

## فناوری پیش تیمار بذر برنج

دکتر مریم حسینی چالشتری  
دکتر شهرام نظری

اعضای هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور



## Rice Seed Pretreatment Technology

Dr. Maryam Hosseini Chaleshtori  
Dr. Shahram Nazari

جوانه‌زنی و استقرار مناسب گیاهچه‌های برنج یکی از عوامل مهم و تعیین‌کننده در عملکرد نهایی است. همان‌طور که درک ما از فرآیندهای مربوط به جوانه‌زنی گسترش یافته، روش‌هایی برای تغییر این فرآیندها به‌منظور جوانه‌زنی مناسب‌تر نیز به وجود آمده است. یکی از متداول‌ترین شیوه‌های شناخته شده در این زمینه تکنیک بهبود کیفیت بذر است. فناوری بهبود کیفیت بذر برنج در واقع آماده‌سازی بذر قبل از کاشت بوده که سبب بهبود جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاهچه و یا در اختیار قرار دادن مواد مورد نیاز به بذر در زمان کاشت می‌شود. یکی از روش‌های بهبود کیفیت بذر پیش تیمار است. پیش تیمار بذر سبب تقویت مراحل جوانه‌زنی مانند آنگیری، جوانه‌زنی اولیه و رشد می‌شود. در واقع روش پیش تیمار بذر برنج با محدود کردن آنگیری بذر به‌وسیله محلول‌های اسمزی، موجب توسعه‌ی فاز انتقال می‌شود. همچنین پیش تیمار بذر برنج، مکانیسم‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی را که در مراحل اولیه‌ی جوانه‌زنی درگیر هستند، فعال نموده و در نهایت می‌تواند مکانیسم‌های تحمل تنش غیر زیستی را تا حدی بهبود بخشد.







وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
موسسه تحقیقات برنج کشور

## فناوری پیش تیمار بذر برنج

نویسندگان :

دکتر مریم حسینی چالشتی

دکتر شهرام نظری

اعضای هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور



۱۴۰۰

سرشناسه	: حسینی چالستری، مریم، ۱۳۵۴ -
عنوان و نام پدیدآور	: فناوری پیش‌تیمار بذر برنج / نویسندگان مریم حسینی چالستری، شهرام نظری؛ ویراستار ادبی مهدی جلالیان؛ ویراستاران علمی آیدین حمیدی، مسعود اصفهانی، لیلا یاری؛ [برای] وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات برنج کشور.
مشخصات نشر	: تهران: راز نهان، ۱۴۰۰. مشخصات ظاهری: ۱۹۹ ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۲۷۸-۲۲۱-۴-۴ وضعیت فهرست نویسی: فیپا یادداشت: کتابنامه: ص. ۱۹۳ - ۲۰۱.
موضوع	: برنج — بذرها — کیفیت Seeds -- Quality-- Rice
شناسه افزوده	: نظری، شهرام، ۱۳۶۵ -
شناسه افزوده	: جلالیان، مهدی، ۱۳۵۴ -، ویراستار
شناسه افزوده	: حمیدی، آیدین، ۱۳۴۹ -، ویراستار
شناسه افزوده	: اصفهانی، مسعود، ۱۳۴۰ -، ویراستار
شناسه افزوده	: یاری، لیلا، ۱۳۵۴ -، ویراستار
شناسه افزوده	: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
شناسه افزوده	: موسسه تحقیقات برنج کشور
رده بندی کنگره	: SB1۹۱
رده بندی دیویی	: ۶۳۳/۱۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۴۰۳۶۸۰
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیپا



**فناوری پیش‌تیمار بذر برنج**  
**نویسندگان: دکتر مریم حسینی چالستری، دکتر شهرام نظری**

ویراستاران علمی: دکتر آیدین حمیدی، دکتر مسعود اصفهانی، دکتر لیلا یاری  
 ویراستار ادبی: دکتر مهدی جلالیان  
 صفحه آرا: اکرم ملک نژاد  
 طراح جلد: الویرا صیامی  
 نوبت چاپ: اول - ۱۴۰۰  
 شمارگان: ۱۰۰۰ جلد  
 شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۷۸-۲۲۱-۴-۴  
 قیمت: ۵۵۰۰۰۰ ریال

- ۱- این اثر به شماره 400-25 k و تاریخ ۱۴۰۰/۰۵/۲۳ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی به ثبت رسیده است.
- ۲- مسئولیت صحت مطالب با نویسندگان است.
- ۳- کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور می‌باشد.

شماره تماس: ۰۹۲۲۴۰۱۳۷۰۴ و ۰۲۱۶۶۹۳۲۲۴۵

## پیش‌گفتار

افزایش چشمگیر جمعیت به معنای نیاز بیش‌تر برای تولید غذا است و به تبع همین اصل، امنیت غذایی در سطح جهان به عنوان یکی از اهداف مهم، سرلوحه برنامه کشورها قرار گرفته است. از آن‌جاکه خودکفایی یکی از اصول امنیت غذایی است، دستیابی به این مهم تنها از طریق افزایش تولید مواد غذایی ممکن خواهد بود. برنج غذای اصلی نیمی از مردم جهان است و تقریباً یک پنجم از کل کالری دریافتی انسان را فراهم می‌کند. امروزه این محصول استراتژیک با توجه به جایگاه آن در تأمین غذا و کالری مورد نیاز مردم، نقش مهمی در سبد غذایی مردم ایران ایفاء می‌کند. کشور ایران در حال حاضر حدود ۳/۴ میلیون تن مصرف برنج دارد که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۵ مقدار مصرف به ۵/۱ میلیون تن برسد. از این‌رو، بهبود بهره‌وری در واحد سطح، مهم‌ترین راهبرد در افزایش تولید برنج می‌باشد. در این راستا شناخت عوامل مؤثر بر عملکرد و محدودیت‌هایی که در رابطه با عملکرد بالا در این گیاه وجود دارد؛ می‌تواند اقدام مؤثری در جهت افزایش تولید در واحد سطح باشد. جوانه‌زنی بذور و استقرار مناسب گیاهچه‌های برنج یکی از عوامل مهم تولید برنج در مزارع است. همان‌طور که درک ما از فرآیندهای مربوط به جوانه‌زنی گسترش یافته است، روش‌هایی برای تغییر این فرآیندها برای تولید بذر در کشاورزی به‌وجود آمده است. یکی از متداول‌ترین روش‌های شناخته شده در این زمینه پیش‌تیمار بذر می‌باشد. کتاب حاضر در چهار فصل به بررسی مفهوم و روش‌های پیش‌تیمار بذر برنج، فرآیندهای بنیادی در پیش‌تیمار بذر برنج، جنبه‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی پیش‌تیمار بذر برنج و اثر پیش‌تیمار بذر بر تنش‌های زیستی و غیر زیستی پرداخته است. پیش‌تیمار بذر، تکنیکی برای پیش‌جوانه‌زنی می‌باشد که باعث جوانه‌زنی سریع، همزمان و یکنواخت بذور می‌شود. پیش‌تیمار بذر دوره کاشت تا استقرار گیاهچه را کوتاه کرده و صدمات ناشی از قرارگیری بذور در شرایط محیطی نامساعد را کاهش می‌دهد. این تکنیک شامل فرآیندهایی است که بذر آب جذب کرده و پس از خشک کردن بذور، آن‌ها را برای مدت تعیین شده در محیطی با درجه حرارت خاص قرار می‌دهند. در واقع پیش‌تیمار بذر شامل کنترل جذب آب و خشک شدن مجدد بذر می‌باشد که باعث تغییرات بیوشیمیایی در درون بذر به هنگام جذب آب و همچنین بعد از کاشت می‌شود. سودمندی پیش‌تیمار روی رشد و نمو گیاهان مربوط به اثرات مستقیم و غیرمستقیم این فرآیند می‌باشد.

در پایان مؤلفین این کتاب از همکاری صمیمانه شورای انتشارات و اعضای محترم هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور در راستای انتشار و راهنمایی‌های این کتاب قدردانی می‌کنند. از همکاران و پژوهشگران گرامی تقاضا می‌شود که با راهنمایی‌های ارزشمند خود مؤلفین را در رفع نواقص کتاب بهره‌مند فرمایند.

با تشکر

مؤلفین



## فهرست مطالب

۱۱	فصل اول: مفهوم و روش‌های پیش تیمار بذر برنج
۱۳	۱-۱- مقدمه
۱۴	۲-۱- تاریخچه پیش تیمار بذر برنج
۱۶	۳-۱- پیش تیمار بذر
۱۹	۴-۱- روش‌های پیش تیمار بذر برنج
۲۲	۱-۴-۱- روش‌های مرسوم پیش تیمار بذر برنج
۲۲	۱-۴-۱-۱- پیش تیمار با آب
۲۵	۱-۴-۱-۲- پیش تیمار با ترکیبات آسمزی
۲۹	۱-۴-۱-۳- پیش تیمار بذر با عناصر غذایی
۳۰	۱-۴-۱-۴- پیش تیمار بذر با ترکیبات هورمونی
۳۶	۱-۴-۱-۵- پیش تیمار بذر با عناصر شیمیایی
۳۷	۱-۴-۱-۶- پیش تیمار زیستی
۳۹	۱-۴-۱-۷- پیش تیمار بذر با عصاره گیاهی
۴۰	۱-۴-۲- روش‌های پیشرفته پیش تیمار بذر برنج
۴۰	۱-۴-۲-۱- پیش تیمار بذر با نانوذرات
۴۱	۱-۴-۲-۲- پیش تیمار بذر از طریق عوامل فیزیکی
۴۳	۵-۱- منابع
۵۷	فصل دوم: فرایندهای بنیادی در پیش تیمار بذر برنج
۵۹	۱-۲- مقدمه
۶۱	۲-۲- فیزیولوژی جوانه‌زنی بذر برنج
۶۲	۱-۲-۲- جذب سریع اولیه
۶۲	۲-۲-۲- شروع فرایندهای متابولیک در بذر (مرحله تأخیر)
۶۳	۲-۲-۳- ظهور ریشه ثانویه و ازسرگیری رشد بذر
۶۳	۳-۲- پیش تیمار بذر برنج و ذخیره‌سازی
۶۴	۴-۲- تفاوت بین تقویت بذر و پیش تیمار بذر
۶۵	۵-۲- مزایای پیش تیمار بذر برنج
۷۰	۶-۲- سازوکار پیش تیمار بذر برنج
۷۲	۷-۲- عوامل تأثیرگذار بر پیش تیمار بذر برنج
۷۲	۱-۷-۲- نوع پیش تیمار
۷۴	۲-۷-۲- دما



۷۵	۲-۷-۳- دسترسی اکسیژن
۷۶	۲-۷-۴- پتانسیل اُسمزی و غلظت محلول
۷۷	۲-۷-۵- مدت تیمار
۷۸	۲-۷-۶- کیفیت بذر
۷۹	۲-۷-۷- نور
۷۹	۲-۷-۸- خشک کردن بعد از پیش تیمار
۸۰	۲-۷-۹- شرایط ذخیره‌سازی
۸۱	۲-۸- آیا پیش تیمار بذر منجر به افزایش عملکرد می‌شود؟
۸۳	۲-۹- منابع
۱۱۳	<b>فصل سوم: جنبه‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی پیش تیمار بذر برنج</b>
۱۱۵	۳-۱- مقدمه
۱۱۷	۳-۲- متابولیسم پیش از جوانه‌زنی
۱۱۹	۳-۳- جذب بهتر آب و رشد گیاهچه‌ی قوی بذر
۱۲۰	۳-۴- تنظیم اُسمزی
۱۲۱	۳-۵- خصوصیات غشاء
۱۲۳	۳-۶- سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی
۱۲۴	۳-۷- تغییرات در رویدادهای متابولیک
۱۲۵	۳-۸- تعادل و تنظیم هورمونی
۱۲۶	۳-۹- آکوآپورین‌ها و پروتئین‌های طبیعی تونوپلاست
۱۲۷	۳-۱۰- دهیدرین‌ها (پروتئین‌های غالب اواخر جنین‌زایی)
۱۲۸	۳-۱۱- انواع فعال اکسیژن: مولکول‌های سیگنال کلیدی در پیش تیمار
۱۲۹	۳-۱۲- فعال‌سازی مسیرهای ترمیم DNA
۱۳۲	۳-۱۳- منابع
۱۴۳	<b>فصل چهارم: اثر پیش تیمار بذر بر تنش‌های زیستی و غیر زیستی</b>
۱۴۵	۴-۱- مقدمه
۱۴۸	۴-۲- عوامل اثرگذارنده بر پیش تیمار بذر
۱۵۰	۴-۳- روش‌های پیش تیمار بذر در شرایط تنش
۱۵۲	۴-۴- تقویت بذر در برابر تنش از طریق پوشش دهی با مواد شیمیایی/عوامل زیستی
۱۵۲	۴-۵- پیش تیمار بذر برنج
۱۵۲	۴-۵-۱- پوسته: جذب آب و انتقال گازی

- ۱۵۳.....۴-۵-۲-بازدارنده‌ی رشد.....
- ۱۵۴.....۴-۵-۳-تغییرات متابولیک ناشی از تنش‌ها در بذرهای در حال جوانه‌زنی.....
- ۱۵۸.....۴-۶-سازوکارهای تحمل تنش غیر زیستی ناشی از پیش تیمار بذر.....
- ۱۶۲.....۴-۷-سازوکارهای تحمل تنش غیر زیستی با عوامل پیش تیمار.....
- ۱۶۲.....۴-۷-۱-روش‌ها و عوامل پیش تیمار.....
- ۱۶۳.....۴-۷-۲-پلی اتیلن گلایکول.....
- ۱۶۴.....۴-۷-۳-نمک‌های معدنی.....
- ۱۶۶.....۴-۷-۴-کودها.....
- ۱۶۶.....۴-۷-۵-پیش تیمار هورمونی.....
- ۱۷۱.....۴-۷-۶-پلی آمین‌ها.....
- ۱۷۲.....۴-۷-۷-اسید آسکوربیک.....
- ۱۷۲.....۴-۷-۸-براسینواستروئیدها.....
- ۱۷۳.....۴-۷-۹-اسید بتاآمینوبوتیریک اسید.....
- ۱۷۳.....۴-۷-۱۰-کولین.....
- ۱۷۴.....۴-۷-۱۱-اسید آمینولولینیک.....
- ۱۷۴.....۴-۷-۱۲-گلیسین بتائین.....
- ۱۷۵.....۴-۷-۱۳-ملاتونین.....
- ۱۷۵.....۴-۷-۱۴-کیتوزان.....
- ۱۷۶.....۴-۷-۱۵-بوتنولید.....
- ۱۷۶.....۴-۷-۱۶-نانو ذرات نقره‌ی زیست سازگار.....
- ۱۷۷.....۴-۸-۱-پیش تیمار بذر برنج و تحمل به تنش.....
- ۱۷۷.....۴-۸-۱-تحمل خشکی.....
- ۱۷۹.....۴-۸-۲-تحمل شوری.....
- ۱۸۱.....۴-۸-۳-تحمل دما.....
- ۱۸۳.....۴-۸-۴-تحمل به تنش غرقاب.....
- ۱۸۴.....۴-۸-۵-سمیت فلزات.....
- ۱۸۶.....۴-۹-۱-پوشش‌دار کردن بذر برنج.....
- ۱۸۶.....۴-۹-۱-پوشش‌دار کردن و کارایی مواد مغذی.....
- ۱۸۶.....۴-۹-۲-پوشش‌دار کردن بذر و تحمل تنش غیر زیستی.....
- ۱۸۸.....۴-۱۰-۱-پیش تیمار زیستی.....

- ۱۸۸ ..... ۱-۱۰-۴- بیماری‌ها و آفات.....
- ۱۸۹ ..... ۲-۱۰-۴- تحمل تنش غیر زیستی.....
- ۱۹۱ ..... ۱۱-۴- منابع.....

# فصل اول

مفهوم و روش‌های پیش‌تیمار بذر برنج





## ۱-۱- مقدمه

یکی از عوامل اصلی در فعال‌سازی پروسه جوانه‌زنی برنج، تیمار بذر برنج قبل از کاشت با ترکیبات خارجی است که می‌تواند به رشد کارآمد گیاه و عملکرد بالا در برنج کمک کند. در این میان روش‌های فیزیولوژیکی و غیر فیزیولوژیکی برای دستیابی به افزایش عملکرد دانه و همچنین مقابله با محدودیت‌های محیطی وجود دارد. تیمارهای فیزیولوژیکی که برای بهبود جوانه‌زنی بذر و استقرار مناسب گیاهچه وجود دارند از روش‌های آبیگری<sup>۱</sup> بذر شامل رطوبت‌زایی، مرطوب کردن و پیش‌جوانه‌دار کردن بذر تشکیل شده است. از سایر روش‌های موجود در ارتقاء جوانه‌زنی بذر می‌توان به تیمارهای شیمیایی، مایه‌زنی بذر با ریزسازواره‌های مفید و پوشش‌دار کردن بذر نام برد. پیش تیمار بذر یک روش فیزیولوژیکی است که از طریق کنترل آبیگری و خشک کردن به منظور تقویت فرایند متابولیک قبل از جوانه‌زنی به منظور افزایش سریع جوانه‌زنی استفاده می‌شود. این روش به‌عنوان یکی از فناوری‌های اقتصادی و مقرون به‌صرفه برای کشاورزان جهت توسعه یکنواخت بذر برنج در خزانه است. از دیگر مزایای این روش می‌توان به جذب مؤثر مواد غذایی، بهبود کارایی مصرف آب؛ زودرسی و افزایش عملکرد دانه اشاره کرد. با این حال، عوامل مختلفی در شکل‌گیری مؤثرتر پیش تیمار بذر برنج دخیل می‌باشند که از آن جمله می‌توان به نوع رقم، مدت زمان پیش تیمار، دما، نوع و غلظت ترکیبات و شرایط نگهداری بذرهای تیمار شده اشاره کرد. به‌کارگیری ترکیبات مختلف به‌عنوان پیش تیمار بذر برنج می‌تواند کارکردهای متفاوتی را از خود نشان دهد. به‌طوری‌که کاربرد نمک‌های معدنی مانند نیترات پتاسیم و کلرید پتاسیم علاوه بر

---

1 Hydration

اینکه موجب افزایش درصد و سرعت سبز شدن بذر برنج می‌شود، کلرید پتاسیم سبب افزایش محتوای نشاسته و پروتئین دانه و نیترات پتاسیم نیز در افزایش اندازه دانه مؤثرتر است (سینگ و همکاران، ۲۰۱۵). ترکیبات دیگر مانند اسید جیبرلیک و یا سیتوکنین نیز در شکستن خواب بذر برنج مناسباند (آصف و همکاران، ۲۰۱۰). پیش‌تیمار بذر برنج با ایجاد مجموعه‌ای از تغییرات شیمیایی مانند فعال‌سازی آنزیم، تغییر ساختار مهارکننده‌های جوانه‌زنی و ترمیم صدمات سلولی باعث تقویت جوانه‌زنی می‌شود (فاروق و همکاران، ۲۰۱۰). این پدیده موجب تغییر ماهیت بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی جنین بذر از طریق آزادسازی مواد ذخیره‌ای در مرحله دوم جوانه‌زنی می‌شود که نتیجه آن افزایش تولید آنزیم‌های هیدرولیتیک است. این مواد با ساخت ترکیبات شیمیایی پر انرژی در افزایش قابلیت جوانه‌زنی گیاهچه برنج اثرگذاراند. بنابراین اثرات مثبت پیش‌تیمار بذر را می‌توان به پدیده‌های بیوشیمیایی مانند بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و ترمیم فعالیت‌های متابولیکی از طریق سنتز پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک (DNA و RNA) نسبت داد (دی‌گایرولامو و باربانته، ۲۰۱۲).

## ۱-۲- تاریخچه پیش‌تیمار بذر برنج

روش‌های متعدد تیمار کردن بذر گیاهان زراعی به‌منظور افزایش یکنواختی جوانه‌زنی در شرایط مختلف محیطی معرفی و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. خیساندن بذور در آب قبل از کاشت موضوع جدیدی نیست، با مرور تاریخچه تحقیقات جوانه‌زنی مشخص می‌شود که تلاش برای بهبود جوانه‌زنی بذر به یونانیان باستان برمی‌گردد (ایوناری، ۱۹۸۴). در همین راستا گیاه‌شناسی بنام ثئوفاستوس (۳۷۱-۲۸۷ قبل از میلاد مسیح) طی بررسی دریافت که بذرهاى گیاهان زراعی هنگامی‌که در آب خیس می‌شوند، نسبت به بذرهاى خشک دارای درصد و یکنواختی جوانه‌زنی بالاتری بودند. به همین ترتیب طبیعت شناس رومانیایی بنام سکوندوس (۷۹-۲۳ پس از میلاد مسیح) در دائره‌المعارف خود اثرات مثبت پیش‌تیمار بذر

گیاه زراعی با آب و عسل در ارتباط با جوانه‌زنی بذر را گزارش کرد. پس از آن گیاه‌شناس فرانسوی بنام آلیور دسائر بهبود رشد گیاهان در شرایط خیساندن بذور به مدت ۴۸ ساعت را گزارش داد. چارلز داروین نیز آزمایش پیش تیمار با ترکیبات اُسمزی و پیش‌خیساندن بذر با آب دریا که سبب بهبود جوانه‌زنی در مقایسه با بذور بدون تیمار می‌شود را گزارش داد (داروین، ۱۸۵۵). اما مفهوم مدرن پیش تیمار بذر توسط «الس» در سال ۱۹۶۳ ارائه شد که پارامترهای مهم مربوط به تیمار بذر را برجسته کرد. این گیاه‌شناس مشاهدات مختلفی را در ارتباط با افزایش سرعت جوانه‌زنی بذر هنگامی که با محلول‌های غذایی تیمار می‌شدند را گزارش کرد. کوهلر (۱۹۶۷) اظهار داشت که تیمار بذور با محلول نمک باعث تجمع RNA می‌شود که با بهبود فرایندهای فیزیولوژیکی موجب افزایش جوانه‌زنی بذر می‌شود. می و همکاران (۱۹۶۲) نیز اظهار داشتند خشک کردن بذر برای مدت زمان مشخص بعد از پیش تیمار بذر منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی در شرایط عادی و همچنین شرایط تنش‌زا می‌شود. هایدکر و همکاران (۱۹۷۳) از پلی‌اتیلن گلیکول<sup>۱</sup> (PEG) که یک ترکیب با وزن مولکولی بالا است، برای پیش تیمار کردن بذر به منظور تقویت جوانه‌زنی در شرایط شوری استفاده کردند. به نظر می‌رسد می‌توان، پیش تیمار بذر برنج با آب را به عنوان منشاء اولیه زراعت برنج به شکل امروزی دانست.

شواهد باستان‌شناسی گسترده در چین نشان می‌دهد که قسمت میانی رودخانه یانگ تسه و قسمت بالایی رودخانه هوآی، اولین مکان‌های رشد برنج (*Oryza sativa*) بوده‌اند. تاریخچه کشت برنج به حداقل ۸۰۰۰ هزار سال پیش بر می‌گردد، کشت برنج در حاشیه این رودخانه‌ها طی ۲۰۰۰ سال بعد گسترش یافت. از آنجایی که پیش‌خیساندن بذر به منظور جوانه‌دار کردن بذر تنها بخشی از روش پیش تیمار بذر برنج است و با توجه به تعریف امروزی پیش تیمار (تیمار بذور آب، مواد غذایی، هورمون‌ها و قارچ‌کش‌ها) می‌توان بیان کرد که پیش تیمار بذر برنج با مواد مختلف از حدود ۳۰ سال قبل شروع شده و این تیمار بذر

---

1 Polyethylene glycol



برای افزایش سرعت و یکنواختی سبز شدن این گیاه زراعی مورد استفاده قرار گرفته است. پیش‌تیمار بذر برنج در حقیقت روش تکامل‌یافته خیساندن و پیش‌جوانه‌دار کردن بذر است که طی آن مقدار پتانسیل آب طوری کنترل می‌شود که مرحله جذب آب و بخش عمده فعالیت آنزیمی انجام، ولی ریشه‌چه خارج نشود. اولین کاربرد روش پیش‌تیمار بذر برنج با عناصر غذایی در بهبود رشد و توسعه برنج در غالب پروژه مشترک انگلیس و هند در سال ۱۹۹۶ در سه منطقه هند و بر روی ۱۰ رقم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش به‌خوبی نشان داد تیمار ارقام با کلرید سدیم دو درصد نسبت به بذور خشک می‌تواند درصد سبز شدن نهایی را ۱۲ درصد بهبود بخشد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که بذور پیش‌تیمار شده می‌تواند عملکرد دانه را نسبت به تیمار بدون پیش‌تیمار به‌ترتیب ۱۳ و ۱۸ درصد افزایش دهند (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج میانگین اثر پیش‌تیمار با کلرید سدیم و آب بر روی ۱۰ رقم برنج (هریس و همکاران، ۲۰۱۰)

متغیرها	بذر خشک	پیش‌تیمار با آب	پیش‌تیمار با کلرید سدیم دو درصد
درصد سبز شدن (۳ روز پس از کاشت)	۱۲/۶	۷۲	۶۳/۵
درصد سبز شدن (۱۸ روز پس از کاشت)	۶۰/۷	۹۰/۸	۷۲/۷
مدت زمان جهت دستیابی به ۵۰ درصد گلدهی (روز)	۷۴/۷	۷۱	۷۲/۱
ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	۹۴/۱	۱۰۸	۹۱/۹
طول خوشه (سانتی‌متر)	۲۰/۳	۲۲/۴	۱۸/۵
تعداد خوشه در بوته	۴/۹	۵/۷	۵/۲
عملکرد دانه (تن در هکتار)	۱/۷	۲	۲
افزایش عملکرد (درصد)	-	۱۸	۱۳

### ۱-۳- پیش‌تیمار بذر

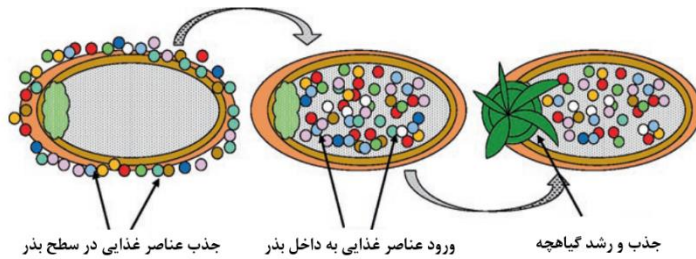
پس از کاشت، بذرها برای مدت معینی در خاک باقی می‌مانند تا آب و برخی مواد مغذی ضروری برای رشد را جذب نمایند. پیش‌تیمار بذر روشی است که با کاهش این مدت زمان،

سبب افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی می‌شود. علاوه بر آبیگری<sup>۱</sup> بذر، پیش تیمار حساسیت بذر را نسبت به عوامل محیطی خارجی کاهش می‌دهد (افضل و همکاران، ۲۰۱۶). پیش تیمار بذر سبب تقویت مراحل جوانه‌زنی مانند آبیگری، جوانه‌زنی و رشد می‌شود (شکل ۱). در مرحله آبیگری بذر، جذب آب صورت گرفته و سنتز پروتئین و فعالیت‌های تنفسی از طریق پیام‌رسان mRNA افزایش می‌یابد. مرحله دوم مربوط به شروع فعالیت‌های فیزیولوژیکی جوانه‌زنی مانند ساخت پروتئین و میتوکندری و تغییر میزان قندهای محلول است (واریر و همکاران، ۲۰۱۰). جوانه‌زنی بذر شامل سه مرحله می‌باشد (شکل ۲). مرحله اول جذب آب یا آبیگری است که بذر به سرعت آب جذب کرده و پوشش بذر متورم می‌شود. مرحله دوم فاز تأخیر<sup>۲</sup> است که در این مرحله فرایندهای فیزیولوژیکی داخل بذر شروع به فعالیت می‌کند و مرحله سوم نیز شامل ظهور ریشه‌چه و ساقه‌چه است. اما جوانه‌زنی بذر تحت پیش تیمار به این شکل است که دو مرحله اول جوانه‌زنی صورت انجام می‌پذیرد و بذرها بعد از کاشت به‌واسطه گذراندن این دو مرحله، جوانه‌زنی به سرعت و به‌طور یکنواخت انجام می‌پذیرد. از مهم‌ترین فاکتورها طی پدیده پیش تیمار بذر می‌توان به کنترل جذب آب طی مرحله دوم جوانه‌زنی یعنی قبل از سبز شدن و خروج ریشه‌چه از پوسته بذر اشاره کرد. مرحله دوم جوانه‌زنی نسبت به مرحله سوم به عوامل محیطی بسیار حساس‌تر است؛ بنابراین، بذرهای پیش تیمار شده که مرحله دوم جوانه‌زنی را با موفقیت پشت سر می‌گذارند، می‌توانند تحت شرایط محیطی مختلف نسبت به بذرهای بدون پیش تیمار جوانه‌زنی بهتری داشته باشند (کوربنیاو و کوم، ۲۰۰۶).

---

1 Imbibition

2 Lag phase



شکل ۱- فرایند عمومی پیش‌تیمار بذر (وقاص و همکاران، ۲۰۱۷)

استفاده از روش پیش‌تیمار بذر می‌تواند یکی از روش‌های مؤثر در افزایش کیفیت بذر برنج در شرایط نامساعد محیطی باشد. پیش‌تیمار بذر روشی است که باعث جوانه‌زنی سریع، هم‌زمان و یکنواخت بذرها می‌شود. پیش‌تیمار بذر، دوره کاشت تا استقرار گیاهچه را کوتاه کرده و صدمات ناشی از قرارگیری بذرها در شرایط محیطی نامساعد را کاهش می‌دهد. این روش با محدود کردن آبیاری بذر به وسیله محلول‌های آسمزی باعث توسعه‌ی مرحله انتقال می‌شود (هیدکر و کولبر، ۱۹۷۸). در این تئوری پیش‌تیمار باعث از بین رفتن موانع جوانه‌زنی شده و جوانه‌زنی بذر سریع‌تر و هم‌زمان صورت می‌گیرد. این روش شامل فرایندهایی است که بذر آب جذب کرده و پس از خشک‌کردن بذرها، آن‌ها را برای مدت تعیین‌شده در محیطی با دما خاص قرار می‌دهند. فرایند پیش‌تیمار بذر همچنین بر یکنواختی سبز شدن و در نتیجه استقرار مطلوب گیاهان زراعی در مزرعه تأثیرگذار است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که پیش‌تیمار شامل کنترل جذب آب و خشک شدن مجدد بذر است که باعث تغییرات بیوشیمیایی در درون بذر به هنگام جذب آب و همچنین بعد از کاشت می‌شود. سودمندی پیش‌تیمار بر روی رشد و نمو گیاهان مربوط به اثرات مستقیم و غیرمستقیم این فرایند است. تأثیر پیش‌تیمار بر جوانه‌زنی، سبز شدن و سرعت رشد گیاهان از اثرات غیرمستقیم این فرایند است. پرایمینگ بذر روشی است که سبب فعال شدن مکانیسم‌های اولیه جوانه‌زنی قبل از کاشت می‌شود. از مهم‌ترین مزایای پیش‌تیمار در گیاهان مختلف می‌توان به افزایش درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذر

اشاره کرد. اساس موفقیت پرایمینگ بذر، جذب آب است که در سه مرحله جوانه‌زنی دانه رخ می‌دهند (شکل ۲):

**مرحله I** (مرحله آگیری): در این مرحله جذب سریع آب آغازین ناشی از پتانسیل آب پایین دانه است. در طی این مرحله DNA و میتوکندری‌ها بازسازی و پروتئین‌ها با استفاده از mRNA های موجود ساخته می‌شوند.

**مرحله II** (مرحله تأخیر): فقط با یک افزایش تدریجی در میزان آب بذر نمایان می‌شود، اما فعالیت‌های مربوط به جوانه‌زنی در آغاز راه هستند که شامل ساخت میتوکندری و پروتئین‌های متکی به ترجمه از روی mRNA های جدید است، مراحل I و II فرآیند جوانه‌زنی را آشکار نموده و اساساً پرایمینگ زمانی موفق است که بذر به میزانی از رطوبت برسد که فقط خروج اندک ریشه‌چه را همراه داشته باشد، در پایان این مرحله بذر پیش تیمار یا پرایم شده است.

**مرحله III** (مرحله رشد): تکمیل جوانه‌زنی و شروع رشد نشاء گیاهک با ادامه رشد ریشه‌چه بیان می‌شود که در طی **مرحله III** رخ می‌دهد و به‌وسیله افزایش سریع دیگری از جذب آب مشخص می‌شود. این کار تورژسانس لازم برای بزرگ شدن سلول‌های ریشه‌چه را ایجاد می‌نماید. پیش تیمار بذر با روش‌های زیر قابل انجام است.

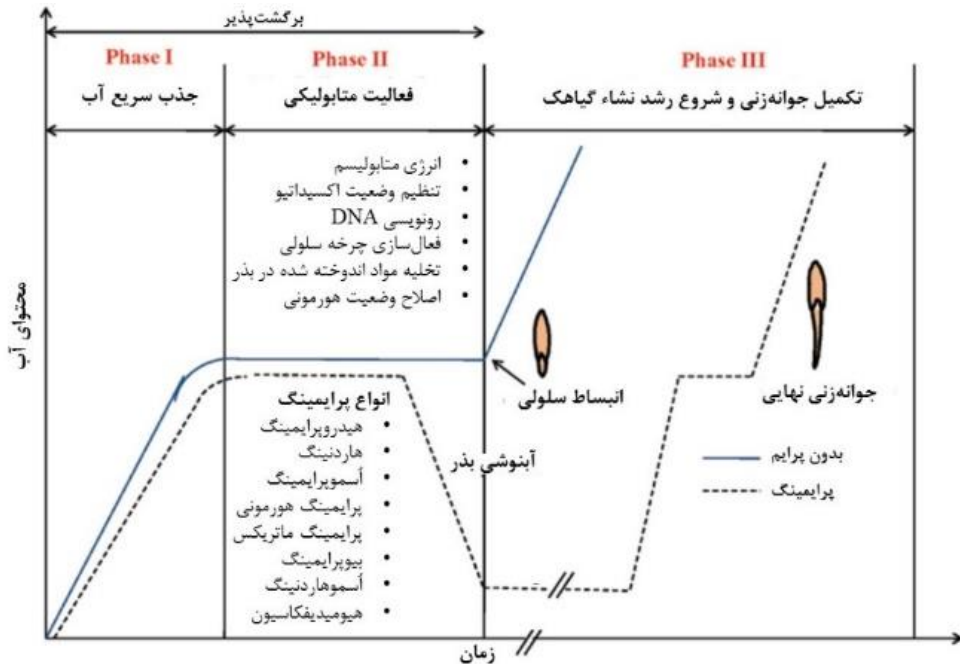
#### ۱-۴- روش‌های پیش تیمار بذر برنج

روش‌های مختلفی برای پیش تیمار بذر وجود دارد که به‌طور عمده به روش‌های مرسوم و پیشرفته تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های سنتی پیش تیمار بذر برنج شامل پیش تیمار با آب<sup>۱</sup>، پیش تیمار با ترکیبات آسمزی<sup>۲</sup>، پیش تیمار با عناصر غذایی<sup>۳</sup> و شیمیایی<sup>۴</sup>، پیش تیمار

---

1 Hydropriming  
2 Osmopriming  
3 Nutrient Priming  
4 Chemical priming

زیستی<sup>۱</sup>، پیش‌تیمار بذر با تنظیم‌کننده‌های رشد<sup>۲</sup> و پیش‌تیمار با عصاره‌های گیاهی<sup>۳</sup> است. درحالی‌که روش‌های پیشرفته پیش‌تیمار بذر شامل پیش‌تیمار از طریق نانو ذرات<sup>۴</sup> و پیش‌تیمار با عوامل فیزیکی<sup>۵</sup> است (جدول ۲).



شکل ۲- منحنی جذب آب و جوانه‌زنی در بذر پیش‌تیمار شده و بدون پیش‌تیمار (راجو و همکاران، ۲۰۱۲)

Á

- 1 Bio-priming
- 2 Priming with Plant Growth Regulators (PGR)
- 3 Priming with Plant Extract
- 4 Seed Priming Through Nanoparticles
- 5 Seed Priming Through Physical Agents

جدول ۲- تأثیر روش‌های مرسوم و پیشرفته پیش تیمار بذر بر رشد و توسعه گیاه برنج

منبع	مشاهدات	مدت زمان پیش تیمار (ساعت)	محلول‌های پیش تیمار
(ماها جان و همکاران، ۲۰۱۱)	بهبود رشد گیاهچه از طریق افزایش شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهچه و انرژی جوانه‌زنی-کاهش میانگین مدت زمان جوانه‌زنی- افزایش خوشه در مترمربع، بهبود رشد برنج و عملکرد نهایی	۲۴	آب
(فاروق و همکاران، ۲۰۰۹)	افزایش جوانه‌زنی و طول گیاهچه، افزایش وزن تر و خشک گیاهچه- افزایش فتوسنتز خالص، تولید پرولین و کارایی مصرف آب- بهبود آنتوسیانین‌ها، فنول‌های محلول و خصوصیات غشایی	۴۸	پلی آمین
(خلیق و همکاران، ۲۰۱۵)	افزایش سرعت جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و آلفا آمیلاز- افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند پراکسیداز، کاتالاز، گلوکاتیون پراکسیداز و قندهای محلول بالاتر نسبت به تیمار شاهد- افزایش محتوای کلروفیل- افزایش پایداری غشاء سلولی- متابولیسم بالای نشاسته	۲۴	سلنیوم
(پاما و همکاران، ۲۰۱۵)	پیش تیمار با آب و فسفات به‌طور معنی‌داری سبب افزایش سرعت سبز شدن و رشد گیاهچه می‌گردد- بهبود پارامترهای گیاهی- افزایش زیست‌توده ساقه و طول ریشه- افزایش غلظت فسفر در ساقه برنج	۲۴	آب و مونوپتاسیم فسفات
(آپیهیا و همکاران، ۲۰۱۷)	بهبود رشد گیاهچه، تحریک متابولیت‌ها و آنزیم‌های مرتبط با پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی	۴۸	کلسیم و نانوذرات فسفر
(آدهیکاری و همکاران، ۲۰۱۳)	نانو ذرات هیچ‌گونه سمّیتی در رشد گیاه ایجاد نکردند- بهبود طول ریشه، وزن خشک گیاهچه و حجم ریشه	۶	سیلیکون دی اکسید

## ۱-۴-۱- روش‌های مرسوم پیش‌تیمار بذر برنج

### ۱-۴-۱-۱- پیش‌تیمار با آب

کمبرود منابع آب، کشاورزان تولیدکننده برنج را مجبور به ایجاد رویکردی مناسب یعنی کشت مستقیم برنج (خشکه‌کاری) به‌جای کشت غرقابی در جهت کاهش میزان مصرف آب نموده است که بسیار ارزشمند است (خلیق و همکاران، ۲۰۱۵). کشت مستقیم برنج علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب (در صورت تغییر شیوه آبیاری) دارای مزایایی همچون کاهش هزینه‌ها و مراقبت‌های ناشی از خزانه برنج و بهبود نظام زراعی برنج-گندم از طریق تسهیل زمان استقرار و بهبود رشد گیاه زراعی زمستانه می‌شود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷). به علت بحران انرژی عصر حاضر و هزینه زیاد کشت به روش نشاء، کشت مستقیم در بسیاری از کشورهای جهان رو به افزایش است. در این راستا شناخت عوامل مؤثر بر عملکرد و محدودیت‌هایی که در رابطه با عملکرد بالا در این گیاه وجود دارد می‌تواند اقدام مؤثری در جهت افزایش تولید در واحد سطح باشد. علف‌های هرز و عدم جوانه‌زنی و به تبع آن عدم سبز شدن مطلوب بذرهای برنج در مزرعه از عواملی هستند که تولید برنج در شرایط کشت مستقیم را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین جوانه‌زنی بذور و استقرار گیاهچه از عوامل مهم تولید برنج در مزارع است (لی و همکاران، ۲۰۲۰). همان‌طور که درک ما از فرایندهای مربوط به جوانه‌زنی گسترش یافته است، روش‌هایی برای تغییر این فرایندها برای تولید بذر در کشاورزی به وجود آمده است. یکی از متداول‌ترین روش‌های شناخته‌شده در این زمینه پیش‌تیمار بذر است (بوکاری و همکاران، ۲۰۱۹). رایج‌ترین روش پیش‌تیمار شامل پیش‌تیمار با آب است. در روش پیش‌تیمار با آب، بذرها با آب خالص و بدون استفاده از هیچ‌گونه ماده شیمیایی تیمار می‌شوند که این نوع پیش‌تیمار بسیار ساده و ارزان بوده و مقدار جذب آب از طریق مدت‌زمانی که بذرها در تماس با آب هستند، کنترل می‌شود. البته باید توجه داشت که هر روش دارای نقاط قوت و وضعی است و بسته به نوع گیاه، مرحله رشد گیاه، غلظت و میزان عامل پیش‌تیمار تأثیرگذاری مختلفی دارد.

پیش تیمار با آب بذر برنج یک روش ساده و اقتصادی است که طی آن بذرهای برای مدت مشخصی در آب خیس می‌شوند و قبل از کاشت تا با کاهش میزان رطوبت خشک می‌شوند (سینگ و همکاران، ۲۰۱۵). این فناوری در مناطقی با شرایط نامساعد محیطی از جمله گرمای زیاد و تنش خشکی بسیار مفید است. از مهم‌ترین الزامات این روش می‌توان به حفظ و نگهداری سطح مطلوب رطوبت و دما اشاره کرد. روش اصلی پیش تیمار با آب تحت عنوان درام پیش تیمار<sup>۱</sup> است که اولین بار توسط محقق بنام روز (۱۹۹۱) معرفی شد. اساس کار درام پیش تیمار به این صورت است که بذور درون آب در ظروف متحرک قرار داده می‌شود، به طوری که بذرهای داخل محفظه استوانه‌ای شکل قرار می‌گیرند. این دستگاه دارای قابلیت تولید بخار آب است که وارد این محفظه شده و با حرکت دورانی استوانه، تبدیل به قطرات آب شده و با برخورد این قطرات به بذرهای، آب جذب بذر می‌شود. در طول مدت زمان اعمال تیمار، افزایش وزن نسبی بذر و حجم آب ورودی نیز کنترل می‌شود. البته برای اعمال مدت زمان آبیگری بذر و دما مدنظر این دستگاه دارای زمان‌سنج بوده و دما قابل تنظیم است. هیدروپرایمینگ بذر روشی است که سبب فعال شدن مکانیسم‌های اولیه جوانه‌زنی قبل از کاشت می‌شود. برای این روش در برنج مزایای زیادی ذکر شده است که از مهم‌ترین آن‌ها افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر است. در روش پیش تیمار با آب، بذرهای با آب خالص و بدون استفاده از هیچ‌گونه ماده شیمیایی تیمار می‌شوند که این نوع پیش تیمار بسیار ساده و ارزان بوده و مقدار جذب آب از طریق مدت‌زمانی که بذرهای در تماس با آب هستند، کنترل می‌شود (ماجدا و همکاران، ۲۰۱۹). خیساندن به وسیله غوطه‌ورسازی بذر در آب می‌تواند همراه یا بدون هوادهی باشد. در این روش استفاده از مواد شیمیایی کاهش یافته و از دور ریختن موادی که ممکن است مضر و با محیط ناسازگار باشند، اجتناب می‌شود. یکی از معایب روش مذکور این است که بعضی از بذرهای آب جذب نمی‌نمایند، این ناشی از عدم موفقیت در فعال نمودن مراحل فیزیولوژیک لازم برای هم‌زمان سازی و افزایش عملکرد بذرهای به‌طور

---

1 Drum priming



یکنواخت است. بعلاوه، کنترل میزان آبیگری مشکل است و برخی از بذرها در صورتی که میزان آبیگری بسیار سریع باشد، دچار خرابی ناشی از آبیگری می‌شوند. این روش پیش‌تیمار شامل غوطه‌ورسازی بذر در آب برای یک دوره زمانی معین و در ادامه خروج بذر از آب و خشک نمودن مجدد آن‌ها در دمای مشخص و قرار دادن بذر در دماهای معین است. در این روش به بذر اجازه داده می‌شود که به اندازه کافی آب جذب کرده بدون اینکه ریشه‌چه ظاهر شود.

البته باید توجه داشت که خیساندن طولانی مدت برای بذر می‌تواند مضر باشد، زیرا بذر در به‌دست آوردن اکسیژن کافی برای جوانه‌زنی ناتوان می‌شوند، در بیشتر موارد سودمندی پیش‌تیمار تنها زمانی تحقق می‌یابد که مدت زمان پیش‌تیمار بذر کوتاه باشد یا زمانی که از دیگر روش‌های مکانیکی در تهویه بذر استفاده شده باشد. بذر باید قبل از ظهور ریشه‌چه در مرحله انتقال از آب خارج و بلافاصله خشک شوند تا از نمو و ظهور ریشه‌چه جلوگیری شود. در هر بذر زمان ظهور ریشه‌چه متفاوت است، در طول دوره پیش‌تیمار بذر، اگر ریشه‌چه ظاهر شود با خشک شدن مجدد بذر آسیب می‌بیند و سودمندی ایجاد شده به وسیله پیش‌تیمار به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. جذب آب به‌سادگی باعث پیشرفت فرایندهای جوانه‌زنی در بذر شده و پس از کاشته شدن مدت زمان جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. خلیق و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند پیش‌تیمار با آب از طریق بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای و به دنبال آن افزایش شاخص سطح برگ موجب افزایش تعداد خوشه و عملکرد دانه در کشت مستقیم برنج می‌شود. نکته مهم دیگر که باید دقت داشت این است که در روش پیش‌تیمار با آب مدت زمان جذب آب از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. مطالعات متعددی در ارتباط با مدت زمان آبیگری بذر برنج صورت گرفته است. به‌طور مثال فاروق و همکاران (۲۰۰۶) طی پژوهشی بذرهای درشت و ریز ارقام برنج را در مدت زمان‌های ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸ و ۶۰ ساعت جذب آب بررسی کردند. نتایج نشان داد که به‌جز پیش‌تیمار با آب در مدت زمان ۶۰ ساعت سایر زمان‌ها سبب بهبود رشد برنج شد. بالاترین

خصوصیات رشدی نیز در مدت‌زمان‌های ۴۸ و ۳۶ ساعت حاصل شد. به‌طورکلی نتایج مطالعات مختلف حاکی از آن است که پیش تیمار با آب موجب بهبود عملکرد برنج می‌شود و بهترین زمان برای پیش تیمار با آب در تمامی ارقام برنج ۴۸ ساعت است، بنابراین مدت زمان پیش تیمار با آب دارای حد آستانه‌ای است که می‌تواند اثر مثبت یا منفی و بازدارنده داشته باشد. جذب بیش از حد آب سبب برهم خوردن تعادل هورمونی و آنزیمی درون بذر می‌شود که به دنبال آن کاهش خصوصیات گیاهچه‌ای بذر را شاهد خواهیم بود. از طرفی به‌نظر می‌رسد کاهش طول دوره پیش تیمار با آب سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های درگیر در فرایندهای متابولیکی شود؛ بنابراین، یکی از نکات مهم پیش تیمار با آب، بحث زمان خاتمه آن است، چراکه خاتمه زودتر یا دیرتر سبب آسیب به بذر و عدم دستیابی به نتیجه مطلوب می‌شود، که این مسئله در پیش تیمار با آب بسیار مهم است. در پیش تیمار، بذرها مراحل اول (جذب آب) و دوم جوانه‌زنی (انجام تقسیم سلول و آماده شدن برای ظهور ریشه‌چه) را در مدت زمان کوتاه‌تری طی کرده و وارد مرحله سوم جوانه‌زنی می‌شوند.

#### ۱-۴-۱-۲- پیش تیمار با ترکیبات اُسمزی

روش پیش تیمار با ترکیبات اُسمزی اولین بار توسط هیدکر و همکاران (۱۹۷۳) معرفی شد. پیش تیمار اُسمزی یک روش تجاری گسترده است که در آن بذرها در یک سطح کنترل‌شده آبگیری می‌شود تا فعالیت‌های متابولیکی قبل از جوانه‌زنی را انجام دهند (هالمر، ۲۰۰۴). در این روش فرایندهای مرتبط با جوانه‌زنی به‌صورت انتخابی اثر می‌گذارد. فرایندهای موردبحث در رشد سلولی و طویل شدن سلولی با افزایش غلظت یا کاهش پتانسیل اُسمزی محلول پیش تیمار ممکن است متوقف یا کاهش یابد. به‌هرحال شرایط مطلوب پیش تیمار برای بذرهاى مختلف متفاوت است (وقاص و همکاران، ۲۰۱۷). اثرات سودمند پیش تیمار پس از خشک‌کردن بذر نیز برای یک دوره زمانی باقی می‌ماند. طی پیش تیمار با ترکیبات اُسمزی چنانچه غلظت مواد به‌کاررفته در این روش افزایش یابد،

موجب تجمع انواع واکنش‌پذیر فعال اکسیژن<sup>۱</sup> (ROS) در بذر می‌شود که منجر به بروز خسارت به ترکیبات سلولی مانند پروتئین‌ها، غشاهای لیپیدی و اسیدهای نوکلئیک می‌شود. پیش‌تیمار آسمزی همچنین از طریق تأخیر در ورود آب به بذر باعث کاهش تجمع ROS ها شده و در نتیجه سلول را از آسیب اکسیداتیو محافظت می‌کند. پیش‌تیمار آسمزی نوع خاصی از آماده‌سازی پیش از کاشت بذرها است که از طریق خوابانیدن بذرها در محلول‌هایی با پتانسیل آسمزی پایین حاوی مواد شیمیایی مختلف نظیر پلی‌اتیلن گلایکول، مانیتول، سولفات روی و کودهای شیمیایی صورت می‌گیرد. پیش‌تیمار آسمزی بر فرایندهای مرتبط با جوانه‌زنی به صورت انتخابی اثر می‌گذارد. هدف اصلی پیش‌تیمار آسمزی بذر برنج، بهبود جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاهچه در شرایط نامطلوب محیطی است. در واقع بذره‌های برنجی که تحت پیش‌تیمار آسمزی قرار می‌گیرند نسبت به دما و کاهش اکسیژن دارای حساسیت کم‌تری می‌باشند. به‌کارگیری پیش‌تیمار آسمزی کلرید کلسیم، نترات پتاسیم، کلرید سدیم و پلی‌اتیلن گلایکول ۸۰۰۰، انرژی جوانه‌زنی را بهبود و کاهش مدت زمان لازم جهت سبز شدن را به دنبال خواهد داشت (روان و همکاران، ۲۰۰۲b). پیش‌تیمار با پلی‌اتیلن گلایکول ۸۰۰۰ جوانه‌زنی ارقام دارای بذور درشت و ریز برنج را تسریع می‌بخشد (باسرا و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین در یک مطالعه گلخانه‌ای نشان داده شد که پیش‌تیمار با کلرید کلسیم به‌تنهایی و ترکیب با کلرید سدیم سبب افزایش شاخص بنیه بذر، گیاهچه و استقرار مطلوب بذره‌های برنج در شرایط غرقاب خاک شد (روان و همکاران، ۲۰۰۲a). نترات پتاسیم پرمصرف‌ترین ماده شیمیایی برای افزایش جوانه‌زنی است. محلول ۰/۱ تا ۰/۲ درصد در آزمایش‌های جوانه‌زنی مشترک بوده و از سوی انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ISTA<sup>۲</sup>) برای آزمایش‌های جوانه‌زنی بسیاری از گونه‌ها توصیه شده است؛ در همین راستا نیز ثابت شده است که پیش‌تیمار با نترات پتاسیم سبب تسریع در جوانه‌زنی بذر و افزایش قدرت گیاهچه و بهبود خصوصیات ریشه برنج شد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۵). پیش

1 Reactive Oxygen Species

2 International Seed Testing Association

تیمار با کربنات کلسیم نسبت به پیش تیمار با آب و تیمار شاهد (بدون پیش تیمار) سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در برنج شد (نواز و همکاران، ۲۰۱۷). طی مطالعه‌ای گزارش شد پیش تیمار بذر برنج با آب و کلرید پتاسیم سبب کاهش مدت زمان لازم جهت رسیدن به ۱۰ و ۵۰ درصد سبز شدن و افزایش سرعت و درصد سبز شدن شد (رحمان و همکاران، ۲۰۱۵). مزایای پیش تیمار بذر برنج در صرفاً به جوانه‌زنی بذر و بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای محدود نمی‌باشد بلکه می‌تواند به مراحل بعدتر رشد این گیاه نیز گسترش یابد. پیش تیمار بذر برنج از طریق آب، کلرید پتاسیم، کلرید کلسیم و آسکوربات به ترتیب سبب افزایش ۱۱، ۲۵، ۳۱ و ۲۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد می‌شود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷). در توجیه افزایش عملکرد ناشی از پیش تیمار آسمزی می‌توان به استقرار سریع و مطلوب برنج و یا استفاده بیشتر از عناصر غذایی و جذب نور اشاره کرد. پیش تیمار بذر برنج با کلرید کلسیم، کلرید پتاسیم و پیش تیمار با آب با بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد برنج در شرایط کشت مستقیم برنج می‌شود (احمد و همکاران، ۲۰۱۳). آسموپرایمیگ از راه افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث حذف و غیرفعال شدن انواع فعال اکسیژنی می‌شود. پیش تیمار آسمزی بذر برنج با سولفات روی نسبت به تیمار شاهد به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شود (جانسون و همکاران، ۲۰۰۵). پیش تیمار آسمزی بذر با افزایش فرایندهای بیوشیمیایی سبب بهبود خصوصیات ریشه برنج تحت شرایط کاهش دما می‌شود (پورامیر دشت‌میان و همکاران، ۲۰۱۴). پیش تیمار بذر برنج با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم از طریق افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانی، مدت زمان لازم برای شروع و ۵۰ درصد جوانه‌زنی می‌شود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۶).

محققین در تلاش هستند تا از کودهای مختلف که برای بهبود عملکرد برنج مورداستفاده قرار می‌گیرند به صورت پیش‌تیمار مورداستفاده قرار دهند، چراکه به‌کارگیری این مواد مغذی به دلیل جذب مستقیم توسط بذر موجب بهبود کارایی کودها می‌شود (دو و تونگ، ۲۰۰۲). در همین راستا گزارش شده است که پیش‌تیمار با مونو آمونیوم فسفات چهار درصد، منجر به افزایش تعداد پنجه مؤثر و بهبود عملکرد دانه برنج در کشت مستقیم شد (کالیتا و همکاران، ۲۰۰۲). در منابع متعدد افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای آماده‌سازی بذر با پیش‌تیمار با ترکیبات اُسمزی به دلیل افزایش سرعت فعال‌سازی آنزیم‌های کربونیک انهدراز<sup>۱</sup>، مالات دهیدروژناز، گلوتامات دهیدروژناز و الکل دهیدروژناز و انبساط سلول‌ها باشد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷)؛ اما برخلاف موارد موفق، آزمایش‌های مزرعه‌ای در ارتباط با پیش‌تیمار اُسمزی در بذر برنج با برخی کودهای شیمیایی مانند اوره، نیتروفسفات، اوره، دی آمونیوم فسفات و سولفات پتاسیم به دلیل آسیب‌های غشایی منجر به کاهش جوانه‌زنی و رشد شد (جانسون و همکاران، ۲۰۰۵)؛ باید دقت داشت که به‌کارگیری این مواد مغذی برای پیش‌تیمار با ترکیبات اُسمزی باید در مدت زمان و غلظت مشخصی صورت گیرد، بنابراین می‌توان دلیل کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در غلظت‌های بالای پیش‌تیمار اُسمزی را به ایجاد سمیت از طریق تجمع این یون‌ها در جنین نسبت داد. در غلظت‌های بالا مواد پیش‌تیمار اُسمزی به دلیل ایجاد ویسکوزیته بالای این ترکیبات، به‌عنوان یک مانع برای تبادل گاز عمل کرده و با افزایش متابولیسم غیرهوازی مانع از جذب اکسیژن توسط بذر می‌شوند (تایلکوسکا و وندن بویلک، ۲۰۰۱). حتی در فرایند فتوسنتز نیز غلظت‌های بالای مواد اُسمزی از طریق افزایش رادیکال‌های آزاد و به دنبال آن کاهش تولید NADPH در کلروپلاست، کاهش فعالیت فتوسیستم II و آنزیم RUBP کربوکسیلاز و همچنین کاهش سنتز ATP، باعث کاهش جذب آب و انتقال مواد غذایی از لپه‌ها شده که در نهایت منجر به کاهش درصد و سرعت سبز شدن گیاهچه‌های جوان می‌شوند (پراسد و همکاران، ۱۹۹۹).

---

1 Carbonic anhydrase

### ۱-۴-۱-۳- پیش تیمار بذر با عناصر غذایی

قرار دادن بذر در غلظت مشخصی از مواد مغذی برای یک دوره خاص قبل از کاشت به‌عنوان پیش تیمار با عناصر غذایی شناخته می‌شود (شیوای و همکاران، ۲۰۱۶). البته باید به این نکته توجه داشت که پیش تیمار با ترکیبات اُسمزی صرفاً جهت بهبود خصوصیات رشدی گیاه است ولی هدف از پیش تیمار با عناصر غذایی قرار دادن بذرها در محلول‌های حاوی عنصری خاص است که کمبود آن عنصر طی رشد گیاه مادری وجود داشته است. آماده‌سازی بذر با عناصر غذایی میکرو و ماکرو، موجب افزایش جوانه‌زنی، توسعه و رشد گیاهچه و همچنین بهبود کارایی مصرف آب از طریق تقویت بذر می‌شود. پیش تیمار بذر با عناصر غذایی میکرو یک روش شناخته‌شده برای افزایش اُسمزی است که با موجب تنظیم آب در بذرها در دوره جوانه‌زنی می‌شود (سینگ، ۲۰۰۷). به‌طور مثال، پیش تیمار بذر برنج با سلنیت سدیم با غلظت ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در مدت زمان ۶ ساعت خصوصیات گیاهچه‌ای را بهبود بخشید (دو و همکاران، ۲۰۱۹). به همین ترتیب، پیش تیمار بذر برنج با عناصر ماکرو نیز یکی از روش‌های مؤثر در بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد مطرح است (راکشیت و همکاران، ۲۰۱۳). به‌عنوان مثال، پتاسیم یکی از عناصر معدنی است که قرار دادن بذرها در محلول این عنصر سبب افزایش مقاومت این گیاه زارعی به تنش‌های محیطی می‌شود (کاک‌مک، ۲۰۰۵). در همین راستا ثابت شده است که پیش تیمار بذر برنج با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم عملکرد دانه را به ترتیب ۳۲ و ۲۶ درصد نسبت به عدم پیش تیمار بذر در شرایط تنش خشکی افزایش داد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷).

#### ۱-۴-۱-۴- پیش‌تیمار بذر با ترکیبات هورمونی

به خیساندن بذر در محلول تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی از جمله جیبرلین<sup>۱</sup>، اسید سالیسیلیک، اکسین<sup>۲</sup>، اتفن<sup>۳</sup>، اسید آبسزیک<sup>۴</sup> و پلی آمین‌ها<sup>۵</sup> را پیش‌تیمار هورمونی می‌گویند. در این روش، بذور برنج در مدت زمان مشخصی (طی دو مرحله از سه مرحله جوانه‌زنی) در محلول‌های ذکرشده قرار می‌گیرند و قبل از خروج ریشه‌چه، بذر از محلول خارج و مدت زمان مشخصی (معمولاً ۲۴ ساعت) در دمای ۲۵-۲۰ درجه سلسیوس قرار داده می‌شوند تا خشک شوند که به این بذرها، بذور با پیش‌تیمار هورمونی می‌گویند. کاربرد هورمون‌های گیاهی از جمله اسید جیبرلیک از طریق افزایش فعالیت آنزیم بتا آمیلاز<sup>۶</sup> سبب شکسته شدن نشاسته ذخیره‌شده در بذر می‌شود و از طریق رشد و توسعه جنین و درنهایت موجب سبز شدن سریع بذور برنج شد (تایز و زایگر، ۲۰۰۶).

در مطالعه‌ای اثرات پیش‌تیمار با اسید جیبرلیک، اوره و اسید نفتالیک بر روی برنج به‌تنهایی یا با ترکیب باهم مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که به‌کارگیری ۲۰۰ گرم اسید نفتالیک به‌عنوان پیش‌تیمار برای مقدار بذور یک هکتار برنج موجب افزایش درصد سبز شدن و ظهور خوشه‌های مؤثر با کم‌ترین هزینه شد. همچنین در تیمار دیگری پیش‌تیمار برنج با ترکیب ۵۰ گرم اسید جیبرلیک + ۵۰ گرم اسید نفتالیک دارای بالاترین عملکرد برنج در واحد سطح شد، بنابراین اسید نفتالیک به دلیل مقرون به صرفه بودن می‌تواند جایگزین مناسبی برای پیش‌تیمار بذور برنج در برابر اسید جیبرلیک باشد (دشپنده و همکاران، ۲۰۰۳). چن و همکاران (۲۰۰۵) با پیش‌تیمار بذر چهار رقم برنج با اسید جیبرلیک اظهار داشتند به‌طور کلی در هر یک از ارقام ظهور گیاهچه و ماده خشک افزایش معنی‌داری داشت.

1 Gibberellin

2 Auxin

3 Ethephon

4 Abscisic acid

5 Polyamine

6 Beta-amylase

نقش پلی آمین‌ها به‌عنوان پیش تیمار بذور و تأثیر آن‌ها بر رشد و نمو گیاه برنج به‌خوبی ثابت شده است (واتسون و والامبرگ، ۱۹۹۸). پلی آمین‌ها شامل پوترسین<sup>۱</sup> (Put)، اسپرمیدین<sup>۲</sup> (Spd)، اسپرمین<sup>۳</sup> (Spm) و کاداورین<sup>۴</sup> (Cad) پلی‌کاتیون‌های آلی با وزن مولکولی کم و فعالیت بیولوژیکی بسیار بالایی نقش مهمی در مراحل مختلف فیزیولوژیک و نمو گیاهان دارند. پلی آمین‌ها به‌عنوان کاتیون می‌توانند با اجزای آنیونی غشا مانند فسفولیپیدها ترکیب شوند و در شرایط تنش شدید از زوال غشای سلولی جلوگیری نمایند (باسرا و همکاران، ۱۹۹۴). شواهد قطعی در این زمینه نشان می‌دهد تجمع پلی آمین‌ها می‌تواند گیاهان را در برابر تنش‌های محیطی محافظت نمایند (بوچیراو و همکاران، ۱۹۹۹). اخیراً نقش پلی آمین‌ها در افزایش تحمل برنج به تنش‌های غیر زیستی از جمله شوری و خشکی مورد توجه قرار گرفته است. در بسیاری از موارد، تنش‌های محیطی منجر به تجمع پلی آمین‌های آزاد می‌شود که نشان‌دهنده اهمیت بیوسنتز پلی آمین‌ها به‌عنوان پاسخ‌های مهم بیوشیمیایی گیاهان در شرایط تنش است. پیش تیمار بذور برنج با پلی آمین‌ها به دلیل جلوگیری از پراکسیده شدن چربی‌های غشا، موجب حفظ سیالیت و ثبات آن شده و از بروز سرمازدگی اوایل فصل جلوگیری می‌کند. در پژوهشی اثبات شد که بذور برنج که به‌خوبی آبیگری شده بودند هنگامی که در غلظت‌های پایین (۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) از پلی آمین‌ها (اسپرمیدین، پوترسین و اسپرمین) پرآیم شدند، میانگین جوانه‌زنی سریع‌تر همراه با بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای مثل افزایش وزن خشک و طول گیاهچه را به دنبال داشت که در این بین نقش پیش تیمار با پوترسین با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر محسوس‌تر بود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۸).

تیمار بذر با تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی برای کاهش خسارت ناشی از چندین تنش محیطی شناخته شده است (جیسا و همکاران، ۲۰۱۳). اسید سالیسیلیک یکی از

---

1 Putrescine  
2 Spermidine  
3 Spermine  
4 Cadaverine



تنظیم‌کننده‌های رشد با ماهیت فنولی است که در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان مانند بسته شدن روزنه‌ها، تبادل و انتقال یون‌ها، نفوذپذیری غشا، فتوسنتز و سرعت رشد مؤثر است. اسید سالیسیلیک به‌عنوان یکی از تنظیم‌کننده‌های داخلی نقش مهمی را در مکانیسم‌های دفاع در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده دارد (راسکین، ۱۹۹۲). این تنظیم‌کننده رشد به‌طور مستقیم و غیرمستقیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را فعال می‌کند. اسید سالیسیلیک یکی از مولکول‌های پیام‌رسان مهم است و باعث تحریک بروز عکس‌العمل گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود و همانند یک آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی نقش مهمی را در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیک در گیاهان در شرایط تنش ایفا می‌کند. همچنین این تنظیم‌کننده رشد در تعامل با سایر تنظیم‌کننده‌های رشد مثل اسید جاسمونیک و اتیلن نقش تعاملی در بهبود خصوصیات فیزیولوژیک در گیاهان ایفا می‌کند (سزالی و همکاران، ۲۰۰۰). اسید سالیسیلیک علاوه بر مقاومت در برابر تنش‌های اُسمزی با فعال کردن آنزیم‌های گلوتاتیون ردوکتاز<sup>۱</sup> و گایکول پراکسیداز<sup>۲</sup> سبب مقاومت به تنش دماهای بالا و پایین می‌شود (کانگ و سالتویت، ۲۰۰۲). در مطالعه‌ای نشان داده شد که پیش‌تیمار بذر برنج با اسید سالیسیلیک (غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) نسبت به بذور شاهد موجب افزایش سرعت و یکنواختی سبز شدن شد (باسرا و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین در پژوهشی دیگر نشان داده شد که پیش‌تیمار بذر برنج با اسید سالیسیلیک در غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر سبب بهبود کلیه شاخص‌های جوانه‌زنی شد که در این بین نقش غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر ملموس‌تر بود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷). وانگ و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک و سریم در شرایط تنش سرما بر روی خصوصیات گیاهچه‌ای برنج اظهار داشت که پیش‌تیمار با این دو ماده خصوصاً اسید سالیسیلیک باعث افزایش درصد و سرعت سبز شدن، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نسبت به تیمار شاهد شد. اسید سالیسیلیک، قابل حل در آب و یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی است و از جمله

---

1 Glutathione reductase

2 Guaiacol Peroxidase

هورمون‌های گیاهی به شمار می‌رود. این هورمون، نقش محوری در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف از قبیل رشد، تکامل گیاه، جذب یون، فتوسنتز و جوانه‌زنی بسته به غلظت مورد نظر، گونه گیاه، دوره رشدی و شرایط محیطی ایفا می‌کند. این ماده همچنین به عنوان سیگنال مولکولی مهم در نوسانات گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی شناخته شده است، به طوری که به کارگیری اسید سالیسیلیک به عنوان پیش تیمار سبب کاهش عوارض ناشی از خسارت سرما در گیاهان می‌شود (میندوزا و همکاران، ۲۰۰۲).

آسکوربات<sup>۱</sup> یکی از مهم‌ترین ویتامین‌هایی است که در گیاه سنتز می‌شود و علاوه بر نقشی که در تقسیم سلولی و فرایندهای سوخت و سازی ایفا می‌کند، به عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی، پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) را مهار می‌کند. آسکوربات در کلروپلاست‌ها، سیتوزول، واکوئل و فضای آپوپلاست سلول‌های برگ با غلظت بالا وجود دارد و تنظیم آسکوربات با تشکیل زئانانتین<sup>۲</sup> مرتبط است و مکانیسم قدرتمندی جهت حفاظت از اکسیداسیون نوری به حساب می‌آید. مهار  $H_2O_2$  توسط کاتالاز، پراکسیداز و مسیر آسکوربات گلوکاتیون<sup>۳</sup> به نام چرخه هالیول-آسادا<sup>۴</sup> شناخته شده است که در این چرخه چهار آنزیم مهم فعال می‌باشند. گزارش‌های مختلف نشان‌دهنده افزایش درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه، پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در اثر کاربرد آسکوربات ارائه شده است. در همین راستا در یک مطالعه آزمایشگاهی نشان داده شد که پیش تیمار بذرهای با اندازه درشت و ریز برنج با غلظت‌های ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر آسکوربات موجب بهبود جوانه‌زنی و رشد سریع گیاهچه‌های هر دو تیپ از بذرها شدند، اگرچه پرایم با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر مؤثرتر بود. همچنین این بررسی‌ها نشان داد پیش تیمار بذور ریز و درشت برنج با اسید آسکوربات به ترتیب سبب افزایش ۲۰ و ۱۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار بدون شد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین

---

1 Ascorbate

2 Zeaxanthin

3 Ascorbate glutathione

4 Halliwell- Asada cycle

پژوهش‌های متعددی در ارتباط با بهبود خصوصیات رشدی از جمله عملکرد و اجزای عملکرد و همچنین کیفیت دانه در کشت مستقیم و نشائی برنج در اثر پیش‌تیمار با آسکوربات گزارش شده است (فاروق و همکاران، ۲۰۰۶). آسکوربات یک ماده مغذی مهم به‌عنوان ویتامین است که از آن برای پیش‌تیمار بذر برنج استفاده می‌شود و دارای آنتی‌اکسیدان طبیعی است. به‌طور کلی اثبات شده است که پیش‌تیمار بذر برنج با غلظت‌های بالای اسید آسکوربیک از طریق افزایش تولید آنتی‌اکسیدان، سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش اکسیداتیو می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۰۹). باسرا و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که درصد نهایی سبز شدن تحت پیش‌تیمار بذر برنج با اسید آسکوربات ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۲۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد شد.

اسید جیبرلیک یکی از مهم‌تری جیبرلین‌های می‌باشد که در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان مانند فعالیت تقسیم سلولی مناطق مریستم، افزایش طولی سلول، افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، زودرسی، گلدهی و عملکرد دخالت دارد. بکارگیری اسید جیبرلیک به‌عنوان پیش‌تیمار بذر نیز در همین راستا باعث بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی مانند جوانه‌زنی، طول ریشه و ساقه و قدرت گیاهچه در مقایسه با تیمار شاهد می‌شود (یوگاناندا و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین پیش‌تیمار بذر با جیبرلین‌ها که دارای اثرات نامتقارن با اسید آبسزیک است، جوانه‌زنی و رشد گیاه را تنظیم می‌کنند. افزایش درصد جوانه‌زنی در پیش‌تیمار با اسید جیبرلیک را می‌توان به تأثیر این تنظیم‌کننده رشد بر اندوخته غذایی بذر نسبت داد، به‌طوری‌که نشان داده است اسید جیبرلیک به‌عنوان تحریک‌کننده سنتز عمل می‌کند و با تولید آنزیم‌های هیدرولیز موجب افزایش جوانه‌زنی می‌گردد (ابمو موریفه، ۲۰۱۷). پیش‌تیمار بذر برنج با اسید جیبرلیک و اتیلن از طریق بهبود جوانه‌زنی موجب افزایش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و فاصله میان‌گره‌ها شدند. همچنین پیش‌تیمار با اسید آبسزیک از طریق بهبود طول ریشه‌چه باعث افزایش بنیه گیاهچه‌های

برنج شد (لی و همکاران، ۱۹۹۹). در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد پیش تیمار بذر با و اسید جیبرلیک تحت شرایط هوازنی در برنج‌های ژاپنیکا و اندیکا سبب افزایش جوانه‌زنی می‌شود درحالی‌که در شرایط بی‌هوازی اثر پیش تیمار با کیتین دارای اثر منفی و اسید جیبرلیک اثر مثبت بود (میوشی و ساتو، ۱۹۹۷).

پیش تیمار بذر با ایندول-۳-استیک اسید<sup>۲</sup> (IAA) به‌عنوان یکی از اکسین‌های اصلی در گیاهان موجب تنظیم تقسیم سلولی، افزایش فعالیت فتوسنتزی، انتقال هیدرات کربن‌ها (تقویت ریشه)، گلدهی و رسیدن دانه می‌شود (نائم و همکاران، ۲۰۰۴). برخی از آنزیم‌های هیدرولیز در فرایند جوانه‌زنی بذر برنج دخیل می‌باشند و باعث می‌شوند که آندوسپرم به‌طور مؤثرتر در دسترس جنین قرار گیرد. علاوه بر اسید جیبرلیک، سایر تنظیم‌کننده‌های رشدی مانند سیتوکنین، اتیلن و اسید آبسزیک از هورمون‌های تقویت‌کننده رشد گیاه برنج محسوب می‌شوند که باعث تقویت رشد و تنظیم پاسخ گیاهان در شرایط تنش‌های مختلف می‌گردند. بررسی غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد (سیتوکنین، اکسین، اسید آبسزیک، اسید سالیسیلیک، آسکوربات و اسید جیبرلیک) به‌عنوان پیش تیمار بر روی خصوصیات رشدی شش رقم برنج اذعان داشتند که اعمال این تیمارها سبب افزایش درصد جوانه‌زنی و افزایش بنیه بذر شد، که درمقایسه بین تیمارها پیش تیمار با اسید آبسزیک در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و اسید جیبرلیک در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر کاملاً مؤثرتر بودند (ابیری و همکاران، ۲۰۱۶). بررسی پیش تیمارهای مختلف با اسید جیبرلیک، اتفن و ترکیب اسید جیبرلیک و اتفن و تیمار شاهد بر خصوصیات گیاهچه‌ای برنج در کشت مستقیم دریافتند که پیش تیمار بذر برنج با ترکیب اسید جیبرلیک+ اتفن از طریق افزایش آلفا آمیلاز و قندهای محلول سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه و ساقه شد (واتانابه و همکاران، ۲۰۱۸). یکی از نقش‌های مؤثر و مفید هورمون سیتوکینین در فرایند جوانه‌زنی است، به‌طوری‌که طبق مطالعات این هورمون گیاهی بر دامنه وسیعی از فعالیت‌های گیاه از جمله

---

1 Chitin

2 Indole-3-acetic acid

تمام مراحل جوانه‌زنی مؤثر بوده و حتی در تنش‌هایی نظیر شوری، خشکی، فلزات سنگین و اکسیداتیو قادر است تا با کاهش تنش‌ها، جوانه‌زنی بذر را افزایش دهد. در همین راستا بررسی پیش‌تیمار با آب و سیتوکنین بر روی خصوصیات گیاهچه‌ای دو ژنوتیپ برنج (HUBR-10-9 و HUR 105) بیانگر آن است که پیش‌تیمار با سیتوکنین نسبت به پیش‌تیمار با آب سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در هر دو ژنوتیپ مورد مطالعه شد، به طوری که علت این افزایش را به بالا بودن آلفا آمیلاز و قندهای محلول در ژنوتیپ‌های تحت کاربرد پیش‌تیمار با تنظیم‌کننده رشدی نسبت دادند (کومار و همکاران، ۲۰۱۸). بررسی پیش‌تیمار بذر برنج با اسید آسزیک در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میکرو مولار در شرایط تنش شوری نشان داد، پیش‌تیمار در غلظت ۲۰ میکرو مولار از طریق بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شد (وی و همکاران، ۲۰۱۷).

#### ۱-۴-۱-۵- پیش‌تیمار بذر با عناصر شیمیایی

مواد شیمیایی فراوانی برای پیش‌تیمار بذر برنج قبل از جوانه‌زنی استفاده می‌شود. مواد شیمیایی طبیعی و غیرطبیعی مانند کولین<sup>۱</sup>، کیتوزان<sup>۲</sup>، پوترسین، اتانول<sup>۳</sup>، پاکلوبوترازول<sup>۴</sup>، سولفات مس<sup>۵</sup>، مونوپتاسیم فسفات<sup>۶</sup>، سولفات روی<sup>۷</sup> و سریم<sup>۸</sup> به‌عنوان پیش‌تیمار در افزایش رشد و تحمل برنج استفاده می‌شود. پیش‌تیمار بذر برنج با این مواد شیمیایی از طریق افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زیستی سبب بهبود عملکرد دانه برنج می‌شود. پیش‌تیمار بذر برنج با بوتنولید<sup>۹</sup> از طریق بهبود ظهور گیاهچه می‌تواند این گیاه را در برابر حمله عوامل بیماری‌زای گیاهی بذرزاد جلوگیری نماید. در همین راستا نشان داده شده است که پیش

- 
- 1 Choline
  - 2 Chitosan
  - 3 Ethanol
  - 4 Pacllobutrazol
  - 5 Copper(II) sulfate
  - 6 Monopotassium phosphate
  - 7 Zinc sulfate
  - 8 Cerium
  - 9 Butanolide

تیمار بذر برنج با اتانول (۱ و ۵ درصد) موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی و تعداد برگ‌ها نسبت به تیمار شاهد می‌شود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۶). پوترسین یکی دیگر از ترکیبات شیمیایی است که به هر دو صورت طبیعی و غیرطبیعی وجود دارد و پیش تیمار بذر برنج با آن از طریق افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی در این گیاه سبب مقاومت به تنش سرمای ابتدای فصل می‌شود. همچنین کاربرد پیش تیمار پاکلوبوترازول سبب افزایش مقاومت برنج به تنش شوری می‌شود. البته گزارش‌های دیگری مبنی بر افزایش تحمل به تنش خشکی در کاربرد پاکلوبوترازول به‌عنوان پیش تیمار وجود دارد (جالیل و همکاران، ۲۰۰۷). شاو و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند پیش تیمار بذر با کیتوزان سبب افزایش مقاومت در برابر بیماری، بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی، افزایش فعالیت لیپولیتیک لیپاز<sup>۱</sup>، اسید جیبرلیک، اکسین و همچنین کیفیت دانه می‌شود. در پژوهشی دیگر گزارش شده است که پیش تیمار بذر برنج با کیتوزان سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین افزایش مقاومت گیاهچه‌های برنج هیبرید به تنش‌های محیطی می‌شود (رووان و همکاران، ۲۰۰۲). گزارش‌هایی نیز مبنی بر افزایش مقاومت به سرما و افزایش رشد خصوصیات گیاهچه‌ای در گیاهان تحت پیش تیمار با کیتوزان نسبت به گیاهان شاهد وجود دارد (گوان و همکاران، ۲۰۰۹). فاتوماتا (۲۰۱۹) با بررسی پیش تیمار بذر برنج در شرایط تنش شوری اظهار داشت که پیش تیمار بذر با کولین با کاهش مدت زمان لازم جهت سبز شدن و بهبود درصد سبز شدن سبب افزایش کلروفیل کل و پرولین در گیاه شده و به دنبال آن منجر به افزایش فتوسنتز و عملکرد در شرایط تنش شوری مشاهده می‌شود.

#### ۱-۴-۱-۶- پیش تیمار زیستی

پیش تیمار زیستی یکی دیگر از روش‌های تیمار بذر برنج قبل از کاشت است که اساس کار این آن مایه‌زنی بذر با ریزسازواره‌های مفید است. در حال حاضر تقویت زیستی بذر با

---

1 Lipolytic lipase

به‌کارگیری باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه از جمله کارآمدترین روش‌های بهبود کیفیت بذر است. امروزه در نظام‌های کشاورزی پایدار و ارگانیک، یکی از شیوه‌های زیستی برای افزایش کمی و کیفی تولید، استفاده بالقوه از ریزسازواره‌های مفید خاکزی است که می‌توانند با روش‌های مختلف موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه شود. شاید این ریزسازواره‌های مفید به‌طور طبیعی در خاک وجود داشته باشند ولی تعداد و تراکم آن‌ها در خاک پایین است، بنابراین مایه‌زنی این موجودات می‌تواند جمعیت آن‌ها را به حد مطلوب رسانده و منجر به بروز اثر مفید آن‌ها در خاک شود. پیش‌تیمار زیستی به‌عنوان یکی از روش‌های جدید تیمار بذر است با ادغام دو جنبه زیستی (مایه‌زنی بذر با موجودات زنده مفید) و فیزیولوژیکی (آبگیری بذر) است که باعث بهبود کیفیت بذر می‌شود. پیش‌تیمار زیستی از اهمیت ویژه‌ای در افزایش تولید محصول و حاصلخیزی پایدار خاک برخوردار است. از جمله مزایای این باکتری‌ها در گیاهان می‌توان به تولید هورمون‌های گیاهی، تثبیت نیتروژن، تولید سیدروفور علیه ریزسازواره‌های بیمارگر گیاهی و همچنین تولید آنتی‌بیوتیک‌ها، آنزیم‌ها و ترکیبات ضد قارچی و قابلیت انحلال‌پذیری فسفات‌های معدنی و سایر مواد مغذی اشاره کرد (رایت و همکاران، ۲۰۰۳). بیماری بلاست با عامل *Magnaporthe oryzae* مهم‌ترین بیماری بذرزاد برنج در جهان است و گزارش‌شده در هند تا ۴۰ درصد عملکرد برنج را در هکتار کاهش می‌دهد. اگرچه استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی شیمیایی باعث کنترل بیماری می‌شوند، اما آسیب‌های جدی متوجه انسان و محیط‌زیست می‌کنند. پیش‌تیمار زیستی بذر برنج با باکتری آنتاگونیست *Bacillus amyloliquefaciens* با افزایش آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنول اکسیداز سبب کاهش ۸۴ درصد بیماری بلاست شد (آمروتوا و همکاران، ۲۰۱۹). در پژوهش دیگر نیز نشان داده شد که پیش‌تیمار زیستی بذر برنج با فسفوباکتر علاوه بر افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی موجب بهبود طول و وزن خشک گیاهچه نیز می‌شود (سیواکومار و همکاران، ۲۰۱۶).

#### ۱-۴-۱-۷- پیش تیمار بذر با عصاره گیاهی

مواد آلویشیمیایی مانند ترکیبات فنولیک<sup>۱</sup>، ترپنوئیدها<sup>۲</sup>، ساپونین‌ها<sup>۳</sup>، آلکالوئیدها<sup>۴</sup> و استروئیدها<sup>۵</sup> ممکن است تحریک‌کننده یا بازدارنده رشد باشند (ناروال، ۱۹۹۴). از آنجا که ساپونین‌ها به راحتی محلول در آب محلول هستند می‌توانند جذب مواد مغذی در گیاهان را تقویت کنند، آلکالوئیدها، ساپونین‌ها و ترکیبات فنولی موجود در برگ گیاهان زراعی در تولید فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی نقش دارند و از گیاهان در برابر عوامل بیماری‌زا محافظت می‌کنند (ساتیش و همکاران، ۲۰۰۷). عموماً فرض بر این است که جنین بذر و سایر ساختارهای مرتبط با آن از طریق برخی ترکیبات آلویشیمیایی، موجب افزایش فعالیت فیزیولوژیکی بذر می‌شوند که این شرایط منجر به جذب بیشتر آب و در نهایت افزایش بنیه بذر و توسعه سیستم ریشه‌ای در گیاه می‌شوند (رانگاسوامی و همکاران، ۱۹۹۳). برخی از گیاهان که از عصاره آن‌ها به‌عنوان پیش تیمار استفاده می‌شوند سرشار از ساپونین و آلکالوئید هستند مانند گیاه کلروفیتوم (*Chlorophytum comosum*) و برخی دیگر سرشار از ترپنوئیدها، استروئیدها و فلاونوئیدها هستند که می‌توان گیاه چریش (*Azadirachta indica*) را نام برد (رافائل، ۲۰۱۲؛ چاکرابورتی و همکاران، ۲۰۱۴). رحمان و همکاران (۲۰۱۵) طی پژوهشی بیان داشتند که پیش تیمار بذر برنج با عصاره گیاه مورینگا اولیفیرا (*Moringa Oleifera*) یا گز روغنی (۳/۳ درصد) در شرایط کشت مستقیم از طریق بالا بردن فعالیت فیزیولوژیکی بذر این گیاه زراعی سبب بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای و به دنبال آن سبب افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد شد. داود و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند ترکیب دانه گیاه شنبلیله (۱۰ درصد) یا برگ‌های گیاه گواوا (*Psidium guajava*) یا شاه‌پسند درختچه‌ای (*Lantana camara*) (۲۰ درصد) به‌طور چشمگیری سبب افزایش هیدرات

---

1 Phenolic  
2 Terpenoids  
3 Saponin  
4 Alkaloids  
5 Steroid



کربن‌ها و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاهان زراعی می‌شود.

## ۱-۴-۲- روش‌های پیشرفته پیش‌تیمار بذر برنج

### ۱-۴-۲-۱- پیش‌تیمار بذر با نانوذرات

فناوری نانو، از نانوذرات با اندازه کم‌تر از ۱۰۰ نانومتر استفاده می‌کند و نقش مهمی در تغییر تولید مواد غذایی و کشاورزی دارد (فراستو و همکاران، ۲۰۱۶). استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی را می‌توان با استفاده از نانو ذرات در کشاورزی کاهش داد (آپایه‌پایا و همکاران، ۲۰۱۷). زیرا این نانو کودها عناصر غذایی را به‌صورت کنترل‌شده و به‌تدریج آزاد می‌کنند، از این رو تأمین عناصر غذایی به‌صورت پیش‌تیمار بذر نسبت به به‌کارگیری کودهای مرسوم برتری دارد (وورت، ۲۰۰۷). تولید نانوذرات و کاربرد آن‌ها در جنبه‌های مختلف زراعت در حال افزایش است و علی‌رغم تولید روزافزون آن‌ها، بررسی‌های محدودی در خصوص اثر مواد مختلف نانو بر زیست‌شناسی گیاهان وجود دارد. طبق نظر متخصصین گیاهی در زراعت و تیمار کردن بذر، تنها نانوذرات با قطر کم‌تر از ۲۰ نانومتر قادر هستند از دیواره سلولی عبور کنند چراکه قطر متوسط منافذ دیواره سلولی بذر محدوده ۵ تا ۲۰ نانومتر است، لذا نانوذرات با قطر در این محدوده می‌توانند وارد فضای درونی سلول و غشای سلولی شوند (موری، ۲۰۰۶)، اما اینکه این نانو مواد در چه مسیرهایی و چگونه سبب تغییرات می‌شود هنوز مورد بحث است. مطالعه نانوذرات و اثر آن‌ها بر رشد گیاهان بسیار پیچیده است چراکه گزارش‌های متفاوتی مبنی بر اثرات نانوذرات بر گیاهان مختلف وجود دارد (گائو و همکاران، ۲۰۱۳). مهم‌ترین نانو ذراتی که در علوم گیاهی مدنظر قرار می‌گیرند عبارتند از نانوتیوب<sup>۱</sup>، کربن‌ها، سیلیکون و تیتانیوم که باین‌وجود هنوز تحقیقات کافی در رابطه با آن‌ها وجود ندارد (حقیقی و پسرکلی، ۲۰۱۳). در سال‌های اخیر، چندین نانو ذره مبتنی بر فلزات سنگین مانند نانوذرات طلا، نقره، مس، تیتانیوم، آهن و روی و نانوذرات

1 Nanotube

مبتنی بر کربن مانند فولرن<sup>۱</sup> و نانولوله‌های کربن<sup>۲</sup> به‌عنوان عامل جهت پیش تیمار جهت تقویت جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه و تحمل در برابر تنش گیاهان زراعی بکار رفته است. به‌طورکلی تأثیر نانوذرات بر گیاهان منفی و مثبت است (مونیکا و سرمونینی، ۲۰۰۹)، ولی مهم‌ترین نگرانی در رابطه با اثر سمیت نانوذرات بر گیاهان و اکوسیستم‌ها است که به‌طور روزافزونی در حال تحقیق است (خوت و همکاران، ۲۰۱۲). ماهام و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی سطوح مختلف پیش تیمار نانوذره نقره بر خصوصیات شیمیایی و گیاهچه‌ای برنج اظهار داشتند که در کلیه سطوح مورد مطالعه آلفا آمیلاز، قندهای محلول و دهیدروژناز افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار بدون پیش تیمار داشت، که درنهایت منجر به افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و بهبود بنیه بذر شد. مکانیسم فیزیولوژیکی و مولکولی اثرات نانوذرات بر جوانه‌زنی بذرهای برنج به‌خوبی روشن نشده است و بسیاری از سؤالات در ارتباط با نحوه کارکرد این ترکیبات باقی‌مانده است که باید تحقیقات لازم در این زمینه انجام گیرد.

#### ۱-۴-۲-۲- پیش تیمار بذر از طریق عوامل فیزیکی

در میان روش‌های مختلفی که برای پیش تیمار بذرها استفاده می‌شود، پیش تیمار فیزیکی از سابقه کمتری برخوردار بوده و در سال‌های اخیر موردتوجه محققان قرار گرفته است (جانعلی‌زاده قزوینی و همکاران، ۱۳۹۵). پیش تیمار فیزیکی شامل یونیزه کردن، استفاده از اشعه لیزر، ماکروویو، امواج فراصوتی، ماورای بنفش، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی است (بیلالیس و همکاران، ۲۰۱۲). به اعتقاد برخی از پژوهشگران، پیش تیمار با میدان‌های مغناطیسی و الکترومغناطیسی می‌تواند با بالا بردن راندمان تولید بدون واردکردن آلودگی به محیط‌زیست، نیازهای کشاورزی اکولوژیک را برآورده سازد (بیلالیس و همکاران، ۲۰۰۶). گزارش‌های متعددی نشان داده‌اند که قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی می‌تواند جوانه‌زنی بذر با قوه‌نامیه کم را افزایش و کیفیت و سرعت جوانه‌زنی

---

1 Fullerene

2 Carbon nanotubes

آن‌ها را بهبود بخشد (الساندر و دویجود، ۱۹۹۵). امواج فراصوتی، امواج مکانیکی هستند که فرکانس آن‌ها بیش از ۲۰ کیلوهرتز بوده و دارای انرژی بالایی هستند و می‌توانند سبب بالا رفتن دمای بافت‌ها شوند.

انرژی امواج فراصوتی قادر است قارچ‌ها، بیماری‌ها و ریزسازواره‌های موجود در خاک و یا روی پوسته‌ی بذر را کاهش دهد. بذرهایی که به این روش تیمار شده‌اند، قابلیت نگهداری در مدت زمان طولانی‌تری را دارند. بذرهایی که از یک میدان مغناطیسی عبور داده می‌شوند، دچار تورم شده و در نتیجه فعالیت هورمون اکسین در این بذرها افزایش می‌یابد. همچنین میزان تنفس در این بذرها افزایش یافته و دارای انرژی و فعالیت زیادتری شده که نتیجه‌ی آن جوانه‌زنی سریع‌تر و یکنواخت‌تر و ایجاد گیاهان مقاوم به تنش‌ها به‌خصوص تنش شوری است. تحمل به تنش‌های مختلف و بهبود سرعت جوانه‌زنی به کاهش انواع اکسیژن فعال (ROS) و به‌دنبال آن افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داده می‌شود (آرانجو و همکاران، ۲۰۱۶). با این حال اثرات یونیزه‌کننده‌ها مانند پرتوهای گاما کاملاً وابسته به غلظت و شدت هستند. این پرتوهای به‌طور مستقیم با اجزای سلولی در برهم‌کنش می‌باشند، به‌طوری‌که گزارش‌شده است غلظت‌های پایین‌تر سبب بهبود جوانه‌زنی می‌شود. همچنین پرتو گاما از طریق برخی تغییرات در شبکه هورمونی سلول‌های گیاهی که به‌نوبه خود منجر به تحریک ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود و منجر به شکستن زودهنگام خواب بذر و بهبود جوانه‌زنی می‌شود (کی و همکاران، ۲۰۱۵). کاربرد امواج مکانیکی یکی دیگر از روش‌های فیزیکی پیش‌تیمار بذر است که در محدوده فرکانس ۱۰۰-۲۰ کیلوهرتز کاربرد دارد. پیش‌تیمار با امواج فراصوت از طریق فشار بر پوسته بذر سبب افزایش نفوذپذیری بذر می‌شود و با فعال کردن واکنش‌های آنزیمی و سایر واکنش‌های بیولوژیکی به جذب آب توسط بذر کمک می‌کند، بنابراین پیش‌تیمار بذر با امواج فراصوت با افزایش انتقال آب جذب‌شده توسط بذر موجب واکنش سریع جنین سلولی می‌شود.

## ۱-۵-منابع

- Abu-Muriefah SS (2017) Phytohormonal priming improves germination and antioxidant enzymes of soybean (*Glycine max*) seeds under lead (Pb) stress. *Biosci Res* 14(1): 42–56.
- Adhikari T, Kundu S, Rao AS (2013) Impact of SiO<sub>2</sub> and Mo nano particles on seed germination of rice (*Oryza sativa* L). *Int J Agric Food Sci Technol* 4(8): 809–816.
- Afzal I, Rehman HU, Naveed M, Basra SMA (2016) Recent advances in seed enhancements. In *New challenges in seed biology-basic and translational research driving seed technology*. InTech, pp 47–74.
- Ahmad I, Basra SMA, Akram M, Wasaya A, Ansar M, Hussain S, Iqbal A, Hussain SA (2017) Improvement of antioxidant activities and yield of spring maize through seed priming and foliar application of plant growth regulators under heat stress conditions. *Semina: Ciências Agrárias* 38: 47–56.
- Ahmadvand G, Soleimani F, Saadatian B, Pouya M (2012) Effect of seed priming with potassium nitrate on germination and emergence traits of two soybean cultivars under salinity stress conditions. *Am Eurasian J Agric Environ Sci* 12: 769–774.
- Ajourri A, Asgedom H, Becker M (2004) Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. *J Plant Nutr Soil Sci* 167(5): 630–636.
- Amos D (2017) Aerated compost tea (ACT) to improve soil biology and to act as a biofertiliser/ biofungicide, pp 1–2. <http://orgprints.org/31042/>. Accessed 2 June 2017.
- Ansari O, Chogazardi H, Sharifzadeh F, Nazarli H (2012) Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (*Secale montanum*) as affected by drought stress. *Cercetari Agronomice in Moldova* 45(2): 43–48.
- Araujo SDS, Paparella S, Dondi D, Bentivoglio A, Carbonera D, Balestrazzi A (2016) Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology. *Front Plant Sci* 7: 646.
- Arif M, Jan MT, Marwat KB, Khan MA (2008) Seed priming improves emergence and yield of soybean. *Pak J BotPak J Bot* 40(3): 1169–1177.
- Arif M, Waqas M, Nawab K, Shahid M (2007) Effect of seed priming in Zn solutions on chickpea and wheat. *Afr. Crop Sci Conf Proc* 8: 237–240.
- Asgedom H, Becker M (2001) Effects of seed priming with nutrient solutions on germination, seedling growth and weed competitiveness of cereals in Eritrea. In:

- Proceedings of Deutscher Tropentag. University of Bonn & ATSAF, Margraf Pub. Press, Weickersheim, p 282.
- Assefa MK, Hunje R, Koti RV (2010) Enhancement of seed quality in soybean following priming treatment. *Karnataka J Agric Sci* 23: 787–789.
- Awan IU, Baloch MS, Sadozai NS, Sulemani MZ (1999) Stimulatory effect of GA3 and IAA on ripening process, kernel development and quality of rice. *Pakistan J Biol Sci (Pakistan)* 2: 410–412.
- Bagheri MZ (2014) The effect of maize priming on germination characteristics, catalase and peroxidase enzyme activity and total protein content under salt stress. *Int J Biosci* 4(2): 104–112.
- Bahrani A, Pourreza J (2012) Gibberellic acid and salicylic acid effects on seed germination and seedlings growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress condition. *World Appl Sci J* 18(5): 633–641.
- Basra SMA, Farooq M, Tabassam R, Ahmad N (2005) Physiological and biochemical aspects of pre-sowing seed treatments in fine rice (*Oryza sativa* L). *Seed Sci Technol* 33(3): 623–628.
- Baxter A, Mittler R, Suzuki N (2013) ROS as key players in plant stress signalling. *J Exp Bot* 65(5): 1229–1240.
- Benavides-Mendoza A, Ramirez-Rodriguez H, Robledo-Torres V, Hernandez-Davila J, Ramirez Mezquitic JG, Bacopulos-Te-llez E, Bustamante-Garcia MA (2002) Seed treatment with salicylates modifies stomatal distribution, stomatal density and the tolerance to cold stress in pepper seedlings. In: Proceedings of the 16th international pepper conference Tampico, Tamaulipas, Mexico (Vol. 2), November.
- Bennett AJ, Whipps JM (2008) Dual application of beneficial microorganisms to seed during drum priming. *Appl Soil Ecol* 38(1): 83–89.
- Berrie AMM, Drennan DSH (1971) The effect of hydration-dehydration on seed germination. *New Phytol* 70(1): 135–142.
- Bhardwaj J, Anand A, Nagarajan S (2012) Biochemical and biophysical changes associated with magnetopriming in germinating cucumber seeds. *Plant Physiol Biochem* 57: 67–73.
- Bhowmick M K, Biswas PK, Sen P, Bhattacharyya P (2010) Studies on seed priming, row spacing and foliar nutrition in chickpea under rainfed conditions in West Bengal, India. In: Proceedings of the international seminar on climate change and environmental challenges of 21st century, December, pp 7–9.

- Bhowmick MK (2013) Seed priming and foliar nutrition towards enhancing Lathyrus productivity under rice-utera system. In: Proceedings of the Centenary Session, 100th Indian Science.
- Bilalis DJ, Katsenios N, Efthimiadou A, Karkanis A, Efthimiadis P (2012) Investigation of pulsed electromagnetic field as a novel organic pre-sowing method on germination and initial growth stages of cotton. *Electromagn Biol Med* 31(2): 143–150.
- Bradford KJ (1986) Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience (USA)*.
- Bradford KJ (1995) Water relations in seed germination. *Seed Dev Germination* 1(13): 351–396.
- Brinton W, Storms P, Evans E, Hill J (2004) Compost teas: microbial hygiene and quality in relation to method of preparation. *Biodynamics*. 249: 36–45.
- Bujalski W, Nienow AW (1991) Large-scale osmotic priming of onion seeds: a comparison of different strategies for oxygenation. *Sci Hortic* 46(1–2): 13–24.
- Bujalski W, Nienow AW, Gray D (1989) Establishing the large scale osmotic priming of onion seeds by using enriched air. *Ann Appl Biol* 115(1): 171–176.
- Cakmak I (2005) The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *J Plant Nutr Soil Sci* 168(4): 521–530.
- Callan NW, Mathre D, Miller JB (1990) Bio-priming seed treatment for biological control of *Pythium ultimum* pre-emergence damping-off in sh-2 sweet corn. *Plant Dis* 74: 368–372.
- Cantliffe DJ (1987) Priming of lettuce for early and uniform emergence under conditions of environmental stress. *Acta Hortic* 122: 29–38.
- Cantliffe DJ (2003) Seed enhancements. *Acta Hortic* 607: 53–59 Capron I, Corbineau F, Dacher F, Job C, Côme D, Job D (2000) Sugar beet seed priming: effects of priming conditions on germination, solubilization of 11-S globulin and accumulation of LEA proteins. *Seed Sci Res* 10(3): 243–254.
- Chakraborty GS, Aeri V, Verma P, Singh S (2014) Phytochemical and antimicrobial studies of *Chlorophytum borivilianum*. *Pharmacophore* 5: 258–261.
- Chen K, Fessehaie A, Arora R (2012) Dehydrin metabolism is altered during seed osmopriming and subsequent germination under chilling and desiccation in *Spinaciaoleracea* L. cv. Bloomsdale: possible role in stress tolerance. *Plant Sci* 183: 27–36.

- Côme D, Thévenot C (1982) Environmental control of embryo dormancy and germination. In: The physiology and biochemistry of seed development, dormancy and germination, pp 271–298.
- Congress, Section of Agriculture and Forestry Sciences, 3–7 Jan 2013, Kolkata, West Bengal, India, p 219.
- Corbineau F, Côme D (2006) Priming: a technique for improving seed quality. Seed testing international. ISTA News Bulletin No 132: 38–40.
- Darwin C (1855) Effect of salt-water on the germination of seeds. *Gardeners Chron Agric Gaz* 47: 773.
- Dawood MG (2018) Stimulating plant tolerance against abiotic stress through seed priming. In: *Advances in seed priming*. Springer, Singapore, pp 147–183.
- Dawood MG, El-Awadi ME, El-Rokiek KG (2012) Physiological impact of fenugreek, guava and lantana on the growth and some chemical parameters of sunflower plants and associated weeds. *J Ame Sci* 8(6): 166–174.
- Demir I, Ozuaydin I, Yasar F, Van Staden J (2012) Effect of smoke-derived butenolide priming treatment on pepper and salvia seeds in relation to transplant quality and catalase activity. *S Afr J Bot* 78: 83–87.
- Dey S, Pramanik K, Mukherjee S, Poddar S, Barik K (2014) Effect of seed priming and straw mulching on growth and productivity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed condition. *SATSA Mukhaptra Annu Tech Issue* 18: 126–131.
- Di Girolamo G, Barbanti L (2012) Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. *Ital J Agron* 7(2): 25.
- Diver S (2002) Notes on compost teas: a supplement to the ATTRA publication: compost teas for plant disease control. *Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA)*, National Sustainable Agriculture Information Service, AR. (National Center for Appropriate Technology, Montana). Retrieved March, 5, 2012.
- Dubrovsky JG (1996) Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. *Am J Bot* 83(5): 624–632.
- Dutta P (2018) Seed priming: new vistas and contemporary perspectives. In: *Advances in seed priming*. Springer, Singapore, pp 3–22.
- Ells JE (1963) The influence of treating tomato seed with nutrient solutions on emergence rate and seedling growth. In *Proc Amer Soc Hort Sci* 83: 684–687.

- Evenari M (1984) Seed physiology: its history from antiquity to the beginning of the 20<sup>th</sup> century. *Bot Rev* 50(2): 119–142.
- Farahbakhsh H (2012) Germination and seedling growth in un-primed and primed seeds of Fenel as affected by reduced water potential induced by NaCl. *Int Res J Appl Basic Sci* 3(4): 737–744.
- Farooq M, Basra SM, Rehman H, Mehmood T (2006) Germination and early seedling growth as affected by pre-sowing ethanol seed treatments in fine rice. *Int J Agric Biol Int J Agric Biol* 8: 19–22.
- Farooq M, Basra SM, Wahid A, Ahmad N (2010) Changes in nutrient homeostasis and reserves metabolism during rice seed priming: consequences for seedling emergence and growth. *Agric Sci China* 9(2): 191–198.
- Farooq M, Basra SMA, Rehman H, Saleem BA (2008) Seed priming enhances the performance of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving chilling tolerance. *J Agron Crop Sci* 194(1): 55–60.
- Farooq M, Wahid A, Lee DJ (2009) Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiol Plant* 31(5): 937–945.
- Fedoroff NV, Battisti DS, Beachy RN, Cooper PJ, Fischhoff DA, Hodges CN et al (2010) Radically rethinking agriculture for the 21st century. *Science* 327(5967): 833–834.
- Finch-Savage WE, Gray D, Dickson GM (1991) The combined effects of osmotic priming with plant growth regulator and fungicide soaks on the seed quality of five bedding plant species. *Seed Sci Technol* 19(2): 495–503.
- Fraceto LF, Grillo R, de Medeiros GA, Scognamiglio V, Rea G, Bartolucci C (2016) Nanotechnology in agriculture: which innovation potential does it have? *Front Environ Sci* 4: 20.
- Gaius PS (1949) *Naturalishistoria*, vol. IV–VII, Books 12–27 (trans: Rackham H, Jones WHS, Eichholz DE). Harvard University Press, Massachusetts and William Heinemann, London.
- Ghafari H, Razmjoo J (2013) Effect of foliar application of nano-iron oxidase, iron chelate and iron sulphate rates on yield and quality of wheat. *Int J Agron Plant Prod* 4(11): 2997–3003.
- Guan YJ, Hu J, Wang XJ, Shao CX (2009) Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *J Zhejiang Univ Sci B* 10(6): 427–433.



- Halmer P (2004) Methods to improve seed performance in the field. In: Handbook of seed physiology, pp 125–65.
- Harris D (2006) Development and testing of “on-farm” seed priming. Adv Agron 90: 129–178.
- Harris D, Rashid A, Miraj G, Arif M, Yunas M (2008) ‘On-farm’ seed priming with zinc in chickpea and wheat in Pakistan. Plant Soil 306(1–2): 3–10.
- Heydecker W, Coolbear P (1977) Seed treatments for improved performance survey and attempted prognosis. Seed Sci Technol 5: 353–425.
- Heydecker W, Gibbins BM (1977) The ‘priming’ of seeds. In: Symposium on seed problems in horticulture, vol 83, pp 213–224.
- Heydecker W, Higgins J, Gulliver RL (1973) Accelerated germination by osmotic seed treatment. Nature 246(5427): 42.
- Hill H, Bradford KJ, Cunningham J, Taylor AG (2008) Primed lettuce seeds exhibit increased sensitivity to moisture during aging. Acta Hort 782: 135–141.
- Ilyas S (2006) Seed treatments using matricconditioning to improve vegetable seed quality. J Agronomi Indonesia 34(2): 56–63.
- Jaleel CA, Gopi R, Manivannan P, Panneerselvam R (2007) Responses of antioxidant defense system of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. Topaclobutrazol treatment under salinity. Acta Physiol Plant 29(3): 205–209.
- Jett LW, Welbaum GE, Morse RD (1996) Effects of matric and osmotic priming treatments on broccoli seed germination. J Am Soc Hortic Sci 121(3): 423–429.
- Jisha KC, Vijayakumari K, Puthur JT (2013) Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. Acta Physiol Plant 35(5): 1381–1396.
- Kaur S, Gupta AK, Kaur N (2002) Effect of osmo- and hydropriming of chickpea seeds on seedling growth and carbohydrate metabolism under water deficit stress. Plant Growth Regul 37(1): 17–22.
- Kester ST, Geneve RL, Houtz RL (1997) Priming and accelerated ageing affect L-isoaspartyl methyltransferase activity in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seed. J Exp Bot 48(4): 943–949.
- Khaliq A, Aslam F, Matloob A, Hussain S, Geng M, Wahid A, ur Rehman H (2015) Seed priming with selenium: consequences for emergence, seedling growth, and biochemical attributes of rice. Biol Trace Elem Res 166(2): 236–244.

- Khan A, Khalil SK, Khan AZ, Marwat KB, Afzal A (2008) The role of seed priming in semi-arid area for mung bean phenology and yield. *Pak J Bot* 40(6): 2471–2480.
- Kibinza S, Bazin J, Bailly C, Farrant JM, Corbineau F, El-Maarouf-Bouteau H (2011) Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. *Plant Sci* 181(3): 309–315.
- Kim MJ, Shim CK, Kim YK, Hong SJ, Park JH, Han EJ, Kim JH, Kim SC (2015) Effect of aerated compost tea on the growth promotion of lettuce, soybean, and sweet corn in organic cultivation. *Plant Pathol J* 31(3): 259–268.
- Koehler DE (1967) Thesis. Purdue University, USA.
- Korkmaz A, Korkmaz Y (2009) Promotion by 5-aminolevulinic acid of pepper seed germination and seedling emergence under low-temperature stress. *Sci Hortic* 119(2): 98–102.
- Kumar S, Arya MC, Sinfh R (2010) Management of sweet pepper diseases and growth promotion by *Pseudomonas fluorescens* and *Trichoderma harzianum* in mid hills of Central Himalayas, India. *Indian Phytopathol* 63(2): 181–186.
- Lara TS, Lira JMS, Rodrigues AC, Rakocevic M, Alvarenga AA (2014) Potassium nitrate priming affects the activity of nitrate reductase and antioxidant enzymes in tomato germination. *J Agric Sci* 6(2): 72.
- MacDonald H (1997) Auxin perception and signal transduction. *Physiol Plant* 100: 423–430.
- Mahajan G, Sarlach RS, Japinder S, Gill MS (2011) Seed priming effects on germination, growth and yield of dry direct-seeded rice. *J Crop Improv* 25(4): 409–417.
- Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants, 2nd edn. Academic, San Diego. Mineral nutrition of high plant. Academic Press, pp: 330–355.
- Mavi K (2014) Use of extract from dry marigold (*Tagatespp.*) flowers to prime eggplant (*Solanum melongena*L.) seeds. *Acta Sci Pol-Hortorumcultus* 13: 3–12.
- Mavi K (2016) The effect of organic priming with Marigold herbal tea on seeds quality in Aji pepper (*Capsicum baccatum* var. pendulum Willd). *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 21(1): 31–39.
- May LH, Milthorpe EJ, Milthorpe FL (1962) Pre-sowing hardening of plants to drought. In: *Field crop abstracts*, vol 15, pp 93–98.

- McDonald MB (2000) Seed priming. In: Black M, Bewley JD (eds) Seed technology and its biological basis. Sheffield Academic Press, Sheffield, pp 287–325.
- Mengesha WK, Powell SM, Evans KJ, Barry KM (2017) Diverse microbial communities in non-aerated compost teas suppress bacterial wilt. *World J Microbiol Biotechnol* 33(3): 49–55.
- Miransari M, Smith DL (2014) Plant hormones and seed germination. *Environ Exp Bot* 99: 110–121.
- Mirshekari B, Baser S, Allahyari S, Hamedanlu N (2012) On-farm seed priming with Zn+ Mn is an effective way to improve germination and yield of marigold. *Afr J Microbiol Res* 6(28): 5796–5800.
- Mohd Din ARJ, Cheng KK, Sarmidi MR (2017) Assessment of compost extract on yield and phytochemical contents of Pak Choi (*Brassica Rapa* cv. Chinensis) grown under different fertilizer strategies. *Commun Soil Sci Plant Anal* 48(3): 274–284.
- Moradi A, Younesi O (2009) Effects of osmo-and hydro-priming on seed parameters of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L). *Aust J Basic Appl Sci* 3(3): 1696–1700.
- Naeem M, Bhatti IRAM, Ahmad RH, Ashraf MY (2004) Effect of some growth hormones (GA3, IAA and kinetin) on the morphology and early or delayed initiation of bud of lentil (*Lens culinaris* Medik). *Pak J Bot* 36(4): 801–809.
- Narwal SS (1994) Allelopathy in crop production. Scientific Publishers, Jodhpur, p 288.
- Nayban G, Mandal AK, De BK (2017) Seed priming: a low-cost climate-resilient tool for improving germination, growth and productivity of mungbean. *SATSA Mukhaptra Annu Tech Issue* 21: 162–172.
- Niinemets Ü (2009) Mild versus severe stress and BVOCs: thresholds, priming and consequences. *Trends Plant Sci* 15(3): 145–153.
- O’Sullivan JOHN, Bouw WJ (1984) Pepper seed treatment for low-temperature germination. *Can J Plant Sci* 64(2): 387–393.
- Ozbay N, Susluoglu Z (2016) Assessment of growth regulator prohexadione calcium as priming agent for germination enhancement of pepper at low temperature. *JAPS: J Anim Plant Sci* 26(6): 1652–1658.
- Pame AR, Kreye C, Johnson D, Heuer S, Becker M (2015) Effects of genotype, seed P concentration and seed priming on seedling vigor of rice. *Exp Agric* 51(03): 370–381.

- Passam HC, Karavites PI, Papandreou AA, Thanos CA, Georghiou K (1989) Osmo-conditioning of seeds in relation to growth and fruit yield of aubergine, pepper, cucumber and melon in unheated greenhouse cultivation. *Sci Hortic* 38(3-4): 207-216.
- Patanè C, Cavallaro V, D'Agosta G, Cosentino SL (2008) Plant emergence of PEG-osmoprimed seeds under suboptimal temperatures in two cultivars of sweet sorghum differing in seed tannin content. *J Agron Crop Sci* 194(4): 304-309.
- Pereira MD, Dias DCFDS, Dias LADS, Araújo EF (2009) Primed carrot seeds performance under water and temperature stress. *Sci Agric* 66(2): 174-179.
- Pill WG (1995) Low water potential and presowing germination treatments to improve seed quality. In: *Seed quality*, pp 319-359.
- Pozo MJ, Azcón-Aguilar C (2007) Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Curr Opin Plant Biol* 10(4): 393-398.
- Prabha D, Negi S, Kumari P, Negi YK, Chauhan JS (2016) Effect of seed priming with some plant leaf extract on seedling growth characteristics and root rot disease in tomato. *Int J Agric Syst* 4(1): 46-51.
- Prasad TNVKV, Sudhakar P, Sreenivasulu Y, Latha P, Munaswamy V, Reddy KR et al (2012) Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *J Plant Nutr* 35(6): 905-927.
- Qi W, Zhang L, Wang L, Xu H, Jin Q, Jiao Z (2015) Pretreatment with low-dose gamma irradiation enhances tolerance to the stress of cadmium and lead in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Ecotoxicol Environ Saf* 115: 243-249.
- Raj SN, Shetty NP, Shetty HS (2004) Seed bio-priming with *Pseudomonas fluorescens* isolates enhances growth of pearl millet plants and induces resistance against downy mildew. *Int J Pest Manag* 50(1): 41-48.
- Rakshit A, Pal S, Rai S, Rai A, Bhowmick MK, Singh HB (2013) Micronutrient seed priming: a potential tool in integrated nutrient management. *SATSA Mukhaptra Annu Tech Issue* 17: 77-89.
- Rakshit A, Sunita K, Pal S, Singh A, Singh HB (2015) Bio-priming mediated nutrient use efficiency of crop species. In: *Nutrient use efficiency: from basics to advances*. Springer, New Delhi, pp 181-191.
- Rangaswamy A, Purushothaman S, Devasenapathy P (1993) Seed hardening in relation to seedling quality characters of crops. *Madras Agric J* 80(9): 535-537.

- Raphael E (2012) Phytochemical constituents of some leaves extract of *Aloe vera* and *Azadirachta indica* plant species. *Glob Adv Res J Environ Sci Toxicol* 1(2): 014–017.
- Reddy MVB, Arul J, Angers P, Couture L (1999) Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seeds quality. *J Agric Food Chem* 47: 67–72.
- Reddy PP (2012) Bio-priming of seeds. In: *Recent advances in crop protection*. Springer, New Delhi, pp 83–90.
- Rehman H, Nawaz Q, Basra SMA, Afzal I, Yasmeen A (2014) Seed priming influence on early crop growth, phenological development and yield performance of linola (*Linum usitatissimum* L.). *J Integr Agric* 13(5): 990–996.
- Renugadevi J, Vijayageetha V (2006) Organic seed fortification in cluster bean (*Cyamopsistetra gonoloba* L.) TAUB. In: *International conference on indigenous vegetables and legumes. Prospectus for fighting poverty, hunger and malnutrition*, vol 752, December, pp 335–337.
- Rowse HR (1991) Methods of priming seeds. UK Patent, 2(192), 781.
- Ruan SL, Xue QZ (2002) Effects of chitosan coating on seed germination and salt-tolerance of seedlings in hybrid rice (*Oryza sativa* L.). *Acta Agron Sin* 28: 803–808.
- Sajedi NA, Ardakani MR, Madani H, Naderi A, Miransari M (2011) The effects of selenium and other micronutrients on the antioxidant activities and yield of corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Physiol Mol Biol Plants* 17(3): 215–222.
- Salehi M, Tamaskani F (2008) Pretreatment effect of nanosilver on germination and seedling growth of wheat under salt stress. In: *Proceeding of 11th Iranian congress in seed sciences and echnology*. Gorgan, Iran.
- Satish S, Mohana DC, Ranhavendra MP, Raveesha KA (2007) Antifungal activity of some plant extracts against important seed borne pathogens of *Aspergillus* sp. *Int J Agric Technol* 3(1): 109–119.
- Scheuerell SJ, Mahaffee WF (2006) Variability associated with suppression of graymold (*Botrytis cinerea*) on geranium by foliar applications of nonaerated and aerated compost teas. *Plant Dis* 90: 1201–1208.
- Schwember AR, Bradford KJ (2005) Drying rates following priming affect temperature sensitivity of germination and longevity of lettuce seeds. *Hort Sci* 40(3): 778–781.

- Shahrokhi M, Tehranifar A, Hadizadeh H, Selahvarzi Y (2011) Effect of drought stress and paclobutrazol-treated seeds on physiological response of *Festuca arundinacea* L. Master and *Lolium perenne* L. Barrage. *J Biol Environ Sci* 5(14): 77–85.
- Shao CX, Hu J, Song WJ, Hu WM (2005) Effects of seed priming with chitosan solutions of different acidity on seed germination and physiological characteristics of maize seedling. *J Zhejiang Univ (Agric Life Sci)* 31(6): 705–708.
- Shivay YS, Singh U, Prasad R, Kaur R (2016) Agronomic interventions for micronutrient biofortification of pulses. *Indian J Agron* 61(4<sup>th</sup> IAC Special Issue): 161–172 Singh MV (2007) Efficiency of seed treatment for ameliorating zinc deficiency in crops. *Zinc Crops* 24–26.
- Singh A, Dahiru R, Musa M, Sani Haliru B (2014) Effect of Osmopriming duration on germination, emergence, and early growth of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in the Sudan Savanna of Nigeria. *Int J Agron* 2014: 1–4.
- Singh H, Jassal RK, Kang JS, Sandhu SS, Kang H, Grewal K (2015a) Seed priming techniques in field crops-a review. *Agric Rev* 36(4): 251–264.
- Singh U, Praharaj CS, Shivay YS, Kumar L, Singh SS (2015b) Ferti-fortification: an agronomic approach for micronutrient enrichment of pulses. In: *Pulses: challenges and opportunities under changing climatic scenario*, In: *Proceedings of the national conference on “Pulses: challenges and opportunities under changing climatic scenario*, vol. 29, pp 208–222.
- Slaton NA, Wilson CE, Ntamatungiro S, Norman RJ, Boothe DL (2001) Evaluation of zinc seed treatments for rice. *Agron J* 93(1): 152–157.
- Sliwinska E, Jendrzeczak E (2002) Sugar-beet seed quality and DNA synthesis in the embryo in relation to hydration-dehydration cycles. *Seed Sci Technol* 30(3): 597–608.
- Srivastava AK, Bose B (2012) Effect of nitrate seed priming on phenology, growth rate and yield attributes in rice (*Oryza sativa* L). *Vegetos Int J Plant Res* 25(2): 174–181.
- Steel RGD, Torrie JH, Dickey D (1997) *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*, 3<sup>rd</sup> edn. McGraw Hill Book Company, New York, pp 172–177.
- Sung JM, Chiu KY (1995) Hydration effect on seedling emergence strength of watermelon seeds differing in ploidy. *Plant Sci* 110(1): 21–26.
- Tavili A, Zare S, Enayati A (2009) Hydropriming, ascorbic and salicylic acid influence on germination of *Agropyronelongatum* host. *Seeds under salt stress*. *Res J Seed Sci* 2(1): 16–22.

- Taylor AG, Allen PS, Bennett MA, Bradford KJ, Burriss JS, Misra MK (1998) Seed enhancements. *Seed Sci Res* 8(2): 245–256.
- Thakur P, Kumar S, Malik JA, Berger JD, Nayyar H (2010) Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview. *Environ Exp Bot* 67(3): 429–443.
- Tonelli ML, Furlan A, Taurian T, Castro S, Fabra A (2011) Peanut priming induced by biocontrol agents. *Physiol Mol Plant Pathol* 75(3): 100–105.
- Uchida A, Jagendorf AT, Hibino T, Takabe T, Takabe T (2002) Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. *Plant Sci* 163(3): 515–523.
- Umair A, Ali S, Hayat R, Ansar M, Tareen MJ (2011) Evaluation of seed priming in mung bean (*Vigna radiata*) for yield, nodulation and biological nitrogen fixation under rainfed conditions. *Afr J Biotechnol* 10(79): 18122–18129.
- Umair A, Ali S, Sarwar M, Bashir K, Tareen MJ, Malik MA (2013) Assessment of some priming techniques in mungbean (*Vigna radiata*): a green house study. *Pak J Agric Res* 26: 4-14.
- Upadhyaya H, Begum L, Dey B, Nath PK, Panda SK (2017) Impact of calcium phosphate nanoparticles on rice plant. *J Plant Sci Phytopathol* 1: 1–10.
- Van Hulten M, Pelser M, Van Loon LC, Pieterse CM, Ton J (2006) Costs and benefits of priming for defense in Arabidopsis. *Proc Natl Acad Sci* 103(14): 5602–5607.
- Varier A, Vari AK, Dadlani M (2010) The subcellular basis of seed priming. *Curr Sci* 99: 450–456.
- Wahid A, Noreen A, Basra SM, Gelani S, Farooq M (2008) Priming-induced metabolic changes in sunflower (*Helianthus annuus*) achenes improve germination and seedling growth. *Bot Stud* 49(4): 343–350.
- Waqas M, Nizami AS, Aburiazaiza AS, Barakat MA, Ismail IMI, Rashid MI (2017) Optimization of food waste compost with the use of biochar. *J Environ Manag.* <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.015>.
- Warren JE, Bennett MA (1997) Seed hydration using the drum priming system. *Hort Sci* 32(7): 1220–1221.
- Weltzien HC (1991) Biocontrol of foliar fungal disease with compost extracts. In: Andrews JH, Hirano SS (eds) *Microbial ecology of leaves*. Springer-Verlag, New York, pp 430–450.

- Wright B, Rowse H, Whipps JM (2003) Microbial population dynamics on seeds during drum and steeping priming. *Plant Soil* 255(2): 631–640.
- Xu S, Hu J, Li Y, Ma W, Zheng Y, Zhu S (2011) Chilling tolerance in *Nicotiana tabacum* induced by seed priming with putrescine. *Plant Growth Regul* 63(3): 279–290.
- Yadav PV, Kumari M, Ahmed Z (2011) Seed priming mediated germination improvement and tolerance to subsequent exposure to cold and salt stress in capsicum. *Res J Seed Sci* 4(3): 125–136.
- Yan M (2015) Seed priming stimulate germination and early seedling growth of Chinese cabbage under drought stress. *S Afr J Bot* 99: 88–92.
- Yogananda DK, Vyakarnahal BS, Shekhargouda M (2004) Effect of seed invigoration with growth regulations and micronutrients on germination and seedling vigour of bell pepper cv. California.
- Zhou J, Wang Y, Jahufer Z (2013) Location and chemical composition of semi permeable layer of forage seeds. *Bangladesh J Bot* 42(1): 23–30.
- Zhou ZS, Guo K, Elbaz AA, Yang ZM (2009) Salicylic acid alleviates mercury toxicity by preventing oxidative stress in roots of *Medicago sativa*. *Environ Exp Bot* 65(1): 27–34.





## فصل دوم

فرایندهای بنیادی در پیش تیمار بذر برنج





## ۲-۱- مقدمه

پیش تیمار بذر، یکی از راهبردهای امیدوارکننده‌ی استفاده‌شده برای بهبود عملکرد بذر برنج به واسطه‌ی بالا بردن نرخ جوانه‌زنی و یکنواختی رویش است که منجر به توسعه‌ی بهتر و سریع‌تر گیاهچه می‌شود (کرامر ۲۰۰۲؛ باسرا و همکاران، ۲۰۰۴؛ کاستنارس و بازو، ۲۰۱۸؛ سهیل و همکاران، ۲۰۱۸). روش‌های مختلف پیش تیمار بذر برای بهبود جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه برنج توسعه داده شده‌اند. پیش تیمار بذر به همراه چند عامل دیگر به‌عنوان رویکردی نویدبخش برای بالا بردن تحمل تنش در این گیاه توسعه داده شده است. بذرهای برنج می‌توانند با مواد شیمیایی متفاوت، یون‌ها، اجزای ارگانیک، هورمون‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها تیمار شوند. موفقیت در پیش تیمار بذر بستگی به متغیرهای محیطی در طی فرایند پیش تیمار بذر، نوع گیاه، رقم و شاخص بنیه بذر و روش پیش تیمار دارد (پاررا و کانتلیف، ۱۹۹۴؛ کوربینائو و کام، ۲۰۰۶؛ فاروق و همکاران، ۲۰۱۲؛ مایتی و پرامانیک، ۲۰۱۳).

پیش تیمار بذر برنج بسیاری از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی را که در مراحل اولیه‌ی جوانه‌زنی درگیر هستند را تحریک می‌کند و در نهایت می‌تواند مکانیسم‌های تحمل تنش غیر زیستی را که رشد طولی و بعد از استقرار گیاهچه را بهبود می‌بخشد را نیز تحریک نماید. پیش تیمار بذر، مجموعه‌ای از نوسانات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، سلولی، سیستمیک و مولکولی را فعال می‌کند که رشد گیاه را تحت شرایط تنش غیر زیستی افزایش می‌دهند (واریر و همکاران، ۲۰۱۰؛ عیسوند و همکاران، ۲۰۱۰؛ چن و آرورا، ۲۰۱۳؛ سیری و همکاران، ۲۰۱۳؛ ابراهیم ۲۰۱۶؛ لاتس و همکاران، ۲۰۱۶؛ پال و همکاران، ۲۰۱۷).

پیش‌تیمار بذر برنج به واسطه‌ی اصلاح متابولیسمی در طول جذب آب، تنظیم آسمزی و تحریک فرایندهای متابولیسمی پیش از جوانه‌زنی در بذرهای پرایم‌شده، نرخ جوانه‌زنی و یکنواختی را بهبود می‌بخشد. این روش‌ها در بردارنده‌ی تأثیراتی بر روی تحرکات اولیه‌ی ذخایر، مکانیسم‌های اصلاح و پردازش DNA در طول تکثیر هستند (برادفورد ۱۹۸۶؛ برای و همکاران، ۱۹۸۹؛ ابراهیم ۲۰۱۶؛ لاتس و همکاران، ۲۰۱۶). پیش‌تیمار بذر، همچنین بسیاری از فعالیت‌های مربوط به جوانه‌زنی از قبیل متابولیسم انرژی، انتقال مجدد مواد فتوسنتزی، هیدرولیز آندوسپرم، تنفس و حفاظت از توسعه‌ی سلول‌های جنینی را به راه می‌اندازد (پندیتا و همکاران، ۲۰۰۷؛ چن و آروا، ۲۰۱۱؛ واریر و همکاران، ۲۰۱۰). تکنولوژی پیش‌تیمار بذر به واسطه‌ی تنظیم مسیرهای اصلاح DNA، آنزیم‌های تجزیه‌کننده، کاتالاز و دیگر آنزیم‌های مهارکننده آنتی‌اکسیدانی، سنتز مجدد پروتئین‌ها و نوکلئیک‌اسیدها و تجمع فسفولیپیدها و استرول‌ها، جوانه‌زنی را بهبود می‌بخشد (افضل و همکاران، ۲۰۰۲؛ چن ۲۰۱۱؛ راجو و همکاران، ۲۰۱۲؛ کوبالا و همکاران، ۲۰۱۵ و b؛ پاپارللا و همکاران، ۲۰۱۵). علاوه بر آن، رشد و توسعه‌ی مناسب گیاهچه حاصل از بذر تیمار شده ممکن است به علت سیالیت غشای پلاسمایی تحریک‌شده، تقسیم سلولی، طول شدن و پروتئین‌های واکنش‌دهنده به تنش غیر زیستی باشد (ابراهیم ۲۰۱۶).

تنش‌های غیر زیستی از قبیل سرما، شوری، خشکی و شدت دما، از قابل‌توجه‌ترین عواملی هستند که بر عملکرد و تولید محصول زراعی برنج اثر معکوس دارند. این تنش‌های غیر زیستی باعث ممانعت از جوانه‌زنی، تأخیر در جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌های برنج هستند. جوانه‌زنی، یکی از مراحل تعیین‌کننده در طول دوره رشد گیاه است که وابستگی بسیار بالایی به تغییرات شرایط محیطی دارد. جوانه‌زنی به واسطه‌ی فرایندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی مربوط به توسعه‌ی جنین، کنترل می‌شود (بولی ۱۹۹۷؛ راجو و همکاران، ۲۰۱۲؛ بولی و همکاران، ۲۰۱۳؛ لاتس و همکاران، ۲۰۱۶). تنش‌های غیر زیستی، مجموعه‌ای از تغییرات را در چندین فرایند فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در سلول‌ها

ایجاد می‌کنند (یونگ و زو، ۲۰۰۲). این تنش‌ها، تعادل متابولیک سلول‌های گیاهی برنج را مختل می‌کنند که ممکن است منجر به تنش اکسیداتیو (شافی و همکاران، ۲۰۰۹)، آسیب غشا (کورکمز و همکاران، ۲۰۱۰)، کاهش تنفس سلولی (ساقی و همکاران، ۲۰۰۶) و تولید انواع واکنش‌پذیر فعال اکسیژن (سوزوکی و میتلر، ۲۰۰۶) گردد.

پیش تیمار بذر همچنین واکنش‌های تنش غیر زیستی مربوط به مکانیسم دفاعی خاص در برنج را به راه می‌اندازد. این روش، تجمع پروتئین‌های حفاظتی از قبیل پروتئین‌های شوک حرارتی<sup>۱</sup> (HSP ها) و پروتئین‌های غالب اواخر جنین‌زایی را افزایش می‌دهد، آنزیم‌های مهارکننده آنتی‌اکسیدان از قبیل SOD<sup>۲</sup>، GPX<sup>۳</sup> و CAT<sup>۴</sup> را افزایش، پمپ‌های جریان غشایی را فعال و پراکسی ردوکسین<sup>۵</sup> کدکننده‌ی ژن‌ها را بهبود می‌بخشد (چن ۲۰۱۱؛ لی و همکاران، ۲۰۰۵؛ واریر و همکاران، ۲۰۱۰؛ کاتوسه و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین پیش تیمار بذر، تحمل به تنش را به واسطه‌ی افزایش پتانسیل ساخت پروتئین و نگه‌داشتن نسبت بهینه این ترکیبات برای برگشت‌های انتقالی در گیاهان را بهبود می‌بخشد (کوبالا و همکاران، ۲۰۱۵b).

## ۲-۲- فیزیولوژی جوانه‌زنی بذر برنج

جوانه‌زنی بذر برنج شامل فرایندهای مختلفی است که با محوریت ظهور ریشه‌چه آغاز می‌شود. بذرهای رسیده‌ی خشک دارای محتوای آب خیلی کم (۵-۱۵ درصد) همراه با فعالیت‌های متابولیک در یک وقفه هستند. شروع متابولیسم در بذرهای رسیده‌ی خشک و رشد جنین به شرایط محیطی مناسب از قبیل دمای مطلوب، آب و اکسیژن بستگی دارد. جذب کافی آب، مهم‌ترین عامل برای شروع جوانه‌زنی و فعالیت‌های متابولیک در جنین برنج است. جذب آب در بذر در حال جوانه‌زنی، به‌طور طبیعی یک فرایند سه‌مرحله‌ای است که با

1 Heat shock proteins

2 Superoxide dismutase

3 Glutathione peroxidase

4 Catalase

5 Peroxiredoxins

جذب آب اولیه‌ی سریع (مرحله I، یعنی، جذب آب) شروع می‌شود، به‌واسطه‌ی مرحله فعال‌سازی با تغییر ناچیز در محتوای آب (مرحله II) دنبال می‌شود و با افزایش بیشتر در جذب آب (مرحله III)، طول‌شدن محور جنینی و تجدید رشد رخ می‌دهد (بولی ۱۹۹۷؛ راجو و همکاران، ۲۰۱۲؛ بولی و همکاران، ۲۰۱۳؛ لاتس و همکاران، ۲۰۱۶). قبل از پایان مرحله فعال‌سازی، جوانه‌زنی یک فرایند برگشت‌پذیر را متوقف می‌کند و بذرها می‌توانند دوباره آب جذب کنند و در طی ذخیره‌سازی زیست‌پذیر باقی بمانند و متعاقباً قادر به آغاز مجدد جوانه‌زنی تحت شرایط مناسب باشند. زمانی که آب در بذرها خشک وارد می‌شود، فرایند جوانه‌زنی که هیچ‌گونه مشکلی با دوره‌ی خواب و نفوذپذیری پوشش بذر ندارد در سه مرحله رخ می‌دهد (شکل ۱) (بولی و بلک، ۱۹۹۴؛ بولی و همکاران، ۲۰۱۳؛ اسکندری ۲۰۱۳). فرایند جوانه‌زنی بذر برنج را می‌توان به سه مرحله زیر تقسیم‌بندی کرد:

## ۲-۲-۱- جذب سریع اولیه

در زمانی که بذر خشک برنج در آب خیس می‌شود، اجسام حل‌شده در داخل سلول‌های بذر، پتانسیل طول‌شدگی را کاهش می‌دهند و منجر به جذب سریع آب (مرحله I) می‌گردند و از آنجایی که پتانسیل آب بذر در طول جوانه‌زنی افزایش می‌یابد، محتوای آب بذر نیز افزایش می‌یابد. مقاومت دیواره‌ی سلولی در برابر انبساط منجر به افزایش پتانسیل طول‌شدگی در سلول می‌شود. در طول جوانه‌زنی بذر، پروتئین‌ها با استفاده از ریبونوکلیئیک اسید پیام‌رسان موجود و جدید (mRNA) و RNA و میتوکندری‌ها ترمیم و ساخته می‌شوند (مک‌دونالد ۲۰۰۰؛ واریر و همکاران، ۲۰۱۰؛ راجو و همکاران، ۲۰۱۲؛ روزنتال و نانوگاک، ۲۰۱۴). در زمانی که پتانسیل آب سلول‌ها در یک بذر افزایش می‌یابد، جذب آب کند شده و بذر وارد مرحله تأخیر (مرحله II) می‌شود.

## ۲-۲-۲- شروع فرایندهای متابولیک در بذر (مرحله تأخیر)

مرحله II جوانه‌زنی بذر تحت عنوان مرحله تأخیر شناخته‌شده است. در این مرحله

پتانسیل آب بذر در تعادل با محیط بذر است. در طی این مرحله، بذر، مقداری کوچک یا جزئی از آب را در طی یک دوره‌ی نسبتاً طولانی جذب می‌کند، اما فعالیت‌های متابولیک مربوط به فعال‌سازی آنزیم‌ها و افزایش تنفس در این دوره قابل توجه است؛ بنابراین، بذر می‌تواند تمامی فرایندهای پیش از جوانه‌زنی خود را کامل و برای ظهور ریشه‌چه آماده شود. تغییرات عمده‌ی متابولیکی مربوط به جوانه‌زنی از قبیل سنتز میتوکندری‌ها و پروتئین‌های جدید در طی این مرحله آغاز می‌شوند. بنابراین این مرحله، مرحله فعال‌سازی نیز نامیده می‌شود (دی‌گیرولامو و باربانتی ۲۰۱۲ a و b؛ راجو و همکاران، ۲۰۱۲؛ روزنتال و نانوگاکی ۲۰۱۴). مراحل I و II، حساس‌ترین مراحل برای فرایند جوانه‌زنی هستند و به‌منظور پیش تیمار موفق بذر، ضروری می‌باشند (بولی ۱۹۹۷).

## ۲-۲-۳- ظهور ریشه ثانویه و ازسرگیری رشد بذر

در زمانی که فرایندهای جنینی پیش از جوانه‌زنی در مرحله II کامل شوند، بذر به مرحله III منتقل شده و منجر به ظهور ریشه‌چه از پوشش بذر شده و جذب آب و اکسیژن به‌سرعت افزایش می‌یابد (برادفورد ۱۹۸۶؛ ولبائوم و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین، این مرحله، رشد ریشه را افزایش می‌دهد. ظهور ریشه هم‌زمان با تقسیم مشخص و طویل شدن سلول‌ها است (برادفورد ۱۹۹۵؛ راجو و همکاران، ۲۰۱۲).

## ۲-۳- پیش تیمار بذر برنج و ذخیره‌سازی

فیزیولوژی بذرهای پرایم‌شده متفاوت از بذرهای پرایم‌نشده است. هر زمان که فرایند جوانه‌زنی متوقف می‌شود، تنفس کاهش یافته و چند اختلال دیگر مانند فعال‌سازی DNAase، تولید رادیکال‌های آزاد و تخریب پروتئین رخ می‌دهد. این‌ها منجر به کاهش زنده‌مانی بذر<sup>۱</sup> می‌شوند (راجو و دیببجوان، ۲۰۰۸؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۸). در موارد بسیاری مشاهده شده است که بذرهای پرایم‌شده، قابلیت زیستی خود را در طی ذخیره‌سازی



از دست دادند (واریر و همکاران، ۲۰۱۰؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۵). موفقیت تجاری با بذرهای پرایم‌شده به قابلیت انباشتن آن بستگی دارد. اگر قابلیت زنده‌مانی بذر در خلال کوتاه‌ترین زمان از بین برود، موفقیت تجاری با پیش‌تیمار دست‌یافتنی نیست. قابلیت زنده‌مانی بذرهای برنج در خلال ۱۵ روز پیش‌تیمار در دمای ذخیره‌سازی ۲۵ درجه‌ی سلسیوس کاهش می‌یابد (حسین و همکاران، ۲۰۱۵)، البته یافته‌هایی نیز نشان می‌دهد هیچ‌گونه آسیبی به زنده‌مانی بذر حتی در دمای اتاق ۲۵ تا ۳۰ درجه‌ی سلسیوس وجود نداشت، به‌طوری‌که ۵۰ درصد از قابلیت جوانه‌زنی در ۳/۵ - ۲/۴ ماه و ۸/۵ - ۷/۲ ماه ذخیره‌سازی به ترتیب در بذرهای غیرپرایم و هیدروپرایم‌شده از بین می‌رود (آکونو و گژمان، ۲۰۰۷). در تحقیقاتی که توسط چندین محقق انجام شد، پیش‌تیمار بذر قابلیت زنده‌مانی بذر را کاهش می‌دهد (باسو و همکاران، ۱۹۷۴؛ باسو و پال، ۱۹۸۰). ذخیره‌سازی بذرهای تیمار شده در چهار درجه‌ی سلسیوس، قابلیت زنده‌مانی بذر را حتی بعد از ۲۱۰ روز ذخیره‌سازی کاهش نداد (حسین و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین مشاهده شده است بذرهای برنج پرایم‌شده ذخیره‌شده تحت شرایط خلأ یا دمای پایین یا دمای اتاق و در دمای اتاق با رطوبت کم، قابلیت زنده‌مانی بذر را از دست ندادند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۸). پژوهش‌های مختلفی نشان دادند که اثرات متقابل بین ارقام و پیش‌تیمار بذر، بر قابلیت انباشتن بذرهای پرایم‌شده تأثیر دارد (باسو و پال، ۱۹۸۰؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۵؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۸)؛ بنابراین، زنده‌مانی بذر می‌تواند حتی در بذرهای پرایم‌شده از طریق انتخاب ارقام مناسب برنج و کاربرد روش پیش‌تیمار مناسب بذر، ادامه یابد.

## ۲-۴- تفاوت بین تقویت بذر و پیش‌تیمار بذر

اساساً هیچ‌گونه تفاوتی بین تقویت و پیش‌تیمار بذر وجود ندارد. هرگونه تیمار پیش از کاشت بذر که توان یا وضعیت بذر را بهبود می‌بخشد تحت عنوان تقویت بذر شناخته می‌شود. پیش‌تیمار بذر، بخشی از تقویت بذر است که شامل آگیری و خشک کردن بذرها

است. تقویت بذر به منظور بهبود درصد جوانه‌زنی و استقرار بذر به روش‌های متفاوتی انجام می‌شود. برای کنترل بیماری و آفت، تیمار بذر با قارچ‌کش و آفت‌کش انجام می‌شود. بعلاوه، چندین عامل زنده (مانند *Bacillus subtilis* و *Trichoderma sp.*) یا غیرزنده (مانند کلسیم پراکسید، اکسید آهن) و سایر مواد برای پوشش دادن بذر قبل از کاشت استفاده می‌شوند. پوشش دادن بذر یا مخلوط کردن بذر با ترکیبات مختلف برای بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای در مواجهه با عوامل محیطی صورت می‌گیرد، به‌عنوان مثال، پوشش دادن بذر با پراکسید کلسیم، استقرار گیاه را در شرایط فقدان اکسیژن بهبود می‌بخشد به طوری که پراکسید کلسیم، اکسیژن اضافی برای جوانه‌زنی بذر را تحت کمبود اکسیژن/کم‌اکسیژنی را تأمین می‌کند (ویجایان و همکاران، ۲۰۱۸). احتمالاً تیمار بذر برنج با *Trichoderma harzianum* تحمل به شوری را در برنج بهبود می‌بخشد (راوت و همکاران، ۲۰۱۲). اساساً، پوشش‌دار کردن بذر از فرایند جوانه‌زنی جلوگیری نمی‌کند. با این حال، زمانی که بذر جوانه می‌زنند، رشد گیاه دگرگون می‌شود. به علت محبوبیت و رواج اصطلاح «پیش تیمار»، در حال حاضر این اصطلاح کاربرد فراوانی دارد حتی در برخی موارد روش‌های (آبنوشی- خشک کردن) نیز به کار می‌رود.

## ۲-۵- مزایای پیش تیمار بذر برنج

دوره‌ی بین کاشت بذر و رویش گیاهچه، نقش تعیین‌کننده‌ای را در استقرار پایه‌ی محصولات زراعی بازی می‌کند (هوبارد و همکاران، ۲۰۱۲). پیش تیمار بذر برای بهبود نرخ جوانه‌زنی و غیریکنواختی استفاده می‌شود (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۸؛ گیرولامو و باربان‌تی ۲۰۱۲؛ جیشا و همکاران، ۲۰۱۳). پیش تیمار بذر به دنبال خشک کردن مجدد بذر، برخی از فرایندهای تحریک جوانه‌زنی را فعال می‌کند (آسگدوم و بسکر، ۲۰۰۱). بذرهای تیمار شده با پیش تیمار معمولاً به علت زمان کاهش‌یافته‌ی تأخیر جذب آب، فعال‌سازی آنزیم، متابولیسم افزایش‌یافته‌ی جوانه‌زنی، فرایندهای اصلاح بهبودیافته و سازگاری اُسمزی،

جوانه‌زنی بیشتر و یکنواخت‌تری دارند (لی و کیم، ۲۰۰۰؛ فاروق و همکاران، ۲۰۰۶؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۵). پیش‌تیمار بذر، کارایی بذر را افزایش و به‌واسطه‌ی تغییرات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، مولکولی و سلولی، جوانه‌زنی سریع‌تر و یکنواخت‌تری را ارائه می‌دهد (شکل ۲) (کرامر ۲۰۰۲؛ بسکرس و کنرات، ۲۰۰۷؛ دی‌گیرولامو و باربانتی، ۲۰۱۲a و b؛ سیری و همکاران، ۲۰۱۳؛ مانونمانی و همکاران، ۲۰۱۴).

سبز شدن بذر برنج در خزانه، تولید گیاهچه‌های سالم و قوی و استقرار گیاهچه در زمین از مراحل بحرانی در چرخه‌ی زندگی گیاه برنج تحت شرایط طبیعی و تنش هستند. روش‌های بسیار کمی برای اصلاح فرایندهای درگیر در جوانه‌زنی برای کمک کردن به رفتار بذر برنج به کار گرفته شده‌اند. پیش‌تیمار بذر، یکی از روش‌های مؤثر برای بالا بردن پتانسیل جوانه‌زنی بذر برنج در خزانه و افزایش تحمل تنش غیر زیستی گیاهچه در زمین است (بولی و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاپارللا و همکاران، ۲۰۱۵؛ ابراهیم ۲۰۱۶). اثرات ارزشمند پیش‌تیمار بذر همراه با روش‌ها و عوامل متفاوت در محصولات زراعی زیادی یافت شده‌اند (مایتی و پرامانیک، ۲۰۱۳؛ ابراهیم ۲۰۱۶؛ لاتس و همکاران، ۲۰۱۶). البته ناگفته نماند اثرات سودمند پیش‌تیمار بذر برنج مختص جوانه‌زنی بذر و مراحل اولیه رشد نیستند بلکه می‌توانند به مراحل بعدتر گسترش یابند. پیش‌تیمار بذر برنج به‌عنوان روشی برای بهبود کارایی جوانه‌زنی بذر مخصوصاً در زمانی که تحت شرایط محیطی معکوس یا بذرهای با کیفیت ضعیف بوده، پذیرفته شده است. مزایای پیش‌تیمار بذر برنج، همچنین برای رشد متعاقب گیاهچه منجر به تولید گیاهچه‌های قوی، توانایی بهتر برای رقابت با علف‌های هرز، تحمل به آلودگی عوامل بیماری‌زا و بهبود استقرار گیاهان تحت شرایط تنش غیر زیستی می‌شود. بذرهای پرایم شده برنج، جوانه‌زنی سریع‌تر و یکنواخت‌تر، گیاهچه‌های نیرومندتر و تحمل فراوان به شرایط تنش‌زا دارند (کرامر ۲۰۰۲؛ اوزبی و سوسل‌اوغلو، ۲۰۱۶). پیش‌تیمار بذر برنج، تکثیر تارهای ریشه تقویت نموده و منجر به جذب مؤثرتر مواد غذایی و آب می‌شود.

مزایای پیش تیمار بذر شامل ترمیم پروتئین‌ها و ژن‌های درگیر در تقسیم سلولی، ترمیم دیواره‌ی سلولی، رونویسی، تحرک مواد ذخیره‌ای، ترجمه، واکنش به تنش اکسیداتیو و انتقال آب است که به واسطه‌ی آن ترمیم DNA و غشا منجر به جذب بهتر آب مواد غذایی می‌شود (دل آکوئلا و تریتو، ۱۹۹۱؛ گیری و اسپیلینگر، ۲۰۰۳؛ راجو و همکاران، ۲۰۱۲؛ بولی و همکاران، ۲۰۱۳؛ کوبالا و همکاران، ۲۰۱۵). (b)

بذرهای جوانه‌زده حاصل از پیش تیمار بذر، نسبت فراوان پروتئین‌های درگیر در تحمل تنش اکسیداتیو، ظرفیت فرایند پروتئولیز هدف و پساترجمه‌ای، توسعه‌ی جنین نابالغ، تغییر بافت‌های پوشش‌دهنده‌ی جنین و افزایش متابولیسم کلی پیش از جوانه‌زنی را دارا هستند (دل آکوئلا و تریتو، ۱۹۹۱؛ گیری و اسپیلینگر، ۲۰۰۳؛ راجو و همکاران، ۲۰۱۲؛ بولی و همکاران، ۲۰۱۳؛ کوبالا و همکاران، ۲۰۱۵). (b)

پیش تیمار بذر، ژن‌های کدکننده‌ی پروتئین‌هایی که در تجزیه آندوسپرم درگیر هستند را اصلاح می‌کند، از جمله این ژن‌ها می‌توان به زایلوگلوکان اندوترنس گلوکوزیلات اندوماناناز<sup>۱</sup> و اکسپانسن<sup>۲</sup> اشاره کرد (ناکون و همکاران، ۲۰۱۲). فعالیت بهبودیافته و بیان این پروتئین‌ها ممکن است تحمل فیزیکی به ظهور ریشه‌چه را از طریق انقباض آندوسپرم، انحلال دیواره‌ی سلولی و به هم فشردگی سیتوپلاسم را کاهش دهد (سونگ و همکاران، ۲۰۰۸). پروتئین‌های ذخیره‌ای معین از قبیل کراسفرین<sup>۳</sup> و گلوبولین‌ها<sup>۴</sup> فقط در طول پیش تیمار بذر و نه در طی جوانه‌زنی بذر شناسایی می‌شوند. به‌طور مشابه، پروتئین‌های مربوط به تنش مانند HSP ها به‌طور اختصاصی در طول پیش تیمار با ترکیبات اُسمزی و نه در طول جذب آب ساخته می‌شوند. این پروتئین‌ها، سلول را از تنش رطوبتی در طول پیش تیمار اُسمزی حفاظت و به‌عنوان نگهبان‌های مولکولی عمل کرده و به‌طور طبیعی از پروتئین‌های آسیب‌دیده محافظت می‌کنند (افضل و همکاران، ۲۰۰۲؛ واریر و همکاران، ۲۰۱۰).

1 Xyloglucan endotransglucosylase endo-mannanase

2 Expansin

3 Cruciferin

4 Globulins

ROS در غلظت‌های پایین، به‌عنوان مولکول‌های سیگنالینگ عمل می‌کند. شرایط تنش غیر زیستی منجر به تولید و تجمع فراوان ROS شده، که به آسیب اکسیداتیو هدایت می‌شود. این‌ها دارای اثرات زیان‌باری بر روی مولکول‌ها در سطوح بالا هستند. همچنین منجر به اکسیداسیون DNA و در نتیجه باعث شکست DNA و عدم موفقیت در جوانه‌زنی می‌شوند. پیش‌تیمار بذر، تولید ROS را در سطوح پایین تحریک می‌کند که منعکس‌کننده‌ی فعال‌سازی قوی تقسیم سلولی است (برای و وست، ۲۰۰۵؛ جی‌شا و پاتور، ۲۰۱۴؛ ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶).

بذرهای پرایم‌شده، فعالیت مهم‌ترین آنزیم‌هایی را که در متابولیسم سلولی درگیر هستند افزایش می‌دهند. این آنزیم‌ها شامل اسیدفسفاتاز<sup>۱</sup>، استراز<sup>۲</sup>، آنزیم‌های گلای‌اکسیزوم<sup>۳</sup> و آنزیم‌هایی که در تحرک بخشیدن به ذخایر اندوخته از قبیل آلفا و بتا‌آمیلاز<sup>۴</sup> و ایزوسیترات‌لیاز<sup>۵</sup> هستند می‌باشند (لی و کیم، ۲۰۰۰؛ لین و سونگ، ۲۰۰۱؛ واریر و همکاران، ۲۰۱۰؛ دی‌گیرولامو و باربانتی، ۲۰۱۲ a و b). با این وجود، پیش‌تیمار بذر، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد (افضل و همکاران، ۲۰۰۲؛ صادقی و همکاران، ۲۰۱۴؛ شارما و همکاران، ۲۰۱۴) و تجمع آنتی‌اکسیدانی‌های غیر آنزیمی (ASA<sup>۶</sup>، GSH<sup>۷</sup>، پرولین و قندهای محلول) را بالاتر می‌برد (گنگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ شارما و دویی، ۲۰۰۷؛ گونگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ فرهودی و همکاران، ۲۰۱۱)؛ زو و همکاران، ۲۰۱۱؛ نواز و همکاران، ۲۰۱۲؛ ابراهیم، ۲۰۱۶). این افزایش‌ها می‌توانند از طریق کاهش دادن تولید ROS (O<sup>۲</sup>-) و H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و افزایش دادن آنزیم‌های مهارکننده ROS در طول جوانه‌زنی بذر منجر به بهینه‌سازی مکانیسم‌های دفاعی شوند (نوکتور و فویر، ۱۹۹۸؛ ورنووا و همکاران، ۲۰۰۲؛

---

1 Acid phosphatase

2 Esterase

3 Glyoxysome

4  $\alpha$  and  $\beta$ amylases

5 Isocitrate lyase

6 Ascorbic acid

7 Reduced glutathione

مکدونالد ۲۰۰۰؛ زو و همکاران، ۲۰۰۳؛ کابینزا و همکاران، ۲۰۱۱؛ انصاری و شریفزاده، ۲۰۱۲؛ صدقی و همکاران، ۲۰۱۴؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵).

توانایی ترمیم DNA در طول خشک کردن پس از اعمال پیش تیمار بذرها؛ موجب بهبود جوانه زنی است. فرایندهای متابولیک پیش از جوانه زنی که برای جلوگیری از آسیب DNA ضروری هستند شامل آنزیم‌های مهارکننده ROS و مکانیسم‌های ترمیم DNA از قبیل نوکلئوتید نو ترکیبی همولوگ، پیوستگی پایانی غیرهمولوگ و ترمیم شکاف پایه می‌باشند (هانگ و همکاران، ۲۰۰۸).

واکنش‌های مولکولی به پیش تیمار بذر شامل مکانیسم ترمیم DNA، بیان ژن برای سنتز RNAs جدید و پروتئین‌ها است (واریر و همکاران، ۲۰۱۰). مکانیسم‌های ترمیم DNA بایستی برای افزایش تغییرات جوانه زنی موفق در سطوح مناسب در جنین حفظ شوند (هانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶). ترمیم DNA فعال شده در طی جذب آب، پیشرفت چرخه سلولی را از سر گرفته و سپس عملکرد جوانه زنی را افزایش می‌دهد، اما ترمیم ضعیف DNA منجر به مرگ افزایش یافته سلولی می‌شود (واترورس و همکاران، ۲۰۱۰؛ کرانر و همکاران، ۲۰۱۰؛ بالسترازی و همکاران، ۲۰۱۱). ترمیم DNA، ارزشمندترین فرایند حیاتی تحریک شده توسط پیش تیمار بذر است و تعیین کننده مزیت‌های پتانسیل پیش تیمار است (راجو و همکاران، ۲۰۱۲؛ ونتورا و همکاران، ۲۰۱۲؛ ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶). افزایش جوانه زنی با پیش تیمار بذر ممکن است همراه با بیان ژن‌های خاص اصلاح شده از قبیل ژن‌های مرتبط با جوانه زنی، آنتی اکسیدانت و ژن‌های به راه اندازنده رشد گیاه باشد (صادقی و همکاران، ۲۰۱۱؛ شارما و همکاران، ۲۰۱۵؛ ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶).

پیش تیمار بذر، بیان ۹۵۲ ژن و ۷۵ پروتئین مورد نیاز برای به راه انداختن متابولیسم پیش از جوانه زنی شامل فعالیت رونویسی، رونوشت DNA و مکانیسم‌های اصلاح را تحریک می‌کند. با این وجود، این روش، بیان پروتئین‌های به رمزدرآوردهی ژن درگیر در تنظیم و

نگهداری چرخه‌ی سلول (کوبالا و همکاران، ۲۰۱۵a)، ژن‌های درگیر به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در ترمیم DNA (شارما و ماهشواری، ۲۰۱۵)، APX، CAT و ژن‌های SOD (کوبالا و همکاران، ۲۰۱۳) را تحریک می‌کند.

## ۲-۶- سازوکار پیش‌تیمار بذر برنج

پیش‌تیمار بذر برنج، روشی قبل از کاشت است که تا اندازه‌ای بذر را در یک محیط خاص برای یک دوره‌ی معین هیدراته و سپس خشک می‌کند. این روش، فرایندهای متابولیکی قبل از جوانه‌زنی را تا نقطه‌ی آغاز فرایند جوانه‌زنی در عین جلوگیری از ظهور ریشه‌چه را دنبال می‌کند (برادفورد ۱۹۸۶؛ دل آکوئیلا و تریتو، ۱۹۹۱؛ پیل ۱۹۹۵؛ باسرا و همکاران، ۲۰۰۳؛ گیری و اسپیلینگر، ۲۰۰۳؛ چن و آروا، ۲۰۱۳؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵؛ ابراهیم، ۲۰۱۶). پیش‌تیمار بذر برنج، برخی فرایندهای پیش از جوانه‌زنی را تا زمانی که جوانه‌زنی حقیقی رخ ندهند مجاز می‌کند. خیساندن بذر در آب، نوعی از تغییرات متابولیک لازم برای جوانه‌زنی شامل: جذب آب، شکستن خواب بذر و فعال‌سازی آنزیم‌ها هستند (آجوری و همکاران، ۲۰۰۴). در بذرهای پرایم شده برنج، رطوبت کمتری نسبت به آنچه برای جوانه‌زنی مورد نیاز است، احتیاج دارد. بذرهایی که تحت پیش‌تیمار بوده‌اند، مرحله I (جذب آب) و II (مرحله تأخیر) را بدون وارد شدن در مرحله رشد اولیه (مرحله III) کامل می‌کنند (برادفورد ۱۹۸۶؛ باسرا و همکاران، ۲۰۰۳). بااینکه جوانه‌زنی بذر برنج کامل نمی‌شود اما ذخایر بذر به شکلی تبدیل می‌شوند که جنین بتواند در طی جوانه‌زنی تغذیه نماید، این تغییرات به بذرهای تیمار شده اجازه می‌دهند تا به سومین مرحله‌ی جوانه‌زنی وارد شوند. این مرحله شامل ظهور ریشه به محض دریافت شرایط محیطی مطلوب است (ابراهیم، ۲۰۱۶).

خشک کردن بذر (خشک شدن متعاقب) بعد از پیش‌تیمار، برای ذخیره‌سازی بذر برنج ضروری است. بعد از دوره‌ی خیساندن، بذرهای برنج با آب شسته و مجدداً تا سطوح سازگار

با ذخیره‌سازی، خشک می‌شوند. این فرایندها باعث حفظ اثرات مثبت پیش تیمار بذر بدون از دست دادن کیفیت (که به واسطه‌ی زوال بذر ایجاد می‌شود) می‌گردد (پاررا و کانتلیف ۱۹۹۲؛ هالمر ۲۰۰۴؛ واریر و همکاران، ۲۰۱۰؛ راتیکانتا ۲۰۱۱؛ دی گیرولامو و باربانتی b و a ۲۰۱۲). خشک کردن بذر برنج بعد از آغاز ظهور ریشه سبب آسیب به قوه نامیه و زنده‌مانی بذر می‌شود. در زمانی که بذر پرایم شده در مرحله III است، این بذر می‌تواند بدون آسیب، برگشت به رطوبت اولیه را تحمل کند (شکل ۱) (تایلور و همکاران، ۱۹۹۸؛ دی گیرولامو و باربانتی b و a ۲۰۱۲؛ راجو و همکاران، ۲۰۱۲؛ ابراهیم ۲۰۱۶).

بذرهای پرایم شده برنج می‌توانند تا زمان بذریابی در خزانه ذخیره شوند. تحمل خشک کردن بذر و طول عمر بذر، دو صفت ضروری برای بذور پرایم شده هستند (آلیس و هونگ، ۱۹۹۴؛ های و پروبرت، ۱۹۹۵؛ گوروسینگ و برادفورد، ۲۰۰۱). طول عمر بذر برنج به شرایط خشک کردن و ذخیره‌سازی بستگی دارد. خشک کردن سریع به احتمال زیاد محتوای هیدرات کربن محلول را تغییر می‌دهد. این حالت، تحمل خشک کردن و طول عمر بذر را نیز کاهش می‌دهد. برعکس، خشک کردن کند احتمالاً طول عمر بذر را افزایش می‌دهد (بروگینک و همکاران، ۱۹۹۹؛ گورونینگ و برادفورد، ۲۰۰۱). بذر پرایم شده برنج می‌تواند برای مدتی بدون آسیب، ذخیره شود. البته باید توجه داشت بذر پرایم شده غالباً ظرفیت حیات کوتاه‌تری نسبت به بذر غیرپرایم دارد و باید تحت شرایط بهینه قبل از کاشت ذخیره شود.

پیش تیمار بذر با ایجاد شرایط ویژه در فعالیت‌های متابولیک جوانه‌زنی مانند شکستن خواب بذر، فعال‌سازی آنزیم، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانت، ساخت نوکلئیک اسید (DNA و RNA) و پروتئین، فرایندهای ترمیم، رونویسی و ترجمه DNA، متابولیسم جوانه‌زنی، افزایش مقدار ATP و تعداد میتوکندری‌ها، ترمیم بخش‌های تخریب‌شده‌ی بذر و کاهش پراکندگی متابولیت‌ها سبب تسریع در جوانه‌زنی می‌شود. در کل، پیش تیمار بذر، یک سری از تغییرات بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و متابولیکی را فعال می‌کند که مربوط به بهبود عملکرد جوانه‌زنی



و رشد قوی و همچنین افزایش تحمل تنش غیر زیستی هستند (برای و همکاران، ۱۹۸۹؛ اسمیت و کمب، ۱۹۹۱؛ بولی و بلک، ۱۹۹۴؛ مک‌دونالد ۲۰۰۰؛ افضل و همکاران، ۲۰۰۲؛ نتوندو و همکاران، ۲۰۰۴؛ مانونمانی و همکاران، ۲۰۱۴؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵؛ ابراهیم ۲۰۱۶؛ ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶).

## ۲-۷- عوامل تأثیرگذار بر پیش‌تیمار بذر برنج

اثر بخشی پیش‌تیمار بذر برنج اساساً تحت تأثیر متغیرهای محیطی گوناگون از قبیل پتانسیل اُسمزی، محلول پیش‌تیمار، دوره‌ی پیش‌تیمار و دما محدود، روش پیش‌تیمار به کار رفته، نوع رقم و شاخص بنیه بذر و شرایط ذخیره‌سازی بذرهای پرایم شده برنج قرار می‌گیرد. بنابراین، چنانچه روش پیش‌تیمار بهینه‌سازی شود، بهترین نتایج از پیش‌تیمار بذر به دست می‌آیند (پرا و کانتلیف، ۱۹۹۴؛ کوربینو و کام، ۲۰۰۶؛ فاروق و همکاران، ۲۰۱۲؛ مایتی و پرامانیک، ۲۰۱۳). این فاکتورها اغلب در آزمایش‌های خاص بررسی می‌شوند. فاکتورهای مورد نظر به شرح زیر هستند:

### ۲-۷-۱- نوع پیش‌تیمار

هر یک از روش‌های پیش‌تیمار، مزایا و معایب خود را دارند و به احتمال زیاد اثرات متفاوتی دارند (تزورتزاکیس ۲۰۰۹). پیش‌تیمار با آب و ماتریکس جامد با کلسیم آلومینیوم سیلیکات به طور قابل توجهی جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه‌ی برنج را در مقایسه با روش‌های هالو پیش‌تیمار و ماتریکس جامد<sup>۱</sup> افزایش می‌دهد. در هالو پیش‌تیمار نمک‌های مختلفی همچون کلرید سدیم، کلرید کلسیم، کلرید پتاسیم، سولفات پتاسیم، آمونیوم و در بسیاری از ترکیبات دیگر کاربرد دارد. هالوپیش‌تیمار؛ بذرهای گیاهان زراعی، کارایی بهتری را نسبت به بذرهای بدون پیش‌تیمار و پیش‌تیمار با آب تحت شرایط تنش شوری پایین (۳ دسی‌زیمنس بر متر) و متوسط (۵ دسی‌زیمنس بر متر) نشان می‌دهد (امجد و همکاران،

1 Solid matrix priming

۲۰۰۷). در پتانسیل اُسمزی یکسان کلرید سدیم و پلی اتیلن گلایکول، تنش شوری نمک، اثر کمتری را بر روی جوانه‌زنی بذر برنج و رشد گیاهچه نسبت به تنش آبی موجود شبیه‌سازی شده توسط پلی اتیلن گلایکول داشت. همچنین، درصد جوانه‌زنی بذرهای برنج و سایر غلات پرایم شده با محلول نمک مانند مونوپتاسیم فسفات، کمتر از آن‌هایی بود که با پلی اتیلن گلایکول (وزن مولکولی ۶۰۰۰) پرایم شده بودند. اثرات مثبت پیش تیمار با نیترات پتاسیم در بذر برنج بیشتر از پیش تیمار با کلرید سدیم بود که نتایج مشابهی بر روی سایر گیاهان مانند هندوانه (دمیر و وان د ووتر، ۱۹۹۹؛ دمیر و اوزتوکات، ۲۰۰۳)، خیار (قاسمی - گلعدانی و اسماعیل پور، ۲۰۰۸)، خربزه (برادفورد و همکاران، ۱۹۸۸) گزارش شده است. اساساً مطالعات مربوط به پیش تیمارهای مختلف به عواملی همچون نوع گیاه، غلظت، مدت زمان و دمای پیش تیمار بستگی دارد، اما اینکه سودمندی پیش تیمار به کدام عامل پیش تیمار وابسته است به روشنی مشخص نیست. همچنین مطالعات نشان‌دهنده برتری پیش تیمار بذر برنج با نیترات پتاسیم نسبت به کلرید سدیم، مربوط به تجمع بیشتر نیتروژن و پتاسیم در بذرهای پرایم شده با نیترات پتاسیم است. بذرهای پرایم شده با اسید جیبرلیک، عملکرد بهتری را در مقایسه با تیمار ایندول-۳-استیک اسید (IAA) نشان دادند. پیش تیمار ماتریکس جامد بذر برنج اثر بیشتری را بر روی جوانه‌زنی بذر نسبت به پیش تیمار اُسمزی داشت، مخصوصاً در زمانی که پلی اتیلن گلایکول به صورت اُسمزی استفاده شد (خان، ۱۹۹۲). پیش تیمار بذر برنج با محلول‌های نمک، سرعت جوانه‌زنی را افزایش داد و درصد جوانه‌زنی را نسبت به پیش تیمار با پلی اتیلن گلایکول یا مانیتول کاهش داد. پیش تیمار بذرهای برنج با ۵-اسید آمینولولینیک، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ی بیشتری را نسبت به بذرهایی داشت که به واسطه‌ی پیش تیمار با آب به دست آمدند (کانتو و همکاران، ۲۰۱۵).

## ۲-۷-۲-دما

تکنولوژی پیش‌تیمار بذر و جوانه‌زنی آن وابسته نیاز به دما و سایر فاکتورهای محیطی دارد. هر محصول زراعی دارای دما بهینه‌ی متفاوتی برای جوانه‌زنی است. بر این مبنای دما بهینه برای پیش‌تیمار و جوانه‌زنی بذرهای برنج دمای ۲۵-۲۸ درجه‌ی سلسیوس است. با این وجود، پیش‌تیمار بذرهای برنج در دمای ۲۰ درجه‌ی سلسیوس، نتایج بهتری را ارائه داد. این ممکن است به علت این واقعیت باشد که هر گیاه، دماهای بهینه‌ی متفاوتی را برای پیش‌تیمار بذر دارد. دمای بالا و زیر حد بهینه به علت مرحله تأخیر طولانی‌تر، جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد (برادفورد ۱۹۹۵؛ کوپلند و مک‌دونالد، ۲۰۰۱). دماهای پایین در شرایط اشباع بذر می‌تواند فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی جوانه‌زنی را به تأخیر اندازد و با اینکه بذرهای مقدار زیادی از آب را جذب می‌کنند زمان طولانی‌تری را برای دستیابی به نتایج یکسان نیاز دارند (برادفورد ۱۹۸۶؛ لی و همکاران، ۱۹۹۸؛ مک‌دونالد ۲۰۰۰). پیش‌تیمار طولانی بذر، اجازه‌ی خروج ریشه‌چه را می‌دهد و به علت رطوبت کمتر، آسیب پایداری را در طول خشک کردن ایجاد می‌کند (دی‌گیرولامو و باربانتی، ۲۰۱۲ و b). همچنین طی آزمایش دیگر نشان داده شد که پیش‌تیمار بذرهای برنج با پلی‌اتیلن گلایکول در پتانسیل ۰/۶ مگاپاسکال تأثیری در جوانه‌زنی بذر نداشت (پرا و کانتلیف، ۱۹۹۴). به نظر می‌رسد اظهار نظر درباره تأثیر پیش‌تیمار در دماهای بالا، پایین و بهینه بر روی جوانه‌زنی و خصوصیات گیاهچه‌ای برنج مستلزم انجام آزمایش‌ها و شناخت ترکیبات مختلف در پتانسیل‌ها و مدت زمان‌های متفاوت باشد. دماهای پایین‌تر (برای مثال ۱۵ درجه سلسیوس) در طی پیش‌تیمار می‌تواند موجب بهبود کارایی بذر شوند. این امر ممکن است به علت به تأخیر افتادن فرایندهای فیزیولوژیکی جوانه‌زنی حتی زمانی که بذرهای مقادیر زیادی آب جذب می‌کنند، باشد. همچنین دماهای پایین احتمال آلودگی میکروبی را در طی پیش‌تیمار کاهش می‌دهند.

## ۲-۷-۳- دسترسی اکسیژن

به طور کلی بذر برنج هنگام جوانه زنی در مقایسه با سایر غلات نیاز کمی به اکسیژن دارد، زیرا قادر است محیط اطراف ریشه خود را اکسید کند است و بدون حضور اکسیژن جوانه بزند. همچنین در شرایط کمبود اکسیژن ابتدا از جنین، ساقه‌چه و سپس ریشه‌چه ظاهر می‌گردد. در صورتی که در جوانه زنی در حضور اکسیژن انجام پذیرد ابتدا ریشه‌چه و سپس ساقه‌چه ظاهر می‌شود. بذر اغلب گیاهان زراعی می‌توانند در شرایطی جوانه بزند که حاوی حدود ۲۰ درصد اکسیژن است، اما در پیش تیمار بذر برنج، این بذرها می‌توانند در سطوح بسیار پایین‌تر اکسیژن، جوانه بزندند (کوپلند و مک‌دونالد، ۲۰۰۱). پیش تیمار بذر برنج، حساسیت بذر به سطوح پایین‌تر اکسیژن را نیز کاهش می‌دهد، به طوری که بذرها در سطوح تحت شرایط پیش تیمار می‌توانند با نیمی از اکسیژن مورد نیاز در شرایط طبیعی، جوانه زنی داشته باشند.

هوادهی محلولی که بذر برنج در آن خیسانده شده است، جذب آب توسط بذر را بهبود بخشیده و زمان مورد نیاز برای پیش تیمار بذر را کاهش می‌دهد (یانگ و همکاران، ۱۹۹۵؛ اوزبینگول و همکاران، ۱۹۹۸؛ ناسیمنتو ۲۰۰۳). این تیمار، جوانه زنی سریع‌تر بذر را فعال کرده و رشد گیاهچه را در برنج سرعت می‌بخشد (نلسون و گاورس، ۱۹۸۶؛ برادفورد و همکاران، ۱۹۸۸؛ اوزبینگول و همکاران، ۱۹۹۸؛ ناسیمنتو ۲۰۰۳؛ دمیر و اوکسو، ۲۰۰۴). از سوی دیگر، خیساندن بذر برنج در محلول هوادیده برای زمانی طولانی، به علت متابولیسم افزایش یافته و نفوذ نمک در بذرها اثرات زیان‌آوری را بر روی جوانه زنی بذر دارد (ولبائوم و برادفورد، ۱۹۸۹؛ ناسیمنتو، ۲۰۰۳). به علت حلالیت کم اکسیژن (۵۰ درصد) و سیالیت غشا (۱۰ درصد)، در دسترس بودن نسبی اکسیژن برای بذرها در حدود ۵۰ درصد کاهش می‌یابد؛ بنابراین، برای حمایت از تنفس بذر، مخصوصاً در محلول پلی‌اتیلن گلیکول، سیستم تهیه مورد نیاز است (بوجالسکی و همکاران، ۱۹۸۹؛ بوجالسکی و نیه‌نو، ۱۹۹۱). بذرها در پرایم شده برنج در محلول پلی‌اتیلن گلیکول تحت هوادهی نسبت به بذرها پرایم شده در

محلول بدون هواده‌ی، درصد بالاتری از جوانه‌زنی را نشان دادند (هیدسکر و کولبر، ۱۹۷۷؛ بوجالسکی و همکاران، ۱۹۸۹؛ پرریا و همکاران، ۲۰۰۹).

## ۲-۷-۴- پتانسیل اُسمزی و غلظت محلول

پتانسیل اُسمزی در آب مقطر، صفر و در محلول‌های پیش‌تیمار بیشتر از ۲ مگاپاسکال است، اما به دلیل تجمع زیاد املاح در سیتوپلاسم می‌تواند به حد خیلی کم تا حدود ۳۵۰- تا ۵۰- مگاپاسکال نیز در بذر خشک برسد. زمانی که بذر در محلول پیش‌تیمار خیسانده می‌شود، آب محلول از جایی که پتانسیل آب بالاتری دارد به جایی از بذر که پتانسیل آب کمتری دارد حرکت خواهد کرد تا زمانی که به تعادل برسد. اشباع بذر در طی خیساندن مستقیماً مربوط به اندازه‌ی بذر، نفوذپذیری پوشش بذر و میزان سوبسترای قابل هیدراته شدن است (برادفورد ۱۹۹۵؛ بولی و همکاران، ۲۰۱۳). غلظت و پتانسیل آب محلول پیش‌تیمار، عوامل‌های مهم اختصاصی هستند که اثربخشی پیش‌تیمار بذر را تعیین می‌کنند. غلظت بالای یون‌ها در محلول پیش‌تیمار، اثرات زیان‌آوری بر روی جوانه‌زنی بذر دارند. این یون‌ها می‌توانند به آسانی جذب و در بذر تجمع کنند که به علت عدم تعادل مواد مغذی و اثرات سمیت منجر به بازداری از جوانه‌زنی می‌شوند (برادفورد، ۱۹۹۵؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵). وقتی که غلظت، زیر حداقل آستانه است، پیش‌تیمار در آغاز فرایندهای مورد انتظار فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی جوانه‌زنی، شکست می‌خورد. از سوی دیگر، اگر غلظت محلول پیش‌تیمار خیلی بالا و طول دوره‌ی فرایند خیلی طولانی باشد، جوانه‌زنی بذر کند یا در نتیجه‌ی سمیت کاملاً مختل می‌شود (صادقی و همکاران، ۲۰۰۹).

بسیاری از محققان بهبود جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاهچه را به دلیل وجود طیف وسیع پتانسیل‌های آب، نسبت دادند. گزارش‌شده است پیش‌تیمار با نیترات پتاسیم در پتانسیل آب ۱/۱- مگاپاسکال، سبب افزایش جوانه‌زنی و ظهور سریع گیاهچه در بذره‌ای ریز می‌شود (باسرا و همکاران، ۲۰۰۳). در همین راستا لی و همکاران (۱۹۹۸) نیز دریافتند که

پیش تیمار بذور برنج با پلی اتیلن گلايکول در پتانسیل ۰/۶ - مگاپاسکال؛ سبب افزایش درصد و سرعت جوانه زنی نسبت به تیمار پرایم نشده شد. همچنین غلظت محلول پیش تیمار بر کارایی بذر تحت تنش خشکی و شوری اثر می گذارد. پیش تیمار با محلول های نمک در غلظت بالا نیاز به دوره ی تیمار طولانی مدت دارد و درصد جوانه زنی را کاهش می دهد. با این حال استفاده از غلظت پایین محلول های نمک نیاز به دوره ی تیمار کوتاه مدت دارد، زیرا کارایی بذره ای پرایم شده را افزایش می دهد، بنابراین علاوه بر افزایش سرعت جوانه زنی، قدرت رویش گیاهچه و تحمل تنش شوری را نیز بهبود می دهد (کایمک و همکاران، ۲۰۰۸؛ خان و همکاران، ۲۰۰۹؛ ناکائون و همکاران، ۲۰۱۰؛ ساراینا و همکاران، ۲۰۱۷).

مطالعات گوناگون نشان داده اند، که افزایش غلظت عامل شیمیایی (کلرید سدیم، کلرید کلسیم، نیترات پتاسیم و سایر ریزمغذی ها) در محلول های پیش تیمار، ممکن است شاخص های جوانه زنی و رشد گیاهچه را در بسیاری از محصولات زراعی از جمله بذر برنج کاهش دهند. این کاهش ها ممکن است به علت فشارهای آسمزی بیشتر و سمیت یون های آن ها باشد (بونیا و همکاران، ۲۰۰۴؛ ناسیمنتو و همکاران، ۲۰۰۴؛ اسماعیل پور و همکاران، ۲۰۰۶؛ دنیز و همکاران، ۲۰۰۹؛ نعمت اللهی و همکاران، ۲۰۰۹؛ کاوه و همکاران، ۲۰۱۱؛ ممون و همکاران، ۲۰۱۳؛ ابراهیمی و همکاران، ۲۰۱۴؛ سینگ و همکاران، ۲۰۱۴).

## ۲-۷-۵- مدت تیمار

مدت زمان تیمار بذر برای پیش تیمار برای برخی از گیاهان بسیار مهم است (برادفورد ۱۹۸۶؛ بوسیان و هولوبوویز، ۲۰۰۸). جذب آب کنترل شده که اساس تکنولوژی پیش تیمار بذر را تشکیل می دهد، به واسطه ی طول دوره ی خیساندن تحت تأثیر قرار می گیرد. طول مدت پیش تیمار به همراه غلظت بهینه ی هرگونه محیط کشت استفاده شده ی پیش تیمار، فاکتور بسیار مهمی است که موفقیت جوانه زنی و استقرار گیاهچه را تعیین می کند. به این

دلیل که جذب آب توسط بذرها در طول فرایند پیش‌تیمار به سطح اشباع بذرها هدایت می‌شود (قاسمی-گلعدانی و اسماعیل‌پور، ۲۰۰۸). پیش‌تیمار بذر برنج، قبل از ظهور ریشه می‌تواند سودمند باشد. با این وجود، افزایش مدت زمان پیش‌تیمار، احتمالاً به علت مرگ گیاهچه در هنگام خشک‌کردن دارای اثرات منفی بر روی جوانه‌زنی بذر است (آجوری و همکاران، ۲۰۰۴). طول دوره‌ی ایده‌آل پیش‌تیمار بذر بر اساس نوع عامل پیش‌تیمار، پتانسیل اُسمزی محلول، نوع بذر و دمای پیش‌تیمار متفاوت است.

عموماً، موفقیت پیش‌تیمار بذر به واسطه‌ی طول دوره‌ی پیش‌تیمار و نوع گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. پیش‌تیمار با آب به مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت می‌تواند به‌طور موفقیت‌آمیزی برای بالا بردن قدرت رویش بذر و گیاهچه‌ی برنج به کار رفته باشد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷). پیش‌تیمار فیتوهورمون (اسید جیبرلیک و اکسین) بذر لوبیا به مدت ۶ ساعت نسبت به ۱۲ ساعت در جوانه‌زنی بذر مؤثرتر بود (سعیدپور، ۲۰۱۳). در آزمایشی ثابت‌شده است که سیب‌زمینی می‌تواند به‌واسطه‌ی پیش‌تیمار بذر در پلی‌اتیلن گلیکول به مدت دو روز (نسبت به هفت روز) سبب افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی شود (گوویندن-سولانج و لاوانتارد، ۲۰۰۸).

## ۲-۷-۶- کیفیت بذر

کیفیت بذر، یکی از فاکتورهای کلیدی و مؤثر طی فرایند پیش‌تیمار بذر است. به‌کارگیری بذور با قوه‌نامیه بالا و عاری از عوامل بیماری‌زاد بر روی بذر شرط اولیه برای اعمال یک پیش‌تیمار خوب است که در نتیجه آن افزایش درصد و سرعت سبز شدن را به همراه خواهد داشت. استفاده از بذور مناسب برای پیش‌تیمار بذر بسیار ضروری است. ممکن است بذر گیاهان یا حتی ارقام دارای قوه‌نامیه متفاوتی باشند، بنابراین ممکن است عکس‌العمل‌های متفاوتی نسبت به یک پیش‌تیمار مشترک داشته باشند. در همین رابطه برای داشتن بالاترین قدرت نامیه بذر، به‌کارگیری بذور تازه برداشت از گیاهان که دارای

رسیدگی فیزیولوژیکی هستند، مناسب‌تر است. نتایج برخی آزمایشات نشان داده، استفاده از بذرهای برداشت شده در زمان مناسب همراه با غلظت مطلوب برای پیش تیمار، می‌تواند عملکرد جوانه‌زنی بذر را مخصوصاً تحت شرایط تنش خشکی و شوری افزایش دهد (کازمی و اسکندری، ۲۰۱۲). به‌عنوان مثال بذرهای هندوانه در زمان برداشت و در ۶۰ روز بعد از برداشت نسبت به ۱۰۰ روز، به پیش تیمار با نیترات پتاسیم واکنش بیشتری نشان دادند. بذر این گیاه ۶۰ و ۹۰ روز بعد از برداشت، حداکثر مزیت‌های حاصل از پیش تیمار، از قبیل: درصد و سرعت سبز شدن و وزن گیاهچه را در مقایسه با ۴۰ روز بعد از برداشت داشتند (دمیر و ماوی، ۲۰۰۴).

## ۲-۷-۷- نور

از آنجا که گیاهان برای جوانه‌زنی نیاز به نور دارند، ممکن است نور در برخی پیش تیمار ضروری باشد. در طی پیش تیمار بذرهایی که برای جوانه‌زنی نیاز به نور دارند، باید روشنایی فراهم شود تا خواب آن‌ها به حداقل ممکن کاهش یابد.

## ۲-۷-۸- خشک کردن بعد از پیش تیمار

خشک کردن<sup>۱</sup> بعد از پیش تیمار بذر برنج به‌واسطه‌ی حذف مقدار زیادی رطوبت از بذر، کلیدی برای ذخیره‌سازی موفق طولانی‌مدت بذر را دارد، بنابراین بذرها باید تا سطح رطوبت اصلی آن‌ها خشک شوند. خشک کردن سریع بعد از پیش تیمار بذر، منجر به از دست دادن پیشرفت به‌دست‌آمده به‌واسطه‌ی پیش تیمار می‌شود. این روش احتمالاً محتوای هیدرات کربن محلول را تغییر می‌دهد که به‌نوبه‌ی خود تحمل خشکی و طول عمر ذخیره‌سازی را کاهش می‌دهد (گوروسینگ و برادفورد، ۲۰۰۱). برعکس، خشک کردن آهسته بذر برنج بعد از پیش تیمار ممکن است تجمع پروتئین‌های فراوان اواخر دوره‌ی جنین‌زایی را افزایش دهد که یک مکانیسم سودمند برای بهبود طول عمر بذر می‌باشد. با این وجود، خشک کردن

---

1 Dehydration



مجدد سریع در دماهای بالا ممکن است ساخت پروتئین‌های شوک حرارتی را تحریک کند که در طول عمر بذر ارزشمند هستند (گوروسینگ و همکاران، ۲۰۰۲). خشک‌کردن بذرهای برنج به آرامی بعد از پیش‌تیمار منجر به از دست دادن منظم آب شده که به واسطه‌ی زمان عرضه برای مکانیسم‌های حفاظتی در حال فعالیت، تحمل به خسارت ناشی از خشک کردن را افزایش می‌دهد. با این وجود، خشک‌کردن آهسته پس‌رونده، بیان ژن درگیر در دفاع برعلیه تنش‌های غیر زیستی و حفاظت DNA در بذر را افزایش می‌دهد (سوئدا و همکاران، ۲۰۰۵). اسچومبر و برادفورد (۲۰۰۵) دریافتند که خشک‌کردن سریع و آهسته بعد از پیش‌تیمار بذر گیاهان زراعی می‌تواند طول عمر بذرهای تحت پیش‌تیمار را نسبت به تیمارهای بدون پیش‌تیمار کاهش دهد.

نتایج برخی آزمایشات نیز نشان داده که شرایط محیطی، که بذر بلافاصله پس از پیش‌تیمار در آن قرار می‌گیرد بر طول عمر بذر اثر گذار است. تنش‌های مختلف غیر زیستی قبل از خشک کردن بذر برای بهره‌گیری از مزایای پیش‌تیمار و برای حفظ کیفیت بذر استفاده شده‌اند. این فرایند به‌عنوان تحریک‌کننده‌ی فواید پیش‌تیمار و فعالسازی مکانیسم‌های دفاعی (که از مرگ بذر در طول ذخیره‌سازی جلوگیری می‌کنند) در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، تنش خشکی خفیف یا شوک گرمایی قبل از خشک‌کردن مجدد، سرعت متوسط جوانه‌زنی را افزایش و زمان متوسط جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد (گنوید و متروکس، ۱۹۹۹؛ ناسیمنتو و وست، ۲۰۰۰؛ کرانر و همکاران، ۲۰۱۰؛ لیرا و همکاران، ۲۰۱۵).

## ۲-۷-۹- شرایط ذخیره‌سازی

قابلیت ماندگاری اولیه بذرهای پرایم شده تحت تأثیر فاکتورهایی همچون اکسیژن، رطوبت نسبی محیط، مقدار رطوبت بذر و دمای محیط می‌باشند. هنگامی که بذر پرایم شده برنج در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شد به‌طور معنی‌داری درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای آن کاهش یافت و اختلاف معنی‌داری با بذرهایی که در شرایط ۴- درجه

سلسیوس نگهداری شده بودند، مشاهده شد. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد رطوبت نسبی هوا ممکن است از دمای محل نگهداری بذر در قابلیت انبارداری بذر پرایم شده ضروری‌تر باشد. به‌طورکلی دمای پایین، کاهش رطوبت نسبی و شرایط خلاء از شرایط بهینه بذرهای پرایم شده می‌باشند. پیش تیمار باعث جذب آب توسط بذر خشک می‌شوند، بنابراین واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی اولیه فعال می‌شوند. باوجودی که بذرها دوباره خشک می‌شوند، تحول فیزیولوژیکی بسیار پیشرفته‌تری نسبت به قبل از پیش تیمار رخ داده و بذرها بسیار مستعد فرسودگی می‌شوند. مزایای پیش تیمار در طی انبارداری بسیار سریع از بین می‌رود و به نوع گیاه، دما و رطوبت نسبی در طول انبارداری بستگی دارد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

## ۲-۸- آیا پیش تیمار بذر منجر به افزایش عملکرد می‌شود؟

پیش تیمار بذر، جوانه‌زنی و رشد اولیه‌ی گیاهچه را بهبود می‌بخشد. در صورتی که برنج از طریق روش نشایی کشت شود، در این صورت جوانه‌زنی در سطح مزرعه اهمیت کم‌تری دارد چون بذرها در برنج در زمانی که کاشت نشایی دنبال می‌شود در شرایط بهینه و کنترل‌شده خزانه رشد می‌کنند. با این حال، این احتمال وجود دارد که گیاهچه‌های رشد یافته از بذرها پرایم‌شده قوی‌تر باشند که ممکن است به تولید عملکرد بیشتر دانه کمک کند. پیش تیمار بذر با کلرید کلسیم، موجب افزایش تعداد پنجه‌ی مؤثر و تعداد دانه در واحد سطح در برنج باسماتی شد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷). رویش و رشد گیاهچه در محل نگهداری، همبستگی مثبت و معنی‌داری را با عملکرد دانه نشان داد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷). به‌طورکلی پیش تیمار بذر با هورمون‌های گیاهی از قبیل اسید جیبرلیک، ایندول بوتریک اسید و اسید سالیسیلیک شرایط گیاهچه‌ای گیاهان را بهبود می‌بخشد (قدرت و همکاران، ۲۰۱۳). در همین راستا مشاهده شده است که پیش تیمار بذر، درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را در مرحله‌ی جوانه‌زنی بهبود داد، اما منجر به عملکرد دانه نشد و در طول

گله‌ی هیچ‌گونه تفاوت قابل‌توجهی بین گیاهچه‌های رشد یافته از بذرهای تحت پیش‌تیمار و بذرهای بدون پیش‌تیمار وجود نداشت (موند و همکاران، ۲۰۱۳).

زارعین کشورهای آسیای جنوب‌شرقی در حال تغییر از کشت نشاء به کشت مستقیم و تغییر شرایط آبیاری هستند که علت آن هزینه‌ی پایین کشت مستقیم نسبت به کشت نشایی است (کومار و لدها، ۲۰۱۱). باوجود اینکه کشت مستقیم برنج روشی از نظر اقتصادی به‌صرفه است، اما به علت عدم قطعیت در جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه، کاربرد این روش مستلزم میزان بذر زیاد و شرایط خاص محیط است. تصور می‌شود که پیش‌تیمار بذر بتواند از عهده‌ی چنین مشکلی برآید. پروژه‌ی زراعت بارانی هندی-بریتانیایی، آزمایش‌های مزرعه‌ای بزرگی در سه ایالت از جمله راجاستان، گوجرات و مادهایا پرادش هند انجام شد. آزمایش‌ها تحت شرایط مدیریت کشاورزی بدون پیش‌تیمار بذر در هشت دهکده انجام شدند. ۲۵۰ آزمایش مزرعه‌ای با بذرهای پیش‌تیمار انجام شدند، کشاورزان هندی با کشت بذرهای تیمار شده به عملکرد دانه بیشتری دست یافتند. گیاهچه‌های به وجود آمده از بذرهای پیش‌تیمار، قوی بوده، گله‌ی زودتری داشتند و تحمل بهتری به خشکی نشان دادند. طول دوره‌ی زراعی در حین استفاده از بذرهای پیش‌تیمار در مقایسه با بذرهای بدون پیش‌تیمار کاهش یافته و کشاورزان زمان بیشتری را برای زراعت بعدی به دست آوردند. انواع مشابهی از آزمایش‌ها در زیمباوه انجام شد (هریس و همکاران، ۱۹۹۹). این آزمایش‌ها نشان دادند که پیش‌تیمار بذر اهمیت زیادی برای بالا بردن عملکرد تحت شرایط نظام کشت مستقیم برنج دارد. چندین تنش غیر زیستی از قبیل خشکی و شوری مستقیماً بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه در مراحل اولیه‌ی رشد گیاه زراعی اثر می‌گذارند، پیش‌تیمار بذر یک روش مؤثر برای بهبود و تثبیت عملکرد در شرایط تنش‌های غیر زیستی است (فاروق و همکاران، ۲۰۰۶؛ ژنگ و شی، ۲۰۰۸؛ رحمان و همکاران، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۵؛ ماهاجان و همکاران، ۲۰۱۱، سارکار، ۲۰۱۲ و بیانگ و همکاران، ۲۰۱۲).

## ۲-۹-منابع

- Aboutalebian MA, Nazari S (2017) Seedling emergence and activity of some antioxidant enzymes of canola (*Brassica napus*) can be increased by seed priming. *J Agric Sci* 155(10): 1541–1552.
- Abou-Zeid HM, Ismail GSM (2018) The role of priming with biosynthesized silver nanoparticles in the response of *Triticum aestivum* L. to salt stress. *Egypt J Bot* 58(1): 73–85.
- Afzal I, Basra SMA, Ahmad N, Cheema MA, Warraich EA, Khaliq A (2002) Effect of priming and growth regulator treatment on emergence and seedling growth of hybrid maize (*Zea mays*). *Int J Agric Biol* 4: 303–306.
- Afzal I, Basra SMA, Shahid M, Farooq M, Saleem M (2008) Priming enhances germination of spring maize (*Zea mays* L.) under cool conditions. *Seed Sci Technol* 36: 497–503.
- Afzal I, Munir F, Ayub CM, Basra SMA, Hameed A, Nawaz A (2009) Changes in antioxidant system, germination capacity and vigour of tomato seeds in response of priming with polyamines. *Seed Sci Technol* 37: 765–770.
- Ajouri A, Haben A, Becker M (2004) Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. *J Plant Nutr Soil Sci* 167: 630–636.
- Akers SW, Holley KE (1986) SPS: a system for priming seed using aerated polyethylene glycol or salt solutions. *HortScience* 21: 529–531.
- Akram NA, Ashraf M, Al-Qurainy F (2012) Aminolevulinic acid-induced regulation in some key physiological attributes and activities of antioxidant enzymes in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under saline regimes. *Sci Hortic* 142: 143–148.
- Alasvandyari F, Mahdavi B, Hosseini Shahab M (2017) Glycine betaine affects the antioxidant system and ion accumulation and reduces salinity-induced damage in safflower seedlings. *Arch Biol Sci* 69(1): 139–147.
- Alevarado AD, Bradford KJ (1988) Priming and storage of tomato (*Lycopersicon esculentum*) seeds, effect of storage temperature on germination rate and viability. *Seed Sci Technol* 16: 601–612.
- Ali Q, Daud MK, Haider MZ, Ali S, Rizwan M, Aslam N, Noman A, Iqbal N, Shahzad F, Deeba F, Ali I, Zhu SJ (2017) Seed priming by sodium nitroprusside improves salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. *Plant Physiol Biochem* 119: 50–58.

- Almansouri M, Kinet JM, Lutts S (2001) Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum*). *Plant Soil* 231: 243–254.
- Aloui H, Souguir M, Latique S, Hannachi C (2014) Germination and growth in control and primed seeds of pepper as affected by salt stress. *Cercetari Agron Moldova* 47(3): 83–95.
- Amjad M, Ziaf K, Iqbal Q, Ahmad I, Riaz MA (2007) Effect of seed priming on seed vigor and salt tolerance in hot pepper. *Pak J Agric Sci* 44(3): 408–419.
- Amooghaie R (2011) The effect of hydro and osmopriming on alfalfa seed germination and antioxidant defenses under salt stress. *Afr J Biotechnol* 10(33): 6269–6275.
- Ansari O, Sharif-Zadeh F (2012) Osmo and hydro priming improvement germination characteristics and enzyme activity of Mountain Rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress. *J Stress Physiol Biochem* 8(4): 253–261.
- Apel K, Hirt H (2004) Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu Rev Plant Biol* 55: 373–399.
- Arif M, Ali S, Shah A, Javeed N, Rashid A (2005) Seed priming maize for improving emergence and seedling growth. *Sarhad J Agric* 21: 539–543.
- Asgedom H, Becker M (2001) Effects of seed priming with nutrient solutions on germination, seedling growth and weed competitiveness of cereals in Eritrea. In: *Proceedings Deutscher Tropentag*, University of Bonn and ATSAF, Magraf Publishers Press, Weickersheim, p 282.
- Ashraf M, Foolad MR (2005) Pre-sowing seed treatment—a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Adv Agron* 88: 223–271.
- Ashraf M, Harris PJC (2004) Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci* 166(1): 3–16.
- Atia A, Debez A, Barhoumi Z, Smaoui A, Abdelly C (2009) ABA, GA3 and nitrate may control seed germination of *Crithmum maritimum* (*Apiaceae*) under saline conditions. *C R Biol* 332: 704–710.
- Azeem M, Iqbal N, Kausar S, Javed MT, Akram MS, Sajid MA (2015) Efficacy of silicon priming and fertigation to modulate seedling's vigor and ion homeostasis of wheat (*Triticum aestivum* L.) under saline environment. *Environ Sci Pollut Res Int* 22: 14367–14371.
- Azooz MM (2009) Salt stress mitigation by seed priming with salicylic acid in two faba bean genotypes differing in salt tolerance. *Int J Agric Biol* 11: 343–350.

- Babu MA, Singh D, Gothandam KM (2012) The effect of salinity on growth, hormone and mineral elements in leaf and fruit of tomato cultivar PKM1. *J Anim Plant Sci* 22: 159–164.
- Bailly C, Audigier C, Ladonne F, Wagner MH, Coste F (2001) Changes in oligosaccharides content and antioxidant enzyme activities in developing bean seeds as related to acquisition of drying tolerance and seed quality. *J Exp Bot* 52: 701–708.
- Balestrazzi A, Confalonieri M, Macovei A, Carbonera D (2011) Seed imbibition in *Medicago truncatula* Gaertn: expression profiles of DNA repair genes in relation to PEG-mediated stress. *J Plant Physiol* 168: 706–713.
- Bandeoglu E, Eyidogan F, Yücel M, Öktem HA (2004) Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl-salinity stress. *Plant Growth Regul* 42: 69–77.
- Banerjee A, Roychoudhury A (2016) Plant responses to light stress: oxidative damages, photoprotection and role of phytohormones. In: Ahammed GJ, Yu J-Q (eds) *Plant hormones under challenging environmental factors*. Springer Nature, Dordrecht, pp 181–213.
- Banerjee A, Roychoudhury A (2018) Seed priming Technology in the Amelioration of salinity stress in plants. In: Rakshit A, Singh H (eds) *Advances in seed priming*. Springer, Singapore.
- Barbara J (2015) Improving onion seed germination using priming treatments. *Infrastruct Ecol Rural Areas* 4: 1437–1447.
- Bartels D, Sunkar R (2005) Drought and salt tolerance in plants. *Crit Rev Plant Sci* 24: 23–58.
- Basra AS, Singh B, Malik CP (1994) Priming-induced changes in polyamine levels in relation to vigor of aged onion seeds. *Bot Bull Acad Sin* 19: 23-35.
- Basra SMA, Farooq M, Hafeez K, Ahmad N (2004) Osmohardening a new technique for rice seed invigoration. *Int Rice Res Notes* 29: 80–81.
- Basra SMA, Farooq M, Khaliq A (2003) Comparative study of pre-sowing seed enhancement treatments in indica rice (*Oryza sativa* L). *Pak J Life Soc Sci* 1: 5-9.
- Basra SMA, Farooq M, Rehman H, Saleem BA (2007) Improving the germination and early seedling growth in melon (*Cucumis melo* L.) by pre-sowing Salicylic acid treatments. *Int J Agric Biol* 9(4): 550–554.
- Batista TB, Cardoso ED, Binotti FFS, Costa E, Sá ME (2016) Priming and stress under high humidity and temperature on the physiological quality of *Brachiaria brizantha* cv MG-5 seeds. *Acta Sci* 38(1): 123–127.

- Bayat S, Sepehri A (2012) Paclobotrazol and salicylic acid application ameliorates the negative effect of water stress on growth and yield of maize plants. *mInt J Res Agric Sci* 8: 127–139.
- Beckers GJM, Conrath U (2007) Priming for stress resistance: from the lab to the field. *Curr Opinm Plant Biol* 10: 1–7.
- Bellti P, Lanteris S, Lotito S (1993) Priming of *Papaver nudicaule* seeds for germination at low temperature. *Hortic Sci* 4: 163–165.
- Benamar A, Tallon C, Macherel D (2003) Membrane integrity and oxidative properties of mitochondriamisolated from imbibing pea seeds after priming or accelerated ageing. *Seed Sci Res* 13: 35–45.
- Bewley JD (1997) Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9: 1055–1066.
- Bewley JD, Black M (1994) *Seeds: physiology of development and germination*, 2<sup>nd</sup> edn. Plenum Press, New York, p 455.
- Bewley JD, Bradford KJ, Hilhorst HWM, Nonogaki H (2013) *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*, 3<sup>rd</sup> edn. Springer, New York.
- Bittencourt MLC, Dias DCFS, Dias LAS, Araújo EF (2004) Effects of priming on asparagus seed germination and vigour under water and temperature stress. *Seed Sci Technol* 32: 607–616.
- Bocian S, Holubowicz R (2008) Effect of different ways of priming tomato (*Lycopersicon esculentum* MILL) seeds on their quality. *Pol J Nat Sci* 23(4): 729–739.
- Bohnert HJ, Shen B (1999) Transformation and compatible solutes. *Sci Hortic* 78: 237–260.
- Bonilla I, El-Hamdaoui A, Bolaños L (2004) Boron and calcium increase *Pisum sativum* seed germination and seedling development under salt stress. *Plant Soil* 267: 97–107.
- Borsani O, Valpuesta V, Botella MA (2001) Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in *Arabidopsis* seedlings. *Plant Physiol* 126: 1024–1030.
- Bose B, Kumar M, Singhal RK, Mondal S (2018) Impact of seed priming on the modulation of physico-chemical and molecular processes during germination, growth, and development of crops. In: Rakshit A, Singh H (eds) *Advances in seed priming*. Springer, Singapore.
- Bouchereau A, Aziz A, Larther F, Martin-Tanguy J (1999) Polyamines and environmental challenges: recent development. *Plant Sci* 140: 103–125.
- Bradford KJ (1986) Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience* 21: 1105–1112.

- Bradford KJ (1995) Water relations in seed germination. In: Kigel J, Galili G (eds) Seed development and germination. Marcel Dekker, New York, pp 351–396.
- Bradford KJ, May DM, Hoyle BJ, Sibinski S, Scott SJ, Tyler KB (1988) Seed and soil treatments to improve emergence of muskmelon from cold or crusted soils. *Crop Sci* 28: 1001–1005.
- Bray CM (1995) Biochemical processes during the osmopriming of seeds. In: Kigel J, Galili G (eds) Seed development and germination. Marcel Dekker, New York, pp 767–789.
- Bray CM, Davison PA, Ashraf M, Taylor RM (1989) Bio-chemical events during osmopriming of leek seed. *Ann Appl Biol* 102: 185–193.
- Bray CM, West CE (2005) DNA repair mechanisms in plants: crucial sensors and effectors for the maintenance of genome integrity. *New Phytol* 168: 511–528.
- Brocklehurst PA, Dearman J (1983) Interactions between seed priming treatments and nine lots of carrot, celery and onion. I. Laboratory germination. *Ann Appl Biol* 120: 577–584.
- Brocklehurst PA, Dearman J, Drew RLK (1984) Effects of osmotic priming on seed germination and seedling growth in leek. *Sci Hortic* 24(3): 201–210.
- Bruce TJA, Matthes MC, Napier JA, Pickett JA (2007) Stressful memories of plants: evidence and possible mechanisms. *Plant Sci* 173: 603–608.
- Bruggink GT, Ooms JJJ, van der Toorn P (1999) Induction of longevity in primed seeds. *Seed Sci Res* 9: 49–53.
- Bujalski W, Nienow AW (1991) Large-scale osmotic priming of onion seeds: a comparison of different strategies for oxygenation. *Sci Hortic* 46: 13–24.
- Bujalski W, Nienow AW, Gray D (1989) Establishing the large scale osmotic priming of onion seeds using enriched air. *Ann Appl Biol* 115: 171–176.
- 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. *Ann Bot* 103: 1261–1270.
- Cantliffe DJ, Elbala M, Guedes AC, Odell GB, Perkinsveazie P, Schultheis JR, Seale DN, Shuler.
- Cantliffe DJ, Elballa M (1994) Improved germination of carrot at stressful high temperature by seed priming. *Proc Fla State Hortic Soc* 107: 121–128.
- Carvalho RF, Piotto FA, Schmidt D, Peters LP, Monteiro CC, Azevedo RA (2011) Seed priming with hormones does not alleviate induced oxidative stress in maize seedlings subjected to salt stress. *Sci Agric* 68: 598–602.
- Caseiro R, Bennett MA, Marcos-Filho J (2004) Comparison of three priming techniques for onion seed lots differing in initial seed quality. *Seed Sci Technol* 32: 365–375.



- Castañares JL, Bouzo CA (2018) Effect of different priming treatments and priming durations on melon germination behavior under suboptimal conditions. *Open Agric* 3(1): 386–392.
- Catusse J, Meinhard J, Job C, Strub JM, Fischer U, Pestova E, Westohoff P, Van Dorselaer A, Job D (2011) Proteomics reveals potential biomarkers of seed vigor in sugar beet. *Proteomics* 11: 1569–1580.
- Cayuela E, Perez-Alfocea F, Caro M, Bolarin MC (1996) Priming of seeds with NaCl induces physiological changes in tomato plants grown under salt stress. *Physiol Plant* 96: 231–236.
- Cha-um S, Supaibulwatana K, Kirdmanee C (2006) Water relation, photosynthetic ability and growth of Thai jasmine rice (*Oryza sativa* L. ssp. *Indica* cv KDML105) to salt stress by application of exogenous glycinebetaine and choline. *J Agron Crop Sci* 192: 25–36.
- Chen K (2011) Antioxidants and dehydrin metabolism associated with osmopriming-enhanced stress tolerance of germinating spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Bloomsdale) seeds PhD. Iowa State University, Ames, Iowa, USA.
- Chen K, Arora R (2011) Dynamics of the antioxidant system during seed osmopriming, post-priming germination, and seedling establishment in spinach (*Spinacia oleracea*). *Plant Sci* 180: 212–220.
- Chen K, Arora R (2013) Priming memory invokes seed stress-tolerance. *Environ Exp Bot* 94: 33–45.
- Chen K, Fessehaie A, Arora R (2013) Aquaporin expression during seed osmopriming and post-priming germination in spinach. *Biol Plant* 57: 193–198.
- Chen THH, Murata N (2008) Glycinebetaine: an effective protectant against abiotic stress in plants. *Trend Plant Sci* 13: 499–505.
- Cheng C, Pei LM, Yin TT, Zhang KW (2018) Seed treatment with glycine betaine enhances tolerance of cotton to chilling stress. *J Agric Sci* 156(3): 323–333.
- Copeland LO, McDonald MB (2001) Principles of seed science and technology, 4<sup>th</sup> edn. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p 488.
- Corbineau F, Come D (2006) Priming: a technique for improving seed quality. *Seed Test Int* 132: 38–40.
- Corbineau F, Ozbincol N, Vinol D, Come D (2000) Improvement in tomato seed germination by osmopriming as related to energy metabolism. In: Black M, Bradford KJ, Vazquez-Ramos J (eds) Seed biology: advances and application. CABI, Oxon, pp 449–466.

- Cramer GR (2002) Sodium-calcium interactions under salinity stress in Läuchli a, Lüttge u, salinity Environment-plants-molecules. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 205–227.
- Cuartero J, Bolarin MC, Asins MJ, Moreno V (2006) Increasing salt tolerance in tomato. J Exp Bot 57: 1045–1058.
- Das K, Roychoudhury A (2014) Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. Front Environ Sci 2: 53-59.
- Das P, Nutan KK, Singla-Pareek SL, Pareek A (2015) Oxidative environment and redox homeostasis in plants: dissecting out significant contribution of major cellular organelles. Front Environ Sci 2: 70-80.
- Das S, Dash FM, Nandi AK, Senapati N, Sarkar S, Pandey G (2014) Seed quality index an estimate used to predict response of bottle gourd seeds (*Lagenaria siceraria* (Mol) Standl) to hydro- and osmo-priming. Acta Adv Agric Sci 2(12): 1–10.
- Daszkowska-Golec A (2011) Arabidopsis seed germination under abiotic stress as a concert of action of phytohormones. OMICS 15: 763–774.
- Daur I (2018) Effects of hydro and hormonal priming on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed germination under salt and drought stress. Pak J Bot 50(5): 1669–1673.
- Dawood MG, EL-Awadi ME (2015) Alleviation of salinity stress on *Vicia faba* L. plants via seed priming with melatonin. Acta Biol Colomb 20: 223–235.
- Dawood MG, Sadak MS (2014) Physiological role of glycinebetaine in alleviating the deleterious effects of drought stress on canola plants (*Brassica napus* L). Middle East J Agric Res 3: 943–954.
- de Azevedo Neto AD, Prisco JT, Enéas-Filho J, Medeiros JV, Gomes-Filho E (2005) Hydrogen peroxide pre-treatment induces salt-stress acclimation in maize plants. J Plant Physiol 162(10): 1114–1122.
- del Río LA, Puppo A (2009) Reactive oxygen species in plant signaling. Springer, Dordrecht/ Heidelberg/London/New York.
- Dell Aquila A, Tritto V (1991) Germination and biochemical activities in wheat seeds following delayed harvesting, aging and osmotic. Seed Sci Technol 19: 73–82.
- Demir I, Mavi K (2004) The effect of priming on seedling emergence of differentially matured watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb) Matsum and Nakai) seeds. Sci Hortic 102: 467–473.

- Demir I, Okcu G (2004) Aerated hydration treatment for improved germination and seedling growth in aubergine (*Solanum melongena*) and pepper (*Capsicum annum*). *Ann Appl Biol* 144: 121–123.
- Demir I, Oztokat C (2003) Effect of salt priming on germination and seedling growth at low temperature in watermelon seed during development. *Seed Sci Technol* 31: 765–770.
- Demir I, Ozuaydin I, Yasar F, Staden JV (2012) Effect of smoke-derived butenolide priming treatment on pepper and salvia seeds in relation to transplant quality and catalase activity. *S Afr J Bot* 78: 83–87.
- Demir I, Van de Venter HA (1999) The effect of priming treatments on the performance of watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb) Matsum and Nakai) seeds under temperature and osmotic stress. *Seed Sci Technol* 27: 871–875.
- Di Girolamo G, Barbanti L (2012a) Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. *Ital J Agron* 7(25): 178–188.
- Di Girolamo G, Barbanti L (2012b) Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. *Ital J Agron* 7: 8–18.
- Ding CK, Wang C (2003) The dual effects of methyl salicylate on ripening and expression of ethylene biosynthetic genes in tomato fruit. *Plant Sci* 164: 589–596.
- Diniz KA, Silva PA, Oliveira JA, Evangelista JRE (2009) Sweet pepper seed responses to inoculation with microorganisms and coating with micronutrients, amino acids and plant growth regulators. *Sci Agric* 66: 293–297.
- Dkhil BB, Issa A, Denden M (2014) Germination and seedling emergence of primed okra (*Abelmoschus esculentus* L.) seeds under salt stress and low temperature. *Am J Plant Physiol* 9: 38–45.
- Dong L, Hao Z, Li Z, Zhu J, Wang Q (2014) Enhancement of welsh onion (*Allium fistulosum* L.) seed vigor by KNO<sub>3</sub> priming. *J Agric Sci Technol* 16: 1345–1353.
- Dorna H, Jarosz M, Szopinska D, Szulc I, Rosinska A (2013) Germination vigour and health of primed *Allium cepa* L. seeds after storage. *Acta Sci Pol Hortorum Cultus* 12: 43–58.
- Durner EF (2013) Principles of horticultural physiology. Cabi Publishing, Wallingford, p 416.
- Dursun A, Ekinci M (2010) Effects of different priming treatments and priming durations on germination percentage of parsley (*Petroselinum crispum* L.) seeds. *Agric Sci* 1: 17–23.
- Ebrahimi R, Ahmadizadeh M, Rahbarian P (2014) Enhancing stand establishment of tomato cultivars under salt stress condition. *Southwest J Hortic Biol Environ* 5(1): 19–42.

- Eisvand HR, Tavakkol-Afshari R, Sharifzadeh F, Maddah-Aref H, Hesamzadeh Hejaz SM (2010) Effects of hormonal priming and drought stress on activity and isozyme profiles of antioxidant enzymes in deteriorated seed of tall wheatgrass (*Agropyron elongatum* host). *Seed Sci Technol* 38: 280–297.
- Ellis R, Hong TD (1994) Desiccation tolerance and potential longevity of developing seeds of rice (*Oryza sativa* L). *Ann Bot* 73: 501–506.
- Ellis RH, Butcher PD (1988) The effects of priming and ‘natural’ differences in quality amongst onion seed lots on the response of the rate of germination to temperature and the identification of the characteristics under genotypic control. *J Exp Bot* 39: 935–950.
- Eskandari H (2013) Effects of priming technique on seed germination properties, emergence and field performance of crops: a review. *Int J Agron Plant Prod* 4: 454–458.
- Esmailpour B, Ghassemi-Golezani K, Rahimzadeh Khoei F, Gregorian V, Toorchi M (2006) The effect of NaCl priming on cucumber seedling growth under salinity stress. *J Food Agric Environ* 4(2): 347–349.
- Fallah S, Somayeh M, Mohammad P (2018) Seed priming improves seedling emergence and reduces oxidative stress in *Nigella sativa* under soil moisture stress. *J Plant Nutr* 41(1): 29–40.
- Farahbakhsh H (2012) Germination and seedling growth in unprimed and primed seeds of fennel as affected by reduced water potential induced by NaCl. *Int Res J Appl Basic Sci* 3: 737–744.
- Farhoudi R (2012) Evaluation effect of KNO<sub>3</sub> seed priming on seedling growth and cell membrane damage of sunflower (*Helianthus annuus*) under salt stress. *Am Eurasian J Agric Environ Sci* 12(3): 384–388.
- Farhoudi R, Saedipour S, Mohammadreza D (2011) The effect of NaCl seed priming on salt tolerance, antioxidant enzyme activity, proline and carbohydrate accumulation of muskmelon (*Cucumis melo* L.) under saline condition. *Afr J Agron Res* 6(6): 1363–1370.
- Farooq M, Aziz T, Basra SMA, Cheema MA, Rehman H (2008a) Chilling tolerance in hybrid maize induced by seed priming with salicylic acid. *J Agron Crop Sci* 194: 161–168.
- Farooq M, Aziz T, Rehman H, Rehman A, Cheema SA, Aziz T (2011) Evaluating surface drying and re-drying for wheat seed priming with polyamines: effects on emergence, early seedling growth and starch metabolism. *Acta Physiol Plant* 33: 1707–1713.
- Farooq M, Basra SMA, Khalid A, Tabassum R, Mehmood T (2006) Nutrient homeostasis, reserves metabolism and seedling vigor as affected by seed priming in coarse rice. *Can J Bot* 84: 1196–1202.

- Farooq M, Basra SMA, Rehman H, Hussain M (2008b) Seed priming with polyamines improves the germination and early seedling growth in fine rice. *J New Seeds* 9: 145–155.
- Farooq M, Basra SMA, Saleem BA, Nafees M, Chishti SA (2005) Enhancement of tomato seed germination and seedling vigor by osmopriming. *Pak J Agric* 42(3–4): 36–41.
- Farooq M, Basra SMA, Wahid A, Ahmad N, Saleem BA (2009) Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. *J Agron Crop Sci* 195: 237–246.
- Farooq M, Irfan M, Aziz T, Ahmad I, Cheema SA (2013) Seed priming with ascorbic acid improves drought resistance of wheat. *J Agron Crop Sci* 199: 12–22.
- Farooq M, Wahid A, Siddique KHM (2012) Micronutrient application through seed treatments – a review. *J Soil Sci Plant Nutr* 12(1): 125–142.
- Farouk S (2011) Ascorbic acid and  $\alpha$ -tocopherol minimize salt-induced wheat leaf senescence. *J Stress Physiol Biochem* 7(3): 58–79.
- Fazlali R, Asli DE, Moradi P (2013) The effect of seed priming by ascorbic acid on bioactive compounds of naked seed pumpkin (*Cucurbita pepo var styriaca*) under salinity stress. *Int J Farm Allied Sci* 2(17): 587–590.
- Feng G, Zhang FS, Li XL, Tian CY, Tang C, Rengel Z (2002) Improved tolerance of maize plants to salt stress by *arbuscular mycorrhiza* is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza* 12: 185–190.
- Fercha A, Capriotti AL, Caruso G, Cavaliere C, Gherroucha H, Samperi R, Stampachiachiere S, Lagana A (2013) Gel-free proteomics reveal potential biomarkers of priming-induced salt tolerance in durum wheat. *J Proteomics* 91: 486–499.
- Fercha A, Capriotti AL, Caruso G, Cavaliere C, Samperi R, Stampachiachiere S, Laganà A (2014) Comparative analysis of metabolic proteome variation in ascorbate-primed and unprimed wheat seeds during germination under salt stress. *J Proteomics* 108: 238–257.
- Foolad MR, Lin GY (1997) Genetic potential for salt tolerance during germination in *Lycopersicon* species. *HortScience* 32: 296–300.
- Foti R, Aburenia K, Tigerea A, Gotosab J, Gerec J (2008) The efficacy of different seed priming osmotica on the establishment of maize (*Zea mays* L.) caryopses. *J Arid Environ* 72: 1127–1130.
- Frett JJ, Pill WG, Morneau DC (1991) A comparison of priming agents for tomato and asparagus seeds. *HortScience* 26: 1158–1159.

- Furutani SC, Zandstra BH, Price HC (1986) The effects of osmotic solute composition and duration and temperature of priming on onion seed germination. *Seed Sci Technol* 14: 545–551.
- Gadelha CG, Miranda RS, Alencar NLM, Costa JH, Prisco JT, Gomes-Filho E (2017) Exogenous nitric oxide improves salt tolerance during establishment of *Jatropha curcas* seedlings by ameliorating oxidative damage and toxic ion accumulation. *J Plant Physiol* 212: 69–79.
- Gao YP, Bonham-Smith PC, Gusta LV (2002) The role of peroxiredoxin antioxidant and calmodulin in ABA-primed seeds of *Brassica napus* exposed to abiotic stresses during germination. *J Plant Physiol* 159: 951–958.
- Gao YP, Young L, Bonham-Smith P, Gusta LV (1999) Characterization and expression of plasma and tonoplast membrane aquaporins in primed seed of *Brassica napus* during germination under stress conditions. *Plant Mol Biol* 40: 635–644.
- Genoud T, Métraux J (1999) Crosstalk in plant cell signaling: structure and function of the genetic network. *Trends Plant Sci* 4(12): 503–507.
- Ghassemi-Golezani K, Esmailpour B (2008) The effect of salt priming on the performance of differentially matured cucumber (*Cucumis sativus*) seeds. *Notulae Bot Horti Agrobot Cluj-Napoca* 36(2): 67–70.
- Ghassemi-Golezani K, Jabbarpour S, Zehtab-Salmasi S, Mohammadi A (2010) Response of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars to salt priming of seeds. *Afr J Agric Res* 5: 1089–1094.
- Ghebrehiwot HM, Kulkarni MG, Kirkman KP, van Staden J (2008) Smoke-water and a smoke-isolated butenolide improve germination and seedling vigor of *Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter under high temperature and low osmotic potential. *J Agron Crop Sci* 194: 270–277.
- Gill SS, Tuteja N (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol Biochem* 48: 909–930.
- Giri GS, Schillinger WF (2003) Seed priming winter wheat for germination, emergence and yield. *Crop Sci* 43: 2135–2141.
- Goel A, Goel AK, Sheoran IS (2003) Changes in oxidative stress enzymes during artificial aging in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seeds. *J Plant Physiol* 160: 1093–1100.
- Gonçalves JF, Becker AG, Cargnelutti D, Tabaldi LA, Pereira LB, Battisti V, Spanevello RM, Morsch VM, Nicoloso FT, Schetinger MRC (2007) Cadmium toxicity causes oxidative stress and induces response of the antioxidant system in cucumber seedlings. *Braz J Plant Physiol* 19(3): 223–232.

- Gong HJ, Chen KM, Zhao ZG, Chen GC, Zhou WJ (2008) Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. *Biol Plant* 52(3): 592–596.
- Gong HZ, Chen K, Wang S, Zhang C (2005) Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Sci* 169: 313–321.
- Gornik K, Lahuta BL (2017) Application of phytohormones during seed hydropriming and heat shock treatment on sunflower (*Helianthus annuus* L.) chilling resistance and changes in soluble carbohydrates. *Acta Physiol Plant* 39: 118.
- Goud PB, Kachole MS (2011) Effect of exogenous hydrogen peroxide on peroxidase and polyphenol oxidase activities in *Cajanus cajan* (L.) Millsp detached leaves. *Int J Curr Res* 3: 61–65.
- Govinden-Soulange J, Levantard M (2008) Comparative studies of seed priming and pelleting on percentage and meantime to germination of seeds of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Afr J Agric Res* 3(10): 725–731.
- Gratao PL, Polle A, Lea PJ, Azevedo RA (2005) Making the life of heavy metal stressed plants a little easier. *Funct Plant Biol* 32: 481–494.
- Guan Y, Hu J, Wangi X, Shao C (2009) Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *J Zhejiang Univ Sci B* 10(6): 427–433.
- Gupta A, Dadlani M, Arun Kumar MB, Roy M, Naseem M, Choudhary VK, Maiti RK (2008) Seed priming: the aftermath. *Int J Agric Environ Biotechnol* 1: 199–209.
- Gupta A, Zhuo J, Zha J, Reddy S, Olp J, Pai A (2010) Effect of different intravenous iron preparations on lymphocyte intracellular reactive oxygen species generation and subpopulation survival. *BMC Nephrol* 17: 11–16.
- Gurusinghe S, Powell ALT, Bradford KJ (2002) Enhanced expression of BiP is associated with treatments that extend storage longevity of primed tomato seeds. *J Am Soc Hortic Sci* 127: 528–534.
- Gurusinghe SH, Bradford KJ (2001) Galactosyl-sucrose oligosaccharides and potential longevity of primed seeds. *Seed Sci Res* 11: 121–133.
- Hacisalihoglu G, Kantanka S, Miller N, Gustin JL, Settles AM (2018) Modulation of early maize seedling performance via priming under sub-optimal temperatures. *PLoS One* 13(11): e0206861.
- Haghighi M, Afifipour Z, Mozafarian M (2012) The alleviation effect of silicon on seed germination and seedling growth of tomato under salinity stress. *Veget Crops Res Bull* 76: 119–126.

- Haigh AM, Barlow EWR, Milthrope F, Sinclair PJ (1986) Field emergence of tomato (*Lycopersicon esculentum*), carrot (*Daucus carota*) and onion (*Allium cepa*) seeds primed in an aerated salt solution. *J Am Soc Hortic Sci* 111: 660–665.
- Halmer P (2004) Methods to improve seed performance in the field. In: Benech Arnold RL, Sánchez RA (eds) *Seed physiology: applications to agriculture*. Food Product Press, New York, pp 125–166.
- Hameed A, Sheikh MA, Hameed A, Farooq T, Basra SMA, Jamil A (2014) Chitosan seed priming improves seed germination and seedling growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) under osmotic stress induced by polyethylene glycol. *Philipp Agric Sci* 97: 294–299.
- Hameed A, Sheikh MA, Jamil A, Maqsood S, Basra A (2013) Seed priming with sodium silicate enhances seed germination and seedling growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit stress induced by polyethylene glycol. *Pak J Life Soc Sci* 11(1): 19–24.
- Hasan J, Crawford RJ, Ivanova EP (2013) Antibacterial surfaces: the quest for a new generation of biomaterials. *Trends Biotechnol* 31: 295–304.
- Hasanuzzaman M, Anwar Hossain M, Fujita M (2010) Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. *J Plant Sci* 5: 354–375.
- Hasanuzzaman M, Nahar K, Alam MM, Roychowdhury R, Fujita M (2013) Physiological biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *Int J Mol Sci* 14(5): 9643–9684.
- Hassen A, Elouaer MA, Hannachi C (2017) Seed priming to improve seedling growth of pepper cultivars exposed to salt concentrations. *Int J Veg Sci* 23(6): 489–507.
- Hassini I, Baenas N, Moreno DA, Carvajal M, Boughanmi N, Martinez Ballesta MDC (2017) Effects of seed priming, salinity and methyl jasmonate treatment on bioactive composition of *Brassica oleracea* var. *capitata* (white and red varieties) sprouts. *J Sci Food Agric* 97: 2291–2299.
- Hay FR, Probert RJ (1995) The effect of different drying conditions and maturity on desiccation tolerance and seed longevity in *Digitalis purpurea* L. *Ann Bot* 76: 739–647.
- He YL, Liu YL, Chen Q, Bian AH (2002) Thermotolerance related to antioxidation induced by salicylic acid and heat hardening in tall fescue seedlings. *J Plant Physiol Mol Biol* 28(2): 89–95.
- Hela M, Nawel N, Imen T, Hanen Z, Imen BS, Raouia BM, Olfia B, Rym K, Mouhiba BNA, Abdelali H, Lachaâl M, Ouerghi Z (2011) Salt stress induced changes in germination,



- lipid per-oxidation and antioxidant activities in lettuce (*Lactuca sativa* L.) seedlings. *Afr J Biotechnol* 10(65): 14498–14506.
- Heydecker W, Coolbear T (1977) Seed treatments for improved performance survey and attempted prognosis. *Seed Sci Technol* 5: 353–425.
- Hill H, Bradford KJ, Cunningham J, Taylor AG (2008) Primed lettuce seeds exhibit increased sensitivity to moisture during aging. *Acta Hort* 782: 135–141.
- Horii A, McCue P, Shetty K (2007) Seed vigour studies in corn, soybean and tomato in response to fish protein hydrolysates and consequences on phenolic linked responses. *Bioresour Technol* 98: 2170–2177.
- Hsu CC, Chen CL, Chen JJ, Sung JM (2003) Accelerated aging enhanced lipid peroxidation in bitter melon seeds and effects of priming and hot water soaking treatments. *Sci Hort* 98: 201–212.
- Huang Z, Boubriak I, Osborne DJ, Dong M, Gutterman Y (2008) Possible role of pectin-containing mucilage and dew in repairing embryo DNA of seeds adapted to desert conditions. *Ann Bot* 101: 277–283.
- Hubbard M, Germida J, Vujanovic V (2012) Fungal endophytes improve wheat seed germination under heat and drought stress. *Botany* 90: 137–149.
- Hussain S, Khan F, Cao W, Wu L, Geng M (2016a) Seed priming alters the production and detoxification of reactive oxygen intermediates in rice seedlings grown under sub-optimal temperature and nutrient supply. *Front Plant Sci* 7: 439-446.
- Hussain S, Khan F, Hussain HA, Nie L (2016b) Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-induced chilling tolerance in rice cultivars. *Front Plant Sci* 7: 116-125.
- Hussain S, Zheng M, Khan F, Khaliq A, Fahad S, Peng S, Huang J, Cui K, Nie L (2015) Benefits of rice seed priming are offset permanently by prolonged storage and the storage conditions. *Sci Rep* 5: 1–12.
- Ibrahim EA (2016) Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *J Plant Physiol* 192: 38–46.
- Iqbal M, Ashraf M (2013) Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. *Environ Exp Bot* 86: 76–85.
- Jahromi F, Aroca R, Porcel R, Ruiz-Lozano JM (2008) Influence of salinity on the *in vitro* development of *Glomus intraradices* and on the *in vivo* physiological and molecular responses of mycorrhizal lettuce plants. *Microb Ecol* 55: 45–53.

- Jain N, Van Staden J (2007) The potential of the smoke-derived compound, 3 methyl-2H-furo[2,3-c] pyran-2-one, as a priming agent for tomato seeds. *Seed Sci Res* 17: 175–181.
- Jakab G, Ton J, Flors V, Zimmerli L, Metraux JP, Mauch-Mani B (2005) Enhancing *Arabidopsis* salt and drought stress tolerance by chemical priming for its abscisic acid responses. *Plant Physiol* 139(1): 267–274.
- Jaleel CA, Riadh K, Gopi R, Manivannan P, Ines J, Al-Juburi HJ, Chang-Xing Z, Hong-Bo S, Panneerselvam R (2009) Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Acta Physiol Plant* 31(3): 427–436.
- Javid MG, Sorooshzadeh A, Moradi F, Sanavy SAMM, Allahdadi I (2011) The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. *Aust J Crop Sci* 6: 726–734.
- Jeong Y, Kim JC, Lie J-C, Jeong YO, Cho JL (2000) Effect of priming duration and temperature on germinability of carrot, lettuce, onion and Welsh onion seeds. *Korean J Horticult Sci Technol* 18(3): 327–333.
- Ji CY, Jin R, Xu Z, Kim HS, Lee C-J, Kang L, Kim SE, Lee HU, Lee JS, Kang CH, Chi YH, Lee SY, Xie Y, Li H, Ma D, Kwak SS (2017) Overexpression of *Arabidopsis* P3B increases heat and low temperature stress tolerance in transgenic sweet potato. *BMC Plant Biol* 17(1): 139.
- Jiang X, Li H, Song X (2016) Seed priming with melatonin effects on seed germination and seedling growth in maize under salinity stress. *Pak J Bot* 48(4): 1345–1352.
- Jisha KC, Puthur JT (2014) Halopriming of seeds imparts tolerance to NaCl and PEG induced stress in *Vigna radiata* (L.) Wilczek varieties. *Physiol Mol Biol Plants* 20(3): 303–312.
- Jisha KC, Puthur JT (2015) Seed priming with BABA ( $\beta$ -amino butyric acid): a cost-effective method of abiotic stress tolerance in *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Protoplasma* 253(2): 277–289.
- Jisha KC, Puthur JT (2016) Seed priming with beta-amino butyric acid improves abiotic stress tolerance in rice seedlings. *Rice Sci* 23(5): 242–254.
- Jisha KC, Vijayakumari K, Puthur JT (2013) Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiol Plant* 35: 1381–1396.
- Joshi N, Jain A, Arya K (2013) Alleviation of salt stress in *Cucumis sativus* L. through seed priming with calcium chloride. *Indian J Appl Res* 3(11): 22–25.
- Jyotsna V, Srivastava AK (1998) Physiological basis of salt stress resistance in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) II pre-sowing seed soaking treatment in regulating early seedling metabolism during seed germination. *Plant Physiol Biochem* 25: 89–94.

- Kaewnaree P, Vichitphan S, Klanrit P, Siri B, Vichitphan K (2011) Effect of accelerated aging process on seed quality and biochemical changes in sweet pepper (*Capsicum annuum* Linn.) seeds. *Biotechnology* 2: 175–182.
- Kang HM, Saltveit ME (2002) Chilling tolerance of maize, cucumber and rice seedlings leaves and roots are differently affected by salicylic acid. *Physiol Plant* 115: 571–576.
- Kanto U, Jutamanee K, Osotsapar Y, Chai-arree W, Jattupornpong S (2015) Promotive effect of priming with 5-aminolevulinic acid on seed germination capacity, seedling growth and antioxidant enzyme activity in rice subjected to accelerated ageing treatment. *Plant Prod Sci* 18: 443–454.
- Karadag B, Yucel NC (2017) Salicylic acid and fish flour pre-treatments affect wheat phenolic and flavonoid compounds, lipid peroxidation levels under salt stress. *Cereal Res Commun* 45: 192–201.
- Kasote DM, Lee JHJ, Jayaprakasha GK, Patil BS (2019) Seed priming with iron oxide nanoparticles modulate antioxidant potential and defense-linked hormones in watermelon seedlings. *ACS Sustain Chem Eng* 7(5): 5142–5151.
- Kathiresan K, Kalyani V, Gnanarethium JL (1984) Effect of seed treatments on field emergence, early growth and some physiological processes of sunflower (*Helianthus annuus* L). *Field Crops Res* 9: 255–259.
- Kaveh H, Nemati H, Farsi M, Jartoodeh SV (2011) How salinity affect germination and emergence of tomato lines. *J Biol Environ Sci* 15(3): 159–163.
- Kaymak HC, Goveng I, Yarali F, Donmez MF (2008) The effects of biopriming with PGPR on germination of radish (*Raphanus sativus* L.) seeds under saline conditions. *Turk J Agric* 33: 173–179.
- Kazemi K, Eskandari H (2012) Does priming improve seed performance under salt and drought stress? *J Basic Appl Sci Res* 2(4): 3503–3507.
- KD, Tanne I, Watkins JT (1981) Improving stand establishment of direct-seeded vegetables in Florida. In: *Proceedings of Florida State Horticultural Society*, vol 100, pp 213–216.
- Kępczyńska E, Piękna-Grochala J, Kępczyński J (2003) Effects of matricconditioning on onion seed germination, seedling emergence and associated physical and metabolic events. *J Plant Growth Regul* 41: 269.
- Kester ST, Geneve RL, Houtz RL (1997) Priming and accelerated ageing effect L-isoaspartyl methyltransferase activity in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seed. *J Exp Bot* 48: 943–949.
- Khajeh-Hosseini M, Powell AA, Bingham IJ (2003) The interaction between salinity stress and seed vigor during germination of soyabean seeds. *Seed Sci Technol* 31: 715–725.

- Khan AA (1992) Preplant physiological seed conditioning. In: Janick J (ed) Horticultural reviews, vol 13. Wiley, Oxford, pp 131–181.
- Khan AA, Tao AL, Knypl JS, Borkowska B, Powell LE (1978) Osmotic conditioning of seeds: physiological and biochemical changes. *Acta Hort* 83: 267–278.
- Khan HA, Ayub CM, Pervez MA, Bilal RM, Shahid MA, Ziaf K (2009a) Effect of seed priming with NaCl on salinity tolerance of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) at seedling stage. *Soil Environ* 28: 81–87.
- Khan HA, Pervez MA, Ayub CM, Ziaf K, Bilal RM, Shahid MA, Akhtar MA (2009b) Hormonal priming alleviates salt stress in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *Soil Environ* 28: 130–135.
- Khan HA, Ziaf K, Amjad M, Iqbal Q (2012) Exogenous application of polyamines improves germination and early seedling growth of hot pepper. *Chilean J Agric Res* 72(3): 429–433.
- Khan MH, Panda SK (2008) Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. *Acta Physiol Plant* 30: 91–89.
- Kibinza S, Bazin J, Bailly C, Farrant JM, Corbineau F, El-Maarouf-Bouteau H (2011) Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. *Plant Sci* 181: 309–315.
- Korkmaz A, Korkmaz Y, Demirkiran AZ (2010) Enhancing chilling stress tolerance of pepper seedlings by exogenous application of 5-aminolevulinic acid. *Environ Exp Bot* 67: 495–501.
- Korkmaz A, Sirikci R (2011) Improving salinity tolerance of germinating seeds by exogenous application of glycinebetaine in pepper. *Seed Sci Technol* 39: 377–388.
- Korkmaz A, Tiryaki I, Nas MN, Ozbay N (2004) Inclusion of plant growth regulators into priming solution improves low-temperature germination and emergence of watermelon seeds. *Can J Plant Sci* 84: 1161–1165.
- Kranner I, Beckett RP, Minibayeva FV, Seal CE (2010) What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. *New Phytol* 188: 655–673.
- Krantev A, Yordanova R, Janda T, Szalai G, Popova L (2008) Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. *J Plant Physiol* 165: 920–931.
- Ku YS, Sintaha M, Cheung MY, Lam HM (2018) Plant hormone signaling crosstalks between biotic and abiotic stress responses. *Int J Mol Sci* 19(10): 3206–3212.

- Kubala S, Garnczarska M, Wojtyła Ł, Clippe A, Kosmala A, Żmieńko A, Lutts S, Quinet M (2015a) Deciphering priming-induced improvement of rapeseed (*Brassica napus* L.) germination through an integrated transcriptomic and proteomic approach. *Plant Sci* 231: 94–113.
- Kubala S, Wojtyła Ł, Garnczarska M (2013) Seed priming improves salt stress tolerance during germination by modulation of antioxidative capacity. *Biotechnologia* 94: 223–229.
- Kubala S, Wojtyła Ł, Quinet M, Lechowska K, Lutts S, Garnczarska M (2015b) Enhanced expression of the proline synthesis gene *P5CSA* in relation to seed osmopriming improvement of *Brassica napus* germination under salinity stress. *J Plant Physiol* 183: 1–12.
- Kusano T, Berberich T, Tateda C, Takahashi Y (2008) Polyamines: essential factors for growth and survival. *Planta* 228: 367–381.
- Lada R, Stiles A, Surette MA, Caldwell C, Nowak J, Sturz AV, Blake TJ (2004) Stand establishment technologies for processing carrots. *Acta Hort* 631: 105–116.
- Lara TS, Lira JMS, Rodrigues AC, Rakocevic M, Alvarenga AA (2014) Potassium nitrate priming affects the activity of nitrate reductase and antioxidant enzymes in tomato germination. *J Agric Sci* 6(2): 72–80.
- Lee SS, Kim JH (2000) Total sugars,  $\alpha$ -amylase activity, and germination after priming of normal and aged rice seeds. *Korean J Crop Sci* 45: 108–111.
- Lee SS, Kim JH, Hong SB, Yuu SH, Park EH (1998) Priming effect of rice seeds on seedling establishment under adverse soil conditions. *Korean J Crop Sci* 43: 194–198.
- Li F, Wu X, Tsang E, Cutler AJ (2005) Transcriptional profiling of imbibed *Brassica napus* seed. *Genomics* 86: 718–730.
- Li Z, Lu GY, Zhang XK, Zou CS, Cheng Y, Zheng PY (2010) Improving drought tolerance of germinating seeds by exogenous application of gibberellic acid (GA3) in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Seed Sci Technol* 38: 432–440.
- Li Z, Peng Y, Zhang XQ, Pan MH, Ma X, Huang LK et al (2014) Exogenous spermidine improves water stress tolerance of white clover (*Trifolium repens* L.) involved in antioxidant defence, gene expression and proline metabolism. *Plant Omics* 7: 517–526.
- Lin JM, Sung JM (2001) Pre-sowing treatments for improving emergence of bitter melon seedlings under optimal and sub-optimal temperatures. *Seed Sci Technol* 29: 39–50.
- Lira JMS, Lara TS, Rodrigues AC, Dousseau S, Magalhães MM, Alvarenga AA (2015) Cross-tolerance mechanism induction in melon seeds by priming prior drying. *Ciênc Agrotecnol* 39(2): 131–137.

- Liu Y, Ye N, Liu R, Chen M, Zhang J (2010) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mediates the regulation of ABA catabolism and GA biosynthesis in *Arabidopsis* seed dormancy and germination. *J Exp Bot* 61: 2979–2990.
- Lutts S, Benincasa P, Wojtyła L, Kubala S, Pace R, Lechowska K, Quinet M, Garneczarska M (2016) Seed priming: new comprehensive approaches for an old empirical technique. In: Araujo S, Balestrazzi A (eds) *New challenges in seed biology – basic and translational research driving seed technology*, IntechOpen, pp 1–47.
- Machado Neto NB, Saturnino SM, Bomfim DC, Custodio CC (2004) Water stress induced by mannitol and sodium chloride in soybean cultivars. *Braz Arch Biol Technol* 47(4): 521–529.
- Mahakham W, Sarmah AK, Maensiri S, Theerakulpisut P (2017) Nanoprimering technology for enhancing germination and starch metabolism of aged rice seeds using phytosynthesized silver nanoparticles. *Sci Rep* 7: 8263-8272.
- Maiti R, Pramanik K (2013) Vegetable seed priming: a low cost, simple and powerful techniques for farmers' livelihood. *Int J Bioresour Stress Manag* 4(4): 475–481.
- Maksymiec W, Wojcik M, Krupa Z (2007) Variation in oxidative stress and photochemical activity in *Arabidopsis thaliana* leaves subjected to cadmium and excess copper in the presence or absence of jasmonate and ascorbate. *Chemosphere* 66: 421–427.
- Manaa A, Mimouni H, Wasti S, Gharbi E, Aschi-Smiti S, Faurobert M, Ahmed HB (2013) Comparative proteomic analysis of tomato (*Solanum lycopersicum*) leaves under salinity stress. *Plant Omics J* 6: 268–277.
- Manonmani V, Begum MAJ, Jayanthi M (2014) Halo priming of seeds. *Res J Seed Sci* 7: 1–13.
- Masondo NA, Kulkarni MG, Finnie JF, Van Staden J (2018) Influence of biostimulants-seed-priming on *Ceratotheca triloba* germination and seedling growth under low temperatures, low osmotic potential and salinity stress. *Ecotoxicol Environ Saf* 147: 43–48.
- Matias JR, Ribeiro RC, Aragão CA, Araújo GGL, Dantas BF (2015) Physiological changes in osmo and hydroprimed cucumber seeds germinated in biosaline water. *J Seed Sci* 37(1): 07–15.
- McDonald MB (1999) Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Sci Technol* 27: 177–237.
- McDonald MB (2000) Seed priming. In: Black M, Bewley JD (eds) *Seed technology and its biological basis*. Sheffield Academic Press, Sheffield, pp 287–325.

- Memon NN, Gandahi MB, Pahoja VM, Sharif N (2013) Response of seed priming with boron on germination and seedling sprouts of broccoli. *Int J Agri Sci Res* 3(2): 183–194.
- Miransari M, Smith DL (2014) Plant hormones and seed germination. *Environ Exp Bot* 99: 110–121.
- Mittal R, Dubey RS (1995) Influence of sodium chloride salinity on polyphenol oxidase, indole 3-acetic acid oxidase and catalase activities in rice seedlings differing in salt tolerance. *Trop Sci* 35: 141–149.
- Moghanibashi M, Karimmojeni H, Nikneshan P (2013) Seed treatment to overcome drought and salt stress during germination of sunflower (*Helianthus annuus* L). *J Agrobiol* 30: 89–96.
- Mouradi M, Bouizgaren A, Farissi M, Makoudi B, Kabbadj A, Very AA, Sentenac H, Qaddoury A, Ghoulam C (2016) Osmopriming improves seeds germination, growth, antioxidant responses and membrane stability during early stage of Moroccan alfalfa populations under water deficit. *Chilean J Agric Res* 76(3): 265–272.
- Munns R (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ* 25: 239–250.
- Munns R (2005) Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol* 167: 645–663.
- Munns R, Tester M (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annu Rev Plant Biol* 59: 651–681.
- Murillo-Amador B, López-Aguilar R, Kaya C, Larrinaga-Mayoral J, Flores Hernández A (2002) Comparative effects of NaCl and polyethylene glycol on germination, emergence and seedling growth of cowpea. *J Agron Crop Sci* 188: 235–247.
- Nakaune M, Hanada A, Yin YG, Matsukura C, Yamaguchi S (2012) Molecular and physiological dissection of enhanced seed germination using short-term low concentration salt seed priming in tomato. *Plant Physiol Biotechnol* 52: 28–37.
- Namdari A, Baghbani A (2017) Consequences of seed priming with salicylic acid and hydro priming on *Smooth Vetch* seedling growth under water deficiency. *J Agric Sci* 9(12): 259–267.
- Nascimento WM (2003) Muskmelon seed germination and seedling development in response to seed priming. *Sci Agric* 60(1): 71–75.
- Nascimento WM, Souza DE, Aragão FA (2004) Muskmelon seed priming in relation to seed vigor. *Sci Agric* 61(1): 114–117.

- Nascimento WM, West SH (2000) Drying during muskmelon (*Cucumis melo* L.) seed priming and its effects on seed germination and deterioration. *Seed Sci Technol* 28(1): 211–215.
- Nasri N, Kaddour R, Mahmoudi H, Baatour O, Bouraoui N, Lachaâl M (2011) The effect of osmopriming on germination, seedling growth and phosphatase activities of lettuce under saline condition. *Afr J Biotechnol* 10(65): 14366–14372.
- Nawaz A, Amjad M, Jahangir MM, Khan SM, Cui H, Hu J (2012) Induction of salt tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds through sand priming. *Aust J Crop Sci* 6(7): 1199–1203.
- Nawaz J, Hussain M, Jabbar A, Nadeem GA, Sajid M, Subtain MU, Shabbir I (2013) Seed priming a technique. *Int J Agric Crop Sci* 6(20): 1373–1381.
- Neamatollahi E, Bannayan M, Ghanbari A, Haydari M, Ahmadian A (2009) Does hydro and osmo-priming improve fennel (*Foeniculum vulgare*) seeds germination and seedlings growth? *Notulae Bot Horti Agrobotanici ClujNapoca* 37(2): 190–194.
- Neill SJ, Desikan R, Clarke A, Hancock JT (2002) Nitric oxide is a novel component of abscisic acid signalling in stomatal guard cells. *Plant Physiol* 128: 13–16.
- Nelson H, Govers A (1986) Salt priming of muskmelon seeds for low temperature germination. *Sci Hortic* 28: 85–91.
- Nerson H (2007) Seed production and germinability of cucurbit crops. *Seed Sci Biotechnol* 1(1): 1–10.
- Netondo GW, Onyango JC, Beck E (2004) Sorghum and salinity: II gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop Sci* 44: 806–811.
- Noctor G, Foyer CH (1998) Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 49: 249–279.
- Omami EN (2005) Salt tolerance of amaranth as affected by seed priming, MSc thesis. University of Pretoria, South Africa.
- Ozbay N, Susluoglu Z (2016) Assessment of growth regulator prohexadione calcium as priming agent for germination enhancement of pepper at low temperature. *J Anim Plant Sci* 26(6): 1652–1658.
- Ozbingol N, Corbineau F, Côme D (1998) Responses of tomato seeds to osmoconditioning as related to temperature and oxygen. *Seed Sci Res* 8(3): 377–384.
- Pal A, Ali MA, Pal AK (2017) Effect of seed priming on reserve mobilization, water uptake and antioxidative enzyme activities in germinating seeds of groundnut under salinity stress. *Int J Agric Sci* 9(36): 4542–4545.



- Panda SK, Khan MH (2009) Growth, oxidative damage and antioxidant responses in greengram (*Vigna radiata* L.) under short-term salinity stress and its recovery. *J Agron Crop Sci* 195: 442–454.
- Pandey GK (2017) Mechanism of hormone signaling under stress, vols 1 and 2. Wiley-Blackwell, Hoboken.
- Pandita VK, Anand A, Nagarajan S (2007) Enhancement of seed germination in hot pepper following presowing treatments. *Seed Sci Technol* 35: 282–290.
- Paparella S, Araújo SS, Rossi G, Wijayasinghe M, Carbonera D, Balestrazzi A (2015) Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Rep* 34(8): 1281–1293.
- Parera CA, Cantliffe DJ (1992) Enhanced emergence and seedling vigor in shrunken-2 sweet corn via seed disinfection and solid matrix priming. *J Am Soc Hortic Sci* 117: 400–403.
- Parera CA, Cantliffe DJ (1994) Pre-sowing seed priming. *Hortic Rev* 16: 109-141.
- Parida AK, Das AB (2005) Salt tolerance and salinity effect of plants: a review. *Ecotoxicol Environ Saf* 60: 324–349.
- Pastori GM, Foyer CH (2002) Common components, networks and pathways of cross-tolerance to stress the central role of ‘redox’ and abscisic-acid-mediated controls. *Plant Physiol* 129: 460–468.
- Patade VY, Khatri D, Manoj K, Kumari M, Ahmed Z (2012) Cold tolerance in thiourea primed capsicum seedlings is associated with transcript regulation of stress responsive genes. *Mol Biol Rep* 39: 10603–10613.
- Patade VY, Maya K, Zakwan A (2011) Seed priming mediated germination improvement and tolerance to subsequent exposure to cold and salt stress in capsicum. *Res J Seed Sci* 4(3): 125–136.
- Patade VY, Sujata B, Suprasanna P (2009) Halopriming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. *Agric Ecosyst Environ* 134: 24–28.
- Paul S, Roychoudhury A (2016) Seed priming with spermine ameliorates salinity stress in the germinated seedlings of two rice cultivars differing in their level of salt tolerance. *Trop Plant Res* 3(3): 616–633.
- Paul S, Roychoudhury A (2017) Effect of seed priming with spermine/spermidine on transcriptional regulation of stress-responsive genes in salt-stressed seedlings of an aromatic rice cultivar. *Plant Gene* 11: 133–142.
- Pereira MD, Dias DCFS, Dias LAS, Araújo EF (2009) Primed carrot seeds performance under water and temperature stress. *Sci Agric* 66(2): 174–179.

- Pill WG (1995) Low water potential and presowing germination treatments to improve seed quality. In: Basra S (ed) Seed quality basic mechanisms and agricultural implications. Food Products Press, London, pp 319–360.
- Pill WG, Finch-Savage WE (1988) Effects of combining priming and plant growth regulator treatments on the synchronization of carrot seed germination. *Ann Appl Biol* 113: 383–389.
- Pill WG, Frett JJ, Morneau DC (1991) Germination and seedling emergence of primed tomato and asparagus seeds under adverse conditions. *Hortic Sci* 26: 1160–1162.
- Poonam S, Kaur H, Geetika S (2013) Effect of Jasmonic acid on photosynthetic pigments and stress markers in *Cajanus cajan* (L.) Millsp seedlings under copper stress. *Am J Plant Sci* 4: 817–823.
- Pouramir-Dashtman F, Khajeh-Hosseini M, Esfahani M (2014) Improving rice seedling physiological and biochemical processes under low temperature by seed priming with salicylic acid. *Int J Plant Anim Environ Sci* 4(2): 565.
- Rajjou L, Debeaujon I (2008) Seed longevity: survival and maintenance of high germination ability of dry seeds. *C R Biol* 331: 796–805.
- Rajjou L, Duval M, Gallardo K, Catusse J, Bally J, Job C, Job D (2012) Seed germination and vigor. *Annu Rev Plant Biol* 63: 507–533.
- Raskin I (1992) Role of salicylic acid in plants. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 43: 439–463.
- Rathinasabapathi B, Sigua C, Ho J, Gage DA (2000) Osmoprotectant  $\beta$ -alanine betaine synthesis in the Plumbaginaceae: *S*-adenosyl-l-methionine dependent *N*-methylation of  $\beta$ -alanine to its betaine is via *N*-methyl and *N,N*-dimethyl alanines. *Physiol Plant* 109: 225–231.
- Ratikanta KM (2011) Seed priming: an efficient farmers' technology to improve seedling vigour, seedling establishment and crop productivity. *Int J Bioresour Stress Manag* 2(3): 297.
- Razaji A, Farzanian M, Sayfzadeh S (2014) The effects of seed priming by ascorbic acid on some morphological and biochemical aspects of rapeseed (*Brassica napus* L.) under drought stress condition. *Int J Biosci* 4(1): 432–442.
- Rehman H, Afzal I, Farooq M, Aziz T, Ahmad SM (2012) Improving temperature stress resistance in spring maize by seed priming. In: Proceedings of 3<sup>rd</sup> international conference 'Frontiers in agriculture'. Dankook International Cooperation on Agriculture, Dankook University, Cheonansi, Republic of Korea.

- Rosental L, Nonogaki H, Fait A (2014) Activation and regulation of primary metabolism during seed germination. *Seed Sci Res* 24: 1–15.
- Rowse HR (1996) Drum priming: a non-osmotic method of priming seeds. *Seed Sci Technol* 24(2): 281–294.
- Sadeghi H, Khazaei F, Yari L, Sheidaei S (2011) Effect of seed osmopriming on seed germination behaviour and vigor of soybean (*Glycine max* L). *J Agric Biol Sci* 6: 39–43.
- Sadeghi S, Rahnavard A, Ashrafi ZY (2009) Study of respond seeds wheat (*Triticum aestivum* L.) to osmotic priming, temperatures and local seed masses. *Bot Res Int* 2(2): 69–73.
- Saeedipour S (2013) Effect of phytohormone seed priming on germination and seedling growth of cowpea (*Vigna sinensis* L.) under different duration of treatment. *Int J Biosci* 3(12): 187–192.
- Sakamoto A, Murata N (2000) Genetic engineering of glycinebetaine synthesis in plants: current status and implications for enhancement of stress tolerance. *J Exp Bot* 51: 81–88.
- Sakhabutdinova R, Fatkhutdinova DR, Bezrukova MV, Shakirova FM (2003) Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. *Bulg J Plant Physiol Special Issue*: 314–319.
- Salama KHA, Ahmed HFS, El-Araby MMA (2015) Interaction of exogenous abscisic acid and salinity on the lipid root plasma membrane of *Phaseolus vulgaris* L. *Egypt J Exp Biol (Bot)* 11: 189–196.
- Salama KHA, Mansour MMF (2015) Choline priming-induced plasma membrane lipid alterations contributed to improved wheat salt tolerance. *Acta Physiol Plant* 37: 1–7.
- Salama KHA, Mansour MMF, Hassan NS (2011) Choline priming improves salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L). *Aust J Basic Appl Sci* 5: 126–132.
- Saranya N, Renugadevi J, Raja K, Rajashree V, Hemalatha G (2017) Seed priming studies for vigour enhancement in onion CO onion. *J Pharmacogn Phytochem* 6(3): 77–82.
- Schwember AR, Bradford KJ (2005) Drying rates following priming affect temperature sensitivity of germination and longevity of lettuce seeds. *Hortic Sci* 40: 778–781.
- Schwember AR, Bradford KJ (2010) A genetic locus and gene expression patterns associated with the priming effect on lettuce seed germination at elevated temperatures. *Plant Mol Biol* 73: 105–118.
- Sedghi M, Amanpour-Balaneji B, Bakhshi J (2014) Physiological enhancement of medicinal pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* var styriaca) with different priming methods. *Iran J Plant Physiol* 5(1): 1209–1215.

- Sedghi M, Nemati A, Esmailpour B (2010) Effect of seed priming on germination and seedling growth of two medicinal plants under salinity. *Emirates J Food Agric* 22(2): 130–139.
- Sen SK, Mandal P (2016) Solid matrix priming with chitosan enhances seed germination and seedling invigoration in mung bean under salinity stress. *J Cent Eur Agric* 17(3): 749–762.
- Senaratna T, Touchel D, Bumm E, Dixon K (2000) Acetyl salicylic acid induces multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regul* 30: 157–161.
- Shafi M, Bakht J, Hassan MJ, Raziuddin M, Zhang GP (2009) Effect of cadmium and salinity stresses on growth and antioxidant enzyme activities of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Bull Environ Contam Toxicol* 82: 772–776.
- Shah AR, Ara N, Shafi G (2011) Seed priming with phosphorus increased germination and yield of okra. *Afr J Agric Res* 6(16): 3859–3876.
- Shahverdi MA, Omidi H, Tabatabaei SJ (2017) Effect of nutri-priming on germination indices and physiological characteristics of *stevia* seedling under salinity stress. *J Seed Sci* 39(4): 353–362.
- Shao HB, Liang ZS, Shao MA (2005) Changes of anti-oxidative enzymes and MDA content under soil water deficits among 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at maturation stage. *Colloids Surf B Biointerfaces* 45(1): 7–13.
- Sharma AD, Rathore SVS, Srinivasan K, Tyagi RK (2014) Comparison of various seed priming methods for seed germination, seedling vigour and fruit yield in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). *Sci Hortic* 165(22): 75–81.
- Sharma KK, Singh US, Sharma P, Kumar A, Sharma L (2015) Seed treatments for sustainable agriculture – a review. *J Appl Nat Sci* 7: 521–539.
- Sharma P, Dubey RS (2007) Involvement of oxidative stress and role of antioxidative defense system in growing rice seedlings exposed to toxic concentrations of aluminum. *J Plant Cell Rep* 26: 2027–2038.
- Sharma SN, Maheshwari A (2015) Expression patterns of DNA repair genes associated with priming small and large chickpea (*Cicer arietinum*) seeds. *Seed Sci Technol* 43: 250–261.
- Sheteiwiy M, Shen H, Xu J, Guan Y, Song W, Hu J (2017) Seed polyamines metabolism induced by seed priming with spermidine and 5-aminolevulinic acid for chilling tolerance improvement in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Environ Exp Bot* 137: 58–72.

- Sheteiwy MS, An J, Yin M, Jia X, Guan Y, He F, Hu J (2018) Cold plasma treatment and exogenous salicylic acid priming enhances salinity tolerance of *Oryza sativa* seedlings. *Protoplasma* 8: 1–21.
- Singh PK, Pandita VK, Tomar BS, Seth R (2014) Germination and field emergence in osmotic and solid matrix priming in onion (*Allium cepa*.) *Indian J Agric Sci* 84(12): 1561–1564.
- Siri B, Vichitphan K, Kaewnaree P, Vichitphan S, Klanrit P (2013) Improvement of quality, membrane integrity and antioxidant systems in sweet pepper (*Capsicum annuum* Linn) seeds affected by osmopriming. *Aust J Crop Sci* 7(13): 2068–2073.
- Sivritepe N, Sivritepe HO, Eris A (2003) The effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions. *Sci Hortic* 97: 229–237
- Sivritepe HO, Sivritepe N, Eris A, Turhan E (2005) The effects of NaCl pretreatments on salt tolerance of melons grown under long-term salinity. *Sci Hortic* 106: 568–581.
- Smirnoff N (2005) Ascorbate, tocopherol and carotenoids: metabolism, pathway engineering and functions. In: Smirnoff N (ed) *Antioxidants and reactive oxygen species in plants*. Blackwell, Oxford, pp 53–86.
- Smith PT, Comb BG (1991) Physiological and enzymatic activity of pepper seeds (*Capsicum annuum*) during priming. *Physiol Plant* 82: 433–439.
- Soeda Y, Konings MCJM, Vorst O, van Houwelingen AMML, Stoop GM, Maliepaard CA, Kodde J, Bino RJ, Groot SPC, van der Geest AHM (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 Physiol* 137: 354–368.
- Sohail SA, Chaurasia AK, Bara BM (2018) Effect of different seed priming methods on germination and vigour of Kabuli Chickpea (*Cicer kabulium* L.) seeds. *Int J Curr Microbiol App Sci* 7(8): 1396–1404.
- Soos V, Juhasz A, Light ME, Van Staden J, Balazs E (2009) Smoke-water induced changes of expression pattern in Grand Rapids lettuce achenes. *Seed Sci Res* 19: 37–49.
- Sowmya KJ, Rame G, Bhanuprakash K, Yogeasha HS, Puttaraju TB, Channakeshava BC (2013) Enhancement of seed quality through Chemopriming in cucumber (*Cucumis sativus* L). *Mysore J Agric Sci* 47(1): 22–30.
- Srivastava AK, Lokhande VH, Patade VY, Suprasanna P, Sjahril R, D'Souza SF (2010) Comparative evaluation of hydro, chemo, and hormonal-priming methods for imparting salt and PEG stress tolerance in Indian mustard (*Brassica juncea* L). *Acta Physiol Plant* 32: 1135–1144.

- Su J, Hirji R, Zhang L, He C, Selvaraj G, Wu R (2006) Evaluation of the stress inducible production of choline oxidase in transgenic rice as a strategy for producing the stress-protectant glycine betaine. *J Exp Bot* 57: 1129–1135.
- Sugie A, Naydenov N, Mizuno N, Nakamura C, Takumi S (2006) Overexpression of wheat alternative oxidase gene *Waox1a* alters respiration capacity and response to reactive oxygen species under low temperature in transgenic *Arabidopsis*. *Genes Genet Syst* 81: 349–354.
- Sun YY, Sun YJ, Wang MT, Li XY, Guo X, Hu R, Jun MA (2010) Effects of seed priming on germination and seedling growth under water stress in rice. *Acta Agron Sin* 36(11): 1931–1940.
- Sung Y, Cantliffe DJR, Nagata T, Nascimento WM (2008) Structural changes in lettuce seed during germination at high temperature altered by genotype, seed maturation temperature, and seed priming. *J Am Soc Hortic Sci* 133: 167–311.
- Suzuki N, Koussevitzky S, Mittler R, Miller G (2012) ROS and redox signaling in the response of plants to abiotic stress. *Plant Cell Environ* 35: 259–270.
- Suzuki N, Mittler R (2006) Reactive oxygen species and temperature stresses: a delicate balance between signaling and destruction. *Physiol Plant* 126: 45–51.
- Szalai G, TariJanda LT, Pestenacz A, Paldi E (2000) Effects of cold acclimation and salicylic acid on changes in ACC and MACC contents in maize during chilling. *Biol Plant* 43: 637–640.
- Takahashi T, Kakehi JI (2010) Polyamines: ubiquitous polycations with unique roles in growth and stress responses. *Ann Bot* 105: 1–6.
- Tanou G, Fotopoulos V, Molassiotis A (2012) Priming against environmental challenges and proteomics in plants: update and agricultural perspectives. *Front Plant Sci* 3: 216.
- Tavili A, Zare S, Moosavi SA, Enayati A (2011) Effects of seed priming on germination characteristics of *Bromus* species under salt and drought conditions *Amer-Eurasian. J Agric Environ Sci* 10: 163–168.
- Taylor AG, Allen PS, Bennet MA, Bradford KJ, Burris JS, Misra MK (1998) Seed enhancements. *Seed Sci Res* 8: 245–256.
- Taylor AG, Beresniewicz MM, Goffnet MC (1997) Semipermeable layer in seeds. In: Ellis RH, Black M, Murdoch AJ, Hong TD (eds) *Basic and applied aspects of seeds biology*. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, pp 429–436.
- Thakur P, Kumar S, Malik JA, Berger JD, Nayyar H (2010) Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview. *Environ Exp Bot* 67(3): 429–443.

- Thomas UC, Varughese K, Thomas A, Sadanandan S (2000) Seed priming for increased vigour, viability and productivity of upland rice. *Leisa India* 4: 14-29.
- Tzortzakis NG (2009) Effect of pre-sowing treatment on seed germination and seedling vigour in endive and chicory. *Hortic Sci* 36(3): 117-125.
- Variet A, Vari AK, Dadlani M (2010) The sub cellular basis of seed priming. *Curr Sci* 99: 450-456.
- Ventura L, Donà M, Macovei A, Carbonera D, Buttafava A, Mondoni A et al (2012) Understanding the molecular pathways associated with seed vigor. *Plant Physiol Biochem* 60: 196-206.
- Vranova E, Inze D, Van Brensegem F (2002) Signal transduction during oxidative stress. *J Exp Bot* 53(372): 1227-1236.
- Wang W, He A, Peng S, Huang J, Cui K, Nie L (2018) The effect of storage condition and duration on the deterioration of primed rice seeds. *Front Plant Sci* 9: 172.
- Wang WB, Kim YH, Lee HS, Kim KY, Deng XP, Kwak SS (2009) Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. *Plant Physiol Biochem* 47: 570-577.
- Waterworth WM, Masnavi G, Bhardwaj RM, Jiang Q, Bray CM, West CE (2010) A plant DNA ligase is an important determinant of seed longevity. *Plant J* 63: 848-886.
- Watson MB, Malmberg RL (1998) Arginine decarboxylase (polyamine synthesis) mutants of *Arabidopsis thaliana* exhibit altered root growth. *Plant J* 13: 231-239.
- Weisany W, Sohrabi Y, Heidari G, Siosemardeh A, Ghassemi-Golezani K (2012) Changes in antioxidant enzymes activity and plant performance by salinity stress and zinc application in soybean (*Glycine max* L). *Plant Omics J* 5: 60-67.
- Welbaum GE, Bradford KJ (1989) Water relations of seed development and germination in muskmelon (*Cucumis melo* L.) IV characteristics of the perisperm during seed development. *Plant Physiol* 92: 1038-1045.
- Welbaum GE, Bradford KJ (1990) Water relations of seed development and germination in muskmelon (*Cucumis melo* L.) IV characteristics of the perisperm during seed development. *Plant Physiol* 92: 1038-1045.
- Welbaum GE, Shen Z, Oluoch MO, Jett LM (1998) The evolution and effects of priming vegetable seeds. *Seed Technol* 20: 209-235.
- Wheeler TR, Ellis RH (1994) Effects of seed quality and temperature on pre emergence root growth of seedlings on onion (*Allium cepa* L). *Seed Sci Technol* 22: 141-148.

- Wojtyla L, Lechowska K, Kubala S, Garnczarska M (2016) Molecular processes induced in primed seeds increasing the potential to stabilize crop yields under drought conditions. *J Plant Physiol* 203: 116–126.
- Xiong L, Zhu JK (2002) Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. *Plant Cell Environ* 25: 131–139.
- Xu H, Wei Y, Zhu Y, Lian L, Xie H, Cai Q et al (2015) Antisense suppression of *Lox3* gene expression in rice endosperm enhances seed longevity. *Plant Biotechnol J* 13: 526–539.
- Yacoubi R, Job C, Belghazi M, Chaibi W, Job D (2013) Proteomic analysis of the enhancement of seed vigour in osmoprimed alfalfa seeds germinated under salinity stress. *Seed Sci Res* 23: 99–110.
- Yan Z, Chen J, Li X (2013) Methyl jasmonate as modulator of Cd toxicity in *Capsicum frutescens* var *fasciculatum* seedlings. *Ecotoxicol Environ Saf* 98: 203–209.
- Yang Y, Yao Y, Zhang X (2010) Comparison of growth and physiological responses to severe drought between two altitudinal *Hippoph aerhamnoides* populations. *Silva Fennica* 44: 603–614.
- Yeung YR, Wilson DO, Murray GA (1995) Oxygen regulates imbibition of muskmelon seeds. *Seed Sci Technol* 23: 843–850.
- Yi H, Liu X, Yi M, Chen G (2014) Dual role of hydrogen peroxide in *Arabidopsis* guard cells in response to sulfur dioxide. *Adv Toxicol* 4:68-75.
- Yoon JY, Hamayun M, Lee SK, Lee IJ (2009) Methyl jasmonate alleviated salinity stress in soybean. *J Crop Sci Biotechnol* 12: 63–68.
- Younesi O, Moradi A (2015) Effect of priming of seeds of *Medicago sativa* ‘bami’ with gibberellic acid on germination, seedlings growth and antioxidant enzymes activity under salinity stress. *J Hortic Res* 22: 167–174.
- Yucel NC, Heybet EH (2016) Salicylic acid and calcium treatments improves wheat vigor, lipids and phenolics under high salinity. *Acta Chim Slov* 63: 738-746.
- Yurekli F, Porgali ZB, Turkan I (2004) Variations in abscisic acid, indole-3-acetic acid, gibberellic acid and zeatin concentrations in two bean species subjected to salt stress. *Acta Bio Cracov Ser Bot* 46: 201–212.
- Zanganeh R, Jamei R, Rahmani F (2018) Impacts of seed priming with salicylic acid and sodium hydrosulfide on possible metabolic pathway of two amino acids in maize plant under lead stress. *Mol Biol Res Commun* 7(2): 83–88.



- Zavariyan A, Rad M, Asghari M (2015) Effect of seed priming by potassium nitrate on germination and biochemical indices in *Silybum marianum* L. under salinity stress. *Int J Life Sci* 9: 23–29.
- Zhang F, Yu J, Johnston CR, Wang Y, Zhu K, Lu F, Zhang Z, Zou J (2015) Seed priming with polyethylene glycol induces physiological changes in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) seedlings under suboptimal soil moisture environments. *PLoS One* 10: e0140620.
- Zhang HJ, Zhang N, Yang RC, Wang L, Sun QQ, Li DB, Cao YY, Weeda S, Zhao B, Ren S, Guo YD (2014) Melatonin promotes seed germination under high salinity by regulating antioxidant systems, ABA and GA4 interaction in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *J Pineal Res* 57: 269–279.
- Zhang S, Gao J, Song J, Zhang SG, Gao JY, Song JZ (1999) Effects of salicylic acid and aspirin on wheat seed germination under salt stress. *Plant Physiol* 35: 29–32.
- Zhang S, Hu J, Zhang Y, Xie XJ, Knapp A (2007) Seed priming with brassinolide improves Lucerne (*Medicago sativa* L.) seed germination and seedling growth in relation to physiological changes under salinity stress. *Aust J Agric Res* 58(8): 811-817.
- Zheng M, Tao Y, Hussain S, Jiang Q, Peng S, Huang J, Cui K, Nie L (2016) Seed priming in dry direct-seeded rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under drought stress. *Plant Growth Regul* 78: 167–178.
- Zhong YP, Wang B, Yan JH, Cheng LJ, Yao LM, Xiao L, Wu TL (2014) DL- $\beta$  amino butyric acid induced resistance in soybean against *Aphis glycines* Matsumura (*Hemiptera: Aphididae*). *PLoS One* 9(1): 1–11.
- Zhu S, Zhang X, Luo T, Liu Q, Tang Z, Jing Z (2011) Effects of NaCl stress on seed germination, early seedling growth and physiological characteristics of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var *botrytis* L.). *Afr J Biotechnol* 10(78): 17940–17947.
- Zimmerli L, Hou BH, Tsai CH, Jakab G, Mauch-Mani B, Omerville S (2008) The xenobiotic betaamino butyric acid enhances *Arabidopsis* thermo-tolerance. *Plant J* 53(1): 144–156.

## فصل سوم

جنبه‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و

مولکولی پیش‌تیمار بذر برنج





### ۳-۱- مقدمه

تغییر در الگوهای آب‌وهوایی، وقوع تنش‌های زیستی و غیر زیستی را به دنبال خواهند داشت. این تنش‌ها به‌طور کلی وابسته به هم هستند و تغییرات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مولکولی نامطلوبی را ایجاد می‌کنند که بر رشد و توسعه گیاه و در نهایت عملکرد برنج اثر می‌گذارد. پیش‌تیمار بذر برنج، استراتژی مؤثری برای بهره‌مندی از تحمل تنش غیر زیستی همراه با تقویت دفاعی این گیاه زراعی است. در پیش‌تیمار بذر برنج، تیمارهای پیش از کاشت، میزان جذب آب را در داخل بذر کنترل می‌کنند و در عین جلوگیری از ظهور ریشه‌چه، اجازه‌ی پیشروی فرایندهای متابولیکی پیش از جوانه‌زنی را می‌دهند (حسین و همکاران، ۲۰۱۵؛ لاتس و همکاران، ۲۰۱۶؛ زنگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۶a). این رویداد به‌واسطه‌ی فعال‌سازی افزایش‌یافته‌ی مکانیسم‌های دفاعی گیاه توضیح داده می‌شود (آندرسون و همکاران، ۲۰۱۷). محرک‌های حاصل از نشانه‌های غیر زیستی به‌واسطه‌ی اعمال به‌عنوان سیگنال‌های هشدار می‌توانند استقرار پیش‌تیمار را برانگیزند (ماچ-مانی و همکاران، ۲۰۱۷). به‌طوری‌که به‌محض دریافت محرک‌ها، عموماً تغییراتی در بذر برنج در سطوح فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی رخ می‌دهند.

پیش‌تیمار بذر برنج، فرایندهای فیزیولوژیک مربوط به جوانه‌زنی را تسریع می‌بخشد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ریشه، کارایی فتوسنتزی، تولید وزن خشک و سایر پارامترهای مربوط به افزایش رشد در گیاهان را بهبود می‌دهند (حسین و همکاران، ۲۰۱۶a). پیش‌تیمار بذر از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک (مانند آلفا‌آمیلاز) و سطوح قند محلول در طی فرایند جوانه‌زنی، میزان جذب نیتروژن و وضعیت بیوشیمیایی را

در طول دوره رشد برنج ارتقا می‌بخشد (شارما و بوس، ۲۰۰۶؛ آنیتولا و بوس، ۲۰۰۷). همچنین بررسی‌های مختلف حاکی از آن است که پیش‌تیمار بذر در افزایش جوانه‌زنی و رشد گیاهان زراعی تحت تنش‌های غیر زیستی به‌خوبی اثبات شده است (کایا و همکاران، ۲۰۰۶؛ زانگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ زو و همکاران، ۲۰۰۹؛ جیشا و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ زنگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۸ و b). گیاهچه‌های برنج حاصل از بذرهای پرایم‌شده به علت فعالیت‌ها/سطوح افزایش‌یافته‌ی گلوکاتیون ردوکتاز (GR)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، اسید آسکوربیک (ASA) و تنظیم پروتئین‌های تنش از قبیل آکوآپورین‌ها<sup>۱</sup> (AQP)، دهیدرین‌ها<sup>۲</sup> (DHN) و پروتئین‌های فراوان اواخر جنین‌زایی (LEA<sup>۳</sup>)، سیستم آنتی‌اکسیداتیو بهتری را نشان دادند (وچسبرگ و همکاران، ۱۹۹۴؛ فاشوی ۲۰۰۲؛ بولخینا و همکاران، ۲۰۰۳؛ آنایتولا و همکاران، ۲۰۱۲؛ چن و همکاران، ۲۰۱۳). در پیش‌تیمار بذر برنج، بذرهای برای آغاز فرایندهای متابولیک معین از قبیل سنتز پروتئین و ساخت یا ترمیم میتوکندری‌ها، در انواع گوناگونی از محلول‌ها هیدراته می‌شوند که جوانه‌زنی اولیه را بهبود می‌بخشد (برای و همکاران، ۱۹۸۹؛ جیشا و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۵).

این فصل به بررسی نقش پیش‌تیمار بذر برنج در تلفیق مکانیسم‌های فیزیو-بیوشیمیایی و مولکولی در طول مراحل جوانه‌زنی و پس از جوانه‌زنی می‌پردازد. همچنین در مورد اساس افزایش واکنش به تنش زیستی القاء شده توسط پیش‌تیمار بذر در گیاهان زراعی در طول مراحل رشدی متفاوت آنها بحث می‌کند.

---

1 Aquaporin

2 Dehydrins

3 Late embryogenesis abundant protein

## ۳-۲- متابولیسم پیش از جوانه‌زنی

بررسی جنبه‌های فیزیولوژیکی پیش تیمار با شروع فرایند جذب آب در بذر برنج، تغییرات متابولیک گوناگون را به بذر تحمیل می‌کند (برای و همکاران، ۱۹۸۹؛ برای، ۱۹۹۵؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵). به علت آنگیری مجدد در پیش تیمار بذر، فرایندهای سلولی عمده آن مانند ساخت مجدد پروتئین‌ها و نوکلئیک‌اسیدها، تولید آدنوزین تری‌فسفات (ATP)، فعال‌سازی تجمع آنتی‌اکسیدان‌های فسفولیپیدها و استرول‌ها و مکانیسم‌های ترمیم DNA تنظیم می‌شوند (پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵). بذرهای برنج عموماً در طی مراحل ابتدایی جوانه‌زنی خود با تنش‌های غیر زیستی مثل سرما مواجه می‌شوند و بنابراین، آسیب اکسیداتیو نوکلئیک‌اسیدها، لیپیدها و پروتئین‌ها، پدیده‌ای نامتعارف نیست (کرانر و همکاران، ۲۰۱۰). در خلال این چهارچوب، واکنش ترمیم غشا برای حفظ شاخص بنیه بذر و جوانه‌زنی مطلوب، مهم است (اوگه و همکاران، ۲۰۰۸). ترمیم مطلوب آسیب DNA به سلول‌های جنینی اجازه می‌دهد تا مجدداً توسعه‌ی چرخه‌ی سلول را آغاز کنند و همانندسازی DNA رخ می‌دهد. با این وجود، آسیب اکسیداتیو به علت مکانیسم‌های ترمیم DNA معیوب، منجر به مرگ سلول می‌شود (کرانر و همکاران، ۲۰۱۰؛ بالسترازی و همکاران، ۲۰۱۱b؛ واترروس و همکاران، ۲۰۱۱؛ ونتورا و همکاران، ۲۰۱۲).

پیش تیمار منجر به افزایش قابلیت حل شدن پروتئین‌های ذخیره‌ای در بذر، افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیداتیو (بورگنه و همکاران، ۲۰۰۰؛ راندر و شتی، ۲۰۰۵) و کاهش نرخ پراکسیداسیون لیپید در برنج می‌شوند. آنالیز پروتئوم جوانه‌زنی بذر برنج بعد از پیش تیمار، منجر به شناسایی پروتئین‌های ذخیره‌ای گوناگونی شد که به‌طور ویژه‌ای در طی پیش تیمار بذر (پیش تیمار با آب و ترکیبات اُسمزی) ظاهر می‌شوند. سونگ و چانگ (۱۹۹۳) گزارش کردند که سایر آنزیم‌های تحرک‌بخشی ذخیره‌ای از قبیل ایزوسیترات‌لیاز<sup>۱</sup> (برای تحرک بخشیدن لیپیدها) و هیدرات کربن‌ها (آمیلازها) نیز در طی تیمارهای پیش تیمار بذر رها

1 Isocitrate lyase

می‌شوند. در بذره‌های تحت فرایند پیش‌تیمار، شمار قابل‌توجه از میتوکندری‌ها نیز در سلول‌های آسموپرایم‌شده‌ی برنج مشاهده شده است. در طی تیمارهای پیش‌تیمار بذر برنج، اصلاح زیر واحدهای آلفا- و بتا-توبولین پروتئین‌ها که در تقسیم سلولی دارای اهمیت خاصی هستند نیز توسط وایر و همکاران (۲۰۱۰) مورد توجه قرار گرفتند. مکانیسم ترمیم DNA، جزء مهمی از «متابولیسم پیش از جوانه‌زنی» است که با آغاز اشباع بذر فعال می‌شود و همراه با انباشت کنترل نشده‌ی انواع فعال اکسیژن (ROS) است (پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵). بررسی‌های مختلف نشان داده است که فرایندهای عمده‌ی ترمیم DNA از قبیل نوکلئوتید<sup>۱</sup>-(NER) و ترمیم برش پایه<sup>۲</sup> (BER) در طی مرحله اولیه‌ی اشباع بذر برای تقویت یکپارچگی ژنوم برانگیخته می‌شوند (بالسترازی و همکاران، ۲۰۱۲؛ کوردوبا-کانرو و همکاران، ۲۰۱۴)؛ پاپارلا و همکاران، (۲۰۱۵).

فعالیت‌های افزایش‌یافته‌ی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اجازه‌ی کنترل انباشت ROS در طول جذب آب توسط بذر (فرایند اشباع) را می‌دهند (بایلی و همکاران، ۲۰۰۰؛ سو و همکاران، ۲۰۰۳). آنزیم‌های مهارکننده ROS در بذر برنج، تحت عنوان پتانسیل آنتی‌اکسیدانی بذر تعریف می‌شود و از عوامل ضروری برای بالابردن جوانه‌زنی نهایی می‌باشند. واکنش آنتی‌اکسیداتیو بذر برنج را می‌توان توسط نظارت پروفایل‌های بیان ژن‌های کد کننده‌ی آنتی‌اکسیدانت آنزیمی از قبیل SOD ارزیابی نمود که در کاهش رادیکال‌های آزاد اکسیژن مهم است (یائو و همکاران، ۲۰۱۲؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵). بعلاوه، رونویسی برخی آنتی‌اکسیدان‌های دیگر از قبیل CAT<sup>۳</sup>، APX<sup>۴</sup> و GR<sup>۵</sup> افزایش‌یافته و همچنین سطح فعالیت آنزیم، نشان‌دهنده‌ی فعال‌سازی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی است (چن و همکاران، ۲۰۱۴؛ ماکووی و همکاران، ۲۰۱۴؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵). به‌طور

---

1 Nucleotide

2 Base excision repair

3 Catalase

4 Ascorbate peroxidase

5 Glutathione reductase

خلاصه، پیش تیمار بذر برنج، عملکردهای حفاظتی گوناگون منسوب به تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی در طی مرحله پیش از جوانه‌زنی بذر را فعال کرده و موجب جوانه‌زنی سریع‌تر و استقرار گیاهچه‌ی قوی‌تر می‌شود.

### ۳-۳- جذب بهتر آب و رشد گیاهچه‌ی قوی بذر

پیش تیمار بذر برنج ممکن است با ارتقاء تغییرات ساختاری و فراساختاری در بذر، فرایندهای جذب آب را تسریع می‌بخشد و منجر به یکنواخت شدن رویش گیاهچه و استقرار بهتر پایه‌ی گیاهچه این گیاه زراعی می‌شود. اولین مرحله جوانه‌زنی (مرحله اشباع) که با جذب آب توسط بذر برنج شروع می‌شود، از نظر جذب آب و زمان در هر دو بذر تیمار شده با پیش تیمار و بدون پیش تیمار مشابه است. در طی مرحله II (مرحله تأخیر) جوانه‌زنی در بذره‌ای پرایم‌شده برنج، تیمار آبدارگی اجازه‌ی جذب کنترل‌شده‌ی آب توسط بذر دارای قابلیت زیستی و غیر زیستی را می‌دهد و فرایند متابولیک پیش از جوانه‌زنی را تحریک می‌کند، اما از ظهور ریشه‌چه جلوگیری می‌شود و به‌واسطه‌ی مرحله تأخیر گسترش‌یافته مشخص می‌شود. مرحله III (مرحله برآمدگی ریشه‌چه) نیز در تیمار شده با پیش تیمار و بدون پیش تیمار برنج مشابه است و مراحل جوانه‌زنی و پس از جوانه‌زنی را پوشش می‌دهد (راجو و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین بذره‌ای پرایم‌شده برنج، فعالیت‌های بالاتری از بسیاری از آنزیم‌ها برای سوخت و ساز پروتئین‌ها (پروتئازها)، هیدرات کربن‌ها (آلفا و بتا آمیلازها) و لیپیدهای (ایزوسیترات لیاز) درگیر در تحرک‌بخشی به مواد ذخیره‌ای در بذرها را نشان دادند (واریر و همکاران، ۲۰۱۰؛ سیسودیا و همکاران، ۲۰۱۸). این آنزیم‌ها، نقش محوری در شکستن ماکرومولکول‌ها به‌منظور رشد و توسعه‌ی جنین بازی می‌کنند و تأثیر مثبتی را بر روی سرعت جوانه‌زنی و توسعه سریع‌تر گیاهچه برنج می‌گذارند (واریر و همکاران، ۲۰۱۰). پیش تیمار بذر برنج می‌تواند دوره‌ی خواب را بشکند، زمان رویش گیاهچه را کوتاه کند، شاخص بنیه بذر را بهبود بخشد و منجر به جوانه‌زنی بهتر و رشد این گیاه زراعی می‌شود.



پیش‌تیمار بذر برنج با بیوفلاونوئید<sup>۱</sup> به طویل شدن ریشه و ساقه کمک کرد و سطوح رنگدانه‌های فتوسنتزی، فلاونوئیدها و ترکیبات فنولی‌ها را افزایش می‌دهد (سینگ و همکاران، ۲۰۱۶). بوس و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند که پیش‌تیمار بذر با پلی‌اتیلن‌گلیکول در شرایط تنش غیر زیستی به‌طور قابل‌توجهی سطوح رنگدانه‌های فتوسنتزی را بهبود بخشید.

### ۳-۴- تنظیم اُسمزی

گزارش‌شده است که پیش‌تیمار بذر برنج، زمان مراحل اشباع (مرحله I) و تأخیر (مرحله II) را کوتاه می‌کند (خان و همکاران، ۲۰۰۹؛ ابراهیم، ۲۰۱۶). تورم جنین در داخل بذر برنج از طریق تسهیل جذب آب، فرایند جوانه‌زنی را تسریع می‌کند. تجمع اُسمولیت‌ها (به‌عنوان مثال، قندها)، مکانیسم تعیین‌کننده‌ی تحمل تنش گیاه است (ابراهیم ۲۰۱۶) که پتانسیل اُسمزی<sup>۲</sup> (OP) سلول را کاهش می‌دهد و تنظیم اُسمزی<sup>۳</sup> (OA) را تحت شرایط محیطی ناسازگار مجاز می‌سازد (ماتیاس و همکاران، ۲۰۱۵؛ کوبالا و همکاران، ۲۰۱۶b؛ ابراهیم، ۲۰۱۶). در پیش‌تیمار، در طول وقفه‌ی جوانه‌زنی به‌واسطه‌ی ماتریکس جزئی پتانسیل اُسمزی پایین محیط کشت در حال اشباع، تشدید تغییرات فیزیولوژیکی و همچنین بیوشیمیایی رخ می‌دهد. ترکیبات حل‌شده یا نمک‌های آلی غیرقابل نفوذ در پیش‌تیمار ماتریس جامد و پیش‌تیمار اُسمزی برای به وجود آوردن موازنه‌ی پتانسیل آب بین بذر برنج و محیط کشت مورد نیاز مطلوب استفاده می‌شوند. پیش‌تیمار بذر برنج با کلرید سدیم می‌تواند به‌واسطه‌ی تجمع اُسمولیت‌ها و بالابردن سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی برای تنظیم اُسمزی، اثرات سمی تنش شوری را بهبود بخشد (سها و همکاران، ۲۰۱۰). پیش‌تیمار بذر برنج با آمینوبوتیریک اسید<sup>۴</sup> (GABA) در برقراری پتانسیل اُسمزی ایده‌آل در این گیاه مفید

1 Bioflavonoid

2 Osmotic potential

3 Osmotic adjustment

4 Gamma Aminobutyric Acid

بود که بذر برنج را قادر به زنده ماندن تحت شرایط تنش آسمزی بدون اختلال کارکردهای طبیعی سلول می‌سازد. پتانسیل آسمزی پایین‌تر با تغییر کمتر در میزان آب برگ، تنظیم آسمزی بهتری را در حین مواجهه با تنش آسمزی نشان داد (هینکلی و همکاران، ۱۹۸۰). تجمع بالاتر پرولین<sup>۱</sup> (Pro) نیز یکی از واکنش‌های معمول گیاه برنج به تنش آسمزی است (اشرف و فولاد، ۲۰۰۷). پرولین، پتانسیل اکسایش-کاهش سلولی را تنظیم می‌کند، ماکرومولکول‌ها و ساختارهای فرعی سلولی را تثبیت می‌کند و ژن‌ها/پروتئین‌های دارای عکس‌العمل سریع به تنش را به راه می‌اندازد (زبادوس و ساوویر، ۲۰۱۰). در طول تنش آسمزی، تجمع پرولین، اساساً به علت کاهش تخریب و افزایش سنتز اتفاق می‌افتد (ور بروگن و هرمانس، ۲۰۰۸) و اندکی نیز به علت سیگنال اسید آبسزیک<sup>۲</sup> (ABA) و پراکسید هیدروژن<sup>۳</sup> (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) رخ می‌دهد (رجب و همکاران، ۲۰۱۴). در حین بررسی بر روی گیاهچه‌های برنج، اثبات شده است که پراکسید هیدروژن منجر به تجمع پرولین شده و بیان ژن آلفا پرولین-۵-کربوکسیلات سنتتاز را در ریشه و کولئوپتیل اصلاح می‌کند. اگرچه تجمع پرولین در بذره‌ای تیمار شده با پیش تیمار گزارش شده است (فرهودی و همکاران، ۲۰۱۱)، درگیری پراکسید هیدروژن و بیان ژن مفروض در این فرایند کمتر شناخته شده است.

### ۳-۵- خصوصیات غشاء

اکسیداسیون خودکار متابولیت‌های ذخیره‌ای اندوخته شده در طول ذخیره‌سازی بذر احتمالاً منجر به پراکسیداسیون لیپید می‌شود که بعلاوه ممکن است اجزا و غشاءها را مختل کند (راکشیت و سینگ، ۲۰۱۸). ذخیره‌سازی طولانی‌مدت بذر برنج بر فعالیت‌ها و عملکردهای آنزیم‌های گوناگون و اندام‌های سلولی اثر می‌گذارد و در نهایت زنده‌مانی و بنیه گیاهچه را کاهش می‌دهد (راکشیت و سینگ، ۲۰۱۸). در طی پیش تیمار بذر برنج، مرحله

1 Proline

2 Abscisic acid

3 Hydrogen peroxide

اولیه (مرحله I یا مرحله اشباع) به‌واسطه‌ی ترمیم میتوکندری‌ها و DNA، تنفس افزایش یافته و متابولیسم انرژی، آغاز چرخه‌ی سلول، سیگنال هورمونی، رونویسی و ترجمه‌ی ژن و تنظیم ژن‌های واکنش‌دهنده به تنش، فعال‌سازی حافظه‌ی پیش‌تیمار، سیگنال ROS و تنظیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را به‌دنبال خواهد داشت (راکشیت و سینگ، ۲۰۱۸). در طی مرحله تأخیر، فعال‌سازی حافظه‌ی پیش‌تیمار و ساخت پروتئین از طریق mRNA به‌محض آبیگری مجدد به کار گرفته می‌شوند. در مرحله‌ی پیش از جوانه‌زنی، تحرک بخشیدن به مواد ذخیره‌ای و طویل شدن سلول‌های ریشه‌چه رخ می‌دهد و پس از پارگی پوسته خارجی بذر (پوشش بذر)، ریشه‌چه ظاهر می‌شود (چن و آروا، ۲۰۱۳). تیمارهای پیش‌تیمار بذر برنج، جذب فعال یون‌ها را همراه با دسترس‌پذیری بالاتر ATP به راه می‌اندازند و با کاهش اتصال متابولیت‌ها از طریق ترمیم بخش‌های رو به فرسودگی بذر منجر به بهبود رشد جنین می‌شوند (دهال و همکاران، ۱۹۹۰). پیش‌تیمار بذر برنج، یکپارچگی غشای سلولی را بهبود می‌بخشد، آسیب اکسیداتیو را خنثی و پراکسیداسیون لیپید را بی‌اثر می‌کند و این مشخصه‌ها مستقیماً با ترمیم آسیب‌های بیوشیمیایی (ویلیرس و ادگومب، ۱۹۷۵)، حفظ زیست‌پذیری بذر (باسو و همکاران، ۱۹۷۳)، فعال‌سازی آنزیم‌ها (ساناندا و بوس، ۲۰۱۲) و نرخ بهبودیافته‌ی جوانه‌زنی (لی و همکاران، ۱۹۹۸) ارتباط دارند. گزارش‌شده است که منادیون‌سدیم‌بی‌سولفیت، یکی از ترکیبات جدید در پیش‌تیمار بذر برنج مستعد القای مقاومت در برابر تنش اکسیداتیو در این گیاه زراعی می‌شود. همچنین گزارش‌شده است که پیش‌تیمار بذر برنج با پلی آمین‌ها می‌تواند سطح تک‌لایه‌ای را تثبیت و فرسودگی غشا را به تعویق بیندازد (باسرا و همکاران، ۱۹۹۴)، رادیکال‌های آزاد را ترمیم و ماکرومولکول‌ها و غشاها را تحت شرایط محیطی ناسازگار از آسیب‌های اکسیداتیو حفاظت کند (روبرتس و همکاران، ۱۹۸۶؛ بسفورد و همکاران، ۱۹۹۳).

### ۳-۶- سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی

در گیاهچه‌های حاصل از بذرهای تحت تیمار پیش تیمار برنج، آنتی‌اکسیدان‌های گوناگونی از قبیل POD، APX، SOD و CAT نقش مهمی را در بالا بردن تحمل تنش بازی می‌کنند (بولخینا و همکاران، ۲۰۰۳). این آنتی‌اکسیدان‌ها احتمالاً از غشاهای سلولی در برابر تأثیرات مضر ROS از قبیل پراکسید هیدروژن، رادیکال‌های هیدروکسیل و رادیکال‌های سوپراکسید حفاظت می‌کنند (پوسمایک و همکاران، ۲۰۰۱). فعالیت‌های افزایش‌یافته‌ی CAT، SOD و POD در گیاهچه‌های برنج حاصل از بذرهای پرایم‌شده تحت شرایط مطلوب و تنش گزارش‌شده‌اند (گوسوامی و همکاران، ۲۰۱۳؛ زنگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۶a و b).

فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه برنج، ROS تولیدی در تنش‌های گوناگون را مهار می‌کنند و نقش مهمی را در طول ذخیره‌سازی بذر، جوانه‌زنی و رشد و توسعه‌ی بذر بازی می‌کنند (بایلی ۲۰۰۴؛ دتولیو و آریگونی، ۲۰۰۳). سیستم آنتی‌اکسیدانی از دو ترکیب آنزیمی (مانند APX، CAT و SOD) و غیرآنزیمی (مانند  $GSH^1$  و  $AsA^2$ ) تشکیل شده است. هر آنتی‌اکسیدانی در گیاه برنج معمولاً عملکرد خاصی دارد، برای مثال، CAT، پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تجزیه می‌کند درحالی‌که کاتالیز پراکسید هیدروژن تحریک‌شده به‌واسطه‌ی APX متکی بر چرخه‌ی AsA-GSH است. در اینجا، AsA به‌عنوان دهنده‌ی الکترون برای تحریک تخریب پراکسید هیدروژن به‌واسطه‌ی APX عمل می‌کند درحالی‌که GSH و آنزیم‌های آن ( $MDHAR^3$ ، GR و  $DHAR^4$ ) مسئول بازسازی AsA هستند. علاوه، آنتی‌اکسیدان‌های گوناگون می‌توانند در مرحله رشدی یکسان، عملکردهای متفاوتی داشته باشند. پیش تیمار بذر برنج می‌تواند تجمع ROS را متعادل سازد و بیان ژن‌ها و آنزیم‌های سیستم دفاعی آنتی‌اکسیداتیو را تغییر دهد. به‌نظر می‌رسد پیش تیمار بذر

1 Glutathione

2 Argininosuccinate

3 Monodehydroascorbate reductase

4 Dehydroascorbate reductase

برنج، بیان افزایش یافته‌ی ژن کد کننده‌ی CAT را به دنبال دارد و ثابت شده است که CAT، آنزیمی است که نقش مهمی را در بهبودی بنیه بذر در بذره‌های انبارشده بازی می‌کند که این موضوع در گیاه آفتابگردان نیز اثبات شده است (کیینزا و همکاران، ۲۰۱۱).

### ۳-۷- تغییرات در رویدادهای متابولیک

چندین رویداد متابولیک در برنج، از قبیل رونویسی DNA (لانتری و همکاران، ۱۹۹۴)؛ سنتز RNA، DNA و پروتئین‌ها (برای ۱۹۹۵؛ بایلی و همکاران، ۲۰۰۰)؛ و تجمع بتا-توبولین (دکاسترو و همکاران، ۱۹۹۵) با پیش تیمار بذر، راه اندازی می‌شوند (پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵). در بذر برنج نشان داده شده است که پیش تیمار بذر، نرخ تنفس و تبدیل ACC<sup>1</sup> (۱-آمینوسیكلوپروپان ۱-کربوکسیلیک اسید) به اتیلن را افزایش می‌دهد. درک واکنش‌های بیوشیمیایی یا مولکولی، ارزیابی مناسبی برای شناخت کارایی پیش تیمار بذر است. در بذره‌های برنج، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین رونویسی DNA و تیمارهای تحت پیش تیمار آسمزی ملاحظه شد. همچنین نشان داده است که زنجیره‌ی بتای S-۱۱ گلوبولین، مقیاس خوبی در میان اثرات تحریک‌شده به واسطه‌ی پیش تیمار بذر در برنج است (بایلی و همکاران، ۲۰۰۰). تیمارهای پیش تیمار بذر برنج برای بهبود سرعت جوانه‌زنی بذره‌های انبارشده گزارش شده‌اند (بایلی و همکاران، ۱۹۹۶؛ ۲۰۰۰) که اساساً به سرعت پراکسیداسیون کمتر لیپید و تجدید سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیداتیو، به‌عنوان مثال، فعالیت افزایش یافته‌ی GR و CAT نسبت داده می‌شود (بایلی و همکاران، ۱۹۹۶، ۲۰۰۰). آنزیم CAT، نرخ پراکسیداسیون لیپید را به وسیله‌ی مهار پراکسید هیدروژن کنترل می‌کند درحالی‌که اثبات شده است که GR، گلوکاتیون تولید می‌کند.

چندین رویداد متابولیک و سلولی از قبیل القای پروتئین‌های واکنش‌دهنده به تنش (LEA ها و HSP ها)، تقسیم و طویل شدن سلولی، فعالیت H<sup>+</sup>-ATPase، سیالیت غشای

پلاسمایی و تغییرات در پروتئوم و ترانس کریپتوم برای درک تحمل تنش غیر زیستی ناشی از پیش تیمار در برنج نشان داده شده‌اند (گالاردو و همکاران، ۲۰۰۱؛ زو و همکاران، ۲۰۰۹).

### ۳-۸- تعادل و تنظیم هورمونی

نقش‌های آنتاگونیستی هورمون‌های گیاهی متفاوت مانند جیبرلین (GA) و اسید آبسزیک (ABA) در تنظیم جوانه‌زنی بذر برنج به‌خوبی درک شده‌اند. با این وجود، مکانیسم‌های مولکولی و فیزیولوژیکی تأییدکننده‌ی تأثیر پیش تیمار بذر بر روی جوانه‌زنی در ارتباط با هورمون‌های گیاهی به‌طورضعیفی شرح داده شده‌اند. جیبرلین برای جوانه‌زنی بذر برنج حیاتی است. دو برنامه‌ی رشدی متمایز درگیر در رسیدگی و جوانه‌زنی بذر برنج وجود دارد، جابه‌جایی از حالت خاموش به جوانه‌زنی و تغییر از توسعه‌ی جنین به رسیدگی (کرمود، ۱۹۹۰). هر دو مرحله به‌واسطه‌ی هماهنگی بین پروموتور رشد (GA) و بازدارنده‌های رشد (ABA) تحت تأثیر قرار می‌گیرند (نامبارا و همکاران، ۲۰۱۰). تعامل بین ABA و GA به‌وسیله‌ی تنظیم ژن‌های درگیر در مسیرهای سیگنال و بیوسنتز این هورمون‌ها و متابولیسم پروتئین‌های مربوط به جوانه‌زنی، پروتئین‌های تنش و ترکیبات ذخیره‌ای کنترل می‌شود (وان در گیست ۲۰۰۲؛ ویس و آری، ۲۰۰۷). ویت برچت و همکاران (۲۰۱۱)، نقش ABA/GA را در تنظیم جوانه‌زنی بذر بررسی کردند. در طی جنین‌زایی، تجمع ABA متوقف و رسیدگی بذر را تعدیل می‌کند. از آنجایی‌که GA در طول جوانه‌زنی و رشد با ABA مبارزه می‌کند، بنابراین، سیگنال بیوسنتز GA عموماً در بذرها رسیده کاهش اما در طول جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. ال-عربی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که پیش تیمار بذر، نسبت‌های GA/ABA را افزایش می‌دهند که به‌نوبه‌ی خود جوانه‌زنی بذر را تنظیم می‌کنند. در بذرها پرایم‌شده برنج، مبنای احتمالی تنظیم هورمون‌ها در رابطه با جوانه‌زنی شامل فرایندهای متفاوت مربوط به جوانه‌زنی ناشی از GA، اساساً شامل تجزیه آندوسپرم، تحرک بخشیدن به مواد ذخیره‌ای و طویل شدن سلول‌های

جنینی است (چن و همکاران، ۲۰۰۱؛ چن و برادفورد، ۲۰۰۰؛ نونوگاکي و همکاران، ۲۰۰۰؛ چن و همکاران، ۲۰۰۲؛ سونگ و همکاران، ۲۰۰۸). اما مطالعات اندکی در مورد تعامل ABA و GA در طول پیش‌تیمار بذر و مشارکت آن در تنظیم جوانه‌زنی القاء شده به‌واسطه‌ی پیش‌تیمار بذر برنج وجود دارند. مطالعات موجود، واکنش افتراقی پیش‌تیمار بذر (سیگنال افزایش‌یافته‌ی ABA در طی پیش‌تیمار بذر) به تعامل ABA-GA را خلاصه کرده‌اند (لوپز-مولینا و همکاران، ۲۰۰۲؛ کاتوس و همکاران، ۲۰۱۱).

همچنین اتیلن از طریق بالا بردن سرعت و درصد جوانه‌زنی بر فرایند جوانه‌زنی برنج تأثیر می‌گذارد (سایریویتایاوان و همکاران، ۲۰۰۳). روابط بین پیش‌تیمار و اتیلن علاوه بر برنج در گیاهان مختلف از قبیل بادام‌زمینی، خیار، گوجه‌فرنگی و کاهو نیز گزارش شده است (کانتلیف و همکاران، ۲۰۰۰؛ هابداس و همکاران، ۱۹۹۸؛ سایریویتایاوان و همکاران، ۲۰۰۳). دو مکانیسم متفاوت در خصوص نقش اتیلن در پیش‌تیمار بذر برنج پیشنهاد شده‌اند: (۱) تولید بالاتر اتیلن، فعالیت اندوبتاماناز<sup>۱</sup> را افزایش می‌دهد که می‌تواند از طریق تجزیه آندوسپرم به جوانه‌زنی در دمای بالا کمک کند. (۲) اتیلن می‌تواند به‌وسیله‌ی تنظیم اُسمزی در بذرهای پرایم‌شده برنج و افزایش جوانه‌زنی تحت شرایط تنش‌زا تنظیم اُسمزی را تعدیل کند (کانتلیف و همکاران، ۲۰۰۰).

### ۳-۹- آکوآپورین‌ها و پروتئین‌های طبیعی تونوپلاست<sup>۲</sup>

آکوآپورین‌ها (AQP ها) نقش قابل‌توجهی در تبادل حرکتی آب در بذر برنج را دارند. اخیراً، مطالعات گوناگونی، جذب بهتر آب را در بذرهای پرایم‌شده به علت اشباع سریع‌تر نسبت به بذرهای بدون پیش‌تیمار (گالهدوت و همکاران، ۲۰۱۴؛ کوبالاما و همکاران، ۲۰۱۵) و افزایش بیان ژن‌های AQP (SoPIP2;1) را گزارش کرده‌اند (چن و همکاران، ۲۰۱۳). انتقال تراغشایی آب از طریق تنظیم AQP ها، ظرفیت بذر برای جذب و انتقال آب

1 Endo- $\beta$ -mannanase

2 Tonoplast

به بافت‌های گوناگون گیاه برنج را افزایش می‌دهد. مشاهده شده که در طی فرایند اشباع، انتقال آب و ذخیره‌ی آب کافی برای جنین از طریق AQP ها ممکن است یکی از اجزای مهم تسهیل در بذرهای پرایم‌شده باشد که سرعت جوانه‌زنی و همچنین مقاومت به تنش در برنج را تحت تأثیر قرار می‌دهد (چن و همکاران، ۲۰۱۳؛ وو جتیلا و همکاران، ۲۰۱۶).

افزایش پتانسیل جوانه‌زنی و بنیه بذرها تحت روش‌های مختلف پیش تیمار در گیاهان به‌خوبی گزارش شده‌اند (هو و همکاران، ۲۰۰۵؛ پانت و بوس، ۲۰۱۶). به‌طوری‌که در گیاه مدل آرابیدوپسیس، آنالیز پروتئومیک در بذرهای پرایم‌شده و بدون پرایم، ۱۳۰۰ پروتئین را شناسایی کرد که تغییرات فراوانی در ۷۴ پروتئین قبل از رویش مشاهده و ثبت و چند پروتئین جدید نیز طی خشک کردن شناسایی شدند (گالاردو و همکاران، ۲۰۰۱). آنالیز پروتئومیکس در طول پیری مصنوعی و پیش تیمار (پیش تیمار با آب) بذر گندم نشان داد تعداد ۱۶۲ پروتئین بیان شده به‌طور افتراقی (<sup>1</sup>DEPها) مسئول ذخیره‌ی انرژی، متابولیسم و واکنش‌های مقابله با تنش هستند، درحالی‌که تعداد ۵۳۱ پروتئین بیان شده در بذرهای پرایم‌شده در مقایسه با بذرهای غیرپرایم ملاحظه شدند که DEP های اصلاح‌شده‌ی مختلف در فرایندهای ذخیره‌ی انرژی (مانند چرخه‌ی تری‌کربوکسیلیک‌اسید، گلیکولیز و اکسیداسیون اسید چرب) و آنابولیک (مانند ساخت اسیدهای چرب و آمینواسیدهای گوناگون) و همچنین تقسیم سلولی و رشد درگیر هستند (الوی و همکاران، ۲۰۱۶).

### ۳-۱۰- دهن‌دین‌ها (پروتئین‌های غالب اواخر جنین‌زایی)

دهن‌دین‌ها (DHN ها) پروتئین گروه ۲ LEA هستند (کندات و همکاران، ۲۰۱۴) که با تحمل تنش افزایش یافته در بذرهای پرایم‌شده همراه هستند (وچسیرگ و همکاران، ۱۹۹۴). تجزیه DHN در طی پیش تیمار (پیش تیمار اُسمزی) در برنج، چغندر قند و نخودفرنگی در مقایسه با بذرهای بدون پرایم مشاهده شده است (بیکر و همکاران، ۱۹۹۵؛ چن و همکاران،



۲۰۱۲ (a و b). چن و همکاران (۲۰۱۲b) چهار پروتئین متصل به DHN را در طی اوایل مرحله‌ی پیش‌تیمار آسمزی در بذرهای گیاهان زراعی یافتند و نشان دادند که این پروتئین‌ها در بذرهای پرایم‌شده در مقایسه با بذرهای پرایم نشده به‌طور تدریجی با سطح پایین‌تری تخریب می‌شوند.

### ۳-۱۱- انواع فعال اکسیژن: مولکول‌های سیگنال کلیدی در پیش‌تیمار

پیش‌تیمار بذر برنج، تجمع ROS را در گیاهان تغییر می‌دهد. آزمایشات مختلفی نشان داده‌اند که ROS باوجود سمیت در غلظت بالاتر، می‌تواند همچنین به‌عنوان مولکول‌های سیگنال برای تنظیم سیگنال هورمون، افزایش مرگ سلولی، کاهش رشد و نمو بذر برنج و کاهش تحمل در برابر عوامل گوناگون تنش غیر زیستی مؤثر باشد (میتلر و همکاران، ۲۰۰۴). ROS همچنین با کمک در درک و دریافت محیط خارجی، رشد گیاه را کنترل می‌کند (اسمیرناف، ۲۰۰۵). سیستم پیچیده‌ای برای متابولیسم ROS موجود است که به شدت با سیستم‌های سیگنال هورمونی تعامل دارد و در تنظیم روندهای رشدی و همچنین واکنش تنش غیر زیستی به برنج کمک می‌کند. به‌طوری‌که تجمع کم و جزئی ROS برای جوانه‌زنی سودمند است، و ممکن است آبشارهای سیگنال برای جوانه‌زنی بذر را فعال، تجزیه آندوسپرم را آغاز و به کاهش مرگ سلولی در لایه‌ی آلورون<sup>۱</sup> کمک کند (بایلی و همکاران، ۲۰۰۸؛ ال-ماروف-بوتائو و بایلی، ۲۰۰۸). در پیش‌تیمار بذر برنج، چنین تجمع سودمندی از ROS ها ممکن است به‌واسطه‌ی آنگیری جزئی و خشک کردن بذر رخ دهد. بایلی و همکاران (۲۰۰۸) کاهش ROS در طی رشد و نمو بذر گیاهان زراعی تحت پیش‌تیمار گزارش شده است، با این وجود به علت تنظیم متابولیسم‌های گوناگون، تولیدکننده‌ی ROS اساساً شامل کاتابولیسم لیپید و تنفس است که با جذب آب در بذر افزایش می‌یابد. در طول فرایند پیش‌تیمار بذر برنج، افزایش تولید ROS می‌تواند واکنشی طبیعی به آنگیری جزئی بذر باشد که

1 Aleurone layer

به‌جای شاخص تنش رخ می‌دهد. کاربرد ترکیبی پیش تیمار بذر برنج با GA و PEG، تجمع ROS را به دنبال دارد. جدا از نقش مثبت ROS، تولید بیش از حد ROS می‌تواند برای جوانه‌زنی بذر مضر باشد، زیرا این ترکیبات ممکن است موجب پیری بذر و اختلالات سلولی شوند (مک‌دونالد، ۲۰۰۰). به‌طور کلی به‌دلیل نقش ROS ها در تنظیم مثبت جوانه‌زنی بذر برنج، پیشنهاد می‌شود تجمع بالای آنها باید به‌دقت کنترل شود، به‌ویژه در طی پیش تیمار آسمزی که در دسترس‌بودن کمتر آب می‌تواند باعث تولید ROS بیشتر شود.

### ۳-۱۲- فعال‌سازی مسیرهای ترمیم DNA

ترمیم DNA و مکانیسم‌های دفاعی به محض هیدراسیون طی پیش تیمار، کاهش جلوگیری از رشد و نمو گیاهچه بذر را به دنبال دارد. اگر بذرها در طول شرایط رسیدگی و ذخیره‌سازی در شرایط ناسازگار مختلف قرار گیرند اکسیداسیون و عدم یکپارچگی DNA در آنها رخ داده و چرخه‌ی سلول به خطر می‌افتد (برای ووست، ۲۰۰۵). تغییرات جوانه‌زنی و حفظ بنیه بذر طی فرایند پیش تیمار بذر برنج موجب ترمیم مناسب DNA در جنین خواهد شد. مکانیسم‌های ترمیم DNA اساساً شامل تعمیر برش پایه و تعمیر برش نوکلئوتیدی همراه با آنتی‌اکسیدانی‌ها به‌عنوان فرایندهای متابولیک کلیدی پیش از جوانه‌زنی است (هونگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر برنج در بعضی از گیاهان نظیر شبدر، ژن‌های TYROSYL-DNA PHOSPHODIESTERASE (Mt Tdp1 $\alpha$ ; GB# FJ858738) و (GB#BT006446.1) MtTdp1 $\beta$  به رمزدرآورنده‌ی  $\beta$ -tyosyl-DNA phosphodiesterase1 و ژن‌های ترمیم DNA ی MtTop 1 $\alpha$ (GB#CA919655) و MtTop1 $\beta$ (GB#CX526330) سریعاً در طول فرایند اشباع اصلاح شدند (ماکووی و همکاران، ۲۰۱۰؛ ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶). بیان افزایش‌یافته‌ی MtTop 1 $\alpha$  و MtTop1 $\beta$  و همچنین برای MtTdp1 $\alpha$  و MtTop1 $\beta$  در طول پیش تیمار با پلی‌اتیلن گلیکول بذرهای نوعی یونجه یکساله (*Medicago truncatula*) ثبت شدند (بلسترازی و همکاران، ۲۰۱۲a). در بذر

آرابیدوپسیس، بیان افزایش‌یافته‌ی ژن AtOGG1 (DNA گلیکوزیلاز<sup>۱</sup>) نیز در طول خشک‌کردن و جذب آب ثبت شد (ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶). پیش‌تیمار با پلی‌اتیلن گلیکول در بذرهای یونجه‌های (*M. truncatula*) نیز درگیری AtTFIIS و MtTFIIS را در مکانیسم‌های ترمیم DNA در طی اشباع بذر نمایش داد (ماکووی و همکاران، ۲۰۱۲b؛ ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶). مکانیسم‌های ترمیم DNA (NER و BER) در حال حاضر به‌عنوان فرایند متابولیک پیش از جوانه‌زنی در نظر گرفته می‌شوند و برای از سرگیری فعالیت چرخه‌ی سلول مهم هستند (هونگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶). فرایندهای ترمیم DNA باید به‌عنوان ارزشمندترین و ضروری‌ترین فرایند فعال شده در فرایند پیش‌تیمار بذر در نظر گرفته شوند (ماکووی و همکاران، ۲۰۱۱a؛ ونتورا و همکاران، ۲۰۱۲؛ راجو و همکاران، ۲۰۱۲). قبل از رونویسی در بذرهای تحت تیمار پیش‌تیمار، ترمیم آسیب‌های DNA اصولاً از طریق سنتز DNA رخ می‌دهد (واریر و همکاران، ۲۰۱۰). در بذرهای نخود، نقش ترمیم DNA در طول پیش‌تیمار بذر بر اساس آنالیز بیان ژن‌های درگیر در ترمیم DNA به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم نشان داده شد (شارما و ماهشواری، ۲۰۱۵؛ ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶). پیش‌تیمار بذر همچنین بیان برخی ژن‌ها/پروتئین‌هایی را تنظیم می‌کند که نقش حیاتی در تقسیم سلول بازی می‌کنند. در بذرهای آرابیدوپسیس، هم بذرهای اُسموپرایم (۰/۷۵- مگاپاسکال پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰) و هم بذرهای هیدروپرایم منجر به تجمع زیر واحدهای توبولین ( $\alpha$  توبولین و  $\beta$  توبولین) می‌شوند (گالاردو و همکاران، ۲۰۰۱؛ کوبالا و همکاران، ۲۰۱۵a). در بذرهای گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum*)، پیش‌تیمار اُسمزی موجب رونویسی DNA و هماهنگ‌سازی چرخه‌ی سلول نیز شد (اوزبینگول و همکاران، ۱۹۹۹؛ ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶). بعلاوه، پیش‌تیمار اُسمزی (۱/۲- مگاپاسکال پلی‌اتیلن گلیکول) در بذرهای کلزا تنظیم ژن‌ها/پروتئین‌های درگیر در چرخه‌ی سلول، از قبیل پروتئین‌های فعال‌سازی حرکتی میکروتوبول

---

1 DNA glycosylase

(At4g39050 و At3g45850، پروتئین‌های وابسته به میکروتوبول (At1g24764 و At5g55230)، پروتئین ۴۸ همولوگ C کنترل تقسیم سلولی (At3g01610;CDC48C) و زیر واحدهای توبولین (بتا- و گاما-توبولین) را افزایش داد (کوبالا و همکاران، ۲۰۱۵؛ ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶). تشریح مطالب بالا تا اندازه‌ای تأیید می‌کنند که روش‌های متفاوت پیش تیمار، فعال‌سازی بالاتر و سریع‌تر متابولیسم پیش از جوانه‌زنی از قبیل پردازش DNA در طول مکانیسم‌های تکرار و ترمیم و رونویسی DNA را راه‌اندازی می‌نماید.

## ۳-۱۳-منابع

- Anaytullah, Bose B (2007) Nitrate-hardened seeds increase germination, amylase activity and proline content in wheat seedlings at low temperature. *Physiol Mol Biol Plants* 13: 199–207.
- Anaytullah, Srivastava AK, Bose B (2012) Impact of seed hardening treatment with nitrate salts on nitrogen and antioxidant defense metabolisms in *Triticum aestivum* L under different sowing conditions. *Vegetos* 25: 292–299.
- Anderson AJ, McLean JE, Jacobson AR, Britt DW (2017) CuO and ZnO nanoparticles modify interkingdom cell signaling processes relevant to crop production. *J Agric Food Chem* 66(26): 6513–6524.
- Ashraf MFMR, Foolad M (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ Exp Bot* 59(2): 206–216.
- Bailly C (2004) Active oxygen species and antioxidant in seed biology. *Seed Sci Res* 14: 93–107.
- Bailly C, Benamar A, Corbineau F, Côme D (1996) Changes in malondialdehyde content and in superoxide dismutase, catalase and glutathione reductase activities in sunflower seeds as related to deterioration during accelerated aging. *Physiol Plant* 97: 104–110.
- Bailly C, Benamar A, Corbineau F, Come D (2000) Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. *Seed Sci Res* 10: 35–42.
- Bailly C, El-Maarouf-Bouteau H, Corbineau F (2008) From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. *C R Biol* 331: 806–814.
- Baker EH, Bradford KJ, Bryant JA, Rost TL (1995) A comparison of desiccation related proteins (dehydrin and QP47) in peas (*Pisum sativum*). *Seed Sci Res* 5: 185–193.
- Balestrazzi A, Confalonieri M, Dona` M, Carbonera D (2012) Genotoxic stress, DNA repair, and crop productivity. In: Tuteja N, Gill SS (eds) *Crop improvement under adverse conditions*. Springer, Berlin, pp 153–169.
- Balestrazzi A, Confalonieri M, Macovei A, Carbonera D (2011a) Seed imbibition in *Medicago truncatula* Gaertn. Expression profiles of DNA repair genes in relation to PEG-mediated stress. *J Plant Physiol* 168: 706–713.
- Balestrazzi A, Confalonieri M, Macovei A, Dona` M, Carbonera D (2011b) Genotoxic stress and DNA repair in plants: emerging functions and tools for improving crop productivity. *Plant Cell Rep* 30: 287–295.

- Basra AS, Singh B, Malik CP (1994) Priming-induced changes in polyamine levels in relation to vigor of aged onion seeds. *Bot Bull Acad Sinica* 35: 19–23.
- Basu RN, Chattopadhyay K, Pal P (1973) Maintenance of seed viability in rice (*Oryza sativa* L.) and Jute (*Corchorus capsularis* L. and *C. olitorius* L.). *Indian Agric* 18: 76–79.
- Besford RT, Richardson CM, Campos JL, Tiburcio AF (1993) Effects of polyamines on stabilization of molecular complexes in thylakoid membranes of osmotically stressed oat leaves. *Planta* 189: 201–206.
- Bewley JD (1997) Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9: 1055–1066.
- Bolkhina O, Virolainen E, Fagerstedt K (2003) Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Ann Bot* 91: 179–194.
- Borges AA, Dobon A, Expósito-Rodríguez M, Jiménez-Árias D, Borges-Pérez A, Casañas-Sánchez V, Pérez JA, Luis JC, Tornero P (2009) Molecular analysis of menadione-induced resistance against biotic stress in *Arabidopsis*. *Plant Biotechnol J* 7: 744–762.
- Bose B, Kumar M, Singhal RK, Mondal S (2018) Impact of seed priming on the modulation of Physico-chemical and molecular processes during germination, growth, and development of crops. In: *Advances in seed priming*. Springer, Singapore, pp 23–40.
- Bourgne S, Job C, Job D (2000) Sugar beet seed priming: solubilization of the basic subunit of 11-S globulin in individual seeds. *Seed Sci Res* 10: 153–156.
- Bray CM (1995) Biochemical processes during the osmopriming of seeds. In: Kigel J, Galili G (eds) *Seed development and germination*. Marcel Dekker, New York, pp 767–789.
- Bray CM, Davison PA, Ashraf M, Taylor MR (1989) Biochemical events during osmopriming of leek seed. *Ann Appl Biol* 102: 185–193.
- Candat A, Paszkiewicz G, Neveu M, Gautier R, Logan DC, Avelange-Macherel MH, Macherel D (2014) The ubiquitous distribution of late embryogenesis abundant proteins across cell compartments in *Arabidopsis* offers tailored protection against abiotic stress. *Plant Cell* 26: 114.
- Cantliffe DJ, Sung Y, Nascimento WM (2000) Lettuce seed germination. *Hortic Rev* 24: 229–275.
- Capron I, Corbineau F, Dacher F, Job C, Côme D, Job D (2000) Sugar beet seed priming: effects of priming conditions on germination, solubilization of 11-S globulin and accumulation of LEA proteins. *Seed Sci Res* 10: 243–254.

- Catusse J, Meinhard J, Job C, Strub J, Fischer U, Pestsova E, West-Hoff P, Van Dorsselaer A, Job D (2011) Proteomics reveals potential biomarkers of seed vigor in sugarbeet. *Proteomics* 11: 1569–1580.
- Chen C, Letnik I, Hacham Y, Dobrev P, Ben-Daniel BH, Vankova R, Amir R, Miller G (2014) ASCORBATE PEROXIDASE6 protects Arabidopsis desiccating and germinating seeds from stress and mediates cross talk between reactive oxygen species, abscisic acid, and auxin. *Plant Physiol* 166: 370–383.
- Chen F, Bradford KJ (2000) Expression of an expansin is associated with endosperm weakening during tomato seed germination. *Plant Physiol* 124(3): 1265–1274.
- Chen F, Dahal P, Bradford KJ (2001) Two tomato expansin genes show divergent expression and localization in embryos during seed development and germination. *Plant Physiol* 127(3): 928–936.
- Chen H, Chu P, Zhou Y, Li Y, Liu J, Ding Y, Tsang EW, Jiang L, Wu K, Huang S (2012a) Overexpression of AtOGG1, a DNA glycosylase/AP lyase, enhances seed longevity and abiotic stress tolerance in Arabidopsis. *J Exp Bot* 63(11): 4107–4121.
- Chen K, Arora R (2013) Priming memory invokes seed stress-tolerance. *Environ Exp Bot* 94: 33–45.
- Chen K, Fessehaie A, Arora R (2012b) Dehydrin metabolism is altered during seed osmopriming and subsequent germination under chilling and desiccation in *Spinacia oleracea* L. cv. Bloomsdale: possible role in stress tolerance. *Plant Sci* 183: 27–36.
- Chen K, Fessehaie A, Arora R (2013) Aquaporin expression during seed osmopriming and postpriming germination in spinach. *Biol Plantarum* 57(1): 193–198.
- Chojnowski M, Corbineau F, Côme D (1997) Physiological and biochemical changes induced in sunflower seeds by osmopriming and subsequent drying, storage and aging. *Seed Sci Res* 7: 323–331.
- Corbineau F, Ozbingol N, Vineland D, Come D (2000) Improvement of tomato seed germination by osmopriming as related to energy metabolism. In: Black M, Bradford KJ, Vasquez-Ramos J (eds) *Seed biology advances and applications: proceedings of the sixth international workshop on seeds*. CABI Cambridge, Merida, pp 467–474.
- Cordoba-Canero D, Roldán-Arjona T, Ariza RR (2014) Arabidopsis ZDP DNA 30-phosphatase and ARP endonuclease function in 8-oxoG repair initiated by FPG and OGG1 DNA glycosylases. *Plant J* 79: 824–834.
- Dahal P, Bradford KJ, Jones RA (1990) Effects of priming and endosperm integrity on seed germination rates of tomato genotypes II. *J Exp Bot* 41: 1441–1453.

- De Castro R, Zheng X, Bergervoet JHW, De Vos CHR, Bino RJ (1995)  $\beta$ -tubulin accumulation and DNA replication in imbibing tomato seeds. *Plant Physiol* 109: 499–504.
- De Tullio MC, Arrigoni O (2003) The ascorbic acid system in seeds: to protect and to serve. *Seed Sci Res* 13: 249–260.
- El-Araby MM, Moustafa SMA, Ismail AI, Hegazi AZA (2006) Hormone and phenol levels during germination and osmopriming of tomato seeds, and associated variations in protein patterns and anatomical seed features. *Acta Agronomica Hungarica* 54(4): 441–457.
- Elkoca E, Haliloglu K, Esitken A, Ercisli S (2007) Hydro- and osmopriming improve chickpea germination. *Acta Agric Scand Sect B Soil Plant Sci* 57(3): 193–200.
- El-Maarouf-Bouteau H, Bailly C (2008) Oxidative signaling in seed germination and dormancy. *Plant Signal Behav* 3: 175–182.
- Elouaer MA, Hannachi C (2012) Seed priming to improve germination and seedling growth of safflower (*Carthamustinctorius*) under salt stress. *Eur J Biosci* 6: 76–84.
- Farhoudi R, Saedipour S, Mohammadreza D (2011) The effect of NaCl seed priming on salt tolerance, antioxidant enzyme activity, proline and carbohydrate accumulation of Muskmelon (*Cucumismelo* L.) under saline conditions. *Afr J Agric Res* 6: 136–370.
- Fashui H (2002) Study on the mechanism of cerium nitrate effects on germination of aged rice seed. *Biol Trace Elem Res* 87: 191–200.
- Galhaut L, Lespinay A, Walker DJ, Bernal MP, Correal E, Lutts S (2014) Seed priming of *Trifoliumrepens* L. improved germination and early seedling growth on heavy metal contaminated soil. *Water Air Soil Pollut* 225: 1–15.
- Gallardo K, Job C, Groot SPC, Puype M, Demol H, Vandekerekhove J et al (2001) Proteomic analysis of Arabidopsis seed germination and priming. *Plant Physiol* 126: 835–848.
- Gallardo K, Job C, Groot SPC, Puype M, Demol H, Vandekerekhove J, Job D (2004) Proteomics of Arabidopsis seed germination and priming. In: Nicholas G (ed) *The biology of seeds: recent advances*. CABI, Cambridge, pp 199–209.
- Goswami A, Banerjee R, Raha S (2013) Drought resistance in rice seedlings conferred by seed priming: role of the anti-oxidant defense mechanisms. *Protoplasma* 250: 1115–1129.
- Groot SPC, Karssen CM (1987) Gibberellins regulate seed germination in tomato by weakening: a study with gibberellin-deficient mutants. *Planta* 171: 525–531.



- Guan YJ, Hu J, Wang XJ, Shao CX (2009) Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *J Zhejiang Univ Sci B* 10(6): 427–433.
- Gumilevskaya NA, Azarkovich MI (2010) Identification and characterization of dehydrins in horse chestnut recalcitrant seeds. *Russ J Plant Physiol* 57: 859–864.
- Habdas H, Szafirowska A, Sokolowska A, Grzesik M (1998) Cytological and physiological effects of matriconditioning on low viable cucumber seed germination. In: XXV IntHort congress, part 7: quality of horticultural products, pp 113–120.
- Hinckley TM, Durhme F, Hinckley AR, Richter H (1980) Water relations of drought hardy shrubs: osmotic potential and stomatal reactivity. *Plant Cell Environ* 3: 131–140.
- Hsu CC, Chen CL, Chen JJ, Sung JM (2003) Accelerated aging enhanced lipid peroxidation in bitter melon seeds and effects of priming and hot water soaking treatments. *Sci Hortic* 98: 201–212.
- Hu J, Zhu ZY, Song WJ, Wang JC, Hu WM (2005) Effects of sand priming on germination and field performance in direct-sown rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Sci and Tech* 33(1): 243–248.
- Huang Z, Boubriak I, Osborne DJ, Dong M, Gutterman Y (2007) Possible role of pectin-containing mucilage and dew in repairing embryo DNA of seeds adapted to desert conditions. *Ann Bot* 101: 277–283.
- Hussain HA, Hussain S, Khaliq A, Ashraf U, Anjum SA, Men S, Wang L (2018a) Chilling and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities. *Front Plant Sci* 9: 393.
- Hussain S, Khaliq A, Tanveer M, Matloob A, Hussain HA (2018b) Aspirin priming circumvents the salinity-induced effects on wheat emergence and seedling growth by regulating starch metabolism and antioxidant enzyme activities. *Acta Physiol Plant* 40(4): 68-79.
- Hussain S, Khan F, Cao W, Wu L, Geng M (2016b) Seed priming alters the production and detoxification of reactive oxygen intermediates in rice seedlings grown under sub-optimal temperature and nutrient supply. *Front Plant Sci* 7: 439. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00439>.
- Hussain S, Khan F, Hussain HA, Nie L (2016a) Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-induced chilling tolerance in Rice cultivars. *Front Plant Sci* 7: 116. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00116>.

- Hussain S, Zheng M, Khan F, Khaliq A, Fahad S, Peng S et al (2015) Benefits of rice seed priming are offset permanently by prolonged storage and the storage conditions. *Sci Rep* 5: 8101. <https://doi.org/10.1038/srep08101>.
- Ibrahim EA (2016) Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *J Plant Physiol* 192: 38–46.
- Jafar MZ, Farooq M, Cheema MA, Afzal I, Basra SMA, Wahid MA, Aziz T, Shahid M (2012) Improving the performance of wheat by seed priming under saline conditions. *J Agron Crop Sci* 198(1): 38–45.
- Jisha KC, Vijayakumari K, Puthur JT (2013) Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiol Plant* 35(5): 1381–1396.
- Job C, Kersulec A, Ravasio L, Chareyre S, Pépin R, Job D (1997) The solubilization of the basic subunit of sugar beet seed 11-S globulin during priming and early germination. *Seed Sci Res* 7: 225–243.
- Kaya MD, Okcu G, Atak M, Cikili Y, Kolsarici O (2006) Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Eur J Agron* 24: 291–295.
- Kermode AR (1990) Regulatory mechanisms involved in transition from seed development to germination *Crit. Rev Plant Sci* 9: 155–195.
- Khaliq A, Aslam F, Matloob A, Hussain S, Geng M, Wahid A, ur Rehman H (2015) Seed priming with selenium: consequences for emergence, seedling growth, and biochemical attributes of rice. *Biol Trace Elem Res* 166(2): 236–244.
- Khan HA, Ayub CM, Pervez MA, Bilal RM, Shahid MA, Ziaf K (2009) Effect of seed priming with NaCl on salinity tolerance of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) at seedling stage. *Soil Environ* 28: 81–87.
- Kibinza S, Bazin J, Bailly C, Farrant JM, Corbineau F, El-Maarouf-Bouteau H (2011) Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. *Plant Sci* 181: 309–315.
- Kranner I, Beckett RP, Minibayeva FV, Seal CE (2010) What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. *New Phytol* 188: 655–673.
- Kubala S, Garnczarska M, Wojtyła Ł, Clippe A, Kosmala A, Zmienko A et al (2015a) Deciphering priming-induced improvement of rapeseed (*Brassica napus* L.) germination through an integrated transcriptomic and proteomic approach. *Plant Sci* 231: 94–113.
- Kubala S, Wojtyła Ł, Quinet M, Lechowska K, Lutts S, Garnczarska M (2015b) Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seed osmopriming improvement of *Brassica napus* germination under salinity stress. *Plant Sci* 183: 1–12.

- Kumar M, Pant B, Mondal S, Bose B (2016) Hydro and halo priming: influenced germination responses in wheat Var-HUW-468 under heavy metal stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 38: 217.
- Lanteri S, Saracco F, Kraak HL, Bino RJ (1994) The effects of priming on nuclear replication activity and germination of pepper (*Capsicum annuum*) and tomato (*Lycopersicon esculentum*) seeds. *Seed Sci Res* 4: 81–87.
- Lee SS, Kim JH, Hong SB, Yun SH, Park EH (1998) Priming effect of rice seeds on seedling establishment under adverse soil conditions. *Korean J Crop Sci* 43: 194–198.
- Li Z, Xu J, Gao Y, Wang C, Guo G, Luo Y, Huang Y, Hu W, Sheteiwy MS, Guan Y, Hu J (2017) The synergistic priming effect of exogenous salicylic acid and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on chilling tolerance enhancement during maize (*Zea mays* L.) seed germination. *Front Plant Sci* 8: 1153-1159.
- Liu X, Xing D, Li L, Zhang L (2007) Rapid deterioration of seed vigour based on the level of superoxide generation during early imbibition. *Photochem Photobiol Sci* 6: 767–774.
- Lopez-Molina L, Mongrand S, McLachlin DT, Chait BT, Chua NH (2002) ABI5 acts downstream of ABI3 to execute an ABA-dependent growth arrest during germination. *Plant J* 32(3): 317–328.
- Lutts S, Benincasa P, Wojtyla L, Kubala S, Pace R, Lechowska K, Quinet M, Garnczarska M (2016) Seed priming: new comprehensive approaches for an old empirical technique. In: *New challenges in seed biology-basic and translational research driving seed technology*. InTech Lv Y, Zhang S, Wang J, Hu Y (2016) Quantitative proteomic analysis of wheat seeds during artificial ageing and priming using the isobaric tandem mass tag labeling. *PLoS One* 11(9): 0162851.
- Macovei A, Balestrazzi A, Confalonieri M, Buttafava A, Carbonera D (2011a) The TFIIS and TFIIS-like genes from *Medicago truncatula* are involved in oxidative stress response. *Gene* 470: 20–30.
- Macovei A, Balestrazzi A, Confalonieri M, Carbonera D (2010) The Tdp1; 1; (Tyrosyl-DNA phosphodiesterase) gene family in barrel medic (*Medicago truncatula* Gaertn.): bioinformatics investigation and expression profiles in response to copper- and PEG-mediated stress. *Planta* 232: 393–407.
- Macovei A, Balestrazzi A, Confalonieri M, Fae` M, Carbonera D (2011b) New insights on the barrel medic MtOGG1 and MtFPG functions in relation to oxidative stress response in planta and during seed imbibition. *Plant Physiol Biochem* 49: 1040–1050.
- Macovei A, Garg B, Raikwar S, Balestrazzi A, Carbonera D, Buttafava A, Bremont JFJ, Gill SS, Tuteja N (2014) Synergistic exposure of rice seeds to different doses of gamma-ray

- and salinity stress resulted in increased antioxidant enzyme activities and gene-specific modulation of TC-NER pathway. *Biomed Res Int* 2014: 676–934.
- Matias JR, Ribeiro RC, Aragão CA, Araújo Ggl DBF (2015) Physiological changes in osmo and hydroprimed cucumber seeds germinated in biosaline water. *J Seed Sci* 37: 7–15.
- Mauch-Mani B, Baccelli I, Luna E, Flors V (2017) Defense priming: an adaptive part of induced resistance. *Annu Rev Plant Biol* 68: 485–512.
- McDonald MB (1999) Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Sci Technol* 27: 177–237.
- Mittler R, Vanderauwera S, Gollery M, Van Breusegem F (2004) Reactive oxygen gene network of plants. *Trends Plant Sci* 9(10): 490–498.
- Mondal S, Vijai P, Bose B (2011) Role of seed hardening in rice variety Swarna (MTU 7029). *Res J Seed Sci* 4: 157–165.
- Naglreiter C, Reichenauer TG, Goodman BA, Bolhàr-Nordenkampf HR (2005) Free radical generation in *Pinussylvestris* and *Larix decidua* seeds primed with polyethylene glycol or potassium salt solutions. *Plant Physiol Biochem* 43(2): 117–123.
- Nambara E, Okamoto M, Tatematsu K, Yano R, Seo M, Kamiya Y (2010) Abscisic acid and the control of seed dormancy and germination. *Seed Sci Res* 20(2): 55–67.
- Nonogaki H, Gee OH, Bradford KJ (2000) A germination-specific endo- $\beta$  mannanase gene is expressed in the micropylar endosperm cap of tomato seeds. *Plant Physiol* 123(4): 1235–1246.
- Oge` L, Bourdais G, Bove J, Collet B, Godin B, Granier F, Boutin JP, Job D, Jullien M, Grappin P (2008) Protein repair L-isoaspartyl methyltransferase 1 is involved in both seed longevity and germination vigor in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 20: 3022–3037.
- Özbingöl N, Corbineau F, Groot SPC, Bino RJ, Côme D (1999) Activation of the cell cycle in tomato (*Lycopersicon esculentum* mill) seeds during osmoconditioning as related to temperature and oxygen. *Ann Bot* 84: 245–251.
- Pal M, Gondor OK, Janda T (2013) Role of salicylic acid in acclimation to low temperature. *Acta Agron Hung* 61: 161–172.
- Pant B, Bose B (2016) Mitigation of the influence of PEG-6000 imposed water stress on germination of halo primed rice seeds. *Int J Agric Environ Biotechnol* 9: 275.
- Paparella S, Araújo SS, Rossi G, Wijayasinghe M, Carbonera D, Balestrazzi A (2015) Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Rep* 34: 1281–1293.

- Posmyk MM, Corbineau F, Vinel D, Bailly C, Côme D (2001) Osmoconditioning reduces physiological and biochemical damage induced by chilling in soybean seeds. *Physiol Plant* 111(4): 473–482.
- Prasad TK, Anderson MD, Martin BA, Stewart CR (1994) Evidence for chilling induced oxidative stress in maize seedlings and a regulatory role for hydrogen peroxide. *Plant Cell* 6: 65–74.
- Rajjou L, Duval M, Gallardo K, Catusse J, Bally J, Job C, Job D (2012) Seed germination and vigor. *Annu Rev Plant Biol* 63: 507–533.
- Rakshit A, Singh HB (2018) *Advances in seed priming*. Nature Springer.
- Randhir R, Shetty K (2005) Developmental stimulation of total phenolics and related antioxidant activity in light- and dark-germinated corn by natural elicitors. *Process Biochem* 40: 1721–1732.
- Rejeb KB, Abdelly C, Savouré A (2014) How reactive oxygen species and proline face stress together. *Plant Physiol Biochem* 80: 278–284.
- Roberts DR, Dumbroff EB, Thompson JE (1986) Exogenous polyamines alter membrane fluidity in bean leaves—a basis for their potential misinterpretation of their true physiological role. *Planta* 167: 395–401.
- Saha P, Chatterjee P, Biswas AK (2010) NaCl pretreatment alleviates salt stress by enhancement of antioxidant defense system and osmolyte accumulation in mungbean (*Vignaradiata* L. Wilczek). *Indian J Exp Biol* 48: 593–560.
- Sananda M, Bose B (2012) Kinetics studies on  $\alpha$ -amylase extracted from germinating wheat endosperm of primed and non-primed seeds. *Indian J Agric Biochem* 25: 137–141.
- Sharma MK, Bose B (2006) Effect of seed hardening with nitrate salts on seedling emergence, plant growth and nitrate assimilation of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiol Mol Biol Plants* 12: 173–176.
- Sharma SN, Maheshwari A (2015) Expression patterns of DNA repair genes associated with priming small and large chickpea (*Cicer arietinum*) seeds. *Seed Sci Technol* 43: 250–261.
- Singh A, Gupta R, Pandey R (2016) Rice seed priming with picomolarrutin enhances rhiospheric *Bacillus subtilis* CIM colonization and plant growth. *PLoS One* 11(1): e0146013.
- Siriwitayawan G, Geneve RL, Downie AB (2003) Seed germination of ethylene perception mutants of tomato and Arabidopsis. *Seed Sci Res* 13: 303–314.

- Sisodia A, Padhi M, Pal AK, Barman K, Singh AK (2018) Seed priming on germination, growth and flowering in flowers and ornamental trees. Springer Nature.
- Smirnoff N (2005) Antioxidants and reactive oxygen species in plants. Preface. Blackwell Publishing, Ltd., Oxford. <https://doi.org/10.1002/9780470988565>.
- Srivastava AK, Bose B (2012) Effect of nitrate seed priming on phenology, crop growth rate and yield attributes in rice (*Oryza sativa* L.). *Vegetos* 25: 174–181.
- Srivastava AK, Lokhande VH, Patade VY, Suprasanna P, Sjahril R, D'Souza SF (2010) Comparative evaluation of hydro-, chemo-, and hormonal-priming methods for imparting salt and PEG stress tolerance in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Acta Physiol Plant* 32: 1135–1144.
- Sung FJM, Chang YH (1993) Biochemical activities associated with priming of sweet corn seeds to improve vigor. *Seed Sci Technol* 21: 97–105.
- Sung Y, Cantliffe DJ, Nagata RT, Nascimento WM (2008) Structural changes in lettuce seed during germination at high temperature altered by genotype, seed maturation temperature, and seed priming. *J Am Soc Hort Sci* 133(2): 300–311.
- Szabados L, Sauré A (2010) Proline: a multifunctional amino acid. *Trends Plant Sci* 5: 89–97
- Van der Geest AHM (2002) Seed genomics: germinating opportunities. *Seed Sci Res* 12: 145–153.
- Variar A, Vari AK, Dadlani M (2010) The sub cellular basis of seed priming. *Curr Sci* 99: 450–456.
- 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 Physiol Biochem* 60: 196–206.
- Verbruggen N, Hermans C (2008) Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids* 35: 753–759.
- Villiers TA, Edgcumbe DJ (1975) On the cause of seed determination in dry storage. *Seed Sci Technol* 3: 761–774.
- Wang W, Chen Q, Hussain S, Mei J, Dong H, Peng S, Huang L, Cui K, Nie L (2016) Pre-sowing seed treatments in direct-seeded early rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under chilling stress. *Sci Rep*. <https://doi.org/10.1038/srep19637>.
- Waterworth WM, Drury GE, Bray CM, West CE (2011) Repairing breaks in the plant genome: the importance of keeping it together. *New Phytol* 192: 805–822.

- Wechsberg GE, Probert RJ, Bray CM (1994) The relationship between 'dehydrin like' protein and seed longevity in *Ranunculus sceleratus* L. *J Exp Bot* 45: 1027–1030.
- Weiss D, Ori N (2007) Mechanisms of cross talk between gibberellin and other hormones. *Plant Physiol* 144(3): 1240–1246.
- Weitbrecht K, Müller K, Leubner-Metzger G (2011) First off the mark: early seed germination. *J Exp Bot* 62(10): 3289–3309.
- Wojtyła Ł, Lechowska K, Kubala S, Garnczarska M (2016) Molecular processes induced in primed seeds—increasing the potential to stabilize crop yields under drought conditions. *J Plant Physiol* 203: 116–126.
- Xu S, Hu J, Li Y, Ma W, Zheng Y, Zhu S (2011) Chilling tolerance in *Nicotiana tabacum* induced by seed priming with putrescine. *Plant Growth Regul* 63: 279–290.
- Yang S-H, Lan S-S, Gong M (2009) Hydrogen peroxide-induced proline and metabolic pathway of its accumulation in maize seedlings. *J Plant Physiol* 166: 1694–1699.
- Yao Z, Liu L, Gao F, Rampitsch C, Reinecke DM, Ozga JA, Ayele BT (2012) Developmental and seed aging mediated regulation of antioxidative genes and differential expression of proteins during pre- and post-germinative phases in pea. *J Plant Physiol* 15: 1477–1488.
- Yeh YM, Chiu KY, Chen CL, Sung JM (2005) Partial vacuum extends the longevity of primed bitter melon seeds by enhancing their anti-oxidative activities during storage. *Sci Hortic* 104: 101–112.
- Zhang S, Hu J, Liu N, Zhu Z (2006) Pre-sowing seed hydration treatment enhances the cold tolerance of direct-sown rice. *Seed Sci Technol* 34(3): 593–601.
- Zheng M, Tao Y, Hussain S, Jiang Q, Peng S, Huang J et al (2016) Seed priming in dry direct-seeded rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under drought stress. *Plant Growth Regul* 78: 167–178.
- Zhuo J, Wang W, Lu Y, Sen W, Wang X (2009) Osmopriming-regulated changes of plasma membrane composition and function were inhibited by phenylarsine oxide in soybean seeds. *J Integr Plant Biol* 9: 858–867.

## فصل چهارم

اثر پیش تیمار بذر برنج بر تنش‌های زیستی و

غیر زیستی







#### ۴-۱- مقدمه

کشت برنج در حال حاضر در نواحی ریسک‌پذیر متمرکز است. این نواحی اکنون به واسطه‌ی اثر خشکی، شوری، غرقاب، دما و بسیاری از تنش‌های دیگر به علت رخدادهای متفاوت تغییرات آب‌وهوا، آسیب‌پذیرتر از قبل شده‌اند (روی و گوها، ۲۰۱۷؛ براون و همکاران، ۲۰۱۸؛ سارکار و همکاران، ۲۰۱۸). میلیون‌ها هکتار از زمین‌های تحت کشت برنج به سبب این تنش‌ها، تحت تأثیر قرار می‌گیرند (سارکار و همکاران، ۲۰۰۶؛ بایلی سریس و وویسنک، ۲۰۰۸؛ رادانیلسون و همکاران، ۲۰۱۸). در کشورهای پهناور جنوب و جنوب شرق آسیا، اساساً برنج در طول فصل بارانی (فروردین-آبان) کشت می‌شود (سک و همکاران، ۲۰۱۲؛ سینگ و سارکار، ۲۰۱۴؛ اسمیت و همکاران، ۲۰۱۷)؛ از الزامات دست‌یابی به تولید پایدار برنج، وجود شرایط محیطی بدون تنش است. در حین فصل بارانی، از جمله‌ی مسائل اصلی مربوط به آب و هوا شامل: خشکی، غرقاب و شوری هستند، درحالی‌که در طول فصل خشک، تنش دمایی بالا، سرما و شوری و همچنین در نواحی ساحلی عموماً تنش‌های غیر زیستی غالب می‌باشند (ردی و همکاران، ۲۰۰۹؛ سارکار و همکاران، ۲۰۱۸؛ رادانیلسون و همکاران، ۲۰۱۸). تنش دمایی بالا در مرحله‌ی گلدهی برنج و پر شدن دانه در فصل بارانی در مقایسه با فصل خشک، آن‌قدر شدید نیست. در کشورهای جنوب‌شرقی آسیا، دما در طی ماه‌های شهریور-مهر (گلدهی تا پر شدن دانه‌ی برنج فصل بارانی) در محدوده‌ی بهینه است، درحالی‌که طی خرداد و تیرماه (گلدهی تا پر شدن دانه‌ی فصل خشک) گاهی اوقات به بالاتر از حد بهینه می‌رسد (۳۳-۳۵ درجه‌ی سلسیوس). در همین راستا گزارش شده است که حتی یک ساعت دمایی ۳۵ درجه‌ی سلسیوس در دوره‌ی گلدهی می‌تواند عقیمی زیادی را

در برنج ایجاد کند (یوشیدا و همکاران، ۱۹۸۱؛ رانگ و همکاران، ۲۰۱۱).

افزایش تولید برنج در شرایط ناسازگار تغییرات آب‌وهوایی، برای دستیابی به امنیت غذایی بسیار حیاتی است. کاهش آسیب ناشی از تنش، می‌تواند بهره‌وری بیشتری را تأمین کند. از جمله‌ی روش‌های متفاوت به کار گرفته‌شده برای کم کردن تنش‌ها، پیش‌تیمار بذر است. به‌طور کلی تصور می‌شود که پیش‌تیمار بذر به آسانی باشد می‌تواند بهره‌وری را تحت محیط‌های پر از تنش بهبود بخشد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹؛ سارکار، ۲۰۱۲؛ سینگ و همکاران، ۲۰۱۶). بذر برنج خیس‌انده شده در آب-کلرین، جوانه‌زنی سریع‌تری را همراه با توسعه‌ی متعاقب گیاهچه به‌اندازه‌ی ۲۷ درصد بهتر از بذر تیمار نشده نشان داد (میکلسن و سایناه، ۱۹۶۱). رامیاه و آبچاندانی (۱۹۵۱) گزارش کردند که تیمار بذر با محلول مغذی، عملکرد را در برنج بهبود بخشید.

پیش‌تیمار بذر به علت تغییر در حالت فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذر می‌تواند جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه را بهبود می‌بخشد. بیان ژن‌های مربوط به تحمل تنش تحت پیش‌تیمار بذر، به‌طور ویژه‌ای انجام می‌شوند. حافظه‌ی تنش تا مرحله‌ی بعدی رشد ماندگاری دارد، چون بذرها‌ی پرایم‌شده برای غلبه بر تنش‌ها محتاط‌تر عمل می‌کنند. ترکیبات مختلفی برای پیش‌تیمار بذر استفاده می‌شوند که بذرها را در برابر تنش‌های غیر زیستی از قبیل خشکی، غرقاب، شوری، سمیت فلزات، دما و حتی تنش‌های زیستی از قبیل بیماری‌ها و آفات متحمل می‌کند. به همراه داشتن مزیت‌های فراوان، پیش‌تیمار بذر دارای معایبی نیز می‌باشد. تلاش‌های زیادی برای جبران کاهش عوارض ناشی از معایب مرتبط با پیش‌تیمار بذر در حال انجام است. علم و آگاهی مربوط به اثرات متقابل بین روش مناسب پیش‌تیمار و ارقام برنج می‌تواند مشکل ذخیره‌سازی بذرها‌ی پرایم‌شده را رفع کند. همانند پیش‌تیمار بذر، پوشش‌دار کردن بذر با منابع زنده و غیرزنده، به‌طور فراوانی تحمل به تنش‌های غیر زیستی متفاوت از قبیل کمبود اکسیژن در مرحله جوانه‌زنی، خشکی، شوری، سرما و کمبود مواد مغذی را بیشتر می‌کند. کشت مستقیم برنج در مقایسه با کاشت نشایی، بهره بیشتری را

از پیش تیمار بذر می‌برد. تا به امروز بیشتر مطالعات تحت شرایط آزمایشگاهی انجام شده‌اند. مطالعات مزرعه‌ای تحت تهاجم تنش‌های غیر زیستی همراه با بذره‌ای پرایم‌شده، خیلی زیاد نیستند. پیش تیمار و پوشش‌دار کردن بذر، پتانسیل تجاری زیادی دارد. تنگنای اصلی، طول عمر و هزینه‌ی مواد پوشش‌دهی است. علم و آگاهی در مورد طول عمر بذر و هزینه‌ی مواد و درک ذات و طبیعت تنش می‌تواند به پتانسیل تجارت و حاصلخیزی مزرعه کمک کند. پیش تیمار بذر یک تکنولوژی پاسخ‌دهنده به شرایط اقلیمی است و پیش تیمار بذر در جهت حمایت از تولید یک روش فوق‌العاده برای مقابله شدن با تنش‌های غیر زیستی و تغییرات آب‌وهوا ارائه می‌دهد.

فرایند جوانه‌زنی تحت پیش تیمار بذر در پایان مرحله دوم از طریق خشک کردن متوقف می‌شود. بذره‌ای تیمار شده اجزای بیوشیمیایی مرحله‌ی فعال‌سازی را حتی بعد از خشک شدن نگه می‌دارند. بنابراین، مدت زمان جوانه‌زنی در بذره‌ای پرایم‌شده در مقایسه با بذره‌ای پرایم‌نشده کوتاه می‌شود (سارکار، ۲۰۱۲؛ ساساکی و همکاران، ۲۰۱۵). ولی باید بررسی شود، آیا فواید جوانه‌زنی سریع‌تر در مراحل مختلف رشد گیاه اثر گذار می‌باشد یا خیر؟ از آنجایی که برنج از طریق کشت مستقیم یا به‌طور نشایی کشت می‌شود باید بررسی شود که پیش تیمار بذر برنج در کشت مستقیم سودمندتر است یا شرایط نشایی؟ آیا محصول زراعی به وجود آمده با بذره‌ای پرایم‌شده، تنش‌های غیر زیستی را در مراحل اولیه‌ی گیاهچه‌ای بهتر تحمل می‌کند یا در دوره‌های بعدتر رشدی؟ همان‌طور که پیش تیمار بذر با عوامل مختلفی صورت می‌پذیرد، آیا تأثیر چنین عواملی تا مرحله‌ی رسیدگی تداوم می‌یابد یا خیر؟ این مسئله نشان می‌دهد که برای دستیابی به مزایای پیش تیمار بذر برنج، درک عمیقی مورد نیاز است، به‌طوری‌که بذره‌ای پرایم‌شده، کجا و چگونه باید کاشته شوند تا بتوانند سطح تحمل تنش را افزایش دهند و در عوض مزایای بیشتری را در این گیاه زراعی ایجاد نمایند..

## ۴-۲- عوامل اثرگذارنده بر پیش‌تیمار بذر

همان‌طور که تعریف‌شده است، پیش‌تیمار بذر، آغاز فرایند جوانه‌زنی است که تا نزدیک پایان فرایند (مرحله III) دنبال می‌شود. قبل از ظهور ریشه‌چه، بذره‌های مرطوب خشک و سپس این بذره‌های خشک‌شده برای کشت استفاده می‌شوند. بعلاوه، خیساندن بذر نیز با مواد مختلف شیمیایی محلول در آب، عصاره‌های مختلف مواد ارگانیک و عوامل زیستی انجام می‌شود. تصور می‌شود که وجود چنین موادی در بذره‌های نیمه جوانه‌زده ممکن است به رشد گیاه کمک کند؛ بنابراین، جنبه‌ی دیگر پیش‌تیمار بذر، افزایش و ذخیره مواد تحریک‌کننده رشد، در بذرها می‌باشد. زمانی که محیط مطلوب باشد، بذره‌های (بدون حالت خواب) شروع به جوانه زدن می‌کنند. دما، نقشی کلیدی در زمان جذب آب بازی می‌کند که به‌واسطه‌ی جوانه‌زنی دنبال می‌شود. رشد گیاهچه تا حدود زیادی به ذخایر بذر بستگی دارد و نقش دما برای نرخ رشد نسبتاً مضاعف است (اونتو و مایوشی، ۲۰۰۵؛ تایلینینی و همکاران، ۲۰۱۲). بسته به دما، زمان پیش‌تیمار بذر نیز متفاوت می‌باشد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۶). این زمان ممکن است یک روز در ۲۵ درجه‌ی سلسیوس تا ۴ روز در ۱۵ درجه‌ی سلسیوس متغیر باشد؛ با این وجود در دمای بهینه‌ی ۳۰ درجه‌ی سلسیوس، ممکن است ۱۸-۱۶ ساعت باشد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹). احتمالاً، هرگونه محیط واسطه‌ی پیش‌تیمار بذر که از فرایند جذب آب جلوگیری می‌کند می‌تواند فرایند جذب آب را به تأخیر بیندازد. زمان‌بندی‌های پیش‌تیمار بذر به روش‌های پیش‌تیمار بستگی دارند. مطالعات محدودی بر روی آبیگری بذر با هواده‌ی انجام‌شده است. فاروق و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که پیش‌تیمار اُسمزی تحت شرایط هواده‌ی منجر به بهبود درصد جوانه‌زنی، استقرار پایه و عملکرد در برنج می‌شود. تحت شرایط افزایش مقدار اکسیژن، زمان جوانه‌زنی ممکن است در مقایسه با شرایط کمبود اکسیژن (زیر سطح بهینه‌ی اکسیژن) کاهش پیدا کند (ویجایان و همکاران، ۲۰۱۸). تمام این‌ها نشان می‌دهند که هیچ‌گونه زمان‌بندی ثابتی برای خواب بذرها در پیش‌تیمار وجود ندارد. استانداردهای فرایند برای دستیابی به اثربخشی و سودمندی روش پیش

تیمار بذر، مهم است.

جوانه‌زنی بذر یک پروسه‌ی پیچیده است. مانع مکانیکی بوجود آمده توسط پوشش بذر می‌تواند به واسطه‌ی جوانه‌زنی جنین سست و ضعیف شود. فرایندها تحت کنترل هورمون‌هایی از قبیل اسید جیبرلیک، اسید آبسزیک، اتیلن، اکسین، جاسمونات‌ها و اکسیدنیتریک هستند (فینچ-ساواج و لوبنر، ۲۰۰۶؛ استینبرچر و لوبنر، ۲۰۱۸). اسید آبسزیک از جوانه‌زنی جلوگیری می‌کند و سطح آن در بذرهای بالغ بالا است (فاینکلستین و گیسون، ۲۰۰۲). در طی فرایند جذب آب، غلظت اسید آبسزیک کاهش و غلظت اسید جیبرلیک شروع به افزایش می‌کند. از طریق پیش تیمار بذر، تعادل بهینه‌ی هورمون‌های گیاهی قابل دسترس می‌شوند (واریر و همکاران، ۲۰۱۰). فعالیت آنزیم بتا-ماناناز در طول مراحل I و II جوانه‌زنی افزایش می‌یابد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵). این آنزیم، دیواره‌ی سلولی آندوسپرم را در اطراف ریشه‌ی اصلی ضعیف تا رویش آن را آسان‌تر کند (بویلی، ۱۹۹۷). اسید جیبرلیک فعالیت آنزیم بتا-ماناناز را بالا می‌برد، در حالی که اسید آبسزیک، فعالیت آن را باز می‌دارد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵). بذرهای برنج حاوی پلیمرهای مانان که توسط تأثیر آنزیم بتا-ماناناز<sup>۱</sup> خالص‌سازی می‌شوند به تحرک مواد ذخیره‌ای کمک می‌کنند (دایرک و همکاران، ۱۹۹۵). چند آنزیم هیدرولیتیک مانند آلفا-امیلاز، آنزیم‌های غیرمنشعب، آلفا-گلوکوزیداز<sup>۲</sup>، آلكالین فسفاتاز<sup>۳</sup> و همچنین فیتاز<sup>۴</sup>، در طول مرحله II جوانه‌زنی بذر به‌منظور به کار گرفتن مواد ذخیره‌ای بیش از حد بیان می‌شوند (پاندا و همکاران، ۲۰۱۷). سنتز پروتئین جدید و تنفس در طول مرحله I تسریع می‌شود در حالی که در طول مرحله II، تغییرات شیمیایی پایدار می‌شوند. در هر دو مرحله، mRNA ها و پروتئین‌های جدید ساخته می‌شوند تا فرایند جوانه‌زنی ادامه یابد (داس و همکاران، ۲۰۱۵). به نظر می‌رسد که تعداد زیادی از میتوکندری‌ها نیاز به انرژی در طول این مراحل را تأمین کنند (بای و همکاران،

---

1  $\beta$ -mannanase

2  $\alpha$ -glucosidase

3 Alkaline phosphatase

4 Phytase

۲۰۱۷). مرحله II، یکی از مراحل رشدی بحرانی برای اجرای پیش‌تیمار بذر است. جوانه‌زنی در این مرحله ناتمام می‌ماند. وقایع متابولیک اصلی مانند ترمیم میتوکندری، ترمیم نواقص سلولی، اصلاح DNA و شکست ذخایر و سنتز RNA های جدید و پروتئین‌ها در طی مرحله II رخ می‌دهند. حداکثر بیان ژن و وقایع متابولیکی به زمان‌بندی جذب آب توسط بذر بستگی دارند. در طول مرحله I، اساساً ژن مرتبط با تنش ظاهر می‌شود، درحالی‌که در طی مرحله II، ژن مرتبط با متابولیسم هیدرات کربن، سنتز پروتئین و سیگنال غالب می‌شود. چنگ و همکاران (۲۰۱۷) با دیدن الگوی بیان پروتئین گلوکز-۱-فسفات آدنیل ترانس‌فراز<sup>۱</sup>، آمینوترانس‌فراز<sup>۲</sup> و پیش‌ماده‌ی پرولامین<sup>۳</sup> تفسیر کردند که در دمای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس زمان بهینه متوقف کردن جذب آب ۲۴ ساعت بعد از آغاز جذب آب است. آن‌ها همچنین نشان دادند که در طی مرحله‌های I و II جوانه‌زنی بذر، یک تغییر بزرگ در درون بذر در حال جوانه‌زنی اتفاق می‌افتد. تغییرات حتی بعد از عدم تکامل فرایند جوانه‌زنی پایدار می‌مانند (هی و یانگ، ۲۰۱۳؛ چنگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ نارسای و همکاران، ۲۰۱۷)؛ بنابراین، پیش‌تیمار بذر، فرایندهای جوانه‌زنی را تحریک می‌کند به‌طوری‌که زمان کمتری برای تکمیل وقایع جوانه‌زنی مورد نیاز می‌شود.

### ۴-۳- روش‌های پیش‌تیمار بذر در شرایط تنش

روش‌های مختلف پیش‌تیمار بذر بسته به اجزای تشکیل‌دهنده‌ی محیط پیش‌تیمار متفاوت می‌باشند. برای کم کردن تنش، پیش‌تیمار با آب ساده همیشه کافی و مناسب نیست، بنابراین شناخت روش‌ها با و یا بدون عوامل مرتبط برای بی‌اثر کردن اثرات تنش مهم هستند.

**پیش‌تیمار با آب:** بذرها بدون هیچ‌گونه مواد اضافی در محلول آب خیس می‌شوند.

1 Glucose-1-phosphate adenylyltransferase

2 Aminotransferase

3 Prolamin

**پیش تیمار اُسمزی:** زمانی که اجسام حل شده که پتانسیل آب محلول را تغییر می‌دهند به‌عنوان عوامل پیش تیمار استفاده می‌شوند، تحت عنوان پیش تیمار اُسمزی شناخته می‌شوند. پلی اتیلن گلیکول، کلرید کلسیم و کلرید سدیم چندین نمونه هستند.

**پیش تیمار ردوکس<sup>۱</sup> (اکسایش-کاهش):** زمانی که مواد شیمیایی که حالت ردوکس محلول را تغییر می‌دهند به‌عنوان عامل پیش تیمار استفاده می‌شوند، تحت عنوان پیش تیمار ردوکس نامیده می‌شوند. پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ )، عامل خوبی برای پیش تیمار ردوکس است.

**پیش تیمار مواد مغذی/شیمیایی:** مواد شیمیایی که عناصر غذایی اصلی و فرعی از قبیل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد، بور و سلنیوم را تأمین می‌کنند در پیش تیمار مواد مغذی/شیمیایی استفاده می‌شوند.

**پیش تیمار ارگانیک/هورمونی:** مواد ارگانیک یا هورمون‌های متفاوتی به‌عنوان عامل پیش تیمار استفاده می‌شوند، مانند پلی آمین‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه از قبیل کیتین، اسید جیبرلیک، اکسین و اسید سالیسیلیک.

**پیش تیمار گیاهی:** به‌جای مواد شیمیایی یا مواد مصنوعی، عصاره‌های گیاهی به‌عنوان عامل پیش تیمار استفاده می‌شوند.

**ماتری پیش تیمار<sup>۲</sup>:** به‌جای قرار دادن بذر در داخل محیط مایع، بذر با محیط دارای ذرات ریز رس گرانوله یا ورمی‌کولایت مخلوط می‌شوند. آب به‌کندی توسط بذر جذب می‌شود.

**پیش تیمار بذر در مزرعه:** این روش در میان زارعین برنج مناسب است. بذر با مدت یک شب (۱۰-۱۲ ساعت) در دمای اتاق در محدوده‌ی ۲۵ تا ۳۲ درجه‌ی سلسیوس خیسانده می‌شوند. سطح بذرهای خیسانده شده برای بذرپاشی آسان قبل از کاشت خشک

---

1 Redox priming

2 Matriming



می‌شود (هریس و همکاران، ۱۹۹۱؛ ۲۰۰۱). بذرها بر روی بستر بذر یا در مزرعه درجایی که رطوبت در حد مطلوب است کاشته می‌شوند.

اساساً، هرگونه روش پیش‌تیمار بذر از سایر روش‌ها خیلی متفاوت نبوده و بر اساس کاربرد مواد به‌عنوان عوامل پیش‌تیمار نام‌های متفاوتی دارند.

#### ۴-۴- تقویت بذر در برابر تنش از طریق پوشش دهی با مواد شیمیایی/عوامل

##### زیستی

پوشش دهی غیرارگانیک: بذره‌های کپسوله شده با مواد شیمیایی/ اصلی متفاوت با منشأ غیرارگانیک پوشش داده می‌شوند.

پوشش دهی ارگانیک (پیش‌تیمار زیستی): عوامل بیولوژیکی یا اساساً ارگانیک‌های زنده همراه با بذرها پوشانده می‌شوند.

#### ۴-۵- پیش‌تیمار بذر برنج

##### ۴-۵-۱- پوسته: جذب آب و انتقال گازی

جذب، اولین مرحله‌ی جوانه‌زنی بذر است. کاهش در جذب آب توسط بذره‌های در حال جوانه‌زنی، فرایند جوانه‌زنی را کند می‌کند. از سوی دیگر قابلیت دسترسی به اکسیژن بیشتر در برابر جنین در حال جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را افزایش می‌دهد (روبرتز، ۱۹۶۱). پوسته‌ی سالم برنج، انتقال آب و گازها را محدود می‌کند (تولی و همکاران، ۱۹۵۶). جوانه‌زنی بذر زمانی رخ می‌دهد که مقدار کافی از آب جذب شده و پوشش بذر، نرم و الاستیک شود (استینبرگر و لوبنر، ۲۰۱۸). در ابتدا پوسته‌ی برنج جذب آب را محدود می‌کند و سپس، جذب آب کند می‌شود. با گذشت زمان، جذب آب افزایش می‌یابد. ورود آب در طول جذب به داخل سلول‌های بذر خشک، پوسته و لایه‌ی آلورون را می‌شکند (بویلی و همکاران، ۱۹۹۷). برای تحمیل پیش‌تیمار بذر، بذره‌های خیس‌انده دوباره خشک می‌شوند.

این بذرها برای جذب آب مناسب‌تر هستند و محدودیت بیشتری در حرکت گاز ایجاد نمی‌کنند. حرکت محدود آب و گازها، فشار زیادی بر قدرت رویش گیاهچه و رشد دارند (ویلباوم و همکاران، ۱۹۹۸). به علت عمل بازدارندگی کمتر پوسته، بذرهاى پراپم‌شده قادر به جوانه‌زنی سریع‌تر و گیاهچه‌ی بهتری هستند (تولی و همکاران، ۱۹۵۶).

#### ۴-۵-۲- بازدارنده‌ی رشد

پوسته، لایه‌ی محافظ جنین است. تحت شرایط نامساعد، از بذر محافظت می‌کند. برنج غالباً در فصل بارانی رشد می‌کند. باران مکرر در طی مرحله‌ی رسیدگی بذر، محیط مناسبی برای جوانه‌زنی بذر ایجاد می‌کند. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که درصد بازدارنده‌های رشد در پوسته یا آندوسپرم یا هر دو، از جوانه‌زنی جلوگیری بذرها روی خوشه در حال رسیدن جلوگیری می‌کنند (تولی و همکاران، ۱۹۵۶؛ میشر و پاتنایک، ۱۹۵۹؛ تاکاشی و همکاران، ۱۹۷۶). بازدارنده‌های رشد، فرایند جوانه‌زنی را کند می‌کند (واحد و همکاران، ۲۰۱۲؛ شیراتسوچی و همکاران، ۲۰۱۷). سیرکار و همکاران (۱۹۵۵) مشاهده کردند که غلظت بیشتر اکسین در آندوسپرم، رشد جنین در مراحل اولیه‌ی جوانه‌زنی را کند نمود. آن‌ها بخشی از آندوسپرم را حذف و جوانه‌زنی بهتر و رشد گیاهچه را مشاهده کردند. بعد از آن، مشاهده شد که آنتاگونیسم بین اسید آبسزیک و اسید جیبرلیک، جوانه‌زنی را کنترل می‌کند (ژئو و همکاران، ۲۰۰۹). غلظت بالای اسید آبسزیک در بذرها از جوانه‌زنی جلوگیری می‌کند، درحالی‌که اسید جیبرلیک جوانه‌زنی را تحریک می‌کند (بویلی و نونوگاک، ۲۰۱۷). بذرهاى موتانت که دارای کمبود اسید آبسزیک می‌باشند دارای پتانسیل آب کمتری هستند و در نتیجه جذب آب همراه با جوانه‌زنی را بهبود می‌بخشند؛ بنابراین، موتانت‌هایی با محتوای کمتر اسید آبسزیک، آب را به‌آسانی جذب و با عملکرد بازدارندگی کمتر بر روی جوانه‌زنی مواجه می‌شوند. هر بار که بذرها خیس‌انده می‌شوند، علاوه بر ضعیف کردن بافت‌های پوسته و از دست دادن دیواره‌ی سلولی جنین، بازدارنده‌های رشد زیادی از روی بذرها نیز شسته

می‌شوند (هیلهورست و تووروپ، ۱۹۹۷). در طی فرایندهای آبیگری مجدد، در حضور بازدارنده‌ها، عملکرد محرک‌های رشد سریع‌تر شده و جوانه‌زنی سرعت می‌گیرد (بویلی و نونوگاک، ۲۰۱۷).

#### ۴-۵-۳- تغییرات متابولیک ناشی از تنش‌ها در بذرهای در حال جوانه‌زنی

شرایط تنش در بسیاری از گیاهان به‌طور منفی جوانه‌زنی بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (پاتادا و همکاران، ۲۰۱۱؛ انصاری و شریف‌زاده، ۲۰۱۲). جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه برنج، حساس‌ترین مراحل به تنش غیر زیستی در چرخه‌ی حیات زیستی گیاه هستند (پاتادا و همکاران، ۲۰۱۱؛ حسن و همکاران، ۲۰۱۳؛ فضلعلی و همکاران، ۲۰۱۳). حتی زمانی که بذرهای باکیفیت بالا در دسترس باشند، تنش‌های غیر زیستی گوناگون می‌توانند جوانه‌زنی بذر را به تأخیر انداخته یا از آن جلوگیری کنند (حقیقی و همکاران، ۲۰۱۲). در مرحله اولیه‌ی جوانه‌زنی بذر، تنش‌های غیر زیستی می‌توانند به نوکلئیک اسیدها، پروتئین‌ها و لیپیدها، آسیب وسیع اکسیداتیو برسانند (کرانر و همکاران، ۲۰۱۰؛ ونتورا و همکاران، ۲۰۱۲؛ پاپارللا و همکاران، ۲۰۱۵؛ ابراهیم، ۲۰۱۶).

سرما، خشکی، شوری و دمای بالا، تنش‌های غیر زیستی عمده‌ای هستند که به‌طور معکوس بر رشد و عملکرد برنج اثر می‌گذارند. آن‌ها، نوعی از تغییرات بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و متابولیکی را در برنج ایجاد می‌کنند که شامل تولید ROS است که می‌تواند پراکسیداسیون لیپید غشاء را تحریک کند که در نتیجه منجر به آسیب غشاء، آسیب شدید به DNA و تجزیه سلول و تخریب اجزای فتوسنتزی شود (حسن‌الزمان و همکاران، ۲۰۱۳؛ جیسا و پاتور، ۲۰۱۴؛ شتیوی و همکاران، ۲۰۱۸). شوری به‌واسطه‌ی ایجاد پتانسیل اسمزی با تأثیر بر جوانه‌زنی بذر برنج، از مصرف آب در طول جذب آب جلوگیری کرده یا به‌واسطه‌ی اثرات سمی سدیم و یون‌های کلرید بر زیست‌پذیری جنین اثر می‌گذارد. (مانز، ۲۰۰۲؛ خواجه‌حسینی و همکاران، ۲۰۰۳؛ جهرمی و همکاران، ۲۰۰۸؛ داس‌زوسکا-گولک، ۲۰۱۱؛

شتیوی و همکاران، ۲۰۱۸). اثرات سمی یون‌ها باعث مختل کردن آنزیم‌ها و سایر ساختارهای ماکرو مولکولی می‌شوند، به اندام‌های سلولی و غشای پلاسمایی آسیب می‌زنند، از ساخت پروتئین‌ها جلوگیری می‌کنند و باعث ناپایداری تنفس و فتوسنتز می‌شوند (فنگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ پاریدا و داس، ۲۰۰۵؛ پاندا و خان، ۲۰۰۹). بعلاوه، تنش شوری تعادل هورمون‌ها در بافت گیاه برنج را تغییر می‌دهد، نمک بیش از حد همراه با کاهش در اکسین، جیبرلین‌ها، اسید سالیسیلیک و سیتوکنین‌ها، سبب افزایش در آبسزیک اسید و اسید جاسمونیک در بافت‌های گیاهی می‌شود (جاوید و همکاران، ۲۰۱۱؛ میرانصاری و اسمیت، ۲۰۱۴). جوانه‌زنی بذر برنج تحت تنش شوری با اختلال در فرایندهای متابولیک از قبیل کاهش در مصرف آب و تغییرات در تحرک ذخایر موجود در بذر، بر ساختار پروتئین‌ها اثر می‌گذارد (فولاد و لین، ۱۹۹۷؛ ماچیدونتو و همکاران، ۲۰۰۴).

واکنش گیاهان به تنش‌های شوری و خشکی مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مشابهی را نشان می‌دهند. سلول گیاهی، هر دو تنش را به‌صورت محدود آب دریافت می‌کند (طوبلی و همکاران، ۲۰۱۱). تنش سرما می‌تواند تعادل متابولیک سلول را مختل کند که منجر به کاهش تنفس سلولی (ساقی و همکاران، ۲۰۰۶) و آسیب غشاء (کورکمز و همکاران، ۲۰۱۰) می‌شود. قرار گرفتن بذرهای در حال جوانه‌زنی در تنش‌های غیر زیستی منجر به تنش اکسیداتیو می‌شود، به‌طوری‌که به‌واسطه‌ی تولید بیش از حد پراکسید هیدروژن، ROS ها، سوپراکسید و رادیکال‌های آزاد از طریق اکسیداسیون نوکلئیک‌اسیدها، پروتئین‌ها و لیپیدهای سلول‌ها آسیب بزنند (پاستوری و فویر، ۲۰۰۲؛ اپل و هیرت، ۲۰۰۴؛ بنده‌اوغلو و همکاران، ۲۰۰۴؛ اشرف و فولاد، ۲۰۰۵؛ سوزوکی و میتلر، ۲۰۰۶؛ مانز و تستر، ۲۰۰۸).

گیاهان دارای یک سیستم آنتی‌اکسیدانی برای مهارکردن ROS های سمی هستند. کاربرد مؤثر سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی، برای تحمل تنش‌های غیر زیستی در گیاهان حیاتی است (گنگ و همکاران، ۲۰۰۵). ROS، دو نقش خلاف هم بازی می‌کند: در غلظت‌های پایین، به‌عنوان مولکول‌های سیگنال عمل می‌کنند که واکنش‌های دفاعی را

تنظیم می‌کنند. درحالی‌که سطوح سلولی بالا ROS ها باعث آسیب به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشا، نوکلئیک‌اسیدها، هیدرات کربن‌ها، رنگدانه‌ها، کلروپلاست‌ها و آنزیم‌ها می‌شوند که در نهایت منجر به تنش اکسیداتیو می‌شوند (پاستوری و فویر، ۲۰۰۲؛ اپل و هاپرت، ۲۰۰۴؛ بنده‌اوغلو و همکاران، ۲۰۰۴؛ اسمیرناف، ۲۰۰۵؛ دل‌ریو و پاپو، ۲۰۰۹؛ لئو و همکاران، ۲۰۱۰؛ گود و کچوله، ۲۰۱۱؛ سوزوکی و همکاران، ۲۰۱۲؛ یی و همکاران، ۲۰۱۴). آسیب ROS به تعادل بین تولید و مهار ROS به زمان و مکان مناسب بستگی دارد و این موازنه ممکن است به‌واسطه‌ی تنش‌های غیر زیستی مختل شود (گراتاو و همکاران، ۲۰۰۵).

زمانی که گیاه برنج تحت شرایط مطلوب رشد می‌کند تولید و مهار ROS در تعادل دینامیک است؛ اما زمانی که این گیاه در معرض تنش‌های غیر زیستی گوناگون قرار می‌گیرند تولید و تجمع ROS ها می‌تواند این تعادل حساس را مختل کند (نیل و همکاران، ۲۰۰۲؛ اشرف و هاریس، ۲۰۰۴؛ مانز و تستر، ۲۰۰۸؛ داس و همکاران، ۲۰۱۵؛ شتیوی و همکاران، ۲۰۱۸).

ROS ها، آسیب به ماکرو مولکول‌های سلولی (پروتئین‌ها، نوکلئیک‌اسیدها و لیپیدها) و در نهایت به ساختار سلولی یا حتی آسیب به سیستم آنتی‌اکسیداتیو را تحریک می‌کنند (مک‌دونالد، ۱۹۹۹؛ بنده‌اوغلو و همکاران، ۲۰۰۴؛ اشرف و فولاد، ۲۰۰۵؛ گراتاو و همکاران، ۲۰۰۵؛ مانز و تستر، ۲۰۰۸؛ هلا و همکاران، ۲۰۱۱؛ کاو ناری و همکاران، ۲۰۱۱؛ مانا و همکاران، ۲۰۱۳). تحت تنش غیر زیستی، پراکسیداسیون لیپید ممکن است یکی از حیاتی‌ترین مکانیسم‌های مولکولی درگیر در بازداری از جوانه‌زنی بذر باشد (یانگ و همکاران، ۲۰۱۰). تولید ROS های ناشی از تنش غیر زیستی، محتویات مالون‌دی‌آلدئید<sup>۱</sup> (MDA) را افزایش می‌دهد که جهش‌زاترین محصول پراکسیداسیون لیپید است و همچنین به‌واسطه‌ی واکنش با ماکرو مولکول‌های سلولی می‌تواند سبب آسیب به سلول شود (زو و همکاران، ۲۰۱۵؛ علی و همکاران، ۲۰۱۷؛ شتیوی و همکاران، ۲۰۱۸). تعدادی از بررسی‌ها، افزایش در

1 Malondialdehyde

حجم MDA را در تنش‌های غیر زیستی گوناگون گزارش کرده‌اند (خان و پاندا، ۲۰۰۸؛ علی و همکاران، ۲۰۱۷؛ شتیوی و همکاران، ۲۰۱۸). حضور MDA در بذرهای درحال جوانه‌زنی ممکن است دلیلی بر آسیب غشاء در سطح سلولی هنگام مواجه با تنش غیر زیستی باشد (ویسانی و همکاران، ۲۰۱۸)؛ بنابراین، میزان آن منعکس‌کننده‌ی آسیب اکسیداتیو در بافت گیاهی است (گنگ و همکاران، ۲۰۰۸).

درجه‌ی آسیب به تعادل بین تشکیل ROS و حذف آن به‌واسطه‌ی سیستم‌های مهارکنندگی آنتی‌اکسیداتیو بستگی دارد که حمایت قاطعی را در برابر تنش اکسیداتیو ارائه می‌دهد و به نظر می‌رسد که یکی از صفات نسبتاً مهم تحمل به تنش باشد. تجمع ROS ناشی از تنش به‌واسطه‌ی سیستم‌های آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی است. سیستم آنتی‌اکسیداتیو از آنزیم‌های بی‌شماری شامل: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، سوپراکسید دیسموتاز<sup>۱</sup> (SOD) و کاتالاز (CAT) و اجزای غیر آنزیمی شامل آنتی‌اکسیدان‌های با حجم مولکولی پایین از قبیل ASA، گلوکاتینون و کاروتنوئیدها تشکیل شده است (شارما و دوبی، ۲۰۰۷؛ گنگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ زو و همکاران، ۲۰۱۱)؛ بنابراین، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برنج که به مهارکردن ROS و حفاظت سلولی کمک می‌کنند مربوط به تحمل شوری آن‌ها است (گنگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ گوپتا و همکاران، ۲۰۱۰؛ داس و همکاران، ۲۰۱۵؛ ابراهیم، ۲۰۱۶). سوپراکسید به‌واسطه‌ی اثر SOD به پراکسید هیدروژن و در نهایت به‌واسطه‌ی CAT به اکسیژن مولکولی و آب تبدیل می‌شود، بنابراین از تشکیل رادیکال هیدروکسیل (شدیداً خطرناک) از پراکسید هیدروژن جلوگیری می‌کند. این حالت، نقش‌های حیاتی فراوانی را در بذر در طی دگرگونی غشای سلولی بازی می‌کند (گول و همکاران، ۲۰۰۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ جیل و تیوتجا، ۲۰۱۰؛ کایینزا و همکاران، ۲۰۱۱).

---

1 Superoxide dismutase

#### ۴-۶- سازوکارهای تحمل تنش غیر زیستی ناشی از پیش‌تیمار بذر

سازگاری با تنش‌های غیر زیستی شامل فرایندهای پیچیده‌ای است که در تغییرات گوناگون از قبیل ژن‌های القا-خاص، فعالیت‌های ترفیع یافته‌ی آنتی‌اکسیداتیو، افزایش‌های ناپایدار در سطوح تنظیم‌کننده‌ی گیاهی، پروتئین‌های حفاظتی، سرکوب مسیرهای مصرف‌کننده‌ی انرژی و تجمع اُسمولیت‌ها درگیر هستند (بارتلز و سانکر، ۲۰۰۵).

اعمال خارجی برخی عوامل به‌واسطه‌ی پیش‌تیمار بذر می‌تواند کارایی جوانه زنی بذر و استقرار گیاهچه را تحت شرایط تنش غیر زیستی افزایش دهد. پیش‌تیمار بذر یکی از رویکردهای فیزیولوژیکی مفید است که می‌تواند برای تحمل تنش‌های غیر زیستی ناسازگار از قبیل سرما، خشکی، شوری و سرما در برنج استفاده شود (سایوریتپ و همکاران، ۲۰۰۵؛ اشرف و فولاد، ۲۰۰۵؛ فاروق و همکاران، ۲۰۰۸a؛ پاتادا و همکاران، ۲۰۰۹؛ بیات و سپهری، ۲۰۱۲؛ کاظمی و اسکندری، ۲۰۱۲؛ خان و همکاران، ۲۰۱۲؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۶a). اثرات سودمند پیش‌تیمار بذر ممکن است اساساً تحت شرایط تنش غیر زیستی خیلی آشکار باشد (اشرف و فولاد، ۲۰۰۵؛ بیکرز و کونرات، ۲۰۰۷؛ چن ۲۰۱۱؛ چن و آروا، ۲۰۱۳؛ ابراهیم ۲۰۱۶؛ ماسوندو و همکاران، ۲۰۱۸).

تحمل تنش غیر زیستی شبیه‌سازی‌شده توسط پیش‌تیمار بذر برنج احتمالاً از طریق دو استراتژی قابل‌دستیابی است. در استراتژی اول، پیش‌تیمار بذر، فرایندهای متابولیک پیش از جوانه‌زنی از قبیل افزایش در متابولیسم انرژی، تحرک اولیه‌ی ذخایر غذایی بذر، طویل شدن سلول جنینی و ضعیف شدن آندوسپرم را تحریک می‌کند (کوربینائو و همکاران، ۲۰۰۰؛ بنامار و همکاران، ۲۰۰۳؛ پاندیتا و همکاران، ۲۰۰۷؛ سونگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ لی و همکاران، ۲۰۱۰؛ سان و همکاران، ۲۰۱۰؛ چن و آروا، ۲۰۱۱) که تبدیل بذرهای خاموش به وضعیت در حال جوانه‌زنی را میسر می‌سازند. در استراتژی دوم، پیش‌تیمار بذر، تنش‌های زیستی را بر روی بذرهای تحمیل می‌کند که رشد ریشه‌چه را کاهش می‌دهد ولی القای تحمل متقاطع به تنش‌های غیر زیستی، فعال‌سازی آنزیم‌ها و سازگاری اُسمزی را تقویت می‌کنند.

این استراتژی‌های تحمل به تنش، یک «حافظه‌ی پیش تیمار» را در بذره‌ای پرایم‌شده در حال جوانه‌زنی برنج شکل می‌دهند که می‌تواند به دنبال مواجهه با تنش و تحمل تنش متوسط به کار گرفته شود (بروک و همکاران، ۲۰۰۷؛ چن و آرورا، ۲۰۱۳؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۶؛ ابراهیم ۲۰۱۶).

پیش تیمار بذر برنج در مواجهه با تنش پیش از جوانه‌زنی سبب ایجاد حافظه‌ی تنش در بذرها می‌شود که برای تحمل به تنش‌های احتمالی مؤثر می‌باشد (بسکرز و کونرات، ۲۰۰۷؛ تانو و همکاران، ۲۰۱۲). فرایند پیش تیمار بذر شامل مواجهه‌ی قبلی با برخی از عوامل است که به گیاه برنج قدرت می‌دهند تا بر مواجهه با تنش‌های آتی قدرت غلبه داشته باشد. این فرایند به‌وسیله‌ی تحریک افزایش پتانسیل آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی، انباشت اشکال غیرفعال پروتئین‌های سیگنالی‌نگ، فاکتورهای رونویسی ضروری، وقوع تغییرات اپی‌ژنتیک، القای واکنش‌های دفاعی متصل به جاسمونات در برابر تغییرات اپی‌ژنتیک و تسریع مکانیسم دفاعی در مقابل محیط‌های ناسازگار را شامل می‌شود (روز ۱۹۹۶؛ فاروق و همکاران، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹؛ بسکرز و کونرات، ۲۰۰۷؛ بروک و همکاران، ۲۰۰۷؛ تانو و همکاران، ۲۰۱۲؛ کاسوت و همکاران، ۲۰۱۹).

پیش تیمار بذر برنج، کارایی سنتز پروتئین را در بافت گیاهی بهبود می‌بخشد؛ سنتز پروتئین‌های خاص از قبیل پروتئین‌های شوک حرارتی (HSP ها) را تسریع می‌کند که تحمل به تنش‌های گرما و سرما را افزایش می‌دهند؛ پروتئین آنزیم L-ایزواسپریل متیل ترانس‌فراز<sup>۱</sup> را افزایش می‌دهد که موجب می‌شود این پروتئین، بافت آسیب دیده را ترمیم کند (کستر و همکاران، ۱۹۹۷؛ جی و همکاران، ۲۰۱۷).

پیش تیمار بذر برنج می‌تواند به‌واسطه‌ی بالا بردن تجمع مواد آسمزی از قبیل پرولین، قندهای محلول و پروتئین‌های محلول، تحمل تنش غیر زیستی را افزایش دهد، این مواد پتانسیل آسمزی را تنظیم و فعالیت‌های حفاظتی آنزیم‌هایی از قبیل CAT، SOD و

---

<sup>1</sup> L-isoaspartyl methyltransferase



پراکسیداز (POX) را افزایش می‌دهند که از سلول‌ها در برابر تنش اکسیداتیو در تنش‌های غیر زیستی دفاع می‌کنند (میتال و دوبی، ۱۹۹۵؛ بوهنرت و شن، ۱۹۹۹؛ کاظمی و اسکندری، ۲۰۱۲؛ جوشی و همکاران، ۲۰۱۳؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۶ a و b؛ پال و همکاران، ۲۰۱۷). گیاهان بر اثرات اُسمزی تحریک‌شده با تنش از قبیل شوری و خشکی از طریق تجمع غلظت‌های بالای اجسام حل‌شده‌ی ارگانیک و غیرارگانیک در سیتوپلاسم غلبه می‌کنند (دآز و دونتو و همکاران، ۲۰۰۵؛ ماسن ۲۰۰۵؛ گون کالوس و همکاران، ۲۰۰۷؛ فرهودی و همکاران، ۲۰۱۱؛ فاروق، ۲۰۱۱؛ زو و همکاران، ۲۰۱۱؛ جوشی و همکاران، ۲۰۱۳؛ ماتياس و همکاران، ۲۰۱۵؛ ابراهیم ۲۰۱۶).

تحت شرایط تنش غیر زیستی، سیستم آنتی‌اکسیدانی به‌عنوان یکی از سیستم‌های دفاعی کلیدی در بذره‌های پرایم‌شده در حال جوانه‌زنی، برای کنترل تجمع ROS تحت تنش‌های غیر زیستی فعال می‌شود (مک دونالد ۲۰۰۰؛ سو و همکاران، ۲۰۰۳؛ گونگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ گوپتا و همکاران، ۲۰۱۰؛ داس و همکاران، ۲۰۱۵؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵؛ ابراهیم ۲۰۱۶؛ بنرجی و روی‌چودوری، ۲۰۱۸). پیش‌تیمار بذر برنج، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل CAT، POX، SOD و GR را افزایش داده و سطح آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی از قبیل اسید آسکوربیک را بالا می‌برد. این اعمال، در مهارکنندگی ROS و حفاظت بذر از طریق کاهش تولید سوپراکسید و پراکسیدهای پروژن فعال هستند (نوکتور و فویر، ۱۹۹۸؛ مک‌دونالد ۲۰۰۰؛ افضل و همکاران، ۲۰۰۲؛ ورنووا و همکاران، ۲۰۰۲؛ سو و همکاران، ۲۰۰۳؛ گونگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ زو و همکاران، ۲۰۱۱؛ انصاری و شریف‌زاده، ۲۰۱۲؛ نواز و همکاران، ۲۰۱۲؛ شارما و همکاران، ۲۰۱۴؛ صادقی و همکاران، ۲۰۱۴؛ ماتياس و همکاران، ۲۰۱۵؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵؛ ابراهیم ۲۰۱۶؛ پال و همکاران، ۲۰۱۷؛ کاسوت و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین پیش‌تیمار بذر برنج، تجمع رنگدانه‌های محافظتی نوری از قبیل آنتوسیانین را تسریع می‌بخشد که مهار ROS و محافظت گیاه را افزایش می‌دهند (بنرجی و روی‌چودوری، ۲۰۱۶).

پیش تیمار بذر برنج، تجمع MDA را کاهش می‌دهد، MDA تحت تنش‌های غیر زیستی افزایش می‌یابد و به‌عنوان مارکر تنش اکسیداتیو استفاده می‌شود. این کاهش همراه با ترمیم بهتر غشا و واکنش‌های القایی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در طول فرایند پیش تیمار بذر است (نواز و همکاران، ۲۰۱۲؛ داس و روی‌چودوری، ۲۰۱۴؛ دونگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵؛ بنرجی و روی‌چودوری، ۲۰۱۸).

پیش تیمار بذر، ژن‌های مضاعف دارای عکس‌العمل سریع به تنش را فعال می‌کند (ووجتیلا و همکاران، ۲۰۱۶؛ پائول و روی‌چودوری، ۲۰۱۷). این روش دارای بیان بالاتر ژن Bn-PIP1 و Bn-TIP2 در بذرهای جوانه‌زنی، تحت تنش‌های اُسمزی و شوری است. ژن BnPIP1، ذخیره‌ی آب کافی برای ذخیره‌سازی و متابولیسم مواد مغذی در اوایل مرحله‌ی جوانه‌زنی برنج را فراهم می‌کند که منجر به جوانه‌زنی و تحمل افزایش‌یافته به تنش‌های شوری و اُسمزی می‌شود. القاء ژن Bn-TIP2 ممکن است با خروج ریشه‌چه و توسعه و تکثیر سلول در مراحل بعدتر جوانه‌زنی همبستگی داشته باشد (گائو و همکاران، ۱۹۹۹). تحمل سرما و خشکی در بذرهای پرایم‌شده برنج به‌واسطه‌ی بیان چهار ژن آکوآپورین (SoTIP1، SoPIP1؛۲، SoPIP2؛۱ و SoPIP1؛۱) افزایش می‌یابد که به انتقال آب در سراسر غشاهای واکوئلی و پلاسما کمک می‌کنند تا قادر به ذخیره‌ی آب برای گسترش دادن بافت‌ها شوند. بعلاوه، برخی ژن‌های AQP از تحمل سرما و خشکی بیشتر در بذرهای تحت پیش تیمار جلوگیری می‌کنند (چن و همکاران، ۲۰۱۳).

اثرات سودمند پیش تیمار بذر تحت تنش شوری علاوه بر برنج در گیاهان مختلف مانند گوجه‌فرنگی (کایولا و همکاران، ۱۹۹۶؛ کارتر و همکاران، ۲۰۰۶)، هندوانه (سایوریتپ و همکاران، ۲۰۰۳)، فلفل تند (خان و همکاران، ۲۰۱۶a و b)، کاهو (نصری و همکاران، ۲۰۱۱) و بامیه (دخیل و همکاران، ۲۰۱۴) به اثبات رسیده است. اثرات مثبت پیش تیمار بذر تحت تنش دمایی بالا نیز علاوه بر برنج در هویج (پیل و فینچ-ساواگ، ۱۹۹۸)، گوجه‌فرنگی (پیل و همکاران، ۱۹۹۱)، هندوانه (دمیر و اوزتوکات، ۲۰۰۳)، خربزه (ناسیمنتو،

۲۰۰۳) و مارچوبه (بیتن کورت و همکاران، ۲۰۰۴) گزارش شده است. پیش‌تیمار بذر برنج با پلی‌اتلین گلايکول (وزن مولکولی ۶۰۰۰) در غلظت ۱- و ۱/۲- مگاپاسکال، عملکرد بذر و رویش گیاهچه را در دماهای بالاتر و زیر حد بهینه بهبود می‌دهند. اثر سودمند پیش‌تیمار بذر بر روی کارایی بذر برنج در دماهای زیر حد بهینه، احتمالاً همراه با افزایش فعالیت اندو-ماناناز در بذرها قبل از خروج ریشه‌چه است، این آنزیم در هیدرولیز دیواره‌ی آندوسپرم دخیل است. پیش‌تیمار بذر به‌واسطه‌ی افزایش حداکثر دمای جوانه‌زنی، بازدارندگی دمایی را در برنج، کم می‌کند. بعلاوه، پیش‌تیمار بذر احتمالاً برای ژنوتیپ‌های برنج با حساسیت معلوم به دمای پایین سودمند است (کانتو و همکاران، ۲۰۱۵).

#### ۴-۷- سازوکارهای تحمل تنش غیر زیستی با عوامل پیش‌تیمار

##### ۴-۷-۱- روش‌ها و عوامل پیش‌تیمار

چندین روش پیش‌تیمار برای افزایش انطباق و سرعت جوانه‌زنی بذر گزارش شده است (قاسمی-گل‌عزانی و اسماعیل‌پور، ۲۰۰۸؛ اسکندری، ۲۰۱۳؛ جی‌شا و همکاران، ۲۰۱۳؛ نواز و همکاران، ۲۰۱۳؛ لاتس و همکاران، ۲۰۱۶). پیش‌تیمار آسمزی و هالوپیش‌تیمار از معمول‌ترین روش‌های پیش‌تیمار در برنج به‌حساب می‌آیند. پیش‌تیمار بذر، فرایند خیساندن بذر در محلول‌های با پتانسیل آب پایین است تا جایی که از خروج ریشه‌چه جلوگیری شود. انواع متفاوتی از عوامل برای ایجاد محلول‌های با پتانسیل آب پایین استفاده می‌شوند (برای ۱۹۹۵؛ چن و آرورا، ۲۰۱۱). عامل مهم موفقیت در پیش‌تیمار بذر، اجازه دادن به آب کافی برای تحریک فرایندهای متابولیک است، اما آن‌قدر کافی نیست تا به بذر اجازه‌ی گسترش و رشد بیشتر سلول را بدهد. هدف حیاتی پیش‌تیمار آسمزی برای به حداقل رساندن تنش اکسیداتیو ناشی از ROS با به تأخیر انداختن ورود آب است؛ بنابراین، پتانسیل آب آسمزی، ملاحظه‌ی مهمی در زمان طراحی یک روش است (تایلور و همکاران، ۱۹۹۸؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵). فرایند پیش‌تیمار آسمزی مشابه با اشباع اولیه‌ی بذر

برنج است که در حرکت پیشروی تدریجی ضروری برای فعالیت‌های متابولیسم پیش از جوانه‌زنی تنظیم می‌شود. بنابراین، استفاده از پیش تیمار اُسمزی به‌عنوان یک مدل برای بررسی تبدیل بذر از حالت خشک و خاموش از نظر متابولیکی به حالت جذب آب و فعال از نظر متابولیکی به‌طور اختصاصی مهم است (چن و آرورا، ۲۰۱۱).

پیش تیمار بذر برنج با ترکیبات مصنوعی و طبیعی زیادی برای مقابله با تنش‌ها در گیاه برنج بررسی شده است. عناصری که عموماً در پیش تیمار بذر برنج استفاده می‌شوند شامل پلی‌اتیلن‌گلایکول، مواد مغذی، نمک‌های غیرآلی، محرک‌های زیستی و آب خالص می‌باشند (جوری و همکاران، ۲۰۰۷؛ بوتلر و همکاران، ۲۰۰۹؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۵؛ ماسوند و همکاران، ۲۰۱۸). بعلاوه، این مورد نیز گزارش شده است که پیش تیمار بذر برنج با تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، پلی آمین‌ها و سایر منابع ارگانیک معین، خصوصیات و کارایی‌های متفاوتی دارند.

#### ۴-۷-۲- پلی‌اتیلن گلایکول

پلی‌اتیلن گلایکول رایج‌ترین ماده‌ی استفاده‌شده برای کنترل پتانسیل آب در بذرهای پرایم‌شده برنج به علت منشأ غیر سمی و اندازه‌ی مولکولی بزرگ آن (۸۰۰۰-۶۰۰۰ mw) است که از ورود آن به بذر جلوگیری می‌کند (توماس و همکاران، ۲۰۰۰). پیش تیمار اُسمزی با پلی‌اتیلن گلایکول منجر به افزایش پتانسیل جوانه‌زنی بذر و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی برنج می‌شود که در نهایت سبب افزایش تحمل بذرهای در حال جوانه‌زنی به تنش‌های غیر زیستی می‌شود (چن و آرورا، ۲۰۱۱؛ مرادی و همکاران، ۲۰۱۶). نتایج مطالعات مختلف مؤید آن است که علاوه بر نقش مثبت پیش تیمار بذر برنج با پلی‌اتیلن گلایکول، تأثیر مثبت این ترکیب در گیاهان مختلف نیز گزارش شده است به‌طوری‌که به‌واسطه‌ی پیش تیمار با پلی‌اتیلن گلایکول در ۱/۵- مگاپاسکال به مدت ۷ روز در بذرهای پیاز (درنا و همکاران، ۲۰۱۳)، در ۱/۲۵- مگاپاسکال به مدت ۲ روز در گوجه‌فرنگی

(گوویندن-سولانگ و لوانتارد، ۲۰۰۸) و در ۵/۰- مگاپاسکال در ذرت شیرین (قیاسی و همکاران، ۲۰۰۸) جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. پیش‌تیمار بذر با پلی‌اتیلن گلايکول در ۶/۰- مگاپاسکال به مدت ۲۴ ساعت در ۲۵ درجه‌ی سلسیوس، فعالیت‌های پراکسیداز و کاتالاز را افزایش داد و همچنین میزان MDA و پراکندگی الکترولیت‌ها را در بذر در حال جوانه‌زنی نوعی یونجه (*Moroccan alfalfa*) تحت کمبود آب کاهش داد (مرادی و همکاران، ۲۰۱۶).  
بعلاوه پیش‌تیمار پلی‌اتیلن گلايکول، محتوای پرولین را در گیاهچه‌های آفتابگردان تحت تنش شوری افزایش داد (مغانی‌باشی و همکاران، ۲۰۱۳). سیری و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که پیش‌تیمار بذر با پلی‌اتیلن گلايکول، کیفیت فلفل شیرین و ترمیم غشاء را بهبود بخشیده و منجر به کاهش پراکسیداسیون لیپید و افزایش سنتز سیستم آنتی‌اکسیدانی مسئول برای حذف ROS ها شد. بعلاوه، بیان ژن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با پیش‌تیمار پلی‌اتیلن گلايکول در تنش نانو-ZnO تنظیم کاهشی شد (صالح و همکاران، ۲۰۱۵).

#### ۴-۷-۳- نمک‌های معدنی

اثرگذاری مثبت پیش‌تیمار بذر برنج و حتی سایر گیاهان زراعی با نمک‌های معدنی مختلف از قبیل  $\text{NaCl}$ ،  $\text{CaCl}_2$ ،  $\text{NaNO}_3$ ،  $\text{KNO}_3$ ،  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ،  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ،  $\text{MgSO}_4$ ،  $\text{MnSO}_4$ ،  $\text{CuSO}_4$ ،  $\text{ZnSO}_4$  و  $\text{MgCl}_2$  و همچنین مولکول‌های آلی از قبیل گلیسرول، سوربیتول، پرولین، مانیتول، بوتنولید، پوترسین، کولین، کیتوزان و پاکلوبوترازول به‌خوبی نشان داده شده‌اند (شائو و همکاران، ۲۰۰۵؛ سو و همکاران، ۲۰۰۶؛ فوتی و همکاران، ۲۰۰۸؛ حسن الزمان و همکاران، ۲۰۱۰؛ دمیر و همکاران، ۲۰۱۲؛ حامد و همکاران، ۲۰۱۳) که در مقایسه با پلی‌اتیلن گلايکول با ارزان‌تر و مناسب نیز می‌باشند (فاروق و همکاران، ۲۰۰۵؛ پاپارلا و همکاران، ۲۰۱۵).

پیش‌تیمار بذر برنج با نمک‌های معدنی، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی‌های آنزیمی درگیر در جوانه‌زنی بذر را بهبود داده و حرکت مواد آلی به بخش‌های متفاوت جنین را تغییر می‌دهد.

جوانه‌زنی بذر گیاهان زراعی با سولفات روی، فعالیت کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز بالاتری را در مقایسه با گیاهان بدون پیش تیمار در شرایط سرما را دارا بود (ابوبالبیان و نظری، ۲۰۱۷). این تیمار همچنین به‌واسطه‌ی افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاهچه‌های سیاه دانه، تنش خشکی را کم می‌کند (فلاح و همکاران، ۲۰۱۸). پیش تیمار بذر با کلرید سدیم، محتوای پرولین و هیدرات کربن محلول را افزایش داد. همچنین فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی را بیشتر و آسیب غشای بذر را کاهش داد (فرهودی و همکاران، ۲۰۱۱). پیش تیمار بذر با کلرید سدیم به‌واسطه‌ی افزایش محتوای جیبرلین از طریق فعال‌سازی ژن بیوسنتزی جیبرلین و ژن‌های درگیر در ضعیف‌سازی آندوسپرم، کارایی جوانه‌زنی بذور را بهبود داد (ناکائون و همکاران، ۲۰۱۲). پیش تیمار بذر با کلرید سدیم، تولید MDA را کاهش و پایداری غشای سلولی را افزایش داد و همچنین تحمل شوری را به‌وسیله‌ی به راه انداختن تجمع  $K^+$  و  $Ca^{2+}$  بهبود بخشید (اومامی و همکاران، ۲۰۰۵). پیش تیمار بذر با سدیم‌نیتروپروساید، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی و محتویات اسید آسکوربیک، پرولین و محتوای فنول کل را افزایش داد که منجر به تخفیف اثرات ناسازگار تنش شوری شد (علی و همکاران، ۲۰۱۷). تحت شرایط دمایی زیر حد بهینه، پیش تیمار بذر با نیترات کلسیم، سرعت جوانه‌زنی و رویش گیاهچه را بهبود داد (باتیستا و همکاران، ۲۰۱۶). پیش تیمار بذر با نیترات پتاسیم به‌واسطه‌ی افزایش فعالیت‌های اسیدفیتاز و فسفاتاز در ریشه‌ها، کوتیلدون‌ها و ساقه‌ها، تحمل شوری را در بذر گیاهان را بهبود داد (نصری و همکاران، ۲۰۱۱). اثرات سودمند پیش تیمار کلرید کلسیم بر روی تحریک تحمل شوری ممکن است به علت فعال‌سازی سیستم آنتی‌اکسیدانی و بالا رفتن تجمع پرولین در گیاهچه‌های گیاهان باشد (جوشی و همکاران، ۲۰۱۳). پیش تیمار بذر با نیترات پتاسیم به‌واسطه‌ی افزایش فعالیت آنزیم POX و کاهش غلظت MDA در گیاهچه، تحمل شوری را بهبود داد (فرهودی، ۲۰۱۲). پیش تیمار بذر با محلول نیترات پتاسیم، فعالیت پراکسیداز را در گیاهان کاهش داد (زورایان و همکاران، ۲۰۱۵). پیش تیمار بذر گیاهان زراعی با کلرید کلسیم یا نیترات

پتاسیم، بهبود در قندهای محلول، آمینواسیدهای آزاد و پروتئین‌ها را در طی جوانه‌زنی تحت تنش شوری را نشان داد (جیوتسنا و اسریواستاوا، ۱۹۹۸). گیاهچه‌های گیاهان رشد یافته از بذر تحت تیمار پیش تیمار با کلرید پتاسیم، محتوای کلرید سدیم و کلرید کلسیم تجمع پرولین، محتوای آب، قندهای محلول، پلی‌فنول‌ها، پروتئین‌های محلول، محتوای کاروتنوئید و وزن خشک را بهبود می‌دهند (آلوی و همکاران، ۲۰۱۴؛ هانس و همکاران، ۲۰۱۷).

گونه‌های گیاهی در واکنش به پلی‌اتیلن گلیکول یا نمک‌ها تفاوت‌هایی را نشان می‌دهند، چون آن‌ها در وجود لایه‌ی نیمه‌تراوای انتخابی (که جنین را احاطه کرده و اجازه‌ی جذب آب را داده و از انتشار نمک جلوگیری می‌کند) تفاوت دارند. گیاهانی مانند برنج، کلم و بروکلی که این لایه را ندارند یون‌ها را جذب و تحت پیش تیمار اُسمزی آسیب جنینی ایجاد می‌کنند. گیاهانی از قبیل گوجه‌فرنگی، فلفل، کاهو و هندوانه که این لایه را دارند احتمالاً خیساندن در محلول نمک‌های معدنی برای آن‌ها خطری ایجاد نمی‌کند (ولباتوم و برادفورد، ۱۹۹۰؛ تیلور و همکاران، ۱۹۹۷؛ ولباتوم و همکاران، ۱۹۹۸).

#### ۴-۷-۴ - کودها

کودهای متفاوت برای بهبود کارایی پیش تیمار بذر برنج استفاده می‌شوند. در این زمینه، خیساندن بذر در محلول واحد سوپر فسفات یا دی آمونیوم فسفات، درصد بالاتر جوانه‌زنی را تحریک کرده و رشد گیاهچه را تسریع می‌نماید (شاه و همکاران، ۲۰۱۱). در پیش تیمار بذر با مواد مغذی، بذرها به‌جای آب خالص در مخلوطی از آب و مواد مغذی حل‌شده پرایم می‌شوند (عارف و همکاران، ۲۰۰۵). وضعیت ماده معدنی و مغذی گیاهان، نقش حیاتی را در بالا بردن تحمل گیاه به تنش‌های غیر زیستی دارد (مارچنر، ۱۹۹۵).

#### ۴-۷-۵ - پیش تیمار هورمونی

بذرها می‌توانند با مواد شیمیایی و هورمون‌های رشد گیاهی پرایم بشوند و این فرایند پیش تیمار، پیش تیمار هورمونی نامیده می‌شود. پیش تیمار بذر با تنظیم‌کننده‌های رشد

گیاهی، جوانه‌زنی و رویش محصولات زراعی گوناگون را بهبود می‌بخشد (گائو و همکاران، ۲۰۰۲؛ کاروال‌هو و همکاران، ۲۰۱۱). هورمون‌های گیاهی نقشی کلیدی در فیزیولوژی گیاه و توسعه به‌واسطه‌ی تولید و انتقال انواع متفاوتی از سیگنال‌ها بین و درون سلول‌ها بازی می‌کنند. سطوح داخلی هورمون‌های گیاهی، تغییرات قابل‌توجهی را در تنش‌های غیر زیستی تحمل می‌کنند (اقبال و اشرف، ۲۰۱۳). هورمون‌های گیاهی نقشی حیاتی را در تعدیل واکنش‌های فیزیولوژیکی و مولکولی به تنش‌های غیر زیستی دارند که در نهایت منجر به غلبه بر شرایط محیطی ناسازگار می‌شوند (پاندی ۲۰۱۷؛ کو و همکاران، ۲۰۱۸). پیش تیمار بذر با هورمون‌های گیاهی به‌واسطه‌ی فعال کردن برخی آنزیم‌ها از قبیل آمیلاز و پروتئاز، جوانه‌زنی بذر را افزایش داده و مولکول‌های نشاسته و پروتئین‌ها را به شکل ساده و در دسترس برای مصرف جنین هیدرولیز می‌کند (میرانصاری و اسمیت، ۲۰۱۴). شرایط تنش غیر زیستی می‌تواند سطوح افزایش تنظیم‌کننده‌های رشد را کاهش دهد؛ با این وجود، کاربرد خارجی هورمون‌ها احتمالاً بر کمبود آن‌ها غلبه می‌کند (یورکلی و همکاران، ۲۰۰۴؛ اکرم و همکاران، ۲۰۱۲؛ بابو و همکاران، ۲۰۱۲). تنش شوری با افزایش در اسید آسزیک و اسید جاسمونیک در بافت‌های گیاهی و کاهش در اکسین، سیتوکینین‌ها، جبریلین‌ها و اسید سالیسیلیک همراه است. این تغییرات یک فرایند ابتدایی کنترل‌کننده‌ی کاهش رشد گیاه به علت تنش هستند و می‌توانند به‌واسطه‌ی کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی کم شوند. پیش تیمار بذر با چندین تنظیم‌کننده‌ی رشد گیاه از قبیل اسید سالیسیلیک و اسید جاسمونیک برای تسریع جوانه‌زنی بذر، بالا بردن استقرار گیاهچه و بالا بردن تحمل تنش غیر زیستی استفاده می‌شود (کورکمز و همکاران، ۲۰۰۴؛ فاروق و همکاران، ۲۰۰۸a؛ کرانتو و همکاران، ۲۰۰۸؛ جاوید و همکاران، ۲۰۱۱). بعلاوه، کاربرد سطوح مختلف اکسین و سیتوکینین به‌عنوان پیش تیمار بذر باعث افزایش تقسیم سلولی می‌شوند (سخت‌دین اووا و همکاران، ۲۰۰۳). پیش تیمار بذر گیاهان زراعی با هورمون‌ها به‌واسطه‌ی بهبود تحمل تنش اکسیداتیو، تحمل تنش غیر زیستی را تحریک نمود (افضل و همکاران، ۲۰۰۸؛ فاروق و



همکاران، ۲۰۰۸b).

پیش تیمار بذر برنج با جیبرلین‌ها (GA ها) به‌واسطه افزایش محتوای آمینواسید در جنین، سرعت جوانه‌زنی را بهبود می‌بخشد و آنزیم‌هایی را برای هضم نشاسته‌ی آندوسپرمی در هنگام تجدید رشد جنین در جوانه‌زنی آزاد می‌کند. جیبرلین‌ها نقش مهمی را در فرایندهای حیاتی فراوانی از توسعه و رشد گیاه مانند جوانه‌زنی، طویل شدن ساقه و گسترش برگ برنج بازی می‌کند. پیش تیمار بذر برنج با اسید جیبرلیک باعث افزایش فعالیت آلفا-آمیلاز می‌شود که اساساً در آندوسپرم ذخیره می‌شود و برای رشد جنین در طول جوانه‌زنی مفید می‌باشند. بعلاوه، جیبرلین‌ها از طریق بازداری و کاهش مقادیر اسید آبسزیک و همچنین افزایش آنزیم‌های کاتابولیزه‌کننده‌ی این بازدارنده سبب افزایش جوانه‌زنی بذرها می‌شوند (ایتا و همکاران، ۲۰۰۹؛ میرانصاری و اسمیت، ۲۰۱۴؛ یونسی و مرادی، ۲۰۱۵). بعلاوه، پیش تیمار بذر با استفاده از محلول اسید جیبرلیک، کارایی بذر را تحت تنش‌های سرما، شوری و آسمزی افزایش داد (دیور، ۲۰۱۸).

پیش تیمار بذر با اسید جیبرلیک کارایی جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه را بهبود می‌بخشد. این هورمون گیاهی واکنش متابولیکی مناسب قبل از جوانه‌زنی مانند افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش آسیب غشاء را در بذر ایجاد می‌نماید. همچنین اسید جیبرلیک با استفاده از پراکندگی الکترولیت و بیومارکرهای MDA، تحمل به تنش شوری را در بذرهای بهبود می‌بخشد (صدقی و همکاران، ۲۰۱۰؛ هلا و همکاران، ۲۰۱۱؛ خان و همکاران، ۲۰۱۲؛ اقبال و اشرف، ۲۰۱۳؛ یونسی و مرادی، ۲۰۱۵). از سوی دیگر، پیش تیمار بذر با اسید جیبرلیک، سرعت جوانه‌زنی بذر را افزایش می‌دهد و با بالا بردن میزان آنتی‌اکسیدانی و پرولین در گیاهچه‌ها، اثرات ناسازگار تنش خشکی در مراحل اولیه‌ی رشد گیاهچه را کاهش داد (فلاح و همکاران، ۲۰۱۸). پیش تیمار بذر با جیبرلین و اسید آبسزیک، فعالیت‌های CAT و SOD را تحت تنش خشکی در مقایسه با بذرهای بدون تیمار پیش تیمار افزایش می‌دهند (عیسوند و همکاران، ۲۰۱۰).

اسید سالیسیلیک<sup>۱</sup> (SA) و استیل اسید سالیسیلیک می‌توانند به واسطه‌ی ایجاد پتانسیل برای مقاومت به تنش، موجب حفاظت در برابر تنش‌های غیر زیستی در برنج شوند. اسید سالیسیلیک یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد داخلی با منشأ فنولیک است که به تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی کمک می‌کند (راسکین، ۱۹۹۲). اسید سالیسیلیک ترکیب محافظت‌کننده در برابر تنش‌ها است و با همان مسیر سیگنال مولکولی که به وسیله اتیلن و اسید جاسمونیک نیز تنظیم شده‌اند سبب افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی می‌شود (اس‌زالی و همکاران، ۲۰۰۰؛ دینگ و وانگ، ۲۰۰۳). اسید سالیسیلیک همچنین از طریق فعال‌سازی گواپاکول پراکسیداز<sup>۲</sup> و گلوکاتایون ردوکتاز<sup>۳</sup>، تحمل به تنش اُسمزی و دمای بالا پایین را افزایش می‌دهد (بورسانی و همکاران، ۲۰۰۱؛ هی و همکاران، ۲۰۰۲؛ کانگ و سالتویت، ۲۰۰۲). اثرات سودمند بذرهای پیش تیمار با اسید سالیسیلیک بر روی رشد گیاهچه تحت تنش شوری ممکن است به علت جذب افزایش یافته‌ی اکسیژن، فعالیت آمیلاز و محتویات قند محلول، پروتئین و آمینواسید افزایش یافته و همچنین بهبود تحرک مواد مغذی از لپه‌ها به محور جنینی باشد (کاتیرسان و همکاران، ۱۹۸۴؛ زانگ و همکاران، ۱۹۹۹).

پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک در غلظت‌های پایین‌تر به‌طور مؤثری در فعالیت‌های افزایش یافته‌ی هیدرولاز استفاده‌شده است و منجر به افزایش در شکست ذخایر مواد غذایی و جوانه‌زنی عمده‌ی اولیه‌ی بذرها می‌شود (سختاب دین اووا و همکاران، ۲۰۰۳). پیش تیمار با اسید سالیسیلیک می‌تواند با بهبود فعالیت‌های بیوشیمیایی بذرها در طول فرایند پیش تیمار پارامترهای جوانه‌زنی گیاهان را افزایش دهد (باسرا و همکاران، ۲۰۰۷).

پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک، سبب افزایش فعالیت آنزیم CAT و میزان فنول در محور جنینی و لپه می‌شود (پال و همکاران، ۲۰۱۷) و محتویات ROS و MDA را تحت

---

1 Salicylic acid

2 Guaiacol peroxidase

3 Glutathione reductase

تنش شوری کاهش می‌دهد (شتیوی و همکاران، ۲۰۱۸). بذر گیاهان پرایم‌شده با اسید سالیسیلیک به‌واسطه‌ی افزایش فعالیت‌های CAT، POX، GR و APX تحمل نمک را بالا می‌برند (آزوز، ۲۰۰۹). اسید سالیسیلیک، جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه را در شرایط دمایی بهینه و پایین به‌واسطه‌ی افزایش ساخت سیستم آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌دهد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۸b). پیش‌تیمار بذر با این هورمون گیاهی رشد گیاهچه‌ی برنج را در شرایط دمایی پایین از طریق بالا بردن میزان قند محلول، پرولین و پروتئین افزایش می‌دهد (پورامیردشت‌میان و همکاران، ۲۰۱۴). پیش‌تیمار هورمونی (اسید سالیسیلیک و جیبرلین)، جوانه‌زنی بذر را در دمای پایین (۵ درجه‌ی سلسیوس) افزایش می‌دهد (لادا و همکاران، ۲۰۰۴). سازوکار تحمل به تنش‌های دمایی در این هورمون گیاهی شامل سرعت بالای سبز شدن، افزایش وضعیت آب بافت و همچنین بهبود پایداری غشا بالا می‌باشد (رحمان و همکاران، ۲۰۱۲). پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک از طریق بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای و افزایش محتوای هیدرات کربن، تحمل به تنش سرمایی را ارتقا بخشید (گورنیک و لاهوتا، ۲۰۱۷). بذرهای گیاهان زراعی پرایم‌شده با اسید سالیسیلیک، همچنین جوانه‌زنی بذر بهتری را تحت پتانسیل آب پایین داشتند (فرحبخش، ۲۰۱۲).

پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک و سولفید سدیم، تجمع متیونین، پرولین و آرژینین را کاهش و محتویات اسید نیتریک و گلیسین بتائین را افزایش داد و بیان ژن‌های ZmSAMD و ZmACS6 (ژن‌های دخیل در متابولیسم متیونین) را در گیاهان ذرت تحت تنش سرب (Pb) تنظیم کرد (زنگنه و همکاران، ۲۰۱۸). با این وجود، پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک باعث تجمع بالاتر پرولین و گلیسین بتائین و همچنین کل قندهای محلول و تری‌هالوز بالاتر تحت کمبود شدید آب (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) شد. بذرهای پیش‌تیمار شده با اسید سالیسیلیک، میزان بالاتری از آب نسبی را مخصوصاً تحت تنش خشکی داشتند (نامداری و باغبانی، ۲۰۱۷).

کاربردهای اسید جاسمونیک<sup>۱</sup> (JA) از طریق فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تنش‌های غیر زیستی را در برنج کم کرد. پیش تیمار اسید جاسمونیک به واسطه‌ی افزایش تجمع فیتوپلاتین، تحمل تنش فلزات را بهبود داد (ماکسیمیک و همکاران، ۲۰۰۷). پیش تیمار بذر با اسید جاسمونیک، رشد گیاهچه و فعالیت SOD و POX را بالا برد، تجمع کلروفیل و کاروتنوئید را افزایش و اثرات سمی تنش فلزات سنگین را تنظیم کرد (پونام و همکاران، ۲۰۱۳). پیش تیمار بذر با اسید جاسمونیک، رشد، محتوای هیدرات کربن و تحمل سرمادهی را در گیاهان افزایش می‌دهد (گورنیک و لاهوتا، ۲۰۱۷).

#### ۴-۷-۶- پلی آمین‌ها

پلی آمین‌ها (PA ها) مشخص شده است که می‌توانند اثرات مثبتی را بر روی توسعه و رشد گیاه برنج داشته باشند. پلی آمین‌ها شامل اسپرمیدین، اسپرمین و پوترسین هستند. پلی آمین‌ها ترکیبات در دسترس کوچکی هستند که در تنظیم فرایندهای متابولیک زیادی از جمله سنتز پروتئین، رونویسی، اصلاح RNA و تعدیل فعالیت آنزیم (تاکاهاشی و کاکه‌ی، ۲۰۱۰) و همچنین نوعی از عکس‌العمل‌های تنش در گیاهان (بوچروئو و همکاران، ۱۹۹۹) درگیر هستند. پلی آمین‌ها به کاتیون‌ها متصل می‌شوند و می‌توانند در بافت اجزای سازنده‌ی غشای آنیونی از قبیل فسفولیپیدها قرار بگیرند، در نتیجه به واسطه‌ی پایداری غشاءها تحت شرایط تنش بالا و حفاظت گیاهان در برابر تنش‌های غیر زیستی گوناگون به‌عنوان پشتیبان‌های سلولی عمل می‌کنند (باسرا و همکاران، ۱۹۹۴؛ بوچروئو و همکاران، ۱۹۹۹؛ کیوسانو و همکاران، ۲۰۰۸). اثر پلی آمین‌های خارجی بر روی جوانه‌زنی بذر بستگی به نوع و غلظت پلی آمین و همچنین وضعیت خواب جنین دارد (فاروق و همکاران، ۲۰۱۱). پیش تیمار بذر با پلی آمین‌ها، اثرات سودمندی بر روی جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه‌ی محصولات زراعی متفاوت داشته است (افضل و همکاران، ۲۰۰۹؛ خان و همکاران، ۲۰۱۲).

پیش‌تیمار بذر با اسپرمیدین به‌واسطه‌ی به حداقل رساندن آسیب‌های اکسیداتیو؛ تعدیل کردن آنتی‌اکسیدان‌ها، اسمولیت‌ها و سیستم‌های فتوسنتزی، افزایش فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و کاهش سطوح پراکسید هیدروژن و MDA، تنش شوری را در گیاهچه‌های برنج بهبود داد (پائول و روی‌چودوری، ۲۰۱۶). پیش‌تیمار بذر با اسپرمیدین (Spd) به‌واسطه‌ی بالا بردن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، چرخه‌ی آسکوربات-گلوتاتیون و مهارکردن ROS و کاهش سطوح پراکسیداسیون لیپید و همچنین بهبود پایداری غشای سلولی و متابولیسم نشاسته، تحمل تنش آب را در گیاهان تحریک کرد (لی و همکاران، ۲۰۱۴). پیش‌تیمار بذر با اسپرمیدین، از طریق بهبود فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت؛ افزایش محتوای گلاسیسین بتائین، کل فنولیک‌ها، فلاونوئید و اصلاح ژن‌های به‌رمزدرآورنده‌ی آنزیم‌هایی که در بیوسنتز پلی آمین‌ها درگیر هستند تحمل سرما را در برنج بالا برد (شتیوی و همکاران، ۲۰۱۷).

#### ۴-۷-۷- اسید آسکوربیک

پیش‌تیمار بذر با اسید آسکوربیک، تنش شوری را در گیاهچه‌ها را از طریق افزایش دادن فعالیت کاتالاز و پراکسیداز و کاهش دادن فعالیت آنزیم‌های مربوطه که معمولاً به‌واسطه‌ی خنثی‌سازی رادیکال آزاد منتج شونده از تنش شوری ایجاد می‌شوند، کم کرد (فضلعلی و همکاران، ۲۰۱۳). از سوی دیگر، پیش‌تیمار بذرهای گیاهان زراعی با اسید آسکوربیک، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، بنیه گیاهچه و فعالیت CAT و POX را تحت شرایط تنش آب افزایش داد (رزاجی و همکاران، ۲۰۱۴). بذرهای پرایم شده گیاهان با اسید آسکوربیک، باعث رشد و توسعه گیاه و وضعیت آب بیشتر گیاهچه‌ها را تحت شرایط خشکی شد (فاروق و همکاران، ۲۰۱۳).

#### ۴-۷-۸- براسینواستروئیدها

هورمون‌های گیاهی براسینواستروئیدها، محدوده‌ی وسیعی از فرایندهای فیزیولوژیکی را

تنظیم می‌کنند. بذره‌های پرایم شده برنج با براسینواستروئیدها به واسطه‌ی بالا بردن فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانت (SOD، POX، CAT) تحمل تنش شوری را افزایش دادند (زانگ و همکاران، ۲۰۰۷).

#### ۴-۷-۹- اسید بتا آمینوبوتیریک اسید

اسید بتا آمینوبوتیریک (ABAB) به‌عنوان یکی از تحریک‌کننده‌های مؤثر تحمل تنش غیر زیستی در برنج تشخیص داده شده است. این وضعیت به واسطه‌ی برهم‌کنش با چندین هورمون مانند اسید آبسزیک، اسید سالیسیلیک و اتیلن انجام می‌شود یا به واسطه‌ی ارائه‌ی زنجیره‌ی فرایندهای سیگنال از طریق پراکسید هیدروژن ایجاد می‌شود (جکاب و همکاران، ۲۰۰۵؛ زیمرلی و همکاران، ۲۰۰۸؛ زونگ و همکاران، ۲۰۱۴). پیش تیمار بذر برنج با اسید بتا آمینوبوتیریک به واسطه‌ی کاهش پراکسیداسیون لیپید غشای زیستی و بالا بردن فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای MDA را کاهش و در نتیجه تحمل تنش شوری گیاهچه‌های برنج را افزایش داد (جیسا و پوتور، ۲۰۱۶). بعلاوه، پیش تیمار بذر با اسید بتا آمینوبوتیریک، تجمع هیدرات کربن کل، پرولین و پروتئین را افزایش و فعالیت نیترات ردوکتاز را بیشتر کرد و همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش و محتوای MDA را کاهش داد (جیسا و پوتور، ۲۰۱۵).

#### ۴-۷-۱۰- کولین

پیش تیمار بذر با کولین به‌وسیله‌ی به حداقل رساندن عناصر سمی (Cl<sup>-</sup> و Na<sup>+</sup>)، حفظ عناصر سودمند (Ca<sup>2+</sup> و K<sup>+</sup>)، افزایش تجمع گلیاسین بتائین و کاهش تنش اکسیداتیو که در کاهش پراکسیداسیون لیپید منعکس می‌شود، تحمل شوری را در برنج افزایش داد. همچنین، پیش تیمار بذر با کولین به واسطه‌ی حفظ لیپیدهای غشای پلاسمایی، فسفولیپیدها و استرول، صدمات تنش شوری را کم کرد (سلاما و همکاران، ۲۰۱۱؛ سلاما و منصور، ۲۰۱۵). بعلاوه، کولین، پیش‌ماده‌ی فسفاتیدیل کولین است که یکی از لیپیدهای

عمده‌ی غشا در سلول‌های یوکاریوتی است (راتیناصبایاتی و همکاران، ۲۰۰۰). کاربرد خارجی کولین به‌واسطه‌ی افزایش تجمع گلیاسین بتائین که از طریق اکسیداسیون دو مرحله‌ای سنتز می‌شود تحمل به شوری را در گیاهان مختلف از جمله برنج را بهبود داد (ساکوموتو و موراتا، ۲۰۰۰؛ چا-اوم و همکاران، ۲۰۰۶؛ چن و موراتا، ۲۰۰۸؛ سلاما و همکاران، ۲۰۱۱).

#### ۴-۷-۱۱- اسید آمینولولونینیک

پیش تیمار بذر با ۵-اسید آمینولولونینیک به‌واسطه‌ی بالا بردن فعالیت‌های آنزیم آنتی‌اکسیدانت، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه برنج را افزایش داد (کانتو و همکاران، ۲۰۱۵). پیش تیمار بذر با ۵-اسید آمینولولونینیک از طریق بهبود فعالیت‌های آنزیمی آنتی‌اکسیدان‌های (SOD، POD، APX و GPX)، افزایش گلیاسین بتائین، کل فنولیک‌ها و محتوای فلاونوئید و تنظیم ژن‌های کد کننده‌ی آنزیم‌ها که در بیوسنتز پلی آمین‌ها درگیر هستند تحمل سرما را در دو رقم برنج افزایش داد (شتیوی و همکاران، ۲۰۱۷).

#### ۴-۷-۱۲- گلیاسین بتائین

پیش تیمار بذرهای برنج با گلیاسین بتائین (GB) به‌واسطه‌ی بالا بردن فعالیت آنزیم SOD و افزایش محتوای پرولین و همچنین کاهش محتوای MDA، تحمل شوری را افزایش داد (کورکمز و سیریکی، ۲۰۱۱). اثر سودمند پیش تیمار گلیاسین بتائین بر روی تحریک تحمل نمک در گیاهان ممکن است به علت فعال‌سازی SOD، CAT و همچنین جلوگیری از صدمات غشای سلولی به‌واسطه‌ی کاهش اکسیداسیون لیپید غشا و بهبود هموستازی یونی باشد (السوندیاری و همکاران، ۲۰۱۷). تیمار بذر با گلیاسین بتائین نیز به‌واسطه‌ی افزایش فعالیت‌های آنزیمی آنتی‌اکسیدانت و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن و آسیب غشای سلولی، تحمل تنش سرما را در برنج تنظیم می‌کند (چنگ و همکاران، ۲۰۱۸). خیساندن بذر می‌تواند به‌واسطه‌ی افزایش پرولین، IAA و کل محتوای قندهای محلول و فعال کردن

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و همچنین کاهش MDA و پراکسید هیدروژن بر اثرات مضر و آسیب‌رسان تنش آب بر روی گیاهان غلبه کند (داوود و صداک، ۲۰۱۴).

#### ۴-۷-۱۳- ملاتونین

پیش تیمار بذر برنج با ملاتونین به واسطه‌ی افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش آب نسبی، فنولیک و محتوای پرولین و همچنین کاهش میزان  $\text{Na}^+$ ، سطح پراکسیداسیون لیپید و پراکندگی نسبی الکترولیت‌های غشاء، اثرات تنش شوری را کم کرد (چیانگ و همکاران، ۲۰۱۶). پیش تیمار بذر با ملاتونین، به واسطه‌ی افزایش میزان  $\text{K}^+$ ،  $\text{Ca}^{2+}$ ، ایندول استیک اسید، هیدرات کربن کل، رنگدانه‌ها و کل فنولیک و نسبت‌های  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  و  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ ، تنش شوری را در گیاهچه‌های برنج کاهش داد.

#### ۴-۷-۱۴- کیتوزان

پیش تیمار ماتریکس جامد با کیتوزان، سرعت جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه برنج را تحت تنش شوری افزایش داد (سن و مندل، ۲۰۱۶). پیش تیمار کیتوزان، جوانه‌زنی بذر برنج و شاخص بنیه گیاهچه را تحت تنش آسمزی ایجاد شده به واسطه‌ی پلی‌اتیلن گلیکول بهبود داد. پیش تیمار بذر برنج با کیتوزان به علت سنتز مجدد و فعال‌سازی برخی آنزیم‌ها، تحرک ذخایر مواد غذایی و سنتز RNA و DNA و همچنین فعال‌سازی ژن‌های مسئول جوانه‌زنی، اثرات مثبتی را بر روی جوانه‌زنی بذر و شاخص بنیه گیاهچه‌ها داشت. پیش تیمار بذر برنج با کیتوزان، زمان متوسط جوانه‌زنی را کاهش داد، شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهچه و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های POX و CAT را بالا برد، بعلاوه محتوای MDA و نفوذپذیری نسبی غشای پلاسمایی را کاهش داد و همچنین غلظت قندهای محلول و پرولین را در گیاهچه‌های برنج تحت تنش دمایی پایین را افزایش داد.



#### ۴-۷-۱۵- بوتنولید

پیش‌تیمار بذر برنج با بوتنولید توانست رشد گیاهچه، شاخص بنیه بذر و رشد برنج را بهبود بخشد. پیش‌تیمار بذر با بوتنولید، بسیاری از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی که در جوانه‌زنی و رشد گیاهچه درگیر هستند مانند افزایش DNA تکراری (جین و وان‌استادن، ۲۰۰۷) و تحریک چرخه‌ی تقسیم سلولی و تحرک مواد ذخیره‌ای (سوس و همکاران، ۲۰۰۹) و همچنین فعال‌سازی آنزیم‌هایی که ذخایر غذایی را هیدرولیز می‌کنند (بایلی و همکاران، ۲۰۰۱) تحریک کرد. همچنین، پیش‌تیمار بذر با بوتنولید می‌تواند اثرات ناسازگار دمای بالا و پتانسیل آسمزی پایین بر روی بذرهای در حال جوانه‌زنی را کاهش داد (جبرهایوت و همکاران، ۲۰۰۸).

#### ۴-۷-۱۶- نانو ذرات نقره‌ی زیست‌سازگار

نانو ذرات نقره‌ی زیست‌سازگار<sup>۱</sup> (AgNP ها) می‌توانند به‌عنوان عامل نانوپیش‌تیمار به‌کاربرده شوند. پیش‌تیمار بذر برنج با نانوذرات نقره می‌تواند جوانه‌زنی بذر را در حداقل سه روش احتمالی بهبود دهد. اولاً، نانوذرات نقره می‌توانند از پوشش بذر داخل شوند و در جذب آب مشارکت کنند که منجر به تحریک فعالیت متابولیک بذر و هیدرولیز نشاسته در طی جذب آب اولیه (مرحله I) می‌گردند. ثانیاً، این ذرات می‌توانند فعالیت آلفا‌آمیلاز را برای محکم کردن هیدرولیز نشاسته افزایش دهند که منجر به افزایش میزان قند محلول می‌شوند که باعث افزایش رشد جنین و گیاهچه‌ها می‌شوند. ثالثاً، این ذرات می‌توانند در تولید ROS مشارکت کنند، مخصوصاً پراکسید هیدروژن که می‌تواند به‌عنوان مولکول‌های سیگنال برای به‌راه انداختن تنظیم و اصلاح ژن‌های آکوآپورین که فرایند جوانه‌زنی را تحریک می‌کنند و در هیدرولیز کردن دیواره‌ی سلول و ضعیف کردن آندوسپرم مشارکت دارند، عمل نمایند (ماهاخام و همکاران، ۲۰۱۷). نقش پیش‌تیمار بذر با نانوذرات نقره در کاهش اثرات ناسازگار

1 Biocompatible silver nanoparticles

تنش شوری گزارش شده است (ابوزید و اسماعیل، ۲۰۱۸).

#### ۴-۸- پیش تیمار بذر برنج و تحمل به تنش

##### ۴-۸-۱- تحمل خشکی

همان‌طور که ما می‌دانیم، پیش تیمار بذر، سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی و قدرت رویش گیاهچه را بهبود می‌بخشد. تحت شرایط آپلند کشت برنج معمولاً به صورت کشت مستقیم می‌باشد. حفظ استقرار مناسب گیاهچه در روش آپلند، به علت جوانه‌زنی و رشد نامناسب گیاهچه، به‌عنوان یکی از محدودیت‌های این روش کشت مطرح است. ماتسوشیما و ساکاگامی (۲۰۱۳) طی پژوهشی به کاهش مدت زمان لازم جهت سبز شدن در برنج ژاپونیکا رقم Koshihikari به علت اُسمو و هیدرو پیش تیمار در مقایسه با تیمار بدون پیش تیمار در شرایط اعمال تنش خشکی اشاره کردند. آن‌ها همچنین دریافتند رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه در اُسمو و هیدرو پیش تیمار به‌ترتیب  $\frac{1}{3}$  و  $\frac{1}{2}$  برابر بیشتر از تیمار بدون پیش تیمار بود. گوسوامی و همکاران (۲۰۱۳) برتری پیش تیمار را بر تیمار بدون پیش تیمار در بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای در وارسته‌ی Kshitish برنج در شرایط تنش خشکی مشاهده کردند. در میان روش‌های متفاوت پیش تیمار، پیش تیمار با محلول پلی‌اتیلن‌گلاکول پنج درصد در مقایسه با پیش تیمار با آب و پیش تیمار اُسمزی با کلرید سدیم و مونوپتاسیم فسفات در مقاومت به تنش خشکی مؤثرتر است. پیش تیمار به علت رفع مسمومیت انواع فعال اکسیژن (ROS)، هم جوانه‌زنی و هم رشد گیاهچه را تحت تنش خشکی بهبود داد. محتویات MDA که یک فرآورده‌ی پراکسیداسیون لیپید است، در بذره‌ای پیش تیمار در مقایسه با بذره‌ای بدون ر پیش تیمار بذر به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. وضعیت گلوتاتیون پراکسیداز (GPX)، منگنز سوپراکسید دیسموتاز (MnSOD) و پروتئین شوک حرارتی ۷۰ (Hsp70) به علت پیش تیمار افزایش یافت، به‌طوری‌که بذره‌ای پراریم‌شده بذره‌ای پراریم‌شده نسبت به بذره‌ای غیرپراریم‌شده تحت تنش خشکی در شرایط بهتری قرار گرفتند. برخی ارقام در

مقایسه با سایرین، تحت پیش‌تیمار بذر واکنش بهتری را به تنش خشکی نشان دادند (لی و ژانگ، ۲۰۱۲). حسین و همکاران (۲۰۱۶) جوانه‌زنی بهتر و رشد بهتر گیاهچه را در برنج ژاپونیکا رنگی ارقام Jinju, Byeو Heug در مقایسه با برنج غیررنگی رقم Anjoong تحت پیش‌تیمار با آب و پیش‌تیمار آسمزی با کلرید کلسیم (۱/۲۵- مگاپاسکال) مشاهده کردند. گیاهچه‌های رشد یافته‌ی حاصل از بذرهای تحت تیمار پیش‌تیمار در شرایط تنش خشکی، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و فتوشیمیایی بهتری را نشان دادند و وضعیت آب برگ بیشتر و بیوماس کل گیاهی بیشتری را حفظ کردند. ژنگ و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که پیش‌تیمار با اسپرمیدین (۵/۰ میلی‌مولار در لیتر) سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را در دو رقم برنج ایندیقای Huanghuazhan (اینبرد) و Yangliangyou6 (هیبرید) در مقایسه با پیش‌تیمار با آب و پیش‌تیمار آسمزی افزایش داد. پیش‌تیمار بذر انجام شده با هورمون یا با محلول‌های مغذی، اثرات مشابهی در بهبود تحمل تنش خشکی/آسمزی در برنج داشتند (لی و ژانگ، ۲۰۱۲، ووجتایلا و همکاران، ۲۰۱۶). اثر مثبت پیش‌تیمار هورمونی با فیتوهورمون‌ها، مثلاً اسید آبسزیک، جیبرلین و اسید سالیسیلیک بر روی تحمل خشکی توسط چندین محقق گزارش شده است (باسرا و همکاران، ۲۰۰۶؛ لی و ژانگ، ۲۰۱۳). در طول خشک کردن در پایان مرحله II، مقدار زیادی از پروتئین LEA تشکیل می‌شود که از رشد گیاهچه حمایت می‌کند و تحمل به خشکی، شوری و تنش سرما را در گیاهچه برنج را تقویت می‌کند (رودریگویز-والنین و همکاران، ۲۰۱۴). تغییرات بیوشیمیایی که در طی پیش‌تیمار بذر رخ می‌دهند حافظه‌ی تنش را در بذرها منقوش می‌کنند. در زمان رویارویی با تنش خشکی، «حافظه‌ی اولیه» شروع به کار می‌کند و چندین ژن وابسته به تنش خشکی را فعال می‌کند و بنابراین، پیش‌تیمار بذر، سطح مولکول سیگنال را در مقابل تحمل خشکی تعدیل می‌کند (بروس و همکاران، ۲۰۰۷).

پیش‌تیمار بذر با کلرید کلسیم باعث بهبود ظهور و استقرار گیاهچه، ارتفاع گیاه، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در بوته، وزن دانه و عملکرد نهایی تحت تنش خشکی در برنج

می‌شود. پیش تیمار بذر با اوره و نترات پتاسیم سبب افزایش کارایی جوانه‌زنی، رشد گیاهچه، طول ریشه، پرولین و محتوای پروتئین دانه در تنش خشکی می‌شود (آنوشیته و همکاران، ۲۰۱۱). بذر برنج تحت پیش تیمار اُسمزی با کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم باعث افزایش بنیه بذر می‌شود که به دنبال آن سرعت سبز شدن، عملکرد خوشه، تعداد پنجه بارور، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی می‌شود. جوانه‌زنی سریع و یکنواخت بذر به دلیل افزایش فعالیت آلفا آمیلاز و هیدرولیز نشاسته موجب دسترسی بیشتر قند به جنین و گیاهچه می‌شود که در نتیجه باعث بهبود عملکرد و کیفیت دانه می‌شود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۶). بذرهای برنج تحت پیش تیمار در مقایسه با بذرهای بدون پیش تیمار تحت تنش خشکی واکنش‌های متفاوتی به همراه داشتند، به طوری که مقدار پرولین و پروتئین محلول در بذر تحت تیمار پیش تیمار، بالاتر بود (یوان و همکاران، ۲۰۱۰).

#### ۴-۸-۲- تحمل شوری

خطر شوری به علل بارندگی نامنظم، آبیاری فراوان و رسوب نمک در خاک، نفوذ آب دریا و ناهنجاری‌های آب‌وهوایی دیگر روزه‌روز در حال افزایش است (پریرا، ۲۰۱۶). برنج در مراحل گیاهچه‌ای و گلدهی به‌طور بالایی به تنش شوری حساس است درحالی‌که در مراحل اواخر مرحله‌ی رویشی و مرحله‌ی پر شدن دانه نسبتاً متحمل به شوری است (سارکار و همکاران، ۲۰۱۳؛ سینگ و سارکار، ۲۰۱۴). زمانی که برنج جوانه می‌زند اگر با تنش شوری مواجه شود به‌سرعت گیاهچه آن از بین می‌رود. گیاهچه‌های قوی در مقایسه با گیاهچه‌های ضعیف به علت تحمل به تنش شوری در سطح بافت، تنش شوری را بهتر خنثی می‌کنند (مونس و تستر، ۲۰۰۸) شوری از طریق تنش‌های اُسمزی و یونی بر رشد گیاهچه اثر می‌گذارد. همانند خشکی، شوری نیز ساختار و عملکرد غشای سلولی را تخریب می‌کند و از طریق تولید بیش از حد ROS به اسیدنوکلئیک و پروتئین آسیب می‌زند. گیاهچه‌های رشدیافته از بذرهای تحت تیمار پیش تیمار، در رفع خسارت ناشی از ROS مقاوم‌تر

می‌باشند (ابراهیم، ۲۰۱۶). افضل و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که پیش‌تیمار اُسمزی با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم و پیش‌تیمار ردوکس با پراکسید هیدروژن ۵۰ میلی‌مولار هر یک به مدت ۳۶ ساعت تحمل به تنش شوری را در دو وارپته‌ی برنج باسماتی شاهین (متحمل به شوری) و باسماتی-۲۰۰۰ (حساس به شوری) بهبود بخشیدند. پیش‌تیمار اُسمزی به‌خوبی توانست درصد و سرعت جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه این دو رقم متحمل و حساس به شوری را در مقایسه با شرایط بدون پیش‌تیمار بهبود بخشد. آن‌ها همچنین مشاهده کردند پیش‌تیمار ردوکس در مقایسه با پیش‌تیمار با آب و تیمار شاهد، عملکرد پایین‌تری نسبت به بهبود رشد گیاهچه داشت. چونتهابوری و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده کردند که پیش‌تیمار شیمیایی بذر برنج با اسپرمیدین (یک میلی‌مولار) مؤثرتر از پیش‌تیمار هورمونی با اسید جیبرلیک ۰/۴۳ میلی‌مولار در دو رقم متحمل و حساس به شوری بود. گیاهچه‌های رشدیافته از بذرهای تحت تیمار پیش‌تیمار، به‌طور مؤثرتری مانع از فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی شدند. همچنین مطالعات ثابت کرده است که گیاهچه‌های رشدیافته از بذرهای پرایم‌شده برنج، غلظت‌های کمتری از سدیم و پراکسید هیدروژن و مقادیر بیشتری از پتاسیم و پرولین را در برگ‌ها ذخیره کردند. پیش‌تیمار در ارقام حساس به شوری در مقایسه با ارقام متحمل به شوری تأثیر سودمندتری داشت (چونتهابوری و همکاران، ۲۰۱۴). پیش‌تیمار بذر با پلی آمین‌ها مانند اسپرمین و اسپرمیدین، از طریق ژن‌های کلیدی کنترل‌کننده‌ی سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، بیوسنتز اُسمولیت و اسید آسزیک، انتقال یون، ژن‌های فراوان اواخر دوره‌ی جنینی، ژن‌های فتوسنتزی، آنزیم‌های متابولیک پلی آمین و چندین فاکتور رونویسی که با تحمل شوری در هر دو وارپته‌ی حساس به شوری IR64 و وارپته‌های متحمل به شوری Nonabokra مرتبط بودند، را بهبود دادند (پائول و رویچهاندوری، ۲۰۱۷). مشخص شده است که پلی آمین‌ها، یکی از بهترین ترکیبات برای استفاده به‌عنوان عامل پیش‌تیمار بذر برای بهبود تحمل تنش شوری در برنج می‌باشند (یو و همکاران، ۲۰۱۶).

تحت تنش شوری، درصد و شاخص جوانه‌زنی، کلروفیل a, b و مقدار کارتنوئید در این گیاه کاهش می‌یابد. در طی فرایند جوانه‌زنی، پیش تیمار بذر باعث تغییرات متابولیکی شده، که موجب سازگاری بهتر گیاه زراعی در شرایط تنش شوری می‌شود (سالی و همکاران، ۲۰۱۵). پیش تیمار بذر با کلرید کلسیم و به دنبال آن کلرید پتاسیم سبب افزایش کارایی جوانه‌زنی، رشد و وزن خشک گیاهچه در شرایط تنش شوری متوسط می‌شود (افضل و همکاران، ۲۰۱۲). غلظت بالای کلرید سدیم سبب کاهش جوانه‌زنی ارقام برنج می‌شود. تیمار بذر برنج با پراکسید هیدروژن سبب افزایش مقاومت به تنش شوری در گیاهان زراعی می‌شود (وحید و همکاران، ۲۰۰۷). بذر گیاهان زراعی تحت پیش تیمار با کلرید کلسیم و اسید آسزیک، جوانه‌زنی بالاتری از خود نشان می‌دهد و محصول برداشت شده از پیش تیمار بذر دارای وزن خشک و مقدار کلروفیل بالاتر در تنش شوری و خشکی بود (سیرواستاوا و همکاران، ۲۰۱۰). پیش تیمار بذر با آب و نیترات پتاسیم به‌طور معنی‌داری سبب بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تحت تنش شوری شد (کایا و همکاران، ۲۰۰۶).

#### ۴-۸-۳- تحمل دما

تنش دمای بالا یا پایین بر رشد برنج اثر می‌گذارد. در طی جوانه‌زنی، در نواحی که برنج در اواخر اسفنده ماه تا اوایل فصل بهار کاشته می‌شود تنش سرمایی بر رشد برنج اثر می‌گذارد. برنج ممکن است در ماه‌های تیر و مردادماه در زمان گلدهی تا مرحله‌ی پر شدن دانه، تنش دمای بالا را تجربه کنند. دماهای زیر یا بالای حد بهینه در طول مرحله‌ی گلدهی تا پر شدن دانه به رشد و توسعه‌ی دانه آسیب می‌زنند و تولید برنج را کاهش می‌دهند. پیش تیمار بذر، مقاومت بالایی به‌منظور مقاومت به تنش سرما در برنج در مرحله‌ی جوانه‌زنی و ابتدای مرحله‌ی رویشی دارد. پیش تیمار بذر با سلنیوم (۵۰ میلی‌مولار) و اسید سالیسیلیک (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، جوانه‌زنی بذر برنج را تحت تنش سرمایی (دمای شبانه‌ی ۱۳/۴ درجه‌ی سلسیوس) تا حدود ۲۶-۲۱ درصد در ارقام Huanghuazhan (اینبرد)

و Yangliangyou 6 (هیبرید) افزایش داد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶). البته چند روش پیش‌تیمار دیگر از قبیل پیش‌تیمار با آب، پیش‌تیمار اُسمزی با کلرید کلسیم، پیش‌تیمار ردوکس با پراکسید هیدروژن برای مقابله با تنش سرما در برنج در مقایسه با سلنیوم و اسید سالیسیلیک خیلی مؤثر نبودند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶). پورامیر دشت‌میان و همکاران (۲۰۱۴) رشد بهتر گیاهچه برنج را در دمای ۸ و ۱۲ درجه‌ی سلسیوس در رقم خزر به علت پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک مشاهده کردند. پیش‌تیمار مواد مغذی با نیترات پتاسیم، تحت تنش سرما، غیر مؤثر بود (تونل و همکاران، ۲۰۱۳). پیش‌تیمار بذر با سلنیوم و اسید سالیسیلیک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز را بهبود داد و تجمع گلوتاتیون و پرولین آزاد و تنفس را افزایش داد (پورامیر دشت‌میان و همکاران، ۲۰۱۴، حسین و همکاران، ۲۰۱۶؛ شیتیوی و همکاران، ۲۰۱۷). بذره‌ای پرایم شده با سلنیوم و اسید سالیسیلیک قادر به متعادل کردن اثرات منفی تنش سرما (دمای ۱۸ درجه‌ی سلسیوس) از طریق تقلیل تنش اکسیداتیو، افزایش نرخ تنفس، فعالیت آلفا‌آمیلاز و فعال‌سازی و به‌کارگیری مواد ذخیره‌ای جهت تأمین انرژی برای رشد یافتن بافت‌های گیاهی و حفاظت ساختاری و توانایی کارکردی پروتئین، غشای سلولی و نوکلئیک‌اسیدها بودند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۶؛ شیتیوی و همکاران، ۲۰۱۷). در پژوهشی دیگر مشخص شد پیش‌تیمار بذر برنج با اسپرمیدین (۵ میلی‌مولار) و اسید آمینولولینیک (۸/۵ میلی‌مولار) می‌توانند تحمل سرما را در واریته‌های QY1 و ZY6 برنج افزایش می‌دهند (شیتیوی و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی و به‌کارگیری زیاد هیدرات کربن، پیش‌تیمار با این دو پیش‌ماده (اسپرمیدین و اسید آمینولولینیک)، فعالیت‌های آنزیم‌های بیوسنتز پلی‌آمین از قبیل آرژینین دکربوکسیلاز، اورنیتین دکربوکسیلاز و S-آدنوزین متیونین دکربوکسیلاز را نیز افزایش داد. بیان نسبی ژن‌های مرتبط با بیوسنتز پلی‌آمین، تحت پیش‌تیمار با اسپرمیدین و اسید آمینولولینیک در مقایسه با بدون پیش‌تیمار بالاتر بود (شیتیوی و همکاران، ۲۰۱۷).

#### ۴-۸-۴- تحمل به تنش غرقاب

برنج در اکوسیستم‌های مختلف از اکولوژی‌های مستعد غرقاب تا هوازی با آبیاری رشد می‌کند. کشت مستقیم، هزینه‌ی کشت را تحت شرایط آبیاری شده کاهش می‌دهد، در عین کاهش هزینه‌ی کشت در زمین‌های غرقاب بارانی، این روش گیاهچه‌ها را قوی‌تر می‌سازد و آن‌ها را قادر می‌سازد تا غرقاب کامل را در طی طغیان آب تحمل نمایند. کشت مستقیم چندین عیب دارد، این روش نیاز به تغییر الگوی فرایند کشت برای درک پتانسیل کامل روش دارد. بذریابی بر روی سطح خاک با مخاطرات آب‌وهوایی مواجه است. بیرون‌زدگی بذرها به علت باران‌های سیل‌آسا رخ می‌دهد. غوطه‌ور شدن بذرها در حال جوانه‌زنی باعث اختلال استقرار گیاهچه و قرار گرفتن بیشتر بذرها کاشته شده در زیر سطح خاک می‌گردند که نتیجه‌ی نهایی آن، استقرار ضعیف گیاهچه و به دنبال آن کاهش عملکرد دانه است. با این وجود، اگر بذرها در زیر سطح خاک کاشته شوند، مسئله بدتر می‌شود، به علت باران‌های ناخواسته، راکد شدن آب در سطح مزرعه رخ می‌دهد. این حالت غرقاب باعث ایجاد یک منطقه‌ی دارای کمبود اکسیژن در زیر سطح خاک می‌شود. تحت چنین شرایطی با وجود اینکه جوانه‌زنی در برنج رخ می‌دهد، رشد کولتوپتیل حداقل می‌شود، درعین حال به‌شدت از رشد ریشه جلوگیری می‌شود. مطالعات مختلف حاکی از آن است که تحت شرایط غرقاب، پیش تیمار بذر به علت رویش سریع ریشه و رشد بهتر کولتوپتیل، بسیار مؤثرتر است (سارکار، ۲۰۱۲؛ ایلانگاکون و همکاران، ۲۰۱۶). پیش تیمار بذر با عصاره‌ی ۲ درصد گیاه جمبو (*Syzygium cumini*) برگ یا پیش تیمار با آب به‌طور زیادی فعالیت‌های آمیلاز کل و الکل دهیدروژناز را در برنج تسریع کرد (ایلا و همکاران، ۲۰۱۱؛ سارکار، ۲۰۱۲). بذرها بدون تیمار پیش تیمار، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز ضعیف و پراکسیداسیون بیشتری را نسبت به بذرها تحت تیمار پیش تیمار در هر دو رقم مقاوم (KhaoHlan On و Khaiyan) و حساس (FR13A و IR42) برنج به تنش غرقاب نشان دادند (ایلا و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهشی دیگر مشاهده شد که ارقام مقاوم برنج به کمبود اکسیژن در مرحله



جوانه‌زنی نسبت به ارقام حساس، تحت پیش‌تیمار واکنش بهتری را نشان داد (ایلناکاگون و همکاران، ۲۰۱۶). از این‌رو، پیش‌تیمار بذر یک ابزار فوق‌العاده برای بهبود استقرار گیاه زراعی تحت رکود بیشتر آب و بالاتر از ژنوتیپ مقاوم است. غرقاب در طول جوانه‌زنی باعث کمبود اکسیژن می‌شود (رأی و همکاران، ۲۰۱۶). بذر برنج مقاوم به کمبود اکسیژن در مراحل جوانه‌زنی به علت متابولیسم بهتر هیدرات کربن، موجب تبدیل تنفس هوازی به غیرهوازی می‌شود. البته این شرایط خنثی‌شدن تنش اکسیداتیو، بهبود متابولیسم نیتروژن، تولید اتیلن همراه با عملکرد هماهنگ اسید آبسزیک و جیبرلین و افزایش پروتئین‌های  $G^1$  را نیز به دنبال خواهد داشت (ویجایان و همکاران، ۲۰۱۸). ژن‌های مرتبط با تکثیر و توسعه‌ی سلول و همچنین وقایع متابولیسی در برنج مقاوم به کمبود اکسیژن در مرحله جوانه‌زنی در مقایسه با برنج غیرمقاوم بیش از حد بیان می‌شوند (ویجایان و همکاران، ۲۰۱۸). پیش‌تیمار بذر برنج از طریق افزایش فعالیت متابولیسی به‌نوبه‌ی خود کمک می‌کند تا در مرحله‌ی جوانه‌زنی در برابر کمبود اکسیژن مقاومت کنند (ایلا و همکاران، ۲۰۱۱؛ سارکار، ۲۰۱۲؛ ایلانگاگون و همکاران، ۲۰۱۶). حسین و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات بیشتری را در اصلاح رونویسی بذرهای تحت تیمار پیش‌تیمار سلنیوم و اسید سالیسیلیک نسبت به بذرهای بدون پیش‌تیمار یافتند. ژن‌های مرتبط با مقاومت به کمبود اکسیژن در مرحله جوانه‌زنی برنج از قبیل متابولیسم هیدرات کربن و نیتروژن، تنش اکسیداتیو و طویل شدن سلول و توسعه‌ی سلول در بذرهای تحت تیمار پیش‌تیمار سلنیوم و اسید سالیسیلیک در مقایسه با بذرهای بدون پیش‌تیمار تحت کمبود اکسیژن/غرقاب، به‌طور بیش از حد بیان می‌شوند.

#### ۴-۸-۵- سمیت فلزات

کشت برنج در نواحی آلوده به فلزات سنگین، یکی از چالش‌برانگیزترین زراعت‌ها می‌باشد. فلزات سنگین از قبیل سرب، کادمیوم، کروم و منگنز و متالوئیدهایی مانند آرسنیک نه تنها

حاصلخیزی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بلکه برای حیوانات و انسان‌ها نیز سمیت شدید ایجاد می‌نمایند و منجر به بیماری‌های گوناگون و مرگ می‌شود (فان و همکاران، ۲۰۱۷). سمیت آرسنیک به علت مرگ‌های متعدد در سراسر جهان برای انسان همه‌گیر است (کالیتا و همکاران، ۲۰۱۸). پیش تیمار بذر یکی از روش‌های آسان برای رشد برنج در خاک‌های آلوده به فلزات و متالوئید است (شینواری و همکاران، ۲۰۱۵؛ مولیک و همکاران، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸). پیش تیمار بذر برنج با اسید سالیسیلیک برای مواجهه با سمیت کروم در دو واریته‌ی Basmati 385 و Shaheen Basmati بهتر از پیش تیمار با آب بود (شینواری و همکاران، ۲۰۱۵). پیش تیمار بذر برنج، از طریق تسریع در جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه در شرایط تنش فلزات سنگین سبب حفظ سطوح بزرگ‌تر رنگدانه، بهبود وضعیت متابولیت‌هایی مثل پرولین و گلاسیسین بتائین، پروتئین‌های کل محلول و قندها، کاهش آسیب غشای سلولی و جذب کروم به‌وسیله‌ی گیاهچه‌ها می‌شود. پیش تیمار بذر با سلنیوم (۱-۸/۰ میلی‌گرم در لیتر) سمیت را در ارقام Kranti، IR36 و IET4094 برنج کاهش داد (مولیک و همکاران، ۲۰۱۶؛ ۲۰۱۸). تجمع آرسنیک هم در ریشه و هم در ساقه در گیاهچه‌های رشدیافته حاصل از پیش تیمار بذر پیش تیمار با سلنیوم در مقایسه با بذرهای بدون پیش تیمار به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. گیاهچه‌های رشدیافته حاصل از پیش تیمار بذر با سلنیوم قادر به حفظ آسیب غشای سلول از سمیت آرسنیک بودند و غلظت‌های بیشتری از متابولیت‌هایی از قبیل پرولین و کل فنولیک‌ها را حفظ کردند. صلاح و همکاران (۲۰۱۵) به مؤثر بودن پلی‌اتیلن گلایکول به‌عنوان عامل پیش تیمار برای کاهش سمیت روی در برنج در رقم‌های You No. 1 و Zhu Liang You 06 پی بردند. آن‌ها همچنین دریافتند پیش تیمار بذر برنج با پلی‌اتیلن گلایکول، ساختار سلولی برگ‌ها و ریشه‌ها را از تنش اکسید حفاظت کرد.

#### ۴-۹- پوشش‌دار کردن بذر برنج

##### ۴-۹-۱- پوشش‌دار کردن و کارایی مواد مغذی

پوشش‌دار کردن بذر با عناصر ضروری ماکرو و میکرو برای بهبود کارایی گیاهان تحت شرایط کمبود مواد مغذی خاک، تقویت رشد اولیه گیاهچه و به‌کارگیری مؤثر کودها استفاده می‌شود. پوشش‌دار کردن بذر برنج با سنگ فسفات (۵/۰ کیلوگرم در کیلوگرم بذر) سبب توسعه گیاهچه در خاک‌های با فسفر کم شد (روزا و همکاران، ۲۰۰۰). در خاک دارای کمبود بور، پوشش‌دار کردن بذر با استفاده از صمغ عربی برای بهبود درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در واریته‌های Super Basmati و Shahin Basmati برنج آروماتیک مناسب است (رحمان و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین پوشش‌دار کردن بذر با عنصر روی به‌طور قابل‌توجهی عملکرد برنج و محتوای روی را در بذرها در خاک‌های دارای کمبود این عنصر بهبود بخشید (سلاتون و همکاران، ۲۰۰۱). پوشش‌دار کردن بذر با سنگ آهک دولومیت و سیلیکات آلومینیوم، وزن خشک ساقه‌چه در ارقام IRGA424 و IRGA422CL برنج را بهبود داد (تاوارس و همکاران، ۲۰۱۲). البته در مقابل جانسون و همکاران (۲۰۰۵) هیچ‌گونه مزیتی را برای پوشش‌دار کردن بذر با مواد مغذی در برنج را گزارش نکردند.

##### ۴-۹-۲- پوشش‌دار کردن بذر و تحمل تنش غیر زیستی

بذرپاشی در کشت مستقیم در بسیاری از جنبه‌های آغازشونده از ذخیره‌سازی انرژی تا برداشت زود برای کشاورزان سودمند است (سارکار و همکاران، ۱۹۹۹؛ کومار و لدها، ۲۰۱۱). علاوه بر پیش‌تیمار بذر، پوشش‌دار کردن برای تحریک تحمل به کمبود اکسیژن در مراحل اولیه رشدی بسیار مؤثر است (یامادا، ۱۹۵۲ و اوتا و ناکایاما، ۱۹۷۰). پوشش‌دار کردن بذر برنج با پراکسید کلسیم، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را تحت شرایط غرقاب افزایش می‌دهد. بذرها پوشش‌دار شده با پراکسید کلسیم، یک منطقه‌ی اکسیدشده در جاهای خالی بذرها از طریق رهاسازی اکسیژن ایجاد می‌کنند که به علت آلفا-آمیلاز بیشتر، الکل

دهیدروژناز کمتر و فعالیت‌های پیرووات دکربوکسیلاز به جوانه‌زنی مناسب و استقرار برنج تحت شرایط خاک غرقاب کمک می‌کند (می و همکاران، ۲۰۱۷). هارا (۲۰۱۷) بهبود رشد گیاهچه را تحت خاک غرقاب در بذرهای پوشش‌دار شدن با اسید تنگستیک و آمونیوم فسفوتنگستات مشاهده کرد. یاموچی (۲۰۱۷) تکنیک پوشش‌دار کردن بذر با آهن در نظام کشت مستقیم برنج را مؤثر دانست. به‌طوری‌که بذرهای پوشش‌دار شده با آهن می‌توانند به مدت بیشتر از یک سال در دمای اتاق ذخیره‌سازی شوند و می‌توانند درست مانند بذرهای بدون پوشش نگهداری شوند. این فن‌آوری نه تنها برای کشت نشایی برنج بلکه برای کشت مستقیم نیز کاربردی است. این تکنولوژی پتانسیل زیادی برای جایگزین کردن کشت نشایی دارد و بنابراین قادر به کاهش هزینه‌ی کشت برنج است (یاموچی، ۲۰۱۷). اورگی و فنانگد (۲۰۱۵) تکنولوژی کشت مستقیم برنج را بر اساس مواد در دسترس به‌طور محلی در فیلیپین را توسعه دادند. مواد پوشش دهی بذر به‌وسیله‌ی مخلوط کردن کودهای گاو و پوسته‌ی سوخته شده‌ی برنج، سبوس برنج و کمپوست حشرات آماده‌سازی شدند، بعد از پوشش دادن بذر با این مخلوط‌ها، بذر خشک و سپس استفاده شدند. بذرهای پوشانده شده با این مواد از آسیب پرندگان در امان بودند و قادر به جوانه‌زدن تحت شرایط غرقاب بودند.

علاوه بر غرقاب، پوشش‌دار کردن بذر برای تحریک تحمل به تنش شوری در برنج مؤثر است (سونگلین و همکاران، ۲۰۰۲). تحمل به تنش شوری در برنج هیبرید، یعنی ارقام Shanyou 10 و Eryoupeijiu، از طریق پوشش دادن بذر با کیتوزان (۱/۵ درصد) به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. پوشش‌دار کردن بذر برنج با کیتوزان، فعالیت‌های بتا‌آمیلاز را تسریع و درصد جوانه‌زنی، محتوای پرولین و قند محلول کل، محتویات فروکتوز و ساکارز بذرهای در حال جوانه‌زنی را بهبود داد. برنج در برابر کمبود آب آسیب‌پذیر است. در طی جوانه‌زنی، کمبود آب منجر به آسیب به جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌شود. پلیمر سوپرجاذب استفاده‌شده به‌عنوان پوشش بذر به‌کاررفته در شیاهای کاشت، در دسترس بودن رطوبت

برای بذرها را بهبود داد و بنابراین به استقرار گیاه زراعی و رشد تحت عرضه‌ی محدود آب کمک کرد (رحمان و همکاران، ۲۰۱۱؛ باروس و همکاران، ۲۰۱۷). هایگینگ و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده کردند که پوشش‌دار کردن بذر با ترکیبات مغذی مختلف، وضعیت آنتی‌اکسیدان‌های گیاهچه‌های در حال رشد را تحت تنش سرما بهبود می‌بخشد، رنگدانه‌ها و غشای سلولی را از تخریب حفظ می‌کند و جوانه‌زنی و رشد بهتر گیاهچه را تحریک می‌کند. از این‌رو، همانند پیش‌تیمار بذر، پوشش‌دار کردن بذر با عوامل متفاوت، تأثیر زیادی بر روی تحریک تحمل تنش غیر زیستی در برنج دارد.

#### ۴-۱۰- پیش‌تیمار زیستی

##### ۴-۱۰-۱- بیماری‌ها و آفات

برای مبارزه با بیماری‌های گیاهی، گاهی از برخی آفت‌کش‌های شیمیایی استفاده می‌شوند که برای محیط‌زیست و سلامت انسان خطرناک هستند. در حال حاضر، پیش‌تیمار زیستی بذر با عوامل کنترل زیستی متفاوت مانند گونه‌های *Trichoderma* و *Pseudomonas fluorescence* می‌تواند یک ابزار امیدبخش برای مبارزه با این تنش‌های زیستی باشد (دیوید، ۲۰۰۸). برای انجام دادن پیش‌تیمار زیستی، اضافه کردن عوامل بیولوژیکی به بذرها مهم است. کاستاندا و همکاران (۲۰۱۴) یک روش به نام روش الکتوروریسی<sup>۱</sup> را توسعه دادند. از طریق این روش، بذرها با نانوفیبرهای پلیمری کپسوله می‌شوند. میکروکپسول‌ها بر روی سطح بذر حاوی اجزای فعال برای کنترل بیماری‌ها و آفات هستند. این روش درصد جوانه‌زنی بذرها و همچنین سطح سلامت گیاه را بهبود می‌بخشد. پیش‌تیمار بذر با یک میکروارگانیسم برای تقلیل دادن عملکرد ارگانیسم دیگر، اهمیت زیادی برای تحریک تحمل تنش زیستی دارد. پالویی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که ترکیبی از سویه‌های *Bacillus subtilis 5/B* و *Pseudomonas diminuta A6* می‌تواند در کاهش شدت آلودگی بذر

1 Electrospinning technique

به قارچ *Pyricularia oryzae* عامل بیماری بلاست بذرها را کاهش دهد.

#### ۴-۱۰-۲- تحمل تنش غیر زیستی

پیش تیمار بذر با ارگانسیم‌های بیولوژیکی همراه با مواد شیمیایی ارگانیک و غیرارگانیک می‌تواند وضعیت بذرها را برای تحریک تحمل تنش غیر زیستی بهبود بخشد. پوشش‌دار کردن بذر با پلیمر کیتوزان-لیگنوسولفونات<sup>۱</sup> و اوژنول<sup>۲</sup> ترکیب شده با پلیمر کیتوزان-لیگنوسولفونات به عنوان مواد مناسبی برای ترکیب شدن با عوامل ارگانیک و غیرارگانیک و عوامل بیولوژیکی یافت شده است (توبولوپوپ و همکاران، ۲۰۰۸). غشای خیلی نازک و ظریفی از آن همراه با ارگانسیم بیولوژیکی بر روی سطح بذرها کشیده می‌شود. هنگامی که این بذرها شروع به جوانه‌زنی می‌کنند، میکروارگانسیم پیوسته شده به بذرها نیز همراه با بذرها رشد می‌کند. روتین<sup>۳</sup> یک هورمون مصنوعی گیاهی با غلظت یک پیکومولار است که تشکیل بیوفیلم باکتری *Bacillus subtilis* را تقویت می‌کند. پیش تیمار زیستی بذرهای برنج با *B. subtilis* و روتین، رشد ریشه و ساقه، تراکم کلروفیل و کاروتنوئید در گیاهچه‌های برنج و سایر جنبه‌های سودمند در توسعه گیاه را که به نوبه‌ی خود ظرفیت زنده ماندن گیاهچه‌های برنج را تحت شرایط ناسازگار تقویت می‌کنند را بهبود می‌بخشد (سینگ و همکاران، ۲۰۱۶). پیش تیمار زیستی بذرهای برنج (وارته‌ی 3131 Kalanamak) با سویه‌های مختلف مقاوم به شوری *Trichoderma harzianum*، تحمل به تنش شوری را افزایش می‌دهند (راوات و همکاران، ۲۰۱۲). بذرهای تیمار شده با *T. harzianum* توانستند سیستم‌های فتوسنتزی و آنتی‌اکسیدانی برنج را بهبود بخشند و محتویات پرولین و سایر متابولیت‌ها را در مقایسه با بذرهای بدون پیش تیمار را نیز افزایش دهند. به‌طور کلی تنش‌های غیر زیستی از قبیل سرما، شوری، خشکی و دمای شدید، چالش‌های

1 Chitosan-lignosulphonate

2 Eugenol

3 Rutin

اصلی در در زراعت برنج هستند. این تنش‌ها اغلب منجر به انواع گوناگونی از آسیب‌ها می‌شوند و واکنش‌های سلولی و مسیرهای سیگنال متفاوتی را فعال می‌کنند. پیش‌تیمار بذر، روش مفیدی برای غلبه بر اثرات ناسازگار تنش‌های غیر زیستی در گیاهان زراعی برنج است. پیش‌تیمار بذر، مسیرهای سیگنال سلولی و واکنش‌های مربوطه‌ی دفاعی گیاه را بیشتر می‌کند. همچنین مشخص شده است که تغییرات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی معینی به واسطه‌ی پیش‌تیمار بذر تحریک می‌شوند. اثرات سودمند پیش‌تیمار بذر همراه با تحرک مواد ذخیره‌ای، ترمیم میتوکندری‌ها، غشاها و ساختمان نوکلئیک اسید و فعال‌سازی ژن‌های درگیر در ساخت آنزیم‌ها است. پیش‌تیمار بذر همچنین تکرار، ترجمه و رونویسی DNA را تنظیم می‌کند. توسعه‌ی روش‌های مناسب پیش‌تیمار بذر برنج برای تحمل به تنش غیر زیستی ضروری می‌باشد. بعلاوه، تحقیقات آتی باید بر روی تغییرات مولکولی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی القاشده توسط پیش‌تیمار بذر تحت تنش‌های غیر زیستی گوناگون متمرکز شوند.

#### ۴-۱۱-منابع

- Abichandani CT, Ramiah K (1951) Treatment of rice seed in nutrient solution as means of increasing yield. *Curr Sci* 20: 270–271.
- Afzal I, Butt A, Rehman HU, Basra AMA, Afzal A (2012) Alleviation of salt stress in fine aromatic rice by seed priming. *Aust J Crop Sci* 6: 1401–1407.
- Bai B, Shi B, Hou N, Cao Y, Meng Y, Bian H, Zhu M, Han N (2017) microRNAs participate in gene expression regulation and phytohormone cross-talk in barley embryo during seed development and germination. *BMC Plant Biol* 17: 150. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1095-2>.
- Bailey-Serres J, Voeselek LACJ (2008) Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Annu Rev Plant Biol* 59: 313–339.
- Basra SMA, Farooq M, Wahid A, Khan MB (2006) Rice seed invigoration by hormonal and vitamin priming. *Seed Sci Technol* 34: 753–758.
- Basu RN, Chattopadhyay K, Pal P (1974) Maintenance of seed viability in rice (*Oryza sativa* L.) and jute (*Corchorus capsularis* L. and *C. olitorius* L). *Indian Agric* 18: 75–79.
- Basu RN, Pal P (1980) Control of rice seed deterioration by hydration dehydration pretreatments. *Seed Sci Technol* 8: 151–160.
- Bewley JD (1997) Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9: 1055–1066.
- Bewley JD, Nonogaki H (2017) Seed maturation and germination. In: Reference module in life sciences, Elsevier. isbn: 9780128096338. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.05092-5>.
- Binang WB, Shiyam JO, Ntia JD (2012) Effect of seed priming method on agronomic performances and cost effectiveness of rainfed dry-seeded Nerica rice. *Res J Seed Sci* 5: 136–143.
- Bradford KJ (1995) Water relations in seed germination. In: Kigel J, Galili G (eds) Seed development and germination. Arcel Dekker, New York, pp 351–396.
- Bruce TJA, Matthes MC, Napier J, Pickett JA (2007) Stressful “memories” of plants: evidence and possible mechanisms. *Plant Sci* 173: 603–608.
- Castañeda LMF, Genro C, Roggia I, Bender SS, Bender RJ, Pereira CN (2014) Innovative rice seed coating (*Oryza sativa*) with polymer nanofibres and microparticles using the electrospinning method. *J Res Updat Polym Sci* 3: 33–39.
- Cheng J, Wang L, Zeng P, He Y, Zhou R, Zhang H, Wang Z (2017) Identification of genes involved in rice seed priming in the early imbibition stage. *Plant Biol* 19: 61–69.



- Chunthaburee S, Sanitchon J, Pattanagul W, Theerakulpisut P (2014) Alleviation of salt stress in seedlings of black glutinous rice by seed priming with spermidine and gibberellic acid. *Not Bot Horti Agrobot* 42: 405–413.
- Das KK, Panda D, Nagaraju M, Sharma SG, Sarkar RK (2004) Antioxidant enzymes and aldehyde releasing capacity of rice cultivars (*Oryza sativa* L.) as determinants of anaerobic seedling establishment capacity. *Bulg J Plant Physiol* 30: 34–44.
- Das SS, Karmakar P, Nandi AK, Mishra NS (2015) Small RNA mediated regulation of seed germination. *Front Plant Sci* 6: 828. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00828>.
- David BV (2008) Biotechnological approaches in IPM and their impact on environment. *J Biopest* 1: 1–5. de Barros AF, Pimentel LD, Araujo EF, de Macedo LR, Martinez HEP, Batista VAP, da Paixão.
- de Guzman LEP, Aquino AL (eds) (2007) Longevity of hydro-primed rice seeds, Philipp J *Crop Sci* 32: 77–88.
- Dirk LMA, Griffen LA, Downie B, Bewley JD (1995) Multiple isozymes of endo  $\beta$ -d-mannanase in dry and imbibed seeds. *Phytochemistry* 40: 1045–1056.
- Ella ES, Dionisio-Sese ML, Ismail AM (2011) Seed pre-treatment in rice reduces damage, enhances carbohydrate mobilization and improves emergence and seedling establishment under flooded conditions. *AoB Plants* 2011: plr007. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plr007>.
- Fan Y, Zhu T, Li M, He J, Huang R (2017) Heavy metal contamination in soil and brown rice and human health risk assessment near three mining areas in Central China. *J Healthcare Eng* 2017: 4124302. <https://doi.org/10.1155/2017/4124302>.
- Farooq M, Basra SMA, Afzal I (2006b) Enhancing the performance of direct seeded fine rice by seed priming. *Plant Prod Sci* 9: 446–456.
- Farooq M, Basra SMA, Afzal I, Khaliq A (2006a) Optimization of hydropriming techniques for rice seed invigoration. *Seed Sci Technol* 34: 507–512.
- Farooq M, Basra SMA, Khan MB (2007) Seed priming improves growth of nursery seedlings and yield of transplanted rice. *Arch Agron Soil Sci* 53: 315–326.
- Fenangad DB, Orge RF (2015) Simple seed coating technology for improved seedling establishment in direct-seeded rice. *OIDA Int J Sustain Dev* 8: 35–42.
- Finch-Savage WE, Leubner-Metzger G (2006) Seed dormancy and the control of germination. *New Phytol* 171: 501–523.
- Finkelstein R, Gibson SI (2002) ABA and sugar interactions regulating development: “cross-talk” or “voices in a crowd”? *Curr Opin Plant Biol* 5: 26–32.

- Ghodrat V, Moradshahi A, Rousta MJ, Karampour A (2013) Improving yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) by indolebutyric acid (IBA), gibberellic acid (GA3) and salicylic acid (SA) pre-sowing seed treatments. *Am Eurasian J Agric Environ Sci* 13: 872–876.
- Goswami A, Banerjee R, Raha S (2013) Drought resistance in rice seedlings conferred by seed priming. *Protoplasma* 250: 1115–1129.
- Hagiwara M, Imura M, Mitsuishi S (1987) Oxidation-reduction state in the vicinity of the paddy rice seed sown into flooded soil. *Jpn J Crop Sci* 56: 356–362.
- Hara Y (2017) Comparison of the effects of seed coating with tungsten and molybdenum compounds on seedling establishment rates of rice, wheat, barley, and soybean under flooded conditions. *Plant Prod Sci* 20: 406–411.
- Harris D, Joshi A, Khan PA, Gothkar P, Sodhi PS (1999) On-farm seed priming in semi-arid agriculture: development and evaluation in maize, rice and chickpea in India using participatory methods. *Exp Agric* 35: 15–29.
- Harris D, Pathan AK, Gothkar P, Joshi A, Chivasa W, Nyamudeza P (2001) On farm seed priming: using participatory methods to revive and refine a key technology. *Agric Syst* 69: 151–164.
- Hayashi M (1987) Relationship between endogenous germination inhibitors and dormancy in rice seeds. *Jpn Agric Res Quart* 21: 153–161.
- He D, Yang P (2013) Proteomics of rice seed germination. *Front Plant Sci* 4: 246. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00246>.
- High-qing Z, Ying-bin Z, Guo-chao X, Yuan-fu X (2007) Effect and mechanism of cold tolerant seed-coating agents on the cold tolerance of early indica rice seedlings. *Agric Sci China* 6: 792–801.
- Hilhorst HWM, Toorop PE (1997) Review on dormancy, germinability, and germination in crop and weed seeds. *Adv Agron* 61: 111–165.
- Hussain M, Farooq M, Lee D-J (2016a) Evaluating the role of seed priming in improving drought tolerance of pigmented and non-pigmented rice. *J Agro Crop Sci* 203: 269–276.
- Hussain S, Khan FA, Hussain HA, Nie L (2016c) Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-induced chilling tolerance in rice cultivars. *Front Plant Sci* 7: 116. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00116>.
- Hussain S, Yin H, Peng S, Khan FA, Khan F, Sameeullah M, Hussain HA, Huang J, Cui K, Nie L (2016b) Comparative transcriptional profiling of primed and non-primed rice seedlings under submergence stress. *Front Plant Sci* 7: 1125. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01125>.

- Illangakoon TK, Ella ES, Ismail AM, Marambe B, Keerthisena RSK, Bentota AP, Kulatunge S (2016) Impact of variety and seed priming on anaerobic germination tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) varieties in Sri Lanka. *Trop Agric Res* 28: 26–37.
- Johnson SE, Lauren JG, Welch RM, Duxbury JM (2005) A comparison of the effects of micronutrient seed priming and soil fertilization on the mineral nutrition of chickpea (*Cicer arietinum*), lentil (*Lens culinaris*), rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*) in Nepal. *Exp Agric* 41: 427–448.
- Kalita J, Pradhan AK, Shandilya ZM, Tanti B (2018) Arsenic stress responses and tolerance in rice: physiological, cellular and molecular approaches. *Rice Sci* 25: 235–249.
- Kumar V, Ladha JK (2011) Direct seeding of rice: recent developments and future research needs. *Adv Agron* 111: 297–413.
- Li X, Zhang L (2012) SA and PEG-induced priming for water stress tolerance in rice seedling. In: Zhu E, Sambath S (eds) *Information technology and agricultural engineering*, vol 134. Springer, Berlin/Heidelberg, pp 881–887.
- Mahajan G, Sarlach RS, Japinder S, Gill MS (2011) Seed priming effects on germination, growth and yield of dry direct-seeded rice. *J Crop Improv* 25: 409–417.
- Matsushima K-I, Sakagami J-I (2013) Effects of seed hydropriming on germination and seedling vigor during emergence of rice under different soil moisture conditions. *Am J Plant Sci* 4: 1584–1593.
- Mei J, Wang W, Peng S, Nie L (2017) Seed pelleting with calcium peroxide improves crop establishment of direct-seeded rice under waterlogging conditions. *Sci Rep* 7: 4878. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04966-1>.
- Mikkelsen DS, Sinah MN (1961) Germination inhibition in *Oryza sativa* and control by preplanting soaking treatments. *Crop Sci* 1: 332–335.
- Mishra G, Patnaik SN (1959) Effect of coumarin on the germination and growth of rice seedlings. *Nature* 183: 989–990.
- Mondo VHV, Nascente AS, Neves PDCF, Taillebois JE, Oliveira FHS (2016) Seed hydropriming in upland rice improves germination and seed vigor and has no effects on crop cycle and grain yield. *Aust J Crop Sci* 10: 1534–1542.
- Moulick D, Ghosh D, Santra SC (2016) Evaluation of effectiveness of seed priming with selenium in rice during germination under arsenic stress. *Plant Physiol Biochem* 109: 571–578.
- Moulick D, Santra SC, Ghosh D (2018) Rice seed priming with Se: a novel approach to mitigate as induced adverse consequences on growth, yield and as load in brown rice. *J Hazard Mater* 355: 187–196.

- MQ (2017) Super absorbent polymer application in seeds and planting furrow: it will be a new opportunity for rainfed agriculture. *Semina Ciên Agrár Londrina* 38: 1703–1714.
- Munns R, Tester M (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annu Rev Plant Biol* 59: 651–681.
- Narsai R, Gouil Q, Secco D, Srivastava A, Karpievitch YV, Liew LC, Lister R, Mathew G, Lewsey MG, Whelan J (2017) Extensive transcriptomic and epigenomic remodelling occurs during *Arabidopsis thaliana* germination. *Genom Biol* 18: 172. <https://doi.org/10.1186/s13059-017-1302-3>.
- Ota Y, Nakayama M (1970) Effect of seed coating with calcium peroxide on germination under submerged condition in rice plant. *Proc Crop Sci Soc Jpn* 39: 535–536.
- Palupi T, Ilyas SAS, Machmud M, Widajati E (2017) Effect of seed coating with biological agents on seed quality of rice. *Biodiversitas* 18: 727–732.
- Panda D, Rao DN, Das KK, Sarkar RK (2017) Role of starch hydrolytic enzymes and phosphatases in relation to under water seedling establishment in rice. *Indian J Plant Physiol* 22: 279–286.
- Parija P (1943) On the seed treatment and phasic development. *Curr Sci* 12: 88–89.
- Pereira A (2016) Plant abiotic stress challenges from the changing environment. *Front Plant Sci* 7: 1123. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01123>.
- Pouramir-Dashtman F, Khajeh-Hosseini M, Esfahani M (2014) Improving chilling tolerance of rice seedling by seed priming with salicylic acid. *Arch Agron Crop Sci* 60: 1291–1302.
- Radanielson AM, Gaydon DS, Li T, Angeles O, Roth CH (2018) Modeling salinity effect on rice growth and grain yield with ORYZA v3 and APSIM-Oryza. *Eur J Agron* 100: 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.01.015>.
- Rajjou L, Debeaujon I (2008) Seed longevity: survival and maintenance of high germination ability of dry seeds. *C R Biol* 331: 796–805.
- Rang ZW, Jagadish SVK, Zhou QM, Craufurd PQ, Heuer S (2011) Effect of high temperature and water stress on pollen germination and spikelet fertility in rice. *Environ Exp Bot* 70: 58–65.
- Rawat L, Singh Y, Shukla N, Kumar J (2012) Seed biopriming with salinity tolerant isolates of *Trichoderma harzianum* alleviates salt stress in rice: growth, physiological and biochemical characteristics. *J Plant Pathol* 94: 353–365.

- Ray S, Vijayan J, Sarkar RK (2016) Germination stage oxygen deficiency (GSOD): an emerging stress in the era of changing trends in climate and rice cultivation practice. *Front Plant Sci* 7: 671. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00671>.
- Reddy JN, Sarkar RK, Patnaik SSC, Singh DP, Singh US, Ismail AM, Mackill DJ (2009) Improvement of rice germplasm for rainfed lowland of eastern India. *SABRAO J Breed Genet* 41(Special supplement). ISSN: 102907073.
- Rehman HU, Basra SMA, Farooq M (2011) Field appraisal of seed priming to improve the growth, yield, and quality of direct seeded rice. *Turk J Agric* 35: 357–365.
- Rehman HU, Kamran M, Basra SMA, Afzal I, Farooq M (2015) Influence of seed priming on performance and water productivity of direct seeded rice in alternating wetting and drying. *Rice Sci* 22: 189–196.
- Roberts GH (1961) Dormancy in rice seeds 1. The distribution of dormancy period. *J Exp Bot* 12: 315–329.
- Rodriguez-Valentin R, Campos F, Battaglia M, Solórzano RM, Rosales MA, Covarrubias AA (2014) Group 6 late embryogenesis abundant (LEA) proteins in monocotyledonous plants: genomic organization and transcript accumulation patterns in response to stress in *Oryza sativa*. *Plant Mol Biol Rep* 32: 198–208.
- Rosa C, Bell RW, White PF (2000) Phosphorus seed coating and soaking for improving seedling growth of *Oryza sativa* (rice) cv. IR66. *Seed Sci Technol* 28: 201–211.
- Roychoudhury A, Basu S, Sengupta DN (2011) Amelioration of salinity stress by exogenously applied spermidine or spermine in three varieties of Indica rice differing in their level of salt tolerance. *J Plant Physiol* 168: 317–328.
- Salah SM, Yajing G, Dongdong C, Jie L, Aamir N, Qijuan H, Weimin H, Mingyu N, Jin H (2015) Seed priming with polyethylene glycol regulating the physiological and molecular mechanism in rice (*Oryza sativa* L.) under nano-ZnO stress. *Sci Rep* 5: 14278. <https://doi.org/10.1038/srep14278>.
- Sarkar RK (2012) Seed priming improves agronomic trait performance under flooding and non-flooding conditions in rice with QTL *SUB1*. *Rice Sci* 19: 286–294.
- Sarkar RK, Bera SK, De RN (1999) Rice (*Oryza sativa*) cultivars for anaerobic seeding. *Indian J Agric Sci* 69: 73–76.
- Sarkar RK, Das S (2003) Yield of rainfed lowland rice with medium water depth under anaerobic direct seeding and transplanting. *Trop Sci* 43: 192–198.
- Sarkar RK, Mahata KR, Singh DP (2013) Differential responses of antioxidant system and photosynthetic characteristics in four rice cultivars differing in sensitivity to sodium chloride stress. *Acta Physiol Plant* 35: 2915–2926.

- Sarkar RK, Reddy JN, Sharma SG, Ismail AM (2006) Physiological basis of submergence tolerance in rice and implications for crop improvement. *Curr Sci* 91: 899–906.
- Sasaki K, Kishitani S, Fumitaka Abe F, Sato T (2015) Promotion of seedling growth of seeds of rice (*Oryza sativa* L. cv. Hitomebore) by treatment with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> before sowing. *Plant Prod Sci* 8: 509–514.
- Seck PA, Diagne A, Mohanty S, Wopereis MC (2012) Crops that feed the world 7: Rice. *Food Sec* 4: 7–24.
- Sheteiyw M, Shena H, Xua J, Guana Y, Songa W, Hu J (2017) Seed polyamines metabolism induced by seed priming with spermidine and 5-aminolevulinic acid for chilling tolerance improvement in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Environ Exp Bot* 137: 58–72.
- Shinwari KI, Jan M, Shah G, Khattak SR, Urehman S, Daud MK, Naeem R, Jamil M (2015) Seed priming with salicylic acid induces tolerance against chromium (VI) toxicity in rice (*Oryza sativa* L.). *Pak J Bot* 47: 161–170.
- Shiratsuchi H, Ohdaira Y, Yamaguchi H, Fukuda A (2017) Breaking the dormancy of rice seeds with various dormancy levels using steam and high temperature treatments in a steam nursery cabinet. *Plant Prod Sci* 20: 183–192.
- Singh A, Gupta R, Pandey R (2016) Rice seed priming with picomolar rutin enhances rhizospheric *Bacillus subtilis* CIM colonization and plant growth. *PLoS One* 11: e0146013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146013>.
- Singh DP, Sarkar RK (2014) Distinction and characterization of salinity tolerant and sensitive rice cultivars as probed by the chlorophyll fluorescence characteristics and growth parameters. *Funct Plant Biol* 41: 727–736.
- Sircar SM, Das TM, Lahiri AN (1955) Germination of rice embryo under water and its relation of growth to endosperm fractions. *Nature* 175: 1046–1047.
- Slaton NA, Wilson JCE, Ntamatungiro S, Norman RJ, Boothe DL (2001) Evaluation of zinc seed treatments for rice. *Agron J* 93: 152–157.
- Smith A, Snapp S, Chikowo R, Thorne P, Bekunda M, Glover J (2017) Measuring sustainable intensification in smallholder agroecosystems: a review. *Glob Food Sec* 12: 127–138.
- Songlin R, Qingzhong X, Bao ZWX (2002) Effects of chitosan coating on seed germination and salt-tolerance of seedling in hybrid rice (*Oryza sativa* L.). *Eur PMC* 28: 803–808.
- Steinbrecher T, Leubner-Metzger G (2018) Tissue and cellular mechanics of seeds. *Curr Opin Genet Dev* 51: 1–10.

- Takahashi N, Kato T, Tsunagawa M, Sasaki N, Kitahara Y (1976) Mechanisms of dormancy in rice seeds. II. New growth inhibitors, momilactone –A and –B isolated from the hulls of rice seeds. *Jpn J Breed* 26: 91–9198.
- Tavares LC, Rufino CDA, Dörr CS, Barros ACSA, Peske ST (2012) Performance of lowland rice seeds coated with dolomitic limestone and aluminum silicate. *Revista Brasileira de Sementes* 34: 202–211.
- Thobunluepop P, Pawelzik E, Vearasilp S (2008) The perspective effects of various seed coating substances on rice seed variety Khao DAWK Mali 105 storability I: the case study of physiological properties. *Pak J Biol Sci* 11: 2291–2299.
- Tilebeni HG, Yousefpour H, Farhadi R, Golpayegani A (2012) Germination behavior of rice (*Oriza Sativa* L.) cultivars seeds to difference temperatures. *Adv Environ Biol* 6: 573–577.
- Tonel FR, Marini P, Bandeira JDM, Silva ACS, Sampaio NV, Villela FA (2013) Osmotic priming of rice seeds subjected to low temperatures. *J Seed Sci* 35: 231–235.
- Toole EH, Hendricks SB, Borthwick HA, TOOLE VK (1956) Physiology of seed germination. *Annu Rev Plant Physiol* 7: 299–324.
- Uneo K, Miyoshi K (2005) Difference of optimum germination temperature of seeds of intact and dehusked japonica rice during seed development. *Euphytica* 143: 271–275.
- Varier A, Vari AK, Dadlani M (2010) The subcellular basis of seed priming. *Curr Sci* 99: 450–456.
- Vijayan J, Senapati S, Ray S, Chakraborty K, Molla KA, Basak N, Pradhan Yeasmin L, Chattopadhyay K, Sarkar RK (2018) Transcriptomic and physiological studies identify cues for germination stage oxygen deficiency tolerance in rice. *Environ Exp Bot* 147: 234–248.
- Waheed A, Ahmad H, Abbasi FM (2012) Different treatment of rice seed dormancy breaking, germination of both wild species and cultivated varieties (*Oryza sativa* L.). *J. Mater Environ Sci* 3: 551–560.
- Wang A, Wang X, Ren Y, Gong X, Bewley JD (2005) Endo- $\beta$ -mannanase and  $\beta$ mannosidase activities in rice grains during and following germination, and the influence of gibberellin and abscisic acid. *Seed Sci Res* 15: 219–227.
- Wang W, Chen Q, Hussain S, Mei J, Dong H, Peng S, Huang J, Cui K, Nie L (2016) Pre-sowing seed treatments in direct-seeded early rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under chilling stress. *Sci Rep* 6: 19637. <https://doi.org/10.1038/srep19637>.

- Wang W, He A, Peng S, Huang J, Cui K, Nie L (2018) The effect of storage condition and duration on the deterioration of primed rice seeds. *Front Plant Sci* 9: 172. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00172>.
- Welbaum GE, Bradford KJ, Yim K-O, Booth DT, Oluoch MO (1998) Biophysical, physiological and biochemical processes regulating seed germination. *Seed Sci Res* 8: 161–17.
- Yamada N (1952) Calcium peroxide as an oxygen supplier for crop plants. (in Japanese, with English summary). *Proc Crop Sci Soc Jpn* 21: 65–66.
- Yamauchi M (2017) A review of iron-coating technology to stabilize rice direct seeding onto puddled soil. *Agron J* 109: 739–750.
- Yoshida S (1973) Effects of temperature on growth of the rice plant (*Oryza sativa* L.) in a controlled environment. *Soil Sci Plant Nutr* 19: 299–310.
- Yoshida S (1981) Fundamentals of rice crop science. IRRI, Manila.
- Yu J, Lai Y, Wu X, Wu G, Guo C (2016) Overexpression of OsEm1 encoding a group I LEA protein confers enhanced drought tolerance in rice. *Biochem Biophys Res Comm* 478: 703–709.
- Zeigler RS, Barclay A (2008) The relevance of rice. *Rice* 1: 3–10.
- Zeng D, Shi Y (2008) Preparation and application of a novel environmentally friendly organic seed coating for rice. *Am Euras J Agron* 1: 19–25.
- Zheng M, Tao Y, Hussain S, Jiang Q, Peng S, Huang J, Cui K, Nie L (2016) Seed priming in dry direct-seeded rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under drought stress. *Plant Growth Regul* 78: 167–178.
- Zhu G, Ye N, Zhang J (2009) Glucose-induced delay of seed germination in rice is mediated by the suppression of ABA catabolism rather than an enhancement of ABA biosynthesis. *Plant Cell Physiol* 50: 644–651.