‌باشد.

۲. ٦. آزمون هدایت الکتریکی

به‌منظور مقایسه تراوایی غشا در روش‌های مختلف پرایمینگ و خشک‌کردن، آزمون هدایت الکتریکی در این تیمارها با سطوح زوال صفر (بدون زوال)، ۳، ٦ و ۹ روز انجام شد. به این منظور ۳ تکرار ۵۰ بذری از هر تیمار وزن شد و به بشر ۵۰۰ میلی‌لیتری حاوی ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر منتقل شد. لازم به ذکر است بشرهای حاوی آب مقطر به‌مدت ٢٤ ساعت در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌منظور هم‌دماشدن آب مقطر با محیط قرار گرفتند و پس از این مدت هدایت الکتریکی اولیه آب مقطر توسط دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. پس از انتقال بذرها به بشرهای حاوی آب مقطر در بشرها توسط فویل آلومینیومی پوشانده شد و به‌مدت ٢٤ ساعت در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از گذشت ٢٤ ساعت، هدایت الکتریکی توسط دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد و هدایت الکتریکی بذرها به‌ازای هر گرم بذر، برحسب میکرو زیمنس بر سانتی‌متر بر گرم توسط

1. Controlled deterioration test

رابطه (۲) محاسبه شد (Hampton & Tekrony, 1995).

(رابطه ۲) = هدایت الکتریکی

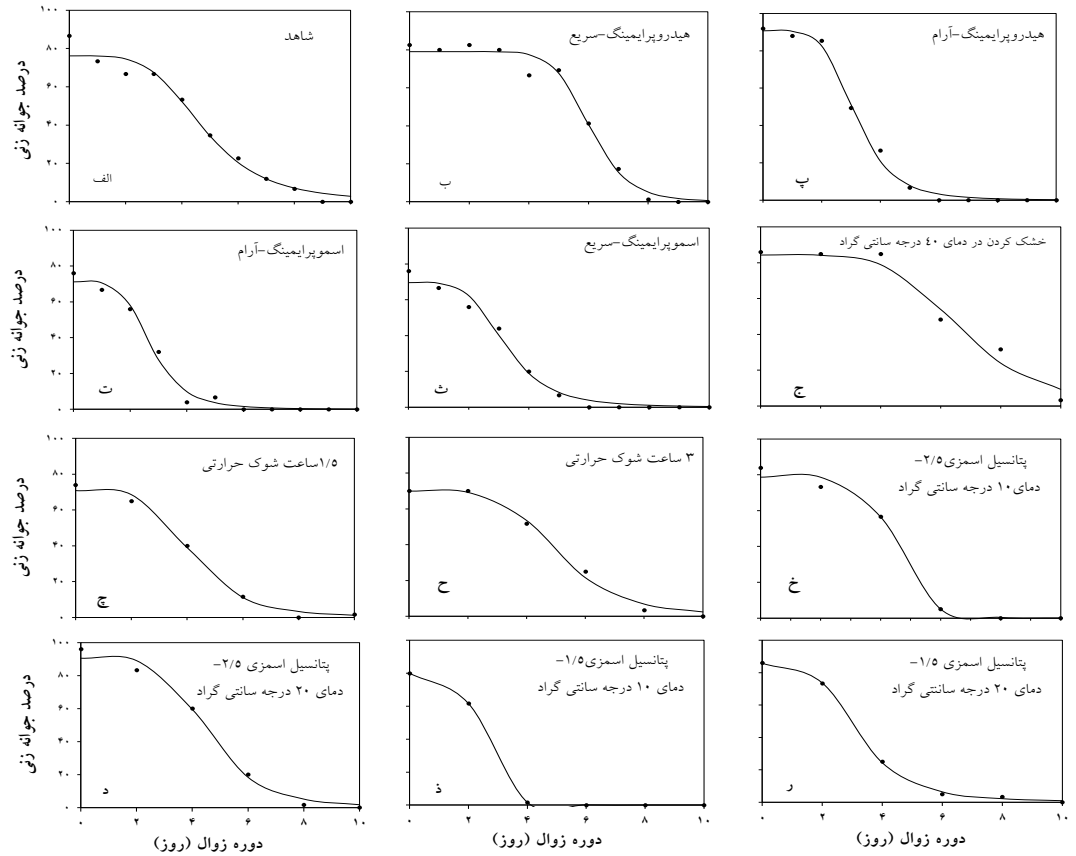
قابلیت هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)

وزن نمونه بذر (گرم)

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.0.2 و Sigmaplot 14.0 انجام شد و رسم نمودارها نیز به‌کمک نرم‌افزار Excel 2016 صورت گرفت.

۳. نتایج و بحث

در این مطالعه واکنش قابلیت حیات بذرهای ارقام کلزا، تحت تأثیر تیمارهای پرایمینگ، روش‌های خشک‌کردن و هم‌چنین تیمارهای تنش اسمزی و شوک حرارتی بذرهای پرایم‌شده قرار گرفت. هم‌چنین واکنش بذرهای هر رقم متمایز از سایر ارقام بود و برخی تیمارها موجب افزایش ماندگاری بذرها و مقاومت به زوال و از طرفی برخی تیمارها نیز باعث کاهش ماندگاری بذرها شدند. پژوهش‌گران معتقدند ارقام یا ژنوتیپ‌های یک گونه می‌توانند واکنش‌های متفاوتی نسبت به پیش‌تیمار پرایمینگ نشان دهند و هم‌چنین الگوی زوال بذرها در انبارداری طبیعی و مصنوعی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی وابسته به ژنوتیپ باشد (Butler *et al.*, 2009; Schwember & Bradford, 2010; Belmont *et al.*, 2018).



شکل ۱. برازش مدل لجستیک سه پارامتره به داده‌های درصد جوانه‌زنی بذرهای رقم دی‌کا- ایکس‌پاور، طی آزمون زوال کنترل‌شده تحت روش‌های پرایمینگ و تیمارهای مختلف مرحله خشک‌کرن بذرهای پرایم‌شده

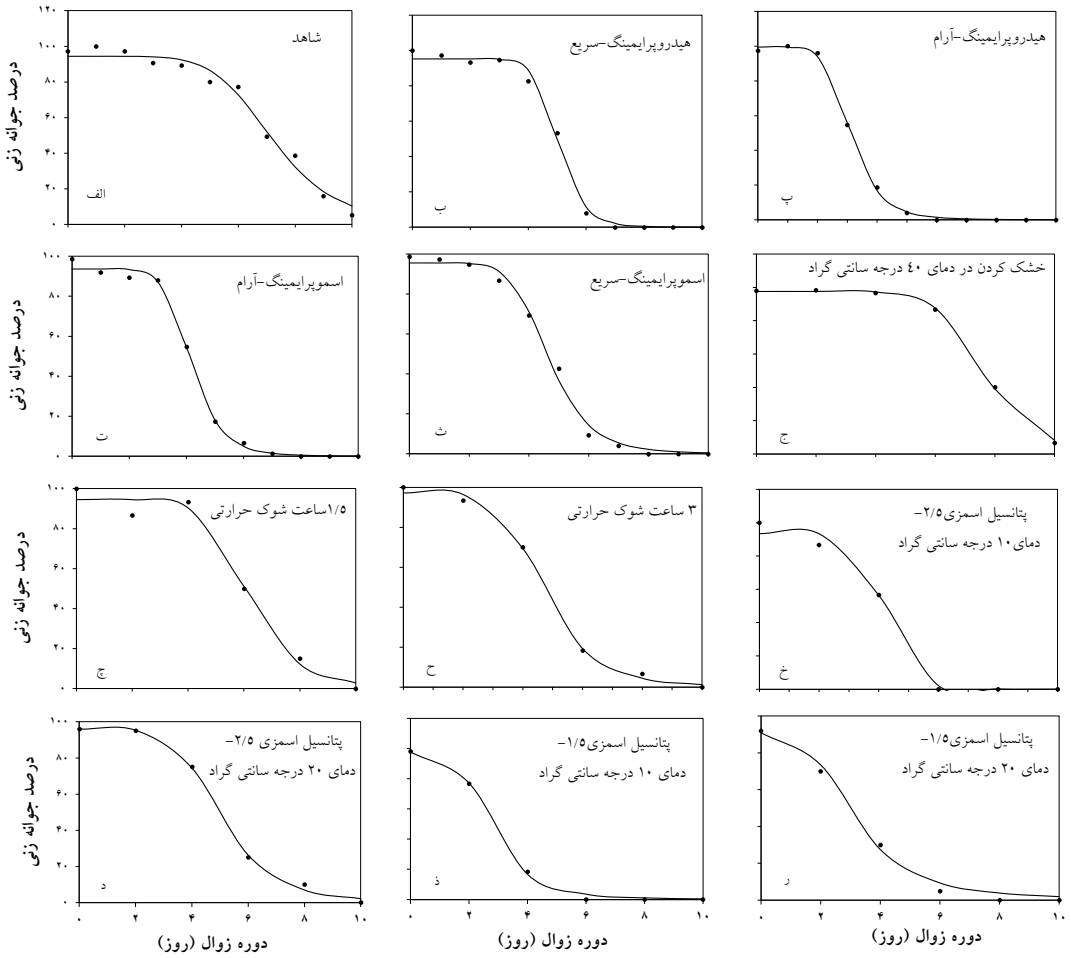
در رقم دی‌کا- ایکس‌پاور، بذرها به‌شدت تحت تأثیر پرایمینگ و روش‌های خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده قرارگرفته و واکنش‌های مختلفی نسبت به زوال در بذرهای تیمارهای مختلف مشاهده شد. به‌طوری‌که تیمار هیدروپرایمینگ- سریع، باعث افزایش ماندگاری نسبت به بذرهای شاهد شد. این در حالی بود که سایر تیمارهای پرایمینگ و پسابیدگی باعث کاهش ماندگاری بذرها شدند. به‌طورکلی، بذرهای تیمارشده با روش هیدروپرایمینگ نسبت به اسموپرایمینگ، مقاومت بیش‌تری در مقابل زوال نشان دادند. هم‌چنین خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده به‌روش سریع شدت زوال را به‌طور قابل‌توجهی نسبت به روش آرام کاهش داد. تأثیر تیمارهای شوک حرارتی در حفظ ماندگاری بذرهای رقم دی‌کا- ایکس‌پاور بسیار قابل‌توجه بود. شوک حرارتی در دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱/۵ و ۳ ساعت تأثیر چندانی بر کاهش یا افزایش جوانه‌زنی بذرها نسبت به بذرهای شاهد در طی آزمون زوال نداشت. از طرفی تیمار خشک‌کردن بذرها در دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد به‌طور قابل‌توجهی باعث افزایش ماندگاری بذرهای پرایم‌شده و مقاومت در برابر زوال شد. هم‌چنین در رقم دی‌کا- ایکس‌پاور، قرارگیری بذرها در پتانسیل ۲/۵- مگاپاسکال در دماهای ۱۰ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد تأثیر چندانی بر قابلیت ماندگاری بذرها نداشت و روند جوانه‌زنی در طول آزمون زوال در این تیمارها اختلاف چندانی با بذرهای شاهد نداشت. درحالی‌که اعمال تنش در پتانسیل ۱/۵- مگا پاسکال به‌طور قابل‌توجهی قابلیت ماندگاری بذرها را کاهش داد (شکل ۱، جدول ۱).

در رقم تراپر تمامی تیمارهای پرایمینگ و روش‌های خشک‌کردن باعث کاهش قابلیت ماندگاری بذرها نسبت به بذرهای شاهد شد. روش خشک‌کردن سریع بذرهای پرایم‌شده در هر دو روش پرایمینگ باعث افزایش مقاومت به زوال نسبت به روش آرام شد و به‌طورکلی شدت زوال در تیمار هیدروپرایمینگ- سریع کم‌تر از سایر تیمارها بود و مقاومت بیش‌تری نسبت زوال در بذرهای تیمارشده توسط این روش مشاهده شد. تأثیر تیمارهای شوک حرارتی در رقم تراپر بسیار متفاوت بود.

جدول ۱. مقادیر برآوردشده زمان (روز) تا کاهش جوانه‌زنی به ۵۰ درصد (p50) در روش‌های پرایمینگ و تیمارهای مختلف مرحله خشک‌کرن بذرهای پرایم‌شده ارقام کلزا

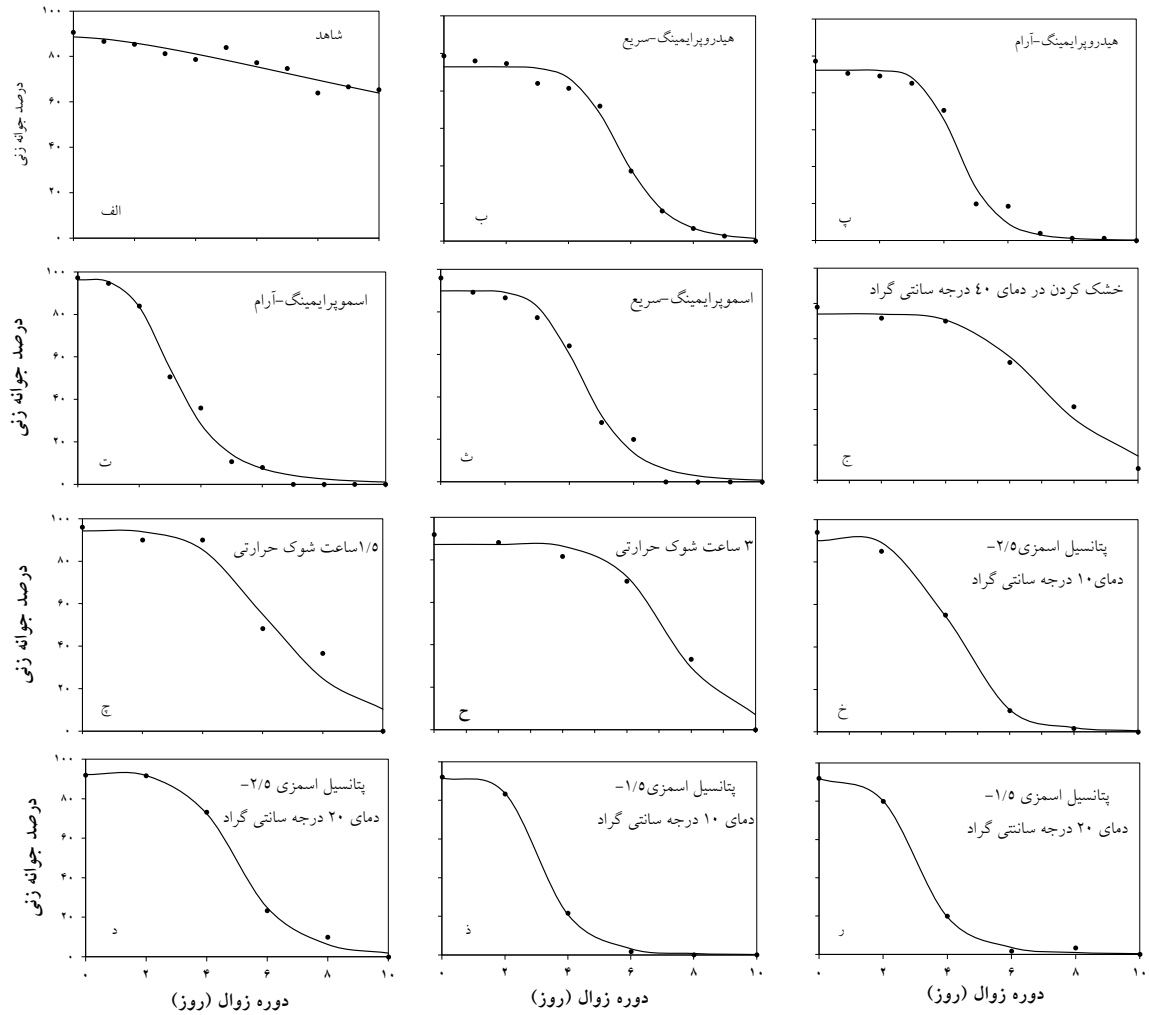
رقم / تیمار	شاهد (بدون پرایمینگ)	هیدروپرایمینگ- سریع	هیدروپرایمینگ- آرام	اسموپرایمینگ- آرام	اسموپرایمینگ- سریع	خشک‌کردن در دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد	۱/۵ ساعت شوک حرارتی	۳ ساعت شوک حرارتی	پتانسیل اسمزی ۲/۵- دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد	پتانسیل اسمزی ۲/۵- دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد	پتانسیل اسمزی ۱/۵- دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد	پتانسیل اسمزی ۱/۵- دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد
دی‌کا-ایکس‌پاور	٤/۱۳	۵/۷۰	۳/۰٦	۲/۲۹	۲/٦۱	٦/۲٤	۳/٤٦	٤/۲۲	٤/۱۷	٤/۳۷	۲/۲۰	۲/۹۰
تراپر	۷/۱۰	٤/۹۹	۳/۱۱	٤/۱۰	٤/٦۱	۷/٦۰	٦/۰٤	٤/٦۵	٤/۱۲	٤/۹٤	۲/۷۰	۲/۸٤
هایولا۵۰	۱۵/۵۸	۵/٦۰	٤/٤۰	۳/۱۵	٤/۳۳	۷/۱۰	٦/۲۷	۷/۰٦	٤/۱۳	٤/۸۸	۳/۰۵	۳/۰۱

به‌طوری‌که خشک‌کردن بذرها در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد توانست ماندگاری بذرها را حفظ کرده و از بروز اثرات منفی پرایمینگ یعنی کاهش ماندگاری بذرها، جلوگیری کند؛ اما تیمارهای شوک حرارتی به‌مدت یک و نیم و سه ساعت در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش ماندگاری بذرها نسبت به بذرهای شاهد شده و در این بین قراردادن بذرها به‌مدت سه ساعت در معرض شوک حرارتی تأثیر بیش‌تری در کاهش ماندگاری بذرها در مقایسه با بذرهای شاهد داشت. از طرفی تمامی تیمارهای پتانسیل اسمزی در بذرهای رقم تراپر، موجب کاهش قابلیت ماندگاری نسبت به بذرهای شاهد شدند. در مقایسه بین تیمارها، تنش اسمزی در پتانسیل ۲/۵- مگا پاسکال نسبت به پتانسیل ۱/۵- مگا پاسکال دارای اثرات منفی کم‌تری درخصوص کاهش ماندگاری بذرها بود. هم‌چنین اعمال تنش در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد سهم کم‌تری در کاهش قابلیت ماندگاری بذرها داشت. به‌طورکلی تنش در پتانسیل آب مثبت‌تر و دمای پایین‌تر موجب افزایش حساسیت بذرها نسبت به زوال شد (شکل ۲، جدول ۱).



شکل ۲. برازش مدل لجستیک سه پارامتره به داده‌های درصد جوانه‌زنی بذرهای رقم تراپر، طی آزمون زوال کنترل‌شده تحت روش‌های پرایمینگ و تیمارهای مختلف مرحله خشک‌کرن بذرهای پرایم‌شده

در رقم هایولا۵۰ بذرهای شاهد به مقدار کمی تحت تأثیر آزمون زوال قرار گرفتند. به‌طوری‌که جوانه‌زنی طی دوره ۱۰ روز زوال، تنها به مقدار ۲۵ درصد کاهش یافت درحالی‌که تیمارهای پرایمینگ و روش‌های خشک‌کردن به‌طور قابل‌توجهی موجب کاهش ماندگاری بذرها شدند. ماندگاری بذرهای پرایم‌شده به‌روش اسموپرایمینگ کاهش بیش‌تری نسبت به بذرهای تیمارشده به‌روش هیدروپرایمینگ داشتند. هم‌چنین خشک‌کردن بذرها به روش آرام نیز نسبت به روش سریع موجب افزایش زوال و کاهش ماندگاری بذرها شد. تیمارهای شوک حرارتی در این رقم اختلاف چندانی با هم از نظر درصد جوانه‌زنی طی آزمون زوال نداشتند؛ اما نسبت به تیمارهای پسابیدگی و پتانسیل اسمزی موجب کاهش شدت زوال در بذرهای پرایم‌شده، شدند. هم‌چنین، در رقم هایولا۵۰ بذرهای تیمارشده در پتانسیل‌های اسمزی موجب کاهش ماندگاری بذرها شدند. در این بین اعمال تنش اسمزی در پتانسیل ۱/۵- مگاپاسکال تأثیر منفی بیش‌تری بر ماندگاری بذرهای پرایم‌شده داشتند (شکل ۳، جدول ۱).



شکل ۳. برازش مدل لجستیک سه پارامتره بر داده‌های درصد جوانه‌زنی بذرهای رقم هایولا۵۰، طی آزمون زوال کنترل‌شده تحت روش‌های پرایمینگ و تیمارهای مختلف مرحله خشک‌کرن بذرهای پرایم‌شده

شکل‌های (۱)، (۲) و (۳) نشان‌دهنده روند زوال در بذرهای شاهد و پرایم‌شده ارقام کلزا که تحت تیمارهای مختلف پرایمینگ و هم‌چنین تیمارهای مختلف در مرحله خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده شامل تیمارهای پسابیدگی، شوک حرارتی و پتانسیل اسمزی قرار گرفتند، می‌باشند. زمانیکه بذرها در معرض زوال قرار می‌گیرند، ابتدا سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر قرار می‌گیرد، این در حالی است که تأثیر زوال بر درصد جوانه‌زنی بذرها چندان نیست. به‌عبارت دیگر در فرایند زوال قبل از کاهش درصد جوانه‌زنی و قابلیت حیات، قدرت بذرها کاهش می‌یابد و سپس با پیش‌روی زوال ظرفیت جوانه‌زنی تحت تأثیر قرارگرفته و کاهش می‌یابد. این امر مفهوم آستانه کاهش قابلیت حیات بذر را برای ما آشکار می‌سازد که پس از گذشتن از حد آستانه قابلیت جوانه‌زنی بذرها با شیب زیاد کاهش می‌یابد (Malik & jyoti, 2013)؛ بنابراین ما برای بررسی تأثیر تیمارهای مختلف بر روند زوال در محموله‌های بذری نیازمند پارامترهایی هستیم که بتوانند معیار مقایسه قرار بگیرند. در این مطالعه به‌منظور مقایسه تأثیر تیمارهای مختلف، از زمان تا کاهش جوانه‌زنی بذرها به ۵۰ درصد (p50) استفاده شده است. در جدول (۱) مقدار عددی این پارامتر ارائه‌شده است. لازم به ذکر است که بیش‌تر بودن مقدار عددی این پارامتر نشان‌دهنده پایین‌تربودن سرعت زوال و در مقابل ماندگاری بیش‌تر محموله‌های بذری می‌باشد.

به‌طورکلی در رقم دی‌کا- ایکس‌پاور تیمارهای خشک‌کردن سریع بذرها در دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد، هیدروپرایمینگ- سریع، شوک حرارتی به‌مدت ۳ ساعت و قراردادن بذرها در پتانسیل ۲/۵- مگاپاسکال در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، نه‌تنها قابلیت ماندگاری بذرها را کاهش ندادند، بلکه موجب بهبود ماندگاری نسبت به بذرهای شاهد نیز شدند (شکل ۱- ب، ج، د). در مقابل سایر تیمارها موجب کاهش ماندگاری بذرهای این رقم شدند. بیش‌ترین آثار منفی بر ماندگاری بذرها مربوط به تنش اسمزی در پتانسیل ۱/۵- مگاپاسکال، تیمارهای اسموپرایمینگ و تیمار هیدروپرایمینگ- آرام بود (شکل ۱- پ، ت، ث، ذ، ر). در رقم تراپر نیز تیمار خشک‌کردن سریع در دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد باعث بهبود ماندگاری بذرها و مقاومت بیش‌تر در مقابل آزمون زوال نسبت به بذرهای شاهد شد (شکل ۲- ج)؛ اما سایر تیمارها باعث کاهش ماندگاری بذرها شدند. بیش‌ترین اثرات منفی مربوط به تنش اسمزی در پتانسیل ۱/۵- مگاپاسکال و هم‌چنین تیمارهای هیدروپرایمینگ- آرام و اسموپرایمینگ- آرام بود (شکل ۲- پ، ت). از طرفی تیمارهای شوک حرارتی، هیدروپرایمینگ- سریع و تنش اسمزی ۲/۵- مگا پاسکال در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد دارای اثرات منفی کم‌تری نسبت به سایر تیمارها بودند. در رقم هایولا ۵۰ برخلاف دو رقم دیگر تمام تیمارها به‌طور قابل‌توجهی باعث کاهش ماندگاری بذرها شدند. در بذرهای این رقم کم‌ترین اثر منفی مربوط به تیمارهای شوک حرارتی و بیش‌ترین اثرات منفی مربوط به تیمارهای تنش اسمزی، تیمارهای اسموپرایمینگ و تیمار هیدروپرایمینگ- آرام بود.

درمجموع تیمارهای شوک حرارتی باعث بهبود ماندگاری بذرهای پرایم‌شده شدند. در مقابل تیمارهای تنش اسمزی به‌خصوص اعمال تنش در دمای پایین (۱۰ درجه سانتی‌گراد) و پتانسیل آب ۱/۵- مگاپاسکال اثرات سوء بیش‌تری بر ماندگاری بذرهای پرایم‌شده داشتند. هم‌چنین در مقایسه تیمارهای پرایمینگ و روش‌های خشک‌کردن، پرایمینگ بهروش هیدروپرایمینگ و خشک‌کردن سریع بذرهای پرایم‌شده دارای برتری نسبی در حفظ ماندگاری بذرهای پرایم‌شده بودند (جدول ۱).

بذرهای پرایم‌شده در دو مرحله با تنش مواجه می‌شوند

که یکی در مرحله آب‌نوشی و دیگری در مرحله خشکشدن یا پسابیدگی پس از آب‌نوشی صورت می‌گیرد (Ventura *et al*., 2012). صدمات ناشی از جذب آب، تولید گونه‌های اکسیژن فعال، تنش ناشی از کمبود اکسیژن و تنش ناشی از جذب نمک‌ها از جمله تنش‌هایی است که در هنگام آب‌نوشی و طی پرایمینگ صورت می‌گیرد (Hardegree & Emmerich, 1994; Chen & Arora, 2013; Ibrahim, 2016). دومین مرحله‌ای که بذرها در طی پرایمینگ با تنش مواجه می‌شوند، در مرحله خشک‌شدن بذرها پس از آب‌نوشی است. برای خشک‌کردن بذرها پس از اعمال تیمار پرایمینگ ممکن است از روش سریع و یا روش آرام استفاده شود و روش خشک‌کردن بذرها پس از پرایمینگ می‌تواند بر قابلیت جوانه‌زنی، قدرت و طول عمر بذر اثرگذار باشند (Copeland & McDonald, 2001; Bewley *et al*., 2013). تأثیر روش خشک‌کردن بذر بر قدرت و یا طول عمر بذر به نوع بذر بستگی دارد. عموماً، قدرت و طول عمر بذرهایی که پس از پرایمینگ به‌وسیله روش‌های آهسته خشک می‌شوند بیش‌تر است (Schwember & Bradford, 2005; Demir, 2005)، اما شواهدی نیز مبنی بر کارایی بیش‌تر روش‌های سریع وجود دارد (Parera & Cantliffe, 1994).

Powell (2000) علت اصلی کاهش ماندگاری بذرهای پرایم‌شده را پیشروی به‌سوی حالتی که بذرها تحمل به پسابیدگی را از دست می‌دهند بیان کرد. نام‌برده نشان داد ماندگاری بذرهای پرایم‌شده می‌تواند به‌شدت تحت تأثیر شرایط پس از اعمال پرایمینگ قرار بگیرد. به‌طوری‌که اعمال تیمارهایی از قبیل شوک حرارتی و تنش اسمزی خفیف می‌تواند تا حدی از بروز اثرات منفی پرایمینگ بر ماندگاری بذرها جلوگیری کند. هم‌چنین در مطالعه‌ای Gurusinghe *et al*. (2002) بیان کردند خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده در دمای بالا می‌تواند کارایی انبارداری بذرها و مقاومت به شرایط تنش را افزایش دهد. هم‌چنین دما و رطوبت نسبی در مرحله کاهش رطوبت بذرهای پرایم‌شده، می‌تواند کیفیت بذر و به‌دنبال آن مزایای پرایمینگ را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد (Copeland & McDonald, 2001).

Soeda *et al*. (2005) بیان کردند الگوی بیان ژن در بذرهای پرایم‌شده که با روش‌های مختلف خشک می‌شوند بسیار متفاوت است. نام‌بردگان بیان کردند پس از خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده به‌روش آرام، ژن‌های حفاظت از DNA و تحمل به تنش بیان می‌گردد. به‌طوری‌که پژوهش‌گران گزارش کردند هنگامی‌که بذرها پس از پرایمینگ در دمای بالا قرار می‌گیرند و رطوبت خود را به‌سرعت از دست می‌دهند، باعث سنتز پروتئین‌های شوک حرارتی می‌شود که این پروتئین‌ها می‌توانند در ایجاد یک مکانیسم محافظتی در مقابل زوال بذرها نقش داشته و درنهایت می‌تواند موجب بهبود ماندگاری بذرهای پرایم‌شده شود (Bruggink *et al*., 1999; Schipper *et al*., 2001; Gurusinghe *et al*., 2002).

Debaene-Gill *et al*. (1994) علت تأثیر مثبت خشک‌کردن بذرها در دمای بالا را این‌گونه بیان کردند که کاهش رطوبت در دمای بالا به حفظ یکپارچگی غشای سلولی کمک می‌کند که این امر مانع از بین رفتن ساختارهای سلول و حفظ انسجام ساختاری در شرایط مواجه با تنش می‌گردد. در مقابل، کاهش رطوبت بذرها در دمای پایین ممکن است باعث آسیب و افزایش تراوایی غشاهای سلولی شود و قرارگیری بذرهای پرایم‌شده در دمای پایین به‌علت ادامه متابولیسم سلولی و امکان رشد ریشه‌چه می‌تواند باعث ازبین‌رفتن تحمل به پسابیدگی در جنین و به‌دنبال آن بروز اثرات منفی به‌ویژه کاهش ماندگاری بذرها شود (Demir *et al*., 2005). هنگامی‌که

رشد ریشه‌چه ادامه یافته و سپس بذر خشک شود آسیب‌های جبران‌ناپذیری به بذر وارد می‌گردد چراکه نوک ریشه‌چه نخستین بافتی است که در هنگام خشک‌شدن بذرهای آب‌نوشی شده آسیب می‌بیند (Koster & Leopold, 1998). به‌طورکلی سنتز پروتئین‌های LEA، ساکارز، الیگوساکاریدها و ابسیزیک اسید ازجمله مکانیسم‌هایی هستند که با تحمل به پسابیدگی در بذرها ارتباط تنگاتنگی داشته و بهبود در سنتز این مواد، افزایش ماندگاری بذرها را سبب می‌شود (Bewley *et al*., 2013).

همان‌طورکه بیان شد در مطالعه حاضر، ازدست‌دادن رطوبت در دمای بالا (٤٠ درجه سانتی‌گراد) باعث بهبود ماندگاری بذرها شد (شکل‌های ١- ج، ٢- ج و ٣- ج). از طرفی نیز اعمال تنش پتانسیل اسمزی در دمای پایین، دارای اثرات مخرب بیش‌تری نسبت به اعمال تنش در دمای بالاتر و هم‌چنین سایر تیمارها بود (شکل‌های ١، ٢ و ٣؛ جدول ١). نتایج مطالعات انجام‌شده در موارد مشابه بر روی بذرهای ذرت و فلفل حاکی از آن بود که زمانی‌که بذرهای پرایم‌شده ذرت در دمای بالا قرار می‌گیرند قدرت بذر و سبزشدن گیاهچه‌ها نسبت به زمانی که بذرها در دمای پایین خشک می‌شوند، بهبود می‌یابد (Parera & Cantliffe, 1994). هم‌چنین Demir *et al*. (2005) با بیان این‌که دفع آب در دمای بالا می‌تواند باعث حفظ و بهبود بسیاری از معیارهای کیفیت بذر شود؛ نشان دادند اثرات مثبت پرایمینگ زمانی که بذرها در دمای بالا خشک شدند بیش‌تر از سایر شرایط خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده فلفل بود.

محتوی رطوبت بذرهای پرایم‌شده در روش آرام خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده نسبت به روش سریع، در مدت‌زمان طولانی‌تری کاهش می‌یابد (داده‌ها ارائه نشد). ازاین‌رو، بالاتربودن محتوی رطوبت بذرها به معنی ادامه مسیر متابولیسم جوانه‌زنی می‌باشد. از آن‌جایی پیشروی بیش‌ازحد متابولیسم جوانه‌زنی در بذرهای پرایم‌شده با کاهش تحمل به پسابیدگی در بذرها ارتباط مستقیم دارد، خشک‌کردن بذرها به‌روش آرام ممکن است باعث تخریب ساختارهای غشای سلولی شوند که این آسیب در سلول‌های جنینی به‌خصوص در محور جنینی بسیار شدیدتر از سایر بافت‌ها است. در مقابل روش سریع خشک‌کردن باعث حفظ ساختار غشاها می‌شود و می‌تواند به ماندگاری بذر در شرایط تنش کمک کند (Bewley *et al*., 2013; Timple & Hay, 2018).

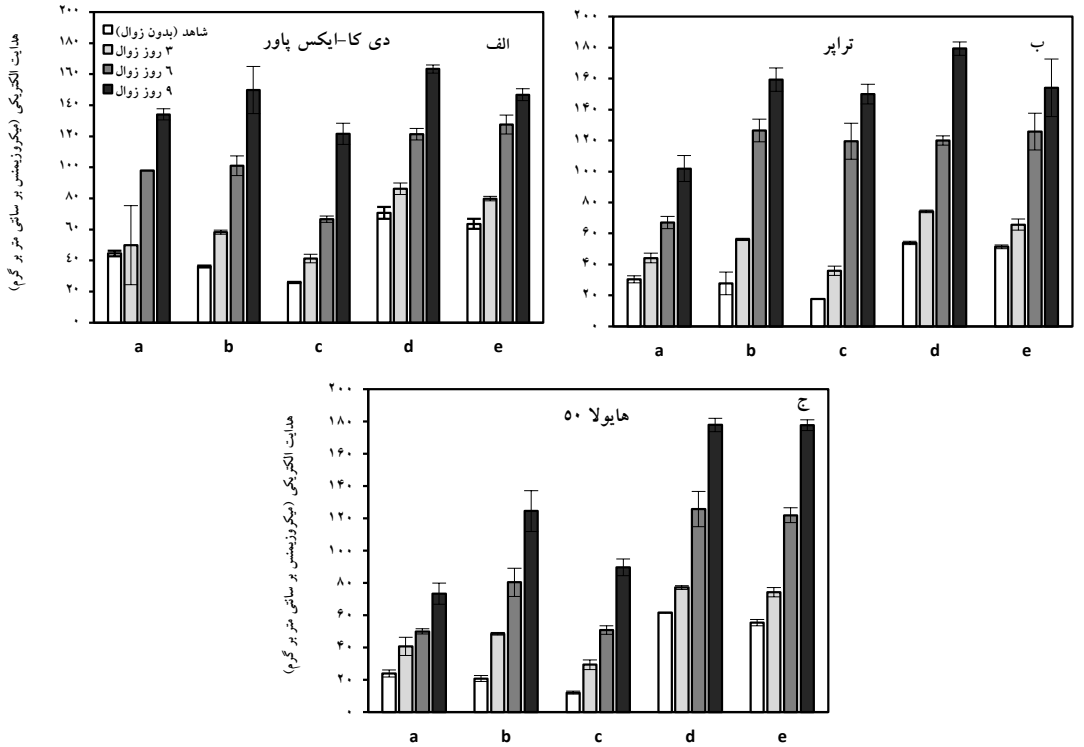
با بررسی روند هدایت الکتریکی بذرها طی آزمون زوال کنترل‌شده مشخص شد با افزایش دوره زوال در تمامی ارقام کلزا، هدایت الکتریکی در بذرهای شاهد و تیمارشده با روش‌های مختلف پرایمینگ (هیدروپرایمینگ و اسموپرایمینگ) و هم‌چنین روش‌های مختلف خشک‌کردن (آرام و سریع)، هدایت الکتریکی بذرها افزایش یافت (شکل ٤).

در رقم دی‌کا- ایکس‌پاور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی بذرها نشان داد پرایمینگ بذر با روش هیدروپرایمینگ باعث کاهش هدایت الکتریکی بذرها نسبت به بذرهای شاهد شد (قبل از آزمون زوال) که در این بین تأثیر روش خشک‌کردن سریع بذرهای پرایم‌شده بیش‌تر بود. در مقابل تیمار اسموپرایمینگ باعث افزایش هدایت الکتریکی بذر نسبت به تیمار شاهد شد. در تمامی تیمارها طی آزمون زوال هدایت الکتریکی بذرها به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. اختلاف هدایت الکتریکی بذرها بین تیمارهای مختلف با پیشروی آزمون زوال افزایش یافت. هم‌چنین هدایت الکتریکی در بذرهای تیمار هیدروپرایمینگ- سریع در طی آزمون زوال کم‌تر از بذرهای شاهد بود درحالی‌که هدایت الکتریکی بذر در سایر تیمارها بیش‌تر از بذرهای شاهد بود (شکل ٤- الف).

در رقم تراپر مقایسه هدایت الکتریکی بذرها قبل از

آزمون زوال نشان داد تیمار هیدروپرایمینگ- سریع موجب کاهش هدایت الکتریکی بذرها شد، درحالی‌که تیمار هیدروپرایمینگ- آرام تأثیر معنی‌داری بر هدایت الکتریکی بذرها نداشت. از طرفی تیمارهای اسموپرایمینگ- آرام و اسموپرایمینگ- سریع موجب افزایش هدایت الکتریکی بذرها (قبل از آزمون زوال) شد. با شروع و افزایش دوره زوال، هدایت الکتریکی بذرها در تمامی تیمارها به‌شدت افزایش یافت. در مقایسه بین تیمارهای مختلف طی آزمون زوال تمامی تیمارهای پرایمینگ و روش‌های خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده باعث افزایش هدایت الکتریکی بذرها شدند (شکل ٤- ب).

در رقم هایولا٥٠، هدایت الکتریکی بذرها قبل از آزمون زوال الگویی مشابه با رقم تراپر نشان داد و تیمارهای هیدروپرایمینگ-سریع و اسموپرایمینگ با هر دو روش خشک‌کردن به‌ترتیب باعث کاهش و افزایش هدایت الکتریکی بذرها و تیمار هیدروپرایمینگ-آرام تأثیر معنی‌داری بر هدایت الکتریکی بذرها نداشت. در طی آزمون زوال تمامی تیمارها موجب افزایش هدایت الکتریکی بذرها نسبت به بذرهای شاهد به‌خصوص در روز نهم آزمون زوال شدند که در این بین پرایمینگ بذر به‌روش اسموپرایمینگ نسبت به هیدروپرایمینگ هدایت الکتریکی بذرها، به مقدار بیش‌تری افزایش داد. در روش اسموپرایمینگ بین روش‌های خشک‌کردن تفاوت معنی‌داری ازلحاظ هدایت الکتریکی بذرها طی آزمون زوال وجود نداشت. درحالی‌که خشک‌کردن بذرها به‌روش آرام در مقایسه با روش سریع در بذرهای پرایمینگ‌شده با روش هیدروپرایمینگ موجب افزایش هدایت الکتریکی بذرها شد (شکل ٤- ج).



شکل ٤. هدایت الکتریکی بذرهای ارقام کلزا طی آزمون زوال کنترل‌شده. a، b، c، d و e به‌ترتیب نشان‌دهنده تیمارهای شاهد، هیدروپرایمینگ- آرام، هیدروپرایمینگ- سریع، اسموپرایمینگ- آرام و اسموپرایمینگ- سریع می‌باشد.

افزایش نشت الکترولیت‌ها طی زوال طبیعی و مصنوعی در بذرهای کلزا توسط پژوهش‌گران بیان شده است (Abdolahi *et al*., 2012; Alivand *et al*., 2013). هدایت الکتریکی در دوره‌های پایانی زوال در بذرهای پرایم‌شده بیش‌تر از بذرهای بدون پرایمینگ (شاهد) بود. هم‌چنین در مقایسه بذرهای پرایم‌شده، روش آرام خشک‌کردن بذرها باعث افزایش نشت الکترولیت‌ها شد. همان‌طورکه پیش‌تر نیز بیان شد افزایش زمان آب‌نوشی و هم‌چنین افزایش زمان خشک‌کردن باعث ازبین‌رفتن ساختار غشاها می‌شود. ازبین‌رفتن ساختار غشای سلولی به معنی ازدست‌دادن خاصیت نفوذپذیری انتخابی بذرها و به‌دنبال آن نشت مواد به خارج از سلول، تسریع فرایند پیری در بذر و نهایتاً مرگ بذرها می‌باشد (Debaene-Gill *et al*., 1994; Schipper *et al*., 2001; Bewley *et al*., 2013).

٤. نتیجه‌گیری

آثار پرایمینگ بسته به رقم، شیوه انجام پرایمینگ و تیمارهای مختلف در مرحله خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده بسیار متفاوت بود. به‌طورکلی در بذرهای هر سه رقم کلزای موردمطالعه، پرایمینگ به‌روش هیدروپرایمینگ آثار منفی کم‌تری بر قابلیت ماندگاری بذرها نسبت به اسموپرایمینگ داشت. درخصوص روش‌های خشک‌کردن بذرهای پرایم‌شده نیز خشک‌کردن بذرها در مدت‌زمان کوتاه‌تر (روش سریع) در بهبود آثار منفی پرایمینگ می‌تواند بسیار مؤثر باشد. تیمارهای شوک حرارتی نیز می‌توانند در القای ماندگاری به بذرهای پرایم‌شده کارآمد واقع شوند مشروط به این‌که به روش و مدت اعمال شوک حرارتی توجه شود. قراردادن بلافاصله بذرهای پرایم‌شده در معرض پتانسیل‌های اسمزی غالباً موجب تشدید آثار منفی پرایمینگ شد و طول عمر بذرها را کاهش داد. به‌عبارت بهتر از نتایج این مطالعه می‌توان استنباط کرد در خصوص پرایمینگ بذرهای کلزا، هرچه سرعت کاهش رطوبت بذرها بیش‌تر باشد می‌تواند موجب بهبود ماندگاری بذرها شود و هم‌چنین قراردادن بذرها در دمای بالا می‌تواند علاوه بر حفظ ماندگاری بذرها موجب بهبود در طول عمر بذرها نیز گردد. بنابراین پرایمینگ همیشه باعث کاهش طول عمر بذرها نبوده و با کنترل شرایط پرایمینگ و هم‌چنین شرایط بذرها پس از پرایمینگ می‌توان از آثار مثبت این تکنیک به‌صورت کارآمد استفاده کرد.

٥. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

٦. منابع

Abdolahi, M., Andelibi, B., Zangani, E., Shekari, F. & Jamaati-e-Somarin, S. (2012). Effect of accelerated aging and priming on seed germination of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3, 499-508.

Alivand, R., Tavakkol Afshari, R. & Sharifzadeh, F. (2013). Investigation of rapeseed (*Brassica napus*) seed germination and forecasting of seed deterioration under different storage conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *44*, 69-83. (in Persian)

Argerich, C. A., Bradford, K. J. & Tarquis, A. M. (1989). The effects of priming and ageing on resistance to deterioration of tomato seeds. *Journal of Experimental Botany*, *40*(5), 593-598. DOI: 10.1093/jxb/40.5.593.

Belmont, J., Sánchez-Coronado, M. E., Osuna-Fernández, H.R., Orozco-Segovia, A. & Pisanty, I. (2018). Priming effects on seed germination of two perennial herb species in a disturbed lava field in central Mexico. *Seed Science Research*, *28*(1), 63-71. DOI: 10.1017/S0960258518000016.

Bewley, J.D., Bradford, K.J. Hilhorst, H.W.M. & Nonagaki, H. (2013). *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*, 3th Edition. Springer. New York Heidelberg Dordrecht London, Switzerland. 392pp.

Bruggink, G., Ooms, J. & Van der Toorn, P. (1999). Induction of longevity in primed seeds. *Seed Science Research*, *9*(1), 49-53.

Bujalski, W. & Nienow, A. (1991). Large-scale osmotic priming of onion seeds: a comparison of different strategies for oxygenation. *Scientia Horticulturae*, *46*(1-2), 13-24. DOI: 10.1016/0304-4238 (91)90088-G.

Butler, L., Hay, F., Ellis, R., Smith, R. & Murray, T. (2009). Priming and re-drying improve the survival of mature seeds of *Digitalis purpurea* during storage. *Annals of Botany*, *103*(8), 1261-1270. DOI: 10.1093/aob/mcp059.

Balouchi, H. R., Bagheri, F., Kayednezami, R., Movahedi, D.M. & Yadavi, A.R. (2014). Effect of seed aging on germination and seedling growth indices in three cultivars of *Brassica napus* L. *Iranian Journal of Plant Researches*, 26, 397-411. (In Persian).

Chen, K. & Arora, R. (2013). Priming memory invokes seed stress-tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, *94*, 33-45. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2012.03.005.

Chiu, K., Chen, C. & Sung, J. (2002). Effect of priming temperature on storability of primed sh-2 sweet corn seed. *Crop Science*, *42*(6), 1996-2003.

Copeland, L.O. & McDonald, M.B. (2001). *Principles of seed science and technology*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. pp. 278-281.

Dearman, J., Brocklehurst, P. & Drew, R. (1986). Effects of osmotic priming and ageing on onion seed germination. *Annals of Applied Biology*, *108*(3), 639-648. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1986.tb02003.x.

Debaene-Gill, S.B., Allen, P.S. & White, D.B. (1994). Dehydration of germinating perennial ryegrass seeds can alter rate of subsequent radicle emergence. *Journal of Experimental Botany*, *45*(9), 1301-1307. DOI:10.1093/jxb/45.9.1301.

Demir, I., Ermis, S. & Okcu, G. (2005). Effect of dehydration temperature and relative humidity after priming on quality of pepper seeds. *Seed Science and Technology*, *33*(3), 563-569. DOI: 10.15258/sst.2005.33.3.04.

Ellis, R. & Hong, T. (1994). Desiccation tolerance and potential longevity of developing seeds of rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of Botany*, *73*(5), 501-506.

Ellis, R. & Hong, T. (2007). Quantitative response of the longevity of seed of twelve crops to temperature and moisture in hermetic storage. *Seed Science and Technology*, *35*(2), 432-444. DOI: 10.15258/sst.2007.35.2.18.

Farhoudi, R., Sharifzadeh, F., Poustini, K., Makkizadeh, M. & Kochak Por, M. (2007). The effects of NaCl priming on salt tolerance in canola (*Brassica napus*) seedlings grown under saline conditions. *Seed Science and Technology*, *35*(3), 754-759. DOI: 10.15258/sst.2007.35.3.23.

Farooq, M., Basra, S., Afzal, I. & Khaliq, A. (2006). Optimization of hydropriming techniques for rice seed invigoration. *Seed Science and Technology*, *34*(2), 507-512. DOI: 10.15258/sst.2006.34.2.25.

Ghaderi-Far, F., Alimagham, S., Kameli, A. & Jamali, M. (2012). Isabgol (*Plantago ovata* Forsk) seed germination and emergence as affected by environmental factors and planting depth. *International journal of plant production*, *6*, 185-194. (in Persian)

González-Zertuche, L., Orozco-Segovia, A., Baskin, C. & Baskin, J. (2002). Effects of priming on germination of *Buddleja cordata* ssp. cordata (Loganiaceae) seeds and possible ecological significance. *Seed Science and Technology*, *30*(3), 535-548.

Gorzin, M., Ghaderi-Far, F., Zeinali, E., Razavi, S.E. & Monyan Ardestani, M. (2015). The role of planting date, foliar application of benomyl fungicide and potassium silicate in increasing seed quality of soybean cv. Williams. *Journal of Crops Improvement*, 1 (17), 139-153. (In Persian)

Gurusinghe, S., Powell, A. L. & Bradford, K. J. (2002). Enhanced expression of BiP is associated with treatments that extend storage longevity of primed tomato seeds. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *127*(4), 528-534. DOI: 10.21273/JASHS.127.4.528.

Hampton, J.G. & TeKrony, D. M. (1995) *Handbook of vigor test methods*. The International Seed Testing Association, Zurich. 117 pp.

Hardegree, S. P. & Emmerich, W. E. (1994). Seed germination response to polyethylene glycol solution depth. *Seed Science and Technology*, *22*, 1-7.

Hay, F. & Probert, R. (1995). Seed maturity and the effects of different drying conditions on desiccation tolerance and seed longevity in foxglove (*Digitalis purpurea* L.). *Annals of Botany*, *76*(6), 639-647. DOI: 10.1006/anbo.1995.1142.

Hill, H., Cunningham, J. D., Bradford, K. J. & Taylor, A. (2007). Primed lettuce seeds exhibit increased sensitivity to moisture content during controlled deterioration. *HortScience*, *42*(6), 1436-1439. DOI: 10.21273/HORTSCI.42.6.1436.

Hussain, S., Zheng, M., Khan, F., Khaliq, A., Fahad, S., Peng, S. & Nie, L. (2015). Benefits of rice seed priming are offset permanently by prolonged storage and the storage conditions. *Scientific reports*, *5*, 8101.

Ibrahim, E.A. (2016). Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *Journal of Plant Physiology*, *192*, 38-46. DOI: 10.1016/j.jplph.2015.12.011.

Jafar, M., Farooq, M., Cheema, M., Afzal, I., Basra, S., Wahid, M. & Shahid, M. (2012). Improving the performance of wheat by seed priming under saline conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *198*(1), 38-45. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2011.00485.x.

Koster, K. L. & Leopold, A. C. (1988). Sugars and desiccation tolerance in seeds. *Plant Physiology*, *88*(3), 829-832. DOI: 10.1104/pp.88.3.829.

Malek, M., Ghaderi-Far, F., Torabi, B., Sadeghipour, H.R. & Hay, F.R. (2019). The influence of seed priming on storability of rapeseed (*Brassica napus*) seeds. *Seed Science and Technology*, *47*, 87-92. DOI: 10.15258/sst.2019.47.1.09.

Malik, C.P. & Jyoti. (2013). Seed deterioration: A review. *International Journal of Life Science Biotechnology and Pharma Resarch*, *3*, 374-385.

McDonald, M. B. (2000). *Seed priming*. (eds. M. Black & J.D. Bewley). Sheffield Academic press. PP: 287-325.

Parera, C. A. & Cantliffe, D. J. (1994). Dehydration rate after solid matrix priming alters seed performance of shrunken-2 corn. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *119*(3), 629-635. DOI: 10.21273/JASHS.119.3.629.

Powell, A. A., Yule, L. J., Jing, H. C., Groot, S. P., Bino, R. J. & Pritchard, H. W. (2000). The influence of aerated hydration seed treatment on seed longevity as assessed by the viability equations. *Journal of Experimental Botany*, *51*(353), 2031-2043. DOI: 10.1093/jexbot/51.353.2031.

Schipper, J., Van der Toorn, P. & Bruggink, T. (2001). Process for prolonging the shelf life of primed nongerminated seeds. United States patent US. 6, 313-377.

Schwember, A.R. & Bradford, K.J. (2010). Quantitative trait loci associated with longevity of lettuce seeds under conventional and controlled deterioration storage conditions. *Journal of Experimental Botany*, 61, 4423-4436. DOI: 10.1093/jxb/erq248.

Schwember, A. R. & Bradford, K. J. (2005). Drying rates following priming affect temperature sensitivity of germination and longevity of lettuce seeds. *HortScience*, *40*(3), 778-781. DOI: 10.21273/HORTSCI.40.3.778.

Sliwinska, E. & Jendrzejczak, E. (2002). Sugar-beet seed quality and DNA synthesis in the embryo in relation to hydration-dehydration cycles. *Seed Science and Technology*, *30*(3), 597-608.

Soeda, Y., Konings, M.C., Vorst, O., van Houwelingen, A.M., Stoopen, G.M., Maliepaard, C.A. & van der Geest, A.H. (2005). Gene expression programs during *Brassica oleracea* seed maturation, osmopriming, and germination are indicators of progression of the germination process and the stress tolerance level. *Plant physiology*, *137*(1), 354-368. DOI: 10.1104/pp.104.051664.

Soltani, A., Galeshi, S., Latifi, N. & Zeynali, E. (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.

Timple, S.E. & Hay, F.R. (2018). High-temperature drying of seeds of wild Oryza species intended for long-term storage. *Seed Science and Technology*, 46, 107-112. DOI: 10.15258/sst.2018.46.1.10.

Ventura, L., Dona, M., Macovei, A., Carbonera, D., Buttafava, A., Mondoni, A., Rossi, G. & Balestrazzi, A. (2012). Understanding the molecular pathways associated with seed vigor. *Plant Physiology and Biochemistry*, 60, 196-206. DOI: 10.1016/j.plaphy.2012.07.031.

Vieira, R.D., Tekrony, D., Egli, D. & Rucker, M. (2001). Electrical conductivity of soybean seeds after storage in several environments. *Seed Science and Technology*, 3, 599-608.