







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



# اکوفیزیولوژی، کنترل و گواهی بذر برنج

نویسندگان:

دکتر مریم حسینی چالشتی، دکتر شهرام نظری، دکتر مهرزاد اله‌قلی‌پور  
اعضای هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور

دکتر صالح محمدی

شرکت خدماتی حمایتی استان گیلان، وزارت جهاد کشاورزی



۱۴۰۰

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| عنوان و نام پدیدآور     | اکوفیزیولوژی، کنترل و گواهی بذر برنج/نویسندگان مریم حسینی چالشتی...[و دیگران]؛ ویراستار ادبی : مهدی جلائیان؛ ویراستاران علمی آیدین حمیدی...[و دیگران]؛ [برای] وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات برنج کشور. |
| مشخصات نشر              | تهران: راز نهان، ۱۴۰۰.                                                                                                                                                                                                                            |
| مشخصات ظاهری            | ۲۰۴ ص: جدول، نمودار.                                                                                                                                                                                                                              |
| شابک                    | ۹۷۸-۶۲۲-۲۷۸-۲۹۷-۹                                                                                                                                                                                                                                 |
| وضعیت فهرست نویسی       | فیبا                                                                                                                                                                                                                                              |
| یادداشت                 | نویسندگان مریم حسینی چالشتی، شهرام نظری، مهرزاد اله قلی پور، صالح محمدی.                                                                                                                                                                          |
| یادداشت                 | ویراستاران علمی آیدین حمیدی، صمد مبصر، علی اکبر عبادی، الهیار فلاح.                                                                                                                                                                               |
| یادداشت                 | کتابنامه: ص. [۱۷۹]-۲۰۴.                                                                                                                                                                                                                           |
| موضوع                   | برنج -- بذرها Rice -- Seeds                                                                                                                                                                                                                       |
| موضوع                   | بذرها -- فیزیولوژی بوم شناختی Seeds -- Ecophysiology                                                                                                                                                                                              |
| موضوع                   | بذرها -- بازرسی و کنترل Seed adulteration and inspection                                                                                                                                                                                          |
| شناسه افزوده            | حسینی چالشتی، مریم، ۱۳۵۴ -                                                                                                                                                                                                                        |
| شناسه افزوده            | حمیدی، آیدین، ۱۳۴۹ -، ویراستار                                                                                                                                                                                                                    |
| شناسه افزوده            | موسسه تحقیقات برنج کشور                                                                                                                                                                                                                           |
| رده بندی کنگره          | SB۱۹۱                                                                                                                                                                                                                                             |
| رده بندی دیویی          | ۶۳۳/۱۸                                                                                                                                                                                                                                            |
| شماره کتابشناسی ملی     | ۸۴۷۲۰۸۱                                                                                                                                                                                                                                           |
| اطلاعات رکورد کتابشناسی | فیبا                                                                                                                                                                                                                                              |

### اکوفیزیولوژی، کنترل و گواهی بذر برنج

دکتر مریم حسینی چالشتی، دکتر شهرام نظری، دکتر مهرزاد اله قلی پور، دکتر صالح محمدی

نشر: رازنهان

صفحه آرا: اکرم ملک نژاد

طراح جلد: الویرا صیامی

ویراستار ادبی: دکتر مهدی جلائیان

ویراستاران علمی: دکتر آیدین حمیدی، دکتر صمد مبصر، دکتر علی اکبر عبادی، دکتر الهیار فلاح

نوبت چاپ: اول - ۱۴۰۰

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۷۸-۲۹۷-۹

قیمت: ۶۰۰,۰۰۰ ریال

۱- این اثر به شماره ۴۱-۴۰۰/k و تاریخ ۱۴۰۰/۰۷/۱۰ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی 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 می باشد.

شماره تماس: ۰۹۲۲۴۰۱۳۷۰۴ و ۰۲۱۶۶۹۳۲۲۴۵

## فهرست مطالب

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| فصل اول: ساختار و ترکیبات بذر برنج .....                             | ۹  |
| ۱-۱- ساختار بذر برنج .....                                           | ۱۱ |
| ۱-۲- ترکیبات بذر برنج .....                                          | ۱۳ |
| ۱-۳- نشاسته .....                                                    | ۱۷ |
| ۱-۴- استخراج اجزای نشاسته .....                                      | ۲۱ |
| ۱-۵- پروتئین .....                                                   | ۲۳ |
| ۱-۶- لیپید .....                                                     | ۲۵ |
| فصل دوم: اجزای زایشی، توسعه و رشد برنج .....                         | ۳۱ |
| ۲-۱- اندام‌های زایشی .....                                           | ۳۳ |
| ۱-۱-۲- خوشه (پانیکول) .....                                          | ۳۳ |
| ۱-۲-۲- خوشچه .....                                                   | ۳۴ |
| ۱-۳-۲- گل .....                                                      | ۳۵ |
| ۱-۴-۲- بذر .....                                                     | ۳۶ |
| ۲-۲- فیزیولوژی رشد برنج .....                                        | ۳۶ |
| ۲-۳- رشد و توسعه‌ی برنج .....                                        | ۳۷ |
| ۲-۳-۱- جوانه‌زنی و استقرار پایه .....                                | ۳۷ |
| ۲-۳-۲- مرحله‌ی رویشی .....                                           | ۴۱ |
| ۲-۳-۳- رشد زایشی .....                                               | ۵۲ |
| فصل سوم: بیماری‌های بذرزاد برنج .....                                | ۶۱ |
| ۳-۱- بیماری لکه قهوه‌ای برنج .....                                   | ۶۳ |
| ۳-۲- بیماری سیاهک دروغی برنج .....                                   | ۶۷ |
| ۳-۳- بیماری بلاست برنج .....                                         | ۷۱ |
| ۳-۴- بیماری پوسیدگی ریشه و طوقه .....                                | ۷۵ |
| فصل چهارم: اثر تنش‌های محیطی بر جوانه‌زنی بذر برنج .....             | ۷۹ |
| ۴-۱- مقدمه .....                                                     | ۸۱ |
| ۴-۲- بررسی تأثیر انواع تنش‌های محیطی بر روی جوانه‌زنی بذر برنج ..... | ۸۱ |
| ۴-۳- تنش سرما .....                                                  | ۸۳ |
| ۴-۳-۱- اثرات تنش سرما در مرحله‌ی جوانه‌زنی .....                     | ۸۳ |

|                                                                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| ۴-۳-۲- مکانیسم‌های فیزیولوژیکی بذر نسبت به تنش سرما و راه‌های مقابله با آن | ۸۴         |
| ۴-۴- تنش شوری                                                              | ۸۶         |
| ۴-۴-۱- مکانیسم‌های فیزیولوژیکی بذر نسبت به تنش شوری و راه‌های مقابله با آن | ۸۹         |
| ۴-۵- تنش خشکی                                                              | ۹۰         |
| ۴-۵-۱- اثرات تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذر                                     | ۹۱         |
| ۴-۵-۲- مکانیسم‌های فیزیولوژیکی ایجاد تنش خشکی و راه‌های مقابله با آن       | ۹۲         |
| ۴-۶- تنش گرما                                                              | ۹۴         |
| ۴-۷- تنش غرقاب                                                             | ۹۵         |
| ۴-۸- تنش سمیت فلزات                                                        | ۹۸         |
| <b>فصل پنجم: فناوری بهبود کیفیت بذر برنج</b>                               | <b>۱۰۱</b> |
| ۵-۱- مقدمه                                                                 | ۱۰۳        |
| ۵-۲- استراتژی بهبود کیفیت بذر                                              | ۱۰۳        |
| ۵-۳- تیمارهای آبنوشی (هیدراتاسیون) بذر                                     | ۱۱۲        |
| ۵-۳-۱- پیش‌خیساندن بذر                                                     | ۱۱۳        |
| ۵-۳-۲- هیدروپرایمینگ                                                       | ۱۱۴        |
| ۵-۳-۳- هاردنینگ                                                            | ۱۱۵        |
| ۵-۳-۴- اُسموپرایمینگ                                                       | ۱۱۶        |
| ۵-۳-۵- اُسموهاردنینگ                                                       | ۱۱۹        |
| ۵-۳-۶- پرایمینگ ماتریکس                                                    | ۱۲۰        |
| ۵-۳-۷- پرایمینگ هورمونی                                                    | ۱۲۰        |
| ۵-۳-۸- هیومیدیفیکاسیون                                                     | ۱۲۴        |
| ۵-۳-۹- بیوپرایمینگ                                                         | ۱۲۴        |
| ۵-۳-۱۰- تیمارهای حرارتی                                                    | ۱۲۵        |
| ۵-۳-۱۱- پوشش‌دار کردن بذر                                                  | ۱۲۶        |
| ۵-۴- عوامل مؤثر بر پرایمینگ بذر                                            | ۱۲۸        |
| ۵-۴-۱- اکسیژن                                                              | ۱۲۹        |
| ۵-۴-۲- دما                                                                 | ۱۳۰        |
| ۵-۴-۳- پتانسیل آب                                                          | ۱۳۰        |
| ۵-۴-۴- کیفیت بذر                                                           | ۱۳۱        |
| ۵-۴-۵- شرایط نگهداری بذر پرایم شده                                         | ۱۳۱        |

۵-۵-ویژگی بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی پرایمینگ بذر ..... ۱۳۲

۵-۵-۱-آزیم‌ها ..... ۱۳۲

۵-۵-۲-متابولیت‌ها ..... ۱۳۴

۵-۶-پرایمینگ بذر و مدیریت خواب ..... ۱۳۶

۵-۷-پرایمینگ بذر و تحمل به تنش‌ها ..... ۱۳۷

۵-۷-۱-تنش خشکی ..... ۱۳۷

۵-۷-۲-تنش شوری ..... ۱۳۹

۵-۷-۳-دمای پایین ..... ۱۴۰

۵-۷-۴-فلزات سنگین ..... ۱۴۱

**فصل ششم: اصول کنترل، گواهی و تولید بذر برنج ..... ۱۴۳**

۶-۱-مقدمه ..... ۱۴۵

۶-۲-طبقات مختلف بذر ..... ۱۴۷

۶-۳-نظام‌های بومی تولید بذر و قوانین و ضوابط مربوطه ..... ۱۴۹

۶-۴-کنترل کیفی بذر ..... ۱۵۰

۶-۵-ثبت ارقام جدید گیاهی ..... ۱۵۳

۶-۶-امتیاز انحصاری و حفاظت از ارقام جدید گیاهی ..... ۱۵۵

۶-۷-حقوق مربوط به ذخایر ژنتیکی ..... ۱۵۵

۶-۸-حمایت از تولید بذر توسط کشاورزان ..... ۱۵۷

۶-۹-مراحل کنترل و گواهی بذر ..... ۱۵۸

۹-۱-۶-درخواست برای تولید بذر مادری و گواهی‌شده برنج ..... ۱۵۸

۹-۲-۶-بازدیدهای مزرعه‌ای ..... ۱۵۹

۹-۳-۶-بازدید خزانه (انتخاب محل، تهیه و بذریابی خزانه) ..... ۱۶۰

۹-۴-۶-بازدید در مرحله نشاکاری ..... ۱۶۱

۹-۵-۶-بازدید در مرحله حداکثر پنجه‌زنی ..... ۱۶۲

۹-۶-۶-بازدید در مرحله آبستنی، خروج خوشه و گلدهی ..... ۱۶۳

۹-۷-۶-بازدید قبل از برداشت ..... ۱۶۳

۹-۸-۶-برداشت ..... ۱۶۷

۹-۹-۶-خرمن‌کوبی ..... ۱۶۷

۹-۱۰-۶-خشک‌کردن ..... ۱۶۷

۹-۱۱-۶-فرآوری بذر ..... ۱۶۸

|     |       |                                             |
|-----|-------|---------------------------------------------|
| ۱۶۹ | ..... | ۱۲-۹-۶- فرآوری بذر                          |
| ۱۶۹ | ..... | ۱۳-۹-۶- درجه‌بندی                           |
| ۱۷۰ | ..... | ۱۴-۹-۶- درجه‌بندی                           |
| ۱۷۰ | ..... | ۱۵-۹-۶- پارت‌چینی، نمونه‌برداری و آزمون بذر |
| ۱۷۱ | ..... | ۱۶-۹-۶- نصب اتیکت و پلمپ کردن کیسه‌ها       |
| ۱۷۱ | ..... | ۱۷-۹-۶- نگهداری بذر در انبار                |
| ۱۷۷ | ..... | <b>فصل هفتم: منابع</b>                      |
| ۱۷۹ | ..... | منابع                                       |

# **فصل اول**

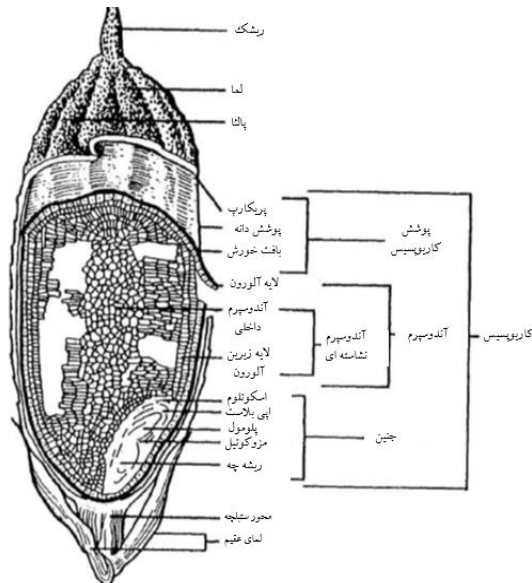
## **ساختار و ترکیبات بذر برنج**



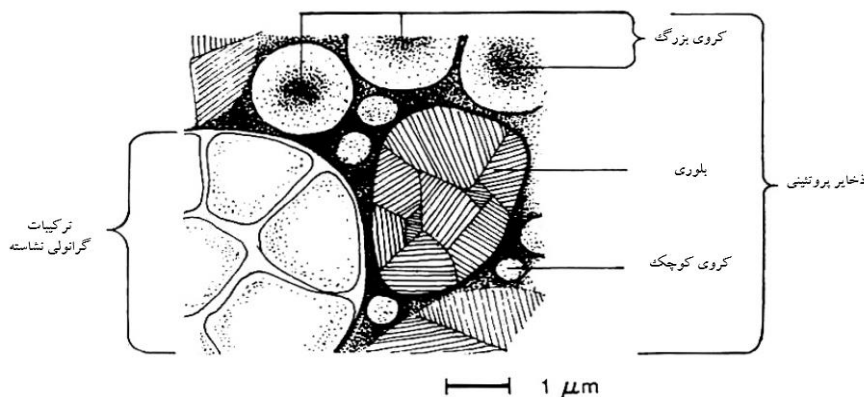
## ۱-۱- ساختار بذر برنج

بذر برنج شلتوک نام دارد که ممکن است با ریشک یا فاقد ریشک باشد. ریشک به صورت زائده سوزنی شکل در قسمت بالا با نوک دانه قرار دارد و نقش فیزیولوژیکی مهمی در شرایط مناسب یا نامناسب محیط برای برنج دارد. بذره‌های برنج از نظر اندازه، شکل، رنگ و طول ریشک با توجه به ارقام برنج با یکدیگر تفاوت دارند. از نظر گیاه‌شناسی شلتوک برنج شامل پوسته<sup>۱</sup> و یک مغز برنج یا کاریوپسیس (برنج قهوه‌ای) است (شکل ۱). پوسته برنج حدود ۲۰ درصد وزن شلتوک را تشکیل می‌دهد به‌طور میانگین حدود ۱۶-۲۸ درصد است (ژئو و همکاران، ۲۰۰۲). پوسته دانه از دو جزء اصلی لما و پالئا تشکیل شده است. قسمتی که رو به محور اصلی گل‌آذین قرار دارد پالئا نامیده می‌شود و نقطه مقابل محور گل‌آذین لما قرار دارد. پالئا بالاتر از لما قرار دارد و منشأ لما محور گل‌آذین است و پالئا از یک دمگل کوتاه منشأ می‌گیرد. لما و پالئا هر دو به شکل قایق بوده و دارای انتهای نوک‌دار هستند. گاهی اوقات نوک لما رشد کرده و به یک ریشک تبدیل می‌شود. لما نسبت به پالئا پهن‌تر است، سطح دانه‌ی برنج قهوه‌ای به‌وسیله لما و بقیه به‌وسیله پالئا پوشیده می‌شود. دو لبه لما، لبه‌های پالئا را از قسمت بیرونی در میان می‌گیرد و از این رو لما و پالئا به راحتی از هم جدا نمی‌شوند. لما و پالئا یک بار در زمان گل‌دهی باز می‌شوند و در پایان مرحله گل‌دهی بسته می‌شوند و هرگز باز نمی‌شوند. لما از پنج برگ و پالئا از سه برگ که هر یک دارای یک دسته آوند هستند، تشکیل شده و ساختمانی شبیه برگ دارند. بر روی محور سنبلچه در زیر لما و پالئا دو زائده قایق مانند نوک‌تیز وجود دارد که به‌عنوان پوشه‌های سنبلچه معروف است. در قسمت پایین محور سنبلچه دو برآمدگی خیلی کوچک وجود دارد که به‌سختی می‌توان با چشم غیرمسلح دید، یکی از آن‌ها در کنار لما و دیگری در کنار پالئا به‌صورت متقابل وجود

دارد که به آن‌ها لمای عقیم می‌گویند. با حذف پوسته خارجی برنج طی پروسه شالیکوبی برنج قهوه‌ای تولید می‌شود. ترکیبات برنج قهوه‌ای شامل لایه بیرونی (پریکارپ) ۱-۲ درصد، لایه آلورون و پوشش دانه و بافت خورش ۴-۶ درصد، آندوسپرم نشاسته‌ای ۸۹-۹۴ درصد و جنین ۲-۳ درصد است (پارک و همکاران، ۲۰۰۱). لایه پریکارپ به دلیل سختی زیاد در مقابل نفوذ دی‌اکسید کربن، بخار آب و اکسیژن نفوذناپذیر است. آندوسپرم برنج اصولاً سخت و شفاف بوده اگرچه ارقام کمی نیز مشاهده می‌شود که به رنگ مات هستند. مات بودن در دانه‌های برنج نیز به واسطه وجود فضاهای خالی در آندوسپرم است. سلول‌های آندوسپرم دارای دیواره ضخیمی می‌باشند. دو لایه خارجی آندوسپرم غنی از پروتئین و چربی و دارای مقداری مقدار کمی آمیلوپلاست می‌باشند و همچنین لایه داخلی آندوسپرم دارای گرانول‌های مرکب نشاسته می‌باشند. گرانول‌های نشاسته چندوجهی هستند و عمدتاً اندازه آن‌ها بین ۳-۹ میکرومتر و دارای توزیع نامتقارن در آندوسپرم می‌باشند (شکل ۲). پروتئین‌های آندوسپرم عمدتاً به صورت کروی و اندازه آن‌ها بین ۰/۵ تا ۴ میکرومتر است، اما پروتئین‌های کریستالی کروی کوچک می‌باشند که در لایه زیر آلورون قرار دارند. برنج‌های بومی حدود صفر تا ۲ درصد آمیلوز می‌باشند و دارای آندوسپرم تیره است زیرا در بین و درون گرانول‌های نشاسته محصور شده‌اند درحالی‌که برنج بدون مومی حاوی آمیلوز و آمیلوپکتین و دارای آندوسپرم شفاف می‌باشند. (آژاکانادام و همکاران، ۲۰۰۰).



شکل ۱- شلتوک برنج (بلکینی، ۱۹۸۴)



شکل ۲- گرانول‌های نشاسته (کافمن و جولیانو، ۱۹۸۷)

لایه آلورون، خارجی‌ترین لایه بافت آندوسپرم است که تعداد لایه‌های این بافت به نوع رقم و شرایط محیطی بستگی دارد و غنی از فسفر، منیزیم و پتاسیم است و در دانه‌های کوتاه ضخیم‌تر از دانه‌های بلند است. سلول‌های لایه آلورون بین یک تا پنج لایه متغیر است. سلول‌های لایه آلورون در قسمت کناری دانه به صورت یک لایه سلول می‌باشند، اما در قسمت شکمی ۱-۲ لایه، در قسمت پشتی ۵-۶ لایه سلول دارند، در قسمت نزدیک به جنین، لایه آلورون وجود ندارد. سلول‌های آلورون کوچک بوده و تقریباً به صورت اتاقک‌های جدا از هم هستند. جنین در قسمت انتهایی دانه قرار دارد که حاوی آنزیم‌های لیپاز، لیپوکسیناز و پراکسیداز است که در هنگام جوانه‌زنی، تشکیل ریشه اولیه را داده و موجب تشکیل ساقه می‌گردد. اندام‌های جنینی از قبیل اسکوتلوم، اپی‌بلاست، ساقه‌چه، مزوکوتیل و ریشه‌چه است. جنین توسط اسکوتلوم محافظت می‌شود. اسکوتلوم مواد ذخیره شده در آندوسپرم را جذب کرده و آن‌ها را برای جوانه‌زدن در اختیار گیاهک قرار می‌دهد.

## ۲-۱- ترکیبات بذر برنج

ترکیب شیمیایی بذرهای برنج با توجه به شرایط محیط، خاک و ارقام به طور گسترده متفاوت است. نشاسته، پروتئین و لیپیدها اصلی‌ترین اجزای دانه برنج می‌باشند. مقادیر نشاسته، لیپید و پروتئین در روش‌های مختلف آنالیز می‌تواند متفاوت باشد که به معنی

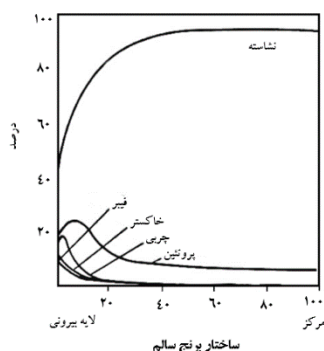
گمراه‌کننده بودن این روش‌ها است. با این وجود، برنج قهوه‌ای به‌طور کلی در بین غلات دارای مقدار پروتئین، فیبر و چربی کم‌تری است (جدول ۱). با این حال، بالاترین میزان بهره‌برداری از پروتئین خالص و انرژی قابل‌هضم در بین غلات در برنج مشاهده می‌شود. نسبت هیدراتهای کربن و مواد نشاسته‌ای در آندوسپرم نسبت به لایه پریکارپ و آلورون بیشتر است و نسبت مواد پروتئینی، چربی‌ها، ویتامین‌ها به‌خصوص مجموعه ویتامین‌های B در لایه پریکارپ و آلورون به‌مراتب بیش‌تر از بخش آندوسپرم است. با انجام عمل آسیاب کردن مقدار قابل‌توجهی از مواد با ارزش غذایی موجود در دانه حذف شده که رابطه مستقیم با میزان صیقل دانه برنج دارد. هر چه ضخامت لایه آلورون دانه برنج کم شود به همان نسبت از میزان ویتامین‌ها و پروتئین دانه برنج نیز کاسته می‌شود. فعالیت آنزیم‌های دیاستاتیک، پروتئولیتیک و لیپولیتیک نیز به‌واسطه‌ی تبدیل کاهش می‌یابند. از سوی دیگر، کربوهیدرات‌های موجود، اساساً نشاسته، در برنج تبدیل‌شده نسبت به در برنج قهوه‌ای بالاتر بودند.

جدول ۱- میانگین ترکیبات و میزان انرژی دانه غلات در هر ۱۰۰ گرم با رطوبت ۱۴ درصد (جولیان، ۱۹۸۵)

| ترکیبات                       | برنج قهوه‌ای | گندم | ذرت  | جو   | ارزن | سورگوم | چاودار | یولاف |
|-------------------------------|--------------|------|------|------|------|--------|--------|-------|
| پروتئین (گرم)                 | ۷/۳          | ۱۰/۶ | ۹/۸  | ۱۱/۰ | ۱۱/۵ | ۸/۳    | ۸/۷    | ۹/۳   |
| چربی خام (گرم)                | ۲/۲          | ۱/۹  | ۴/۹  | ۳/۴  | ۴/۷  | ۳/۹    | ۱/۵    | ۵/۹   |
| کربوهیدرات قابل‌استفاده (گرم) | ۶۴/۳         | ۶۹/۷ | ۶۳/۶ | ۵۵/۸ | ۶۳/۴ | ۵۸/۰   | ۷۱/۸   | ۶۲/۹  |
| فیبر (درصد)                   | ۰/۸          | ۱/۰  | ۲/۰  | ۳/۷  | ۱/۵  | ۴/۱    | ۲/۲    | ۵/۶   |
| خاکستر خام (گرم)              | ۱/۴          | ۱/۴  | ۱/۴  | ۱/۹  | ۱/۵  | ۲/۶    | ۱/۸    | ۲/۳   |
| انرژی قابل‌هضم (کیلوژول)      | ۱۵۵۰         | ۱۳۶۰ | ۱۴۵۰ | ۱۳۲۰ | ۱۴۴۰ | ۱۲۹۰   | ۱۳۳۰   | ۱۱۶۰  |

غلاف و لایه‌نازکی که بر روی بذر برنج قرار گرفته است سبوس<sup>۱</sup> نامیده می‌شود که شامل آلورون ترکیبی و نیز پوسته است. این لایه نازک دارای ارزش غذایی بسیار زیادی است. زمانی که سبوس برنج از بذر آن جدا می‌شود در اصل بخش اصلی ارزش غذایی آن دست می‌رود فقط برنج خوش‌رنگ سفید شده آن باقی می‌ماند که تقریباً هیچ ویتامینی در خود

نخواهد داشت. سبوس برنج دارای انواع ویتامین‌های B است. برنج در اصل دارای دو پوسته سفت و محکم است که پوسته اول آن بعد از برداشت کنده شده و پوسته دوم آن که سبوس اصلی است در مرحله بعدی جدا می‌شود. در بین بخش‌های آسیاب شده بذر برنج، سبوس دارای بیش‌ترین انرژی و پروتئین و پوسته نیز کم‌ترین مقدار آن را دارد (جدول ۲). سبوس برنج از نظر تغذیه‌ای غنی از موادی نظیر پروتئین (۱۴/۹-۱۱/۳ گرم)، چربی (۱۹/۷-۱۵ گرم) و فیبر خام (۷-۱۱/۴ گرم) است. همچنین سبوس منبع غنی از ویتامین‌ها و مواد معدنی نظیر تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین، آلومینیوم، کلر، آهن، منیزیم، فسفر، پتاسیم و روی به حساب می‌آید. علاوه بر آن سبوس منبع غنی از ویتامین‌های E است و حاوی اکثر ویتامین‌های E نظیر توکوفرول‌ها (آلفا، بتا، سیگما و گاما) و توکوترینول (آلفا، بتا و سیگما) است. بیش‌ترین میزان ویتامین E موجود در سبوس برنج مربوط به آلفا توکوفرول است. طی فرآیند آسیاب کردن که منجر به برداشتن پریکارپ، پوشش دانه، تستا، لایه آلورون و جنین شلتوک برای تولید برنج سفید می‌شود سبب از دست دادن بیش‌ازحد لیپید، پروتئین، فیبر و کاهش کل قندها، خاکستر و اجزای جزئی مانند ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه‌ها آزاد و اسیدهای چرب آزاد می‌شود. شیب مواد مغذی مختلف بعد از آسیاب کردن و تبدیل به برنج قهوه‌ای و برنج سفید یکسان نیست (شکل ۳). سبوس برنج یکی از بهترین منابع غذایی سرشار از فیبر است؛ بنابراین بیش‌ترین مقدار فیبر در سبوس و حتی پوسته و کم‌ترین آن نیز در برنج سفید است. کم‌ترین چگالی ظاهری بذر برنج در پوسته و سبوس و همچنین بالاترین مقدار آن نیز در برنج سفید مشاهده شد زیرا برنج سفید دارای مقدار چربی خام است.



شکل ۳- شیب مواد مغذی مختلف بعد از آسیاب کردن (بلکینی، ۱۹۸۴)

جدول ۲- میانگین ترکیبات مغذی اجزای برنج (جولیانو، ۱۹۹۳)

| اجزای برنج   | پروتئین خام (گرم) | چربی خام (گرم) | فیبر خام (گرم) | خاکستر خام (گرم) | کربوهیدرات قابل استفاده (گرم) | فیبر محلول در شوینده خنثی (گرم) | انرژی (کیلوکالری) | چگالی ظاهری (گرم بر متر مکعب) |
|--------------|-------------------|----------------|----------------|------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| شلتوک        | ۵/۸-۷/۷           | ۱/۵-۲/۳        | ۷/۲-۱۰/۴       | ۲/۹-۵/۲          | ۶۴-۷۳                         | ۱۶/۴-۱۹/۲                       | ۳۷۸               | ۰/۵۶-۰/۶۴                     |
| برنج قهوه‌ای | ۷/۱-۸/۳           | ۱/۶-۲/۸        | ۰/۶-۱/۰        | ۱/۰-۱/۵          | ۷۳-۸۷                         | ۲/۹-۳/۹                         | ۳۶۳-۳۸۵           | ۰/۶۸                          |
| برنج سفید    | ۶/۳-۷/۱           | ۰/۳-۰/۵        | ۰/۲-۰/۵        | ۰/۳-۰/۸          | ۷۷-۸۹                         | ۰/۷-۲/۳                         | ۳۴۹-۳۷۳           | ۰/۷۸-۰/۸۵                     |
| سبوس برنج    | ۱۱/۳-۱۴/۹         | ۱۵-۱۹/۷        | ۷-۱۱/۴         | ۶/۶-۹/۹          | ۳۴-۶۲                         | ۲۴-۲۹                           | ۳۹۹-۴۷۶           | ۰/۲۰-۰/۴۰                     |
| پوسته برنج   | ۲-۲/۸             | ۰/۳-۰/۸        | ۳۴/۵-۴۵/۹      | ۱۳/۲-۲۱          | ۲۲-۳۴                         | ۶۶-۷۴                           | ۲۶۵-۳۳۲           | ۰/۱۰-۰/۱۶                     |

ویتامین‌های گروه B مانند توکوفرول در لایه‌های سبوس متمرکز شده‌اند. دانه برنج فاقد ویتامین‌های A، D و C است. برنج به شکل طبیعی حاوی تیامین (ویتامین B<sub>1</sub>)، ریبوفلاوین (ویتامین B<sub>2</sub>) و نیاسین (ویتامین B<sub>3</sub>) است. البته در حین آسیاب، مقداری از این مواد مغذی کاهش می‌یابند که این کاهش در تیامین بیش‌تر از ریبوفلاوین و نیاسین بنابراین درصد کمی از تیامین در برنج سفید وجود دارد (جدول ۳). حدود ۵۰ درصد از کل تیامین در ناحیه اسکوتلوم و ۸۰ تا ۸۵ درصد نیاسین نیز در لایه آلورون قرار دارد. جنین بیش از ۹۵ درصد توکوفرول‌ها (بیش از یک سوم آن آلفا-توکوفرول است) و نزدیک ۳۰ درصد روغن دانه نیز در جنین وجود دارد. محاسبه ویتامین‌ها و مواد معدنی در برنج قهوه‌ای نشان داد حدود ۶۵ درصد تیامین در سبوس، ۱۳ درصد در سبوس داخلی (ذرات بسیار ریزی است که در سفید کردن دانه برنج پس از جدا شدن پوسته خارجی و سبوس برنج به دست می‌آید) و ۲۲ درصد در برنج سفید وجود دارد. مقادیر مربوط به ریبوفلاوین ۳۹ درصد در سبوس، ۸ درصد در سبوس داخلی و ۵۳ درصد در برنج سفید مشاهده می‌شود. توزیع نیاسین در برنج قهوه‌ای نشان داد ۵۴ درصد در سبوس، ۱۳ درصد سبوس داخلی و ۳۳ درصد در برنج سفید بود. مواد معدنی (خاکستر) نیز در لایه‌های بیرونی برنج قهوه‌ای یا در بخش سبوس متمرکز شده‌اند. بخش عمده (۹۰ درصد) فسفر موجود در سبوس فیتین است. توزیع خاکستر در برنج قهوه‌ای ۵۱ درصد در سبوس، ۱۰ درصد در جوانه، ۱۰ درصد در سبوس داخلی و ۲۸ درصد در برنج سفید است. آهن، فسفر و پتاسیم توزیع مشابهی را در برنج قهوه‌ای دارند. با

این حال، برخی از مواد معدنی توزیع نسبتاً یکنواخت‌تری در دانه نشان می‌دهند. برنج سفید ۶۳ درصد سدیم، ۷۴ درصد کلسیم و ۸۳ درصد نیتروژن برنج قهوه‌ای را در خود حفظ می‌کند.

جدول ۳- میانگین ویتامین و عناصر موجود در اجزای برنج (ژئو و همکاران، ۲۰۰۲)

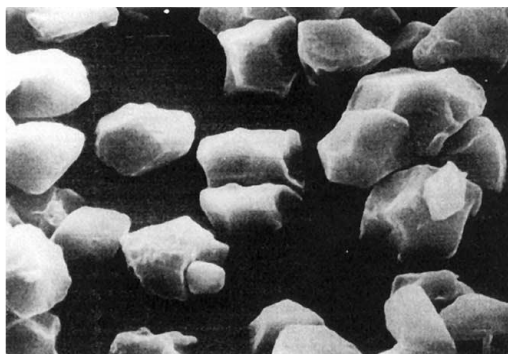
| اجزای برنج | نیاسین (میلی گرم) | ریبوفلاوین (میلی گرم) | تیاسین (میلی گرم) | آلفا | توکوفرول (۱۰۰ گرم) | کلسیم (میلی گرم) | فسفات (گرم) | پنتین (میلی گرم) | آهن (میلی گرم) | روی (میلی گرم) |
|------------|-------------------|-----------------------|-------------------|------|--------------------|------------------|-------------|------------------|----------------|----------------|
| شلتوک      | ۰/۳۳              | ۰/۱۱                  | ۲/۹-۵/۶           | ۰/۹۰ | ۲/۰۰               | ۱۰-۸۰            | ۰/۳۹        | ۰/۲۱             | ۰/۶۰           | ۳/۱            |
| برنج       | ۰/۲۶              | ۰/۰۶                  | ۰/۱۴              | ۰/۹۰ | ۲/۵۰               | ۱۰-۵۰            | ۰/۱۷        | ۰/۱۸             | ۱/۴            | ۱/۷            |
| قهوه‌ای    | ۰/۶۱              | ۰/۱۴                  | ۳/۵-۵/۳           | ۰/۹۰ | ۲/۵۰               | ۱۰-۵۰            | ۰/۴۳        | ۰/۲۷             | ۰/۵۲           | ۲/۸            |
| برنج       | ۰/۲۹              | ۰/۰۴                  | ۰/۱۱              | ۰/۹۰ | ۲/۵۰               | ۱۰-۵۰            | ۰/۱۷        | ۰/۱۳             | ۰/۲            | ۰/۶            |
| برنج       | ۰/۱۱              | ۰/۰۶                  | ۱/۳-۲/۴           | ۰/۳۰ | ۰/۳۰               | ۱۰-۳۰            | ۰/۱۵        | ۰/۰۷             | ۲/۸            | ۲/۳            |
| سفید       | ۰/۰۲              | ۰/۰۲                  | ۰/۰۲              | ۷۵   | ۷۵                 | ۱۰-۳۰            | ۰/۰۸        | ۰/۰۲             | ۰/۲            | ۰/۶            |
| سبوس       | ۲/۴۰              | ۰/۴۳                  | ۴۹/۹              | ۱۳/۳ | ۱۳/۳               | ۱۲۰              | ۱/۱-۲/۵     | ۰/۹-۲/۲          | ۴۳/۳           | ۲۵/۸           |
| برنج       | ۱/۲۰              | ۰/۱۸                  | ۲۶/۷              | ۲/۶۰ | ۲/۶۰               | ۳۰               | ۰/۰۷        | ۰/۰۳             | ۸/۶            | ۴/۳            |
| پوسته      | ۰/۲۱              | ۰/۰۷                  | ۱/۶-۴/۲           | ۰    | ۰                  | ۱۳۰              | ۰/۰۷        | ۰                | ۹/۵            | ۴/۰            |
| برنج       | ۰/۰۹              | ۰/۰۵                  | ۰/۰۵              | ۰    | ۰                  | ۶۰               | ۰/۰۳        | ۰                | ۳/۹            | ۰/۹            |

### ۳-۱- نشاسته

نشاسته<sup>۱</sup> مهم‌ترین ماده تشکیل‌دهنده برنج سفید است که در حدود ۹۰ درصد وزن خشک آن را تشکیل می‌دهد. گرانول‌های نشاسته برنج دانه‌های کوچک تولیدشده توسط گیاهان می‌باشند که به‌طور متوسط اندازه آن‌ها بین ۳-۸ میکرون و شکل هندسی آن‌ها به‌صورت چندوجهی نامنظم می‌باشند (شکل ۴). گرانول‌های نشاسته برنج دارای ضخامت‌های بالای ۱۵۰ میکرونی می‌باشند که به‌صورت زنجیره‌های ۲۰ تا ۶۰ تایی می‌باشند که فضای مرکزی آندوسپرم درون سلول‌ها را پر کرده است. با این حال در برنج‌های چسبناک آندوسپرم‌ها به‌صورت تیره و کدر مشاهده می‌شوند که علت آن به دلیل وجود هوا در فضاها و خالی بین گرانول‌های نشاسته است. نشاسته در برنج به‌صورت مرکب

1 Starch

بوده یعنی هر گرانول بزرگ خود از تعدادی گرانول کوچک‌تر تشکیل شده است. نشاسته‌ی برنج پلیمر حاصل از گلوکز است که از دو مولکول آمیلوز و آمیلوپکتین تشکیل شده است که تأثیری بر ارزش غذایی برنج ندارد اما نقش بسزایی بر کیفیت پخت برنج دارد. آمیلوز و آمیلوپکتین ذاتاً مولکول‌های ناسازگاری می‌باشند، آمیلوز دارای وزن مولکولی کم و با شکلی تقریباً طویل است در حالی که آمیلوپکتین بزرگ اما مولکولی متراکم است. آمیلوپکتین حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد از ترکیب نشاسته را تشکیل می‌دهد، در حالی که آمیلوز حدود ۲۰ درصد دیگر را شامل می‌شود. اگر مقدار آمیلوز در برنج بیشتر باشد قابلیت به هم چسبیدگی در هنگام پخت کمتر است و اگر مقدار آمیلوپکتین در برنج بیشتر باشد، قابلیت به هم چسبیدگی بیشتر خواهد بود.



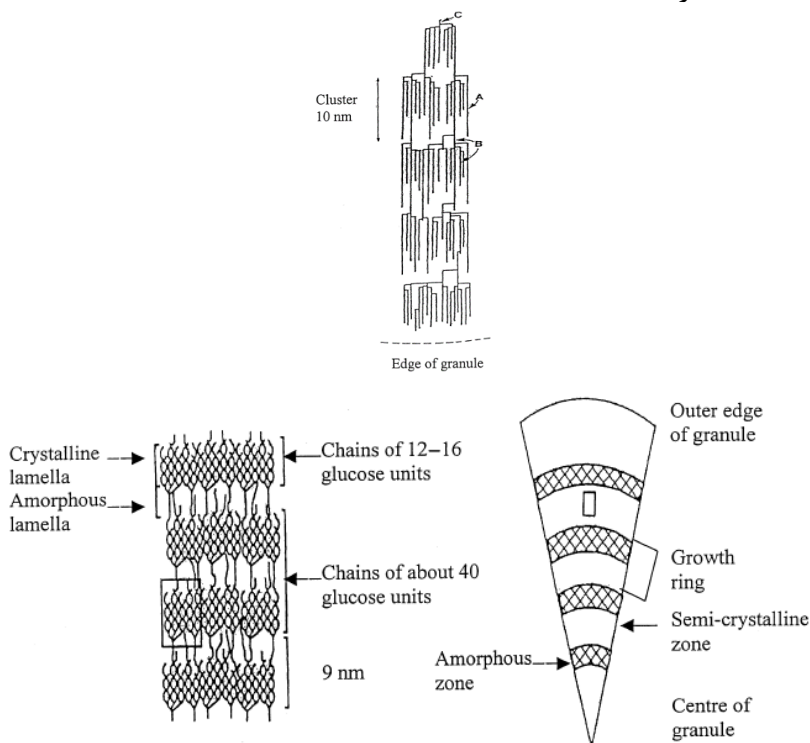
شکل ۴- شکل هندسی نشاسته (سیواک و پریس، ۱۹۹۸)

آمیلوز یک زنجیره مستقیم و خطی از ۳۰۰-۴۰۰ مولکول گلوکز تشکیل شده است که توسط پیوندهای (۱-۴)  $\alpha$  به هم وصل شده‌اند در محل گلوکزهای متعددی با پیوندهای (۱-۶)  $\alpha$  منشعب شده است. امروز تکنیک‌های جدید نشان داده‌اند آمیلوز برنج به‌طور میانگین دارای دو تا چهار زنجیره است و ترکیبی از انشعابات گلوکزی و زنجیره خطی گلوکزی با درجه پلیمریزاسیون ( $DP_n$ ) به ترتیب ۱۷۰۰-۱۱۰۰ و ۹۰۰-۷۰۰ معرفی کرده‌اند که بخش منشعب برنج ۲۵ تا ۵۰ درصد و زنجیره خطی نیز ۳۰ تا ۶۰ درصد وزن آمیلوز را تشکیل داده‌اند. زنجیره‌ی خطی آمیلوز یک پیچ‌خوردگی نرمال را نمایش می‌دهد که ارائه‌دهنده‌ی یک مارپیچ با شش واحد آنهیدروگلوکز در هر دور است (موریسون، ۱۹۹۵). گروه‌های هیدروکسیل باقیمانده‌های گلوکز بر روی سطح خارجی مارپیچ واقع شده‌اند در حالی که

محفظه‌ی داخلی یک لوله‌ی آب‌گریز است؛ بنابراین، عوامل کمپلکس‌کننده‌ی آب‌گریز می‌توانند در میان مارپیچ آمیلوز تثبیت‌شده به‌واسطه‌ی اتصالات واندروالس با C-هیدروژن‌های مجاور آمیلوز واقع شوند (گودت و همکاران، ۱۹۹۳). توانایی شکل‌گیری ترکیبات دارنده‌ی انواع مواد باعث نیروی جاذبه‌ی ید می‌شوند که حدود ۲۰ درصد حجم آمیلوز برنج هستند. این مقدار در مقایسه با پیوستگی ید آمیلوپکتین برنج بالا است که ۰/۹-۰/۴ درصد در برنج آمیلوز-کم و آمیلوز-متوسط و اما ۲-۳ درصد در برنج آمیلوز-بالا است. تشکیل ترکیب آمیلوز-لیپید (که معمولاً تحت عنوان نشاسته-لیپید اشاره می‌شود) مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است که وجود آن در نشاسته‌ی سالم با استفاده از فن رزونانس مغناطیسی هسته‌ای جامد-حالت توسط موریسون و همکاران (۱۹۹۳) اثبات شد. تفاوت‌هایی بین توانایی کمپلکس‌شدن آمیلوز و آمیلوپکتین در ماتریکس دانه‌ای در مقابل مولکول‌های یکسان در محلول رخ می‌دهند؛ اما آمیلوپکتین دارای انشعابات گلوکزی است و احتمالاً دارای بیش از ۱۰۰۰ واحد گلوکزی است که این خاصیت باعث می‌شود با دریافت رطوبت غلظت آمیلوپکتین بیشتر از آمیلوز شود و باعث ژلاتینی شدن برنج می‌شود. انشعاب‌های جانبی در مولکول‌های بزرگ آمیلوپکتین، دارای نظم خاصی هستند، به همین دلیل این پلیمر فوق سنگین قادر است به شکل خوشه‌هایی در دل دانه‌های نشاسته قرار بگیرد. در طول هر زنجیره آمیلوپکتین حدود ۱۹ تا ۲۲ واحد گلوکز است. درجه پلیمریزاسیون ( $DP_n$ ) برای هر واحد مولکول ۲۲۰ تا ۷۰۰ است که با توجه به طول هر زنجیره آمیلوپکتین درجه پلیمریزاسیون تشکیل‌شده برای هر زنجیره بین ۵۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ ( $DP_n$ ) است. مارپیچ مضاعف، یکی از خصوصیات جالب توجه آمیلوپکتین است که علی‌رغم وزن مولکولی بالای آن، این ماکرو مولکول می‌تواند در بخش نیمه کریستال دانه جای بگیرد. طول زنجیره به‌طور بالایی با مقادیر  $DP_n$  همبستگی منفی دارد ( $r = -0.91$ )،  $DP_n$  بالاتر، طول زنجیره‌ی کوتاه‌تر (لو و همکاران، ۱۹۹۷). انواع زنجیره‌ها در آمیلوپکتین به‌واسطه‌ی عبارات A، B و C توصیف شده‌اند (شکل ۵).

آمیلوز و آمیلوپکتین در یک ساختار خوشه‌ای متمرکز شده‌اند که در آن ساختار خوشه‌ای، گرانول‌ها از مولکول‌های نشاسته‌ی واقع در حلقه‌های هم‌مرکز ساخته می‌شوند (شکل ۵). مولکول‌هایی که دارای یک لایه هستند به سبک محوری همراه با چندین بخش

در مناطق بلورین که به طور بالایی منظم هستند ذخیره می شوند. این کریستالیت های نظم یافته به طور محوری، به واسطه ی مناطق آمورف کمتر سازمان یافته پیوند می یابند. پیوند هیدروژنی در هر دو منطقه دارای نیروی قابل توجهی است. پروتئین های خطی آمیلوپکتین، مناطق کریستالین را تشکیل می دهند، چون نقاط شاخه دار و آمیلوز، اجزای اصلی قسمت آمورف هستند (بلانشارد، ۱۹۸۷).



شکل ۵- ساختار خوشه ای، گرانول ها از مولکول های نشاسته (اسمیت و همکاران، ۱۹۹۷)

تغییرات عمده در ترکیب نشاسته برنج به دلیل سهم نسبی هر یک از بخش های آمیلوز و آمیلوپکتین در گرانول های نشاسته ایجاد می شود که انتشار زنجیرهای متفاوت از نظر اندازه در هر بخش به همراه فاصله نقاط هر یک از شاخه ها در مولکول آمیلوپکتین تأثیر بسیار زیادی بر خواص فیزیکوشیمیایی نشاسته دارد (شکل ۶). محتوای آمیلوز در بین ارقام مختلف برنج بین کم تر از ۲-۰ درصد در برنج چسبناک (برنج سفید) تا مقادیر بالای ۲۵ درصد در برنج غیر چسبناک متفاوت است. ویژگی های پخت، قوام، چسبندگی، توانایی جذب

آب، انبساط حجم پس از پخت و حتی درجه سفیدی برنج تحت تأثیر محتوای آمیلوز است. به عنوان مثال ارقام چسبناک فقط تولید آمیلوپکتین می کنند درحالی که این نشاسته ها غیر ژله ای هستند زیرا فاقد آمیلوز می باشند. محتوای آمیلوز و زنجیرهای آمیلوپکتین در خواص چسبندگی نشاسته تأثیرگذاری بسیار بالایی دارند. نشاسته های برنج که طول زنجیرهای کوتاه تری شاخه های آمیلوپکتین را دارند معمولاً دما ژلاتینی شدن آن ها کاهش می یابد.

#### ۴-۱- استخراج اجزای نشاسته

نشاسته ی برنج می تواند به واسطه ی استخراج سنتی قلیایی پروتئین (کیم و همکاران، ۱۹۷۸) یا تکنولوژی های جدید شامل هضم پروتئاز پروتئین جداسازی بشود (لومدوبونگ و سیب، ۲۰۰۰). از طرف دیگر، آمیلوز و آمیلوپکتین می توانند بر اساس ترکیب بندی افتراقی تجزیه و تفکیک شوند. آمیلوز به دلیل ساختار ماریپیچی اش با بوتان ۱-آل ترکیب می شود و سپس از محلول ته نشین می شود. تیوسیانات پتاسیم به صورت پراکنده قبل از رسوب آمیلوز به صورت ترکیب بوتان ۱-آل توسط کورنل و همکاران (۱۹۹۹) استفاده شد. تاکدا و همکاران (۱۹۸۶)، ایزوآمیل الکل آبی و بوتان ۱-آل را در ابتدای ته نشینی برای تجزیه و تفکیک طبیعی برنج استفاده کردند. میزوکومی و همکاران (۱۹۹۹) بخش های نشاسته ای محلول گرم-آب شش رقم برنج را به بخش های بوتان ۱-آل و شناور بر روی سطح، به ترتیب با عملکردهای ۲/۴-۰/۳ درصد و ۴/۱-۳/۱ درصد به واسطه ی حجم نشاسته، زیر تقسیم بندی کردند. مقدار ساختارهای کسرهای نشاسته ی محلول گرم-آب همراه با ارقام تغییر کرد اما هنگامی که بخش شناور بر روی سطح عموماً مرکب از مولکول های آمیلوپکتین کوچک دربردارنده ی مولکول های آمیلوز خیلی کوچک بود، رسوب شیمیایی بوتان ۱-آل دارای مولکول های کوچک آمیلوز بود.

چندین روش برای تعیین محتوای آمیلوز نشاسته گزارش شده اند که این روش ها به دو دسته تنزل کرده اند. روش های مرسوم، مستلزم سنجش عیارسنجی (باتس و همکاران، ۱۹۷۴)، سنجش آمپرومتریک (لارسون و همکاران، ۱۹۵۳)، یا رنگ سنجی کمپلکس اتصال-ید نشاسته ی حل شده هستند (مک کریدی و هاسید، ۱۹۴۳)، اما این روش ها زمان گیر و مستعد خطای تصادفی هستند. با این حال، این روش ها به طور وسیعی استفاده شده اند و در این بین سنجش رنگ سنجی بسیار مناسب باقی مانده است. نتایج در نوعی از روش ها شامل

اتصال یدی و مقدار آبی بیان می‌شوند (لو و همکاران، ۱۹۹۷). حلالیت نشاسته یکی از شرط‌های لازم در چنین روش‌هایی است. بیشتر تکنیک‌ها، پتاسیم هیدروکسید (۵/۰ مولار) را برای تجزیه‌ی نشاسته به کار می‌گیرند، اما محلول شدیداً قلیایی می‌تواند سبب تجزیه‌ی اجزای نشاسته شود و مخلوط‌ها قبل از اینکه سنجشید انجام شود نیاز به خنثی‌سازی دارند. نشاسته‌ی محلول باید قبل از سنجش ترکیب آبی معمولاً در ۶۲۰ نانومتر تیمار می‌شود و همچنین استانداردهای آمیلوز-آمیلوپکتین معرفی می‌شوند (سینگ و همکاران، ۲۰۰۰). نحوه قرار گیری زنجیره‌ها بدین صورت است که نواحی با شاخه‌های بلند و نواحی بدون شاخه یکی در میان قرار می‌گیرند. زنجیره‌های خطی می‌توانند آرایش ماریچ دوگانه موازی ایجاد کنند این نوع آرایش پاسخی به طبیعت کریستالی دانه‌های نشاسته است که بسته‌بندی واحدهای گلوکوز را باعث می‌شود. دو نوع ساختار کریستالی در آمیلوپکتین دیده می‌شود: نوع A و نوع B که تفاوت این دو در جهت چرخش زنجیره‌های کوتاه آمیلوپکتین است. زنجیره‌های B طویل مولکول‌های آمیلوپکتین نیز باید برای ارائه‌ی رنگ آبی واکنش نشان دادند (جدول ۲). تداخلات بیشتر از لیپیدهای مرکب ناشی می‌شوند و مقادیر تعیین‌شده در این روش، آمیلوز آشکار و محتویات معادل آمیلوز آشکار نامیده می‌شوند (رامش و همکاران، ۱۹۹۹). روش‌های مرسوم آنالیز و تعیین خصوصیات به‌واسطه‌ی انتقال نزدیک-مادون قرمز (ویلارل و همکاران، ۱۹۹۴) و طیف‌سنجی انعکاس در ۲۴۹۸-۱۱۰۰ نانومتر (دلویچ و همکاران، ۱۹۹۵)، گرماسنجی روبشی تفاضلی<sup>۱</sup> (DSC) (سایورت و هولم، ۱۹۹۳) و روش‌های کروماتوگرافی با یا بدون تیمار ابتدایی آنزیمی تکمیل شدند. آنزیم‌های استفاده‌شده برای هیدرولیز آمیلوپکتین شامل ایزوآمیلاز، پولولاناز، آلفا آمیلاز و بتا آمیلاز هستند که ویژگی‌های متفاوتی را نشان می‌دهند (ویلارل، ۱۹۹۹). آنزیم‌های غیرشاخه‌دار، ایزوآمیلاز و پولولاناز، به‌طور ویژه‌ی اتصالات بین زنجیره‌ی آلفا (۶-۱) دی-گلوکوسیداز را هیدرولیز می‌کنند اما هیچ‌گونه عملی را بر روی اتصالات عمده‌ی آلفا (۴-۱) دی-گلوکوسیداز انجام نمی‌دهند.

## ۵-۱- پروتئین

رایج‌ترین روش برای اندازه‌گیری کل نیتروژن موجود در برنج و به تبع آن محاسبه پروتئین خام، روش کجلدال است که برای اولین بار در سال ۱۸۸۳ توسط دانشمند دانمارکی به نام کجلدال ارائه گردید و تاکنون از این روش برای تعیین میزان نیتروژن استفاده می‌شود. در روش کجلدال، اندازه‌گیری نیتروژن کل به سه مرحله کلی هضم، تقطیر و تیتراسیون تقسیم‌بندی می‌گردد. به منظور برآورد درصد نیتروژن، ابتدا نمونه مورد نظر را توسط اسید سولفوریک هضم نموده و نیتروژن موجود به صورت سولفات آمونیوم تبدیل می‌گردد. سپس نیتروژن موجود در سولفات آمونیوم را به صورت آمونیاک آزاد و توسط اسیدبوریک به بورات آمونیوم تبدیل نموده و با استفاده از اسیدسولفوریک ۰/۱ نرمال آن را تیترو می‌نماییم و آنگاه با محاسبه اسید مصرفی مقدار نیتروژن به دست می‌آید. سپس میزان پروتئین دانه برنج با استفاده از رابطه (درصد نیتروژن دانه  $\times$  فاکتور پروتئین) محاسبه می‌شود. بر اساس مقدار نیتروژن برنج سفید که حدود ۱۶/۸ درصد است، فاکتور پروتئین ۵/۹۵ در نظر گرفته می‌شود. بر اساس ارزیابی‌های انجام‌شده به‌طور میانگین مقدار پروتئین برنج قهوه‌ای از ۶/۶ تا ۷/۳ درصد، برنج سفید از ۶/۲ تا ۶/۹ درصد و برنج باسماتی نیز از ۸/۲ تا ۸/۴ درصد گزارش شده است. محتوای پروتئین (و چربی) با افزایش درجه آسیاب به صورت خطی کاهش می‌یابد، زیرا این ترکیبات به‌طور عمده در لایه‌های بیرونی دانه وجود دارد. البته منابع مختلف فاکتور پروتئین را ۵/۱ تا ۵/۵ (موزه، ۱۹۹۰)، ۵/۲۴ تا ۵/۶۶ (هیگستید و جولیانو، ۱۹۷۴) و ۵/۶۱ (سوسلسکی و آمافیدون، ۱۹۹۰) نیز تعیین کرده‌اند.

پروتئین آندوسپرم (برنج سفید) در برنج باسماتی را می‌توان به چهار گروه اصلی تقسیم‌بندی کرد (کاواکاتسو و همکاران، ۲۰۱۰):

۱- آلومین‌ها: این گروه در اسیددیده خنثی یا اندکی اسیدی در آب حل‌شده و با حرارت نیز منعقد می‌شوند، آنزیم‌ها و سفیده تخم‌مرغ نیز عمدتاً از آلومین‌ها هستند. آلومین‌ها ۹/۷-۱۴/۲ درصد پروتئین را شامل می‌شوند.

۲- گلوبولین‌ها: این پروتئین‌ها در نمک حل می‌شوند و توسط حرارت به آسانی منعقد نمی‌شوند. دانه بقولات معمولاً غنی از گلوبولین می‌باشند. گلوبولین‌ها حدود ۱۳/۵-۱۸/۹ درصد پروتئین برنج سفید را تشکیل می‌دهند.

- ۳- گلوتلین: این گروه از پروتئین‌ها در آب حل نشده اما در محلول بازهای قوی حل می‌شوند. گلوتلین‌ها حدود ۶۳/۸-۷۴/۳ درصد پروتئین برنج سفید را تشکیل می‌دهند.
- ۴- پرولامین‌ها: در الکل ۷۰ تا ۹۰ درصد قابل حل هستند. دانه‌های غلات مانند گندم، جو، یولاف، ذرت، برنج و سورگوم غنی از پرولامین‌ها است و به‌عنوان نیتروژن خوبی برای رشد گیاهچه است. پرولامین‌ها حدود ۳-۵/۴ درصد پروتئین برنج سفید را تشکیل می‌دهند. در برنج سه گروه پرولامین بر اساس وزن مولکولی آن‌ها شناخته شده است که عبارتند از: پروتئین‌هایی با وزن مولکولی ۱۰، ۱۳ و ۱۶ کیلو دالتون. خانواده‌های پرولامین اصلی در برنج به نام‌های ۳۷۲۲ دارای ۲۰ عضو و خانواده ۳۱۳۹ با هفت عضو می‌باشند.
- همچنین در برنج قهوه‌ای مشاهده شده است که آلبومین+گلوبولین حدود ۲۰/۸-۱۸/۸ درصد پروتئین، پرولامین حدود ۱۴/۵-۱۲/۵ درصد و گلوتلین نیز در حدود ۶۷/۷-۶۶ درصد پروتئین را شامل می‌شود (آسانو و همکاران، ۲۰۰۰). طی پژوهشی ۳۳ نمونه بذر برنج برای اندازه‌گیری مقدار پروتئین مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد حدود ۹ درصد پرولامین، ۷ درصد آلبومین بعلاوه گلوبولین و ۸۴ درصد گلوتلین بود (هابنر و همکاران، ۱۹۹۰). متوسط مقدار پرولامین در هفت برنج سفید در IRRI حدود ۶/۵ درصد از پروتئین کل بود (ایری، ۱۹۹۱). مقدار لیزین پروتئین برنج ۳/۵ تا ۴ درصد است که یکی از بالاترین مقادیر در بین پروتئین‌های غلات است. آنالیز پروفیل اسیدهای آمینه برنج نشان می‌دهد که پرولامین کمترین مقدار لیزین را دارد. بالاترین مقدار لیزین در آلبومین یافت می‌شود و به دنبال آن گلوتلین و گلوبولین. پروتئین‌های سبوس برنج از نظر آلبومین نسبت به پروتئین‌های آندوسپرم غنی‌تر می‌باشند و به‌عنوان پروتئین مستقل در لایه آلورون یافت می‌شوند. پروتئین آندوسپرم دارای ساختارهای مختلف بذر برنج متفاوت است. تاناکا و همکاران (۱۹۷۳) گزارش کردند مقدار پروتئین لایه آلورون شامل ۶۶ درصد آلبومین، ۷ درصد گلوبولین و ۲۷ درصد پرولامین به همراه گلوتلین می‌باشند. اوگاوا و همکاران (۱۹۷۷) نیز گزارش کرد ۹۸ درصد پروتئین جنین بذر برنج آلبومین می‌باشند.
- پروتئین‌ها عمدتاً در لایه‌های زیرین آلورون و تا حدودی در سلول‌های آلورون وجود دارند (آژاکاناندام و همکاران، ۲۰۰۰). ذخایر پروتئین سیتوپلاسم دارای پروتئین‌های کریستالی یا بلوری (PB-II) می‌باشند که غنی از گلوتلین و پروتئین‌های کروی بزرگ و کوچک (PB-I) با

اندازه ۴-۵/۰ میکرومتر نیز دارای مقادیر بسیار بالای پرولامین می‌باشد (شکل ۲). اوگاو و همکاران (۱۹۸۷) تخمین زدند که پروتئین ذخیره‌ای آندوسپرم دارای ۶۰ تا ۶۵ درصد پروتئین بلوری و ۲۰ تا ۲۵ درصد پروتئین کروی است و ۱۰ تا ۱۵ درصد نیز آل‌بومین و گلوبولین در سیتوپلاسم می‌باشند.

جدول (۴) مقادیر مربوط به آمینو اسیدهای ضروری زیر واحدهای گلوتلین و پرولامین را نشان می‌دهد. اسید آمینه لیزین در بخش ۱۳ کیلو دالتون زیر واحد پرولامین که تا ۵/۵ درصد است در سایر پلی‌پپتیدها دارای مقادیر کم است؛ همچنین این بخش از نظر متیونین+سیستئین ضعیف است. همچنین گلوتلین از نظر اسیدهای آمینه به جزء بخش ۱۶ کیلو دالتون زیر واحد پرولامین در سایر بخش‌ها نسبت به این زیر واحد برتری دارد. مقدار اسید آمینه متیونین+سیستئین در بخش ۱۰ کیلو دالتون در زیر واحد پرولامین ۲۲/۵ درصد است.

جدول ۴- مقدار آمینو اسیدهای ضروری زیر واحدهای گلوتلین و پرولامین (جولیانو، ۱۹۹۳)

| زیر واحد پرولامین |                |                | زیر واحد گلوتلین        |                          | آمینو اسید          |
|-------------------|----------------|----------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| ۱۶ کیلو دالتون    | ۱۰ کیلو دالتون | ۱۳ کیلو دالتون | ۱۹-۲۵ کیلو دالتون (باز) | ۳۰-۳۹ کیلو دالتون (اسید) |                     |
| ۴/۲               | ۱/۷            | ۲-۲/۴          | ۲/۶-۲/۷                 | ۲/۲-۲/۵                  | هیستیدین            |
| ۳/۶               | ۱/۶            | ۳/۸-۵/۴        | ۴/۱-۴/۹                 | ۳-۲-۳/۳                  | ایزولوسین           |
| ۸/۱               | ۴/۷            | ۱۷/۹-۲۶/۴      | ۷-۸/۵                   | ۶/۴-۷/۵                  | لوسین               |
| ۳/۳               | ۱              | ۰/۴-۵/۵        | ۳-۴/۱                   | ۲/۲-۳                    | لیزین               |
| ۵/۳               | ۲۲/۵           | ۰/۷-۱/۲        | ۰/۱-۲/۴                 | ۰/۲-۱/۹                  | متیونین+سیستئین     |
| ۷/۶               | ۳/۴            | ۱۲/۷-۲۱/۶      | ۱۰/۱-۱۰/۸               | ۱۰-۱۰/۵                  | فنیل آلانین+تیروزین |
| ۲/۷               | ۶/۸            | ۱/۸-۲/۸        | ۲/۵-۳/۷                 | ۲/۸-۳/۷                  | ترئونین             |
| ۳/۹               | ۴/۴            | ۲/۷-۳/۹        | ۵/۷-۷                   | ۵/۱-۵/۷                  | والین               |

## ۶-۱-لیپید

لیپیدها<sup>۱</sup> مانند پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک یکی از مهم‌ترین گروه‌های مولکول‌های زیستی<sup>۲</sup> به شمار می‌آیند. این مولکول‌های آلی، نامحلول در آب و محلول در حلال‌های غیر

1 Lipid

2 Biomolecules

قطبی هستند و در ترشحات و بخش‌های مختلف سلولی یافت می‌شوند. ساختار این مولکول‌ها اغلب غیر قطبی بوده و نواحی کمی از ساختمان آن‌ها دارای بخش‌های قطبی است. اگرچه اصطلاح لیپید اغلب به‌عنوان مترادف چربی<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما در واقع، چربی‌ها زیر گروهی از لیپیدها به نام تری‌گلیسیریدها<sup>۲</sup> را در بر می‌گیرند. برخلاف سایر گروه‌های مولکولی، لیپیدهای غلات ساختار گسترده و متنوعی را شامل می‌شوند که از میان این ساختارها می‌توان به لیپید خنثی، فسفولیپیدها (اجزای غشای سلولی) و مشتقات لیپیدی پیچیده‌تر مانند گلیکولیپیدها (ساختارهای قند-لیپید) اشاره کرد. تفاوت چندانی بین نسبت این تقسیم‌بندی لیپیدها در بین برنج‌های ژاپنیکا و اندیکا وجود ندارد، اما توزیع آن‌ها در داخل دانه یکنواخت نبوده و لیپیدهای آندوسپرم حاوی نسبت بالاتری از لیپیدهای قطبی بودند. محتوای چربی یا روغن برنج در بخش سبوس متمرکز شده‌اند و ۲۰ درصد وزن سبوس را شامل می‌شوند. لیپیدها به‌صورت اجسام کروی شکل یا قطرات چربی به قطر کم‌تر از ۱/۵ میکرومتر در لایه آلورون و کوچک‌تر از ۰/۷ میکرومتر در جنین دانه برنج حضور دارند. علاوه بر این، رنگ دیواره سلولی آندوسپرم به دلیل وجود رنگ لیپیدهاست. بیش‌تر لیپیدهای آندوسپرم (درون دانه) به اجسام پروتئینی متصل بوده ولی دانه‌های نشاسته نیز با آن‌ها دارای پیوندند. برنج قهوه‌ای حدوداً ۲/۹ درصد روغن خام دارد که ۵۱ درصد این مقدار در جنین، ۳۲ درصد در پوسته و سبوس و ۱۷ درصد نیز در آندوسپرم قرار دارند. نتایج بررسی محتوای چربی شش نوع برنج قهوه‌ای و سفید نشان داد که درصد روغن آن‌ها به‌ترتیب ۳/۲-۲/۱ و ۰/۹۵-۰/۶۱ درصد است (سینگ و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین اطلاعات به‌دست آمده نشان داد درصد چربی در برنج‌های وحشی آسیاب شده چینی و آمریکای شمالی بین ۱/۲-۰/۹۴ درصد است (ژی و همکاران، ۲۰۰۱). با این حال با توجه شرایط رشد و نوع رقم به‌طور متوسط مقدار چربی برای برنج قهوه‌ای ۱ تا ۴ درصد و برای برنج سفید نیز ۲-۰/۲ درصد است. لیپیدهای داخل آندوسپرم به‌صورت غیریکنواخت توزیع شده‌اند که بیش‌ترین مقدار در لایه‌های بیرونی قرار دارند که هر چقدر به سمت مرکز دانه نزدیک‌تر شویم مقدار لیپید کاهش می‌یابد. اجسام پروتئینی به‌ویژه هسته، سرشار از لیپیدها است.

1 Fat

2 Triglycerides

بر اساس توزیع سلولی و تجمع آن، لیپیدهای برنج به‌طور کلی به‌عنوان لیپیدهای نشاسته‌ای طبقه‌بندی شده‌اند که همراه با گرانول‌های نشاسته (جولیانو، ۱۹۸۰) و لیپیدهای غیرنشاسته‌ای هستند که در سرتاسر بذر توزیع شده‌اند (چودوری و جولیانو، ۱۹۸۰) که عمدتاً در سبوس متمرکز هستند. لیپیدهای نشاسته معمولاً ۱/۵-۰/۵ درصد از برنج قهوه‌ای را تشکیل می‌دهند و معمولاً در مقادیر زیادتری نسبت به لیپیدهای غیرنشاسته‌ای وجود دارند، با این حال این یافته‌ها جامع نیست و بین واریته‌های مومی و غیر مومی، تفاوت‌هایی وجود دارد (چودوری و جولیانو، ۱۹۸۰).

لیپیدهای غیرنشاسته‌ای به‌صورت مواد استخراج‌شده از بذر خشک با حلال‌هایی مانند دی‌اتیل‌اتر، پترئولوم اتر، متانول-کلروفرم (۷/۷، ۲:۱) و بوتان ۱-آل اشباع از آب<sup>۱</sup> (WSB) در ۲۰-۳۰ درجه‌ی سلسیوس به‌طور آزمایشی شناسایی شده‌اند (موریسون، ۱۹۷۸). برای مثال، لیپیدهای همراه با اجسام پروتئینی در برنج تبدیل‌شده‌ی خام، به مقدار ۸۴ درصد با متانول-کلروفرم (۷/۷، ۲:۱) در ۲۵ درجه‌ی سلسیوس بعد از ۸ ساعت استخراج شدند. یازده درصد لیپید بیشتر، با WSB سرد (۵ دقیقه) استخراج شد (چودوری و جولیانو، ۱۹۸۰). اسیدهای چرب عمده‌ی لیپیدهای غیرنشاسته‌ای، لینولئیک، اولئیک و پالمیتیک اسیدها بودند (هماواتی، ۱۹۹۹). در طی پخت، اتلاف قابل توجه لیپیدهای غیرنشاسته‌ای رخ می‌دهد (بگوم و بهاتاچاریا، ۲۰۰۰). محتوای قابل‌استخراج دی‌اتیل‌اتر هفت واریته برنج از ۱/۶۳ تا ۲/۷۴ درصد در برنج خام و ۰/۳۸-۰/۱۷ درصد در برنج پخته‌شده طبقه‌بندی شدند. باوجود اینکه، داده‌های محتوای چربی سبوس به‌طور غیرمعمول بالا است، الگو همچنان مشهود است.

لیپیدهای نشاسته به‌وسیله‌ی حلال‌های قطبی‌تر در دماهای افزایش‌یافته استخراج شدند. انتخاب حلال برای استخراج مؤثر لیپیدهای نشاسته، خیلی مهم بود و هم آب و هم گرما برای گرانول نشاسته‌ای محلی لازم و ضروری بود تا به الکل اجازه دهند بتوانند نفوذ کند و به استخراج لیپیدها کمک کند (موریسون، ۱۹۸۸). استخراج با WSB سرد، کم‌کارآمد و بسیار کندتر از استخراج با پروپانول-آب بود و اتانول آبی ریفلاکس‌کننده (درصد حجمی، ۵:۹۵) مانند WSB سرد در استخراج لیپیدها از نشاسته‌ی برنج، به‌تنهایی مؤثر بود (جولیانو، ۱۹۸۵). مؤثرترین حلال‌ها برای استخراج لیپیدهای نشاسته شامل متانول آبدار در دما

ریفلاکس، بوتان ۱-آل: آب (درصد حجمی، ۶۵:۳۵) در ۷۰ درجه‌ی سلسیوس و WSB در ۹۰-۱۰۰ درجه‌ی سلسیوس است (موریسون، ۱۹۸۸).

لیپیدهای نشاسته اساساً لیپیدهای مونوآسیل (اسیدهای چرب و فسفولیپیدها) ترکیب شده با آمیلوز بودند. اسیدهای چرب آزاد غالب محدود در نشاسته‌ی برنج، اسیدهای پالمیتیک (C16: 0) و لینولئیک (C18: 2) بودند (جدول ۵) (کیتاهارا و همکاران، ۱۹۹۷). مقادیر اسیدهای چرب آزاد محدود و فسفولیپید محدود در نشاسته‌ی برنج، حدواسط بین مقدار آن‌ها در ذرت و گندم بودند. مجموع ۵ اسید چرب آزاد فراوان‌تر، همان‌طور که توسط کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا<sup>۱</sup> (HPLC) تعیین گردید، ۹۲ درصد از کل اسیدهای چرب آزاد اندازه‌گیری شده به‌طور رنگ‌سنجی را در برداشت. به دنبال هیدرولیز توسط گلوکوامیلاز، لیپیدهای موجود باقیمانده در نشاسته‌های پس‌مانده، شامل اسیدهای چرب آزاد و فسفولیپیدها بودند (شکل ۵) که در طی ابتدای مرحله‌ی هیدرولیز کاهش یافتند. در طی مراحل بعدتر، اسیدهای چرب آزاد به‌تدریج به کاهش یافتن ادامه دادند، در عین اینکه به نظر می‌رسید که فسفولیپیدها کاملاً از گرانول‌های دسته‌ی هیدرولیز شده انتشار یافته بودند (کیتاهارا و همکاران، ۱۹۹۷). در همان زمان، مقدار آبی و لاند (ماکزیمم) نشاسته‌ها به‌واسطه‌ی هیدرولیز جزئی گرانول‌های نشاسته افزایش یافته شدند. توزیع طولی زنجیره‌ی نشاسته‌ی غیر شاخه‌دار، افزایش در مقدار نسبی آمیلوز را به دنبال هیدرولیز نشان داد و وسعت افزایش در نشاسته‌ی محلی نسبت به نشاسته‌ی چربی زوده شده، بزرگ‌تر بود. در نتیجه، این افزایش به لیپیدهای محدود در گرانول‌های نشاسته نسبت داده شد.

عملکرد لیپیدهای مونوآسیل معمولاً به تشکیل کمپلکس خوشه‌ای مارپیچی بین آمیلوز و زنجیره‌ی هیدروکربن لیپیدها نسبت داده می‌شود (واسانتهان و هاوور، ۱۹۹۲). دو اندوترم عموماً در ترموگرام‌های DSC<sup>۲</sup> نشاسته مشاهده شده‌اند و اندوترم با دمای بالاتر به ذوب این کمپلکس آمیلوز-لیپید نسبت داده می‌شود. برگشت‌پذیری شکل کمپلکس و ذوب، به‌واسطه‌ی ترموگرام‌های Re-run نمایش داده شد و ملاحظه گردید که اندوترم با دمای پایین‌تر (همراه با ذوب کریستالیت‌های نشاسته و ژلاتینه شدن)، برگشت‌ناپذیر بود (کوگیمیا و همکاران، ۱۹۸۰). دماهای آغاز ذوب (T<sub>0</sub>) ترکیب‌ها از ۹۳ تا ۹۶ درجه‌ی سلسیوس در

1 High Performance Liquid Chromatography

2 Differential Scanning Calorimetry

نشاسته‌ی برنج با ۲۷/۹ درصد آمیلوز تنظیم گردید (چاین و همکاران، ۱۹۹۹). غلظت اشباع لیگاند در حال ترکیب و آنتالپی گذار، به‌طور قابل‌توجهی بین لیگاندهای قطبی پایین و بالا متغیر بود؛ بنابراین، غلظت‌های اشباع اسید لوریک و الکل لوریل از ۲ تا ۴ درصد (درصد وزنی) تنظیم گردید و آنتالپی‌های ذوب مربوطه تقریباً ۳ ژول بر گرم بود. در مقابل، غلظت‌های اشباع متیل لورات و دودکان ۲-۱ درصد (درصد وزنی) همراه با آنتالپی تقریباً ۱/۹ ژول بر گرم بود. این‌گونه نتیجه‌گیری شد که قابلیت انحلال، اثر قابل‌توجهی بر روی وسعت تشکیلات مجتمع داشت. یامادا همکاران (۱۹۹۸) همچنین دریافتند که در نشاسته‌ی ذرت، اسیدهای چرب اشباع ترجیحاً با آمیلوز مانند اتصال مضاعف در اسیدهای چرب غیراشباع تشکیلات تجمعی غیرآزاد ترکیب شدند. آرد برنج گرم‌دیده در حضور میریستیک، پالمیتیک و استئاریک اسید، افزایش در تشکیل کمپلکس آمیلوز-لیپید را نشان داد (کائور و سینگ، ۲۰۰۰).

وجود کمپلکس‌های نشاسته-لیپید، چندین پیامد دارد. برای مثال، کمپلکس‌های تأثیرگذار بر روی تشکیل نشاسته‌ی مقاوم (کیتاهازا و همکاران، ۱۹۹۶؛ کیتاهازا و همکاران، ۱۹۹۷) و عملکردهای نشاسته‌ی مقاوم (مانگالا و همکاران، ۱۹۹۹) به‌طور قابل‌توجهی به‌واسطه‌ی حذف لیپیدها از نشاسته‌ی برنج افزایش یافتند. ترکیب‌های با زنجیره‌ی طویل یا مونوگلیسیریدهای اشباع‌شده نسبت به ترکیب‌های با زنجیره‌های کوتاه‌تر یا مونوگلیسیریدهای غیراشباع‌تر، عموماً در شرایط *in vitro* در مقابل هضم، مقاوم‌تر بودند (گورایا و همکاران، ۱۹۹۷). این مقاومت به افزایش در پایداری کمپلکس‌ها با درجه‌ی اشباع اسید چرب و طول زنجیره نسبت داده شد. تشکیلات تجمعی آمیلوز-لیپید، همچنین بر روی رفتار خمیری شدن تأثیر می‌گذارند؛ بنابراین، افزایش اسیدهای چرب، قابلیت انحلال در آب را در برنج خمیری شونده‌ی پخته‌شده به مدت ۹۰-۳۰ دقیقه، کاهش داد (کائور و سینگ، ۲۰۰۰)؛ اما دما خمیری شدن، ویسکوزیته‌ی اوج، ویسکوزیته در ۹۵ درجه‌ی سلسیوس، ویسکوزیته‌ی خمیر برنج در ۵۰ درجه‌ی سلسیوس و ضریب پایداری تعیین‌شده با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد را کاهش داد.

اسیدهای چرب آندوسپرم شامل اسیدهای لینولئیک، اولئیک و پالمیتیک می‌باشند. اسید چرب‌های ضروری در روغن برنج حدود ۲۹ تا ۴۲ درصد لینولئیک اسید و ۰/۸ تا ۱ درصد

لینولنیک اسید هستند. محتوای اسیدهای چرب با افزایش دما در طول دوره رشد دانه افزایش می‌یابند، اما این با کاهش مقدار روغن کل همراه است. لیپیدهای نشاسته عمدتاً لیپیدهای مونو آسیل (اسیدهای چرب و لیزوفسفاتیدها) هستند که با آمیلوز ترکیب شده‌اند. کم‌ترین مقدار لیپیدهای نشاسته برنج برای گرانول‌های نشاسته مومی (۰/۲ درصد) است و بیش‌ترین مقدار هم مربوط به گروه‌های آمیلوزی متوسط (۰/۱ درصد) و ممکن است کمی پایین‌تر نیز برای گروه‌های آمیلوزی بالا باشد. برنج‌های سفیدی مومی دارای لیپیدهای غیر نشاسته‌ای نسبت به برنج‌های غیر مومی می‌باشند. با این حال، لیپیدهای نشاسته کمی به میزان انرژی دانه برنج کمک می‌کنند. عمده اسیدهای چرب نشاسته شامل اسیدهای پالمیتیک و لینولئیک است که دارای مقادیر کمی نیز اولئیک اسید است.

## **فصل دوم**

### **اجزای زایشی، توسعه و رشد برنج**



## ۲-۱-اندام‌های زایشی

اعضاء گل جوانه‌های تغییر شکل یافته می‌باشند. جوانه انتهایی به‌طور مشخص تولید گل‌آذین یا پانیکول را می‌نماید. خوشچه یک واحد گل‌آذین محسوب می‌شود. خوشچه‌ها روی انشعابات پانیکول قرار دارند. هر خوشچه شامل دو لمای عقیم، محور خوشچه و گل است. گل نیز شامل پوشینه، پوشینک و غنچه گل است. غنچه گل خود شامل پرچم و یک مادگی با دو برچه فنجانی شکل است.

### ۲-۱-۱-خوشه (پانیکول)

پانیکول بالاترین میانگرمه که به‌اشتباه به آن پایه گل‌آذین می‌گویند به وجود می‌آید. وضعیت خروج پانیکول بر اساس رشد و گسترش پانیکول و بخشی از میانگرمه بالایی نسبت به غلاف برگ پرچم پیدا می‌کنند، مشخص می‌شود. واریته‌های مختلف از لحاظ درجه خروج پانیکول با هم متفاوت می‌باشند. گره نسبتاً توپر میا بین بالاترین میانگرمه ساقه و محور خوشه، پایه خوشه نام دارد. این گره معمولاً برگ یا جوانه تولید نمی‌کند ولی ممکن است انشعابات اول تا چهارم پانیکول از آن منشاء بگیرند. پایه خوشه غالباً به‌صورت یک حلقه کرک‌داری مشخص است و از این حلقه به‌عنوان مرزی برای اندازه‌گیری طول ساقه و طول خوشه استفاده می‌شود. ناحیه حوالی پایه خوشه، گردن نامیده می‌شود. محور پانیکول، محور اصلی گل‌آذین است و از پایه پانیکول تا نوک آن امتداد یافته است. این عضو به‌صورت پیوسته و توخالی است مگر در نقاطی که گره‌ها قرار داشته یا انشعابات پانیکول از آن جدا می‌شوند.

نقاط متورمی روی محور پانیکول جائیکه انشعابات پانیکول برنج به آن فرمی مانند خوشه انگور می‌دهد، دیده می‌شوند. از هر گره محور اصلی انشعابات اولیه تولید می‌شوند و از هر یک از این انشعابات به‌نوبه خود انشعابات ثانویه به‌وجود می‌آید. از انشعابات ثانویه پایه

خوشچه‌ها ایجاد می‌گردد. انشعابات اولیه ممکن است به صورت واحد یا جفت آرایش یافته باشند. وارسته‌های مختلف دارای تفاوت‌های مشخصی از لحاظ طول، شکل، زاویه، انشعابات اولیه و همچنین وزن و تراکم خوشچه‌ها روی پانیکول می‌باشند. دانشمندان علم گیاه‌شناسی، در روی هر سنبلک به طور معمول سه گل وجود دارد که فقط یکی از آن‌ها بارور شده و دو تای دیگر عقیم می‌مانند و فقط گل بالایی باقی می‌ماند که رنگ آن‌ها اکثراً زرد است. از این رو نوک فنجان‌ی شکل دمگل به منزله‌ی یک جفت گلوم حقیقی که اصطلاحاً به گلوم‌های اولیه مرسوم‌اند، به حساب می‌آیند.

گل‌آذین در برنج به صورت پانیکول بوده و فرق آن با گل‌آذین پانیکول در این است که در پانیکول هر سنبلک دارای دم باریک و بلندی است و به همین دلیل به آن خوشه سنبل هم گفته می‌شود. پانیکول در ارقام مختلف برنج به شکلی فشرده، باز و یا نیمه‌باز است. البته از نقطه نظر اصلاح‌گران نباتات در تولید هیبرید و وارسته‌هایی که گل آن‌ها بیش‌تر باز باشد بهترند زیرا مقدار دگرگشی و در نتیجه تولید بذر آن‌ها بیشتر است. پانیکول برنج در انتهای ساقه وجود داشته و دارای شاخه‌های فرعی با محورهای ثانوی است. خوشچه‌ها روی دو گل کوتاه به وجود می‌آیند که نوک آن روی گلوم‌های نازا (لمای عقیم) توسعه یافته است و به چندوجهی کنگره‌دار تبدیل می‌شوند. بنابراین نوک فنجان‌ی شکل و متورم مشابه یک زوج گلوم حقیقی است و به آن گلوم حقیقی گفته می‌شود. هر خوشچه دارای محور کوچکی بنام محور پانیکول است که روی آن یک گل در محور برگ‌گ ثانویه که گلوم‌های نازا نام دارد تشکیل می‌شود. گل‌دهی در برنج از نوک گل‌آذین شروع شده و به سمت پایین ادامه می‌یابد. در موقع ظهور خوشه نیاز ریشه به مواد غذایی به‌ویژه ازت، فسفر و پتاس زیاد است.

## ۲-۱-۲- خوشچه

هر خوشچه دارای یک محور کوچک است که بر روی آن یک گل ساده یا دمگل ایجاد می‌شود. یک جفت برگچه‌های پایینی محور خوشچه همیشه عقیم هستند و به گلوم‌های نازا، خالی و یا لمای عقیم معروف است. برگچه‌های بالایی یا گلوم‌های گل‌دهنده، شامل لما و پالنا می‌باشند که لما از محور فرعی و پالنا از دمگل کوچک منشاء می‌گیرند، مجموعه لما و پالنا و اجزاء گل داخل آن، گلچه را تشکیل می‌دهند.

لمای عقیم عموماً کوتاه‌تر از پوشینک‌ها (لما و پالئا) هستند و اندازه آن به‌ندرت از طول پوشینک‌ها تجاوز می‌کند. اندازه لمای عقیم ممکن است با هم برابر یا نابرابر باشد. در پوشینک‌ها همواره لما، بزرگ‌تر و سخت‌تر است و دارای پنج رشته برگ تغییر شکل‌یافته طولی یا ناوه است که ناوه میانی ممکن است کرک‌دار یا بدون کرک باشد؛ پالئا کوچک‌تر و نرم‌تر بوده و از سه ناوه تشکیل شده است. انتهای لما و پالئا توسعه پیدا کرده و نوک تیز شده‌اند که به آن اپیکول می‌گویند. اپیکول‌ها می‌توانند بر روی لما و پالئا به وجود آیند. اپیکول‌ها می‌توانند به‌صورت اپیکول پوشینه و یا اپیکول پوشینک از هم متمایز شوند. ریشک، برگ تغییر شکل‌یافته سوزنی شکل است که از تکامل لما ایجاد می‌شود. سطح لما و پالئا می‌تواند کرک‌دار یا بدون کرک باشد و در هنگام ریزش یا خرمن‌کوبی خوشچه از محل دمگل (جایگاه اتصال لمای عقیم پایینی و گلوم‌های توسعه‌نیافته) جدا می‌شوند.

### ۳-۱-۲- گل

گل برنج دارای کلاله دو شاخه پردار و شش پرچم بوده که پرچم‌ها بر روی دو حلقه متناوب قرار گرفته‌اند و یک مادگی که حاوی یک تخمدان تک برچه، خامه و کلاله هستند، لودیکول دو زائده کوچک، برگ‌مانند و گوشتی هستند که در پایه گل قرار گرفته‌اند. شهدگاه دو زائده کوچک برگ‌مانند و گوشتی هستند که در پایه گل قرار گرفته‌اند. شهدگاه همان پوشش گل کوچک شده می‌باشند (کاسه و جام گل) در زمان باز شدن گل، گل می‌شود. بعد از دانه‌های گرده برنج در داخل پرچم‌های استوانه‌ای شکل برنج به تعداد ۵۰۰-۱۰۰۰ عدد قرار دارند. طول دانه‌های گرده در نوع ژاپنی معمولاً در بعضی مواقع کوتاه‌تر از انواع برنج هندی است. در زمان باز شدن گل متورم شده و به پوشینه و پوشینک فشار وارد می‌آورد و موجب باز شدن گل و قرار گرفتن پرچم‌ها بر رأس گل می‌شود. باز شدن بساک‌ها می‌تواند هم‌زمان با باز شدن پوشینه‌ها و یا بلافاصله قبل یا بعد از آن باشد. بعد از ریخته‌شدن دانه‌های گرده، لما و پالئا بسته می‌شوند. اول گل‌های بالای خوشه باز می‌شوند. در خوشه‌های بزرگ گل‌های ردیف پائین که باز می‌شوند معمولاً به‌طور کامل پر نمی‌شوند. خوشه در برنج به صورت‌های باز-نیمه‌باز و فشرده وجود دارد و برنج نیز یکی از گیاهان خودگشن می‌باشد.

#### ۴-۱-۲- بذر

بذر گیاه برنج از لحاظ گیاه‌شناسی، میوه‌ای (برنج قهوه‌ای) آن است که توسط پوسته‌ای پوشیده شده است، به عبارتی دیگر دانه تخمک رسیده شده همراه با پوسته خارجی، پوسته داخلی، میان ساقه، پوسته خارجی نابارور و ریشک که به‌سختی به آن چسبیده است، است. شکل و رنگ بذر برنج در ارقام مختلف متفاوت است و در حالت طبیعی آسیاب نشده دارای رنگ‌های بسیار متفاوتی از جمله قهوه‌ای، قرمز، بنفش و حتی سیاه است. شلتوک برنج همچنین باعث امنیت در برابر بسیاری از حشرات شده و مانعی برای کاهش تغییرات سریع در محتوای رطوبت دانه است.

#### ۲-۲- فیزیولوژی رشد برنج

برنج غذای اصلی میلیون‌ها نفر در سراسر جهان است. مناطق مصرف‌کننده عمده‌ی برنج در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری آسیا است. در سطح جهانی، برنج یا به‌صورت محصول زراعی آپلند (غیر غرقابی) و/یا محصول زراعی Lowland (غرقابی) کشت می‌شود. باوجود اینکه برنج غرقابی حدود ۵۷ درصد از زمین‌های تحت کشت برنج را پوشش می‌دهد، اما این نوع کشت تقریباً ۷۶ درصد از تولید جهانی برنج را شامل می‌شود (پاپادیمیترو، ۲۰۰۰).

چرخه‌ی رشدی برنج را می‌توان به سه مرحله‌ی رشدی متمایز تقسیم‌بندی کرد که به‌صورت ذیل است (شکل ۵؛ فاجریا و همکاران، ۲۰۰۶):

(الف) جوانه‌زنی و استقرار پایه

(ب) مرحله‌ی رویشی

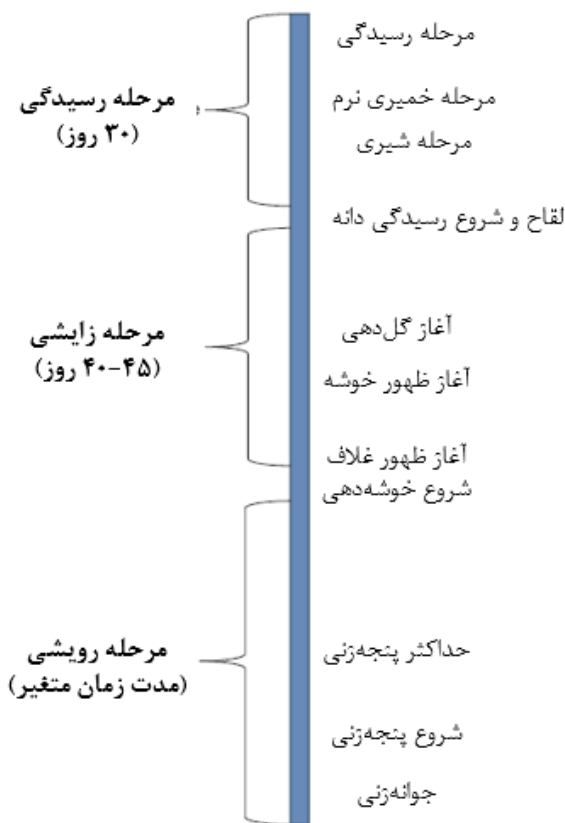
(ج) مرحله‌ی زایشی و پر شدن دانه/ رسیدگی دانه

گیاه برنج بعد از دوره‌ی خاص زمانی از یک فاز به فاز دیگر وارد می‌شود (جدول ۱ و ۲). پنجه‌زنی، رشد ریشه، رشد ساقه و توسعه‌ی برگ از جمله وقایع اصلی فاز رشد رویشی هستند. بوتینگ<sup>۱</sup> (آغاز ظهور غلاف)، هدینگ<sup>۲</sup> (ظهور خوشه)، گلدهی و توسعه‌ی خوشه (اندازه‌ی خوشه و سنبله‌چ در هر خوشه) وقایع اصلی رشد زایشی هستند. در طی مرحله‌ی

1 Booting

2 Heading

پر شدن دانه/سنبلچه، وزن دانه/وزن سنبلچه معین می‌شود (فاجریا و همکاران، ۲۰۰۶). در این فصل، فیزیولوژی مراحل متفاوت رشدی، تشکیل آثرانسیم و توسعه‌ی روزنه‌ای گیاه برنج مورد بحث قرار می‌گیرد. علاوه بر این‌ها، تأثیر خشکی و شوری بر روی رشد، توسعه و شکل‌گیری عملکرد و مکانیسم‌های متفاوت نیز شرح داده می‌شوند.



شکل ۵- مراحل رشد برنج

## ۲-۳- رشد و توسعه‌ی برنج

### ۲-۳-۱- جوانه‌زنی و استقرار پایه

جوانه‌زنی برنج یکی از مراحل حیاتی در چرخه‌ی زندگی برنج است که از جذب آب به‌وسیله‌ی بذره‌ای خشک شروع می‌شود و با خروج ریشه‌چه به پایان می‌رسد (بولی، ۱۹۹۷). ساختمان ذخیره‌ای بذر برنج دارای آندوسپرم است که غنی از نشاسته می‌باشد. آندوسپرم

به وسیله‌ی جنین و لایه‌ی آلورون احاطه شده است. سلول‌های اسکوتلوم جزئی از لایه‌ی آلورون هستند که در بین آندوسپرم ذخیره‌ای و جنین قرار می‌گیرد. آندوسپرم و جنین، نقش متمایزی را در جوانه‌زنی بذر برنج دارند. بیشتر اطلاعات ژنتیکی در میان جنین رمزگذاری شده است. جوانه‌زنی بذر در سه فاز در برنج اتفاق می‌افتد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۷). در اولین فاز، جذب سریع آب رخ می‌دهد که به واسطه‌ی آن سنتز *mRNA* آغاز می‌شود (هاول و همکاران، ۲۰۰۹). به محض جذب آب در فاز اول، جنین، انواع متفاوتی از فیتوهورمون‌ها (اساساً اسید جیبرلیک) را تولید می‌کند که بعد از انتشار از طریق لایه‌ی آلورون، آبشاری از سیگنالینگ را آغاز می‌کند و به سمت سنتز آنزیم‌های هیدرولیتیک هدایت می‌شود (مهم‌ترین آن‌ها آلفا آمیلاز است). این آنزیم‌ها در آندوسپرم ترشح می‌شوند که باعث هیدرولیز ذخایر غذایی برای رشد و توسعه‌ی بیشتر گیاهچه‌های برنج می‌شوند (بیتکه و همکاران، ۱۹۹۷؛ جاکوبسن و همکاران، ۱۹۹۵). فاز دوم برای فعال‌سازی مجدد متابولیسم، برانگیختن ذخایر، اصلاح ساختار سلول، نرم کردن و ضعیف کردن دیواره‌ی سلولی و طولی شدن کلئوپتیل، حیاتی است. در طی فاز سوم جذب سریع آب باعث القاء تنفس هوازی می‌شود، تقسیم سلولی آغاز می‌شود و این فرآیندها باعث خروج ریشه‌چه می‌شود که در نهایت استقرار گیاهچه آغاز می‌شود (یانگ و همکاران، ۲۰۰۷). به دنبال این مراحل، ظهور ساقه‌چه از کلئوپتیل اتفاق می‌افتد. متعاقب آن، اولین برگ کامل ظاهر می‌شود. گیاهچه به‌طور مداوم توسعه می‌یابد که به ترتیب زیر است (کوینس و همکاران، ۲۰۰۰):

(۱) آغاز برگ (۲) طولی شدن برگ (۳) بلوغ پهنک برگ (۴) شکل‌گیری یقه (۵) طولی شدن غلاف برگ (۶) تشکیل گره (۷) طولی شدن میانگره (طولی شدن میانگره برای پنچ میانگره انتهایی ساقه‌ی اصلی رخ می‌دهد).

فاکتورهای خارجی و داخلی گوناگونی از قبیل نور، آب، دما، سطح فیتوهورمون‌ها و ریتم شبانه‌روزی، جوانه‌زنی بذر برنج را تنظیم می‌کنند (پنفیلد و همکاران، ۲۰۰۵؛ هولدسورت و همکاران، ۲۰۰۸). در میان این عوامل، وضعیت آب مهم‌ترین فاکتور است؛ که کمبود آن ممکن است بر جوانه‌زنی بذر تأثیر بگذارد (هاندردمارک و همکاران، ۲۰۱۱). بذر برنج همچنین می‌تواند هم از طریق طولی شدن سریع کلئوپتیل تحت شرایط بی‌هوازی جوانه

بزند (مینگوس و همکاران، ۱۹۹۱؛ پراتا و همکاران، ۱۹۹۷) و زمانی که شرایط به سمت هوازی تغییر می‌کند ریشه به طویل شدن ادامه می‌دهد. این فرآیندها نشان می‌دهد که وجود اکسیژن، فاکتور دیگری برای کنترل جوانه‌زنی صحیح بذر برنج است (هاول و همکاران، ۲۰۰۹). دما نیز تأثیری قوی بر روی جوانه‌زنی بذر برنج دارد. جذب آب در بذره‌ای برنج در دمایی مناسب در حضور اکسیژن رخ می‌دهد (یوشیدا، ۱۹۸۱). دماهای کاردینال یعنی کمینه، بهینه و بیشینه برای جوانه‌زنی بذر برنج به ترتیب ۶، ۳۷ و ۴۱ درجه‌ی سلسیوس است. درحالی‌که دماهای کمینه، بهینه و بیشینه برای توسعه‌ی گیاهچه به ترتیب ۸، ۳۷ و ۴۴ درجه‌ی سلسیوس هستند (آلوسیلیجا و ریتچیک، ۱۹۹۱).

جدول ۱- میانگین طول دوره رشد مراحل مختلف رشدی برنج در ارقام اصلاح شده (نحوی و اله‌قلی‌پور، ۱۳۹۳؛ علی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۴)

| مرحله رشدی         | روز بعد از کاشت | خصوصیات                                              |
|--------------------|-----------------|------------------------------------------------------|
| جوانه‌زنی          | ۵               | ظهور کلئوپتیل و ریشه‌چه                              |
| شروع پنجه‌زنی      | ۲۵-۲۰           | ظهور اولین پنجه بر روی ساقه اصلی                     |
| حداکثر پنجه‌زنی    | ۴۵-۴۰           | توسعه حداکثر سرعت پنجه‌زنی در زمان رشد گیاه برنج     |
| ظهور خوشه          | ۶۰-۵۰           | شروع ظهور خوشه                                       |
| ظهور غلاف          | ۸۵-۸۰           | توسعه کامل خوشه در غلاف برگ                          |
| گل‌دهی             | ۹۵-۸۵           | توسعه گل‌دهی و شروع ظهور خوشه                        |
| رسیدگی فیزیولوژیکی | ۱۳۰-۱۱۰         | رسیدن دانه‌ها بر روی خوشه‌ها و آماده شدن برای برداشت |

جدول ۲- طبقه‌بندی مراحل جوانه‌زنی، رویشی و زایشی برنج (کونس و همکاران، ۲۰۰۰، ۲۰۰۳)

| مرحله جوانه‌زنی          | کد | مرحله رویشی                         | کد  | مرحله زایشی                                                     | کد |
|--------------------------|----|-------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------|----|
| آبگیری بذر خشک           | S0 | شکل‌گیری اولین برگ در ساقه اصلی     | V1  | آغاز ظهور خوشه                                                  | R0 |
| ظهور کلئوپتیل            | S1 | شکل‌گیری دومین برگ در ساقه اصلی     | V2  | تشکیل شاخه‌های فرعی خوشه                                        | R1 |
| ظهور ریشه‌چه             | S2 | شکل‌گیری سومین برگ در ساقه اصلی     | V3  | تشکیل برگ پرچم                                                  | R2 |
| ظهور ساقه‌چه از کلئوپتیل | S3 | شکل‌گیری چهارمین برگ در ساقه اصلی   | V4  | خروج خوشه از غلاف و تشکیل خوشه روی برگ پرچم                     | R3 |
|                          |    | شکل‌گیری پنجمین برگ در ساقه اصلی    | V5  | ظهور یک یا چند گل بر روی خوشه و گرده‌افشانی                     | R4 |
|                          |    | شکل‌گیری ششمین برگ در ساقه اصلی     | V6  | حداقل یک دانه بر روی خوشه ساقه اصلی دارای پوسته زرد است         | R5 |
|                          |    | شکل‌گیری هفتمین برگ در ساقه اصلی    | V7  | حداقل یک دانه بر روی خوشه ساقه اصلی دارای پوسته قهوه‌ای است     | R6 |
|                          |    | شکل‌گیری هشتمین برگ در ساقه اصلی    | V8  | همه دانه‌های بر روی خوشه ساقه اصلی دارای پوسته قهوه‌ای می‌باشند | R7 |
|                          |    | شکل‌گیری نهمین برگ در ساقه اصلی     | V9  |                                                                 |    |
|                          |    | شکل‌گیری دهمین برگ در ساقه اصلی     | V10 |                                                                 |    |
|                          |    | شکل‌گیری یازدهمین برگ در ساقه اصلی  | V11 |                                                                 |    |
|                          |    | شکل‌گیری دوازدهمین برگ در ساقه اصلی | V12 |                                                                 |    |
|                          |    | شکل‌گیری سیزدهمین برگ در ساقه اصلی  | V13 |                                                                 |    |

## ۲-۳-۲- مرحله‌ی رویشی

### ۲-۳-۲-۱- پنجه‌زنی و رشد ساقه/ریشه

آغاز رشد پنجه در برنج زمانی که گیاهچه‌های برنج در مراحل ۳-۴ برگ‌ی هستند شروع می‌شود. پنجه‌ها انشعابات ثانویه‌ای هستند که بر روی شاخه‌ی اصلی ظاهر می‌شوند. تشکیل پنجه‌ها در سرتاسر یک دوره‌ی ۲-۳ هفته کامل می‌شود. در گیاه برنج، در زمانی که مقادیر نیتروژن گیاه در حضور انرژی نورانی کافی بیش از ۳/۵ درصد است، پنجه‌زنی بدون هیچ‌گونه محدودیتی پیشروی می‌کند (موراتا و ماتسوشیما، ۱۹۷۵). چنانچه غلظت فسفر به زیر ۰/۲۵ درصد در ساقه‌های برنج برسد ممکن است پنجه‌زنی را محدود کند (کوینس و همکاران، ۲۰۰۳). برای خروج پنجه، دمای بهینه‌ی آب در طول روز ۳۱ درجه‌ی سلسیوس است درحالی‌که این دما در هنگام شب ۱۶ درجه‌ی سلسیوس است. دمای آب بالاتر از ۳۱ درجه‌ی سلسیوس بر ظهور پنجه اثر می‌گذارد. پنجه‌زنی تا زمانی ادامه می‌یابد که نور به پایه‌ی گیاه برنج می‌رسد (کوینس و همکاران، ۲۰۰۳).

برخی پنجه‌ها ممکن است در طی چرخه‌ی رشد برنج از بین بروند و مقدار مازاد مواد مغذی در پنجه‌های در حال مرگ ممکن است به پنجه‌های سالم دیگر منتقل شود (موراتا و ماتسوشیما، ۱۹۷۵). لی و همکاران (۲۰۰۳) ژن *MONOCULM1* را جداسازی کرده و شناسایی کردند که این ژن، پنجه‌زنی را در برنج کنترل می‌کند. این ژن *MOC1* پروتئین هسته‌ای شناخته‌شده‌ی خانواده‌ی *GRAS* را به رمز درمی‌آورد، در نتیجه‌ی آن تشکیل جوانه‌های جانبی آغاز می‌شود و به رشد خارجی آن‌ها کمک می‌کند.

هورمون‌های گوناگونی در پنجه‌زنی درگیر هستند، برای مثال، سیتوکینین‌ها، اکسین‌ها و استریگولاکتون‌ها که نقشی کلیدی را بازی می‌کند (کبروم و ریچاردز، ۲۰۱۳). اکسین‌ها، رشد خارجی جوانه‌های جانبی را سرکوب می‌کنند. این اکسین‌ها در سطوح در حال توسعه‌ی جوان تولید می‌شوند و به‌طور فعال و اساساً از طریق شاخه منتقل می‌شوند (آگستی و گرب، ۲۰۱۳) که این انتقال، به‌عنوان انتقال قطبی اکسین نامیده می‌شود (PAT). زازیمالوا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که PAT بر خانواده‌های پروتئینی *PIN-FORMED (PIN)* تکیه دارد و جریان اکسینی متصل‌شونده به *ATP (ABCB)* را حمل می‌کند. اکسین‌ها از طریق پرموردیای در حال توسعه در جهت جریان به‌سوی شاخه‌ی اصلی حرکت می‌کنند.

پروتئین‌های *PIN1* که در سلول‌های پارانشیمی آوند چوبی موجود هستند، مکمل اکسین را در جهات جریان به‌سوی شاخه‌ی اصلی نگهداری می‌کنند، اما نقشی کلیدی را در *PAT* بازی می‌کنند (پتراسک و فریمِل، ۲۰۰۹). کاهش بیان *OsPIN1b* (سابقاً شناخته‌شده تحت عنوان *PEH1*) پنجه‌زنی را در برنج تقویت می‌کند (جدول ۳؛ چو و همکاران، ۲۰۰۵؛ چن و همکاران، ۲۰۱۳). کاهش بیان *OsPIN2* پنجه‌زنی را تقویت می‌کند اما ارتفاع گیاه را کاهش می‌دهد (چن و همکاران، ۲۰۱۲). برخی اعضای خانواده‌ی *miR393* و *miRNA* همچنین به‌واسطه‌ی تنظیم بیان گیرنده‌های اکسین بر پنجه‌زنی در برنج تأثیر می‌گذارند. گیاهانی که *OsmiR393* را بیش‌ازحد بیان می‌کنند بیان کمتر هر دو گیرنده‌ی اکسین (*OstIR1* و *OsAFB2*) را نمایش می‌دهند، به‌طور پی‌درپی بیان *OsAUX1* (انتقال‌دهنده‌ی اکسین) را سرکوب می‌کنند (ژیا و همکاران، ۲۰۱۲). این نتایج در سرکوب واکنش عادی *OsTB1* (سرکوبگر پنجه‌زنی) به دست آمده‌اند، در نتیجه در گیاهانی که *OsmiR393* را بیش‌ازحد بیان می‌کنند پنجه‌زنی بهبود یافته را شرح می‌دهد. ژانگ و همکاران (۲۰۰۹) مسیر وابسته به اکسین دیگری را گزارش کردند که در بردارنده‌ی سنتز ایندول-۳-استیک اسید (یعنی *TLD1*) است که برای تبدیل شکل فعال اکسین به شکل غیرفعال با آمینواسیدها درهم‌آمیخته می‌شود، بنابراین پنجه‌زنی را در برنج تنظیم می‌کند.

سیستم رشدی برنج از ریشه‌های تاجی، ریشه‌های جانبی و ریشه‌های اصلی تشکیل شده است و مانند تک‌لپه‌ای‌های دیگر، برنج با سیستم ریشه‌ای آوندی که دارای ریشه‌های تاجی زیادی است متمایز شده است. گیاه برنج رویانده شده تحت شرایط مزرعه ممکن است دارای صدها ریشه‌ی تاجی باشد (کاواتا و همکاران، ۱۹۷۸؛ کاواشیمو، ۱۹۸۸). ابراز ژن *QHB* در سلول‌های مرکزی ساکن در میان مریستم مربوط به نوک ریشه اتفاق می‌افتد، درحالی‌که بیان ژن *QsSCR* در آندودرم ریشه اتفاق می‌افتد (جدول ۳؛ کامیا و همکاران، ۲۰۰۳ و b). مرحله‌ی آغاز ریشه‌ی تاجی در طی رشد و توسعه‌ی ریشه‌ی تاجی از سلول‌های درونی مریستم پایه در مجاورت استوانه‌ی محیطی دسته‌های آوندی ساقه آغاز می‌شود. این سلول‌ها به‌تدریج به چندین بافت تمایز می‌یابند، به‌عنوان مثال، اپیدرم، کورتکس، آندودرم، کلاهدک ریشه و استوانه‌ی آوندی (استوانه‌ی مرکزی) که این بافت‌ها در توالی با هم به وجود می‌آیند تا یک اندام کامل از مریستم نوک ریشه‌ی تاجی شکل بگیرد. در هنگام تقسیم سلولی اشکال

سلول‌های آندودرمی کورتکس، بیان OsSCR در میان سلول‌های کورتکس دختری سرکوب می‌شود (کامیا و همکاران، ۲۰۰۳a). در مرحله‌ی بعدی، تقسیم تنظیم‌شده‌ی سلول در هر بافت تعداد کل سلول را افزایش می‌دهد. علاوه، دو تقسیم سلولی میانی مرستم پایه، باعث تشکیل تعداد لایه اندکی از سلول‌های آغازین ریشه‌ی تاجی اولیه می‌شود. این سلول‌های آغازین ریشه‌ی تاجی اولیه و هسته‌های آن‌ها بزرگ می‌شوند و افزایش تدریجی در غلظت پروتوپلاسم آن‌ها اتفاق می‌افتد. پس از آن، لایه‌ی سلول‌های داخلی ریشه‌ی تاجی ابتدایی برای تشکیل استوانه‌ی مرکزی اولیه و اولین قسمت اپیدرم-آندودرم به‌طور تقسیم شعاعی (پری‌کلینال<sup>۱</sup>) و تقسیم مماسی (آنتی‌کلینال<sup>۲</sup>) تقسیم می‌شود. بعد از آن، سلول‌های لایه‌ی خارجی پرموردیوم ریشه‌ی تاجی اولیه شروع به تقسیم به‌طور آنتی‌کلینال می‌کنند و نسبت به کلاhek ریشه‌ی اولیه افزایش می‌یابند. لایه‌ی سلولی خاص به‌طور پری‌کلینال تقسیم می‌شود و آغازین اپیدرم-آندودرم به اپیدرم و آندودرم تفکیک می‌شود، درحالی‌که کلاhek ریشه و آغازین‌های استوانه‌ی مرکزی برای بالا بردن اندازه‌ی خودشان متحمل تقسیم‌های آنتی‌کلینال و پری‌کلینال می‌شوند. سلول‌های آندودرمی متحمل تقسیم‌های پری‌کلینال هماهنگ برای تشکیل لایه‌های متفاوت از سلول‌های غشایی می‌شوند (کاواتا و لای، ۱۹۶۵). تقسیمات پری‌کلینال در سلول‌های آغازین کلاhek ریشه منجر به تشکیل کلوما می‌گردند. در این مرحله، آوند متازایلم در مرکز استوانه‌ی آوندی قابل مشاهده است. سلول‌های آغازین استوانه‌ی مرکزی (آغازین دارای استوانه‌ی آوندی) بعد از تقسیمات پری‌کلینال و آنتی‌کلینال گنبدی شکل می‌شوند. در همان دوره‌ی زمانی، سلول‌های تشکیل‌دهنده‌ی بافت‌های گوناگون دسته‌ی آوندی به‌تدریج متمایز می‌شوند. پس از آن، تمامی سلول‌های بافت طویل می‌شوند و به‌طور هم‌زمان واکوئل‌دار می‌شوند و ریشه‌ی تاجی در منطقه‌ی پایه‌ی پرموردیوم از ساقه ظهور می‌کند. سلول‌ها در کورتکس، واکوئل‌سازی را نشان می‌دهند درحالی‌که آن‌هایی که در منطقه‌ی پایه‌ی استوانه‌ی آوندی هستند واکوئل‌سازی و طویل شدن را نمایش می‌دهند (کاواتا و هارادا، ۱۹۷۵).

---

1 Periclinal cell division

2 Anticlinal cell division

اسید آبسیزیک<sup>۱</sup> (ABA) و اکسین باعث به راه اندازی توسعه‌ی جانبی ریشه‌ها می‌شوند. درحالی‌که سیتوکینین سرکوب‌کننده‌ی این فرآیند است. اتیلن نیز به واسطه‌ی تعامل با اکسین از طریق تجزیه‌ی سلول غشایی دارای نقش کلیدی در رشد ریشه‌ی جانبی است. اسیدجیبرلیک در ترکیب با اتیلن رشد ریشه‌های نا به‌جا را در برنج غرقاب به راه می‌اندازد. غلظت بالای زیاتین در مواد مترشحه‌ی ریشه به فعالیت قوی‌تر ریشه در میان هیبریدهای برنج کمک می‌کند، بنابراین این فرضیه را مطرح می‌کند که محتویات سیتوکینین در ریشه‌ها می‌توانند به‌عنوان یک ویژگی مهم فیزیولوژی ریشه در نظر گرفته بشوند. در بررسی دیگری، کاربرد نوعی ترانس ژن آنتی‌سنس پیش‌بینی کرد که سیتوکینین‌ها دارای نقش حیاتی در توسعه‌ی ریشه‌ی برنج هستند (لئو و همکاران، ۲۰۰۳). علاوه بر بهبود توسعه‌ی جانبی ریشه‌ها، ABA تشکیل ریشه‌ی مویی، تورم نوک و نفوذپذیری به آب در ریشه‌ی برنج را به راه می‌اندازد (چن و همکاران، ۲۰۰۶). اتیلن در تشکیل آثرانثیم و رشد ریشه‌های نا به‌جا در برنج غرقاب وساطت می‌کند (رزوئوسکی و ساوتر، ۲۰۰۸). اکسین‌ها مسئول تنظیم گران‌گرایی و رشد ریشه در نزدیک گره و ریشه‌ی اصلی هستند (ناکامورا و همکاران، ۲۰۰۶).

سیتوکینین‌ها<sup>۲</sup> (CK)، تنظیم‌کننده‌های کلیدی فرآیندهای رشدی گیاهان هستند (موک، ۱۹۹۴)، در میان ریشه‌ها سنتز می‌شوند و در طول زایلیم در جهت رو به بالا در گیاه منتقل می‌شوند (وانگ و لی، ۲۰۰۶). در برنج ترانس‌ژنیک، بیان بیش‌ازحد ایزوپنتنیل ترانس‌فراز (*OsIPT*) فعالیت جوانه‌ی جانبی را افزایش و فعالیت تشکیل ریشه را کاهش می‌دهند و این اعمال به‌واسطه‌ی بیان بیش‌ازحد CK، معمول هستند. تا به اکنون، هشت ژن *OsIPT* در ژنوم برنج شناسایی شده‌اند (ساکاموتو و همکاران، ۲۰۰۶). سیتوکینین‌ها همچنین اثری قوی بر روی چندین فرآیند رشدی، مخصوصاً رشد و توسعه‌ی ریشه و ساقه دارند (لو و همکاران، ۲۰۰۸).

---

1 Absciscic acid

2 Cytokinins

جدول ۳- ژن‌های کنترل‌کننده مراحل مختلف رشدی برنج

| مرحله رشدی | بیان ژن‌ها                  | منابع                      | موتانت‌ها                     | منابع                       |
|------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| جنین‌زایی  | <i>OSH1</i>                 | ستو و همکاران (۱۹۹۶)       | <i>gle1, gle2, gle3, cle1</i> | هونگ و همکاران (۱۹۹۵)       |
|            | <i>OsVP1, OSEM</i>          | میوشی و همکاران (۲۰۰۲)     | <i>shl1, shl2, shl3, shl4</i> | ساتو و همکاران (۱۹۹۹)       |
|            | <i>RAB16A, RAB16A, REG2</i> | میوشی و همکاران (۱۹۹۹)     | <i>sho1, sho2</i>             | آیتو و همکاران (۲۰۰۰)       |
|            | <i>RAmy1A</i>               | آیتو و همکاران (۲۰۰۵)      | <i>Riv1, riv2</i>             | میوشی و همکاران (۲۰۰۰)      |
| خوشه‌دهی   | –                           | –                          | <i>pla1</i>                   | آیتو و همکاران (۱۹۹۸)       |
|            | –                           | –                          | <i>Lax</i>                    | کوماتسو و همکاران (۲۰۰۱)    |
|            | –                           | –                          | <i>Sp</i>                     | ایواتا و امورا (۱۹۷۱)       |
|            | –                           | –                          | <i>ri, Dn1, sp</i>            | ناگو و تاکاشی (۱۹۶۳)        |
|            | –                           | –                          | <i>Dn1, Dn2</i>               | جونز (۱۹۵۲)                 |
|            | –                           | –                          | <i>Dn3, Dn2</i>               | فوتسوهاارا و همکاران (۱۹۷۹) |
|            | –                           | –                          | <i>pap1, Dn3</i>              | تاکاشی و همکاران (۱۹۹۸)     |
| برگ        | <i>OSH1, OsPNH1</i>         | نیشی‌مورا و همکاران (۲۰۰۲) | <i>sho1, sho2</i>             | آیتو و همکاران (۲۰۰۰)       |
|            | <i>OsSCR</i>                | کامایا و همکاران (۲۰۰۳)    | <i>lsy</i>                    | أبارا و همکاران (۲۰۰۴)      |
|            | <i>DL</i>                   | یاماگوچی و همکاران (۲۰۰۴)  | <i>lg</i>                     | مایکاو (۱۹۸۸)               |
| ریشه تاجی  | <i>QHB, OsSCR</i>           | کامایا و همکاران (۲۰۰۳)    | <i>cr1, cr12</i>              | اینوکوا و همکاران (۲۰۰۱)    |
| خوشه‌چه    | <i>FZP</i>                  | کوماتسو و همکاران (۲۰۰۳)   | <i>fzp</i>                    | کوماتسو و همکاران (۲۰۰۳)    |
|            | <i>LHS</i>                  | جئون و همکاران (۲۰۰۰)      | <i>ur2</i>                    | ایواتا همکاران (۱۹۸۳)       |
|            | <i>RAP1, OsMADS2, RAG</i>   | کایزوکا و همکاران (۲۰۰۰)   | <i>1hs</i>                    | جئون و همکاران (۲۰۰۰)       |
|            | –                           | –                          | <i>bd1, bd2</i>               | میسرو (۱۹۸۱)                |

|                            |                |                           |                |                                                     |
|----------------------------|----------------|---------------------------|----------------|-----------------------------------------------------|
| ادامه خوشه‌چه              | SPW1           | ناگاساوا و همکاران (۲۰۰۳) | An1, An2       | ناگاو و تاکاهاشی (۱۹۶۳)                             |
|                            | OsMADS45       | گریکو و همکاران (۱۹۹۷)    | dp1            | ایوانا و أمورا (۱۹۷۱)                               |
|                            | DL             | یاماگوچی و همکاران (۲۰۰۴) | spw1, d1, msp1 | نونومورا و همکاران (۲۰۰۳)                           |
|                            | MSP            | نونومورا و همکاران (۲۰۰۳) | dp2            | ایوانا و أمورا (۱۹۷۱)                               |
|                            | OsMADS13       | لوپز-دی و همکاران (۲۰۰۳)  | -              | -                                                   |
| تخمک                       | OsMADS13       | لوپز-دی و همکاران (۲۰۰۳)  | -              | -                                                   |
|                            | SPW1           | ناگاواسا و همکاران (۲۰۰۳) | -              | -                                                   |
| بساک                       | MSP1           | نونومورا و همکاران (۲۰۰۳) | -              | -                                                   |
|                            | MSP1           | نونومورا و همکاران (۲۰۰۳) | msp1           | نونومورا و همکاران (۲۰۰۳)                           |
|                            | Osc4, Osc6     | تسوچیا و همکاران (۱۹۹۴)   | aid1           | ژو و همکاران (۲۰۰۴)                                 |
|                            | AID1           | ژو و همکاران (۲۰۰۴)       | Oscp1          | لی و همکاران (۲۰۰۴)                                 |
|                            | OsCP1          | لی و همکاران (۲۰۰۴)       | rf1            | کازاما و توریاما (۲۰۰۳)،<br>کوموری و همکاران (۲۰۰۴) |
|                            | Rf1            | کازاما و توریاما (۲۰۰۳)   | -              | -                                                   |
| میوز در بساک برنج          | PAIR1<br>PAIR2 | نونومورا و همکاران (۲۰۰۴) | pair1          | نونومورا و همکاران (۲۰۰۴)                           |
|                            | -              | -                         | pair2          | نونومورا و همکاران (۲۰۰۴)                           |
| ادامه میوز در بساک<br>برنج | -              | -                         | as             | کاتایاما (۱۹۶۳)                                     |
|                            | -              | -                         | ds1            | چاو و هوو (۱۹۶۰)                                    |
|                            | -              | -                         | ds2d,<br>s11   | کیتادا و أمورا (۱۹۸۳)                               |
| روزنه                      | OsSCR          | آیتو و همکاران (۲۰۰۵)     | -              | -                                                   |

## ۲-۲-۳-۲- توسعه‌ی برگ

برنج قبل از آغاز فاز زایشی بیش از ۱۰ برگ تولید می‌کند (آتو و همکاران، ۲۰۰۵). وقایع توسعه‌ی برگ به ترتیب زیر در برجستگی گیاه برنج رخ می‌دهند (کوینس و همکاران، ۲۰۰۳):

(۱) مرحله‌ی آغازین برگ، (۲) طویل شدن برگ، (۳) بلوغ پهنک برگ، (۴) تشکیل یقه، (۵) طویل شدن غلاف برگ، (۶) تشکیل گره و (۷) طویل شدن میانگره. طویل شدن بینابینی فقط برای پنج میانگره ساقه‌ی اصلی برنج اتفاق می‌افتد. برگ‌ها به‌طور مداوم شکل می‌گیرند. تقسیم/توسعه‌ی سلول، تمایز بافت، تعیین محور و تشخیص بافت از جمله وقایع

اصلی هستند که در طول توسعه‌ی برگ اتفاق می‌افتد (آتو و همکاران، ۲۰۰۵). برگ بالغ برنج تسمه مانند است که می‌تواند به آسانی به سه منطقه در طول محور پروکسیمال-دیستال متمایز بشود. پهنک برگ منطقه‌ی پروکسیمال (نزدیک مبدأ) است و در نتیجه رأس جوانه را در برمی‌گیرد و قسمت‌های جوان‌تر را از آسیب فیزیکی حفظ می‌کند. مرز غلاف برگ و پهنک برگ از سه بخش متمایز یعنی زبانک (لیگول)، گوشوارک و بندگاه پهنک برگ (یقه) تشکیل شده است (آتو و همکاران، ۲۰۰۵). لیگول به صورت نوک‌تیز و غشایی است که معمولاً در میان برگ‌های بالغ به دو بخش تقسیم می‌شود. یقه یا بندگاه پهنک برگ یک منطقه‌ی نسبتاً سفید در میان پایه‌ی پهنک برگ است که به پهنک برگ کمک می‌کند تا به سمت دور از ساقه‌ی گیاه خم شود. گوشوارک‌ها (دو عدد) ضمایم کوچک دارای موهای بلند هستند و در حاشیه‌های برگ برنج مشاهده می‌شوند (آتو و همکاران، ۲۰۰۵).

برگ‌های برنج در طول محور فوقانی-تحتانی و به صورت متقارن قرار گرفته‌اند. چند برجستگی و دو نوع مختلف از کرک گیاهی در سرتاسر کل سطح برگ به استثنای سطح متمایل به محور غلاف برگ وجود دارند. سلول‌های بادکنکی شکل بالیفرم<sup>۱</sup> که در ردیف‌های عمودی سازمان‌یافته شده‌اند، در اپیدرم رو به محور پهنک برگ بین دسته‌های آوندی می‌چسبند. دو نوع کوچک و بزرگ دسته‌های آوندی در برگ‌ها وجود دارند (آتو و همکاران، ۲۰۰۵). آوندهای چوبی و آوندهای آبکشی به ترتیب در جوانب رو به محور و دور از محور دسته‌های آوندی قرار می‌گیرند. این دسته‌های آوندی به وسیله‌ی دسته‌ی سلول‌های غلاف محصور شده‌اند. دسته‌های آوندی پهنک برگ بر روی سمت دور از محور/نزدیک محور قرار گرفته و دارای سلول‌های فیبری اسکلرانشیمی هستند. حاشیه‌های غلاف برگ و پهنک برگ در شکل تفاوت دارند و همچنین حاشیه‌های غلاف برگ به صورت نوک‌تیز و غشایی هستند (آتو و همکاران، ۲۰۰۵).

پریموردیوم برگ به برآمدگی کوچکی که در حاشیه‌ی مریستم نوک جوانه موجود هست شباهت دارد. این پریموردیوم در سمت مخالف مریستم نوک جوانه و به سمت رأس و بعد از برآمدگی می‌روید؛ و یک پریموردیم هلالی شکل به وجود می‌آورد. تقسیم سلولی در پریموردیوم برگ چندین برابر بیشتر از آن چیزی است که در مریستم نوک جوانه (SAM)

اتفاق می‌افتد، همان‌طور که به‌واسطه‌ی بیان هیستون *H4* تأیید شده است (آتو و همکاران، ۲۰۰۵). مرحله‌ی سلولی تأسیس برگ می‌تواند از طریق استفاده از چند مارکر از مرحله‌ی پریموردیوم برگ متمایز بشود. بیان *OsSCR* در لایه‌ی اپیدرمی پریموردیوم برگ آغاز می‌شود که به‌تدریج برای چندین فایل اپیدرمی اختصاصی می‌شود (کامیا و همکاران، ۲۰۰۳a). ژن *DROOPING LEAF (DL)* که تنظیم‌کننده‌ی خصوصیات برچه و تشکیل رگبرگ میانی است، برای اولین بار در منطقه‌ی مرکزی پریموردیوم بیان می‌شود (یاماگوچی و همکاران، ۲۰۰۴). در مناطق رأس و حاشیه، تقسیم/طویل شدن سریع سلول سبب می‌شود تا پریموردیوم برگ به شکل پوششی بشود و مرحله‌ی آغازین رشته‌ی پروکامبیومی می‌تواند در این مرحله در مرکز برگ دیده بشود. بعلاوه، هر دو حاشیه‌ی پریموردیوم برگ با همدیگر هم‌پوشانی دارند و مریستم نوک جوانه را احاطه می‌کنند (آتو و همکاران، ۲۰۰۵). در این مرحله، شکل پریموردیوم برگ به نظر می‌رسد که مخروط مانند باشد و مرز پهنک-غلاف قابل‌مشاهده است. در مرز سطح متمایل به محور پهنک-غلاف، برآمدگی پریموردیوم لیگول بعد از تقسیمات به‌موازات سطح مریستمی (پری‌کلینال) از سلول‌های اپیدرمی منشأ می‌گیرد (آتو و همکاران، ۲۰۰۵). به‌تدریج، آغازین‌های بافت‌های متفاوت گیاهی در این مرحله رخ می‌دهند. بیان فایل خاص سلولی ژن *OsSCR* در میان اپیدرم می‌تواند در پریموردیوم لیگول یافت بشود (جدول ۳-۱۷؛ کامیا و همکاران، ۲۰۰۳a). آوندهای چوبی/آوندهای آبکشی در قسمت وسط تشخیص داده‌شده است درحالی‌که دسته‌های آوندی بزرگ تمام عرض برگ را احاطه می‌کنند. از سوی دیگر، تشکیل دسته‌های آوندی کوچک بین دسته‌های آوندی بزرگ اتفاق می‌افتد و تمایز تارهای میکرو در این مرحله در اپیدرم نوک برگ اتفاق می‌افتد. در منطقه‌ی دور از مبدأ، تشکیل روزنه‌ها به‌طور اساسی ادامه می‌یابد درحالی‌که منطقه‌ی نزدیک مبدأ (پروکسیمال) نابالغ باقی می‌ماند (آتو و همکاران، ۲۰۰۵).

بعد از تمایز پریموردیوم لیگول، پهنک برگ به‌سرعت گسترش می‌یابد و به حداکثر طول خود می‌رسد، در صورتی‌که طویل شدن غلاف برگ مهار می‌شود. طویل شدن پهنک برگ به فعالیت افزایش‌یافته‌ی مریستم‌های اضافی نسبت داده می‌شود که در منطقه‌ی پایه‌ی پهنک برگ قرار دارند (کائفمن، ۱۹۵۹). در این مرحله، بیان ژن‌ها (به‌عنوان مثال، *Os*, *OsPNH1*,

DL و SCR) همراه با تفکیک سلولی سرکوب می‌شود (جدول ۳-۱۷؛ نیشی‌مورا و همکاران، ۲۰۰۳؛ یاموگوچی و همکاران، ۲۰۰۴).

طولیل شدن غلاف برگ بعد از تکمیل طولیل شدن پهنک برگ سرعت می‌گیرد. سلول‌های خاص اپیدرمی از قبیل سلول‌های silica، سلول‌های بالیفرم و سلول‌های روزنه‌ای قابل مشاهده می‌شوند. در این زمان، تفکیک سلولی اسکلرانشیمی بر روی سمت خارجی دسته‌های آوندی رخ می‌دهد. وقتی که نوک پهنک از غلاف برگ قبلی ظاهر می‌شود، ساختارهای اپیدرمی و داخلی برگ تقریباً کامل هستند به‌استثنای آن‌هایی که در منطقه‌ی نزدیک مبدأ یافت می‌شوند. فضاهای ویژه‌ی هوایی (حفره‌ها) نیز اساساً در بافت داخلی رگبرگ میانی و غلاف برگ شکل می‌گیرند. طولیل شدن غیرمتعادل، در سلول‌های محوری و خارج از محور، پهنک برگ را وادار می‌کند تا به سمت بندگان پهنک برگ منحرف شود (ماندا، ۱۹۶۱).

### ۳-۲-۲-۳- تشکیل آئرانسیم

بعد از غرقاب، در مدت ۲۴ ساعت، ذخیره‌ی اکسیژن ( $O_2$ ) به علت مصرف توسط باکتری‌های خاک محدود می‌شود (پونامپروما، ۱۹۷۲). ریشه‌های برنج نیاز به اکسیژن دارند تا زنده و به‌طور مناسب در حال رشد باقی بمانند. ریشه‌ها در اکثریت خاک‌های معدنی غرقاب با آهن به شکل فروس ( $Fe^{2+}$ ) پوشش داده می‌شوند. شکل غالب آهن در آب زیرزمینی، آهن فروس است، به طوری که غلظت آهن از یک تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر تغییر می‌کند. این آهن همراه با سایدروفورها<sup>۱</sup> است و تغییر از آهن فریک ( $Fe^{3+}$ ) به فروس نیاز به اکسیژن دارد. برگ‌های برنج ممکن است در مدت سه تا شش فیلوکرون از طولیل شدن آن‌ها از بین بروند، بنابراین نمی‌توانند مجرای برای اکسیژن فراهم کنند. در این شرایط گره‌ها و میانگره‌های خارج از آب می‌توانند اکسیژن را به سمت ریشه‌ها منتقل می‌کنند. آئرانسیم که یکی از بافت‌های قادر به انتقال اکسیژن است، از مرگ برنامه‌ریزی شده‌ی سلولی<sup>۲</sup> (PCD) چندین بافت گیاهی برای تولید فضاهای بین سلولی بزرگ ایجاد می‌شود (کوینس و

۱ سیدروفورها (Siderophore) مولکول‌های کوچکی هستند که به صورت با آهن پیوند دارند که به‌وسیله میکروارگانیسم‌های گوناگون از قبیل باکتری‌های بی‌هوازی، قارچ‌ها و ریشه‌های گیاهان ساخته می‌شوند.

2 Programmed Cell Death

همکاران، ۲۰۰۳). در سه دهه پیش، کاوای و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که اسیدی شدن سیتوپلاسم و از بین رفتن یکپارچگی غشای پلاسما، از شرایط مرگ سلولی در برنج هستند که با تبادلات گازی در فضا به صورت شعاعی همراه است. مرگ سلولی در ریشه‌ها و کلئوپتیل‌ها معمولاً خیلی سریع است. پارگی تونوپلاست (غشا واکوئل) اولین گام در مرحله‌ی آغازین تشکیل سلول‌های آثرانشیمی است که به واسطه‌ی تورم سیتوپلاسم، تخریب غشای پلاسمایی، تخریب دیواره‌ها و آسیب محتویات سلولی را به دنبال دارد (آنادا و همکاران، ۲۰۰۲). آثرانسیم‌ها در برنج به خوبی در غلاف، میانگره‌ها، ریشه‌ها و در رگبرگ میانی برگ توسعه یافته‌اند (کولمر و پدرسن، ۲۰۰۸؛ استفنس و همکاران، ۲۰۱۱) که به هواده‌ی داخلی در ریشه‌ها و جوانه‌ها کمک می‌کند (کولمر و پدرسن، ۲۰۰۸). در نتیجه، برگ‌های غوطه‌ور در آب دارای پرده‌های نازک گازی می‌شوند که به تبادل دی‌اکسید کربن و اکسیژن بین برگ‌های گیاه و آب کمک می‌کنند و بنابراین به وسیله‌ی بهبود دادن جذب اکسیژن برای تنفس در طول شب و تأمین دی‌اکسید کربن در طول روز، فتوسنتز خالص در زیر آب را تقویت می‌کنند (پدرسن و همکاران، ۲۰۰۹). این تبادلات غشای گازی برگ با کمک به فرآیند فتوسنتز در هنگام غرقاب به تولید قند در برگ‌ها کمک می‌کنند و در نتیجه باعث تقویت جوانه‌ها و ریشه‌ها برای رشد مناسب می‌شوند (پدرسن و همکاران، ۲۰۰۹).

تشکیل آثرانسیم برای گیاهانی مثل برنج برای زنده ماندن و رشد در شرایط غرقاب حیاتی است. سلول‌های آثرانشیمی فقط اکسیژن را از شاخه‌ها به ریشه‌ها نمی‌رسانند بلکه به تهویه‌ی گازهای گوناگون از قبیل متان و دی‌اکسید کربن از خاک به محیط هوایی کمک می‌کنند (کولمر، ۲۰۰۳؛ ایوانز، ۲۰۰۳). این تهویه اساساً به واسطه‌ی انتشار گازها ایجاد شده است (آرمسترانگ و همکاران، ۱۹۹۶). در گیاه برنج، سلول‌های آثرانشیمی توسعه یافته، آثرانسیم Lysigenous نامیده می‌شوند (جکسون و همکاران، ۱۹۸۵) که ممکن است به کورتکس ریشه، حفره‌ی پیت و کورتکس ساقه توسعه یافته باشد (آرمسترانگ، ۱۹۷۹).

در برنج، تشکیل سلول‌های آثرانسیم، در بخش‌های مربوط به نوک ریشه آغاز می‌شود و پس از آن به تدریج به بخش‌های اصلی ریشه گسترش می‌یابد (راناتیونج و همکاران، ۲۰۰۳). سلول‌های آثرانشیمی کاملاً توسعه یافته که بر روی بخش‌های اصلی ریشه‌ها موجود هستند لایه‌های سلولی خارجی را از استوانه‌ی آوندی داخلی ریشه جداسازی می‌کنند (آرمسترانگ و

آرمسترانگ، ۱۹۹۴؛ راناتیونج و همکاران، ۲۰۰۳). اجزای اصلی دیواره‌های باقیمانده سلولی و سلول‌ها، باعث شکل‌گیری اتصال‌های محوری می‌شوند، بنابراین فضاهای گازی موجود در کورتکس را متمایز می‌کنند. این فضاهای گازی نقش مهمی را در حفظ تکمیل ساختاری ریشه و انتقال مواد مغذی (آپوپلاستی و سیمپلاستی) بازی می‌کنند (درو و فورسی، ۱۹۸۶). در طول تشکیل آئرانیشیم، مرگ سلولی در میان ریشه‌های برنج در کورتکس میانی آغاز می‌شود و پس از آن به‌طور شعاعی به سمت سلول‌های غشایی مجاور گسترش می‌یابد (کاواوی و همکاران، ۱۹۹۸). اپیدرم، آندودرم، استوانه‌ای آوندی و اگزودرم، بی‌تأثیر باقی می‌مانند (یاموچی و همکاران، ۲۰۱۱).

در ریشه‌ها، تشکیل آئرانیشیم Lysigenous ممکن است از طریق کاربرد اتیلن تحت شرایط هوادهی افزایش‌یافته باشد و می‌تواند تحت شرایط کمبود اکسیژن با یون‌های نقره (آگار ۰/۱ درصد) سرکوب بشود (وینگویرا و همکاران، ۱۹۹۷). تخریب دیواره‌ی سلولی در طی تشکیل آئرانیشیم اتفاق می‌افتد و این فرآیند به‌واسطه‌ی تغییر در تخریب آنزیم‌های دیواره‌ی سلولی وساطت می‌شود. متعاقباً، تخریب بیشتر سلول از طریق اعمال آنزیمی گوناگون، مثلاً زایلانولیتیک، پکتولیتیک، سلولزولیتیک اتفاق می‌افتد (جکسون و آرمسترانگ، ۱۹۹۹؛ ایوانز، ۲۰۰۳).

در طی تشکیل آئرانیشیم Lysigenous، مرگ کورتکس سلول ریشه در پنج مرحله‌ی اصلی اتفاق می‌افتد (جوشی و کومار، ۲۰۱۲). اولاً، احساس هایپوکسی<sup>۱</sup> (کمبود اکسیژن) و آغاز بیوسنتز اتیلن اتفاق می‌افتد. ثانیاً، احساس سیگنالینگ اتیلن به‌وسیله‌ی سلول‌های کورتکس میانی اتفاق می‌افتد. ثالثاً، به دنبال غلاف‌شدگی غشای پلاسمایی، یون‌ها نسبت به محیط مجاور سست و حل می‌شوند، بنابراین مرگ سلولی و تشکیل وزیکول کوچک آغاز می‌شود. رابعاً، چگالش کروماتین اتفاق می‌افتد که به‌واسطه‌ی فعالیت افزایش‌یافته‌ی آنزیم‌های هیدرولیتیک دیواره‌ی سلولی اتفاق می‌افتد و اندامک‌های سلولی به‌وسیله‌ی غشاها محصور می‌شوند. در مرحله‌ی نهایی، تخریب نهایی دیواره‌ی سلولی به دنبال تحلیل و فساد سلول اتفاق می‌افتد (جوشی و کومار، ۲۰۱۲). سلول‌های اطراف، محتویات سلولی و آب را جذب می‌کنند.

1 Hypoxie

#### ۴-۲-۳-۲-تشکیل روزنه‌ها

روزنه‌ها، ساختارهای سوراخ مانند میکروسکوپی موجود بر روی اپیدرم برگ‌های گیاهان هستند. در برنج، روزنه‌ها در ردیف‌های عمودی بر روی سطح برگ توزیع شده‌اند. روزنه‌های موجود بر روی سطح رو به محور غلاف برگ، ابتدایی هستند. در اپیدرم برگ برنج، توزیع ردیف‌های سلولی روزنه‌ها تصادفی نیست و این سلول‌ها بر روی مرزهای دسته‌ای آوندی واقع شده‌اند. این ردیف‌ها در دو خط مجاور مختلف، متفاوت هستند (آیتو و همکاران، ۲۰۰۵). ردیف‌های سلول روزنه‌ای به صورت یکنواخت هستند و بیان ژن خاص *OsSCR* به طور یکنواخت و همگن است و مخصوصاً در ردیف‌های سلول روزنه‌ای بیان گردیده است. روزنه‌های برنج دارای دو سلول محافظ باریک و دیواره‌ی ضخیم هستند و دو سلول فرعی نیز در مجاورت آن‌ها وجود دارد. در طی تشکیل پریموردیوم لیگول برگ، بر روی اپیدرم برگ، اساساً تشکیل سلول‌های روزنه‌ای رخ می‌دهد. اولاً، سلول‌های اپیدرمی غیراختصاصی (*NEC*) و سلول‌های مادری محافظ (*GMC* ها) از طریق تقسیمات نامتقارن در میان سلول‌های روزنه‌ای شکل می‌گیرند. *NEC* بزرگ است و به طور ضعیفی رنگ‌آمیزی می‌شود، درحالی‌که *GMC* کوچک است و شدیداً رنگ‌آمیزی می‌شود (آیتو و همکاران، ۲۰۰۵). در *GMC*، بیان ژن *OsSCR* ابقا می‌شود. در سلول‌های دیگر اپیدرم لایه سلول روزنه‌ها، بیان این ژن کاهش یافته است. در مرحله‌ی بعدی، بیان پولاریزه‌ی این ژن (یعنی، *OsSCR*) می‌تواند بر روی سلول‌های مادری فرعی (*SMC*) بر روی *GMC* مشاهده بشود. دومین تقسیم نامتقارن در دو سلول فرعی (سلول‌های مادری فرعی) در مجاورت *GMC* برای تشکیل سلول‌های فرعی اتفاق می‌افتد که منجر به تشکیل یک کمپلکس سه-سلولی (*GMC*+ دو سلول فرعی) می‌شود (آیتو و همکاران، ۲۰۰۵). بیان *OsSCR* در *GMC* و همچنین دو سلول فرعی اتفاق می‌افتد. تقسیمات عرضی متقارن نهایی در *GMC*، یک جفت سلول محافظ را تشکیل می‌دهند. در این مرحله، بیان *OsSCR* خیلی پایین است. سلول‌های فرعی به صورت بیضی شکل می‌شوند، درحالی‌که سلول‌های محافظ بزرگ می‌شوند و در هنگام بلوغ به صورت دمبل شکل درمی‌آیند (لوو و همکاران، ۲۰۱۲).

#### ۳-۳-۲-رشد زایشی

فاز زایشی با آغازش خوشه در طی رشد و توسعه‌ی میانگره‌ها شروع می‌شود (لئوناردز، ۲۰۱۰). در اول، خوشه‌ها اندازه‌های میکروسکوپی دارند و در میان ساقه پیچیده شده‌اند. بعد از شروع طویل شدن میانگره، انباشت کلروفیل بین گره‌ها اتفاق می‌افتد. کلروفیل‌ها به‌صورت سبزرنگ دیده می‌شوند و حلقه/باند سبزی را تشکیل می‌دهند که میانگره در حل رشد را در برمی‌گیرد. همان‌گونه که تشکیل خوشه و میانگره ادامه می‌یابد، تمایز خوشه آغاز می‌شود. خوشه جدیداً تشکیل شده در این مرحله قابل مشاهده است و طول تقریبی ۲ میلی‌متری دارد (لئوناردز، ۲۰۱۰). توسعه‌ی خوشه در سمت درونی ساقه ادامه می‌یابد و مرحله‌ی رشدی بوتینگ نامیده می‌شود. این مرحله می‌تواند بیشتر بر طبق طول خوشه طبقه‌بندی شود. در زمانی که طول خوشه تا میزان ۲/۵ سانتی‌متر است، مرحله‌ی رشدی تحت عنوان آبستنی اولیه نامیده می‌شود. در زمانی که طول خوشه ۱۲-۵ سانتی‌متر و یا بیش‌تر از ۱۲ سانتی‌متر است، مرحله‌ی رشدی به ترتیب تحت عنوان اواسط آبستنی و اواخر آبستنی نامیده می‌شود. شناسایی و تشخیص مراحل رشدی برنج تا این نقطه نیاز به تهیه برش عرضی و طولی و تشریح ساقه دارد (لئوناردز، ۲۰۱۰). رشد خوشه در طی مرحله‌ی اواخر آبستنی کامل می‌شود و خوشه در خارج از ساقه قابل مشاهده است. در هنگامی که خوشه به واسطه‌ی برگ‌پرچم قابل‌رؤیت می‌شود این مرحله‌ی رشدی تحت عنوان مرحله‌ی خوشه‌دهی نامیده می‌شود. مرحله‌ی هیدینگ می‌تواند همچنین بیشتر طبقه‌بندی بشود و با درصدهایی نشان داده می‌شود، به‌عنوان مثال، در زمانی که خوشه بر روی ۵۰ درصد از ساقه‌های برنج قابل‌رؤیت است گفته می‌شود که گیاه زراعی در مرحله‌ی ۵۰ درصد هیدینگ قرار دارد (لئوناردز، ۲۰۱۰).

مراحل گلدهی و پر شدن دانه در خلال ۵-۱ روز بعد از مرحله‌ی هیدینگ آغاز می‌شود. مراحل پر شدن دانه نیز می‌تواند به ترتیب زیر تقسیم‌بندی بشود: مرحله‌ی شیری (۱۰-۷ روز بعد از هیدینگ)، مرحله‌ی خمیری و مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیکی. در مرحله‌ی شیری، ماده‌ی شیری شروع به انباشت می‌کند. یک هفته بعد از شروع مرحله‌ی شیری، مرحله‌ی خمیری آغاز می‌شود که در این مرحله مواد شیری به بافت خمیری نرم تبدیل می‌شوند. در مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیک، دانه‌ها به حداکثر انباشت ماده‌ی خشک می‌رسند و سفت می‌شوند. گیاه زراعی نمی‌تواند در این مرحله برداشت شود چون محتویات

رطوبت دانه بیش‌تر از ۳۰ درصد است. کاهش رطوبت دانه تا میزان ۲۰ درصد بسته به شرایط هوایی ممکن است بیشتر از دو هفته طول بکشد (رسیدگی برداشت) (لئوناردز، ۲۰۱۰). فیزیولوژی فرآیندهای زایشی گوناگون و پر شدن دانه در سطوحی زیر مورد بحث قرار گرفته‌اند.

### ۱-۳-۲-۳-سنبلچه‌ها

بعد از تولید دو جفت گلوم (پوشینه) عقیم (گلوم‌های خالی و ناقص)، مریستم گلچه از مریستم سنبلچه‌ها شکل می‌گیرد. سنبلچه‌ها در برنج متشکل از یک گلچه‌ی منفرد هستند. گلچه‌های برنج از پالئا، لما، ۶ پرچم، ۲ لودیکول (به نام گلبرگ<sup>۱</sup>) و یک مادگی تشکیل‌شده‌اند. بعد از تولید محور جانبی، مریستم سنبلچه از مریستم‌های محور فرعی/گل‌آذین شکل می‌گیرند. بعدها، دو گلوم عقیم در ترتیب متناوب ۱/۲ از مریستم سنبلچه شکل می‌گیرند. این گلوم‌ها دارای شکل ناقص و بدون هیچ‌گونه جوانه‌های کناری هستند. در برنج، در مقایسه با سایر گراس‌ها دو گلوم خالی نیز تشکیل می‌شود. بیان ژن *FZP* برای تشکیل مریستم گلچه حیاتی است و در این مرحله اتفاق می‌افتد (کوماتسو و همکاران، ۲۰۰۳). علاوه، مریستم سنبلچه، مریستم گلچه همراه با دو نوع گلوم (لما و پالئا) و اندام‌های گل را تشکیل می‌دهد. هویت پالئا و لما به‌وسیله‌ی ژن‌های *LHS* تنظیم می‌شود (جئون و همکاران، ۲۰۰۳). بیان ژن‌های *RAP1* همچنین در پریموردیوم لما و پالئا رخ می‌دهد (کیوزاکا و همکاران، ۲۰۰۰).

دو گلوم خالی تشکیل‌شده در برنج بسیار کوچک‌تر از لما اما بزرگ‌تر از گلوم‌های ناقص هستند. شش گلوم (دو گلوم خالی و دو گلوم ناقص، لما و پالئا) در آرایش متناوب ۱/۲ سازمان‌دهی شده‌اند. سه اندام گل‌دار، مثلاً، لودیکول‌ها (۲)، پرچم‌ها (۶) و مادگی (۱)، بعد از تشکیل پالئا شکل‌گرفته‌اند (آیتو و همکاران، ۲۰۰۵). لودیکول‌های جهت‌گیری شده در سمت لما نسبتاً سفید و از نظر اندازه کوچک‌تر هستند و گلبرگ نامیده می‌شوند. بیان ژن‌هایی از قبیل *OsMADS45*، *OsMADS2*، *RAP1* و *SPW1* در لودیکول‌ها اتفاق می‌افتد (کیوزاکا و همکاران، ۲۰۰۰؛ نایاساوا و همکاران، ۲۰۰۳).

برخلاف سایر گل‌های تک‌لپه‌ای‌ها و دولپه‌ای‌ها، کاسبرگ‌ها در گل برنج وجود ندارند. به‌طور شگفت‌آوری، فقط دو لودیکول متمایل به سمت لما در برنج موجود هستند که نشان می‌دهد یک لودیکول موجود بر روی سمت پالنا احتمالاً در طول مسیر تکاملی در گذشته از بین رفته است (آیتو و همکاران، ۲۰۰۵). شناسایی و تشخیص برچه در برنج اصولاً به‌وسیله‌ی ژن *DL* تنظیم می‌شود (ناگاساوا و همکاران، ۲۰۰۳).

## ۲-۳-۳-۲- مگاسپوروژنز و مگاگامتوژنز

پریموردیوم برچه همراه با تنظیم کاهشی بیان *OSH1* مریستم گل‌دار به سمت پالنا گسترش می‌یابد و بنابراین به پریموردیوم تخمک تغییر شکل می‌یابد. برچه در این مرحله، تخمک را محصور می‌کند. پس از آن، به دنبال تولید دانه‌های گرده در میان بساک، گامت ماده در تخمک تشکیل می‌شود. در تخمک، ژن‌های *OsMADS13* و *OsMADS45* بیان می‌شوند (لوپزدی و همکاران، ۱۹۹۹). بیان ژن *MSP1* در بافت‌های احاطه‌کننده‌ی اسپوروسیت‌های ماده و نر اتفاق می‌افتد (نونومورا و همکاران، ۲۰۰۳). انتهای رو به محور پریموردیوم تخمک به برچه‌ی سمت پالنا متصل شده است.

بعد از آن، تشکیل پریموردیوم پوسته به‌واسطه‌ی پایه‌ی پریموردیوم تخمک رخ می‌دهد. برای تشکیل محل تخمدان، تخمک به‌وسیله‌ی برچه احاطه می‌شود (آیتو و همکاران، ۲۰۰۵). در این مرحله، بیان ژن *AINTEGUMENTA* در پریموردیوم پوسته شروع می‌شود.

پوسته‌های خارجی و داخلی از پریموردیوم پوسته‌ی منفرد شکل گرفته‌اند. بیان ژن‌های *SUPERWOMAN1/OsMADS16* بر روی سمت دور از محور پوسته‌ی خارجی رخ می‌دهد (ناگاساوا و همکاران، ۲۰۰۳). بیان ژن چندگانه‌ی *sporocyte1 (MSP1)* در کل برچه و تخمک اتفاق می‌افتد (نونومورا و همکاران، ۲۰۰۳). سلول آرکسپوری طویل می‌شود و سپس به سلول مادری مگاسپور متمایز می‌شود (MMC). باوجود اینکه طویل شدن در هر دو پوسته‌ی داخلی و همچنین خارجی اتفاق می‌افتد، با این وجود، طویل شدن در پوسته‌ی داخلی قابل توجه است و بیشتر مرکز را به‌استثنای ناحیه‌ی میکروپیل نزدیک MMC محصور می‌کند (آیتو و همکاران، ۲۰۰۵). بعد از آن، تخمک به سمت نهنج صعود می‌کند و کیسه‌ی جنینی (از نوع پلی‌گونوم) در هسته تشکیل می‌شود. تقسیم می‌وزی در MMC، چهار

مگاسپور متفاوت را شکل می‌دهد که به‌طور خطی در جهت میکروپیل-شالاز مرتب می‌شوند. فقط مگاسپور شالازی در حال کار باقی می‌ماند درحالی‌که سه تای دیگر از بین می‌روند (آیتو و همکاران، ۲۰۰۵).

به دنبال میوز، تقسیم هسته‌ای میتوزی در مگاسپور در حال کار، دو سلول هسته‌دار را شکل می‌دهد که به‌تدریج تخریب می‌شوند و توسعه‌ی مگامتوفیت رخ می‌دهد. بعد از آن، این مگامتوفیت یک واکوئل بزرگ را تشکیل می‌دهد. دومین تقسیم میتوزی در هر دو هسته رخ می‌دهد. به‌طور متوالی، سومین تقسیم میتوزی در مگامتوفیت رخ می‌دهد و آن را هشت‌هسته‌ای می‌کند (آیتو و همکاران، ۲۰۰۵). زمانی که هر یک از هسته‌ها (از ۸ تا) رو به سمت وضعیت مربوطه جمع می‌شوند Cellularization رخ می‌دهد؛ بنابراین، تکمیل تخمک Hemianatropous رخ می‌دهد که متشکل از کیسه‌ای جنینی است که از یک سلول تخم، دو Synergid، یک سلول مرکزی (از آمیختگی دو هسته‌ی قطبی شکل گرفته است) و سلول‌های متقابل ساخته‌شده است (آیتو و همکاران، ۲۰۰۵). در برنج، سلول‌های متقابل به‌وسیله‌ی تشکیل خوشه‌ی سلولی متقابل به تقسیم شدن در انتهای شالازی ادامه می‌دهند (هانگ و شیریدان، ۱۹۹۴).

### ۳-۳-۲- میکروسپوروژنز و میکروگامتوژنز

شکل‌گیری اولین قسمت بساک اجتناب‌ناپذیر است و در بخش عرضی اتفاق می‌افتد که به‌طور موفقیت‌آمیزی به شکل چهارگوشه است. در برنج، تشکیل پرچم‌ها در سومین حلقه‌ی گل شروع می‌شود. پریموردیوم بساک از سه لایه‌ی متمایز تشکیل شده است که عبارت‌اند از L1، L2 و L3 (گولدبرگ و همکاران، ۱۹۹۳). لایه‌ی L1 در پریموردیوم برنج، تشکیل استومیوم و اپیدرم را می‌دهد که نقشی حیاتی در شکوفایی بساک‌ها دارد. از سوی دیگر، لایه‌ی L2 تشکیل سلول‌های زایای بدوی (Primordial germ) / آرکسپوری<sup>۱</sup> را می‌دهد که از آن‌ها، Microsporangium و دانه‌ی گرده توسعه می‌یابند. لایه‌ی L3، دسته‌های آوندی، سلول‌های رابط و خوشه‌ی سلولی مدور را شکل می‌دهند که بسیار نزدیک به استومیوم

1 Archesporeal

هستند (نونومورا و همکاران، ۲۰۰۳). سلول‌های رابط که بین دسته‌های آوندی و میکروسپورانثیا موجود هستند، در طی گامتوژنز از بین می‌روند.

سلول‌های پوست زیرین بساک با ردیف‌های استوانه‌ای مجهز شده‌اند که می‌توانند به AC ها متمایز شوند. این AC دارای سیتوپلاسم و هسته‌ی کمی توسعه‌یافته هستند که آن‌ها را از سلول‌های دیگر متمایز می‌کند. بعد از تمایز، تقسیمات مداوم سلولی در این سلول‌ها منجر به تشکیل سلول‌های جداری اولیه (PPC ها) و سلول‌های هاگرای اولیه می‌گردند. تقسیمات پی‌درپی پری‌کلینال (به موازات سطح مریستم) در PPC ها، یک لایه‌ی مکانیکی، یک لایه‌ی تاپی و یک لایه‌ی میانی را شکل می‌دهند. میتوز در PSC ها، سلول‌های مادری گرده (PMC ها) را شکل می‌دهند (آیتو و همکاران، ۲۰۰۵). تقسیمات آنتی‌کلینال باعث توسعه‌ی لایه‌ی چهار-دیواره‌ای می‌شوند. سلول‌های تاپی که به صورت دو هسته‌ای هستند، موادی را برای دیواره‌ی دانه‌ی گرده و همچنین مواد مغذی برای گامتوفیت‌ها را فراهم می‌کنند (اسکات و همکاران، ۲۰۰۴)، بنابراین به عنوان یک بافت نگهدارنده به کار می‌روند. با تکمیل دیواره‌ی بساک، PMC ها دستخوش سنتز پیش-میوزی DNA شده و وارد میوز می‌شوند (نونومورا و همکاران، ۲۰۰۴b). در اتفاقات میوزی، در گام اول، اسپورها به گامتوفیت‌های هاپلوئید توسعه می‌یابند که گامت‌ها (هاپلوئید) را شکل می‌دهند. زمانی که میکروسپورهای آزاد از تترادها منتشر می‌شوند، این‌ها توسعه‌یافته و به صورت کروی در می‌آیند، اما هیچ‌گونه تقسیم سلولی میتوزی در این مرحله مشاهده نشده است. در بیشتر گل‌ها، گامتوفیت نر تا مرحله‌ی هدینگ در وضعیت تک‌هسته‌ای باقی می‌ماند. اگرچه طول بساک تا حد زیادی وابسته به توسعه‌ی میکروسپورانثیا است، اغلب بساک‌ها در زمانی که مرحله‌ی تک‌هسته‌ای رو به پایان است طویل می‌شوند. در ابتدا به واسطه‌ی میتوز در داخل دانه‌ی گرده دو نوع هسته یعنی رویشی و زایشی تشکیل می‌شود. به دنبال آن، سلول‌های مولد به دو سلول اسپرم متمایز می‌شوند.

رشد و توسعه‌ی دانه در برنج با لقاح مضاعف شروع می‌شود. بعد از گرده‌افشانی، دانه‌ی گرده برای توسعه به لوله‌ی گرده شروع به رشد می‌کند که برای رسیدن به تخمدان طویل می‌شود (شکل ۲، ۱۷؛ فاروق و همکاران، ۲۰۱۴). رشد دانه‌ی گرده نیاز به انرژی دارد که به‌وسیله‌ی اعمال اسید اینورتاز در هنگام توسعه‌ی لوله‌ی گرده فراهم می‌شود. به‌محض لقاح، آندوسپرم و جنین در حال رشد و توسعه در درجه‌ی اول نیاز به مواد مغذی دارند که از طریق انتقال آسیمیلات در آوند آبکشی فراهم می‌شود. رشد و گسترش سلول سبب تشکیل کاریوپسیس (گندمه) می‌شود که تا حداکثر فضای لما و پالنا (پوسته‌ی برنج) امتداد می‌یابد. بعد از طویل شدن کاریوپسیس، فرآیند پر شدن دانه شروع می‌شود. هیچ‌گونه نشاسته رسوب‌شده در پایان افزایش طول سلول وجود ندارد. اکثر سوخت‌وساز ترکیبی در دو اندام سلولی یعنی پلاستید و سیتوزول اتفاق می‌افتد. مسیر کربن در سیتوزول از ساکارز واردشده شکل می‌گیرد در طی پر شدن دانه، به‌واسطه‌ی عملیات سنتز ساکارز، ساکارز به UDP-گلوکز و UDP-فروکتوز شکسته می‌شود. آنزیم ساکارولیتیک اولیه در آندوسپرم برنج، یک یا چند ایزوform ساکارزسنتاز است (اویگاد و دی، ۱۹۹۶). برای برنج، سه ایزوژن ساکارزسنتاز شناسایی شده‌اند که برای آنزیم‌های گوناگون دخالت‌کننده در بافت‌های متفاوت و فازهای رشدی گوناگون به رمز درآورده می‌شوند (کونینس و همکاران، ۲۰۰۳). در گام بعدی، UDP-گلوکز به گلوکز-۱-فسفات تبدیل می‌شود. آنزیم درگیر، UDP-گلوکز پیروفسفوریلاز است. اعمال آنزیم‌های گوناگون، ممکن است فروکتوز را به گلوکز فسفات و به‌تدریج نشاسته تبدیل کند. در گام بعدی، G-1-P یا از طریق فسفوگلوکزامیناز به G-6-P تبدیل می‌شود یا به پلاستیدها منتقل می‌شود. در این نقطه، سنتز نشاسته یا در سیتوسول یا در آمیلوپلاست از طریق ADP-گلوکز پیروفسفوریلاز شروع می‌شود. تولید نشاسته در پلاستید به‌واسطه‌ی AGP (واقع در سیتوسول) محدودشده است (شانون و همکاران، ۱۹۹۸؛ فاروق و همکاران، ۲۰۱۴). ADP-گلوکز، نقطه‌ی آغاز سنتز نشاسته است و سنتز مجدد نشاسته در پلاستید اتفاق می‌افتد. هر بار که سنتز نشاسته آغاز می‌شود، واحد منفرد گلوکوزیل یا به زنجیره‌های مستقیم یا به زنجیره‌های شاخه‌دار کامل شده با نشاسته سنتز اضافه می‌شود. آنزیم شاخه‌دار نشاسته نیز در شاخه‌دار کردن زنجیره‌های نشاسته برای سنتز مجدد نشاسته درگیر است. منشعب شدن، تغییر اندازه و حذف شاخه نشاسته در پیشروی تشکیل، اجتماع، اجتماع

مجدد و جداسازی آندوسپرم در حال رشد و توسعه مهم هستند. آنزیم‌های درگیر در این وقایع، آنزیم شاخه‌دار کننده‌ی نشاسته، آنزیم حذف‌کننده‌ی انشعاب نشاسته، نشسته سینتاز و D-آنزیم هستند (مایرس و همکاران، ۲۰۰۰). این رویدادها، باعث تشکیل گرانول‌های ساختاریافته‌ای می‌شوند که در آن‌ها نشاسته در مناطق متناوب آمیلوپکتین کم‌وبیش شاخه‌دار توده شده است (مایرس و همکاران، ۲۰۰۰). در برنج و سایر غلات، ساختار نشاسته به‌طور زیادی متغیر است و ممکن است با رژیم‌های دمایی نوسان کند. گرانول‌های نشاسته‌ای برنج از سایر غلات کوچک‌تر هستند. در مقابل انواع آنزیم‌های مصنوعی نشاسته‌ای دیگر، نشاسته سنتاز حساس‌ترین آنزیم به دما است (کیلینگ و همکاران، ۱۹۹۴). در طی پر شدن دانه، دما بالا ممکن است باعث سفیدی شود که این حالت به علت کاهش در فعالیت نشاسته سنتاز است. همچنین برای فعالیت مناسب به‌وسیله‌ی نشاسته سنتاز، پتاسیم مورد نیاز است (ماراسکتر، ۱۹۹۵)؛ بنابراین اولین گام در توسعه‌ی دانه، تشکیل مولکول‌های نشاسته‌ای منفرد است. بعد از آن، این مولکول‌های نشاسته برای تشکیل گرانول‌های نشاسته به‌صورت توده‌ای درمی‌آیند (مایرس و همکاران، ۲۰۰۰).

بعد از پر شدن سلول‌های آندوسپرم با نشاسته، سلول‌های لایه‌ی آلورون با پروتئین و لیپید پر می‌شوند. سلول‌های زیرین لایه‌ی آلورون، دارای لیپید، پروتئین و نشاسته هستند. سلول‌های نشاسته‌ای آندوسپرم، نه‌تنها حاوی نشاسته هستند بلکه دارای مقدار اندکی (۶-۷ درصد) پروتئین نیز هستند. ژن‌های درگیر در پر شدن دانه در بیشتر غلات مشترک هستند و به‌خوبی مستند شده‌اند (کوینس و همکاران، ۲۰۰۳).



## **فصل سوم**

### **بیماری‌های بذرزاد برنج**



### ۱-۳- بیماری لکه قهوه‌ای برنج<sup>۱</sup>

بیماری لکه قهوه‌ای برنج، یکی از بیماری‌های بذرزاد برنج است که در کلیه مراحل رشد گیاه از خزانه تا مزرعه روی برنج دیده می‌شود و خساراتی را از نظر کیفی و کمی روی محصول، به وجود می‌آورد. این بیماری دارای انتشار جهانی است و از همه کشورهای تولیدکننده برنج در آسیا، آمریکا و آفریقا به خصوص در شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک شایع است؛ درجایی که گیاهان تحت تنش شدید باشد این بیماری افزایش می‌یابد. این بیماری اولین بار توسط زیست‌شناس ژاپنی به نام هوری<sup>۲</sup> در سال ۱۹۰۱ گزارش شد و او اولین بار واژه Brown spot را به کاربرد که توسط قارچ *Helminthosporium* معرفی گردید. اپیدمی این بیماری در سال ۱۹۴۲-۱۹۴۳ در هند و خلیج بنگال به وقوع پیوست که باعث قحطی و منجر به خسارت ۵۰-۹۰ درصدی شد که این دوره با شرایط دمایی ۳۰-۲۰ درجه سلسیوس به مدت دو ماه، دوره‌های طولانی، هوای ابری و دماهای متوسط یا زیاد در مرحله گلدهی یا پرشدن دانه‌ها مصادف بوده است. این بیماری روی برنج، در روش‌های خشکه‌کاری و آبی همه مناطق عمده برنجکاری دنیا، اتفاق می‌افتد. بیماری لکه قهوه‌ای در سال ۱۹۴۲ در بنگال سبب خسارت ۹۰-۴۰ درصد گردید و عامل عمده، قحطی بنگال در ۱۹۴۳ بود. بیماری لکه قهوه‌ای برنج در ایران ابتدا در سال ۱۳۳۵ توسط پتراک<sup>۳</sup> از مزارع برنج سواحل دریای خزر (استان گیلان) جمع‌آوری شده است. بیماری لکه قهوه‌ای برنج علاوه بر این در مناطق برنجکاری لتجان (اصفهان)، شهرکرد، میانه و زنجان نیز کم‌وبیش گزارش شده است. عامل بیماری دارای فرم جنسی و غیر جنسی است؛ فرم جنسی قارچ از اسکومیست‌ها به نام *Cochliobolus miyabeanus* است. فرم غیرجنسی عامل این بیماری نیز به نام *Bipolaris*

---

1 Rice brown stain-disease

2 Hori

3 Petrak

*oryzae* است. میسلیم‌های قارچ به قطر ۱۰-۸ میکرومتر و قهوه‌ای تیره متمایل به زیتونی بوده که دارای دیواره‌های عرضی و انشعابات فراوان می‌باشند. کنیدیو فورها نازک‌تر و به عرض ۵-۹ میکرومتر متغیر بوده و به طول ۶۰۰-۱۵۰ میکرومتر است. رنگ آن‌ها هرچه به انتها نزدیک‌تر می‌شود، کمرنگ‌تر می‌گردد. فاصله بین دو کنیدی ۹۰-۱۰ میکرومتر بوده و کنیدی‌های قارچ روی بوته‌های برنج آلوده به ابعاد ۳۵ تا ۱۷۰ در ۱۱ تا ۱۷ میکرومتر بوده و تا دیواره عرضی دارند. کنیدی‌های که روی گلوم‌های دانه تولید می‌شوند طویل‌تر هستند. این اسپورها کمی خمیده و در دو انتها مختصری باریک‌تر از قسمت‌های میانی می‌باشند و به رنگ قهوه‌ای هستند. قارچی که معمولاً به صورت ساپروفیت روی قسمت‌های مرده برنج مشاهده می‌شد به نام *Helminthosporium macrocarpum* نامیده شد.

عامل این بیماری علاوه بر ایجاد لکه‌های قهوه‌ای روی برگ (شکل ۱)، باعث بی‌رنگ شدن دانه‌های برنج می‌شود که یکی از جدی‌ترین مشکلات در اکثر مناطق برنج‌خیز است؛ زیرا بی‌رنگ شدن دانه‌ها باعث کاهش قوه‌نامیه بذر می‌شود. عامل بیماری در شرایط آبی و Upland می‌تواند روی برگ، غلاف برگ، خوشه، کلئوپتیل و گلوم بذر ایجاد بیماری نماید. لکه‌های گرد و قهوه‌ای رنگ ناشی از قارچ عامل این بیماری روی نشاهای متراکم در خزانه‌ها که به خوبی تغذیه نشده‌اند، به وضوح قابل مشاهده‌اند و در صورت تأخیر در انتقال نشاها به زمین اصلی لکه‌ها به حدی افزایش می‌یابند که سبب زردی و سوختگی برگ‌ها می‌شوند. علائم بیماری روی کلیه اندام‌های هوایی ممکن است ظاهر گردد. واضح‌ترین علائم بیماری روی برگ‌ها و گلوم‌ها هستند (شکل ۲).

لکه‌های تپیک روی برگ‌ها تخم‌مرغی شکل و در حد و اندازه بذور کنگد می‌باشند. به همین جهت هارا<sup>۱</sup> در ۱۹۱۶ این بیماری را سوختگی برگ کنگدی نامیده است. این لکه‌ها نسبتاً هم‌شکل بوده و به‌طور واضح و یکنواخت در بالای سطح برگ پخش می‌شوند و رنگ آن‌ها قهوه‌ای با مرکز خاکستری یا متمایل به سفید است. لکه‌های توسعه‌یافته و جوان، کوچک و مدور بوده و ممکن است به رنگ قهوه‌ای تیره یا لکه‌های قهوه‌ای مایل به ارغوانی ظاهر شوند. روی ارقام حساس، لکه‌ها خیلی بزرگ‌تر هستند و ممکن است به یک سانتی‌متر یا بیش‌تر از نظر طولی برسند. گاهی لکه‌ها به هم پیوسته و باعث خشک شدن برگ‌ها

می‌گردند و بعضاً لایه‌های متحدالمرکز روی لکه‌ها دیده می‌شوند. قارچ داخل بافت مزوفیل برگ به دو صورت بین و داخل سلول رشد می‌نماید. روی نشاهای آلوده، زخم‌های قهوه‌ای گرد یا بیضوی تشکیل شده که ممکن است در محل کلئوپتیل حلقه بر شده و باعث از بین رفتن برگ‌های اولیه و ثانویه شوند. نشاهای آلوده کوتاه مانده یا از بین می‌روند. قارچ روی برگ گیاهان پیرتر لکه‌های گرد تا بیضی تولید می‌کند که دارای مرکز قهوه‌ای روشن تا خاکستری هستند و با یک حاشیه قهوه‌ای قرمز فام (Chestnut) احاطه می‌شوند.



شکل ۱- علائم بیماری لکه قهوه‌ای بر روی برگ برنج

قارچ همچنین ممکن است روی گلوم‌ها لکه‌های بیضی قهوه‌ای تیره تا سیاه ایجاد کند. آلودگی لکه قهوه‌ای تعداد دانه‌های موجود در هر خوشه و وزن هر دانه برنج را کاهش می‌دهد. قارچ عامل بیماری در شرایط مساعد باعث پوسیدگی گردن و محور خوشه، قهوه‌ای شدن و گاهی تشکیل توده سیاه‌رنگ روی دانه‌ها در خوشه می‌شود. به‌طوریکه در سال‌های اخیر عامل مهم پوسیدگی گردن خوشه در ارقام اصلاح شده مقاوم به بلاست در شمال کشور شده است، مخصوصاً در مرحله رسیدن که معمولاً مصادف با باران‌های آخر فصل است. قهوه‌ای شدن و پوسیدگی گردن و محور خوشه به‌شدت در این ارقام نظیر سپیدرود، خزر و نعمت افزایش می‌یابد و گاهی بعضی آن را به اشتباه به بیماری بلاست نسبت می‌دهند. بعلاوه بذره‌ای استحصالی از چنین مزارعی نیز، ضمن اینکه به‌شدت آلوده به بیمارگر

می‌باشند، دارای درجات مختلفی از بد رنگی و تغییر رنگ از قهوه‌ای تا سیاه هستند و چنان‌که از این بذرها بدون اینکه قبل از انبارکردن ضدعفونی شوند برای کشت در سال بعد استفاده شود، تهیه نشاء با مشکلات عمده‌ای روبرو شده و عموماً با موفقیت همراه نخواهد بود (پاداشت دهکلایی و ایزدیار، ۱۳۷۷؛ اخوت، ۱۳۷۸).



شکل ۲- علائم بیماری لکه قهوه‌ای بر روی خوشه و دانه برنج

در مناطق معتدل، منبع اولیه مایه بیماری بذور آلوده سطحی و عمقی هستند ولی قارچ در بقایای گیاهی نیز زمستان‌گذرانی می‌کند. در مناطق گرمسیری مایه بذرزاد ممکن است اهمیت کمتری داشته باشد. دمای بهینه برای انتشار این قارچ ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس است. برای آلودگی بذر در ۲۲ درجه سلسیوس، ۱۰ ساعت رطوبت بالا مورد نیاز است. بیماری لکه

قهوه‌ای برنج باعث سوختگی نشاهایی می‌گردد که از بذرهای بسیار آلوده به‌دست آمده‌اند. خسارت این بیماری زمانی قابل‌توجه است که بذر در شرایط کمبود مواد غذایی خاک کشت شود. کاهش محصول از ۴۵ درصد در آلودگی‌های شدید و ۱۲ درصد در آلودگی‌های متوسط رخ داده است. مناسب‌ترین شرایط برای این بیماری رطوبت نسبی بالا (۸۰-۱۰۰ درصد)، دمای مناسب (۳۰-۱۳ درجه سلسیوس) و مرطوب بودن برگ‌ها برای ۲۴-۸ ساعت می‌باشند. لکه قهوه‌ای بیشتر در خاک‌هایی که کمبود پتاسیم، منیزیم، منگنز، سیلیکا، آهن و کلسیم دارند شایع‌تر است. علائم کمبود برخی از این عناصر به‌ویژه پتاسیم تا حدودی مشابه لکه قهوه‌ای است، به‌طوریکه تشخیص این کمبودها از بیماری، در برخی موارد بسیار مشکل است. برنج کشت‌شده در خاک غیر غرقابی به بیماری لکه قهوه‌ای حساس‌تر است.

## ۲-۳- بیماری سیاهک دروغی برنج<sup>۱</sup>

بیماری سیاهک دروغی برنج در سال‌های قبل به‌عنوان یکی از بیماری‌های کم‌اهمیت در برنج مطرح بود و گزارش‌شده است که در سال‌های بسیار دور به‌عنوان نمادی از برداشت خوب در برنج در نظر گرفته می‌شد. این بیماری اخیراً در سراسر جهان از جمله چین، هند و آمریکا بسیار شایع شده است. به‌طورکلی اعتقاد بر این است که این بیماری تا حدی ناشی از کاربرد گسترده واریته‌های برنج هیبرید در جهان است که بیش‌تر مستعد ابتلا به بیماری سیاهک دروغین می‌باشند. بیماری سیاهک دروغی برنج اولین بار توسط کوک<sup>۲</sup> در سال ۱۸۷۸ از تیرونلویلی<sup>۳</sup> در ایالت تامیل‌نادو<sup>۴</sup> هند گزارش شده است.

بیماری سیاهک دروغی برنج توسط قارچ *Ustilaginoidea virens* ایجاد می‌شود. این گونه متعلق به قبیله *Ustilaginoideae*، راسته *Hypocerales* از شاخه *Ascomycota* است. قبیله *Ustilaginoideae* فرم غیرجنسی مجموعه‌ای از آسکومیست‌ها است که گراس‌های گرمسیری را آلوده می‌کنند. فرم غیرجنسی *Ustilaginoidea* از ۱۶ گونه تشکیل شده است. همه این گونه‌ها گراس‌های نواحی نیمه گرمسیری و گرمسیری را آلوده می‌کنند. گونه تیپیک این جنس *U. virens* (Cooke) Takah. بوده که عامل اصلی سیاهک دروغی برنج است (پادداشت

1 *Ustilaginoidea virens*

2 Cooke

3 Tirunelveli

4 Tamil Nadu

دهکلاپی و داریوش، ۱۳۹۳). قارچ *U. virens* یک آسکومایسیت پاتون قارچی کم‌تحرك است که سبب بیماری سیاهک دروغی برنج است که به‌صورت پراکنده در مناطق تحت کشت برنج گزارش‌شده است. با این حال، یکی از مخرب‌ترین بیماری‌های برنج است که با در ارقام با عملکرد بالا، کاربرد اضافی کودهای شیمیایی و تغییرات آب و هوایی سبب گسترش بیش‌تر این بیماری می‌شود. بیماری سیاهک دروغی برنج سبب کاهش شدید عملکرد دانه و افت کیفیت دانه می‌شود. همچنین قارچ *U. virens* دانه و کاه برنج را با مایکوتوکسین‌ها<sup>۱</sup> آلوده می‌کند که نگرانی‌های زیادی را برای ایمنی مواد غذایی و خوراک ایجاد می‌نماید (جایهوا و همکاران، ۲۰۱۹).

آلودگی قارچ به‌صورت تبدیل شدن دانه خوشه آلوده‌شده، به اسپوربال<sup>۲</sup> مایل به سبز (توپ سیاهک دروغی) است که سطح آن به فراوانی از کلامیدوسپوره‌های<sup>۳</sup> پودری به رنگ سبز تیره پوشیده می‌شود. سیاهک دروغی نه‌تنها محصول را کاهش می‌دهد بلکه دانه‌های برنج را آلود کرده و کلامیدوسپوره‌های آن حاوی پپتیدهای حلقوی آنتی‌میتوتیک<sup>۴</sup> است که برای انسان و حیوانات سمی است. علائم بیماری سیاهک دروغی برنج در مراحل اولیه، واسط و اواخر رشد به‌صورت توپ‌های سفید، زرد و سبز تیره است (شکل A-C). شکل (D) مرحله تشکیل اسکروتیا<sup>۵</sup> است؛ یعنی قارچ‌های مسیلی می‌توانند محکم درهم‌تنیده و بافت کاذب تشکیل دهند. شکل (E) مرحله مشاهده مزرعه‌ای این بیماری است و شکل (F) مرحله برداشت دانه برنج است که پوشیده از کلامیدوسپوره‌های بیماری سیاهک دروغی برنج است (شکل ۳).

---

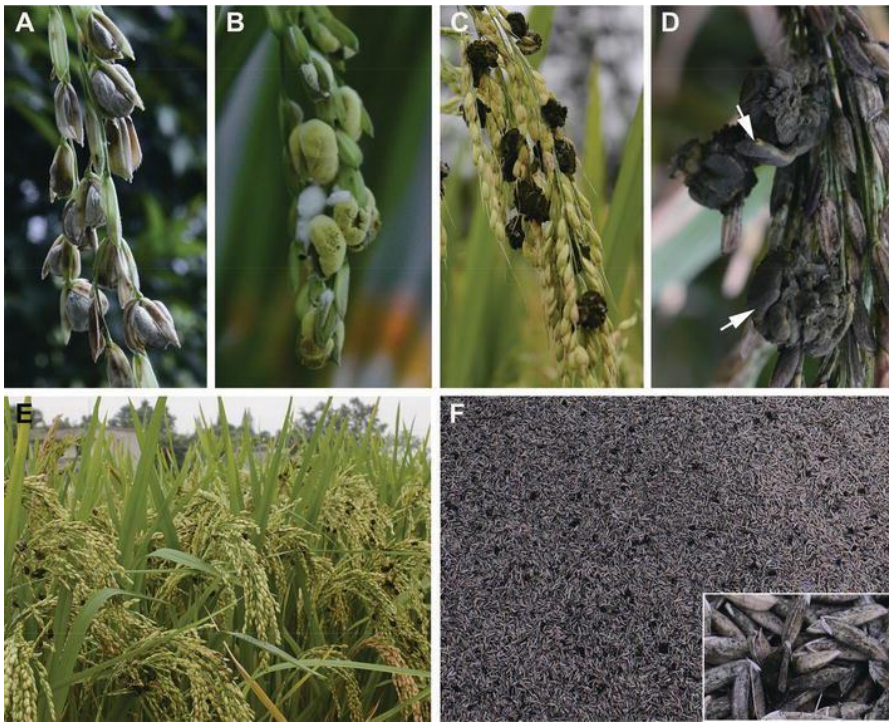
1 Mycotoxins

2 Spore ball

3 Chlamydospore

4 Antimitotic cyclic peptides

5 Sclerot



شکل ۳- علائم بیماری سیاهک دروغی برنج در مراحل اولیه، اواسط و اواخر دوره رشد برنج

چرخه زندگی *U. virens* شامل هر دو مرحله جنسی و غیرجنسی است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴). در چرخه جنسی، اسکروتیا که ناشی از دما پایین است، در اواخر پاییز به صورت توپ‌های اسپوری بر روی گیاه برنج شکل می‌گیرد (فن و همکاران، ۲۰۱۶). در فرم غیرجنسی، کلامیدوسپورها با دیواره ضخیم روی سطوح توپ‌های اسپوری شکل می‌گیرند. کلامیدوسپورها به عنوان منابع مهم انتقال این بیماری طی فصول مختلف می‌باشند (یونگ و همکاران، ۲۰۱۸). اگرچه اطلاعات به دست آمده در مورد چرخه حیات *U. virens* افزایش یافته است، ولی همچنان بحث‌هایی در مورد اینکه آیا اسکروتیا یا کلامیدوسپورها مهم‌ترین عامل اولیه در آلودگی مزرعه هستند وجود دارد. به طور کلی یافته‌ها نشان داده است که اسکروتیا و کلامیدوسپورها می‌توانند بیش از ۱۰ ماه در شرایط آزمایشگاهی و یا مزرعه زنده بمانند. زمستان‌گذرانی قارچ در مناطق معتدل به صورت اسکروتیا و کلامیدوسپور است. این اسکروتیا بعد از زمستان‌گذرانی تحت شرایط رطوبت، نور و دمای مناسب تولید استرومای پایدار با سرهای کروی کرده که سرهای استروما در اطراف با پریتیسیوم‌ها احاطه می‌شوند.

آلودگی اولیه عمدتاً توسط آسکوسپوره‌های تولید شده از این پری‌تیس‌یوم‌ها آغاز می‌شود. ثابت شده است آلودگی‌های اولیه اساساً توسط آسکوسپورهایی که توسط اسکروتیا تولید شده‌اند ایجاد می‌شوند. کلامیدوسپورها نقش مهمی در آلودگی‌های ثانویه بازی می‌کنند که بخش مهمی از چرخه بیماری است. چرخه بیماری سیاهک دروغی به این شرح است: مرحله اول) توپ‌های اسپوری بیماری سیاهک دروغین که به صورت اسکروتیا و کلامیدوسپورها هستند بر روی سنبلچه برنج تشکیل می‌شوند.

مرحله دوم) زمستان‌گذرانی در مزرعه

مرحله سوم) اسپورها در بهار وارد خاک می‌شوند.

مرحله چهارم) تشکیل بر روی دانه‌های برنج

مرحله پنجم) رشد و هجوم این اسپورها در ریشه و کلئوپتیل‌ها هنگامی که بذر برنج در حال جوانه‌زنی است. هیف‌ها در بین سلول‌های ریشه‌ها و کلئوپتیل‌ها رشد می‌کنند، اما نمی‌توانند گیاهچه‌های برنج را به صورت سیستمیک آلود کنند. در مقابل ممکن است هیف‌ها بر روی سطح برگ یا غلاف برگ رشد کرده و حتی به پنجه‌های برنج برسند.

مرحله ششم) هیف پاتوژن وارد فضای بین خوشه‌ها گردد و با آلوده کردن سبب تأخیر در مرحله آبستنی<sup>۱</sup> شود.

مرحله هفتم) در این مرحله کنیدی‌ها توسط کلامیدوسپورها و آسکواسپورها توسط اسکروتیا تولید می‌شوند.

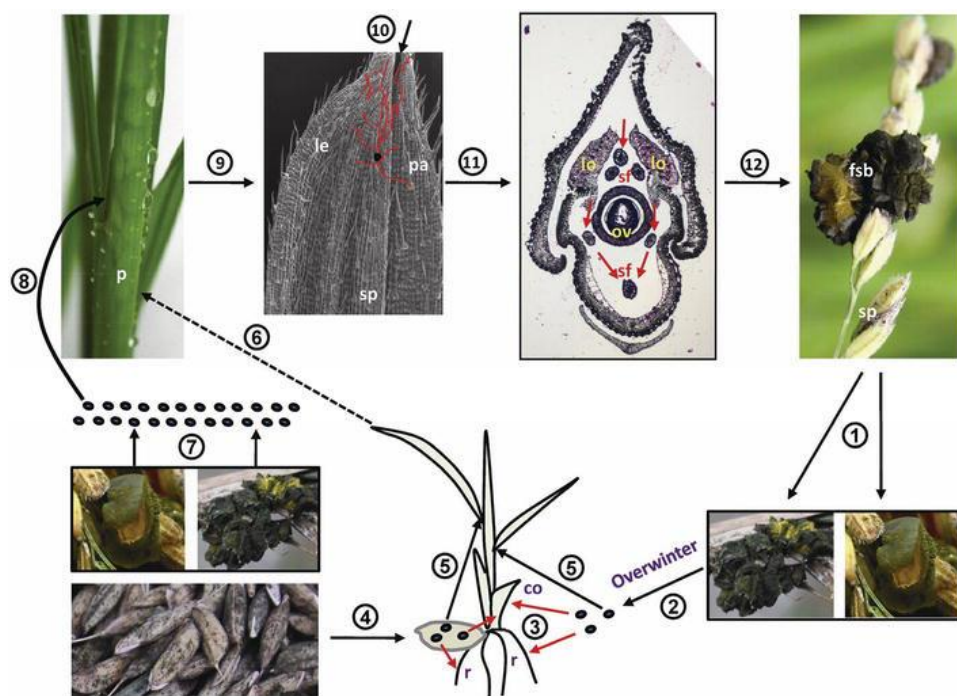
مرحله هشتم) در این مرحله به سنبلچه‌های در حال رشد بر روی خوشه‌های برنج حمله می‌کنند.

مرحله نهم) هیف‌ها ابتدا بر روی سنبلچه‌ها جوانه می‌زنند.

مرحله دهم) هیف‌ها از طریق شکاف بین لما و پال‌ها وارد فضای داخلی سنبلچه می‌گردند.

مرحله یازدهم) رشته‌های پرچم برنج مکان‌های اصلی برای گسترش این پاتوژن‌های بیماری‌زاد می‌باشند.

مرحله دوازدهم) بعد از نفوذ موفقیت‌آمیز در اندام‌های گل، مقدار زیادی از توده‌های قارچ‌ها تشکیل توپ سیاهک دروغی برنج را می‌دهند.



شکل ۴- چرخه بیماری سیاهک دروغی برنج

### ۳-۳- بیماری بلاست برنج<sup>۱</sup>

بیماری بلاست برنج در بیش از ۷۰ کشور جهان گزارش شده است و تقریباً در تمام کشورهایی که برنج کشت می‌شود بیماری بلاست شیوع دارد. این بیماری یکی از مهم‌ترین بیماری‌های برنج بوده و قادر است، خسارت قابل توجهی به زراعت این محصول وارد نماید. اگرچه توسعه و گسترش بیماری به عوامل جوی بستگی دارد، لیکن مصرف روزافزون کودهای شیمیایی خصوصاً کودهای نیتروژن در شدت بیماری سهم بسزایی دارند. میزان خسارت بیماری بلاست در ایران به درستی معلوم نیست. بیماری بلاست برنج دارای تاریخچه‌ای نسبتاً طولانی است که به زمان‌های دور یعنی نیمه اول قرن هفدهم میلادی برمی‌گردد. در ایران بیماری از سال‌ها قبل در استان‌های گیلان و مازندران وجود داشت و در اصطلاح محلی به آن پرسوز یا گل خشک گفته می‌شد. بر اساس گزارش‌های موجود علائم و نمونه‌های بیماری در سال ۱۳۳۰ برای نخستین بار در اطراف لاهیجان مشاهده گردید. هم

1 Blast

اکنون این بیماری در داخل کشور گسترش زیادی دارد و علاوه بر گیلان و مازندران در سایر نقاطی که کشت و کار برنج در آن‌ها رواج دارد، نیز شیوع پیدا کرده است (موسی‌نژاد، ۱۳۸۷).

بیماری بلاست برنج قادر است به تمام قسمت‌های هوایی بوته برنج حمله نماید و نشانه‌های ظاهری آن بیشتر روی برگ‌ها قابل‌رؤیت است. روی برگ‌ها لکه‌های دوکی‌شکل به‌اندازه ۱ تا ۳ میلی‌متر به رنگ آبی متمایل به سبز به وجود می‌آید. این لکه‌ها به‌زودی توسعه‌یافته و به‌هم‌پیوسته و یک لکه بزرگ یک سانتی‌متری با حاشیه قهوه‌ای‌رنگی را تشکیل می‌دهند. مرکز این لکه به رنگ خاکستری متمایل به سبز درآمده و پس از خشک شدن متمایل به زرد کاهی می‌شود. اندازه این لکه‌ها بستگی به شرایط جوی به‌خصوص درجه مقاومت ارقام برنج دارد. بدین ترتیب که در واریته‌های مقاوم و در شرایط نامساعد لکه‌های مزبور کوچک، قهوه‌ای و باریک هستند و لکه‌های بزرگ دوکی‌شکل معمولاً روی ارقام حساس و در شرایط مساعد به وجود می‌آیند. در محل مرکز لکه‌ها و ناحیه خاکستری‌رنگ پوشش قارچی که در واقع اسپوره‌های قارچ عامل بیماری است تشکیل می‌شود. علاوه بر بلاست برگ<sup>۱</sup>، بیماری ممکن است خوشه<sup>۲</sup>، دم خوشه<sup>۳</sup> و گره‌ها<sup>۴</sup> را نیز مورد حمله قرار می‌دهند (شکل ۵). لکه‌هایی که روی ساقه، گره‌ای دم خوشه، تشکیل می‌شوند اغلب گرد هستند. شدیدترین مرحله خسارت بیماری موقعی است که دم خوشه و خوشه بوته مبتلا گردیده و بدین‌جهت دانه‌ها نه بسته و کوچک و پوک باقی می‌مانند و معمولاً به رنگ سبز یا قهوه‌ای هستند (بهداد، ۱۳۸۸). قارچ عامل بیماری بلاست به برگ، غلاف برگ، گره‌های میانی ساقه، گردن خوشه و خوشه حمله نموده و روی هر یک علائمی را ایجاد می‌نماید. شکل و اندازه لکه‌ها روی برگ‌ها با توجه به شرایط محیطی، سن گیاه، سن لکه و میزان مقاومت میزبان متغیر است. روی برگ، لکه‌ها ابتدا به‌صورت نقاط آب جذب کرده ظاهر شده و سپس به‌صورت لوزی شکل که در دو انتهای نوک‌دار است در می‌آیند. شکل و رنگ لکه‌ها روی ارقام مختلف و با توجه به شرایط آب و هوایی و مقدار کود نیتروژن

---

1 Leaf blast

2 Panicle blast

3 Neck blast

4 Node blast

مصرفی تفاوت دارد. لکه‌های موجود روی ارقام حساس و در شرایط مساعد به سرعت بزرگ‌تر شده و به هم متصل می‌شوند و در نتیجه منتهی به سوختگی برگ می‌گردند (ایزدیار، ۱۳۷۷). روی گردن خوشه، لکه‌های قهوه‌ای‌رنگ از محل بند گردن شروع شده و در دو طرف پیشروی می‌نمایند. در این حالت که به بلاست گردن معروف است، گردن خوشه پوسیده شده و خوشه از همین نقطه شکسته و آویزان می‌شود و نهایتاً پس از خشک شدن، در مرحله برداشت از ساقه جدا می‌گردند. علائم بیماری روی گره به صورت لکه‌های خاکستری مایل به سیاه است که معمولاً روی گره‌ها پایینی ساقه، نزدیک سطح ایستابی در مزرعه ظاهر می‌شوند. بروز شدید این علائم و پوسیده شدن گره‌ها منجر به ورس یا خوابیدن ساقه برنج در مزرعه می‌شود. یکی دیگر از قسمت‌های گیاه که مورد حمله قارچ عامل این بیماری قرار می‌گیرد، قسمت یقه گیاه است که Collar blast نامیده می‌شود (شکل ۵). این علائم نسبت به دیگر علائم ذکر شده خیلی کم‌تر در مزارع مشاهده می‌شود (ایزدیار، ۱۳۷۷).



شکل ۵- علائم بیماری بلاست بر روی اجزای گیاه برنج

عامل بیماری بلاست برنج ناشی از قارچ *Pyricularia oryzae* (Cooke) Sacc و فرم جنسی آن *Magnaporthe oryzae* (Hebert) Barr است (کوچ و کوهن، ۲۰۰۲). عامل بیماری زمستان را به صورت مسلیوم یا کنیدی در بقایای گیاه آلوده و یا در پوسته بذر سپری می‌کند. همچنین ممکن است این قارچ زمستان را روی بعضی از غلات یا علف‌های هرز این خانواده بگذراند. در فصل رویش برنج وقتی هوا از نظر رطوبت و حرارت مناسب باشد، قارچ تولید اسپورهای فراوانی می‌کند، انتشار اسپورها به کمک باد صورت می‌گیرد. عامل بیماری حتی ممکن است همواره با بذر یا کلش یا پوسته‌های برنج به مسافت دور انتشار یابد. اسپورهای قارچ در حرارت ۲۵ تا ۲۸ درجه سلسیوس و ۹۳ درصد رطوبت نسبی هوا تشکیل می‌شوند. اگر رطوبت نسبی هوا کمتر از ۸۸ درصد باشد قارچ قادر به تولید اسپور نخواهد بود. به همین دلیل بیماری در سایه درختان به علت کمی تابش خورشید و بالا بودن رطوبت نسبی آن در محل از شدت بیش‌تری برخوردار است. همچنین تراکم بوته‌ها در واحد سطح و زیاده‌روی در مصرف کودهای نیتروژن سبب تشدید بیماری بلاست می‌شود. در نواحی استوایی کنیدیومها در تمام سال در هوا وجود دارد. قارچ کنیدیوم‌های خود را در رطوبت نسبی بالای ۹۰ درصد یا بیش‌تر تولید می‌کند. کنیدیومها در هوا آزاد شده و در صورت پایین آمدن روی برنج با مواد چسبنده‌ای که در انتها تولید می‌کنند محکم به آن می‌چسبند. هنگامی که سطح برگ و ساقه برنج خیس باشد کنیدیوم تندش می‌یابد و لوله تندش تولید چنگک می‌کند که آن طریق قارچ در سطوح گیاه نفوذ می‌کند یا در روزنه‌ها وارد می‌شود. تولید و تجمع ملانین در سلول‌های دیواره چنگک لازمه آلودگی موفقیت‌آمیز است. گیاه برنج و برگ‌ها جوان از بافت‌های مسن حساس‌تر هستند. در دمای بهینه لکه‌های جدید بی‌شماری طی چهار تا پنج روز ظاهر می‌شوند و در هوای خیس یا با رطوبت نسبی بالا کنیدیومهای جدید چند ساعت بعد از ظاهر شدن لکه‌ها تولید می‌شوند این روند تا چند روز ادامه می‌یابد و بیش‌تر کنیدیومها بین نیمه‌شب تا طلوع خورشید رها می‌شوند. قارچ عامل این بیماری که زمستان را به صورت هیف در بقایای گیاهی سپری می‌کند و در اواخر خردادماه با مساعد شدن دمای محیط، کنیدی‌های فراوانی تولید می‌کند که به آسانی از کنیدیوفرها جدا شده و روی برگ‌های جوان گیاه برنج مستقر می‌شوند. کنیدی‌ها با جذب آب جوانه‌زده و با تولید آپروسوریوم در بافت برگ نفوذ می‌کنند. اگر شرایط جهت رشد و

تکثیر بیمارگرها فراهم باشد در مدت چهار روز پس از استقرار کنیدی‌ها مجدداً از روی لکه‌ها کنیدی‌ها ظاهر می‌شوند که می‌توانند چرخه بعدی بیماری را آغاز کرده و بیماری را گسترش می‌دهد. کنیدیوفورها استوانه‌ای شکل و به طول ۶۰ تا ۱۲۰ میکرومتر هستند که در قسمت قاعده کمی ضخیم می‌باشند. تعداد ۲ تا ۴ دیواره عرضی در طول آن‌ها وجود دارد که در قسمت قاعده به خوبی مشخص می‌شود ولی در قسمت‌های بالایی نامشخص است.

#### ۴-۳- بیماری پوسیدگی ریشه و طوقه<sup>۱</sup>

بیماری پوسیدگی ریشه و طوقه برنج ناشی از یکی از مهم‌ترین بیماری‌های این محصول در مناطق برنج‌کاری سراسر دنیا است و در کشور ایران نیز شیوع زیادی دارد (صارمی، ۱۳۸۴). این بیماری به‌طور گسترده در برنج‌کاری‌های مناطق حاره و معتدله جهان پراکنده است و به نام‌های مختلف باکانه<sup>۲</sup>، قدکشیدگی، سرسفیدی در کشورهای مختلف معروف است. این بیماری اولین بار در سال ۱۹۸۱ توسط فوجی کوری در ژاپن گزارش شد و در سال ۱۹۱۹ نیز در تایوان مشاهده گردید. بیماری پوسیدگی طوقه و ریشه در ایران اولین بار در سال ۱۳۴۳ در اطراف فومن گزارش شده است. در حال حاضر این بیماری در تمام نواحی گیلان و بعضی از مناطق مازندران گسترش دارد و در بعضی از مناطق مانند آستارا، اصفهان و فارس نیز گزارش شده است (بهداد، ۱۳۸۸).

علائم این بیماری مختص به مرحله خاصی از طول دوره‌ی رویشی گیاه نیست و از خزانه تا شالیزار و حتی مرحله تشکیل خوشه قابل‌رؤیت است. قارچ عامل بیماری هم‌زمان با جوانه‌زنی بذور از بذور آلوده شروع به رشد نموده و به‌صورت پوشش میسلیومی همراه با کنیدیوم‌های فراوان در اطراف جوانه‌ها و ریشه‌های اولیه رشد می‌نماید که به‌خوبی قابل‌مشاهده است (شکل ۶). بیماری پوسیدگی ریشه و طوقه برنج موجب پوسیدگی ریشه می‌شود و مهم‌ترین علائم آن به‌صورت پوسیدگی و از بین رفتن ریشه گیاه، سفید شدن خوشه‌ها و پوکی دانه ظاهر می‌شود. مرگ گیاهچه در مرحله اولیه، کاهش و خشک شدن برگ‌ها در اواخر آلودگی صورت می‌گیرد. دانه‌ها هنگام بلوغ خالی و عقیم می‌شوند (کاروف و همکاران، ۲۰۰۹). نشانه‌های این بیماری در خزانه و در مزرعه متفاوت و بدین ترتیب

1 Root rot and crown rot

2 Bakanae

می‌باشد که در خزانه بعضی از نشاها زرد، طویل، باریک و قبل از نشاکاری از بین می‌روند. عده‌ای نیز رشدشان متوقف و رنگ اصلی خود را از دست داده ولی در خزانه نمی‌میرند و بالاخره برخی از نشاهای آلوده ظاهراً سالم باقی‌مانده و تفاوتی با نشاهای سالم نشان نمی‌دهند ولی پس از نشاکاری از بین می‌روند. به‌طور کلی مرگ بوته‌ها در سطح خزانه به‌طور پراکنده بوده و به‌صورت لکه‌های مشخصی نیست. نشاهایی که در خزانه نشانه‌های بیماری از خود نشان نداده باشند، در مزرعه کم‌کم رنگ طبیعی خود را از دست داده و به‌رنگ سبز روشن یا متمایل به زرد در می‌آیند. بعد از مدتی بهترین و مشخص‌ترین نشانه بیماری رشد سریع و باریک شدن بعضی از بوته‌ها است که به‌تدریج به تعداد آن‌ها افزوده می‌شود. بوته‌های آلوده تقریباً ۲۰-۱۵ سانتی‌متر بلندتر از بوته‌های سالم بوده و بدون آنکه وارد مزرعه شویم از دور بوته‌های مبتلا نمایان می‌باشند. سایر نشانه‌های بیماری در مزرعه بدین ترتیب بوده که حاشیه برگ‌های مجاور خوشه‌دهی قهوه‌ای‌رنگ شده و به‌طرف برگ‌های پایینی پیشروی می‌کند و به‌جز رگبرگ اصلی تمام سطح برگ قهوه‌ای می‌شود. برگ‌های مجاور طوقه کاملاً لوله و خشک می‌گردد. طوقه به‌رنگ سیاه درآمده و در بند قهوه‌ای تیره در می‌آیند. این قارچ میکوتوکسین‌هایی تولید می‌کند که سلامت انسان و دام را تهدید می‌کند. افزایش زاویه بین برگ‌های انتهایی با محور ساقه و ایجاد ریشک‌های نابجا از بندهای بالای طوقه از علائم دیگر این بیماری است. مرگ ناگهانی پنجه‌ها در زمان ظهور خوشه‌ها و یا پس از ظهور آن ممکن است اتفاق بیفتد. در این حالت گیاه فرصت زرد شدن نیافته و خشک می‌شوند. بعضی مواقع نیز بوته‌های آلوده تا مرحله تکاملی باقی می‌مانند ولی دارای چندین خوشه‌چه حامل بذر توخالی هستند، یعنی گیاهان زنده خوشه خالی دارند.



شکل ۶- علائم بیماری پوسیدگی ریشه و طوقه

بررسی‌های متعدد روی کلنی‌های قارچ عامل بیماری در آزمایشگاه نشان داده است که گونه عامل بیماری کلامیدوسپور تولید نمی‌کند ولی فرم جنسی ایجاد می‌نماید. فرم جنسی بیمارگر آسکوکارپ حاوی آسک و آسکوسکپور تشکیل می‌دهد ولی به‌ندرت تولید می‌گردد و فقط در مناطق نسبتاً گرم مشاهده می‌شود. فرم جنسی بیماری گونه *Gibberella fujikurii* (Sawada) بوده که حاوی آسک‌های کشیده است. اصولاً یک ارتباط بین فرم جنسی عامل بیماری و ترشح جیبرلین به‌عنوان یک هورمون تنظیم‌کننده رشد وجود دارد. هورمون جیبرلین باعث طویل شدن بوته‌های تعداد زیادی از گیاهان از جمله برنج می‌شود و رابطه‌ای با طویل شدن بعضی از بوته‌های آلوده خواهد داشت (صارمی، ۱۳۸۴). بیماری پوسیدگی ریشه و طوقه برنج، بذر زاد بوده و انتقال اولیه آن از طریق بذر است. آلودگی بذر قبل از برداشت و از طریق آسکوسپورهای هوازاد و کنیدیوم‌هایی که بذرها را در هنگام برداشت آلوده می‌کند صورت می‌گیرد. این قارچ بذر را از داخل آلوده نمی‌کند. ممکن است در خاک *G. fujikurii* در بقایای آلوده گیاهی توسط هیف‌های با دیواره ضخیم یا ماکروکنیدیوم دوام بیاورد ولی دوره زندگی نسبتاً کوتاهی در خاک دارد. این قارچ گیاهان را از طریق ریشه‌ها یا طوقه، آلوده کرده به‌طور سیستماتیک در آن رشد می‌کند ولی خوشه را به‌طور سیستماتیک مبتلا نمی‌سازد. همچنین حرارت مناسب بیماری ۳۵-۳۰ درجه سلسیوس است. اسیدیته مناسب برای تولید جیبرلین ۴-۳ است که سبب طویل شدن بوته‌ها می‌شود.



## **فصل چهارم**

**اثر تنش‌های محیطی بر جوانه‌زنی  
بذر برنج**



#### ۱-۴-مقدمه

جوانه‌زنی بذر روندی از حیات است که بقای گونه‌های گیاهی را تضمین می‌کند. آغاز جوانه‌زنی نیازمند تأمین شرایط خاصی می‌باشد. برای جوانه‌زنی بذر، گیاهچه باید زنده و قادر به جوانه‌زنی و عاری از مواد بازدارنده جوانه‌زنی باشد. سپس بذر باید در شرایط مناسب محیطی نظیر رطوبت کافی، اکسیژن، دمای مناسب و در برخی موارد نور کشت شود. عوامل محرک بیرونی شامل مجموعه‌ای پیچیده از تنش‌های زیستی و غیرزیستی هستند که گیاه باید با استفاده از مکانیسم‌های جبرانی خود، قادر به محدود یا اصلاح کردن اثرات چنین تنش‌هایی باشد. تنش‌های غیرزیستی مهم‌ترین عوامل محیطی هستند که با تأثیر قرار دادن فرایندهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی نقش قابل توجهی در تعیین پتانسیل عملکرد و تولید گیاهان دارند. این مسئله با کاهش زمین‌های قابل کشت و افزایش جمعیت، جدی‌تر نیز می‌شود. گیاهان در طول دوران حیات همواره با تنش‌های غیرزیستی متعددی نظیر خشکی، شوری، دماهای بالا و پایین، سمیت فلزات سنگین و غرقابی روبرو شده می‌شوند که موجب چالش‌های جدی در رشد، متابولیسم و تولید می‌گردد (نامور و همکاران، ۱۳۹۶). به‌طور کلی تنش‌های غیر زیستی چالش‌های اصلی در در زراعت برنج هستند. این تنش‌ها اغلب منجر به انواع گوناگونی از آسیب‌ها می‌گردند و واکنش‌های سلولی و مسیرهای سیگنال متفاوتی را فعال می‌کنند.

#### ۲-۴-بررسی تأثیر انواع تنش‌های محیطی بر روی جوانه‌زنی بذر برنج

باوجود این‌که برنج در محدوده وسیعی از شرایط آب و هوایی و ارتفاع از سطح دریا مورد کشت و کار قرار می‌گیرد ولی این گیاه نسبت به تغییرات شرایط محیطی آسیب‌پذیر است (خدابنده، ۱۳۹۲). نتایج مطالعات متعددی نشان می‌دهد که اگرچه پتانسیل رشد و عملکرد گیاهان به عوامل ژنتیکی وابسته است، ولی برای دستیابی به حداکثر پتانسیل تولید،

متغیرهای محیطی از قبیل شرایط آب و هوایی بر رشد و نمو و عملکرد برنج تأثیرگذار می‌باشند (لئو و همکاران، ۲۰۱۳). گیاهان زراعی همواره در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند. به‌طوری‌که هر ساله بخش قابل‌توجهی از عملکرد محصولات زراعی در اثر تأثیرات منفی تنش‌ها کاهش می‌یابد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۰).

یکی از عوامل محدودکننده زراعت برنج در کشور تنش‌های محیطی در دوره رشد گیاه برنج به‌خصوص در اوایل دوره رشد است که سبب اختلالات فیزیولوژیکی شده و منجر به کاهش جوانه‌زنی و به‌تبع آن کاهش عملکرد می‌شود. جوانه‌زنی از مراحل حساس در چرخه رشد برنج به‌حساب می‌آید، زیرا این پدیده نقش عمده‌ای را در تعیین تراکم نهایی گیاه از خود به‌جا می‌گذارد. جوانه‌زنی بذر شامل شروع فعالیت متابولیکی سریع، رشد جنین، خروج ریشه‌چه و سرانجام ظهور اندام‌های هوایی گیاه است. بسیاری از عوامل محیطی در پیشبرد یا بازداشتن جوانه‌زنی بذر گیاهان زراعی شناخته‌شده است. جوانه‌زنی بذر از مراحل و مهم حیاتی در چرخه گیاه است که بر رشد گیاهچه، بقا و پویایی جمعیت تأثیرگذار است. این پدیده با جذب آب توسط بذر شروع و با طویل شدن محور جنین از پوشش بذر به اتمام می‌رسد. جوانه‌زنی و سبز شدن یک فرآیند پیچیده فیزیولوژیک است که توسط فاکتورهای ژنتیکی و محیطی نظیر نور، دما، شوری، پتانسیل اسمزی خاک، pH و عمق کاشت تنظیم می‌شود (بسکین و بسکین، ۲۰۰۱).

حدود ۲۰۰ میلیون تن از محصول برنج در اثر تنش‌های محیطی، بیماری و آفات از بین می‌رود (بومن، ۲۰۰۱). لذا انجام تحقیقات درزمینه‌ی انواع تنش‌ها و راه‌های مقابله با آن در گیاه برنج ضروری به نظر می‌رسد. در بررسی حاضر، تأثیر تنش‌های مختلف در مرحله‌ی جوانه‌زنی بذر برنج و مکانیسم‌های فیزیولوژیکی آن، همچنین راه‌های فرار از تنش مورد بررسی قرار گرفته است.

مقاومت به تنش در تمام مراحل زندگی گیاه اهمیت دارد و بدیهی است که اولین مرحله، مرحله‌ی جوانه‌زنی است و از آنجا که عملکرد از نظر کمی و کیفی به میزان و درصد سبز شدن و همچنین یکنواختی آن وابسته است، مرحله‌ی جوانه‌زنی گیاه، مرحله‌ی حساس و مهمی است که می‌تواند با استقرار مطلوب گیاهچه‌ها در فرآیند تولید نقش مهمی ایفا نماید (فیل، ۱۹۹۵). این امر به میزان زیادی به ساختارهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بذر

بستگی دارد و برای دستیابی به استقرار مطلوب گیاهچه‌ها، بذوری با بنیه‌ی بالا مورد نیاز می‌باشند. هر گیاه و رقمی که بتواند در این مرحله مقاومت بیشتری نشان دهد خواهد توانست سیکل اول رویش را موفق‌تر پشت سر بگذراند و تراکم کافی در واحد سطح تولید کند (کالی است، ۲۰۰۶). ازجمله تنش‌های محیطی تأثیرگذار بر در مراحل اولیه رشد برنج، تنش سرما، شوری، خشکی، غرقابی و سمیت فلزات است که در ذیل به آن‌ها پرداخته‌شده است.

### ۳-۴- تنش سرما

برنج محصولی حساس به سرما است که دمای پایین به‌طور خاصی باعث کاهش محصول آن می‌شود (حسینی و همکاران، ۲۰۰۷؛ ولی زاده، ۱۹۹۸؛ عقیل و همکاران، ۲۰۰۸). دمای پایین یا تنش سرما یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی تأثیرگذار بر رشد برنج به‌ویژه در مناطق معتدل و مرتفع است (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ زانگ و همکاران، ۲۰۱۴). آسیب گیاه برنج ناشی از دمای پایین در مناطق گرمسیری و معتدل گزارش گردیده است و این آسیب یکی از بزرگ‌ترین مشکلات تولید برنج در این مناطق است (کراسچ و وایز، ۲۰۰۰؛ لی، ۲۰۰۱). میزان خسارت ناشی از تنش سرما در برنج معمولاً به مرحله‌ی رشدی، شدت سرما و طول دوره‌ی سرما بستگی دارد (کروز و همکاران، ۲۰۱۳).

#### ۱-۳-۴- اثرات تنش سرما در مرحله‌ی جوانه‌زنی

سرما در مرحله‌ی جوانه‌زنی باعث کاهش درصد جوانه‌زنی در ارقام مختلف برنج می‌شود. دما پایین، باعث کاهش میزان جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی در گیاه برنج می‌شود (بوداپاتی و همکاران، ۲۰۰۹؛ کروز و همکاران، ۲۰۰۶؛ کروز و میلچ، ۲۰۰۴). متوسط دامنهی مطلوب برای جوانه‌زنی و رشد اولیه‌ی گیاهچه‌های برنج بین ۲۰ تا ۳۵ درجه‌ی سلسیوس است، تنش سرما در این زمان موجب جوانه‌زنی ضعیف، تأخیر در رشد گیاهچه‌ها و یا مرگ گیاهچه‌ها در خزانه و درنهایت عدم رسیدگی یکنواخت می‌گردد (آندایا و همکاران، ۲۰۰۳؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۹). محققان گزارش کردند که میزان جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌های برنج در مراحل اولیه‌ی رشد و نمو در دماهای پایین‌تر از ۱۵ درجه‌ی سلسیوس کاهش می‌یابد که منجر به افزایش غیریکنواختی مزرعه در اواخر فصل رشد و کاهش عملکرد می‌شود (لوئی و

همکاران، ۲۰۰۷). دمای پایین در مرحله‌ی گیاهچه می‌تواند با استقرار ضعیف گیاهچه‌ها و در نتیجه کاهش جمعیت گیاهی سبب کاهش عملکرد برنج شود (لثو و همکاران، ۲۰۰۷). در سال‌های اخیر، به‌نژادگران به‌طور موفقیت‌آمیزی از قدرت گیاهچه به‌عنوان معیار اصلی انتخاب جهت بهبود تحمل به تنش دمای پایین و بالا در برخی گیاهان استفاده کرده‌اند (عبدالخلیق و همکاران، ۲۰۱۰). رادفر (۲۰۰۴) با بررسی در مرحله‌ی جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای بیست رقم بومی برنج نشان داد که در مرحله‌ی جوانه‌زنی، یکسری از ارقام نظیر گرده‌ی محلی، کوهرنگ، سازندگی و زاینده‌رود همانند رقم اوندا تحمل بالایی را به تنش سرما نشان دادند. فارل و همکاران (۲۰۰۱) در آزمایشی بر روی گیاهچه‌های برنج، یک تفاوت ۵ برابری در میانگین زیست‌توده‌ی گیاهچه بین تیمارهای دمای کم‌وزیاد مشاهده کردند. سلیمانی و همکاران (۲۰۱۲) نیز کاهش معنی‌داری در قدرت گیاهچه‌های تعدادی از ارقام برنج بر اثر تنش دمای پایین مشاهده کردند. قربانی و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش دادند که وزن خشک ریشه‌چه، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه‌ی ارقام برنج نعمت و اوندا تحت تنش سرمای ۱۵ و ۱۰ درجه‌ی سلسیوس با کاهش همراه بود.

## ۲-۳-۴- مکانیسم‌های فیزیولوژیکی بذر نسبت به تنش سرما و راه‌های مقابله با آن

جوشی و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که در زمان مواجهه‌شدن ریشه و اندام هوایی نهال گیاهان همیشه سبز با تنش سرما، گیاه علائم تنش کمبود آب را از خود نشان می‌دهد که با کاهش هدایت آبی ریشه آغاز و با کاهش شدید در پتانسیل آب و آماس برگ ادامه می‌یابد، روزه‌ها بسته‌شده و کاهش تعرق سبب کاهش هدایت آبی ریشه گردیده و در نتیجه تنش آبی ناشی از سرمازدگی تشدید می‌شود. اغلب گیاهان حساس به سرما مانند برنج، وقتی در معرض دمای پایین قرار می‌گیرند، نشانه‌های تنش کمبود آب در آن‌ها ظاهر می‌شود (پتانسیل پایین آب و آماس برگ) که به‌عنوان تنش آبی ناشی از سرمازدگی شناخته می‌شود. برخی از گیاهان حساس به سرما می‌توانند به‌طور کامل یا تا حدودی خود را نسبت به این تنش آبی سازگار نمایند (بابو و همکاران، ۲۰۰۱؛ فرانکوایس، ۲۰۰۷؛ هیرویوکی و همکاران، ۲۰۰۴).

تغییرات آناتومیک می‌تواند در گیاهانی که بر اثر تنش سرما دچار کمبود آب شده‌اند شکل گیرد. برخی از این تغییرات شامل افزایش رسوبات چوب یا چوب‌پنبه در سلول‌های پوستی، آندودرم و لایه‌های سلولی که در مجاورت کورتکس است. این چنین تغییراتی، از خشک شدن و مرگ سلول‌های کورتکس جلوگیری می‌کنند (هیرویوکی و همکاران، ۲۰۰۴؛ امانوئل و ویلسون، ۱۹۸۲؛ مستأجران و رحیمی، ۲۰۰۸).

در بافت‌هایی که در شرایط کم‌آبی قرار می‌گیرند، معمولاً اندازه‌ی سلول‌ها کاهش یافته و میزان بافت‌های آوندی و همچنین ضخامت دیواره‌ی سلولی (چوبی شدن) در آن‌ها افزایش می‌یابد. در چنین شرایطی، فرآیندهای مربوط به طویل شدن سلول‌ها نسبت به فرآیندهای تقسیم سلولی از آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار هستند (باروچ و مریدو، ۱۹۹۵؛ بیسوامبهر، ۱۹۶۵؛ کلایدیو و آندره، ۱۹۹۸). از اصلی‌ترین مقاومت‌های آپوپلاستی می‌توان به آندودرم و اگزودرم اشاره کرد که به ترتیب مرزهای داخلی و خارجی کورتکس ریشه را تشکیل می‌دهند. در ریشه‌ی گیاه برنج برخلاف سایر گیاهان، اگزودرم تأثیر چندانی بر هدایت آبی ریشه ندارد (کلایدیو و آندره، ۱۹۹۸). در شرایط کم‌آبی، هدایت آبی در آوند چوبی تا حد زیادی کاهش می‌یابد (کلایدیو و آندره، ۱۹۹۸؛ جاستین و آرم‌استرانگ، ۱۹۸۷). علت این پدیده، انقطاع جریان در آوندهای چوبی است. هدایت آبی پایین در آوندهای چوبی گیاهان، ظاهراً نقش مهمی در نگهداری آب در شرایط تنش ایفا می‌کند، زیرا به این روش از خروج آب از گیاه در اثر کمبود آب در هوا جلوگیری به عمل می‌آید (کلایدیو و آندره، ۱۹۹۸).

همچنین ایجاد تغییرات مورفولوژیکی مانند پوشیده شدن دیواره‌ی سلولی با لیگنین، به‌منظور ایجاد پایداری مکانیکی در ساختمان ریشه صورت می‌گیرد. اتصالات مستحکم لیگنین به فیبریل‌های سلولزی باعث افزایش ویژگی‌های استحکامی دیواره‌ی سلولی می‌شود (بابو و همکاران، ۲۰۰۱؛ مستأجران و رحیمی، ۲۰۰۸؛ کلایدیو و آندره، ۱۹۹۸). بر طبق گزارش‌های ون فیل (۱۹۴۲)، توسعه‌ی آندودرم (شامل چوب‌پنبه‌ای شدن و ضخیم شدن دیواره) در گونه‌های مختلف *Allium*، بیشتر در زمانی دیده می‌شود که حالت متناوبی از خشکی و رطوبت وجود داشته باشد. وجود یک آندودرم ضخیم در شرایط سرما، می‌تواند در جلوگیری از درهم‌ریختگی و جمع شدن بخش‌های داخلی ریشه تأثیرگذار باشد. بعلاوه، این ساختار از بافت‌های استوانه‌ی مرکزی (stelar) در برابر خروج آب و خشک شدن محافظت

می‌کند و همچنین ضخیم شدن ثانویه دیواره سلولی یعنی افزایش رسوبات چوب‌پنبه‌ای و چوبی، از سرمازدگی ریشه‌ها جلوگیری می‌نماید (بابو و همکاران، ۲۰۰۱؛ کلایدیو و آندره، ۱۹۹۸؛ جاستین و آرم‌استرانگ، ۱۹۸۷). همچنین دمای پایین می‌تواند مراحل نمو و فتوسنتز برنج را تحت تأثیر قرار دهد و با کاهش میزان کربوهیدرات‌ها، رشد آن را کاهش و در نتیجه به‌طور غیرمستقیم باعث کاهش عملکرد شود (حسیبی و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج تحقیقات نشان داده است که محافظت‌کننده‌های اسمزی به‌طور معنی‌داری تحمل نسبت به تنش دمای پایین را در برنج افزایش داده و می‌توانند رشد ریشه و توسعه‌ی اندام‌های هوایی را تا ۵۰ درصد در شرایط تنش دمای پایین (۱۰ و ۱۶ درجه‌ی سلسیوس به ترتیب شب و روز) افزایش دهند (حسیبی و همکاران، ۲۰۱۰).

اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت از بافت‌های تحت تنش سرما می‌تواند معیار قابل قبولی برای سنجش مقاومت به سرما باشد (ناظمی و همکاران، ۲۰۱۰). برای اولین بار، دکستر و همکاران در سال ۱۹۳۲ از روش هدایت الکتریکی برای بررسی وضعیت تحمل به سرمای طوقه‌ی گندم در زمستان و در شرایط مزرعه استفاده کرده‌اند (ناظمی و همکاران، ۲۰۱۰). معمولاً تنش دمای پایین، هدایت الکترولیتی ریشه را کاهش می‌دهد و از جذب آب توسط ریشه‌ها جلوگیری می‌کند. با توجه به اینکه ریشه اولین مکان برای جذب آب است، انتظار می‌رود که با کاهش نفوذپذیری آب توسط ریشه بر اثر دمای پایین، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاه نیز کاهش یابد (آحامید و همکاران، ۲۰۱۲).

محققان بیان نموده‌اند که تنش سرمایی موجب آسیب رساندن به غشای سلولی و تغییر وضعیت غشاء از حالت کریستال مایع به حالت جامد-ژل می‌گردد؛ بنابراین اختلال در فعالیت غشاهای سلولی در اثر تنش سرما باعث افزایش نشت محلول‌های سلولی نظیر پتاسیم، آمینواسیدها، کربوهیدرات‌ها و در مجموع الکترولیت‌های مختلف به خارج از سلول می‌شود (ناظمی و همکاران، ۲۰۱۰).

#### ۴-۴- تنش شوری

جوانه‌زنی یکی از مراحل حساس در چرخه‌ی رشدی گیاهان به حساب می‌آید، زیرا جوانه‌زنی نقش عمده‌ای در تعیین تراکم نهایی گیاه از خود به جا می‌گذارد. عدم جوانه‌زنی گیاهان در خاک‌های شور، اغلب در اثر تجمع زیاد نمک در ناحیه‌ی کاشت بذر، به دلیل

حرکت رو به بالای محلول خاک و متعاقب آن، وقوع تجمع نمک در سطح خاک است (برن‌استین و همکاران، ۱۹۷۴). در شرایط تنش شوری و رطوبتی، گیاهچه‌های برنج در مرحله‌ی ۱ تا ۲ برگ‌ی به شوری بسیار حساس می‌باشند (فلاورز و یئو، ۱۹۸۸؛ لی و همکاران، ۲۰۰۷؛ مرادی، ۲۰۰۲). فلاورز و یئو (۱۹۸۸) نشان دادند که گیاهچه‌های جوان‌تر نسبت به گیاهچه‌های مسن‌تر به شوری حساس‌ترند. مانز (۲۰۰۲) گزارش کرد که تنش شوری، رشد گیاهچه و سرعت جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد. او بیان کرد که بررسی تنش شوری روی طول ریشه و اندام هوایی، روشی است که تحمل به شوری را در اکثر محصولات زراعی نشان می‌دهد.

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 اوایل مراحل گیاهچه‌ای و گلدهی به‌طور بالایی به تنش شوری حساس است درحالی‌که در مراحل جوانه‌زنی، 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 به سرعت گیاهچه آن از بین می‌رود. گیاهچه‌های نیرومند 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 اسمزی و یونی بر رشد گیاهچه اثر می‌گذارد. همانند خشکی، شوری نیز ساختار و عملکرد غشای سلولی را تخریب می‌کند و از طریق تولید بیش‌ازحد اکسیژن واکنشی<sup>۱</sup> (ROS) به اسیدنوکلیک و پروتئین آسیب می‌زند. گیاهچه‌های رشد یافته از بذرهای پرایم، در رفع خسارت ناشی از ROS مقاوم‌تر می‌باشند (ابراهیم، ۲۰۱۶). افضل و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که اسموپرایمینگ با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم و پرایمینگ ردوکس با پراکسید هیدروژن ۵۰ میلی‌مولار هر یک به مدت ۳۶ ساعت تحمل به تنش شوری را در دو واریته‌ی برنج باسماتی شاهین (متحمل به شوری) و باسماتی-۲۰۰۰ (حساس به شوری) بهبود بخشیدند. درصد و سرعت جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه در این دو رقم متحمل و حساس به شوری در مقایسه با شرایط اُسموپرایمینگ و بدون پرایمینگ بیشتر تحت تسلط اُسموپرایمینگ بودند.

1 Reactive Oxygen Species

آن‌ها همچنین مشاهده کردند پرایمینگ ردوکس در مقایسه با هیدروپرایمینگ و تیمار شاهد، عملکرد پایین‌تری نسبت به بهبود رشد گیاهچه داشت. چونتهابوری و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده کردند که پرایمینگ شیمیایی با اسپرمیدین (یک میلی‌مولار) مؤثرتر از پرایمینگ هورمونی با جیبرلیک اسید ۰/۴۳ میلی‌مولار در دو رقم متحمل و حساس به شوری بود. گیاهچه‌های رشد یافته از بذرهای پرایم، به‌طور مؤثرتری مانع از فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانت شدند. گیاهچه‌های رشد یافته از بذرهای پرایم، غلظت‌های کمتری از سدیم و پراکسید هیدروژن و مقادیر بیشتری از پتاسیم و پرولین را در برگ‌ها ذخیره کردند. پرایمینگ در ارقام حساس به شوری در مقایسه با ارقام متحمل به شوری تأثیر سودمندتری داشت (چونتهابوری و همکاران، ۲۰۱۴). پرایمینگ بذر با پلی‌آمین‌ها مانند اسپرمین<sup>۱</sup> (SPM) و اسپرمیدین<sup>۲</sup> (SPD)، از طریق ژن‌های کلیدی کنترل‌کننده‌ی سیستم‌های آنتی‌اکسیدانت، بیوسنتز اسمولیت و آب‌سزیک اسید، انتقال یون، ژن‌های فراوان اواخر دوره‌ی جنینی، ژن‌های فتوسنتزی، آنزیم‌های متابولیک پلی‌آمین و چندین فاکتور رونویسی که با تحمل شوری در هر دو وارسته‌ی حساس به شوری IR64 و وارسته‌های متحمل به شوری Nonabokra مرتبط بودند را بهبود دادند (پائول و رویچهاندوری، ۲۰۱۷). مشخص شده است که پلی‌آمین‌ها، بهترین مواد برای استفاده به‌عنوان عامل پرایمینگ بذر برای بهبود تحمل تنش شوری در برنج بودند (یو و همکاران، ۲۰۱۶).

سوجاتا و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای بر روی برنج در شوری‌های ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد نمک طعام نشان دادند که درصد جوانه‌زنی و میزان رشد ریشه و ساقه کاهش می‌یابد. آن‌ها توانایی بذر، وزن خشک گیاهچه و نسبت ریشه به ساقه را به‌عنوان صفات مهم در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل معرفی نمودند. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور با افزایش شوری کاهش می‌یابد (قادری و همکاران، ۱۳۸۱). تحقیقات نسبتاً زیادی که بر روی گیاهان زراعی مختلف انجام شده است بیانگر این واقعیت است که با افزایش شوری، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و همچنین وزن خشک این اندام‌ها و همچنین نسبت ساقه به ریشه به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱).

1 Spermidine

2 Spermidine

## ۴-۴-۱- مکانیسم‌های فیزیولوژیکی بذر نسبت به تنش شوری و راه‌های مقابله با آن

شوری از طریق افزایش فشار اسمزی و به دنبال آن کاهش جذب آب توسط بذور و همچنین از طریق اثرات سمی یون‌های سدیم و کلر، جوانه‌زنی بذور را تحت تأثیر قرار می‌دهد (زینلی و همکاران، ۱۳۸۱). در حال حاضر، استفاده از گیاهان و ارقام مقاوم به شوری یکی از مهم‌ترین روش‌های مؤثر در بهره‌برداری و افزایش عملکرد در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است؛ بنابراین در انتخاب گیاهان باید مقاومت به شوری به‌ویژه در خلال مرحله‌ی جوانه‌زنی و سبز شدن همواره مدنظر باشد. نتایج گزارش ماس و هافمن (۱۹۷۷) حاکی از این است که شوری معادل ۳ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب آستانه‌ی حساسیت و کاهش شدید در بسیاری از صفات مورفولوژیک برنج را نشان می‌دهند و برنج را جزء گیاهان نیمه‌حساس به شوری طبقه‌بندی نموده‌اند؛ اما تحقیقات محققان دیگر نشان از آن است که تأثیر تنش شوری بر برنج با توجه به مرحله‌ی رشدی گیاه متفاوت است، به‌طوری‌که برنج در دو مرحله‌ی حساس از رشد شامل استقرار گیاه و گلدهی به‌شدت به شوری حساسیت نشان می‌دهد (جونز و جونز، ۱۹۸۹). مطالعات دیگر بیان کرده‌اند که برنج در مرحله‌ی جوانه‌زنی مقاوم، مرحله‌ی نشا به‌شدت حساس و دوباره در مرحله‌ی رشد رویشی مقاوم می‌شود و سپس در ادامه در مراحل گرده‌افشانی و باروری حساس و در مرحله‌ی بلوغ و رسیدگی مقاوم می‌گردد (اکبر، ۱۹۸۶).

تنش شوری به شدت بر بهره‌وری برنج اثر می‌گذارد. مقاومت در برابر تنش شوری در برنج ممکن است به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گوناگون از قبیل پراکسیدازها نسبت داده شود (میتال و دوبی، ۱۹۹۱). وئو و همکاران (۲۰۰۵) همچنین چهار ژن را در برنج شناسایی کردند که اعطاکننده‌ی مقاومت در برابر تنش شوری هستند. این ژن‌ها عبارت‌اند از: *Asr1*، *LIP9*، *salT* و *GRP*. کاوازاکی و همکاران (۲۰۰۱) همچنین القای پروتئین‌های ریبوزومی تنش تحت تنش شوری در برنج را گزارش کردند. چن و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که مقاومت در برابر شوری در برنج، ممکن است به‌واسطه‌ی افزایش سطح بیان ژن  $Na^+/H^+$  *antiporter* واکوئلی بهبودیافته شود. چونگ و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که رسوب سیلیکون در ریشه‌های برنج ممکن است به‌واسطه‌ی تقلیل جریان عبوری به کاهش جذب

سدیم کمک کند. در برنج، *OsHKT2* برای کاهش نفوذ  $\text{Na}^+$  که در غلظت‌های بالاتر سدیم خارجی به‌طور بالقوه سمی است به‌سرعت تنظیم کاهشی می‌شود. ژن *SKC1* که در سلول‌های پارانشیمی بیان شده است، به دارا بودن مقاومت به شوری نسبت به نقش آن در هموستازی  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  تحت تنش شوری مربوط بود (رن و همکاران، ۲۰۰۵). در یکی از بررسی‌های اخیر، ارقام برنج همراه با مقاومت بهتر در برابر تنش شوری، فعالیت کاتالاز بالاتر و تجمع پرولین و هیدروژن پراکسید بالاتری را داشتند (چونتابوری و همکاران، ۲۰۱۶). در مطالعه‌ی دیگری، آگاراشی و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند که تجمع پرولین به گیاه کمک می‌کند تا پهنک سبز برگ بزرگ‌تری را تحت تنش شوری تولید کند (پونگ‌پریون و همکاران، ۲۰۰۸). رویچودری و همکاران (۲۰۰۸) به درگیر بودن تولید آنتوسیانین‌ها در مقاومت به شوری در برنج سندیت بخشیدند. در واقع، آنتوسیانین‌ها تحت تنش شوری آسیب اکسیداتیو را کاهش می‌دهند (هاگس و همکاران، ۲۰۰۵) و همچنین به‌واسطه‌ی رفع مسمومیت انواع ROS به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل می‌کنند (کتریدیس و مانتاس، ۲۰۰۶).

#### ۵-۴- تنش خشکی

برنج مصرف‌کننده‌ی اصلی آب‌های شیرین کره‌ی زمین بوده و در حدود ۵۲ درصد از کل آب آبیاری مورد استفاده در آسیا در مزارع برنج مصرف می‌شود. سیستم متداول کشت برنج (نشاکاری در خاک گل خراب‌شده) نیازمند مصرف مقادیر زیادی آب است. کاهش دسترسی به آب شیرین در سطح جهانی، یک تهدید جدی است. در بیش‌تر کشورهای تحت کشت برنج در آسیا، سرانه‌ی فراهمی آب به میزان ۳۴ تا ۷۶ درصد است که این مقدار بین سال‌های ۱۹۵۲ تا ۲۰۲۵ کاهش‌یافته و احتمالاً به میزان ۱۸ تا ۸۸ درصد تا سال ۲۰۵۲ تقلیل خواهد یافت (گلداستین، ۲۰۰۰).

تخمین زده می‌شود که حدود ۲۰۰ میلیون تن از محصول برنج در اثر تنش‌های محیطی، بیماری و آفات از بین می‌رود و تنش خشکی تقریباً در ۵۰ درصد از اراضی برنج دنیا اتفاق می‌افتد (بومن، ۲۰۰۱). خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده‌ی تولید برنج در ۴۰ میلیون هکتار از اراضی زیر کشت برنج در آسیا است (گلداستین، ۲۰۰۰). برنج بیشترین نیاز آبی زراعی را در بین غلات دارد، به‌طوری که تا رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها به حدود ۸ تا ۲۰

هزار مترمکعب و برای تولید یک کیلوگرم ماده‌ی خشک به ۷۰۰ لیتر آب نیاز دارد (کریمی، ۱۹۸۳).

به‌طورکلی، آب یکی از منابع مهم محدودکننده در تولید محصول برنج است (ویال، ۲۰۰۷). این در حالی است که در سطح جهانی، بخش عمده‌ی برنج تولیدی از مزارع غرقاب به دست می‌آید. این مزارع نیاز به آب تازه و کافی دارند و نیاز ماهیانه‌ی آن‌ها به آب گاهی تا ۸۵۰ میلی‌متر هم می‌رسد (امام، ۱۹۹۹).

در سال‌های اخیر، به دلیل کمبود نزولات و کاهش منابع آب جاری، خشکی به‌عنوان مانع جدی برای تولید برنج مطرح است (مرادی و یونسی، ۲۰۰۹). تنش رطوبتی بسیاری از جنبه‌های متابولیسم و رشد را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهد (د و کار، ۱۹۹۵). تحمل به تنش‌های محیطی در مراحل مختلف رشد گیاه برنج از جوانه‌زنی تا رسیدن کامل متفاوت بوده و در مرحله‌ی جوانه‌زنی به تنش خشکی حساس است (لاتس و همکاران، ۱۹۹۵).

#### ۱-۵-۴- اثرات تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذر

یکی از عوامل محدودکننده‌ی استقرار گیاهان، کمبود رطوبت در زمان جوانه‌زنی است (خان، ۱۹۸۰). صالحی‌فر (۲۰۰۹) و سادات اسیلان و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که با افزایش سطوح تنش خشکی، درصد جوانه‌زنی در گیاهان مورد بررسی کاهش یافت. قابلیت دسترسی بذر به آب با کاهش پتانسیل اسمزی و ماتریک کاهش‌یافته و باعث اختلال در جوانه‌زنی بذر می‌شود (گیل و همکاران، ۲۰۰۲؛ ویلنبورگ و همکاران، ۲۰۰۵). بررسی تأثیر تنش خشکی بر سرعت و درصد جوانه‌زنی بسیاری از گیاهان نشان داده است که تنش خشکی در مرحله‌ی جوانه‌زنی، آزمونی در جهت ارزیابی تحمل به تنش در بسیاری گونه‌هاست، به‌طوری که تنش خشکی باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود (گولم و فارس، ۲۰۰۱). در مطالعه‌ای که کارن و همکاران (۱۹۸۵) روی برنج انجام دادند بیان داشتند که با افزایش سطوح تنش خشکی، درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه کاهش می‌یابد. دشتی و همکاران (۲۰۰۷) نیز بامطالعه‌ی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذور برنج به کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی با افزایش سطوح خشکی اشاره کردند.

## ۲-۵-۴- مکانیسم‌های فیزیولوژیکی ایجاد تنش خشکی و راه‌های مقابله با آن

تنش خشکی در گیاه، پدیده‌ای است طبیعی و علت اصلی آن افزایش میزان تلفات، یا کافی نبودن میزان جذب آن یا ترکیبی از هر دو عامل است (حجایی و حیدری شریف‌آباد، ۲۰۰۵). در چنین شرایطی، گیاه به منظور ادامه‌ی جذب آب از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد (ترحمی و همکاران، ۲۰۱۰). تنش خشکی با محدود کردن جذب آب توسط بذر، تأثیر بر حرکت مواد و یا تأثیر مستقیم بر ساختمان آلی و سنتز پروتئین جنین، جوانه‌زنی بذر را کاهش می‌دهد (دید و دونووان، ۱۹۹۹). مطالعه‌ی مکانیسم بیوشیمیایی جوانه‌زنی نشان می‌دهد که جیبرلین‌ها با القاء تغییرات کمی و کیفی در سنتز برخی پروتئین‌ها، در نهایت سنتز آنزیم‌های هیدرولیز کننده‌ی مولکول‌های ذخیره‌ای بذر، نظیر آلفا-آمیلاز را تحریک می‌نمایند. این آنزیم‌ها، واکنش‌های ضروری جهت تجزیه‌ی مواد ذخیره‌ای بذر و تولید انرژی و ترکیبات ساختمانی جهت رشد و ظهور جنین را کاتالیز نموده و بدین ترتیب جوانه‌زنی را به بذر القاء می‌کنند (برادفورد و نانوگاک، ۲۰۰۷). کاهش رشد گیاهچه تحت شرایط تنش، به دلیل کاهش تحرک نشاسته است که به دلیل کاهش فعالیت آنزیم آمیلاز و محتوای بالای نشاسته در لپه‌ها و آندوسپرم گیاهان تحت تنش است (استاویر و همکاران، ۱۹۹۸). کاهش رشد تحت شرایط تنش، در نتیجه‌ی جلوگیری از تقسیم سلولی و رشد سلول می‌تواند در اثر تغییر در توازن تنظیم‌کننده‌های رشد (هورمون‌ها) در شرایط تنش باشد (مورگان، ۱۹۹۰). هورمون‌های گیاهی دسته‌ای از مواد آلی هستند که در غلظت کم، فرآیندهای فیزیولوژیکی بذر از جمله رشد و نمو را تحت تأثیر قرار می‌دهند (دیویس، ۱۹۹۵) که این ترکیبات در ایجاد و کنترل جوانه‌زنی نقش به سزایی دارند، از جمله مهم‌ترین این هورمون‌ها اسید جیبرلیک است (هر، ۱۹۹۷؛ یانگ، ۲۰۰۲). افزایش ترشح کیتین در شرایط تنش می‌تواند موجب تقویت جوانه‌زنی شود که مربوط به افزایش جذب آب به دلیل افزایش نفوذپذیری غشاء یا غلظت داخلی املاح باشد (بوکاید و آنگر، ۱۹۷۶؛ رنجان، ۲۰۰۳). از جمله آنزیم‌های مؤثر در فرآیند جوانه‌زنی و القاء تحمل به تنش در گیاهان نیز می‌توان به آلفا-آمیلاز و آنزیم‌های فسفاتاز اشاره کرد. آنزیم‌های فسفاتاز نقش فیزیولوژیک مهمی را در سازگاری بذرهای در حال جوانه‌زنی در شرایط متغیر محیطی دارند (لی، ۲۰۰۰). این آنزیم‌ها معمولاً

تحت تنش افزایش می‌یابند. همچنین کیتین و اسید جیبرلیک، فعالیت آنزیم آمیلاز را در بذور تحت تنش افزایش می‌دهند (استاویر و همکاران، ۱۹۹۸).

تنش خشکی برای برنج خیلی مضر است چون بر پارامترهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و پارامترهای مربوط به عملکرد برنج اثر می‌گذارد. چندین مطالعه و بررسی، اساس فیزیولوژیکی مقاومت به خشکی در برنج را تشخیص داده‌اند. برای نمونه، جی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که فعالیت فعال‌کننده‌ی روبیسکو، کلروپلاستید سوپراکسید دیسموتاز، پپتیدیل-پرولیل سیس-ترانس ایزومراز، Cu-Zn و دهیدروآسکوربات ردوکتاز تحت تنش خشکی تنظیم افزایشی می‌شوند. رابلو و همکاران (۲۰۰۸) ژن‌هایی را شناسایی کردند که مربوط به حفظ کمال سلول و اتساع سلول در طی تنش خشکی در برنج بودند. آن‌ها همچنین تشخیص دادند که L-آسکوربات پراکسیداز ۱، سوپراکسید دیسموتاز [Cu-Zn]، سیتوسولیک ملات دهیدروژناز و آسکوربات پراکسیداز به‌عنوان پروتئین غالب اعطاکننده‌ی تحمل خشکی در برنج هستند. گیاهان برنج دارای پروتئین کانال-آب، یعنی RWC3، هدایت هیدرولیکی بهتر ریشه و پتانسیل آب برگ بهتری دارند (لیان و همکاران، ۲۰۰۴). تجمع پرولین، پلی‌آمین‌ها (اسپریدین و اسپرمین)، قندهای محلول، ساکارز، گلیسین بتائین و سایر حل‌شونده‌ها نیز به بهبود مقاومت در برابر خشکی کمک می‌کنند (پاندی و شوکلا، ۲۰۱۵). در میان این حل‌شونده‌ها، پرولین از اهمیت حیاتی برخوردار است. پرولین علاوه بر اینکه به‌عنوان یک اسمولیت عالی عمل می‌کند، به‌عنوان یک شلات<sup>۱</sup>کننده<sup>۲</sup> فلزی، یک مولکول سیگنالینگ و یک آنتی‌اکسیداتیو عمل می‌کند (حیات و همکاران، ۲۰۱۲) و بنابراین مقاومت در برابر خشکی را به گیاه برنج اعطا می‌کند. تجمع پرولین همچنین فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانت را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، بهبود در سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانت ممکن است به مقابله با تنش خشکی در برنج کمک کند (پاندی و شوکلا، ۲۰۱۵). با افزایش سطوح تنش خشکی در برنج، فعالیت‌های آسکوربات، گلوکاتایون، آسکوربات پراکسیداز (سلوت و خان‌چوپرا، ۲۰۰۴)، سوپراکسید دیسموتاز، مونودهیدروآسکوربات ردوکتاز، دهیدروآسکوربات ردوکتاز، گلوکاتایون ردوکتاز (شارما و دوبی، ۲۰۰۵)، فنیل آلانین آمونیا-لیاز و کاتالاز (شهاب و همکاران، ۲۰۱۰) به‌طور سازگار افزایش می‌یابد که برای مقاومت به

۱ فرایندی است که طی آن یک ترکیب شیمیایی با یک یون فلزی ترکیب شده و آن را به صورت محکم نگه می‌دارد.  
2 Chelating agent

خشکی بسیار سودمند هستند. آبسزیک اسید می‌تواند به واسطه‌ی بهبود وضعیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (لی و همکاران، ۲۰۱۴؛ لطیف، ۲۰۱۴) و بهبود انتقال پروتئین‌ها و متابولیسم کربن و بیان پروتئین‌های تنش (ژئو و همکاران، ۲۰۱۴) به القای مقاومت در برابر خشکی در برنج کمک کند. بیان بیش‌ازحد آنزیم‌های فتوسنتز  $C_4$  از قبیل فسفوفنل-پیرووات کربوکسیلاز و پیرووات اورتوفسفات دی‌کیناز (گو و همکاران، ۲۰۱۳؛ ژئو و همکاران، ۲۰۱۱) ممکن است به گیاه برنج کمک کند تا در برابر خشکی مقاومت کند.

#### ۶-۴- تنش گرما

تنش گرما نیز همانند خشکی برای گیاه برنج خیلی مضر است به‌طوری‌که به‌شدت بر صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و صفات مربوط به عملکرد برنج اثر می‌گذارد. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت به‌واسطه‌ی تصفیه‌ی ROS و حفاظت غشاها از آسیب‌های اکسیداتیو، نقش مهمی را در تحمل دمایی ایفا می‌کنند (علی و همکاران، ۲۰۱۳). یی و همکاران (۲۰۱۲) چهار پلی‌مورفیسم<sup>۱</sup> تکنوکلوتیدی متفاوت را در برنج شناسایی کردند که به مقاومت در برابر تنش گرما مربوط بودند. آن‌ها روش‌های تعیین ساختار ژنتیکی انتخابی و همچنین تکنیک‌های آنالیز مارکر منفرد را برای یافتن این پلی‌مورف‌های نوکلئوتید استفاده کردند. آن‌ها همچنین چهار QTL مشهور را یافتند که مرتبط با مقاومت در برابر تنش گرما در جمعیت F2 برنج بودند. در مطالعه‌ی دیگری، کاو و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که مقاومت در برابر تنش گرمایی در برنج مربوط به سیستم دفاعی آنتی‌اکسیداتیو قوی، سنتز کم اتیلن، محتویات RNA بالا و مقدار کاهش‌یافته‌ی مالون دی‌آلدهید در طی میوز بود.

تنش گرما موجب افزایش بیان پروتئین‌های محافظ گوناگون (*HSP90*, *Cpn60*, *HSP70*) و بیوسنتز تیامین (*THI1*) می‌شود (اسکافارو و همکاران، ۲۰۱۰). جاگادیش و همکاران (۲۰۱۰) همچنین گزارش کردند که تجمع پروتئین گرما-شوک در برنج ممکن است مقاومت در برابر تنش گرما را به گیاه برنج اعطا کند. ژن *NAC* دیگر، یعنی، *SNAC3* (*ONAC003*, *LOC-Os01g09550*) که دارای عکس‌العمل سریع به تنش است، به‌وسیله‌ی

خاموش کردن ROS، مقاومت در برابر تنش‌های گرما و خشکی را به گیاه برنج اعطا می‌کند (فانگ و همکاران، ۲۰۱۵).

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت چرخه‌ی رشد برنج می‌تواند به سه فاز رشدی متمایز تقسیم می‌شود که عبارت‌اند از: جوانه‌زنی/گیاهچه‌ای، رویشی، زایشی و توسعه‌ی دانه. فاز زایشی به‌خصوص توسعه‌ی دانه، مهم‌ترین مرحله است که پتانسیل عملکرد آن را تعیین می‌کند. توسعه‌ی گل، گامتوزن و توسعه‌ی دانه به‌وسیله‌ی بیان ژن‌های خاص و هموستازی هورمون‌های گیاهی تنظیم می‌شوند. درک فیزیولوژی گیاه ممکن است به بهبود شکل‌گیری عملکرد و حاصلخیزی محلول کمک کند. تفاوت‌ها در بین گونه‌های مختلف برنج برای بیان ژن طی مراحل زایشی نیازمند بررسی بیشتر می‌باشد. بعلاوه، بیان این ژن‌ها تحت محیط‌های رشدی گوناگون ممکن است یکی از موضوعات مباحث علمی آینده باشد.

برنج ممکن است در انواع محیط‌ها تولید خوبی داشته باشد. با این وجود، چندین تنش زیستی و غیر زیستی از حاصلخیزی آن ممانعت می‌کنند. در میان تنش‌های غیر زیستی، خشکی، شوری و تنش گرمایی ویران‌گر هستند. با اینکه مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مقاومت در برابر تنش‌های غیر زیستی در برنج نسبتاً به‌خوبی درک شده‌اند، مطالعات بیشتری برای تعیین اساس فیزیولوژیکی تقسیم‌بندی آسیمیلات از منبع به مخزن؛ و فاکتورهایی که واکنش به تنش را تعدیل می‌کنند مورد نیاز هستند. منابع ژنومی در ترکیب با تحقیقات اکوفیزیولوژیکی ممکن است به درک ژنوتیپ‌ها و تعاملات محیطی و به توسعه‌ی ژنوتیپ‌های برنج که قادر به تولید بسیار خوب تحت شرایط پایین‌تر از حد بهینه هستند کمک کنند.

## ۷-۴- تنش غرقاب

برنج در اکوسیستم‌های مختلف از اکولوژی‌های مستعد غرقاب بارانی تا هوازی با آبیاری رشد می‌کند. تحت اکوسیستم آبیاری شده، نشاء کردن ابزار اصلی کشت برنج است، درحالی‌که تحت شرایط هوازی، تنها روش، کشت مستقیم است 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 کنند. کشت مستقیم چندین عیب دارد، این روش نیاز به تغییر الگوی فرآیند کشت برای درک پتانسیل کامل روش دارد. بذرباشی بر روی

سطح خاک با مخاطرات آب و هوایی مواجه است. بیرون زدگی بذر ها به علت باران های سیل آسا رخ می دهد. غوطه ور شدن گیاهچه های در حال جوانه زنی در زیر آب های راکد باعث اختلال استقرار گیاهچه و اسکان بیشتر در مقایسه با بذر های کاشته شده در زیر سطح خاک می گردد. نتیجه ی نهایی، پایه ی ضعیف گیاه و عملکرد کاهش یافته ی دانه است. با این وجود، اگر بذر ها در زیر سطح خاک کاشته شوند، مسئله بدتر می شود، به علت باران های ناخواسته، راکد شدن آب در سطح مزرعه رخ می دهد. این حالت غرقاب باعث ایجاد یک منطقه ی دارای کمبود اکسیژن در زیر سطح خاک می گردد. تحت چنین شرایطی باوجود اینکه جوانه زنی در برنج رخ می دهد، رشد کولتوپتیل حداقل می شود، درعین حال به شدت از رشد ریشه جلوگیری می شود. تحت شرایط غرقاب، پرایمینگ بذر به علت رویش سریع ریشه و رشد بهتر کولتوپتیل، بسیار مؤثرتر است (سارکار، ۲۰۱۲؛ ایلانگاکون و همکاران، ۲۰۱۶). پرایمینگ بذر با عصاره ی ۲ درصد گیاه جمبو (*Syzygium cumini*) برگ یا هیدروپرایمینگ به طور زیادی فعالیت های آمیلاز کل و الکل دهیدروژناز را در برنج تسریع کرد (ایلا و همکاران، ۲۰۱۱؛ ۲۰۱۲؛ سارکار، ۲۰۱۲). بذر های پرایم نشده، فعالیت های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز ضعیف و پراکسیداسیون بیشتری را نسبت به بذر های پرایم 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 جوانه زنی نسبت به ارقام حساس، تحت پرایمینگ واکنش بهتری را نشان داد (ایلناکاگون و همکاران، ۲۰۱۶). از این رو، پرایمینگ بذر یک ابزار فوق العاده برای بهبود استقرار گیاه زراعی تحت رکود بیشتر آب و بالاتر از ژنوتیپ مقاوم است. غرقاب در طول جوانه زنی باعث کمبود اکسیژن می شود (رأی و همکاران، ۲۰۱۶). برنج مقاوم به کمبود اکسیژن در مراحل جوانه زنی به علت متابولیسم بهتر کربوهیدرات، به خوبی کار می کند که تنفس هوازی را به غیر هوازی تغییر می دهد، تنش اکسیداتیو را خنثی می کند، متابولیسم نیتروژن را مناسب می سازد و تولید اتیلن همراه با عملکرد هماهنگ آبسزیک اسید و جیبرلین و پروتئین های G را افزایش می دهد (ویجایان و همکاران، ۲۰۱۸). ژن های مرتبط با تکثیر و توسعه ی سلول و چنین وقایع متابولیکی در برنج مقاوم به کمبود اکسیژن در مرحله جوانه زنی در مقایسه با برنج غیر مقاوم بیش از حد بیان می شوند (ویجایان و همکاران،

۲۰۱۸). همان‌طور که ما مشاهده شد، پرایمینگ بذر چندین فعالیت متابولیکی را افزایش می‌دهد که به‌نوبه‌ی خود به برنج کمک می‌کنند تا در مرحله‌ی جوانه‌زنی در برابر کمبود اکسیژن مقاومت کنند (ایلا و همکاران، ۲۰۱۱؛ سارکار، ۲۰۱۲؛ ایلانگاکون و همکاران، ۲۰۱۶). حسین و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات بیشتری را در اصلاح رونویسی بذرهای پرایم سلنیم و اسید سالیسیلیک نسبت به بذرهای پرایم‌نشده یافتند. ژن‌های مرتبط با مقاومت به کمبود اکسیژن در مرحله جوانه‌زنی از قبیل متابولیسم کربوهیدرات و نیتروژن، تنش اکسیداتیو و طول شدن سلول و توسعه‌ی سلول در بذرهای پرایم سلنیم و اسید سالیسیلیک در مقایسه با بذرهای پرایم‌نشده تحت کمبود اکسیژن/غرقاب، به‌طور بیش‌ازحد بیان می‌شوند.

چندین صفت فیزیولوژیکی کلیدی به گیاه برنج کمک می‌کنند تا به‌خوبی نقش خود را تحت تنش غرقاب ایفا کند (ستر و همکاران، ۱۹۹۷). این صفات شامل غلظت بالای کربوهیدرات قبل و در طی غرقاب، افزایش در میزان تخمیر الکلی و حفظ انرژی به‌واسطه‌ی کاهش در رشد طولی است (ستر و همکاران، ۱۹۹۷). در طول غرقاب، ظرفیت گیاهان برای تولید کربوهیدرات‌ها به چندین فاکتور بستگی دارد ازجمله سایه‌اندازی یا تیمارهای تاریکی قبل/در طول غرقاب (پالادا و ویرگرا، ۱۹۷۲)، طول روز در طی غرقاب (ستر و همکاران، ۱۹۹۷)، ذخیره دی‌اکسید کربن و pH (سیلاب) که بر فتوسنتز گیاه زیرآبی (ستر و همکاران، ۱۹۹۷)، تابش قبل از غرقاب گیاه، سن گیاهچه و اندازه‌ی بذر (الا و ستر، ۱۹۹۶) اثر می‌گذارد. افزایش در میزان تخمیر الکلی تحت غرقاب ممکن است به افزایش در فعالیت آنزیم‌های تخمیر الکلی در طی جهش‌های بدون الکل دهیدروژناز و افزایش در قند نسبت داده شود (واترز و همکاران، ۱۹۹۱)؛ بنابراین مقاومت در برابر غرقاب در برنج، یک سازش فیزیولوژیکی پیچیده است. یک ژن مشهور منفرد، فاکتور *trans-acting*/رونویسی RNA یا پروتئین) را به رمز درمی‌آورد (ریچارد و همکاران، ۱۹۹۴؛ فرل، ۱۹۹۰) که یا به توالی‌های تنظیمی منحصربه‌فرد DNA متصل می‌شود (سینگر و برگ، ۱۹۹۴) یا بر مسیر انتقال سیگنال‌ها اثر می‌گذارد (دولفروس و همکاران، ۱۹۹۴). غرقاب ممکن است القای بیش از ۱۰ ژن غیر هوازی اصلی در برنج را هدایت کند (ریوال و همکاران، ۱۹۸۹؛ ستر و همکاران، ۱۹۹۷). بعلاوه، تشکیل آترانشیم در برنج، انتشار اکسیژن از بخش‌های هوایی گیاه به

بخش‌های غرقاب شده را تسهیل می‌کند (در سطرهای بالا مورد بحث قرار گرفته است)، بنابراین به مقاومت در برابر غرقاب کمک می‌کند. مقاومت در برابر غرقاب در برنج کاملاً غرقاب شده، همچنین مربوط به حضور ژن *Submergence 1* (Sub 1) است که بر روی کروموزوم ۹ در برنج قرار گرفته است (ژو و مکیل، ۱۹۹۶). منطقه‌ی FR13A Sub1 سه فاکتور رونویسی متفاوت (*Sub1A*، *Sub1B*، *Sub1C*) را به رمز در می‌آورد که با زیرگروه B-2 از فاکتورهای واکنشی اتیلن مطابقت دارد (ژو و همکاران، ۲۰۰۶). رونویسی *Sub1A* / *Sub1C* به محض غرقاب به شدت تنظیم افزایشی می‌شود. اگرچه به واسطه‌ی شرایط غیر غرقاب تنظیم کاهشی می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۰۶).

#### ۸-۴- تنش سمیت فلزات

رشد یافتن برنج در نواحی آلوده به فلزات سنگین، یکی از چالش‌انگیزترین کارهاست. فلزات سنگین از قبیل سرب، کادمیوم، کروم و منگنز و متالوئیدهایی مانند آرسنیک فقط حاصلخیزی خاک را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند بلکه برای حیوانات و انسان‌ها سمیت شدید نیز ایجاد می‌کنند که 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). پرایمینگ بذر می‌تواند یکی از تکنیک‌های آسان برای رشد برنج تحت خاک‌های آلوده به فلزات و متالوئید باشد (شینواری و همکاران، ۲۰۱۵؛ مولیک و همکاران، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸). پرایمینگ اسید سالیسیلیک برای مواجهه با سمیت کروم در دو واریته‌ی برنج Basmati 385 و Shaheen Basmati بهتر از هیدروپرایمینگ است (شینواری و همکاران، ۲۰۱۵). پرایمینگ بذر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه را تسریع کرد؛ سطوح بزرگ‌تر رنگ‌دانه را حفظ کرد؛ وضعیت متابولیت‌هایی مثل پرولین و گلیسین بتائین، پروتئین‌های کل محلول و قندها را بهبود می‌بخشد؛ آسیب غشای سلولی را کند کرد؛ و جذب کروم به‌وسیله‌ی گیاهچه‌ها را کاهش می‌دهد. پرایمینگ بذر با سلنیم (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 رشد یافته از بذرهای پرایمینگ سلنیم در مقایسه با بذرهای غیر پرایم به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. گیاهچه‌های رشد یافته از بذرهای پرایمینگ سلنیم 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 پلی‌اتیل‌گلایکول به‌عنوان عامل پرایم برای کاهش سمیت روی در برنج در ارقام‌های You No. و Zhu Liang You 06 1 پی بردند. پرایمینگ بذر برنج با پلی‌اتیل‌گلایکول، ساختار سلولی برگ‌ها و ریشه‌ها را از تنش اکسید نانو-روی حفاظت کرد.



## **فصل پنجم**

### **فناوری بهبود کیفیت بذر برنج**



## ۱-۵-مقدمه

پتانسیل رشد و عملکرد گیاهان به عوامل ژنتیکی وابسته است، ولی برای دستیابی به حداکثر پتانسیل تولید، متغیرهای محیطی از قبیل شرایط آب و هوایی بر رشد و نمو و عملکرد برنج تأثیرگذار می‌باشند (لئو و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از عوامل محدودکننده تولید برنج، عدم جوانه‌زنی و به تبع آن عدم رشد مطلوب این گیاه و همچنین استقرار نامطلوب نشاها در مزرعه است؛ بنابراین جوانه‌زنی بذور و استقرار گیاهچه 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 به وجود آمده است (بوکاری و همکاران، ۲۰۱۹). از این‌رو، بهبود بهره‌وری در واحد سطح، مهم‌ترین راهبرد در افزایش تولید برنج است؛ بنابراین برای بالا بردن توان و ظرفیت تولید باید از روش‌های پیشرفته استفاده نمود. این روش‌ها که امروزه به نام مدیریت صحیح زراعی از آن نامبرده می‌شود، به‌عنوان راهکاری اثربخش برای افزایش حصول عملکرد بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از متداول‌ترین روش‌های شناخته‌شده در این زمینه فناوری بهبود کیفیت بذر برنج است.

## ۲-۵-استراتژی بهبود کیفیت بذر

افزایش کیفیت یا کارکرد بذر در واقع آماده‌سازی بذر پس از برداشت است که سبب بهبود جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاهچه و یا در اختیار قرار دادن مواد مورد نیاز به بذر در زمان کاشت می‌شود. روش‌های بهبود کیفیت بذر شامل سه روش کلی آبنوشی بذر<sup>۱</sup>، تیمارهای حرارتی<sup>۲</sup> و پوشش‌دار کردن بذر<sup>۳</sup> است (شکل ۲). تکنیک‌های تقویت بذر در واقع

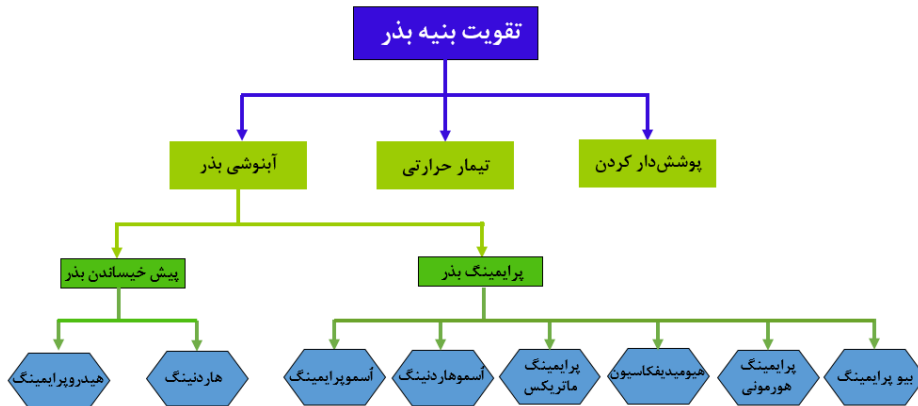
---

1 Seed hydration treatment

2 Thermal treatments

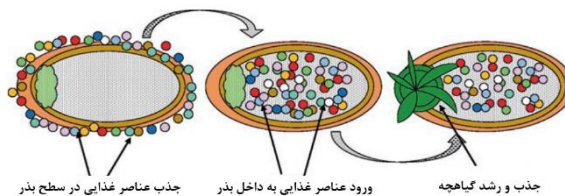
3 Seed coating

بر کاهش مدت زمان سبز شدن و حفاظت بذر در برابر عوامل زنده و غیرزنده در مراحل بحرانی استقرار گیاهچه است. همچنین کاربرد چنین تیمارهایی سبب بهبود کارکرد سبز شدن با یکنواختی و استقرار مطلوب گیاهچه و افزایش عملکرد برنج می‌شود (جدول ۲ تا ۷).



شکل ۲- طبقه‌بندی فناوری تقویت بنیه بذر (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹)

به‌منظور افزایش تولید گیاهان زراعی در واحد سطح راه‌های مختلفی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به تکنیک‌های بهبود کیفیت بذر اشاره کرد. فناوری بهبود کیفیت بذر در واقع اعمال کردن ترکیباتی قبل از کاشت است که سبب بهبود و افزایش قدرت جوانه‌زنی، استقرار و ایجاد یک گیاهچه کاملاً سالم و قوی که کارایی گیاه را در مزارع افزایش می‌دهد. به‌طور کلی این فناوری با نام پرایمینگ بذر<sup>۱</sup> شناخته می‌شود. پرایمینگ در واقع قرار دادن بذر قبل از کاشت در یک محلول با پتانسیل آبی و مشخص جهت جذب آب و عناصر غذایی و انجام بعضی مراحل قبل از جوانه‌زنی است (شکل ۱).



شکل ۱- پروسه فیزیکی پرایمینگ بذر (وقاص و همکاران، ۲۰۱۹)

پرایمینگ بذر تکنیکی برای پیش جوانه‌زنی است که باعث جوانه‌زنی سریع، هم‌زمان و یکنواخت بذور می‌گردد. پرایمینگ بذر دوره کاشت تا استقرار گیاهچه را کوتاه کرده و صدمات ناشی از قرارگیری بذور در شرایط محیطی نامساعد را کاهش می‌دهد. پرایمینگ با محدود کردن آبگیری بذر به وسیله محلول‌های اسمزی باعث توسعه‌ی فاز انتقال می‌گردد. در این تئوری پرایمینگ باعث از بین رفتن موانع جوانه‌زنی شده و جوانه‌زنی بذر سریع‌تر و هم‌زمان صورت می‌گیرد (حسین و همکاران، ۲۰۱۸). این فن شامل فرآیندهایی است که بذر آب جذب کرده و پس از خشک کردن بذور، آن‌ها را برای مدت تعیین شده در محیطی با دما خاص قرار می‌دهند. این فن همچنین بر سبز شدن هم‌زمان بذور و در نتیجه استقرار گیاهان زراعی در مزرعه تأثیرگذار است. در واقع پرایمینگ 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 پرایمینگ بر روی رشد و نمو گیاهان مربوط به اثرات مستقیم و غیرمستقیم این فرآیند است. تأثیر پرایمینگ بر جوانه‌زنی، سبز شدن و سرعت رشد گیاهان از اثرات غیرمستقیم این فرآیند است (جدول ۱).

جدول ۱- تغییرات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در پرایمینگ بذر

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| پرایمینگ بذر | <ul style="list-style-type: none"> <li>سازگاری مورفولوژیکی</li> <li>تسریع و هماهنگی جوانه‌زنی</li> <li>رشد گیاه، وزن خشک، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، طول ریشه و ساقه و عملکرد</li> </ul>                                                                                                |
|              | <ul style="list-style-type: none"> <li>سازگاری فیزیولوژیکی</li> <li>کلروفیل کل، کاروتنوئید، آنتوسیانین، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و بهبود تغذیه ریزمغذی</li> </ul>                                                                                                             |
|              | <ul style="list-style-type: none"> <li>تنظیم وضعیت اکسیداتیو</li> <li>سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پرکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز، آسکوربات، دهیدروآسکوربات ردوکتاز</li> <li>آسکوربیک اسید، توکوفرول، فنول‌ها، فلاونوئیدها، پرولین و گلوتاتیون</li> </ul>                                  |
|              | <ul style="list-style-type: none"> <li>هماهنگ‌سازی متابولیسم‌ها</li> <li>افزایش سنتز پروتئین، تجمع نشاسته، قندهای محلول، مجموع آمینو اسیدها، آلفا و بتا آمیلاز، ایزوسیترات لیاز، اینورتاز، ساکارز سنتتاز، پرولین و مالون دی‌آلدئید</li> </ul>                                           |
|              | <ul style="list-style-type: none"> <li>تغییرات مولکولی</li> <li>ترمیم DNA</li> <li>ترمیم تلومر</li> <li>القای فاکتورهای رونویسی ناشی از تنش</li> <li>تغییرات پس از ترجمه (فرآیندی است که طی آن اطلاعات ژنتیکی از DNA به RNA منتقل می‌شود)</li> <li>بیان ژن‌های پاسخگو به تنش</li> </ul> |

جدول ۲- اثر پرایمینگ بذر بر درصد جوانه‌زنی و میانگین مدت زمان جوانه‌زنی

| پرایمینگ بذر                | نوع بذر | بهبود نسبت به شاهد (درصد) | منابع                   |
|-----------------------------|---------|---------------------------|-------------------------|
| <b>درصد جوانه‌زنی نهایی</b> |         |                           |                         |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت       | درشت    | ۳۶/۶۷                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶g) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت       | ریز     | ۳۶/۶۷                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶g) |
| هیدروپرایمینگ ۲۴ ساعت       | درشت    | ۱۶/۷۰                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۰b) |
| هیدروپرایمینگ ۲۴ ساعت       | ریز     | ۱۳/۰۰                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۰b) |
| هیدروپرایمینگ ۲۴ ساعت       | ریز     | ۳۶/۶۷                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۴a) |
| هیدروپرایمینگ ۲۴ ساعت       | درشت    | ۱۳/۶۷                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۴a) |
| آسکوربیک ۱۰ پی‌پی‌ام        | ریز     | ۱۶/۳۳                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۱۰ پی‌پی‌ام        | ریز     | ۱۲/۰۰                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۲۰ پی‌پی‌ام        | درشت    | ۳/۲۵                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۲۰ پی‌پی‌ام        | ریز     | ۴/۶۶                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۱۰ پی‌پی‌ام       | درشت    | ۳/۲۵                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۱۰ پی‌پی‌ام       | ریز     | ۷/۰۰                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۲۰ پی‌پی‌ام       | درشت    | ۴/۶۶                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۲۰ پی‌پی‌ام       | ریز     | ۵/۵۳                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت            | درشت    | ۱۷/۶۶                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسموهادرینینگ کلرید کلسیم   | ریز     | ۱۱/۰۰                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسموهادرینینگ کلرید سدیم    | ریز     | ۰۰/۰۰                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسموهادرینینگ نیترات پتاسیم | ریز     | -۱۱/۳۴                    | فاروق و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسموهادرینینگ کلرید پتاسیم  | ریز     | ۱۱/۰۰                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶a) |
| <b>پرایمینگ بذر</b>         |         |                           |                         |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت       | درشت    | ۱/۰۶                      | فاروق و همکاران (۲۰۰۶g) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت       | ریز     | ۰/۷۹                      | فاروق و همکاران (۲۰۰۶g) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت            | ریز     | ۰/۴۷                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۵b) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت            | ریز     | ۰/۷۶                      | فاروق و همکاران (۲۰۰۴a) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت            | درشت    | ۰/۷۹                      | فاروق و همکاران (۲۰۰۴a) |
| آسکوربیک ۱۰ پی‌پی‌ام        | ریز     | ۲/۲۲                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۱۰ پی‌پی‌ام        | درشت    | ۲/۲۵                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۲۰ پی‌پی‌ام        | ریز     | ۲/۰۳                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۲۰ پی‌پی‌ام        | درشت    | ۱/۸۸                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۱۰ پی‌پی‌ام       | ریز     | ۱/۶۲                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۱۰ پی‌پی‌ام       | درشت    | ۰/۸۵                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۲۰ پی‌پی‌ام       | ریز     | ۱/۸۲                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۲۰ پی‌پی‌ام       | درشت    | ۰/۸۸                      | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |

جدول ۳- اثر پرایمینگ بذر بر درصد سبز شدن نهایی

| پرایمینگ بذر               | نوع بذر | بهبود نسبت به شاهد (درصد) | منابع                   |
|----------------------------|---------|---------------------------|-------------------------|
| درصد سبز شدن نهایی         |         |                           |                         |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت      | درشت    | ۴۴/۱۸                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶g) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت      | ریز     | ۵۰/۷۶                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶g) |
| هیدروپرایمینگ ۲۴ ساعت      | درشت    | ۲۳/۳۴                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| آسکوربیک                   | درشت    | ۴۰/۵۶                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| آسموهاردنینگ کلرید پتاسیم  | درشت    | ۴۲/۷۸                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| آسموهاردنینگ کلرید کلسیم   | درشت    | ۳۳/۱۵                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | درشت    | ۳۲/۷۸                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | ریز     | ۴۶/۷۸                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۴a) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | درشت    | ۴۶/۷۸                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۴a) |
| آسکوربیک ۱۰ پی پی ام       | ریز     | ۲۸/۷۷                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۱۰ پی پی ام       | درشت    | ۲۱/۹۹                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۲۰ پی پی ام       | ریز     | ۱۸/۵۸                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۲۰ پی پی ام       | درشت    | ۲۱/۹۹                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۱۰ پی پی ام      | ریز     | ۳۱/۸۳                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۱۰ پی پی ام      | درشت    | ۳۰/۲۳                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۲۰ پی پی ام      | ریز     | ۲۹/۸۳                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۲۰ پی پی ام      | درشت    | ۱۹/۸۷                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | ریز     | ۳۸/۸۲                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۴)  |
| آسموهاردنینگ کلرید کلسیم   | ریز     | ۴۱/۷۸                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۴)  |
| آسموهاردنینگ کلرید سدیم    | ریز     | ۳۵/۵۶                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۴)  |
| آسموهاردنینگ نیترات پتاسیم | ریز     | ۲۵/۳۴                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۴)  |
| آسموهاردنینگ کلرید پتاسیم  | ریز     | ۳۰/۷۸                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۴)  |

جدول ۴- اثر پرایمینگ بذر بر میانگین مدت زمان جوانه‌زنی

| پرایمینگ بذر               | نوع بذر | بهبود نسبت به شاهد (روز) | منابع                   |
|----------------------------|---------|--------------------------|-------------------------|
| میانگین مدت زمان جوانه‌زنی |         |                          |                         |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت      | درشت    | ۲/۸۷                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶g) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت      | ریز     | ۲/۹۷                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶g) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت      | درشت    | ۱/۶۶                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| آسکوربیک                   | درشت    | ۲/۳۶                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| آسموهاردنینگ کلرید پتاسیم  | درشت    | ۲/۸۵                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| آسموهاردنینگ کلرید کلسیم   | درشت    | ۲/۳۴                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | درشت    | ۲/۳۰                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | درشت    | ۱/۲۰                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶b) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | ریز     | ۰/۵۰                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶b) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | ریز     | ۱/۲۰                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۴a) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | درشت    | ۰/۵۰                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۴a) |
| آسکوربیک ۱۰ پی‌پی‌ام       | ریز     | ۲/۸۷                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۱۰ پی‌پی‌ام       | درشت    | ۲/۸۷                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۲۰ پی‌پی‌ام       | ریز     | ۲/۵۲                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۲۰ پی‌پی‌ام       | درشت    | ۲/۲۸                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۱۰ پی‌پی‌ام      | ریز     | ۱/۸۲                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۱۰ پی‌پی‌ام      | درشت    | ۲/۲۸                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۲۰ پی‌پی‌ام      | ریز     | ۳/۱۴                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۲۰ پی‌پی‌ام      | درشت    | ۰/۰۸                     | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت      | درشت    | ۱/۶۷                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| آسکوربیک                   | درشت    | ۰/۵۱                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| آسموهاردنینگ کلرید پتاسیم  | درشت    | ۰/۶                      | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| آسموهاردنینگ کلرید کلسیم   | درشت    | ۰/۷                      | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | درشت    | ۱/۹                      | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت      | ریز     | ۱/۴                      | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| آسکوربیک                   | ریز     | ۱/۷                      | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| آسموهاردنینگ کلرید پتاسیم  | ریز     | ۰/۳۲                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| آسموهاردنینگ کلرید کلسیم   | ریز     | ۰/۳۶                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | ریز     | ۰/۸۹                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت      | درشت    | ۱/۷۵                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسکوربیک                   | درشت    | ۱/۵۵                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسموهاردنینگ کلرید پتاسیم  | درشت    | ۰/۷۸                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسموهاردنینگ کلرید کلسیم   | درشت    | ۲/۰۵                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | درشت    | ۲/۰۲                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت      | ریز     | ۲/۳۳                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسکوربیک                   | ریز     | ۲/۱۶                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسموهاردنینگ کلرید پتاسیم  | ریز     | ۰/۷۴                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسموهاردنینگ کلرید کلسیم   | ریز     | ۱/۵۸                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | ریز     | ۲/۳۳                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |

جدول ۵- اثر پرایمینگ بذر بر وزن خشک گیاهچه

| پرایمینگ بذر               | نوع بذر | بهبود نسبت به شاهد (میلی گرم) | منابع                   |
|----------------------------|---------|-------------------------------|-------------------------|
| وزن خشک گیاهچه             |         |                               |                         |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت      | درشت    | ۳/۱                           | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| آسکوربیک                   | درشت    | ۲/۷۷                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| اُسموپرایمینگ کلرید پتاسیم | درشت    | ۴/۵                           | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| اُسموپرایمینگ کلرید کلسیم  | درشت    | ۳/۲۷                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | درشت    | ۳/۱                           | فاروق و همکاران (۲۰۰۶k) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | درشت    | ۲/۷                           | باسرا و همکاران (۲۰۰۶b) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | ریز     | ۴/۵۳                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۴a) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | درشت    | ۴/۳۵                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۴a) |
| آسکوربیک ۱۰ پی پی ام       | ریز     | ۲۳/۵۰                         | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۱۰ پی پی ام       | درشت    | ۷/۲۵                          | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۲۰ پی پی ام       | ریز     | ۱۷/۷۵                         | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| آسکوربیک ۲۰ پی پی ام       | درشت    | ۷/۵۸                          | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۱۰ پی پی ام      | ریز     | ۱/۰۰                          | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۱۰ پی پی ام      | درشت    | ۶/۰۰                          | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۲۰ پی پی ام      | ریز     | ۳/۷۵                          | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| سالیسیلیک ۲۰ پی پی ام      | درشت    | ۴/۷۵                          | باسرا و همکاران (۲۰۰۶a) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت      | درشت    | ۰/۲۸                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسکوربیک                   | درشت    | ۰/۹۱                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| اُسموپرایمینگ کلرید پتاسیم | درشت    | ۰/۹۷                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| اُسموپرایمینگ کلرید کلسیم  | درشت    | ۱/۳۰                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | درشت    | ۱/۲۸                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت      | ریز     | ۱/۴۵                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسکوربیک                   | ریز     | ۱/۱۲                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| اُسموپرایمینگ کلرید پتاسیم | ریز     | ۲/۰۳                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| اُسموپرایمینگ کلرید کلسیم  | ریز     | ۲/۴۴                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت           | ریز     | ۲/۲۶                          | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| پوشش دار کردن بذر          | درشت    | ۸۷۰-۴۰۰ درصد                  | روز و همکاران (۲۰۰۰)    |

جدول ۶- اثر پرایمینگ بذر بر مدت زمان ظهور خوشه‌دهی و مدت زمان ظهور خوشه‌دهی تا رسیدگی

| پرایمینگ بذر                     | نوع بذر | بهبود نسبت به شاهد (روز) | منابع                   |
|----------------------------------|---------|--------------------------|-------------------------|
| مدت زمان ظهور خوشه‌دهی           |         |                          |                         |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت            | درشت    | ۷/۰۰                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| آسکوربیک                         | درشت    | ۷/۰۰                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| آسموپرایمینگ کلرید پتاسیم        | درشت    | ۱۳/۰۰                    | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| آسموپرایمینگ کلرید کلسیم         | درشت    | ۱۱/۰۰                    | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت                 | درشت    | ۱۱/۰۰                    | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت            | ریز     | ۷/۶۷                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| آسکوربیک                         | ریز     | ۱۰/۷۶                    | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| آسموپرایمینگ کلرید پتاسیم        | ریز     | ۱۵/۰۰                    | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| آسموپرایمینگ کلرید کلسیم         | ریز     | ۱۷/۳۴                    | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت                 | ریز     | ۱۵/۰۰                    | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| پرایمینگ بذر                     |         |                          |                         |
| مدت زمان ظهور خوشه‌دهی تا رسیدگی |         |                          |                         |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت            | درشت    | ۵/۰۰                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| آسکوربیک                         | درشت    | ۰۷/۰۰                    | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| آسموپرایمینگ کلرید پتاسیم        | درشت    | ۱۰/۰۰                    | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| آسموپرایمینگ کلرید کلسیم         | درشت    | ۰۸/۰۰                    | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت                 | درشت    | ۰۹/۰۰                    | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت            | ریز     | ۴/۰۰                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| آسکوربیک                         | ریز     | ۴/۳۳                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| آسموپرایمینگ کلرید پتاسیم        | ریز     | ۱/۳۳                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| آسموپرایمینگ کلرید کلسیم         | ریز     | ۸/۶۶                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت                 | ریز     | ۷/۶۶                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶l) |

جدول ۷- اثر پرایمینگ بذر بر عملکرد دانه

| پرایمینگ بذر              | نوع بذر | بهبود نسبت به شاهد (درصد) | منابع                   |
|---------------------------|---------|---------------------------|-------------------------|
| عملکرد دانه               |         |                           |                         |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت     | درشت    | ۳/۷۰                      | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| آسکوربیک                  | درشت    | ۱۱/۱۱                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| آسموپرایمینگ کلرید پتاسیم | درشت    | ۱۸/۵۱                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| آسموپرایمینگ کلرید کلسیم  | درشت    | ۱۴/۸۱                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت          | درشت    | ۱۱/۱۱                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶c) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت     | ریز     | ۲۸/۴۳                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶۱) |
| آسکوربیک                  | ریز     | ۲۴/۶۴                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶۱) |
| آسموپرایمینگ کلرید پتاسیم | ریز     | ۳۰/۸۰                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶۱) |
| آسموپرایمینگ کلرید کلسیم  | ریز     | ۴۰/۲۸                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶۱) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت          | ریز     | ۳۰/۳۳                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۶۱) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت     | درشت    | ۱۲/۲۵                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسکوربیک                  | درشت    | ۱۴/۵۲                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسموپرایمینگ کلرید پتاسیم | درشت    | ۲۱/۹۳                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسموپرایمینگ کلرید کلسیم  | درشت    | ۱۵/۹۵                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت          | درشت    | ۱۴/۲۴                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| هیدروپرایمینگ ۴۸ ساعت     | ریز     | ۱۱/۲۲                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسکوربیک                  | ریز     | ۱۹/۶۴                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسموپرایمینگ کلرید پتاسیم | ریز     | ۲۵/۲۶                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| آسموپرایمینگ کلرید کلسیم  | ریز     | ۳۱/۵۷                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |
| هاردنینگ ۲۴ ساعت          | ریز     | ۲۵/۶۱                     | فاروق و همکاران (۲۰۰۷b) |

ابزارهای بهبود کیفیت بذر از پتانسیل بسیار بالایی برای افزایش سبز شدن و استقرار مطلوب گیاهچه در طیف وسیعی از شرایط مزرعه برخوردار هستند. پرایمینگ بذر روشی ساده و کم‌هزینه برای افزایش کیفیت بذر است که در صورت انجام صحیح آن به افزایش عملکرد برنج منجر می‌شود. بذر به‌واسطه پرایمینگ و پیش از قرار گرفتن در بستر خود به لحاظ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دچار تغییر می‌شود که تبعات آن‌ها در گیاه حاصل از آن دیده می‌شود. در میان روش‌های مختلف پرایمینگ بذر برنج کاربرد آسموپرایمینگ،

اُسموهاردنینگ و پرایمینگ هورمونی با وزن مولکولی کم و محلول مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. این تکنیک‌ها می‌توانند به‌طور مؤثری در افزایش عملکرد گیاه زراعی در شرایط شوری، خشکی و غرقابی مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از فن پرایمینگ بذر می‌تواند یکی از روش‌های مؤثر در جبران کیفیت بذر برنج در شرایط نامساعد محیطی باشد. بذر در هنگام کاشت زمان قابل‌توجهی را صرف جذب آب می‌کند، پرایمینگ بذر با کاهش این زمان به حداقل، می‌تواند سرعت جوانه‌زنی و خروج جوانه از خاک را تسریع نماید. از دیگر کارکردهای فن بهبود کیفیت بذور استفاده از آن‌ها در کشت مستقیم برنج است. همچنین نوع رقم، هیبرید و تیپ‌های مختلف برنج پاسخ‌های متفاوتی به تیمارهای مختلف پرایمینگ از خود نشان می‌دهند و نشان می‌دهد هنوز کارهای زیادی در این زمینه باید انجام پذیرد؛ بنابراین برای شناخت بهتر تکنیک‌های تقویت بذر برنج باید از دامنه وسیعی از نمک‌ها، تنظیم‌کننده رشد، جاسمونات و اُسمولیت‌ها را در غلظت‌ها و مدت زمان‌های مختلف بررسی صورت گیرد. علاوه بر آن باید پتانسیل بهینه آب، دامنه دما و نیاز به اکسیژن نیز بایستی بررسی گردد. همچنین تحقیقات بیش‌تر بر روی استفاده از کودهای تجاری به‌عنوان پوشش‌دهنده بذر به دلیل کارایی بالاتر این کودها در این روش باید مورد ارزیابی قرار گیرد. از دیگر موارد بررسی بیش‌تر می‌توان به کاربرد تکنیک‌های تقویت بذر بر عملکرد دانه در شرایط مزرعه تحت تنش‌های زیستی و غیر زیستی باشد. عملیات حرارتی بهبود بذر بایستی با چرخه‌های متناوب دماهای بالا و پایین با جزئیات مورد بررسی قرار گیرند. باوجود فواید افزایش بهبود کیفیت بذر بزرگ‌ترین عیب بذره‌ای تیمار شده این است که نمی‌توان آن‌ها را برای مدت طولانی انبار کرد و بایستی هر چه زودتر بعد از پرایمینگ کشت شوند؛ بنابراین باید پژوهش‌ها به دنبال افزایش قابلیت انبارداری بذور تیمار شده در راستای تجاری‌سازی این بذور باشد.

### ۳-۵- تیمارهای آبنوشی (هیدراتاسیون) بذر

بذر برای جوانه‌زنی نیازمند آب، اکسیژن و یک دمای مناسب است. پروسه جذب آب توسط بذر در سه مرحله اتفاق انجام می‌شود (برادرفورد و بولی، ۲۰۰۲): فاز یک در این مرحله آب با توجه به ترکیب شیمیایی بذر، فراهم بودن میزان آن و وضعیت پوسته توسط بذور زنده و غیرزنده جذب می‌گردد. این اتفاق هم در بذور زنده و غیرزنده رخ می‌دهد؛

بنابراین یک مرحله فیزیکی به حساب می‌آید نه فیزیولوژیکی. در این فاز با توجه به اینکه بذر آب جذب می‌کند املاح موجود در سلول بذر کاهش می‌یابد و جذب سریع آب را شاهد هستیم. علت جذب سریع آب به دلیل اختلاف شیب پتانسیل بین بذر خشک و آب است. همچنین در این مرحله، فعالیت‌های متابولیکی اندکی توسط بذور زنده انجام می‌پذیرد. فاز دو در این مرحله جذب آب بسیار اندکی توسط بذر صورت می‌گیرد ولی اتفاق مهمی که در بذور رخ می‌دهد فعال شدن هورمون‌ها و آنزیم‌ها و به تبع آن تجزیه ترکیب شیمیایی ذخیره‌ای (پروتئین، چربی و غیره) و انتقال آن‌ها به محور جنین است. برای این که رشد صورت بگیرد باید هم سلول‌ها بزرگ‌شده و هم تقسیم شوند. این اتفاق با جذب آب توسط واکوئل‌ها رخ می‌دهد. واکوئل به غشا فشار آورده و سلول متورم می‌گردد. فاز سه در این مرحله خروج ریشه‌چه از بذر مشاهده می‌شود (شکل ۳). البته رشد اولیه ریشه‌چه بر اثر تقسیم نیست بلکه حاصل بزرگ شدن سلولی است. در این فاز رشدی علاوه با ظهور ریشه‌چه شاهد جذب سریع آب در کنار افزایش وزن گیاهچه خواهیم بود. در این فاز بذور غیرزنده دارای رشد نیست. به‌طور کلی در مرحله اول و دوم پروسه جذب آب امکان خشک‌کردن بذر وجود دارد (برگشت‌پذیر) ولی در مرحله سه امکان‌پذیر نیست (برگشت‌ناپذیر). آبنوشی بذر به دو گروه پیش‌خیساندن<sup>۱</sup> و پرایمینگ بذر تقسیم‌بندی می‌شود.

### ۱-۳-۵-پیش‌خیساندن بذر

پیش‌خیساندن بذر شامل روش‌هایی است که آب به‌طور آزادانه قابل‌دسترس برای بذر است و محیط غالباً محدودیتی در جذب آب ایجاد نمی‌کند. پیش‌خیساندن بذر می‌تواند باعث بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه شود که احتمالاً می‌تواند منجر به بسته‌شدن سریع کانوپی و استفاده بهینه از عوامل محیطی و نهاده‌ها می‌شود. جذب آب در این روش تابع میل بافت‌های بذر به آب است. به‌طور کلی فن پیش‌خیساندن بذر شامل قرار دادن بذور در آب یا پارچه مرطوب است. مهم‌ترین تکنیک‌های پیش‌خیساندن به‌منظور ارتقاء کیفیت بذر برنج به شرح زیر است:

1 Pre-soaking

۲-۳-۵- هیدروپرایمینگ<sup>۱</sup>

خیساندن و مرطوب کردن بذر در آب و خشک کردن مجدد آن‌ها، قبل از این که جوانه‌زنی را کامل کند، هیدروپرایمینگ نامیده می‌شود و ساده‌ترین روش برای آبیگری بذر است (نظری، ۱۳۹۷). در روش هیدروپرایمینگ، بذر 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 مدت زمانی که بذر 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 تکنیک استفاده از مواد شیمیایی را کاهش می‌دهد و از دور ریختن موادی که ممکن است مضر و با محیط ناسازگار باشند، اجتناب می‌شود (جودی و شریف‌زاده، ۱۳۸۵). یکی از معایب این روش آن است که گاه دانه‌ها آبیگری نمی‌کنند. این ناشی از عدم موفقیت در فعال کردن مراحل فیزیولوژیک لازم برای هم‌زمان‌سازی و افزایش عملکرد دانه‌ها به‌طور یکنواخت است. بعلاوه، کنترل میزان آبیگری مشکل است و برخی از دانه‌ها در صورتی که میزان آبیگری بسیار سریع باشد، دچار خرابی ناشی از آبیگری می‌شوند.

البته باید توجه داشت که خیساندن طولانی‌مدت برای بذور می‌تواند مضر باشد، زیرا موجب کاهش اندک اکسیژن مورد نیاز جوانه‌زنی می‌شود. در بیش‌تر موارد سودمندی پرایمینگ تنها زمانی تحقق می‌یابد که مدت زمان پرایم بذور کوتاه باشد. یا زمانی که از دیگر روش‌های مکانیکی در تهویه بذر استفاده شده باشد. بذور باید قبل از ظهور ریشه‌چه در مرحله فاز 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 پرایمینگ بذور، اگر ریشه‌چه ظاهر گردد با خشک شدن مجدد بذور آسیب می‌بیند و سودمندی ایجاد شده به وسیله پرایمینگ به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. جذب آب به‌سادگی باعث پیشرفت فرآیندهای جوانه‌زنی در بذر شده و پس از کاشته شدن مدت زمان جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. خلیق و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند هیدروپرایمینگ از طریق بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای و به دنبال آن افزایش شاخص سطح برگ موجب افزایش تعداد خوشه و عملکرد دانه در کشت مستقیم برنج گردید. نکته مهم دیگر که باید دقت داشت این است که در فن

هیدروپرایمینگ مدت زمان آبنوشی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. مطالعات متعددی در ارتباط با مدت زمان آبنوشی بذر برنج صورت گرفته است. به طور مثال فاروق و همکاران (۲۰۰۶) طی پژوهشی بذور درشت و ریز ارقام برنج را در مدت زمان‌های ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸ و ۶۰ ساعت آبنوشی بررسی کردند. نتایج نشان داد که به جز هیدروپرایمینگ در مدت زمان ۶۰ ساعت سایر زمان‌ها سبب بهبود رشد برنج گردید. بالاترین خصوصیات رشدی نیز در مدت زمان‌های ۴۸ و ۳۶ ساعت حاصل شد. به طور کلی نتایج مطالعات مختلف حاکی از آن است که هیدروپرایمینگ موجب بهبود عملکرد برنج می‌شود و بهترین زمان برای هیدروپرایمینگ در تمامی ارقام برنج ۴۸ ساعت است؛ بنابراین آنچه مسلم است این است که مدت زمان هیدروپرایمینگ دارای حد آستانه‌ای می‌باشد که می‌تواند اثر مثبت یا منفی و بازدارندگی داشته باشد. جذب بیش از حد آب سبب برهم خوردن تعادل هورمونی و آنزیمی درون بذر می‌گردد که به دنبال آن کاهش خصوصیات گیاهچه‌ای بذر را شاهد خواهیم بود. از طرفی دیگر به نظر می‌رسد کاهش طول دوره هیدروپرایمینگ سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های درگیر در فرآیندهای متابولیکی گردد؛ بنابراین، یکی از نکات مهم هیدروپرایمینگ، بحث زمان خاتمه آن است، چرا که خاتمه زودتر یا دیرتر سبب آسیب به بذر و عدم دستیابی به نتیجه مطلوب می‌شود؛ که این مسئله در هیدروپرایمینگ بسیار مهم‌تر است. در پرایمینگ، 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.

### ۳-۵-۳- هاردنینگ<sup>۱</sup>

هاردنینگ بذر اغلب به خیساندن و خشک یا هیدراتاسیون<sup>۲</sup> - دی‌هیدراتاسیون<sup>۳</sup> اطلاق می‌شود که به وسیله شستشوی بذر در آب و خشک کردن انجام می‌گیرد که این چرخه خیساندن و خشک کردن بذر ممکن است دو یا سه مرتبه صورت پذیرد (پن آلوزا و ایرا، ۱۹۹۳؛ لی و کیم، ۲۰۰۰). از مزایای هاردنینگ می‌توان به توسعه رشد جنین، فعال‌سازی آنزیم‌ها، بهبود سرعت جوانه‌زنی به‌ویژه در بذره‌ای انبارشده اشاره کرد (باسرا و همکاران،

1 Hardening

2 Hydration

3 Dehydration

(۲۰۰۵). در طول دوره هاردنینگ تعداد چرخه خیساندن و خشک شدن و مهم‌تر از آن مدت زمان لازم برای هر چرخه بسیار حائز اهمیت است. برای بذور برنج اغلب دو چرخه متناوب مرطوب کردن و خشک کردن مؤثر است (باسرا و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین هاردنینگ در مدت زمان ۲۴ ساعت برای بذور درشت و ریز برنج به اثبات رسیده است (باسرا و همکاران، ۲۰۰۴؛ فاروق و همکاران، ۲۰۰۴). طی پژوهشی بذور درشت و ریز برنج به روش هاردنینگ به صورت یک یا دو چرخه ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت مورد آزمایش قرار گرفتند که هر دو تیپ برنج نسبت به تیمار شاهد دارای افزایش رشد گیاهیچه بود. همچنین در این پژوهش گزارش شد بالاترین سرعت و درصد جوانه زنی نیز مربوط به هاردنینگ ۲۴ ساعت با یک چرخه بود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۴). اعمال هاردنینگ بذور روشی بسیار کارآمد و مؤثر در جوانه زنی و استقرار مطلوب گیاهیچه‌های برنج است (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷). ماتو و همکاران (۲۰۰۴) نیز طی پژوهشی در شرایط مزرعه و آزمایشگاه دریافتند که هاردنینگ بذور برنج طی ۲۴ ساعت و با یک چرخه موجب افزایش سرعت جوانه زنی، درصد جوانه زنی، قدرت گیاهیچه و استقرار مؤثرتر نشاها در شرایط مزرعه شد. هاردنینگ بذور برنج قبل از کاشت جهت مقاومت در برابر شرایط ناسازگار محیطی و رطوبتی خاک انجام می‌شود. هاردنینگ بذور برنج در شرایط مزرعه سبب استقرار بهتر گیاهیچه می‌شود. اثرات هاردنینگ بر روی بذور برنج شامل افزایش مقاومت به تنش‌های شوری، خشکی، دماهای بالا و پایین است. از اثرات سودمند هاردنینگ بذور به افزایش فعالیت آلفا آمیلاز اشاره کرد که می‌تواند موجب بالا بردن درصد و سرعت سبز شدن، افزایش قدرت بنیه بذور و گیاهیچه، بهبود یکنواختی سبز شدن و افزایش عملکرد شود.

#### ۴-۳-۵- اُسموپرایمینگ<sup>۱</sup>

اُسموپرایمینگ نوع خاصی از آماده‌سازی پیش از کاشت بذرها می‌باشد که از طریق خوابانیدن بذرها در محلول‌هایی با پتانسیل اسمزی پایین حاوی مواد شیمیایی مختلف نظیر پلی اتیلن گلایکول، مانیتول<sup>۲</sup>، سولفات روی، کودهای شیمیایی و غیره صورت می‌گیرد. اُسموپرایمینگ بر فرآیندهای مرتبط با جوانه زنی به صورت انتخابی اثر می‌گذارد. فرآیندهای

1 Osmopriming

2 Mannitol

مورد بحث در رشد سلولی و طولی شدن سلولی با افزایش غلظت یا کاهش پتانسیل اسمزی محلول پرایمینگ ممکن است متوقف یا کاهش یابد. به هر حال شرایط مطلوب پرایمینگ برای بذور مختلف متفاوت است. هدف اصلی اُسموپرایمینگ بذر برنج بهبود جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاهچه در شرایط نامطلوب محیطی است (ابوطالبیان و محقق، ۱۳۹۴). در واقع بذور برنجی که تحت اُسموپرایمینگ قرار می‌گیرند نسبت به دما و کاهش اکسیژن دارای حساسیت کم‌تری می‌باشند. به کارگیری اُسموپرایمینگ با کلرید کلسیم، نیترات پتاسیم، کلرید سدیم و پلی اتیلن گلاکول ۸۰۰۰، انرژی جوانه‌زنی را بهبود و کاهش مدت زمان لازم جهت سبز شدن را به دنبال خواهد داشت (روان و همکاران، ۲۰۰۲b). پرایمینگ با پلی اتیلن گلاکول 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 اُسموپرایمینگ با کلرید کلسیم به تنهایی و ترکیب با کلرید سدیم سبب افزایش شاخص بنیه بذر، گیاهچه و استقرار مطلوب بذور برنج در شرایط غرقاب خاک گردید (روان و همکاران، ۲۰۰۲a). همچنین ثابت شده است که اُسموپرایمینگ با نیترات پتاسیم سبب تسریع در جوانه‌زنی بذر و افزایش قدرت گیاهچه و بهبود خصوصیات ریشه برنج گردید (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۵). فاروق و همکاران (۲۰۰۷) طی پژوهشی اظهار داشتند که پرایمینگ بذر برنج از طریق آب، کلرید پتاسیم، کلرید کلسیم و آسکورات به ترتیب سبب افزایش ۱۱، ۲۵، ۳۱ و ۲۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد گردید. در همین راستا طی پژوهشی گزارش شد که پرایمینگ بذر برنج با کلرید کلسیم، کلرید پتاسیم و هیدروپرایمینگ با بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد برنج در شرایط کشت مستقیم برنج گردید (احمد و همکاران، ۲۰۱۳). جانسون و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش کردند که درصد جوانه‌زنی بذور برنج تحت اُسموپرایمینگ با سولفات روی نسبت به تیمار شاهد به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی به طور معنی‌داری بهبود یافت. دشت‌میان و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که اُسموپرایمینگ بذور با افزایش فرایندهای بیوشیمیایی سبب بهبود خصوصیات ریشه برنج تحت شرایط کاهش دما می‌شود. نواز و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند اُسموپرایمینگ با کربنات کلسیم نسبت به پیش تیمار با آب و تیمار بدون پیش تیمار سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در برنج شد. فاروق و همکاران (۲۰۰۶)

طی پژوهشی اظهار داشتند که 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 گردید. 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 گردید (رحمان و همکاران، ۲۰۱۵).

محققین در تلاش هستند تا از کودهای مختلف که برای بهبود عملکرد برنج مورد استفاده قرار می‌گیرند به صورت پرایمینگ مورد استفاده قرار دهند چرا که به کارگیری این مواد مغذی به دلیل جذب مستقیم توسط بذر موجب بهبود کارایی کودها می‌گردد (دو و تونگ، ۲۰۰۲). در همین راستا گزارش شده است که پرایمینگ با مونو آمونیوم فسفات ۴ درصد منجر به افزایش تعداد پنجه مؤثر و بهبود عملکرد دانه برنج در کشت مستقیم گردید (کالیتا و همکاران، ۲۰۰۲). در منابع متعدد افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای آماده‌سازی بذر با اُسموپرایمینگ به دلیل افزایش سرعت فعال‌سازی آنزیم‌های کربونیک انهیدراز، مالیک دهیدروژناز، گلوتامات دهیدروژناز و الکل دهیدروژناز و انبساط سلول‌ها باشد؛ اما برخلاف موارد موفق، آزمایشات مزرعه‌ای در ارتباط با اُسموپرایمینگ بذر برنج با اوره، نیتروفسفات، اوره، دی آمونیوم فسفات و سولفات پتاسیم به دلیل آسیب‌های غشایی منجر به کاهش جوانه‌زنی و رشد گردید (جانسون و همکاران، ۲۰۰۵)؛ بنابراین باید دقت داشت که به کارگیری این مواد مغذی برای اُسموپرایمینگ باید در مدت زمان و غلظت مشخصی صورت گیرد؛ بنابراین می‌توان دلیل کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در غلظت‌های بالای اُسموپرایمینگ را به ایجاد سمیت از طریق تجمع این یون‌ها در جنین نسبت داد. در این رابطه گزارش شده است که در غلظت‌های بالا مواد اُسموپرایمینگ به دلیل ایجاد ویسکوزیته بالای این ترکیبات، به عنوان یک مانع برای تبادل گاز عمل کرده و با افزایش متابولیسم غیر هوازی مانع از جذب اکسیژن توسط بذر می‌گردد (تایلکوسکا و وندن بویلک، ۲۰۰۱). حتی در فرآیند 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 می‌گردد (پراسد و همکاران، ۱۹۹۹).

### ۵-۳-۵- اُسموهاردنینگ<sup>۱</sup>

اخیراً فن جدید تحت عنوان اُسموهاردنینگ برای افزایش کیفیت بذر برنج ارائه شده است که در آن هم هاردنینگ و هم اُسموپرایمینگ به صورت موفقیت آمیز تلفیق شده‌اند (اخگری و کاویانی، ۱۳۹۸؛ فاروق و همکاران، ۲۰۰۶). در این فن (مانند هاردنینگ) تعداد و مدت زمان چرخه مرطوب کردن و خشک کردن برای بهبود قوه نامیه بذر بسیار مهم است. از آنجایی که اُسموهاردنینگ فن نسبتاً جدید است، لذا یافتن ترکیبات مناسب از کلریدها به عنوان ماده اولیه برای پرایمینگ کردن برای تقویت بنیه بذور برنج بسیار ضروری است. اطلاعات به دست آمده نشان می‌دهد کاربرد کلریدهای متنوع برای اُسموهاردنینگ در ارقام با اندازه بذر درشت و ریز کاربرد فراوانی دارد. در یک کار آزمایشگاهی بذور با اندازه‌های درشت و ریز تحت هاردنینگ (با آب) و اُسموهاردنینگ (با کلریدهای کلسیم، سدیم، پتاسیم و نترات پتاسیم) در پتانسیل ۱/۲۵ - مگاپاسکال تیمار شدند. نتایج نشان داد که در هر دو تیپ بذری برنج به کارگیری اُسموهاردنینگ با کلرید کلسیم در مدت زمان ۴۸ ساعت نسبت به سایر تیمارهای برتری نشان داد و بعد از این ترکیب نیز، هاردنینگ و اُسموهاردنینگ با کلرید پتاسیم سبب بهبود رشد گیاه برنج گردید (فاروق و همکاران، ۲۰۰۶). در پژوهشی دیگر فاروق و همکاران (۲۰۰۷) طی پژوهشی بیان داشتند اُسموهاردنینگ با کلرید کلسیم سبب بهبود خصوصیات گیاهچه‌ای، عملکرد و اجزای عملکرد برنج گردید؛ به طوریکه عملکرد دانه ۳/۷۵ تن در هکتار (شاهد ۲/۸۷ تن)، عملکرد ماده خشک ۱۱/۴ تن در هکتار (شاهد ۱۰/۰۳ تن) و شاخص برداشت ۲۴/۵۷ درصد (شاهد ۲۲/۲۷ درصد) به دست آمد. در اصل اُسموهاردنینگ کاملاً سبب تقویت درصد و سرعت سبز شدن، افزایش یکنواختی سبز، بهبود عملکرد و اجزای عملکرد برنج در شرایط کشت نشائی و مستقیم گردید. به طوریکه در بذور با اندازه درشت کاربرد اُسموهاردنینگ با کلرید پتاسیم و بذور برنج با اندازه ریز اُسموهاردنینگ با کلرید کلسیم بسیار مؤثر می‌باشند.

<sup>1</sup> Osmohardening

### ۶-۳-۵- پرایمینگ ماتریکس<sup>۱</sup>

یکی دیگر از روش‌های پرایمینگ استفاده از ماتریکس‌های (بستر) جامد با پتانسیل ماتریک پائین است که از روش‌های بهسازی ماتریک بوده و پرایمینگ ماتریکس (ماتری پرایمینگ) یا پرایمینگ با بستر جامد نامیده می‌شود. حلالیت جزئی در آب، توانایی بالای نگهداری آب، نسبت بالای سطح به حجم، غیر سمی بودن برای دانه‌ها و توانایی چسبیدن به سطح دانه برخی خصوصیات حاملین با پتانسیل ماتریکی پایین هستند. ورمیکولیت و پیت‌ماس مواد طبیعی پردازش‌شده دارای این خصوصیات هستند و آن‌هایی که به‌طور تجاری در دسترس‌اند، شامل سیلت، میکروسل (تولیدات دیاتومه) و ژئولیت هستند. سطح این ترکیبات نیروهای ماتریکی به وجود می‌آورد که آب را نگه‌داشته تا به‌طور تدریجی از سوی بذر جذب شود (واسعی کاشانی و همکاران، ۱۳۹۴). ماتریک پرایمینگ، تقلیدی از فرآیند طبیعی آبنوشی بذر از ذرات خاک است (امریچ، ۱۹۹۲). طی پژوهشی چهار رقم برنج با ماسه و آب مخلوط و در داخل جعبه پلاستیکی با دمای ۱۸ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد. مطالعات آزمایشگاهی حاصل از انجام این آزمایش نشان داد که در هر یک از ارقام برنج، ارتفاع گیاهچه، طول و وزن خشک گیاهچه به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. همچنین مطالعات مزرعه‌ای این آزمایش نشان داد که استقرار بوته در هر چهار رقم به‌طور متوسط ۲۳-۲۰ درصد و عملکرد دانه نیز ۳۱-۱۰ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد (هو و همکاران، ۲۰۰۵). پرایمینگ ماتریکس به‌عنوان یک ابزار مؤثر در تقویت بنیه بذر مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته مطالعات اندکی از تأثیر پرایمینگ ماتریکس بر خصوصیات گیاهان دانه‌ریز مانند برنج انجام پذیرفته است.

### ۷-۳-۵- پرایمینگ هورمونی<sup>۲</sup>

به خیساندن بذر در محلول تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی ازجمله جیبرلین، اسید سالیسیلیک، اکسین، اتفن، اسید آبسزیک، پلی‌آمین‌ها و غیره را پرایمینگ هورمونی می‌گویند (سیادت و همکاران، ۱۳۹۰). در این فن، بذور برنج در مدت زمان مشخصی (طی دو مرحله از سه مرحله جوانه‌زنی) در محلول‌های ذکر شده قرار می‌گیرند و قبل از خروج

1 Matripriming

2 Hormonal priming

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 پرایمینگ هورمونی می‌گویند. کاربرد فیتوهورمون‌ها از جمله جیبرلیک اسید از طریق افزایش فعالیت آنزیم بتا آمیلاز سبب شکسته شدن نشاسته ذخیره‌شده در بذر می‌شود و به دنبال آن رشد و توسعه جنین و در نهایت موجب سبز شدن سریع بذور برنج گردید (تایز و زایگر، ۲۰۰۶). پرایمینگ بذور برنج با جیبرلیک اسید و اتیلن از طریق بهبود جوانه‌زنی موجب افزایش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و فاصله میانگره‌ها گردیدند. همچنین پرایمینگ با اسید آسزیک از طریق بهبود طول ریشه‌چه باعث افزایش بنیه گیاهچه‌های برنج گردید (لی و همکاران، ۱۹۹۹). در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد پرایمینگ بذور با کتین و جیبرلیک اسید تحت شرایط هوازای در برنج‌های ژاپنیکا و اندیکا سبب افزایش جوانه‌زنی گردید درحالی‌که در شرایط بی‌هوازی اثر پرایمینگ با کتین منفی و جیبرلیک اسید دارای اثر مثبت بود (میوشی و ساتو، ۱۹۹۷).

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

نقش پلی‌آمین‌ها<sup>۱</sup> به‌عنوان پرایمینگ بذور و تأثیر آن‌ها بر رشد و نمو گیاه برنج به‌خوبی ثابت‌شده است (واتسون و والامبرگ، ۱۹۹۸). پلی‌آمین‌ها شامل پوتریسین<sup>۲</sup> (Put)، اسپرمیدین<sup>۳</sup> (Spd)، اسپرمین<sup>۴</sup> (Spm) و کداورین<sup>۱</sup> (Cad) پلی‌کاتیون‌های آلی با وزن

1 Polyamines

2 putrescine

3 Spermidine

4 Spermine

مولکولی کم و فعالیت بیولوژیکی بسیار بالایی نقش مهمی در مراحل مختلف فیزیولوژیک و نمو گیاهان دارند. پلی آمین ها به عنوان کاتیون می توانند با اجزای آنیونی غشا مانند فسفولیپیدها ترکیب بشوند و در شرایط تنش شدید از زوال غشای سلولی جلوگیری نمایند (باسرا و همکاران، ۱۹۹۴). شواهد قطعی در این زمینه نشان می دهد تجمع پلی آمین ها می تواند گیاهان را در برابر تنش های محیطی محافظت نمایند (بوچیراو و همکاران، ۱۹۹۹). اخیراً نقش پلی آمین ها در افزایش تحمل برنج به تنش های غیر زیستی از جمله شوری و خشکی مورد توجه قرار گرفته است. در بسیاری از موارد، تنش های محیطی منجر به تجمع پلی آمین های آزاد می گردد که نشان دهنده اهمیت بیوسنتز پلی آمین ها به عنوان پاسخ های مهم بیوشیمیایی گیاهان در شرایط تنش است. پرایمینگ بذور برنج با پلی آمین ها به دلیل جلوگیری از پراکسیده شدن چربی های غشا، موجب حفظ سیالیت و ثبات آن شده و از بروز سرمازدگی اوایل فصل جلوگیری می کند. در پژوهشی اثبات شد که بذور برنج که به خوبی آبنوشی شده بودن هنگامی که در غلظت های پایین (۱۰ و ۲۰ پی پی ام) از پلی آمین ها (اسپرمیدین، پوترسین و اسپرمین) پرایم شدند میانگین جوانه زنی سریع تر همراه با بهبود خصوصیات گیاهی مثل افزایش وزن خشک و طول گیاهی را به دنبال داشت که در این بین نقش پرایمینگ با پوترسین با غلظت ۱۰ پی پی ام محسوس تر بود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۸).

اسید سالیسیلیک<sup>۲</sup> یکی از تنظیم کننده های رشد با ماهیت فنولی است که در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان مانند بسته شدن روزنه ها، تبادل و انتقال یون ها، نفوذپذیری غشا، فتوسنتز و سرعت رشد مؤثر است. اسید سالیسیلیک به عنوان یکی تنظیم کننده های داخلی نقش مهمی را در مکانیسم های دفاع در برابر تنش های زنده و غیرزنده دارد (راسکین، ۱۹۹۲). این تنظیم کننده رشد به طور مستقیم و غیرمستقیم آنزیم های آنتی اکسیدانی را فعال می کند. اسید سالیسیلیک یکی از مولکول های پیام رسان مهم است و باعث تحریک بروز عکس العمل گیاه در برابر تنش های محیطی می شود و همانند یک آنتی اکسیدان غیر آنزیمی نقش مهمی را در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک در گیاهان در شرایط تنش ایفا می کند. همچنین این تنظیم کننده رشد در تعامل با سایر تنظیم کننده های رشد مثل جاسمونیک

1 Cadaverine

2 Salicylic acid

اسید 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 در با فعال کردن آنزیم‌های گلوکاتایون ردوکتاز و گایکول پراکسیداز سبب مقاومت به تنش دماهای بالا و پایین می‌گردد (کانگ و سالتویت، ۲۰۰۲). در مطالعه‌ای نشان داده شد که پرایمینگ بذور برنج با اسید سالیسیلیک (غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام) نسبت به بذور شاهد موجب افزایش سرعت و یکنواختی سبز شدن گردید (باسرا و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین در پژوهشی دیگر نشان داده شد که پرایمینگ بذور برنج با اسید سالیسیلیک در غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ پی‌پی‌ام سبب بهبود کلیه شاخص‌های جوانه‌زنی گردید که در این بین نقش غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام ملموس‌تر بود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷).

آسکوربات<sup>۱</sup> یکی از مهم‌ترین ویتامین‌هایی است که در گیاه سنتز می‌شود و علاوه بر نقشی که در تقسیم سلولی و فرآیندهای سوخت و سازی ایفا می‌کند، به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی، پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ )<sup>۲</sup> را مهار می‌کند. آسکوربات در کلروپلاست‌ها، سیتوزول، واکوئل و فضای آپوپلاست سلول‌های برگ با غلظت بالا وجود دارد و تنظیم آسکوربات با تشکیل زئازانتین مرتبط است و مکانیسم قدرتمندی جهت حفاظت از اکسیداسیون نوری به حساب می‌آید. مهار  $H_2O_2$  توسط کاتالاز، پراکسیداز و مسیر آسکوربات گلوکاتایون به نام چرخه هالیول آسادا<sup>۳</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 پرایمینگ بذور با اندازه درشت و ریز با غلظت‌های ۱۰ و ۵۰ پی‌پی‌ام موجب بهبود جوانه‌زنی و رشد سریع گیاهچه‌های هر دو تیپ از بذرها شدند، اگرچه پرایم با غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام مؤثرتر بود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین پژوهش‌های متعددی در ارتباط با بهبود خصوصیات رشدی از جمله عملکرد و اجزای عملکرد و همچنین کیفیت دانه در کشت

1 Ascorbate

2 Hydrogen Peroxide

3 Halliwell- Asada cycle

مستقیم و نشائی برنج در اثر پرایمینگ با آسکوبات گزارش شده است (فاروق و همکاران، ۲۰۰۶).

### ۸-۳-۵- هیومیدیفیکاسیون<sup>۱</sup>

هیومیدیفیکاسیون یکی از تکنیک‌های پیش جوانه‌زنی است که بذرها قبل از کاشت تحت رطوبت بسیار بالا قرار می‌گیرند. در این روش، بذرها در تماس مستقیم رطوبت آب قرار می‌گیرند (فاینتری و همکاران، ۱۹۹۲). بر اساس اطلاعات به‌دست آمده کارهای بسیار اندکی در ارتباط با به‌کارگیری فن هیومیدیفیکاسیون برای بهبود کیفیت بذر برنج انجام شده است. گزارش شده است که هیومیدیفیکاسیون در شرایط مطلوب و مساعد سبب افزایش درصد جوانه‌زنی نگردید ولی کاربرد بذره‌های برنج با این فن تیمار شده در دمای نامطلوب خاک و دما پایین موجب افزایش درصد جوانه‌زنی شد. با این حال به‌نظر می‌رسد مقدار درصد رطوبت مورد نیاز برای پیش جوانه‌زنی و همچنین سن بذره‌های برنج در روش هیومیدیفیکاسیون بسیار حیاتی است. چرا که نشان داده شده است بذره‌های انبار شده قدیمی برنج هنگامی که در رطوبت نسبی ۶۰ درصد قرار گرفتند هیچ عکس‌العملی در جهت افزایش درصد جوانه‌زنی و کاهش مدت زمان لازم جهت دستیابی به ۵۰ درصد جوانه‌زنی از خود نشان ندادند و با این حال زمانی که رطوبت نسبی به ۸۰ درصد افزایش یافت هر دو این صفت گیاهچه‌ای کاهش معنی‌دار داشت (لی و همکاران، ۱۹۹۸).

### ۹-۳-۵- بیوپرایمینگ<sup>۲</sup>

در حال حاضر تقویت زیستی بذر با به‌کارگیری باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه از جمله کارآمدترین روش‌های بهبود کیفیت بذر است. امروزه در نظام‌های کشاورزی پایدار و ارگانیک، یکی از شیوه‌های بیولوژیکی برای افزایش کمی و کیفی تولید، استفاده بالقوه از میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی است که می‌تواند با روش‌های مختلف موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه شود. شاید این میکروارگانیسم‌های مفید به‌طور طبیعی در خاک‌ها وجود داشته باشند ولی تعداد و تراکم آن‌ها در خاک پایین است؛ بنابراین تلقیح این موجودات با

1 Humidification

2 Biopriming

بذر می‌تواند جمعیت آن‌ها را به حد مطلوب رسانده و در نتیجه منجر به بروز اثر مفید آن‌ها در خاک گردند. یکی دیگر از تکنیک‌هایی که اخیراً مورد استفاده قرار می‌گیرد بیوپرایمینگ بذر است. بیوپرایمینگ به‌عنوان یکی از روش‌های جدید تیمار بذر است با ادغام دو جنبه زیستی (تلقیح بذر با موجودات زنده مفید) و فیزیولوژیکی (آبنوشی بذر) است که باعث بهبود کیفیت بذر می‌شود (بخیت و همکاران، ۱۳۹۶). بیوپرایمینگ از اهمیت ویژه‌ای در افزایش تولید محصول و حاصلخیزی پایدار خاک برخوردار است. ازجمله مکانیسم‌هایی که این باکتری‌ها باعث رشد گیاه می‌شوند مانند توانایی تولید فیتوهورمون‌ها، تثبیت نیتروژن، تولید سیدروفور علیه میکروارگانیسم‌های فیتوپاتوژنیک و همچنین تولید آنتی‌بیوتیک‌ها، آنزیم‌ها و ترکیبات ضدقارچی و قابلیت انحلال‌پذیری فسفات‌های معدنی و سایر مواد مغذی است. بیماری بلاست با عامل *Magnaporthe oryzae* مهم‌ترین بیماری بذرزاد برنج در جهان است و گزارش‌شده است در هند تا ۴۰ درصد عملکرد برنج را در هکتار کاهش می‌دهد. از آنجایی که استفاده از سموم شیمیایی اگرچه باعث کنترل بیماری می‌گردند، اما آسیب‌های جدی متوجه انسان و محیط‌زیست می‌کنند. بیوپرایمینگ بذور برنج با باکتری آنتاگونیست *Bacillus amyloliquefaciens* با افزایش آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنول اکسیداز سبب کاهش ۸۴ درصد بیماری بلاست گردید (آمروتو و همکاران، ۲۰۱۹). در پژوهش دیگر نیز نشان داده شد که بیوپرایمینگ بذر برنج با فسفوباکتر<sup>۱</sup> علاوه بر افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی موجب بهبود طول و وزن خشک گیاهچه نیز گردید (سیواکومار و همکاران، ۲۰۱۶).

### ۱۰-۳-۵- تیمارهای حرارتی<sup>۲</sup>

تیمار کردن بذره‌ای با دما بالا و خشک به دو منظور انجام می‌شود، اول برای از بین بردن عوامل بیماری‌زای بذرزاد ازجمله قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و نماتدها و دیگر این که برای شکستن خواب بذر کاربرد دارد (فورست و همکاران، ۱۹۹۹). به‌طور کلی دماهای بالا و خشک تحت تیمارهای حرارتی باعث کاهش قابلیت جوانه‌زنی و قدرت رشد گیاهچه برنج می‌گردد (لی و همکاران، ۲۰۰۲). در یک مطالعه‌ای نشان داده شد که کاربرد دماهای بالا و خشک در

1 Phosphobacteria

2 Thermal treatments

فن تیمار حرارتی در دمای ۴۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت موجب کاهش مدت زمان لازم جهت دستیابی به ۵۰ درصد جوانه‌زنی، افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی، بهبود طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن‌تر و خشک گیاهچه ارقام با اندازه‌های ریز گردید، در صورتی که اعمال تیمار حرارتی هیچ تأثیری بر شاخص‌های گیاهچه‌ای در بذور درشت برنج به همراه نداشت (فاروق ۲۰۰۴). در یک مطالعه آزمایشگاهی بذور درشت و ریز برنج تحت تیمار حرارتی هاردنینگ (تناوب دما بالا و سرما و یا بالعکس) قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در ارقام با بذور ریز تناوب گرما-سرما-گرما و در بذور درشت سرما-گرما-سرما سبب افزایش خصوصیات گیاهچه‌ای گردیدند (فاروق، ۲۰۰۵).

### ۱۱-۳-۵- پوشش‌دار کردن بذر<sup>۱</sup>

بذرها از نظر اندازه، شکل و رنگ بسیار متفاوت می‌باشند. در بسیاری از موارد اندازه بذرها کوچک و دارای ساختار هندسی ناهمگن است که کاشت این‌گونه از بذرها بسیار مشکل است و نیازمند دقت بالا است. علاوه بر این، بذرها به دلیل حمله طیف وسیعی از آفات به بذرهای در حال جوانه‌زده یا گیاهچه‌ها باید محافظت گردند. امروزه تکنیک‌های زیادی به‌منظور سهولت کاشت بذر، افزایش استقرار و رشد گیاهچه تحت شرایط متغیر محیطی و محدودیت‌های بستر بذر بکار می‌رود. هدف اصلی در تکنولوژی بهبود بذر افزایش بیشتر کارکرد در شرایط مختلف محیطی است. روش‌های مختلفی برای اطمینان از کارکرد بالای بذر مورد استفاده قرار می‌گیرد و اکثر این روش‌ها کاربرد تجاری دارند. پوشش‌دار کردن بذر یکی از روش‌های اقتصادی برای بهبود کارکرد بذر است. پوشش‌دار کردن بذر که می‌توان آن را پوشش‌دار کردن و یا روکش‌دار کردن بذر دانست، روشی است که در بسیاری از صنایع باغبانی و زراعی در سراسر جهان تبدیل به یک ضرورت شده است و ارزش جهانی آن در سال ۲۰۱۴، بالغ بر ۵۶/۷۶ میلیارد دلار در سال تخمین زده شده است (پدرینی و همکاران، ۲۰۱۷).

هدف از این فرایند اصلاح خصوصیات فیزیکی بذر و در اختیار قرار دادن عناصر مؤثر مورد نیاز بذر، است (تقی ذوقی و همکاران، ۱۳۹۷). اصلاح فیزیکی بذر با هدف استانداردسازی وزن و اندازه بذر در جهت افزایش کارایی بذر صورت می‌گیرد. در بعضی

1 Seed coating

موارد که هدف کاهش اصطکاک و بهبود جریان‌پذیری بذر است (به‌طور مثال برای راحتی جریان بذر در ماشین‌های بذرکار)، تغییر مورفولوژی توسط فرایند پوشش‌دار کردن بذر حداقل و تنها یک لایه نازک است، اما در مورد بذرهای کوچک (به‌عنوان مثال، بذر بگونیا یا تنباکو)، بذرهای گران قیمت یا بذرهایی با ناهموازی‌های مورفولوژیکی زیاد، غالباً پوشش یا کوتینگ اعمال‌شده در فرایند پوشش‌دار کردن بذر لایه ضخیم‌تری را شامل می‌شود. روکش مصنوعی بذر غالباً به‌عنوان حاملی از انواع عناصر فعال است. با معرفی فناوری پوشش‌دار کردن بذر در کشورهای در حال توسعه، پیش‌بینی می‌شود بازار جهانی موادی مانند پلیمرها، رنگ‌ها و ترکیبات حجم‌دهنده که در پوشش‌دار کردن بذر مورد استفاده قرار می‌گیرند تا سال ۲۰۲۰ به ۱/۶۳ میلیارد دلار در سال برسد (. در حال حاضر، پوشش‌دار کردن بذر تقریباً به‌طور انحصاری روی گونه‌های زراعی و باغی انجام می‌شود و کاربرد این فناوری در گیاهان وحشی به‌صورت محدودی برای احیا اکولوژیکی کاربرد دارد.

در پوشش‌دار کردن یک ماده به بذر اضافه می‌شود بدون اینکه این ماده به بذر شکل خاصی بدهد. هدف اصلی پوشش بذر تولید بذر با بهترین کیفیت بوده که این امر سبب افزایش محصول نهایی از طریق افزایش تعداد گیاهچه‌های سالم است. بهبود عملکرد منجر به افزایش درآمد کشاورزان و در نهایت ایجاد یک سرمایه‌گذاری ارزشمند می‌گردد. پوشش‌دار کردن بذرها می‌تواند علاوه بر ایجاد یکنواختی سبز شدن با فاصله کاشت مناسب، می‌تواند با هدف به حداقل رساندن مشکلات اکولوژی خاک، سازگار با محیط‌زیست باشند. پوشش‌دهی بذر باعث تسریع در جوانه‌زنی در اولین مرحله، کمک به استقرار سالم و سریع گیاه، بهبود جذب مواد غذایی و تحمل به تنش‌های غیرزنده می‌شود. عمل پوشش‌دار کردن بذر با اهداف مختلفی از جمله افزایش درصد و سرعت سبز شدن، مدیریت آفات و بیماری‌های گیاهی، حفظ سلامت گیاه، تغییر ظاهر و اندازه بذر، امکان استقرار بهتر بذر، جلوگیری از آلودگی محیطی، کاهش هزینه‌ها، امکان کاشت تأخیری، تغییر در میزان دسترسی بذر به رطوبت، رشد گیاه و توسعه ریشه انجام می‌گیرد. در حال حاضر بیش‌تر روش‌های پوشش‌دار کردن بذور با طبیعت سازگار بوده و برای محیط‌زیست نیز اثرات نامطلوبی ندارد. جدیدترین تکنولوژی مورد استفاده در پوشش‌دار کردن بذور با هدف دوره ماندگاری بالا و طیف اثربخشی مطلوب بر روی هدف تولید می‌شوند که شامل برخی مواد

فعال، مواد مرطوب‌کننده، مواد رنگی و برخی اوقات مواد دورکننده است. این صنعت به بهینه‌سازی فرآیند مدیریت کاربرد نیازمند است. مواد اصلی پوشش‌دار کردن بذور می‌تواند شامل آفت‌کش‌ها، مواد تنظیم‌کننده رشد، کودها، مواد جاذب رطوبت، پوشش‌های حساس به حرارت و عناصر غذایی به همراه مواد چسبنده به سطح خارجی بذر اضافه می‌گردد که سبب بهبود و جوانه‌زنی و کارایی بذر می‌شود. بذر پوشش‌دار از نظر ظاهری با بذر معمولی به علت وزن بیشتر و همچنین رنگ متفاوت آن کاملاً قابل تشخیص است. وزن بالاتر بذر پوشش‌دار نسبت به بذور بدون پوشش در بهینه کردن تماس آن‌ها با زمینه کشت تأثیر به سزایی دارد و یکی از علل بالا بودن راندمان رشد آن‌ها نسبت به بذور بدون پوشش است. پوشش‌دار کردن بذور پیشرفت عظیمی در آماده‌سازی و مناسب‌سازی بذر جهت موقعیت‌های مختلف است. مزایای این ابتکار بسیار ارزشمند است بخصوص برای بذور ناهمگن و همچنین برای مخلوط بذوری که با دست یا به‌صورت مکانیکی کاشت می‌شوند. مهم‌ترین نقش پوشش‌دار کردن در جوانه‌زنی، متورم شدن پوشش بذر در زمان آبنوشی و اندوخته بالای آب درون آن است. می‌توان گفت پوشش اطراف بذر با جذب آب باعث تضمین جوانه‌زنی بذر می‌شود. گزارش‌هایی مبنی بر افزایش ۶۰-۴۰ درصدی سبز شدن زمانی که بذورهای برنج با سوپر فسفات، مونو آمونیوم فسفات و پتاسیم فسفات پوشش‌دار شده بودند وجود دارد. در ژاپن، پوشش‌دار کردن بذر برنج با منبع اکسیژن (Cao) موجب افزایش درصد سبز شدن و رشد مطلوب گیاهچه در کشت مستقیم برنج در خاک‌های غرقابی می‌گردد که چندین دهه این فن بکار برده می‌شود. یکی از مشکلات در کشت برنج این است که در کشت مستقیم برنج به دلیل شناور بودن بذر، سطح تماس ناچیزی با خاک دارد و این سبب کاهش رشد می‌گردد؛ بنابراین، وزن بالاتر بذور پوشش‌دار شده باعث تماس مطمئن‌تر آن‌ها با سطح کشت می‌شود و در نتیجه راندمان رشد بالاتری نسبت به بذر عادی خواهد داشت. همچنین گزارش‌هایی وجود دارد که پوشش‌دار کردن بذر برنج با آهن، با افزایش وزن مخصوص ظاهری سبب افزایش درصد جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاهچه شده است.

#### ۴-۵- عوامل مؤثر بر پرایمینگ بذر

درحالی‌که روش‌های مختلفی برای انجام پرایمینگ استفاده شده است، اصول اساسی آن فعال شدن مراحل مقدماتی جوانه‌زنی در طی پرایمینگ و جلوگیری از ادامه آن توسط

خشک کردن مجدد است. بسیاری از متغیرهای محیطی در پروتکل‌های پرایمینگ اثرات متفاوتی بر روی فیزیولوژی عملکرد دانه دارند. با این حال اعتقاد بر این است که در میان عوامل مؤثر بر پرایمینگ بذر عوامل محیطی (اکسیژن، دما، پتانسیل آب و نور) و فیزیکی از پارامترهای تأثیرگذار باشند. در این قسمت به عوامل مؤثر در پرایمینگ به اختصار اشاره می‌شود.

#### ۱-۴-۵- اکسیژن

اکسیژن به عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای محیطی تعدیل‌کننده در پرایمینگ بذور برنج شناخته شده است. بیشتر بذور برای جوانه‌زنی نیازمند حدوداً ۲۰ درصد اکسیژن می‌باشند. در سطوح هوادهی پایین‌تر بذور هنگام آبنوشی بذر برنج در کشت مرسوم، ممکن است کاهش اکسیژن مشاهده شود که این کاهش با افزایش اتانول همراه است که موجب سمیت می‌گردد؛ اما در پرایمینگ بذر می‌توانند سبب کاهش حساسیت نیاز بذر اکسیژن شود؛ گزارش شده است در شرایط پرایمینگ بذور با اکسیژن کم‌تر از ۱۰ درصد نیز فعالیت جوانه‌زنی خود را تکمیل خواهند کرد. باید توجه داشت هوادهی بذر در اعمال شرایط پرایمینگ خصوصاً در شرایط اُسموپرایمینگ، کاهش مدت زمان پرایم و افزایش مؤثرتر محلول اُسمزی توسط بذر را به دنبال خواهد داشت. البته باید این مسئله را مدنظر قرارداد که هوادهی طولانی‌مدت بذور در شرایط اعمال تیمارهای پرایمینگ به دلیل کمبود حلالیت اکسیژن (۵۰ درصد) و تحرک (۱۰ درصد) دسترسی نسبی بذر به اکسیژن را کاهش می‌دهد و نفوذ نمک‌های موجود در ترکیبات اُسموتیک به داخل بذر را تسهیل خواهد کرد که برای بذور بسیار مضر است. بهترین دانش ما در ارتباط با اثر اکسیژن بر پرایمینگ بذر برنج همان اطلاعات اندک در مورد اثر هوادهی بر پرایمینگ بذر و عملکرد بعدی آن است. به‌طوری‌که در یک مطالعه‌ای نشان داده شد که اُسموپرایمینگ با پلی اتیلن گلیکول با پتانسیل اُسمزی ۱/۲۵- مگاپاسکال باعث جوانه‌زنی و رشد سریع گیاهچه‌های برنج نسبت به تیمار عدم هوادهی بذور پرایم شده شد. همچنین اُسموهادرنینگ بذور برنج با کلرید کلسیم و کلرید پتاسم در پتانسیل ۱/۲۵- مگاپاسکال با شرایط هوادهی سبب افزایش جوانه‌زنی، استقرار مطلوب گیاهچه، رشد و عملکرد برنج در کشت نشائی گردید.

## ۲-۴-۵- دما

به‌طور کلی پرایمینگ و جوانه‌زنی نیازمند دماهای مشابه و سایر فاکتورهای محیطی می‌باشند. ممکن است هر گیاه یا دقیق‌تر هر رقم دارای محدوده دمایی بهینه برای جوانه‌زنی باشد. دماهای پایین طی زمان اعمال تیمارهای پرایمینگ می‌تواند عملکرد بذر را تغییر دهد. به‌طوریکه دماهای پایین‌تر حتی باوجود جذب بهینه آب سبب به تأخیر انداختن فرآیندهای فیزیولوژیکی جوانه‌زنی بذور برنج خواهند شد. البته باید توجه داشت کنترل آلودگی‌های میکروبی در طول پرایمینگ بذر نیز یک گام مهم در کنترل کیفیت محسوب می‌شود که دماهای پایین کاهش آلودگی‌های میکروبی طی انجام پرایمینگ را به همراه خواهد داشت. طی پژوهشی بذور برنج در دماهای ۱۵ تا ۲۵ درجه سلسیوس پرایم شدند. نتایج نشان داد که بالاترین سرعت جوانه‌زنی به‌ترتیب در دماهای ۱۷، ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس به‌دست آمد، همچنین بذور زمانی که در دمای ۱۵ درجه سلسیوس قرار داشتند در مدت زمان چهار روز و هنگامی که در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند در مدت یک روز توانستند بالاترین سرعت جوانه‌زنی را از خود نشان دهند. همچنین طی آزمایش دیگر نشان داده شد که پرایمینگ بذور برنج با پلی‌اتیلن گلیکول در پتانسیل ۰/۶ مگاپاسکال تأثیری در جوانه‌زنی بذور نداشت. به‌نظر می‌رسد اظهارنظر در باره تأثیر پرایمینگ در دماهای بالا، پایین و بهینه بر روی جوانه‌زنی و خصوصیات گیاهچه‌ای برنج مستلزم انجام آزمایشات و شناخت ترکیبات مختلف در پتانسیل‌ها و مدت زمان‌های متفاوت باشد.

## ۳-۴-۵- پتانسیل آب

وقتی پتانسیل آب به حد بحرانی در بذر برسد، شاهد جوانه‌زنی بذور خواهیم بود. پتانسیل آب ممکن است در بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای گیاهی متفاوت باشد، اما به‌طور کلی جوانه‌زنی زمانی انجام می‌شود که پتانسیل محیط بذور بین صفر تا ۲- مگاپاسکال باشد (مک‌دونالد، ۲۰۰۰)؛ اما زمانی که پوسته بذر نفوذناپذیر باشد یا حاوی مواد شیمیایی باشد که سبب خواب بذر می‌گردد، جوانه‌زنی تا زمان رفع این محدودیت‌ها صورت نمی‌گیرد. بذور دارای پوسته نفوذپذیری می‌باشند که معمولاً جوانه‌زنی در این وضعیت دارای سه مرحله متمایز است: ۱) جذب سریع آب: در این مرحله پتانسیل آب در محیط بیش‌تر از بذر است. ۲) مرحله فعال شدن: هورمون‌ها و آنزیم‌های ذخیره‌شده در بذر سبب تحریک رشد

فیزیولوژیکی می‌شوند. ۳) رشد ریشه‌چه: پایان مرحله جوانه‌زنی است (تیلور و همکاران، ۱۹۹۸). بذور دارای خواب (خشک) معمولاً پتانسیل آب آن‌ها در محدوده ۳۵۰- تا ۵۰- مگاپاسکال است؛ البته برخی از متابولیسم‌های در این پتانسیل آب ممکن است اتفاق بیفتند. حرکت آب به سمت بذر خشک در مرحله اول جوانه‌زنی بسیار سریع است، اما با نزدیک شدن پتانسیل آب بذر و محیط به یکدیگر معمولاً جذب آب کند می‌شود. اگر جذب آب در بذر خیلی سریع باشد (از یک محیط دارای پتانسیل آب بسیار بالا) ممکن است به سلول‌های آبرسان آسیب برسد (پیل و نیکر، ۲۰۰۱). بسیاری از محققان بهبود جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاهچه را به دلیل وجود طیف وسیع پتانسیل‌های آب نسبت دادند. گزارش‌شده است اُسموپرایمینگ با نیترات پتاسیم در پتانسیل آب ۱/۱- مگاپاسکال سبب افزایش جوانه‌زنی و ظهور سریع گیاهچه در بذر تیپ ریز می‌شود (باسرا و همکاران، ۲۰۰۳). در همین راستا لی و همکاران (۱۹۹۸) نیز دریافتند که اُسموپرایمینگ بذور برنج با پلی‌اتیلن گلیکول در پتانسیل ۰/۶- مگاپاسکال سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی نسبت به تیمار عدم پرایم گردید.

#### ۴-۵- کیفیت بذر

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

#### ۵-۴-۵- شرایط نگهداری بذر پرایم شده

قابلیت ماندگاری اولیه بذره‌ای پرایم شده تحت تأثیر فاکتورهایی همچون اکسیژن، رطوبت نسبی محیط، مقدار رطوبت بذر و دمای محیط می‌باشند. ثابت‌شده است بذر پرایم

شده برنج هنگامی که در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند به طور معنی داری درصد جوانه زنی و رشد گیاهچه‌ای آن کاهش یافت و اختلاف معنی داری با بذوری که در شرایط ۴- درجه سلسیوس نگهداری می‌گردیدند، مشاهده نشد. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد رطوبت نسبی هوا ممکن است از دمای محل نگهداری بذر در قابلیت انبارداری بذور پرایم شده ضروری تر باشد. به طور کلی دمای پایین، کاهش رطوبت نسبی و شرایط خلاء از شرایط بهینه بذور پرایم شده می‌باشند. تیمارهای پرایمینگ باعث جذب آب توسط بذر خشک می‌شوند، بنابراین وقایع فیزیولوژیکی بیوشیمیایی اولیه فعال می‌شوند. با وجودی که بذرها دوباره خشک می‌شوند، تحول فیزیولوژیکی بسیار پیشرفته‌تری نسبت به قبل از پرایمینگ رخ داده و بذرها بسیار مستعد زوال می‌شوند. مزایای پرایمینگ در طی انبارداری بسیار سریع از بین می‌رود و این کاهش به نوع گیاه، دما و رطوبت نسبی در طول انبارداری بستگی دارد.

#### ۵-۵- ویژگی بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی پرایمینگ بذر

تقویت بنیه بذر، بیش‌تر مراحل اولیه رشد یعنی جوانه زنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما در مورد رشد ریشه چه خیلی مؤثر نیست. هنوز درک اساسی از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پرایمینگ بذر و تأثیرگذاری آن بر روی جوانه زنی مشخص نشده است. به طور کلی موفقیت پرایمینگ بذر در جذب رطوبت بین ۵۰-۴۰ درصد وزن بذر است که از این مقدار ۹۵-۹۰ درصد برای جوانه زنی ضروری است (گرای و همکاران، ۱۹۹۰). پرایمینگ بذر سبب می‌شود تغییراتی در فعالیت آنزیم‌ها و سطوح لایه‌های بذر ایجاد گردد. این تغییرات در برنج شامل موارد زیر است.

##### ۱-۵-۵- آنزیم‌ها

بذرها در یک سیستم تعریف شده به عنوان سینک (مخزن) می‌باشند و منابع موجود در آن برای تولید گیاهچه استفاده می‌شود. مواد ذخیره‌ای در بذر برنج شامل نشاسته، پروتئین و مقدار کمی چربی در آندوسپرم بذر است. طی مرحله جوانه زنی، پس از جذب آب و آماس، ترشح هورمون‌ها توسط جنین بذر و سنتز آنزیم‌های هیدرولیتیک صورت می‌گیرد که با فعالیت آنزیم‌های لیپاز و پروتئاز، مواد ذخیره‌ای به مواد قابل انتقال (ساکارز) تبدیل و به جنین انتقال می‌یابند و عامل رشد جنین تلقی می‌شود. مطالعات بر روی برنج نشان داد

پرایمینگ از طریق افزایش فعالیت تعدادی از آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربوهیدرات‌ها (آلفا و بتا آمیلاز)، پروتئاز و تجزیه لیپیدها سبب شکستن ماکرومولکول‌ها برای رشد و توسعه جنین و در نهایت موجب سبز شدن سریع و توسعه گیاهچه‌ها می‌شوند. گزارش‌هایی مبنی بر بهبود آسیب‌های کورموزمی، رونویسی DNA، افزایش RNA و سنتز پروتئین *de novo* و کاهش نشت متابولیت‌های از دیواره سلولی توسط پرایمینگ وجود دارد (شارما و همکاران، ۲۰۱۴). آلفا آمیلاز به‌طور مستقیم با فعالیت متابولیکی مرتبط است و منجر به افزایش بنیه بذر برنج می‌شود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۵). در همین راستا افزایش قابل توجهی در سرعت جوانه‌زنی تحت اُسموپرایمینگ در دمای پایین (۵ درجه سلسیوس) و تنش شوری (۵۸٪) درصد کلرید سدیم) مشاهده شد. با این حال، تفاوت قابل توجهی بین فعالیت آنزیم‌های آمیلاز بذر و دهیدروژناز ریشه ثبت نگردید، درحالی‌که فعالیت آنزیم بتا آمیلاز بذر و کاتالاز ساقه در دماهای پایین افزایش یافت (هی و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین تحت تنش شوری، افزایش قابل توجهی در فعالیت آلفا آمیلاز بذر، دهیدروژناز سیستم ریشه و یک افزایش متوسطی در فعالیت آنزیم کاتالاز در ساقه مشاهده شد (هی و همکاران، ۲۰۰۲). لی و کیم (۲۰۰۰) با بررسی اُسموپرایمینگ و هاردنینگ بر روی جوانه‌زنی بذور طبیعی و بذور به‌طور طبیعی پیر شده اذعان داشتند که فعالیت آلفا آمیلاز در بذور طبیعی به‌مراتب بالاتر از بذور پیر شده بود. همچنین بین آلفا آمیلاز با کل قندها و سرعت جوانه‌زنی همبستگی مثبتی وجود دارد. در پژوهشی دیگر نشان داده شد که افزایش غلظت پرایمینگ با جیبرلیک اسید موجب افزایش آلفا آمیلاز و جوانه‌زنی بذر می‌گردد (ویرا و همکاران، ۲۰۰۲).

یون لانتانیم<sup>۱</sup> در بهبود فعالیت آنزیم‌های بذر برنج مؤثر می‌باشند. طی پژوهشی پرایمینگ بذر برنج با نمک لانتانیم بر روی جوانه‌زنی و خصوصیات گیاهچه‌ای نشان داد که پرایمینگ بذر برنج در دامنه ۲۰-۱ میلی‌گرم در لیتر از این نمک سبب افزایش قدرت گیاهچه، پروتئیناز، آمیلاز و لیپاز بذر گردید (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۵). بررسی‌ها نشان می‌دهد ارتقاء جوانه‌زنی بذور دارای خواب بسیار بالا در درجه اول به افزایش فعالیت آلفا آمیلاز مرتبط است (ویرا و همکاران، ۲۰۰۲). افزایش آلفا آمیلاز بذور برنج در پرایمینگ با ایندو استیک اسید بسیار بالاتر از پرایم با جیبرلیک اسید بود (کیم و همکاران، ۲۰۰۶).

---

1 Lanthanum

همچنین در مطالعه‌ای دیگر، پرایمینگ بذر برنج با نیترات لانتانیم موجب افزایش فعالیت‌های آلفا آمیلاز، پروتئاز، لیپاز و دیگر آنزیم‌های هیدرولیتیک‌کننده گردید؛ اما محتوای هورمون‌های گیاهی مانند ایندول استیک اسید، جیبرلیک اسید و سیتوکنین و همچنین مقدار آبسزیک اسید به مقدار جزئی تغییر یافت (فاشویی و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین در تحقیقی دیگر پرایمینگ بذر برنج با نیترات لانتانیم سبب افزایش سرعت تنفس و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز و کاهش محتوای اکسیژن و نفوذپذیری غشای پلاسما شد (فاشویی، ۲۰۰۲). همچنین تیمار بذر برنج با غلظت‌های بالا جیبرلیک اسید سبب افزایش آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز به ترتیب ۳۷/۹ و ۲۲/۸ درصد نسبت به تیمار عدم پرایم گردید (دشپنده و همکاران، ۲۰۰۳).

## ۲-۵-۵- متابولیت‌ها

کربوهیدرات‌ها ترکیبات اصلی ذخیره‌شده در بذر برنج می‌باشند. این ترکیبات ذخیره‌ای به شکل نشاسته ذخیره‌شده‌اند و نمی‌توانند مستقیماً توسط جنین در حال رشد مصرف شوند که با انجام عملیات هیدرولیز، نشاسته ذخیره‌شده به قندهای محلول تبدیل می‌شود؛ بنابراین قندهای محلول به‌طور مستقیم مسئول بهبود رشد بذر می‌باشند. در این زمینه، افزایش محتوای قند کل، قندهای احیایی و غیر احیایی در بذور تحت آسموپرایم و هاردنینگ شده برنج با فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده قند، جوانه‌زنی و بهبود رشد گیاهچه ارتباط مستقیمی دارد (باسرا و همکاران، ۲۰۰۶). لی و کیم (۱۹۹۹) گزارش دادند که پرایمینگ مناسب بذر برنج موجب تجزیه ماکرومولکول‌های بزرگ نشاسته به دانه‌های کوچک‌تر و ایجاد حفره‌هایی بین جنین و آندوسپرم می‌شوند و زمینه برای رشد و توسعه جنین و در نهایت موجب سبز شدن سریع و توسعه گیاهچه‌ها می‌شوند.

بررسی نشان می‌دهد سطوح بالاتر ساکارز و سطوح پایین‌تر قندهای محلول و فروکتوز در بذره‌ای هیبرید برنج تحت فن پرایمینگ مشاهده شد. همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری بین مقدار فروکتوز بذر پرایم شده با محتوای فروکتوز و کل قندهای محلول در گیاهچه‌های تحت تنش به‌دست آمد. پرایمینگ سبب کاهش فروکتوز و افزایش محتوای پرولین موجود در دانه و فروکتوز در گیاهچه می‌شود و به دنبال آن افزایش مقاومت به تنش شوری را در گیاهچه‌ها به دنبال خواهد داشت (روان و همکاران، ۲۰۰۳). بررسی‌ها نشان

می‌دهد پرایمینگ هورمونی بذر همچنین سبب افزایش سطوح بالاتر قندهای محلول در دانه برنج می‌گردد. افزایش محتوای قندهای محلول در پرایمینگ با سیتوکنین و جیبرلیک اسید تا حدودی بیش‌تر از پرایمینگ بذر برنج با ایندول استیک اسید بود (کیم و همکاران، ۲۰۰۶).

اُسمولیت‌های آلی در تنظیم تعادل کربن-نیتروژن، پتانسیل ردوکس و pH و همچنین در انتقال سیگنال‌ها نیز بسیار مؤثر است؛ ازاین‌رو چنین ترکیباتی در ارتقای توانایی گیاه در مقابله با تنش‌های غیر زیستی دارای اهمیت زیادی هستند. تعدادی از اُسمولیت‌های آلی قادرند پس از برطرف شدن تنش به‌عنوان عوامل احیایی و یا منابعی برای کربن و نیتروژن نمایند. عمده‌ترین اُسمولیت‌های آلی شامل؛ آمینو اسیدها، پلی‌ال‌ها، قند، متیل‌آمین‌ها و ترکیب آمونیومی سه‌گانه و چهارگانه می‌باشند. این ترکیبات حتی در غلظت‌های بالا نیز بی‌ضرر بوده و با سیستم‌های درون‌سلولی تداخل پیدا نمی‌کنند و به همین دلیل تحت عنوان محلول‌های سازگار شناخته می‌شوند (نامور و همکاران، ۱۳۹۶). افزایش سنتز و انباشتگی اُسمولیت‌ها یک مکانیسم مهم در تحمل گیاهان به تنش است که موجب تداوم و جذب آب شده و همچنین پتانسیل اسمزی سلول را کاهش و امکان تنظیم اسمزی در شرایط نامطلوب محیطی را فراهم می‌سازد. ازجمله اُسمولیت‌های با وزن مولکولی کم می‌توان به پرولین و بتا‌گالاکتوسین اشاره کرد. این اُسمولیت‌ها به‌عنوان پیش ماده تولید پروتئین عمل نموده و یک منبع انرژی در فرآیندهای ترمیمی پس از تنش به شمار می‌رود (پسرکلی، ۲۰۱۱). پرولین یک ترکیب آمینواسیدی است که در تعدیل بسیاری از تنش‌های محیطی نظیر شوری، خشکی، فلزات سنگین و اکسیداتیو مؤثر است. تجمع اُسمولیت‌ها نظیر پرولین به‌عنوان مکانیسم سازگاری شناخته‌شده‌ای در گیاهان، تحت شرایط تنش مطرح گردیده و پیشنهاد شده است که تجمع پرولین می‌تواند به‌عنوان ملاک گزینش ارقام مقاوم در اکثر گونه‌ها مدنظر قرار گیرد (نامور و همکاران، ۱۳۹۶). در آزمایشی که توسط دیاوانایی و همکاران (۲۰۱۱) انجام گردید مشخص شد که پرایمینگ بذور برنج با پرولین موجب کاهش اثرات بازدارندگی شوری شده و امکان رشد گیاهچه‌ها در حضور غلظت‌های بالای نمک (۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) را فراهم می‌کند. در کنار حفاظت اسمزی، مشخص گردید که

حضور پرولین در ارتقای سیستم دفاع آنتی اکسیدانی، فعال سازی مسیرهای سم زدایی<sup>۱</sup>، حفظ هومئوستازی سلولی از طریق تعادل ردوکس و مسیرهای علامت دهی تنش ها مؤثر است. دژبنده و همکاران (۲۰۰۳) نیز افزایش ۲۴/۵ درصدی غلظت پرولین را در پرایمینگ بذور برنج هیبرید با نفتالیک اسید را گزارش کرد. بتاگلاسیین مولکول آلی (ترکیب آمونیومی چهارگانه) محلول در آب است که می تواند با حفاظت از سلول های گیاهی به وسیله تنظیم اسمزی، پایدار کردن پروتئین ها، حفاظت از دستگاه فتوسنتزی و کاهش گونه های فعال اکسیژن، نقش حفاظتی در برابر تنش های محیطی ایفا نماید (احمد و همکاران، ۲۰۱۳). نقش بتاگلاسیین در حفاظت از کمپلکس جداکننده اکسیژن فتوسیستم II به واسطه جلوگیری از تغییر حالت پروتئین های هسته ای مرکزی این کمپلکس در شرایط تنش زا به اثبات رسیده است (نامور و همکاران، ۱۳۹۶). وانی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند در شرایط تنش آبی که با افزایش پتانسیل آبی همراه است، پرایمینگ بذور برنج با بتاگلاسیین سبب بهبود پتانسیل اسمزی برگ ها و افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی و در نتیجه افزایش فتوسنتز گردید.

## ۶-۵- پرایمینگ بذر و مدیریت خواب<sup>۲</sup>

خواب بذر به عنوان خصوصیت درونی و ذاتی دانه تعریف می شود که تعیین کننده قدرت جوانه زنی در شرایط محیطی دانه است. بر این اساس خواب تنها با غیاب جوانه زنی همراه نیست بلکه خصوصیتی از دانه است که شرایط لازم را برای جوانه زنی تعیین می کند. تیمارهای مختلف پرایمینگ برای غلبه بر این پدیده فیزیولوژیکی ثابت شده است. پرایمینگ بذر با نمک ها، هورمون ها و دیگر ترکیبات می تواند سبب شکستن خواب بذر گردد. طی آزمایشی ۱۶ رقم برنج تحت تیمارهای مختلف شکستن خواب شامل جدا کردن پوسته و کاربرد نمک ها، پراکسید هیدروژن و رژیم های دمایی مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشان داد (۱) جدا کردن پوسته بذر نسبت به سایر تیمارها در شکستن خواب بذر بسیار مؤثرتر بود. (۲) ارقام واکنش های متفاوتی نسبت به دماهای مختلف داشتند و هیچ کدام از دماها به طور مداوم در شکستن خواب بذر مؤثر نبود. (۳) کاربرد نمک ها و

1 Detoxification

2 Seed priming and dormancy management

پراکسید هیدروژن در شکستن خواب بذر از ارقام مؤثر بود. به نظر می‌رسد تلفیق از بین بردن پوسته بذر با تیمارهای شیمیایی ترکیب بسیار مناسبی برای شکستن خواب بذر ارقام برنج باشند (ناریدو و همکاران، ۱۹۹۸). در بین هورمون‌های گیاهی نیز جیبرلین‌ها در شکستن خواب بذر و بهبود خصوصیات جوانه‌زنی بذور ریکال سیترا ثابت‌شده‌اند (سریواستاوا، ۲۰۰۲). بررسی اثر پرایمینگ با اسید جیبرلیک در بذر رقمی از برنج که دارای خواب بسیار بالایی با تیمارهای (۱) قرار دادن بذور در اتاقک رشد با دمای ۴۰ درجه سلسیوس به مدت هفت روز (۲) پرایم بذور با محلول ۶۰ میلی گرم جیبرلیک اسید در یک لیتر آب در مدت زمان‌های ۲، ۲۴ و ۳۶ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس؛ نتایج نشان داد که کلیه تیمارها به‌طور معنی‌داری موجب شکستن خواب بذر گردیدند. همچنین نتایج حاکی از آن است که شکستن خواب بذر با افزایش آلفا آمیلاز همبستگی معنی‌داری داشت؛ بنابراین آلفا آمیلاز در شکستن خواب بذور برنج مؤثر است (وبرا و همکاران، ۲۰۰۲). به‌طور کلی می‌توان ادعا داشت که شکستن خواب بذور برنج تحت پرایمینگ با جیبرلیک اسید، نمک‌های معدنی (به‌ویژه نیترا پتاسیم) و تیمارهای دمایی بسیار مناسب می‌باشند. به نظر می‌رسد پژوهش‌های لازم جهت شناخت بهترین ترکیب با بهبوددهنده‌های کیفیت بذر جهت شکستن خواب بذر برنج ضروری باشد.

## ۷-۵- پرایمینگ بذر و تحمل به تنش‌ها

### ۷-۵-۱- تنش خشکی<sup>۱</sup>

به‌طور کلی خشک‌سالی در سیستم تولید برنج آبی وجود ندارد اما در دنیا حدود ۶۳/۵ میلیون هکتار برنج به‌صورت کشت مستقیم گزارش شده است که عمدتاً در مناطق آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین کشت می‌شوند (نارسیسو و هوساین، ۲۰۰۲). کمبود منابع آب، کشاورزان تولیدکننده برنج را مجبور به ایجاد رویکردی مناسب یعنی کشت مستقیم برنج به‌جای کشت غرقابی در جهت کاهش میزان مصرف آب کرده است که بسیار ارزشمند است (خلیق و همکاران، ۲۰۱۵). کشت مستقیم برنج علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب 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 می‌گردد. به علت بحران انرژی عصر حاضر و هزینه زیاد کشت نشائی، 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. جوانه‌زنی از مراحل حساس در چرخه رشد برنج به حساب می‌آید، زیرا این پدیده نقش عمده‌ای را در تعیین تراکم نهایی گیاه از خود به جا می‌گذارد. جوانه‌زنی بذر شامل شروع فعالیت متابولیکی سریع، رشد جنین، خروج ریشه‌چه و سرانجام ظهور اندام‌های هوایی گیاه است؛ بنابراین موفقیت کشت مستقیم برنج مستلزم یافتن راهبردهای اطمینان‌بخش در جهت استقرار سریع و یکنواخت این گیاه زراعی است (فاروق و همکاران، ۲۰۱۵). استفاده از فن پرایمینگ بذر می‌تواند یکی از روش‌های مؤثر و کاربردی در جبران عوارض ناشی از کشت مستقیم برنج در شرایط نامساعد محیطی باشد. یکی از ترکیبات مهم جهت اسموپرایمینگ کلرید پتاسیم است. پتاسیم با نقش کلیدی در واکنش‌های آنزیمی، تنفس، جذب و تثبیت  $CO_2$ ، سنتز پروتئین‌ها و تأثیر آن بر فتوسنتز از طریق تنظیم کار روزنه‌ها و روابط آب در گیاه و افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی نقش بسیار مهمی در افزایش عملکرد گیاهان در شرایط تنش خشکی دارد. تجمع پتاسیم در آوندهای چوبی، پتانسیل اسمزی شیرخام را کاهش می‌دهد که این امر افزایش تحمل به تنش را در گیاه موجب خواهد شد. همچنین غلظت زیاد یون پتاسیم در سلول‌های مزوفیل، پتانسیل اسمزی آن‌ها را کاهش داده که این امر، سودمندی مجددی بر مصرف آب دارد زیرا پتانسیل اسمزی کمتر، نگهداری آب را بهبود می‌بخشد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۳). در همین راستا طی پژوهشی نشان داده شد که پرایمینگ برنج با کلرید پتاسیم از طریق بهبود آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سبب افزایش درصد و یکنواختی سبز شدن گردید (فاروق و همکاران، ۲۰۱۵). طی مطالعه‌ای گزارش شد پرایمینگ بذر برنج با آب و کلرید پتاسیم سبب کاهش مدت زمان لازم جهت رسیدن به ۱۰ و ۵۰ درصد سبز شدن، سرعت و درصد سبز شدن گردید (رحمان و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین اسموپرایمینگ با کربنات کلسیم نسبت به

هیدروپرایمینگ و تیمار عدم پرایم سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در برنج شد (نواز و همکاران، ۲۰۱۷) نیز گزارش کردند اسموپرایمینگ با کربنات کلسیم نسبت به هیدروپرایمینگ و تیمار عدم پرایم سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در برنج شد. فاروق و همکاران (۲۰۰۶) طی پژوهشی اظهار داشتند که پرایمینگ 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 شد.

## ۲-۷-۵- تنش شوری<sup>۱</sup>

تنش شوری یکی از مشکلات اساسی در تولید غلات در سراسر جهان است. برنج نیز یکی از غلات حساس به شوری است. شوری بیش‌ازحد به‌طور معنی‌داری همه فعالیت‌های متابولیک اصلی برنج را تحت تأثیر قرار می‌دهد که شامل خسارات دیواره سلولی، پلاسمولیز، تجزیه سیتوپلاسم و آسیب به شبکه آندوپلاسمی، تجمع سیترات، ملات و اینوزیتول در پهنک برگ، افزایش مقدار پرولین به اندازه ۴ تا ۲۰ برابر، کاهش حداکثری بازده کوانتومی فتوسنتز II، کاهش فتوسنتز و کاهش کلی در جوانه‌زنی و رشد نشاها است که در نهایت به کاهش رشد و بازده دانه منجر می‌شود. تحقیقات نشان داده است که برنج در طی مراحل اولیه نشاء نسبت به مراحل تولیدمثلی حساسیت بیشتری به شوری دارد. مکانیسم‌های مقاومت به شوری در گیاهان عالی شامل تنظیم اسمزی، تعدیل یونی و تنظیم هورمونی است. یکی از استراتژی‌های مهم در به حداقل رساندن تأثیر شوری بر گیاهچه‌های برنج به‌کارگیری پرایمینگ بذر برنج است. به‌عنوان مثال پرایمینگ بذر برنج با پوتریسین می‌تواند عوارض جانبی سدیم در طول جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را کاهش دهد، به‌طوری‌که با افزودن ۰/۰۱ میلی‌مولار پوتریسین به ۱۵۰ میلی‌مولار محلول کلرید سدیم می‌تواند تجمع یون‌های خالص سدیم و بذور را کاهش داده و جذب آب توسط بذر را نیز افزایش دهد (پاراکاش و پارتاپاسنان، ۱۹۸۸). در مطالعه‌ای دیگر ثابت شد پرایمینگ بذور با جیبرلیک اسید و ایندول استیک اسید سبب افزایش مقاومت گیاهچه برنج به شوری گردید و در این میان ایندول استیک اسید مؤثرتر بود (کیم و همکاران، ۲۰۰۶). یکی دیگر از ترکیبات که برای افزایش

مقاومت به شوری در برنج کاربرد دارد براسینو استروئیدها<sup>۱</sup> (BRs) است. براسینو استروئیدها جزو هورمون‌های طبیعی گیاهی می‌باشند که برای رشد و تکامل ضروری‌اند. پژوهش‌ها حاکی از آن است پرایمینگ بذر برنج با این هورمون گیاهی سبب افزایش مقاومت به شوری در گیاهچه‌های برنج می‌گردد. افضل و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که پرایمینگ بذور برنج با کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم در پتانسیل ۱/۲۵- مگاپاسکال و پراکسید هیدروژن با غلظت ۵۰ میلی‌مولار در مدت زمان ۳۶ ساعت افزایش مقاومت این گیاه به تنش شوری می‌شود. چونتابور و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده کردند پرایمینگ بذر دو رقم مقاوم و حساس به شوری با اسپرمیدین با غلظت یک میلی‌مولار نسبت به جیبرلیک اسید با غلظت ۰/۴۳ میلی‌مولار کارآیی بالاتری از خود نشان داد. به‌طوریکه در پرایمینگ با اسپرمیدین بذور دارای آنتی‌اکسیدان بالاتری بود و همچنین مقدار سدیم و پراکسید هیدروژن کم‌تر و پتاسیم و پرولین بالاتری نسبت به پرایمینگ با جیبرلیک اسید داشت. نتایج نشان داد بهبود خصوصیات رشدی در رقم حساس به‌مراتب بالاتر از رقم مقاوم به شوری بود. در پژوهش دیگر نشان داد شده که پرایمینگ بذور حساس به شوری برنج با پلی‌آمین‌های اسپرمیدین و اسپرمین سبب بهبود ژن‌های کنترل‌کننده فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، بیوسنتز اُسمولیت‌ها و سنتز آبسزیک اسید سبب افزایش مقاومت به شوری گردید (پاول و روچودوری، ۲۰۱۷). به‌نظر می‌رسد پلی‌آمین‌ها بهترین ترکیب برای پرایمینگ برای بهبود تحمل به شوری در برنج می‌باشند (روچودوری و همکاران، ۲۰۱۱؛ یو و همکاران، ۲۰۱۶).

### ۳-۷-۵- دمای پایین<sup>۲</sup>

تأثیر دمای پایین در اوایل دوره رشد موجب کاهش جوانه‌زنی و اختلال در خروج ریشه‌چه در مناطق شمالی کشور که کشت برنج مرسوم است می‌گردد. تنش سرما علاوه بر کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و استقرار نامناسب گیاهچه‌ها موجب افزایش گونه‌های اکسیژن فعال و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌گردد. سرمای ابتدای فصل سبب عدم تأمین دماهای مناسب برای فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با قابل‌استفاده نمودن ذخایر بذر برای قسمت‌های مریستمی، سرعت سبز و استقرار گیاهچه‌های برنج کاهش می‌یابند. برای مقابله

1 Brassinosteroids

2 Low temperature

با سرمای ابتدای فصل راهکاری‌های متعددی وجود دارد که یکی از آن‌ها تقویت بنیه بذر است. به‌طور مثال پرایمینگ بذور برنج در غلظت‌های مختلف بتائین، پرولین، پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین موجب افزایش جوانه‌زنی و سرعت رشد بالا در دماهای پایین می‌گردد. به‌طوریکه گزارش شده است به‌کارگیری این ترکیبات سبب افزایش ۲۷-۹ درصدی رشد ریشه نسبت به تیمار عدم پرایم می‌گردد. بیشترین رشد ساقه‌چه در غلظت‌های ۰/۵، ۲، ۰/۵، ۰/۵ و ۰/۵ میلی‌مولار به‌ترتیب تحت پرایم با پرولین، بتائین، پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین به دست آمد. طی پژوهش دیگر نیز نشان داده شد که پرایمینگ بذر برنج با پراکسید هیدروژن و ترکیب ایندول استیک اسید+گلایسین بتائین نیز سبب افزایش رشد گیاهچه‌ها در شرایط گلخانه در دمای پایین گردید. پرایمینگ بذر برنج با اسید سالیسیلیک و سلیوم از طریق کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش سرعت تنفس، فعالیت آلفا آمیلاز و فعال‌سازی ذخیره بذر برای تأمین انرژی لازم جهت رشد سبب افزایش مقاومت به تنش سرما گردیدند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۶). در همین راستا نشان داده شد پرایمینگ بذور برنج با اسپرمیدین در غلظت ۵ میلی‌مولار سبب افزایش مقاومت به تنش سرما گردید (شیتوی و همکاران، ۲۰۱۷).

#### ۴-۷-۵- فلزات سنگین<sup>۱</sup>

جذب فلزات سنگین به‌وسیله گیاهان از اراضی آلوده، یکی از مهم‌ترین راه‌های ورود این عناصر به زنجیره غذایی است؛ بنابراین غلظت فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی باید در سطوحی نگهداری شوند که حداقل زیان را به گیاه وارد نموده و کم‌ترین تهدید را برای زنجیره غذایی به همراه داشته باشند. در میان محصولات کشاورزی، در سال‌های اخیر تجمع فلزات سنگین در محیط‌های آبی و آلودگی خاک‌های کشت برنج رشد به یک نگرانی اساسی تبدیل شده است. وجود مقادیر سمی فلزات سنگین مانند سرب، کادمیوم، کروم، منگنز و آرسنیک به‌طور گسترده موجب بیماری و مرگ انسان‌ها، حیوانات و در گیاهان باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیک شده و می‌تواند موجب کاهش توان رشد گیاه و در حالت شدیدتر باعث از بین رفتن گیاه شود (فن و همکاران، ۲۰۱۷؛ کالیتا و همکاران، ۲۰۱۸). گیاهان حساس در چنین شرایطی آسیب‌دیده و از بین می‌روند درحالی‌که گیاهان مقاوم در این شرایط همچنان

به رشد و تولیدمثل خود ادامه می‌دهند. علائم سمیت سرب در گیاه شامل جلوگیری از رشد، کلروز و سیاه شدن سیستم ریشه است. وقتی سرب حتی در مقادیر کم وارد سلول می‌شود گستره وسیعی از اثرات مضر را روی فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه ایجاد می‌کند از جمله باعث ممانعت از فعالیت آنزیم‌ها، اختلال در تغذیه معدنی و تعادل آب گیاه می‌شود. همچنین باعث تغییر وضعیت هورمون‌ها شده و ساختار و نفوذپذیری غشاء را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این اختلالات، فعالیت‌های معمول فیزیولوژیکی گیاهان را بر هم زده و در غلظت‌های بالا ممکن است منجر به مرگ سلول نیز شود. به کارگیری فن پرایمینگ بذر به عنوان یک از روش‌های ساده برای رشد برنج در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین است (شینواری و همکاران؛ ۲۰۱۵). پرایمینگ بذر دو رقم برنج با اسید سالیسیلیک نسبت به هیدروپرایمینگ به خوبی توانست در شرایطی که آب آبیاری دارای فلز سنگین کروم بود رشد کند (شینواری و همکاران، ۲۰۱۵). پرایمینگ بذر برنج با سلنیوم (۱-۸ میلی گرم در لیتر) سبب تسریع در جوانه زنی و رشد گیاهچه، نگهداری سطح رنگدانه بیش تر، بهبود وضعیت متابولیت‌هایی مثل پرولین و بتاگلیاسین، پروتئین و قندهای محلول، کاهش آسیب غشایی سلول و کاهش جذب فلز سمی کروم توسط گیاهچه‌ها شد (مولیک و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین گزارش شده است تجمع فلز سنگین آرسنیک در ریشه و ساقه گیاه برنج در اثر کاربرد پرایمینگ با سلنیوم نسبت به تیمار عدم پرایم به طور معنی داری کاهش یافت (مولیک و همکاران، ۲۰۱۸). صلاح و همکاران (۲۰۱۵) نیز دریافتند که پرایمینگ بذور برنج با پلی اتیلن گلیکول سبب کاهش سمیت روی در ریشه و برگ‌های برنج گردید.

## **فصل ششم**

# **اصول کنترل، گواهی و تولید بذر برنج**



## ۱-۶- مقدمه

اساس تولید محصولات زراعی است و به عنوان اولین نهاده مصرفی در انتقال صفات ژنتیکی محصول دارای نقش غیرقابل انکاری است. بدون استفاده از بذر خوب حتی با مصرف فراوان انرژی نیز نمی توان به حداکثر محصول و عملکرد دست یافت. می توان گفت که بذر تنها نهاده ای است که بدون صرف هزینه های اضافی می تواند در افزایش عملکرد نقش مهمی داشته باشد. کاشت بذر پایه کشاورزی اولیه و در نهایت شکل گیری تمدن های بعدی بود. از زمانی که بشر کاشت، برداشت و نگهداری بذرهای علف های چمنی خاص را برای تأمین غذای زمستان آموخت، زندگی چادرنشینی را ترک کرد و زیستگاه های دائمی را برای زندگی انتخاب نمود. در داخل بذر نیروی نمو، عناصر غذایی و مکانیسم های زمانی و مکانی قرار دارند که مراحل بعدی رشد را مخابره می کنند.

پیش از دوران نوین کشاورزی، بذر یکی از محصولات فرعی در تولید غلات و یا علوفه محسوب می شد. عموماً کم ارزش ترین بخش گیاهان که از کاهدان ها و انبارهای علوفه همراه با بذر و علف های هرز و سایر ناخالصی ها، جمع آوری می گردید، به عنوان بذر در نظر گرفته می شد. در مواقعی زارع که مازاد بذر داشت آن را در اختیار همسایگانش قرار می داد که پیامد آن وقوع تغییرات از مزرعه ای به مزرعه دیگر بود. عمدتاً بذوری که در بازار یافت می شد از منابع نامشخص و با کیفیت مشکوک جمع آوری شده بود و عدم توانایی خریداران در شناخت کیفیت بذر، فرصت مناسبی را برای فروشندگان سودجو، جهت کسب منافع فراهم می نمود. شرایط فوق و نیز وجود جو حاکم از سوءظن در خصوص بذور خریداری شده از خارج از مزرعه به مخالفان این امکان را فراهم می نمود تا علیه توسعه قانونی صنعت بذر، فعالیت نمایند. جامعه کشاورزی هر کشوری وظیفه دارد که به طور همیشگی برای مردم مواد غذایی با کیفیت بالا تهیه نموده و مواد خام لازم را نیز به کارخانه ها ارائه نماید. برای به رسیدن به این هدف ثبات در تولیدات کشاورزی، لازم است که از طریق تولید دقیق انجام

شود. تمرکز و اختصاصی نمودن تولیدات در کشاورزی باعث تقسیم‌کار مؤثر و ایجاد واحدهای تخصصی بزرگ می‌شود. جریان‌ات تکاملی در این زمینه به تولید نهال و بذر کشیده می‌شود، زیرا کشاورزان وظیفه دارند تولید مقدار و بذر را با کیفیت بالا مطابق نیاز انجام دهند. روش‌های صحیح تولید بذر اثر زیادی بر روی مقدار محصول می‌گذارد. تولید مقدار محصول در واحد سطح در هر نوع گیاه بستگی به شرایط تکنیکی زراعی، تأمین آب، مقدار آب، تأمین مواد غذایی و از همه مهم‌تر رسیدن به مقدار مناسب بوته در واحد سطح و نیز تولید هر گیاه دارد. یکی از شرایط پیشرفت در کار به‌نژادی بذر، برنامه‌ریزی در تولید و تهیه مناسب انواع آن است. انتخاب انواع گیاهان مناسب برای مکان‌های مختلف در برنامه‌ریزی به‌نژادی و در سال‌های طولانی اهمیت زیادی دارد. این انتخاب مناسب باعث می‌گردد که در سال‌های متمادی حدود ۳۰-۵ درصد بر افزایش محصول مؤثر باشد. در واحدهای کشاورزی جدید برخلاف واحدهای قدیمی به تولید دقیق و مناسب بذر از نظر کیفی بیش‌تر توجه شود.

بذر گیاه نتیجه پژوهش‌های به‌نژادی و به‌زراعی است و عامل دستیابی به پتانسیل واقعی عملکرد کمی و کیفی یک ژنوتیپ گیاهی محسوب می‌شود. در نتیجه با توجه به نیاز موجود به بذر برای تولید محصول زراعی و همچنین اهمیت کیفیت بذر و رابطه آن با تولید محصول، برنامه تکثیر و کنترل و گواهی بذر اهمیت ویژه‌ای در ارتباط با حفظ ویژگی‌ها و اصالت ژنتیکی یک رقم و تأمین میزان بذر مورد نیاز کشاورزان دارد. از این‌رو کنترل و گواهی بذر باید بر مبنای یک دستورالعمل اجرایی مدون و منطبق با معیارهای لازم برای دستیابی به تولید بذر با کیفیت مطلوب صورت پذیرد.

نقش و اهمیت کنترل و گواهی بذر با توجه به نقش مهم بذر اصلاح شده در توسعه کشاورزی نوین و ارتباط آن با اجرای صحیح برنامه کنترل و گواهی بذر بیش‌ازپیش مشخص می‌گردد. بذر اصلاح شده ابزاری برای انتقال تکنولوژی‌های نوین تولید محصول و ابزاری بنیادین برای تحقق امنیت غذایی، با تأمین پایداری تولید محصولات زراعی به‌ویژه در مناطق با شرایط نامناسب تولید است.

کنترل و گواهی بذر<sup>۱</sup> از دیدگاه علمی فرآیندی سازمان‌یافته و طراحی‌شده برای تکثیر و تأمین بذر اصلاح شده ارقام برتر گیاهان زراعی مورد نیاز کشاورزان است. از دیدگاه قانونی، کنترل و گواهی بذر، نظامی منطبق با قانون بذر هر کشور است که برای کنترل کیفیت تولید و تکثیر بذر وضع شده است.

هدف برنامه تکثیر و کنترل و گواهی بذر تأمین مقدار کافی بذر دارای کیفیت مطلوب یک رقم اصلاح شده می‌باشد. بنا به تعریف، رقم اصلاح‌شده گروهی از گیاهان است که با توجه به خصوصیات ظاهری، فیزیولوژیکی، سیتولوژیکی و شیمیایی از دیگر گروه‌ها قابل تمایز بوده و دارای یکنواختی کافی می‌باشد و طی روند تکثیر خصوصیات آن پایدار می‌ماند. این تعریف در غالب کلاس‌های مختلف بذری و بر اساس معیارهای مصوب (استانداردهای ملی بذر هر محصول) محقق می‌شود. طبقات بذر و استانداردهای کیفی هر یک از این طبقات اجزای اصلی سیستم کنترل و گواهی بذر می‌باشند. سیستم کنترل و گواهی بذر مبتنی بر اجرای راهکارهای نظارتی ضروری در ارزیابی کیفی بذر تولید شده (بر مبنای استانداردهای ملی) می‌باشد که بر اساس نیازهای ملی تدوین گردیده و اجرا می‌شود. بر این اساس برنامه کنترل و گواهی بذر از طرف مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال که بر اساس قانون بذر کشور (مصوب سال ۱۳۸۲) متولی کنترل و گواهی بذور تولیدی کشور می‌باشد، تدوین و ابلاغ شده و بر حسن اجرای آن نظارت دارد. برنامه تولید و تکثیر بذر زمانی موفقیت‌آمیز است که بتواند مقدار کافی و قابل‌دسترس از بذر دارای کیفیت مطلوب را در زمان مقتضی و با هزینه قابل قبول در محل مورد نیاز بذر، تولید نماید.

## ۲-۶- طبقات مختلف بذر

در حال حاضر طبقات بذر گیاهان زراعی مختلف بر اساس استانداردهای ملی متفاوت بوده ولی معمولاً شامل چهار طبقه نوکلئوس (هسته اولیه)، سوپر الیت (پایه)، الیت (مادری) و گواهی‌شده می‌باشد.

### ۱- طبقه بذر هسته اولیه یا نوکلئوس<sup>۱</sup> (سوپر الیت) (B.S)

این طبقه بذر توسط به‌نژادگر اصلاح و تکثیر می‌گردد و ممکن است رقم جدیدی باشد و یا از ارقام متداول کشور بوده که هر ساله از توده گیاهی مربوطه گزینش می‌شود. معمولاً میزان آن ناچیز بوده و تحت نظارت مؤسسه تحقیقات برنج کشور تکثیر و کنترل و گواهی می‌گردد.

### ۲- طبقه بذر الیت<sup>۲</sup> (F.S)

این طبقه از تکثیر طبقه هسته اولیه با مسئولیت و تحت نظارت مؤسسه تحقیقات اصلاح‌کننده گیاه تکثیر، کنترل و گواهی می‌شود و میزان آن بیشتر از بذر نوکلئوس است.

### ۳- طبقه بذر مادری<sup>۳</sup> (R.S)

این طبقه بذر نخستین طبقه بذر تجاری محسوب می‌شود و در سطح نسبتاً وسیع توسط پیمانکاران تولید بذر تولید می‌شود. مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال بر حسب وظایف قانونی کلیه مراحل تولید آن را تحت نظارت دقیق قرار می‌دهد و بذور واجد شرایط استاندارد را تأیید می‌نماید.

### ۴- طبقه بذر گواهی‌شده<sup>۴</sup> (C.S)

این طبقه، طبقه بذری مورد کاشت زارعین بوده که در حجم زیاد و از تکثیر طبقه بذر مادری تولید شده به دست می‌آید و طبقه اصلی بذر تجارتی کشور محسوب می‌شود. مزارع این طبقه بذر توسط مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال و یا ناظرین مورد تأیید این مؤسسه در بخش خصوصی، نظارت و کنترل و گواهی می‌گردد.

به منظور حفظ پایداری و خلوص ژنتیکی و فیزیکی، قوه نامیه و ویگور نسل‌های بذری استانداردهایی در هر کشور تدوین می‌گردد. این استانداردها دو مرحله حساس از تولید را شامل می‌شود: استانداردهای مزرعه‌ای و استانداردهای بذری (پس از فرآوری). در جداول (۱) و (۲) استانداردهای مصوب برای تولید بذر برنج در ایران درج شده است.

1 Breeder Seed

2 Foundation Seed

3 Registered Seed

4 Certified Seed

جدول ۱- استاندارد مزرعه تولید بذر برنج (آسروش، ۱۳۸۷)

| عنوان استاندارد                | پیش پایه | مادری   | گواهی شده |
|--------------------------------|----------|---------|-----------|
| حداقل تناوب (سال)              | ۱        | ۱       | ۱         |
| حداقل ایزولاسیون (متر)         | ۱۰       | ۱۰      | ۱۰        |
| حداکثر تعداد بوته سایر ارقام   | ۱/۱۰۰۰۰  | ۱/۵۰۰۰  | ۱/۱۰۰۰    |
| حداکثر تعداد بوته سایر گونه ها | ۱/۱۵۰۰۰  | ۱/۱۰۰۰۰ | ۱/۵۰۰۰    |
| حداکثر علف های هر غیرمجاز (%)  | ۰        | ۰       | ۰         |
| حداکثر بوته های بیمار (%)      | ۰        | ۰       | ۰         |

جدول ۲- استاندارد بذر برنج (آسروش، ۱۳۸۷)

| عنوان استاندارد            | پیش پایه | مادری | گواهی شده |
|----------------------------|----------|-------|-----------|
| حداقل خلوص بذر (%)         | ۹۸       | ۹۸    | ۹۸        |
| حداکثر بذر سایر گونه ها    | ۰/۰۵     | ۰/۱   | ۰/۲       |
| حداکثر بذر سایر ارقام      | ۰/۰۵     | ۰/۱   | ۰/۲       |
| حداکثر مواد جامد (%)       | ۲        | ۲     | ۲         |
| حداکثر بذر علف های هرز (%) | ۰/۰۵     | ۰/۰۵  | ۰/۱       |
| حداکثر بذر بیمار (%)       | ۰        | ۰     | ۰         |
| حداقل جوانه زنی (%)        | ۸۰       | ۸۰    | ۸۰        |
| حداکثر رطوبت بذر (%)       | ۱۴       | ۱۴    | ۱۴        |

### ۳-۶- نظام های بومی تولید بذر و قوانین و ضوابط مربوطه

در بسیاری از کشورها، ضوابط تولید بذر در راستای توسعه تولید بذر گواهی شده تدوین شده است. قوانین بذر در کشورهای مختلف عموماً متشکل از مفاهیم مربوط به اجزای کیفیت بذر و اصلاح و معرفی ارقام جدید گیاهی می باشند. البته ضوابط رسمی تولید بذر برای نظام های بومی تولید بذر که در طی نسل های مختلف زارعین شکل گرفته است، ناکارآمد است. نظام های رسمی و ضوابط مربوطه نه تنها محدودکننده نظام های بومی و رایج زارعین بوده، بلکه در برخی کشورها حتی این گونه فعالیت های بومی را غیرقانونی اعلام نموده است. قوانین بذر که روند مربوط به اصلاح و معرفی ارقام و همچنین کیفیت بذر را ضابطه مند می نمایند، در بین کشورها و بر اساس نیازهای آن کشور و مسئولیت ارگان های ذی ربط متفاوت هستند. هدف نهائی قوانین بذر کنترل و نظارت کامل بر فرآیند تولید بذر است، به عنوان مثال اگر دولت متولی کیفیت بذر باشد، تمامی بذره های گیاهان زراعی بایستی

توسط یک ارگان دولتی گواهی شده و تمامی ارقام جدید گیاهی نیز باید از طریق نظام ارزیابی ارقام جدید تأیید و به ثبت رسیده باشد. کشورهایی مانند ایران، اندونزی، مراکش، اوگاندا و غیره دارای چنین قوانینی هستند. در طرف مقابل، کشورهایی نیز وجود دارند که هیچ گونه ضوابطی برای بازار بذر نداشته و قوانین بذر یا تجارت آن ها هنوز اجرائی نشده است؛ ولی اغلب کشورها نظام های بینابینی دارند. به عنوان مثال، بنگلادش کنترل کیفی را تنها برای تعداد محدودی از گیاهان زراعی اعمال می نماید؛ یا در آمریکا بجای گواهی رسمی کیفیت بذر، از سیستم برچسب کیفیت مربوط به خود شرکت های تولیدکننده بذر استفاده می شود. در شرایطی که نظام های نیرومند کنترل کیفی، مبتنی بر فعالیت ارگان های کارآمد دولتی باشد، درحالی که در مباحث اقتصادی چنین کشوری از مکانیسم های معتدل کنترلی و یا بازار رقابتی کالاها پیروی شود، مانع از عرضه و فروش بذرهایی با کیفیت نزدیک به استاندارد خواهد شد.

نظام های بومی بذر که متشکل از تولید بذر توسط کشاورزان و خرید و فروش محلی آن است، حداقل در تعاریف از ضوابط رسمی تولید بذر تبعیت نمی کند. به زبان ساده اینکه کشاورزان کاری را انجام می دهند که از حدود ده هزار سال پیش انجام داده اند و آن تولید بذر در مزرعه خودشان و فروش یا تبادل آن در درون جوامع روستایی و پیرامون خود بوده است. در این رابطه اخیراً مفاهیمی نظیر اصلاح نباتات مشارکتی<sup>۱</sup> (PPB) در راستای بهبود فن آوری های بومی بذر شکل گرفته است. نکته بسیار مهمی که بایستی همواره مدنظر باشد اینکه قوانین موجود برای کنترل کیفی بذر، معرفی و ثبت ارقام اصلاح شده و حقوق مالکیت معنوی به نژادگران ممکن است اثرات نامطلوبی بر روی نظام های بومی تولید بذر داشته باشد.

#### ۴-۶- کنترل کیفی بذر

عموماً کیفیت بذر با مقدار جوانه زنی، وجود ناخالصی ها و مقدار بذر علف های هرز و میزان آلودگی به بیماری های بذرزاد بیان می شود. بسیاری از کشورها به منظور جلوگیری از عرضه بذرهایی بی کیفیت به زارعین خود، نظام کنترل کیفی و گواهی بذر را به طور کامل اجرا

1 Participatory Plant Breeding

می‌نمایند. در برخی از کشورها مانند هلند، وضع قوانین مربوط به کیفیت بذر توسط تولیدکنندگان واقعی بذر که نگران رقابت باعرضه کنندگان بذرهای بی‌کیفیت بودند، پیشنهاد شده است. ولی در اغلب کشورهای در حال توسعه، قوانین و ضوابط بذر توسط دولت‌ها طراحی، پیشنهاد و پس از تصویب به اجرا درآمده است.

البته کنترل و گواهی اجباری بذر چنین کشورهایی که بر اساس مصوبات قانونی است، توسط مؤسسات ناکارآمد یا کارشناسانی که از استقلال عمل کافی برخوردار نیستند، اجرا گردد، فاقد کارائی لازم و کم تأثیر خواهد بود. در برخی از کشورها چنانچه حقوق و درآمد بازرسین فنی و کارشناسان آزمایشگاه ناکافی بوده و از سوی دیگر ریسک اقتصادی ناشی از آزمون یک توده بذری و تأیید و گواهی آن بسیار بالا باشد، طبیعی است که استقلال چنین مؤسساتی به چالش کشیده شود. ناکارآمدی تولید بذر گواهی‌شده سویا در اندونزی مثال خوبی در این زمینه است. کاهش بیست درصدی قوه نامیه بذر در عرض یک هفته در شرایط آب و هوایی استوایی و انبارهای غیرفنی این کشور غیرمنتظره نیست. نظام بومی بذر، خطر کاهش قوه نامیه را با کوتاه کردن زمان نگهداری بذر (محصول برداشت‌شده بلافاصله برای تولید محصول بعدی کشت می‌شود)، به حداقل رسانده است. این مهم با درک صحیح شرایط تولید و تناوب متداول در مناطقی مانند جاوه شرقی در طی فصل باران‌های موسمی با کشت پیوسته سویا و در فصل کم باران با کشت سویا پس از برداشت برنج، به‌دست‌آمده است. این در حالی است که فرآیند گواهی بذر سویا در این کشور برای طی مراحل اداری، نمونه‌برداری، آزمون‌های آزمایشگاهی و نصب برچسب حداقل دو تا سه هفته طول می‌کشد و این تأخیر باعث کاهش ناخواسته کیفیت بذر می‌گردد. درنتیجه بذرهای بومی و غیر گواهی‌شده دارای ظرفیت جوانه‌زنی بالاتری نسبت به بذر گواهی‌شده هستند.

بر اساس مفاهیم و مواد موجود در قوانین بذر، تمامی بذرهای مورد کشت (مانند ترکمنستان) و یا تمامی بذور موجود در بازار (اغلب کشورها) بایستی توسط ارگان رسمی کنترل و گواهی بذر مورد تأیید قرار گیرند و یا اینکه صحت مندرجات روی برچسب بسته‌های بذری مورد تأیید قرار گیرد که این به معنای پذیرش مسئولیت نوشته‌های روی برچسب توسط تولیدکننده بذر است. چنین ضوابطی تبادل زارع به زارع بذر و یا فروش مقادیر تجاری بذر را در بازارهای محلی ممنوع کرده است. طبق چنین قوانینی، فروش بذر

غیر گواهی شده جرم محسوب می گردد ولی در عمل بسیاری از کشاورزان که به طور سنتی وابسته به کشت این چنین بذرهایی هستند، بی توجه به قانون به حیات کاری خود ادامه می دهند. به عبارتی در بسیاری از موارد، تولید و مبادله چنین بذرهایی عرفاً مجاز است.

اخیراً فعالیت هایی در راستای حمایت از نظام های بومی بذر توسط سازمان های غیردولتی (NGO) و در مواردی توسط ارگان های دولتی که خود آشنا با مشکلات فرآوری قوانین رسمی بذر هستند، آغاز شده است (لوواریس و وان مارویجک، ۱۹۹۶)؛ اما تا زمانی که چنین تشکیلاتی (سازمان های غیردولتی) رشد کافی نموده و به دستاوردهایی نائل گردند، به دلیل تقابل منافع آنها با فعالیت های شرکت های دولتی بذر و یا شرکت های خصوصی که بذر گواهی شده تولید می نمایند، از همان ابتدای فعالیت و با استفاده از مفاد قانون بذر و ضوابط مربوطه، فعالیت آنها به چالش کشیده شده و حتی متوقف می گردد. در این مورد بهترین مثال قابل طرح تولید بذر ذرت از ارقام آزاد گرده افشان توسط یک سازمان غیردولتی در کشور زیمبابوه بود که در اواسط دهه ۹۰ میلادی، پروژه این نهاد در پی شکایت شرکت های خصوصی تولیدکننده بذر هیبرید به تعطیلی کشانده شد (لوواریس، ۲۰۰۰).

بروز چنین مشکلاتی برای بنگاه های اقتصادی که بر مبنای نظام های بومی بذر فعالیت می نمایند، کم و بیش در تمام نقاط دنیا وجود دارد. سازمان های غیردولتی گوناگونی در کشورهایی مانند اوگاندا، تانزانیا و آفریقای غربی و مؤسسات بین المللی مانند مرکز بین المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ایکارد) در این راستا فعالیت های مثبتی را آغاز نموده اند. بدیهی است نزدیک نمودن تشکیلات بومی بذر به ضوابط سفت و سخت کنترل و گواهی بذر بسیار دشوار است. آنها امکانات فنی و توانائی های مالی لازم را برای بازرسی از مزارع و بذرهایی تولیدی خود را ندارند. دستیابی به فواصل ایزولاسیون، هنگامی که بذر در قطعات بسیار کوچک تولید می شود، امکان پذیر نیست. خلوص بالای بذر زمانی که ابزار و ادوات فرآوری دارای استانداردهای لازم نیستند، غیرقابل دسترس است. در چنین شرایطی، ضوابط کنترل و گواهی بذر اثرات مثبت مربوط به توسعه کمی و کیفی نظام های بومی را خنثی خواهد نمود. لذا بدیهی است فقدان نظام های تولید و عرضه محلی بذور بسیاری از گیاهان زراعی که نظام رسمی تولید، گواهی و عرضه بذر توجه جدی (مانند تولید و عرضه

بذر گواهی شده (حبوبات) بدان‌ها ندارد، می‌تواند خسارت جدی را به تولید محصول در اغلب کشورهای در حال توسعه وارد نماید.

## ۵-۶- ثبت ارقام جدید گیاهی

سیستم گواهی بذر مبتنی بر شناخت دقیق رقم مورد کشت و تکثیر است. گواهی نشان از تطابق ژنتیکی بذر رقم مورد نظر با مندرجات برچسب دارد. این امر مستلزم فرآیندی است که رقم مورد نظر به‌طور قابل ملاحظه‌ای از سایر ارقام مورد کشت قابل تمایز بوده و تشخیص بوته‌های غیر اصلی در آن به راحتی صورت گیرد. همچنین گواهی بذر مبتنی بر رویه نگهداری رقم است که در طی آن بذر پرورشی (بذر پایه) تولید شده و نسل‌های بعدی بذر برحسب حجم مورد نیاز، از این بذر تکثیر خواهد شد. در این فرآیند، تکثیر بذر رقم مورد نظر از یک سری بوته‌های خالص انتخابی اولیه صورت می‌گیرد که توان تولید هزاران تن بذر گواهی شده از آن وجود دارد.

شناسه رقم نشان‌دهنده ویژگی‌های مورفولوژیکی همان رقم خاص بوده و این امر برای شفافیت در بازار عرضه بذر بسیار حائز اهمیت است. همچنین این مشخصات جهت شناسایی رقم و کسب حق مالکیت معنوی مانند حق به‌نژادگر<sup>۱</sup> (PBR) و حفاظت از ارقام جدید گیاهی<sup>۲</sup> (PVP) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حق به‌نژادگر که قابل قیاس با قانون کپی‌رایت است، تکثیر بذر رقم مورد نظر تنها با اجازه به‌نژادگر یا مالک قانونی رقم مجاز خواهد بود. چنین قوانینی به‌نوعی در هماهنگی و همساز شدن با تشکیلات بین‌المللی مانند اتحادیه بین‌المللی حفاظت از ارقام جدید گیاهی<sup>۳</sup> (UPOV) جهت صیانت جهانی از ارقام جدید گیاهی است. این اتحادیه سعی در هماهنگی و یکپارچه نمودن مسائل فنی مربوطه از قبیل تهیه شناسه‌های ارقام جدید گیاهی بر اساس تمایز، هم‌شکلی و پایداری صفات دارد.

در اغلب کشورها، ثبت رقم علاوه بر آزمایش تیپ<sup>۴</sup> (DUS) نیاز به بررسی‌های سازگاری و آزمون‌های کیفی ارقام که اصطلاحاً ارزش‌گذاری برای کشت و مصرف نامیده می‌شود، دارد. این بررسی‌ها شامل آزمون‌های چند منطقه‌ای برای برآورد عملکرد، اجزای عملکرد، مقاومت

---

1 Plant Breeders' Rights

2 Plant Variety Protection

3 International Union for the Protection of New Varieties of Plants

4 Distinctness, Uniformity and Stability

به تنش‌های زنده و غیرزنده در مقایسه با ارقام موجود است. بسته به نوع گیاه، آزمون‌های تاز<sup>۱</sup> (VCU) شامل بررسی‌های کیفی دیگری مانند زمان پخت برای حبوبات، کیفیت نانوائی گندم و یا هضم شوندگی علوفه نیز می‌باشد.

در بسیاری از کشورها، تنها بذر ارقامی که آزمون‌های تیپ و تاز را با موفقیت طی کرده باشند، صرف‌نظر از اینکه تحت حفاظت قرار دارند، مجاز به ورود به بازار می‌باشد. ملاحظه می‌گردد که سیستم ثبت رقم بسیار سخت‌گیرانه بوده و ارقام محدودی در سال به ثبت می‌رسند و نهایتاً این به معنای محدود بودن حق انتخاب زارعین است.

بعلاوه سیستم ثبت ارقام به‌گونه‌ای طراحی شده است تا نیازهای نظام رسمی بذر را پاسخگو باشد که ارقام در سیستم تک‌کشتی و با بهترین شرایط نهاده‌ها کشت می‌شوند. این شرایط تنها نشان‌دهنده بخش کوچکی از شرایط تولید مصرف‌کنندگان بذر گواهی‌شده است. از این‌رو سیستم ثبت رقم کمک‌چندانی به تنوع موجود در نظام‌های کشت ننموده و مناسب کشاورزی کم‌نهاده نیست. نظام‌های بومی بذر عموماً به دلیل استفاده هم‌زمان از ارقام زراعی با سازگاری‌های خاص و توده‌های بومی، دارای تنوع ژنتیکی گسترده‌تری هستند. به‌نژادی مشارکتی (PPB) و گزینش مشارکتی ارقام<sup>۲</sup> (PVS) ابزار مناسبی جهت پاسخ‌گویی به چنین نیازهایی هستند. در گزینش مشارکتی انتخاب و گزینش کشاورزان از بین تعداد زیادی لاین‌های پیشرفته منجر به انتخاب رقم می‌گردد، درحالی‌که در به‌نژادی مشارکتی اصل بر همکاری و مشارکت کشاورزان پیشرو و به‌نژادگران در ایجاد ارقام جدید زراعی است که از گزینش در نسل‌های در حال تفکیک آغاز می‌گردد. البته مواد گیاهی که از چنین سیستم‌هایی انتخاب و معرفی گردند، ممکن است الزامات مربوط به دستورالعمل‌های آزمون‌های تیپ و تاز را نداشته باشند. در مواردی به‌نژادگران دولتی به دلیل نداشتن همین الزامات، مجاز به استفاده از روش‌های مشارکتی نیستند. به‌عنوان مثال در سال ۱۹۹۰، کمیته معرفی ارقام به‌نژادگران لوبیا را در ایستگاه تحقیقاتی Kawanda در کشور اوگاندا را از ایجاد و اجرای آزمایش‌های On-farm به دلیل احتمال دسترسی کشاورزان به مواد ژنتیکی معرفی نشده، منع نمود (تریپ، ۱۹۹۷). این مثال خوبی از تأثیر بازدارنده ضوابط بذری بر تحقیقات مبتنی بر تجربیات کشاورزان است. از سوی دیگر شرکت‌ها و مؤسساتی که به‌نوعی

1 Value for Cultivation and Use

2 Participatory Variety Selection

تولید و توزیع ارقام و توده‌های محلی را بر عهده‌دارند، درگیر مشکلات مربوط به ثبت رقم می‌باشند.

## ۶-۶- امتیاز انحصاری و حفاظت از ارقام جدید گیاهی

قوانین و مقررات نوین مانند حق مالکیت معنوی<sup>۱</sup> (IPR) ممکن است اثرات نامطلوبی بر روی قوانین رایج بذر داشته باشد. امتیاز انحصاری، کشاورزان را از تکثیر ارقام انحصاری یا ارقامی با ژن‌های انحصاری منع می‌نماید. شاید این امر دلیل اصلی به وجود آمدن قانون حفاظت از ارقام جدید گیاهی باشد که سعی در طراحی نظام نوینی برای حفاظت از ارقام گیاهی دارد. بدیهی است حتی چنین قانون بازدارنده‌ای به مراتب بهتر و کم‌خطرتر از ورود بخش کشاورزی به عرصه‌های مربوط به قانون امتیاز انحصاری باشد که ریشه در بخش صنعت دارد.

اصلاحات جدید قانون حفاظت از ارقام جدید گیاهی، حق کشاورزان را برای ذخیره و تبادل بذر محدود می‌نماید. آخرین ویرایش این قانون، قدرت و اختیار بیشتری را به به‌نژادگران برای نظارت بر استفاده از ارقام متعلقه را می‌دهد. مبنای چنین تصمیمی بر این استوار است که به‌نژادگران بخش خصوصی برای ادامه و توسعه فعالیت‌های خود، به منابع مالی بیشتری احتیاج دارند ولی این مسئله در تعارض با حقوق مرسوم کشاورزان برای ذخیره و تبادل بذر خودشان می‌باشد. برخی از کشورها اقدام به تعدیل این قانون نموده‌اند، به‌عنوان مثال اینکه کشاورزان خاصی حق تکثیر بذر گیاهان از قبل مشخص‌شده‌ای را داشته باشند که اخذ چنین تصمیماتی منوط به تصویب آئین‌نامه‌های مربوطه می‌باشد. در اتحادیه اروپا، کشاورزان خرد (مثلاً در مورد غلات تولید کمتر از ۹۰ تن دارند) مجاز به نگهداری و مصرف بذر خود از ارقام حفاظت‌شده هستند بدون اینکه نیازی به کسب مجوز از به‌نژادگر داشته باشند یا حقوق مربوطه (Royalty) را پرداخت نمایند (لووراس، ۲۰۰۰).

## ۶-۷- حقوق مربوط به ذخایر ژنتیکی

به‌موازات توسعه حق مالکیت معنوی در اصلاح نباتات، حقوق مربوط به ذخایر ژنتیکی نیز در معرض توجه قرار گرفت. در این راستا، سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO)

---

1 Intellectual Property Rights

برای اولین بار مفهوم حق کشاورز را در مباحث مربوط به «بهره‌برداری بین‌المللی از ذخایر ژنتیکی گیاهی در کشاورزی» ارائه نمود. در این مباحث، حقوق کشاورزان و جوامع کشاورزی جهت کنترل مدیریت، توسعه و انتفاع از منابع ژنتیکی گیاهی<sup>۱</sup> (PGR) متعلقه به رسمیت شناخته شده است.

کنوانسیون تنوع زیستی<sup>۲</sup> (CBD) مفهوم حق حاکمیت ملی را ارائه نمود که حق کنترل ملی را بر منابع ژنتیکی خود به رسمیت می‌شناسد. هر دو مفاهیم ذکر شده، به‌نوعی حق امتیاز دسترسی و مشارکت در منافع حاصل از استفاده از منابع ژنتیکی گیاهی را بیان می‌کنند. در حال حاضر بررسی جنبه‌های حقوقی چنین امتیازاتی و تبیین روش‌های اجرایی مربوطه در جریان است. بسیاری از کشورها اقدام به اجرای سیستمی چندجانبه برای تبادل و شراکت در منافع حاصل از منابع ژنتیکی گیاهی نموده‌اند که در قبال اعطای امتیاز دسترسی به منابع ژنتیکی ملی خود، منابع مالی لازم برای نگهداری بهینه از منابع ژنتیکی و دسترسی به دستاوردهای علمی حاصله از این ذخایر را به دست می‌آورند. البته برخی از کشورها نیز تنظیم موافقت‌نامه‌های دوجانبه برای تعداد مشخصی از گیاهان زراعی که در آن شرح وظائف طرف مقابل بر مبنای مذاکرات، مشخص شده است را ترجیح می‌دهند. بدیهی است که چنین توافق‌نامه‌هایی شباهت بیشتری به حق امتیاز انحصاری (Patent) دارد که خود مشکلات زیر را به دنبال خواهد داشت:

- تجاری شدن: ژرم پلاسما قاعداً در اختیار کسی خواهد گرفت که بالاترین قیمت را پیشنهاد نماید.
- تک‌قطبی (مونوپلی) شدن: ژرم پلاسما در اختیار کسی برای استفاده قرار نخواهد گرفت.
- بهره‌برداری محدود: استفاده‌کننده موظف به حفاظت از ژرم پلاسما به نمایندگی از کشور صاحب آن است. تبادل کشاورز به کشاورز این نوع ژرم پلاسما نه به دلیل منافع شرکت مورد نظر بلکه به علت الزامات حقوقی موجود در مجوز بهره‌برداری صادره توسط کشور مبدأ محدود و ناممکن است.

1 Plant Genetic Resources

2 Convention on Biological Diversity

اصلاح نباتات مشارکتی، گزینش مشارکتی ارقام و اصلاح برای سازگاری‌های خاص در کشورهای در حال توسعه، مستلزم دسترسی به تنوع وسیع‌تری از ژرم پلاسما در قیاس با روش‌های مرسوم اصلاح نباتات است چون بایستی تنوع در شرایط اکولوژیکی و شرایط اقتصادی- اجتماعی کشاورزان مدنظر باشد و این امر اهمیت دسترسی وسیع‌تر به منابع ژنتیکی موجود را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد.

## ۸-۶- حمایت از تولید بذر توسط کشاورزان

برنامه‌های توسعه‌ای که مبتنی بر تولید بذر توسط کشاورزان می‌باشد، معمولاً الزامات مربوط به کنترل کیفی، گواهی بذر و قوانین مربوط به اصلاح و معرفی ارقام گیاهی را دارا نمی‌باشند. در این راستا نیاز به انعطاف‌پذیری و معرفی روش‌های جایگزینی است که برخی به شرح ذیل پیشنهاد می‌گردد، بدیهی است استفاده از هر راهکار مستلزم برگزاری جلسات کارشناسی برای امکان‌سنجی در شرایط کشور می‌باشد.

- محدود نمودن قانون بذر به چند گیاه زراعی خاص و مهم (به‌عنوان مثال، در کشور بنگلادش تنها پنج گیاه زراعی در سیستم کنترل و گواهی بذر قرار دارد).
- استثنا نمودن کشاورزان کوچک از شمول قوانین مربوطه (همان‌گونه که اتحادیه اروپا برای بذر غلات اجرا می‌نماید).

- طبقات خاصی از بذر به‌صورت سیستم صحت برچسب بفروش برسد (مسئولیت بر عهده تولیدکننده بذر خواهد بود و یا اینکه برای طبقات تجاری بذر برخی از گونه‌های گیاهی، بذر تنها با انجام آزمون‌های آزمایشگاهی و بی‌نیاز از بازرسی مزارع تولید بذر بفروش برسد).

- سیستم معرفی رقم به سیستم توصیه رقم تغییر یابد، به‌نوعی که ارقام ثبت‌شده دارای ارزش تجاری بیشتری بوده ولی سایر ارقام توصیه‌شده نیز حق ورود به بازار را داشته باشند. این امر باعث افزایش حق انتخاب کشاورزان خواهد شد.

- کشاورزان کوچک و آسیب‌پذیر از شمول قوانین مربوط به حق مالکیت معنوی جهت استفاده از ارقام و ژرم پلاسماهای حفاظت شده خارج شوند.

## ۹-۶- مراحل کنترل و گواهی بذر

### ۹-۶-۱- درخواست برای تولید بذر مادری و گواهی شده برنج

از دیاد هسته‌های اولیه و طبقات بذری اولیه (به‌نژادگر) و پیش‌پایه (الیت و سوپرالیت) توسط مؤسسه تحقیقات برنج کشور و یا مراکز تحقیقاتی با نظارت مستقیم کارشناسان آن مؤسسه انجام می‌شود. ولی با توجه به اینکه تکثیر بذور گواهی‌شده برنج نیازمند سطح زیر کشت وسیعی می‌باشد، بخش خصوصی (افراد حقیقی و حقوقی، عموماً در قالب شرکت‌ها و تشکلات) به‌عنوان پیمانکار، تولید بذر مادری و گواهی‌شده برنج را بر عهده می‌گیرند.

اعلام آمادگی پیمانکار برای تولید بذر با پر کردن برگ درخواست تولید بذر برنج (مادری یا گواهی‌شده) و ارسال آن به سازمان جهاد کشاورزی استان یا شهرستان و تحویل آن به شرکت‌های تولیدکننده بذر رسمیت می‌یابد (فرم شماره ۱). این فرم در سه نسخه تنظیم‌شده که یکی از نسخه‌ها نزد متقاضی، دیگری برای شرکت طرف قرارداد خرید بذر و نسخه سوم برای مرکز تحقیقات کشاورزی یا مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال ارسال می‌شود. این کار حداقل دو ماه پیش از شروع فصل کاشت انجام می‌گیرد. پس از آن فهرست و مشخصات متقاضیانی (پیمانکاران) که درخواست تولید بذر را نموده‌اند از طرف سازمان جهاد کشاورزی استان یا شرکت تولیدکننده بذر، در اختیار مراکز تحقیقات کشاورزی استان‌ها و یا مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال به‌منظور ارزیابی توانمندی فنی آنان قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه مسئولیت تولید بذر با کیفیت و منافع حاصل از آن متوجه شرکت‌های تولیدکننده بذر است، این شرکت‌ها نسبت به معرفی پیمانکاران مورد نظر خود اقدام می‌کنند. در این خصوص اولویت با پیمانکارانی است که دارای سابقه و تجربه در زمینه تولید بذر می‌باشند. به‌منظور بررسی امکانات و تجربیات متقاضیان در زمینه تولید بذر، کارشناسان مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال یا شرکت‌های خصوصی کنترل و گواهی بذر دارای مجوز از مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال اقدامات لازم را اجرا می‌نمایند.

مهم‌ترین ویژگی‌هایی که لازم است متقاضیان تکثیر بذر از آن برخوردار باشند شامل:

- آگاهی از فن‌آوری کاشت، داشت و برداشت تولید بذر مرغوب و خالص

- مقید بودن به اجرای مفاد قرارداد تکثیر بذر، از جمله توصیه‌های کارشناسان نظارت و کنترل مزارع تولید بذر برنج
- داشتن مزرعه با سطح حداقل ۵ هکتار همراه با آب آبیاری کافی
- در ارزیابی زمین و امکانات تولید، مواردی مانند دوری و نزدیکی از جاده اصلی، حاصلخیزی خاک، پاک بودن نسبی مزرعه از بیماری‌های بذرزاد و علف‌های هرز غیرمجاز، آلوده نبودن زمین به بذر باقی‌مانده از کشت قبلی، دسترسی به آب کافی برای آبیاری، امکان رعایت ایزولاسیون مکانی، وضعیت ماشین‌آلات و ادوات کشاورزی مورد توجه قرار می‌گیرد. در بازدید برای انتخاب زمین، اطلاعات ثبت‌شده در برگ تقاضای تولید بذر که توسط کشاورز داوطلب در فرم شماره یک تکمیل‌شده است با موقعیت مزرعه تطبیق داده می‌شود.
- چنانچه متقاضی تولید بذر شرایط لازم را داشته باشند، مجوز عقد قرارداد صادر خواهد شد. برای این کار قراردادهایی برای تکثیر بذر بین کشاورزان (به‌عنوان پیمانکاران تولیدکننده بذر)، شرکت خدمات حمایتی کشاورزی استان یا شرکت‌های خصوصی فعال در زمینه تولید بذر (به‌عنوان کارفرما) بسته می‌شود. همچنین تفاهم‌نامه‌ای بین کارفرما و مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر (به‌عنوان ناظر) برای کنترل و نظارت در مراحل مختلف تولید بذر منعقد می‌گردد.

## ۲-۹-۶- بازدیدهای مزرعه‌ای

بازدید مزرعه از مهم‌ترین امور کنترل کیفی بذر است، زیرا بهترین موقعیت را برای مشاهده و سنجش کیفیت گیاهانی که برای تولید بذر کشت‌شده‌اند را ایجاد می‌کند. در واقع بازدید مزارع بذری برای رسیدن به این اطمینان است که بذوری که تولید خواهند شد از نظر اختلاط ژنتیکی و فیزیکی و آلودگی به بیماری‌های بذرزاد و علف‌های هرز و غیره در محدوده قابل‌قبول و مجاز (استاندارد) قرار دارند. مهم‌ترین مراحل از رشد و نمو که لازم است مزرعه تولید بذر برنج بازدید شود بدین قرار است:

- محل خزانه و نحوه بذrpاشی گاه‌ها دیده‌شده است که بذrpاشی توسط بانکداران نشا انجام می‌شود و اشتباهات فاحشی رخ می‌دهد. (عوض شدن نوع رقم و یا اختلاط شدید با سایر ارقام)

- مرحله نشاکاری (نشاها بایستی به صورت تک نشا با رعایت فاصله توصیه شده نشاکاری گردند)

- بازدید در مرحله پنجه زنی

- مرحله حداکثر پنجه زنی

- مرحله آبستنی

- مرحله قبل از خروج خوشه

- مرحله پیش از برداشت

نکته بسیار مهم و اساسی: در تمامی مراحل بالا حذف بوته های خارج از تیپ (Rouging) یکی از کارهای مهم و ضروری پیمانکار است و کارشناس ناظر در انجام این امر توسط پیمانکار بایستی بسیار حساس و دقیق باشد.

### ۳-۹-۶- بازدید خزانه (انتخاب محل، تهیه و بذرپاشی خزانه)

پیش از اجرای بازدید خزانه ضروری است بازرس مزرعه قرارداد تکثیر بذر را که به امضای کشاورز به عنوان پیمانکار تولیدکننده بذر و شرکت تولیدکننده بذر به عنوان کارفرما رسیده است مورد بازبینی قرار دهد و اطلاعات مندرج در آن را با مشخصات پیمانکار مطابقت دهد. نکات فنی که باید مورد توجه ناظر در زمان بازدید باشد شامل:

- خزانه نباید در مکانی سایه گیر و مستعد برای ابتلا به آفات و بیماری ها باشد.

- زمین خزانه باید به خوبی تهیه شده و از تسطیح لازم برخوردار باشد.

- به منبع آب نزدیک بوده و آبگیر نباشد.

- محلی که برای خزانه انتخاب می شود نباید بذور محصول قبل و علف های هرز در آن رشد کند.

- مزرعه تولید بذر از مزارعی که با رقمی دیگر کشت شده اند حداقل ۱۰۰ متر فاصله داشته باشد.

- اگر از کود حیوانی برای تقویت زمین خزانه استفاده می شود لازم است آلوده به بذور

علف های هرز نباشد.

- خزانه باید از هجوم پرندگان، موش ها و آفات در امان باشد.

- تهیه خزانه تولید بذر برنج مطابق با دستورالعمل فنی رقم از نظر سطح و مقدار بذر مصرفی باشد.
  - زمان بذریابی در خزانه با توجه به طول دوره رشد نوع رقم تعیین شود.
  - بررسی آلودگی به آفات و بیماری‌های بذرزاد در خزانه.
- (از مهم‌ترین آفات و بیماری‌های بذرزاد برنج در خزانه می‌توان به مگس خزانه و کرم ساقه‌خوار (آفات) و بیماری آلودگی فوزاریومی (ژیبرلا)، بیماری لکه‌قهوه‌ای و بلاست برگ‌ی اشاره نمود. سبک و سنگین نمودن بذور در محلول آب نمک، ضدعفونی بذر با قارچ‌کش‌های مناسب، پرورش نشاهای سالم با برگ‌های شاداب و نشاکاری آن‌ها در زمین اصلی می‌تواند راه‌حلی مناسب برای جلوگیری از آفات و بیماری‌های مذکور باشد).
- اطلاعات مربوط به خزانه در فرم شماره (۲) ثبت می‌شود.

#### ۴-۹-۶- بازدید در مرحله نشاکاری

قبل از نشاکاری پیمانکار به همراه کارشناس مربوطه می‌بایست نشاهای تولیدشده را کنترل نمایند تا اشتباهی در عوض شدن نوع رقم پیش نیاید. بازدید در این مرحله که معمولاً در مدت یک تا ده روز پیش از نشاکاری صورت می‌گیرد می‌تواند در تولید بذور خالص، سالم و یکنواخت کمک شایانی نماید. جهت تولید بذر مرغوب، پیمانکار موظف به نشاکاری به‌صورت تک نشا در زمین اصلی با رعایت فواصل بین بوته‌ها، ایزولاسیون و استفاده از کودهای شیمیایی توصیه‌شده از نظر میزان و زمان مصرف است. رعایت ایزولاسیون می‌تواند به سه شکل مکانی، زمانی و استفاده از حائل فیزیکی (چتائی) صورت گیرد. برای رعایت ایزولاسیون مکانی، لازم است مزرعه تولید بذر از سایر مزارع هم‌جوار که با رقمی غیر از رقم اصلی کشت‌شده، حداقل ۱۰۰ متر فاصله داشته باشد. برای اجرای ایزولاسیون زمانی در مزرعه تولید بذر لازم است ۲۰-۱۵ روز با مزرعه هم‌جوار از نظر شروع کشت و کار تفاوت داشته باشد. برای اجرای ایزولاسیون با استفاده از حائل فیزیکی هرگونه دیوار و حائل فیزیکی مصنوعی و یا طبیعی و همچنین گیاهانی که بتوانند تا ارتفاع ۳ متر اطراف مزرعه برنج را محصور نمایند برای ایزوله کردن مناسب هستند (فرم شماره ۲). رعایت ایزولاسیون مزرعه تولید بذور پیش‌پایه (الیت و سوپرالیت) در موسسه تحقیقات برنج کشور با استفاده از حائل فیزیکی (چتائی با ارتفاع ۳ متر) صورت می‌گیرد.

### ۵-۹-۶- بازدید در مرحله حداکثر پنجه‌زنی

در مرحله حداکثر پنجه‌زنی علاوه بر برآورد میزان سطح زیر کشت و تعیین درصد سبز مزرعه، وضعیت کشت و ترتیب درست ردیف‌های نشاکاری شده، نوع ایزولاسیون، نوع، میزان و زمان مصرف کودهای شیمیایی، نوع، میزان و زمان مصرف علف‌کش، تعداد دفعات و زمان وجین و از همه مهم‌تر حذف بوته‌های خارج از تیپ ثبت می‌شود. هرگونه اشتباه صورت گرفته در زمان انتقال نشا از این مرحله به بعد قابل‌شناسایی است و رفع این اشتباه ضروری است. تأکید می‌شود از موارد کلیدی این دوره حذف بوته‌های خارج از تیپ است که برای حفظ خلوص و یکنواختی بذر بسیار مهم و ضروری است. جهت انجام این امر مهم، هر بوته‌ای که خصوصیات آن با سایر بوته‌ها همخوانی ندارد، شناسایی شده و از مزرعه خارج می‌گردد. حذف بوته‌های غیر تیپ از زمان شروع کشت تا برداشت محصول به‌دفعات باید انجام شود. حتی بوته‌های بین ردیف‌ها هم باید از مزرعه حذف شوند. بوته‌هایی که باید به‌عنوان بوته غیر تیپ از مزرعه حذف شوند شامل:

- بوته‌هایی که در خارج از ردیف‌های کاشت سبز شده باشند
- بوته‌هایی که بلندتر یا کوتاه‌تر از بوته‌های اصلی هستند
- بوته‌های بیمار و آفت‌زده
- بوته‌هایی که شکل، اندازه و رنگ برگ آن‌ها متفاوت است

ثبت اختلاط مزرعه در این مرحله با ذکر نوع اختلاط و درصد آن در فرم بازدید در مرحله سبز مزرعه انجام می‌گیرد.

برخی از خصوصیات قابل‌شناسایی بوته‌های غیر تیپ از بوته‌های اصلی به شرح ذیل است:

- رنگ قاعده برگ (رنگ سبز در برابر رنگ ارغوانی)
- رنگ حاشیه برگ (رنگ سبز در مقابل رنگ ارغوانی)
- حالت قرار گرفتن برگ (برگ افراشته در مقایسه با برگ خمیده و افتاده)
- ارتفاع بوته (کوتاه در برابر بلند)

### ۶-۹-۶- بازدید در مرحله آبستنی، خروج خوشه و گلدهی

دقت شود که حذف بوته‌های غیر تیپ، به‌گونه‌ای باشد که امکان رشد و نمو دوباره فراهم نشود. هم‌زمان با رشد و نمو محصول اصلی، تفاوت میان خصوصیات بوته‌های غیر تیپ و سایر بوته‌ها مخصوصاً در مراحل آبستنی، خروج خوشه و گلدهی نمایان‌تر می‌شود. بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیکی در این مراحل به راحتی قابل شناسایی هستند؛ بنابراین برای تولید بذر یکنواخت و خالص حذف بوته‌های خارج از تیپ در طول دوره رشد در هر مرحله‌ای که قابل شناسایی باشند باید انجام شود و در فرم شماره (۲) عملیات انجام شده ثبت شوند. برای پیشگیری از اختلاط بر اثر ورود دانه‌های گرده از منبعی غیر از بوته‌های رقم اصلی، لازم است با صرف وقت و دقت کافی تا پیش از شروع گرده‌افشانی تمامی بوته‌های غیر تیپ حذف و مزرعه پاک‌سازی شود. این امر در مزارع تولید بذر برای بدست آوردن بذر خالص و یکنواخت بسیار مهم است. در ضمن برای حذف بوته‌های خارج از تیپ در زمان گلدهی می‌بایست به موارد زیر توجه شود:

- بوته‌هایی که خیلی زود و یا خیلی دیرتر از بوته‌های اصلی به گل می‌روند.
  - بوته‌های غیر تیپ که اندازه برگ، شکل برگ و شکل و رنگ پانیکول آن‌ها با بوته‌های رقم اصلی متفاوت است.
  - بوته‌های بیمار و آفت‌زده
- تداوم عملیات حذف بوته‌های خارج از تیپ از زمان گلدهی تا هنگام برداشت برای حفظ خلوص فیزیکی اهمیت زیادی دارد.

### ۶-۹-۷- بازدید قبل از برداشت

در تداوم عملیات حذف بوته‌های غیر تیپ به این موارد می‌بایست توجه نمود:

بوته‌هایی که در رقم مورد نظر دارای دانه‌بندی غیرطبیعی باشند.

بوته‌هایی که دارای خوشه‌هایی با شکل متفاوت و یا دانه‌هایی با اندازه متفاوت باشند.

بوته‌های دارای ریشک و بدون ریشک که در این ویژگی با بوته‌های گیاه اصلی متفاوت باشند. در ضمن با توجه به اینکه در این مرحله عموماً خوشه‌ها در حال تغییر رنگ و زرد شدن هستند، برخی از اختلاط‌های فیزیکی که تا پیش از این قابل تشخیص نبودند مشخص شده که باید از مزرعه خارج شوند. عمده‌ترین موردی که در بازدید نهایی مورد توجه

است، اطمینان از پاک بودن مزرعه از علف‌های هرز، بوته‌های سایر محصولات، بوته‌های سایر ارقام و بوته‌های غیر تیپ است. از موارد مهم دیگر بررسی وضعیت بیماری‌های بذرزاد در مزرعه و برآورد عملکرد مزرعه است. اطلاعات مربوط به تعداد بوته‌های علف‌های هرز، بوته‌های سایر محصولات و سایر ارقام و همچنین میزان ابتلا مزرعه به بیماری‌های بذرزاد و برآورد عملکرد در فرم ویژه بازدید نهایی (فرم شماره ۳) ثبت‌شده و نظر کارشناسی بازرس مزرعه در تائید یا رد مزرعه نوشته می‌شود. در موارد ضروری چنانچه نیاز به بازدید مجدد مزرعه باشد با درج جمله «نیاز به بازدید دوباره است» لازم است. این نکته یادآوری می‌شود که اگر مزرعه استاندارد است، مقبولیت آن در برگ گزارش بازدید مزرعه نوشته می‌شود. چنانچه به دلایلی از جمله وجود اختلاط یا دیگر آلودگی‌ها، مزرعه در حد استاندارد نباشد، مردود بودن آن در برگ ویژه گزارش بازدید مزرعه با ذکر دلیل ثبت و میزان آلودگی مزرعه درج می‌شود. علت حذف مزرعه برای تولید بذر مادری یا گواهی‌شده برای کشاورز توضیح داده شده و توصیه‌های لازم ارائه می‌شود که چگونه می‌تواند مزرعه‌ای قابل قبول برای تولید بذر داشته باشد.

در صورت پذیرفته شدن مزرعه تولید بذر، پیمانکار زمانی مجاز به برداشت محصول است که رطوبت مزرعه پایین‌تر از ۱۸ درصد باشد. برای تعیین رطوبت بذر در مزرعه از رطوبت‌سنج‌های دستی استفاده می‌شود. معمولاً رطوبت مزرعه در چند نقطه مختلف در قسمت‌های بالا، وسط و پایین مزرعه گرفته می‌شود. برای کار با دستگاه رطوبت‌سنج دستی بر اساس دستورالعمل آن، به اندازه پیمانه دستگاه، دانه‌های جدا شده از گل‌آذین‌ها (پانیکول) جمع‌آوری شده و رطوبت آن‌ها با دستگاهی که از پیش برای اندازه‌گیری رطوبت دانه برنج تنظیم (کالیبره) شده تعیین می‌شود. در نهایت در مرحله بازدید نهایی (فرم شماره ۴) گواهی و مجوز برداشت برای کل قطعات مزارع پیمانکار تکمیل و صادر می‌شود.

پیمانکارانی که موظف به تولید بذر مادری یا گواهی‌شده ارقام محلی حساس به عارضه خوابیدگی یا ورس هستند و مزرعه آن‌ها به دلایلی دچار خوابیدگی شده باشد، در صورتی که بیش از یک سوم مزرعه دچار خوابیدگی شده باشد، به دلیل آنکه قضاوت و صدور رأی در مورد آن مشکل است، مزرعه مردود تلقی خواهد شد.

بازدید دوباره در موارد ضروری برای مزرعه‌ای که غیر قابل قبول است اما نزدیک به استاندارد است، بازدید انجام می‌شود. اگر یک نوع آلودگی در مزرعه ظاهر شود که قبلاً وجود نداشته و در صورت برطرف کردن آلودگی، استانداردهای مزرعه احراز شده باشد، بازدید مجدد صورت می‌گیرد. در این صورت لازم است برای پیمانکار چگونگی پاک نمودن آلودگی موجود در مزرعه را توضیح داد. هر یک از آلودگی‌ها استاندارد خاص خود را دارد. برای برخی از آلودگی‌ها پاک‌سازی توصیه نمی‌شود؛ بنابراین اگر پاک‌سازی آلودگی ممنوع نشده باشد بازرسی مجدد مزرعه پس از رفع مشکل آلودگی انجام می‌شود. برای تولید بذر با کیفیت، برداشت محصول در زمان رسیدگی کامل اهمیت بسیاری دارد. به محض آنکه مزرعه به مرحله رسیدگی کامل رسید، مزرعه باید برداشت شود. برداشت مزرعه بذری نباید با کمباین صورت گیرد زیرا باعث خسارت و حتی از بین رفتن جنین بذر شده و به دلیل کاهش قوه نامیه خاصیت بذری خود را از دست می‌دهد. تأخیر در برداشت، علیرغم رسیدگی کامل مزرعه ممکن است با باران‌های آخر فصل مواجه شده و موجب خوابیدگی بوته‌ها و جوانه‌زنی بذر روی خوشه‌ها شود. ریزش دانه‌ها، خسارت ناشی از نسل دوم و سوم آفت کرم ساقه‌خوار برنج و موش‌ها از دیگر عواملی هستند که باعث از بین رفتن بذرها می‌شوند. پیش از برداشت محصول، تولیدکننده بذر باید به نحو مقتضی کارفرما را از زمان برداشت مزرعه آگاه کند. پس از برداشت محصول لازم است که با عمل خشک کردن با کمک تابش آفتاب و یا با استفاده از دستگاه‌های خشک‌کن میزان رطوبت به حد ۱۴ درصد برسد تا در فرآیند خرمن‌کوبی و بوجاری صدمه کمتری به بذر وارد شود. خرمن‌کوبی و خشک کردن بذر برداشت شده می‌بایست به روش دستی یا به وسیله خرمن‌کوب انجام شود. در هر دو حالت باید از وارد شدن ضربه‌های زیاد و سنگین به بذر جلوگیری شود. ضربات زیاد و سنگین باعث صدمه به جنین بذر می‌شود.

ضروری است که قبل از انبار کردن بذر (حتی کوتاه مدت) تا حد مناسبی از رطوبت آن کاسته شود. خشک کردن بذر تحت تابش آفتاب در مزرعه و استفاده از دستگاه‌های خشک‌کن، روش‌های معمول خشک کردن بذر برنج هستند. پس از خرمن‌کوبی ضروری است رطوبت بذر تا ۱۴ درصد کاهش یابد. برای این منظور شلتوک‌ها در لایه‌های نازک در برابر تابش آفتاب قرار داده می‌شوند تا رطوبت به ۱۴ درصد برسد و یا آنکه از دستگاه‌های

خشک‌کن استفاده می‌شود که در این صورت حداکثر دما برای خشک‌کردن، دمای ۴۰ درجه سلسیوس توصیه شده است؛ اما برای کاهش خسارت و احتمال صدمه دیدن بذر، دما خشک‌کن باید کمتر از دمای ذکر شده باشد. چنانچه رطوبت اولیه بذر بیش از ۱۸ درصد باشد، توصیه این است که بذور در دما ۳۲-۳۰ درجه سلسیوس خشک شوند و اگر رطوبت اولیه پایین‌تر از ۱۸ درصد است، دما نزدیک به ۳۷-۳۶ درجه سلسیوس برای خشک‌کردن توصیه می‌شود. خشک‌کردن در دما بالاتر موجب خسارت به جنین و کاهش قدرت جوانه‌زنی بذر می‌شود. انبار کردن بذر با رطوبت بالا، موجب کاهش سریع قدرت جوانه‌زنی بذر شده و خسارت ناشی از بیماری‌های بذرزاد و آفات انباری را به دنبال دارد. جنین بذری که رطوبت بالایی دارد در مراحل ماندن بسته‌بندی بر اساس اندازه بذر (سورتینگ)، آسیب‌پذیرتر بوده و کاهش قدرت جوانه‌زنی بذر را به همراه دارد.

برای بوجاری بذر برنج که شامل مراحل پیش بوجاری و درجه‌بندی است، دستگاه‌های بوجاری به‌گونه‌ای تنظیم می‌شوند که بذر خارج‌شده از دستگاه، استانداردهای آزمایشگاهی بذر مادری و یا گواهی‌شده را احراز نماید. برای کنترل در این بخش نمونه‌هایی به‌طور منظم و برحسب تصادف از دستگاه گرفته‌شده و پس از انجام آزمون خلوص بذر نتیجه آن را با جدول استاندارد آزمایشگاهی بذر برنج مقایسه نموده و وضعیت نمونه مشخص خواهد شد. برای کنترل نهایی لازم است که بذر بسته‌بندی‌شده برنج بر روی پالتهایی (فلزی یا ساخته‌شده از مواد پلاستیکی و یا پالتهای چوبی بهداشتی) که بسته‌های بذر را از کف انبار جدا نگه می‌دارد، در پارت‌های حداکثر ۲۰ تنی به نحوی چیده شوند که به هر یک از بسته‌های بذری دسترسی وجود داشته باشد. برای این منظور لازم است پارت‌ها در چینش‌های دوتایی به‌گونه‌ای چیده می‌شوند که سر تمام بسته‌ها یا کیسه‌های بذری به‌طرف بیرون باشد. سپس بر اساس اصول نمونه‌برداری «انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ISTA)» از حداقل تعداد ۳۰ بسته از هر پارت، نمونه اولیه گرفته و پس از تهیه نمونه مرکب، برای آزمون خلوص و جوانه‌زنی و یا سایر آزمون‌های لازم برای تعیین کیفیت بذر به آزمایشگاه ارسال می‌گردد. پس از اعلام نتیجه آزمون‌های خلوص فیزیکی و درصد جوانه‌زنی و احراز شرایط استاندارد، گواهی نهایی برای نصب برچسب استاندارد بر روی پارت بذری مورد نظر صادر می‌شود. نصب شناسه (اتیکت) پس از اخذ مجوز استاندارد، بر اساس بازدید مزرعه و

آزمون‌های آزمایشگاهی، شناسه یا اتیکتی که مشخصات فنی بذر بر روی آن درج شده است روی بسته‌های بذری پارت‌های استاندارد زده می‌شود. مشخصاتی که روی اتیکت درج می‌شود شامل نام شرکت تولیدکننده، شماره مجوز شرکت برای تولید بذر، نام محصول، نام رقم، طبقه بذری، سال تولید، محل تولید (نام استان) است. درجه خلوص فیزیکی، درصد جوانه‌زنی بذر و وزن خالص بذر درون بسته است. شناسه طبقه بذری پیش‌پایه به رنگ سفید، شناسه طبقه بذری مادری به رنگ صورتی و شناسه طبقه گواهی‌شده به رنگ آبی است. برای تأیید نهایی ممکن است شناسه‌ها مهرشده و یا بر روی آن‌ها برچسب مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال زده شود.

#### ۸-۹-۶- برداشت

برداشت محصول در زمان رسیدگی کامل برای دستیابی به بذر با کیفیت اهمیت بسیاری دارد. به محض آنکه بذر به مرحله‌ی رسیدگی کامل وارد شد باید برداشت شود. تأخیر در رسیدگی موجب خوابیدگی، ریزش، خسارت موش‌ها و گاهی اوقات جوانه‌زنی بذر روی خوشه می‌گردد به‌ویژه در ارقامی که دوره‌ی خواب بذر بسیار کوتاه بوده و یا وجود ندارد.

#### ۹-۹-۶- خرمن‌کوبی<sup>۱</sup>

محصول بذری برداشت شده به روش دستی یا مکانیکی خرمن‌کوبی می‌شود. در هر دو حالت از ورود ضربه‌های زیاد به بذر باید جلوگیری شود. ضربات زیاد باعث صدمه به جنین می‌شود خصوصاً وقتی که رطوبت دانه در هنگام خرمن‌کوبی زیاد باشد کیفیت بذر کاهش خواهد یافت. چنانچه بذری با رطوبت بالا برداشت شده است لازم است قبل از خرمن‌کوبی یا بوجاری خشک شود (آسروش، ۱۳۸۷).

#### ۱۰-۹-۶- خشک‌کردن<sup>۲</sup>

میزان رطوبت بذر در زمان رسیدن و برداشت متفاوت است. بنابراین ضروری است که قبل از انبار کردن بذر، تا حد مناسبی از رطوبت آن کاسته شود. خشک کردن بذر برای

---

1 Threshing

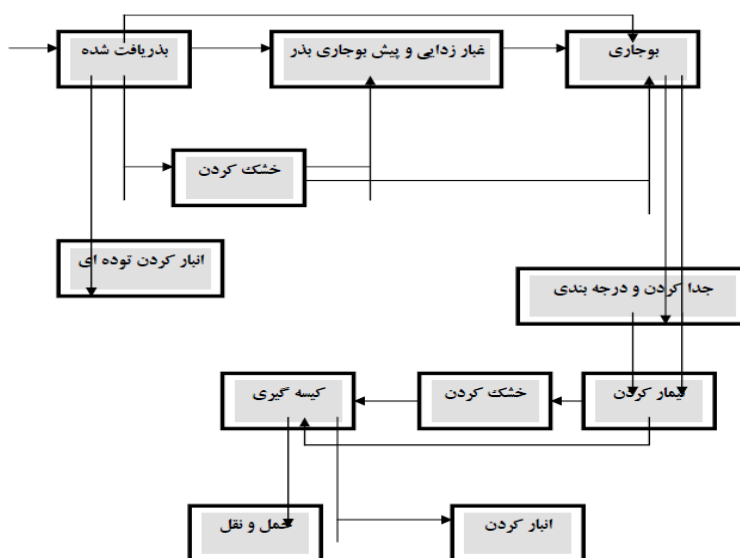
2 Drying

فرآوری بذر نیز لازم است. برای این منظور ممکن است خشک کردن به روش طبیعی یعنی تأخیر در برداشت، صورت گیرد.

از موانع این روش نامساعد شدن شرایط آب و هوایی است. روش خشک کردن در برابر آفتاب و استفاده از دستگاه‌های خشک‌کن روش‌های معمول هستند. پس از خرمن‌کوبی ضروری است رطوبت بذر فوراً تا ۱۴ درصد کاهش یابد. برای این منظور شلتوک‌ها در لایه‌های نازک در معرض تابش آفتاب قرار داده می‌شود تا رطوبت به ۱۴ درصد برسد و یا آنکه از توصیه دستگاه‌های خشک‌کن استفاده می‌شود که در این صورت حداکثر درجه حرارت هوای گرم خشک‌کن معادل ۴۰ درجه سلسیوس توصیه شده است. اما برای کاستن از خطر صدمه به بذر، درجه حرارت خشک‌کردم باید کم‌تر از حداکثر ذکر شده (۴۰ درجه سلسیوس) باشد. چنانچه رطوبت اولیه بذر بیش از ۱۸ درصد باشد توصیه این است که بذور در حرارت ۳۲-۳۰ درجه سلسیوس خشک شود و اگر رطوبت اولیه پایین‌تر از ۱۸ درصد است درجه حرارت نزدیک به ۴۰ درجه سلسیوس (۳۶-۳۷ درجه سلسیوس) برای خشک‌کردن توصیه می‌شود. خشک‌کردن در درجه حرارت بالاتر موجب خسارت به جنین و کاهش قدرت جوانه‌زنی بذر می‌شود. انبارکردن بذر با رطوبت بالا موجب کاهش سریع قدرت جوانه‌زنی شده و خسارت ناشی از بیماری‌های بذرزاد و آفات انباری را به دنبال دارد. جنین بذری که رطوبت بالایی دارد در مراحل مانده سبزینه‌بندی، آسیب‌پذیر است و احتمال کاهش قدرت جوانه‌زنی بذر می‌رود. البته باید توجه داشت که خشک کردن بیش از اندازه بذر نیز می‌تواند سبب خسارت کمی و کیفی به بذر گردد (أسروش، ۱۳۸۷).

#### ۱۱-۹-۶- فرآوری بذر<sup>۱</sup>

بذرهای تازه برداشت شده و بذر آماده برای عرضه به بازار دارای تفاوت‌هایی می‌باشند. بذر تازه برداشت شده شامل مواد جامد، بذر علف هرز، بذر سایر محصولات و سایر ارقام، بذور خارج از اندازه و بذر ناقص و یا تباه شده است. بنابراین فرآوری بذر مانند بوجاری کردن درجه‌بندی و ضدعفونی کردن، حداقل‌های ضروری است که روی بذر ناخالص انجام می‌گیرد. مراحل مختلف فرآوری بذر در شکل (۱) ضمیمه به صورت خلاصه آمده است (أسروش، ۱۳۸۷).



شکل ۱- تفاوت بذر تازه برداشت شده و بذر آماده برای فروش

## ۱۲-۹-۶- فرآوری بذر<sup>۱</sup>

پاک کردن عموماً به فرایند پیش بوجار که قبل از درجه بندی بذر است گفته می شود. در پاک کردن که ممکن است با دست یا به صورت مکانیکی اجرا شود، مواد جامد و بزرگتر از اندازه بذر گرفته می شود.

## ۱۳-۹-۶- درجه بندی<sup>۲</sup>

در این مرحله که پس از مرحله ی پاک کردن است با کمک غربال هایی با اندازه های متفاوت، دستگاه جدا کننده گراویتی و سیلندرهای دندانه ای، بذور علف های هرز، دانه های صدمه دیده و ضایع شده، مواد جامد در انواع و اندازه های مختلف، بذور سایر محصولات و بذور چروکیده و کوچکتر از اندازه، جدا می شود. براین مبنا پس از درجه بندی به دلیل حذف مواد خارجی و بذور نامطلوب، کیفیت بذر ارتقاء می یابد.

1 Cleaning

2 Grading

۱۴-۹-۶- درجه‌بندی<sup>۱</sup>

بذور درجه‌بندی شده به منظور کشتن عوامل بیماری‌زای بذرزاد با سموم شیمیایی تیمار می‌شود. این تیمارها بیماری‌هایی را که ممکن است در اراضی جدید با بذر انتقال یابد کنترل می‌کند. سموم شیمیایی بذر را از آلودگی به بیماری‌های بذرزاد حفظ کرده و در مقابل عوامل بیماری‌زای خاکزاد محافظت می‌نماید. با کمک سموم آفت‌کش صدمه به بذور را در مدت انبارمانی کاهش داده و آن‌ها را از خسارت‌های آفات در هنگام جوانه‌زنی محفوظ می‌دارد. باید به خاطر داشت که تیمار کردن بذر موجب بهبود قدرت جوانه‌زنی بذر نمی‌شود. بنابراین بذوری با قوه‌نامیه‌ی پایین نباید با سموم شیمیایی مانند آفت‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها ضدعفونی شود. بلکه باید به مصارف خوراکی برسند. برای تیمار بذر بر علیه بیماری‌های خاص سموم شیمیایی خاصی تجویز شده است. برای مثال قارچ‌کش تیوفانات متیل تیرام (همای) پودر و تابل ۸۰ درصد به مقدار ۲ در هزار برای مبارزه با بیماری پوسیدگی طوقه برنج استفاده می‌شود (أسروش، ۱۳۸۷).

## ۱۵-۹-۶- پارت‌چینی، نمونه‌برداری و آزمون بذر

پس از درجه‌بندی و ضد عفونی بذر اگر رطوبت آن بیش از حد مجاز (۱۴ درصد) باشد خشک می‌گردد و برای بسته‌بندی نهایی و اجرای آزمون‌های آزمایشگاهی (قوه نامیه، خلوص و درصد رطوبت) در انبار پارت‌چینی می‌شود. بهتر است وزن خالص هر کیسه متناسب با مقدار مصرف بذر در واحد سطح (هکتار) باشد. نحوه‌ی پارت‌چینی کیسه‌ها در انبار این است که بر روی پالت چوبی و به گونه‌ای چیده شود که برای نمونه برداری امکان دسترسی به تمام کیسه‌ها وجود داشته باشد. نمونه‌برداری براساس دستورالعمل ISTA توسط کارشناسان موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال انجام می‌گیرد. پس از نمونه برداری و انجام آزمون، پارت‌هایی که استانداردهای لازم را داشته باشند گواهی استاندارد دریافت می‌کنند (أسروش، ۱۳۸۷).

### ۱۶-۹-۶- نصب اتیکت و پلمپ کردن کیسه‌ها

پس از اخذ مجوز استاندارد براساس بازدید مزرعه و آزمون‌های آزمایشگاهی، برچسب یا اتیکتی که مشخصات فنی بذر بر روی آن درج شده است روی کیسه زده می‌شود. این مشخصات شامل: نام محصول، نام رقم، شرکت تولید کننده بذر، طبقه بذری، سال تولید، حداقل درجه خلوص فیزیکی، حداقل درصد جوانه‌زنی و درصد رطوبت بذر است.

### ۱۷-۹-۶- نگهداری بذر در انبار

قبل و بعد از بوجاری لازم است بذر در انبار نگهداری شود. نگهداری بذر در شرایط مناسب برای حفظ کیفیت بذر تا پیش از توزیع و کشت بسیار مهم است. بذر هیچگاه نباید به صورت انبوه روی هم انبار شود. بلکه باید درون کیسه نگهداری شود. کیسه‌ها باید در انباری که برای مقابله با هجوم آفات و موش مجهز است و نسبت به رطوبت نفوذ ناپذیر است، نگهداری شود. بهتر است کیسه‌ها به جای گذاشتن روی زمین، روی پالت چوبی چیده شود. پایین نگهداشتن رطوبت انبار بر دوام کیفیت بذر اثر مطلوب دارد. زیرا رابطه‌ی نزدیکی بین رطوبت نسبی هوای انبار و درصد رطوبت بذر وجود دارد. بذر برنج به عنوان یک بذر جاذب الرطوبته شناخته شده است و چنانچه در انباری با شرایط زیر بذر نگهداری شود اینچنین از رطوبت نسبی هوای انبار پیروی خواهد کرد (جدول ۱).

جدول ۱- درصد رطوبت نسبی هوا و درصد رطوبت بذر در شرایط انبار

|      |      |      |      |      |     |     |                            |
|------|------|------|------|------|-----|-----|----------------------------|
| ۱۰۰  | ۹۰   | ۷۵   | ۶۰   | ۴۵   | ۳۰  | ۱۵  | درصد رطوبت نسبی هوای انبار |
| ۲۳/۶ | ۱۸/۴ | ۱۴/۴ | ۱۲/۶ | ۱۰/۷ | ۸/۶ | ۶/۸ | درصد رطوبت بذر             |

فرم شماره (۱) اعلام آمادگی پیمانکار برای تولید بذر برنج

|                                                                                                                      |          |                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------|
| نام و نام خانوادگی:                                                                                                  |          | نام متقاضی:<br>نام شرکت:                       |
| استان:                                                                                                               | شهرستان: | دهستان:                                        |
| منبع تأمین آب:<br>*چاه *رودخانه *منابع دیگر                                                                          |          | سطح زیر کشت مورد تقاضا برای تولید بذر (هکتار): |
| نام رقم مورد تقاضا برای تکثیر بذر:                                                                                   |          |                                                |
| فاصله از نزدیک‌ترین شهر (کیلومتر):                                                                                   |          |                                                |
| فاصله از جاده اصلی (کیلومتر):                                                                                        |          |                                                |
| نشانی مزرعه:                                                                                                         |          |                                                |
| نام و امضاء متقاضی<br>تاریخ                                                                                          |          |                                                |
| موارد فوق مورد تأیید اداره جهاد کشاورزی / شرکت تولید بذر ..... می‌باشد.<br>نام و نام خانوادگی تأیید کننده: سمت امضاء |          |                                                |

فرم شماره (۲) اطلاعات مربوط به خزانه برنج

خزانه‌گیری      پس از انتقال نشاء      حداکثر جوانه‌زنی      گلدهی  
تاریخ بازدید:      تاریخ بازدید      تاریخ بازدید:      تاریخ بازدید:

|                                                                       |  |                                |                             |
|-----------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------|-----------------------------|
| نام پیمانکار:                                                         |  | شهرستان:                       | دهستان:                     |
| نام رقم:                                                              |  | طبقه بذری:                     | منشاء بذر:                  |
| سطح قرارداد (هکتار):                                                  |  | سطح اجرا شده (هکتار):          |                             |
| تعداد قطعات:                                                          |  | سطح اجراء شده (هکتار)          |                             |
| تاریخ خزانه‌گیری: پایه مادری:<br>پایه پدری:<br>(۱)<br>(۲)<br>(۳)      |  | محصول دو سال پیش:              |                             |
|                                                                       |  | میزان مصرف بذر در خزانه/هکتار: |                             |
|                                                                       |  | پایه مادری: پایه پدری:         |                             |
|                                                                       |  |                                |                             |
| تاریخ انتقال نشاء پایه پدری:                                          |  | تاریخ انتقال نشاء پایه مادری   |                             |
| نسبت ردیف‌های مادری به ردیف‌های پدری:                                 |  |                                |                             |
| وضعیت بیماری‌های بذرزاد در خزانه:                                     |  |                                |                             |
| وضعیت بیماری‌های بذرزاد در مرحله حداکثر پنجه‌دهی:                     |  |                                |                             |
| وضعیت بیماری‌های بذرزاد در مرحله گلدهی:                               |  |                                |                             |
| تراکم (تعداد بوته در متر مربع):                                       |  | یکنواختی: عالی خوب متوسط ضعیف  |                             |
| تعداد بوته‌های غریبه در مرحله حداکثر پنجه دهی                         |  | در پایه پدری:                  | در پایه مادری:              |
| تعداد بوته‌های غریبه در مرحله گلدهی                                   |  | در پایه پدری:                  | در پایه مادری:              |
| فاصله ایزولاسیون: *کافی *ناکافی شرق ---- شمال ---- غرب ---- جنوب ---- |  |                                |                             |
| کود شیمیایی مصرف شده: ازته: پتاسه: فسفره:                             |  |                                |                             |
| سایر کودهای مصرف‌شده:                                                 |  |                                |                             |
| توضیحات:                                                              |  |                                |                             |
| نام و امضاء پیمانکار:                                                 |  | نام و امضاء بازرس:             | امضاء کارشناس مسؤول استانی: |

فرم شماره (۳) فرم ویژه بازدید نهایی

مرکز / ایستگاه: استان: تاریخ:

|                                                                                                                                                                                                             |             |                                                   |                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------|-------------------------|
| نام پیمانکار:                                                                                                                                                                                               | شهرستان:    | بخش:                                              | روستا:                  |
| نام محصول:                                                                                                                                                                                                  | نام رقم:    | طبقه بذر:                                         | منشاء بذر:              |
| تعداد قطعات زمین:                                                                                                                                                                                           | شماره قطعه: | مساحت قطعه (هکتار):                               | مساحت کل قطعات (هکتار): |
| محصول سال قبل:                                                                                                                                                                                              |             |                                                   |                         |
| فاصله از مزارع اطراف: کافی <input type="checkbox"/> ناکافی <input type="checkbox"/> شمال <input type="checkbox"/> جنوب <input type="checkbox"/> مشرق <input type="checkbox"/> مغرب <input type="checkbox"/> |             |                                                   |                         |
| یکنواختی مزرعه: خیلی خوب <input type="checkbox"/> خوب <input type="checkbox"/> متوسط <input type="checkbox"/> ضعیف <input type="checkbox"/>                                                                 |             |                                                   |                         |
| تراکم بوته در واحد سطح:                                                                                                                                                                                     |             | درصد خوابیدگی:                                    |                         |
| تعداد شمارش در پیمایش                                                                                                                                                                                       |             |                                                   |                         |
| یکم                                                                                                                                                                                                         | دوم         | سوم                                               | چهارم                   |
| پنجم                                                                                                                                                                                                        | ششم         | مجموع                                             | مقبول                   |
| مردود                                                                                                                                                                                                       |             |                                                   |                         |
|                                                                                                                                                                                                             |             |                                                   |                         |
|                                                                                                                                                                                                             |             |                                                   |                         |
|                                                                                                                                                                                                             |             |                                                   |                         |
|                                                                                                                                                                                                             |             |                                                   |                         |
|                                                                                                                                                                                                             |             |                                                   |                         |
|                                                                                                                                                                                                             |             |                                                   |                         |
|                                                                                                                                                                                                             |             |                                                   |                         |
|                                                                                                                                                                                                             |             |                                                   |                         |
| سایر ارقام                                                                                                                                                                                                  |             |                                                   |                         |
| سایر محصولات                                                                                                                                                                                                |             |                                                   |                         |
| علف‌های هرز                                                                                                                                                                                                 |             |                                                   |                         |
| غیرمجاز                                                                                                                                                                                                     |             |                                                   |                         |
| پوسیدگی طوقه                                                                                                                                                                                                |             |                                                   |                         |
| لکه قهوه‌ای                                                                                                                                                                                                 |             |                                                   |                         |
| سایر بیماری‌ها                                                                                                                                                                                              |             |                                                   |                         |
| نتیجه بازدید:                                                                                                                                                                                               |             |                                                   |                         |
| مساحت قابل گواهی از قطعه (هکتار): مساحت غیر قابل گواهی از قطعه (هکتار):                                                                                                                                     |             |                                                   |                         |
| نیاز به بازدید دوباره هست <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                          |             | برآورد محصول: کیلوگرم در هکتار کل محصول قطعه (تن) |                         |
| نیست <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                               |             |                                                   |                         |
| ملاحظات:                                                                                                                                                                                                    |             |                                                   |                         |
| نام و امضای بازرس مزرعه                                                                                                                                                                                     |             |                                                   |                         |

فرم شماره (۴) فرم بازدید نهایی

|                                   |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| نام پیمانکار:                     |                         |
| استان:                            | شهرستان:                |
| بخش:                              | روستا:                  |
| نام محصول:                        | نام رقم:                |
| طبقه بذر:                         | منشاء بذر:              |
| تعداد قطعات زمین:                 | مساحت کل قطعات (هکتار): |
| نتیجه بازدید نهایی مزرعه:         |                         |
| سطح تأیید شده (هکتار)             | سطح تأیید نشده (هکتار)  |
| تعداد قطعات تأیید شده             | تعداد قطعات تأیید نشده  |
| کل محصول قابل تحویل (تن)          |                         |
| توضیح:<br>نام و امضای بازرس مزرعه |                         |



## فصل هفتم

### منابع



## منابع

- ابوطالبیان، م.ع. و محقق، ع. ۱۳۹۴. تأثیر تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر بر عملکرد و اجزای عملکرد عدس در شرایط تنش خشکی آخر فصل. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۵(۱۵): ۱۴۰-۱۲۹.
- اخگری، ح. و کاویانی، ب. ۱۳۹۸. اثر پرایمینگ بر بنیه بذر و گیاهچه دو رقم برنج. نشریه علوم و فناوری بذر ایران. ۸(۱): ۱۷-۱.
- اخوت، م. ۱۳۷۸. بیماری‌های غلات (جو، گندم، برنج، ذرت و ذرت خوشه‌ای). انتشارات دانشگاه تهران.
- أسروش، س. ۱۳۸۷. دستورالعمل کنترل و گواهی بذر برنج. موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال. ۲۵ صفحه.
- ایزدیار، م. ۱۳۷۷. بیماری بلاست برنج. انتشارات نشر آموزش کشاورزی، ۲۰ ص.
- بخیت، م.، مرادی، ع. و عبدالهی، م. ۱۳۹۶. تأثیر بیوپرایمینگ با تریکودرما و سودوموناس بر جوانه‌زنی و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی بذرهای زوال یافته کتان رقم نورمن. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۶(۲۱): ۲۱۱-۱۹۷.
- بهداد، ا. ۱۳۸۸. فیتوپاتولوژی و بیماری‌های مهم گیاهی. نشر عطر عترت. ۸۰۰ ص.
- پاداشت دهکلایی، ف. و ایزدیاری، م. ۱۳۷۷. بررسی بیماری لکه قهوه‌ای برنج در گیلان، خلاصه مقالات سیزدهمین کنگره گیاهپزشکی ایران.
- پاداشت دهکلایی، ف. و داریوش، س. ۱۳۹۳. نشریه فنی بیماری سیاهک دروغی برنج. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات برنج کشور. ۲۷ ص.
- پاداشت دهکلایی، ف.، اله‌قلی‌پور، م.، سمیه، د. و پورفرهنگ، ح. ۱۳۹۵. بررسی واکنش لاین‌های امیدبخش برنج در مقابل قارچ‌های عامل بیماری بلاست و سوختگی غلاف در برنج.

موسسه تحقیقات برنج کشور. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات برنج کشور. ۷۸ ص.

تقی ذوقی، ش.، سلطانی، ا.، الهدادی، ا. و صادقی، ر. ۱۳۹۷. اثر تیمارهای مختلف پوشش بذر بر جوانه‌زنی کلزا در شرایط تنش خشکی و شوری: با استفاده از راهبرد مدلسازی. به‌زراعی کشاورزی. ۲۰(۳): ۵۷۷-۵۹۳.

جودی، م. و شریف‌زاده، ف. ۱۳۸۵. بررسی اثر هیدروپرایمینگ در ارقام جو. مجله بیابان، ۱۱(۱): ۹۹-۱۰۹.

خدابنده، ن. ۱۳۹۲. زراعت غلات. انتشارات دانشگاه تهران

زینلی، الف.، گالشی، س. سلطانی، ا. واکنش اجزای جوانه‌زنی بذر به تنش شوری در کلزا. مجله علوم کشاورزی ایران. ۱۳۸۱. ۳۲: ۱۴۵-۱۳۷.

سیادت، س.ع.، شرفی‌زاده، م. و موسوی، س.ا. ۱۳۹۰. اثر هورمون پرایمینگ بر کاهش فرسودگی بذر ذرت. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۳(۱۰): ۸۳-۶۷.

شریفی، پ. ۱۳۹۲. ارزیابی تنش‌های شوری بر تعدادی از صفات در مرحله‌ی جوانه‌زنی برنج. فصلنامه علمی پژوهشی گیاه و زیست بوم. ۹(۱): ۳۹-۳۱.

صارمی، ح. ۱۳۸۴. بررسی بیماری پوسیدگی ریشه و طوقه برنج در استان‌های گیلان و زنجان و معرفی ارقام نسبتاً مقاوم به بیماری. علوم کشاورزی. ۱۱(۲): ۵۲-۴۱.

طاعتی‌زاده، ۱۳۹۸. کوتینگ بذر و کاربردهای آن. (<https://fardinkesht.com>).

علی‌نیا، ف.، زمان نوری دلاور، م. و حسینی چالشتی، م. ۱۳۹۴. تحول در تولید برنج کشور از طریق معرفی ارقام پرمحصول. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۶۲ ص. قادری، ا.، گالشی، س. فرزانه، س. و زینلی، س. اثر شوری بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه چهار رقم شبدر زیرزمینی. مجله پژوهش و سازندگی. ۱۳۸۱.

قربانی، ا.، زرین‌کمر، ف. و فلاح، ا. ۱۳۹۰. اثر تنش سرما بر صفات تشریحی و مورفولوژی در دو رقم مقاوم و حساس برنج در مرحله‌ی جوانه‌زنی. مجله سلول و بافت. ۲(۳): ۲۴۴-۲۳۵.

موسی‌نژاد، ص. ۱۳۸۷. معرفی یک مدل پیش‌آگاهی برای بیماری بلاست برنج و ارزیابی خسارت ناشی از این بیماری در استان گیلان. رساله دوره دکتری بیماری‌شناسی گیاهی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

نامور، ع.، هادی، ه. و سیدشریفی، ر. ۱۳۹۶. نقش منابع خارجی محافظ‌های گیاهی در تعدیل اثرات مخرب تنش‌های غیر زیستی. نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی. ۱۲(۴۸): ۱۰۳-۱۲۸.

نحوی، م. و اله‌قلی‌پور، م. ۱۳۹۳. نشریه فنی مراحل فنولوژی برنج. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات برنج کشور. ۲۷ ص.

نظری، ش. ۱۳۹۷. بررسی پتانسیل پرایمینگ بذر در جبران عوارض تأخیر کاشت چند رقم کلزای پاییزه در منطقه کرج. رساله دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

واسعی کاشانی، س.م.، حمیدی، آ.، حیدری شریف‌آباد، ح. و دانشیان، ج. ۱۳۹۴. اثر پرایمینگ ماتریکس بر بهبود برخی ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر سه رقم سویا رشد یافته تحت شرایط آبیاری محدود. علوم و تحقیقات بذر ایران. ۲(۱): ۱۴-۱.

Abdullah, Z., Khan, M.A and Flowers, T.J. 2001. Causes of sterility in seed set of rice under salinity stress. J. Agron. Crop Sci. 167: 25–32.

Agboma, P., Jones, M.G.K., Peltonen-Sainio, P., Rita, H. and Pehu, E. 1997. Exogenous glycinebetaine enhances grain yield of maize, sorghum and wheat grown under two supplementary water regimes. J. Agron. Crop Sci. 178: 29–37.

Aghamolki, M.T.K., Yusop, M.K., Oad, F.C., Zakikhani, H., Jaafar, H.Z. and Hanafi, M.M. 2014. Response of yield and morphological characteristic of rice cultivars to heat stress at different growth stages. Int. J. Biol. Vet. Agric. Food Engg. 8: 94–96.

Agusti, J. and Greb, T. 2013. Going with the wind – adaptive dynamics of plant secondary meristems. Mech. Dev. 130: 34–44.

Akbar, M., Yabuno, T. and Nakao, S. 1972. Breeding for saline resistant varieties of rice I. Variability for salt tolerance among some rice varieties. Jpn. J. Breed. 22: 277–284.

Akram, H.M., Ali, A., Sattar, A., Rehman, H.S.U. and Bibi, A. 2013. Impact of water deficit stress on various physiological and agronomic traits of three basmati rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. J. Anim. Plant Sci. 23: 1415–1423.

Ali, K.A., Azhar, A. and Galani, S. 2013. Response of rice (*Oryza sativa* L.) under elevated temperature at early growth stage: physiological markers. Russ. J. Agric. Soc. Econ. Sci. 8: 11–19.

Alocilja, E.C. and Ritchie, I.T. 1991. A model for the phenology of rice. In: Hodges T (ed) Predicting crop phenology. CRC Press, Boca Raton, pp. 181–189.

Anuradha, S. and Rao, S.S.R. 2001. Effect of brassinosteroids on salinity stress induced inhibition of seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). Plant Growth Regul. 33: 151–153.

Armstrong, J. and Armstrong, W. 1994. Chlorophyll development in mature lysigenous and schizogenous root aerenchyma provides evidence of continuing cortical cell viability. New Phytol. 5: 493–497.

Armstrong, J., Armstrong, W., Beckett, P.M., Halder, J.E., Lythe, S., Holt, R. and Sinclair, A. 1996. Pathways of aeration and the mechanisms and beneficial effects of humidity- and Venturi-induced convections in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Aquat. Bot. 5: 177–197.

Armstrong, W. 1979. Aeration in higher plants. Adv. Bot. Res. 5: 236–332.

Austin, R.B., Longden, P.C. and Hutchinson, J. 1969. Some effects of hardening on carrot seed. Ann. Bot. 33: 883–895.

Avigad, G. and Dey, P.M. 1996. Carbohydrate metabolism: storage carbohydrates. In: PM D, Harborne IB (eds) Plant biochemistry. Academic Press, New York, pp. 149–204.

Azhakanandam, K., Power, J.B., Lowe, K.C. 2000. Qualitative assessment of aromatic Indica rice *Oryza sativa* L. Proteins, lipids and starch in grain from somatic embryo- and seed-derived plants. Journal of Plant Physiology. 156: 783–789.

Bakare, S.O., Ukwungwu, M.N., Fademi, A.O., Harris, D. and Ochigbo, A.A. 2005. Adoption study of seed priming technology in upland rice. *Global Appr. Extension Prac.* 1: 1–6.

Balasubramanian, V. and Hill, J.E. 2002. Direct seeding of rice in Asia: emerging issues and strategic research needs for 21<sup>st</sup> century. In: Pandey S., Mortimer M., Wade L., Tuong T.P., Lopes K., Hardy B. (Eds.), *Direct seeding: Research strategies and opportunities*. International Research Institute, Manila, Philippines, pp: 15–39.

Barkosky, R.R. and Einhelling, F.A. 1993. Effects of salicylic acid on plant water relationship. *J. Chem. Ecol.* 19: 237–247.

Basra, A.S., Singh, B. and Malik, C.P. 1994. Priming-induced changes in polyamine levels in relation to vigor of aged onion seeds. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 35: 19–23.

Basra, S.M.A., Farooq, M. and Hussain, M. 2005. Influence of osmopriming on the germination and early seedling growth of coarse and fine rice. *Pak. J. Seed Technol.* 6: 33–42.

Basra, S.M.A., Farooq, M. and Khaliq, A. 2003. Comparative study of pre-sowing seed enhancement treatments in fine rice (*Oryza sativa* L.). *Pak. J. Life Soc. Sci.* 1: 5–9.

Basra, S.M.A., Farooq, M. and Tabassum, R. 2005. Physiological and biochemical aspects of seed vigor enhancement treatments in fine rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Sci. Technol.* 33: 623–628.

Basra, S.M.A., Farooq, M., Hafeez, K. and Ahmad, N. 2004. Osmohardening: A new technique for rice seed invigoration, *Int. Rice Res. Notes.* 29: 80–81.

Basra, S.M.A., Farooq, M., Tabassum, R. and Ahmed, N. 2006. Evaluation of seed vigor enhancement techniques on physiological and biochemical basis in coarse rice. *Seed Sci. Technol.* 34: 741–750.

Basra, S.M.A., Farooq, M., Wahid, A. and Khan, M.B. 2006. Rice seed invigoration by hormonal and vitamin priming. *Seed Sci. Technol.* 34: 753–758.

Basu, R.N. 1994. An appraisal of research on wet and dry physiological seed treatments and their applicability with special reference to tropical and sub-tropical countries. *Seed Sci. Technol.* 22, 107–126.

Basu, S., Roychoudhury, A., Saha, P.P. and Sengupta, D. 2010. Differential antioxidative responses of indica rice cultivars to drought stress. *Plant Growth Regul.* 60: 51–59.

Beckman, J.J., Moser L.E., Kubik K., Waller S.S. 1993. Big bluestem and switch grass establishment as influenced by seed priming. *Agron. J.* 85: 199–202.

Bethke, P.C., Schuurink, R. and Jones, R.L. 1997. Hormonal signaling in cereal aleurone. *J. Exp. Bot.* 48: 1337–1356.

Bewley, J.D. 1997. Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9: 1055–1066.

Bewley, J.D. and Black, M. 1982. Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination. Vol. 2, Viability, Dormancy and Environmental Control. Springer-Verlag, New York.

Bhumbla, D. and Abrol, I. 1978. Soils and Rice. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Borsani, O., Valpuesta, V. and Botella M. 2001. Evidence for role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in *Arabidopsis* seedlings. Plant Physiol. 126: 1024–1030.

Bouchereau, A., Aziz, A., Larher, F. and Tanguy, M. 1999. Polyamines and environmental challenges: Recent development. Plant Sci. 140: 103–125.

Bradford, K.J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. Hort Sci. 21: 1105–1112.

Bradford, K.J. and Haigh, A.M. 1994. Relationship between accumulated hydrothermal time during seed priming and subsequent seed germination rates. Seed Sci. Res. 4: 63–69.

Bray, C.M. 1995. Biochemical process during the osmopriming of seeds. In: Kigel J., Galili G., (Eds.), Seeds Development and Germination, Marcel Dekker, New York, pp. 767–789.

Bray, C.M., Davison, P.A., Ashraf, M. and Taylor, R.M. 1989. Biochemical changes during osmopriming of leek seeds. Ann. Bot. 63: 185–193.

Brocklehurst, P.A. and Dearman, J. 1983. Interactions between seed priming treatments and nine seed lots of carrot, celery and onion. I. laboratory germination. Ann. Appl. Biol. 102: 577–584.

Brocklehurst, P.A., Dearman, J. and Drew, R.L.K. 1984. Effects of osmotic priming on seed germination and seedling growth in leek. Sci. Hort. 24: 201–210.

Burgass, R.W. and Powell, A.A. 1984. Evidence for repair processes in the invigoration of seeds by hydration. Ann. Appl. Biol. 53: 753–757.

Cabuslay, G.S., Ito, O. and Alejar, A.A. 2002. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. Plant Sci. 163: 815–827.

Cao, Y.Y., Duan, H., Yang, L.N., Wang, Z.Q., Zhou, S.C. and Yang, J.C. 2008. Effect of heat stress during meiosis on grain yield of rice cultivars differing in heat tolerance and its physiological mechanism. Acta. Agron. Sin. 34: 2134–2142.

Chao, C.Y. and Hu, W.L. 1960. The effect of temperature on a desynaptic mutant in rice. Bot Bull Acad. Sinica. 2: 87–100.

Chaudhary, T.N. and Ghildyal, B.P. 1969. Germination response of rice seeds to constant and altering temperature. Agron. J. 61: 328–330.

Chaum, S., Nhung, N.T.H., Kirdmanee, C. 2010a. Effect of mannitol-and salt-induced iso-osmotic stress on proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of rice cultivars (*Oryza sativa* L. spp. indica). Pak. J. Bot. 42: 927–941.

Chaum, S., Supaibulwatana, K. and Kirdmanee, C. 2007. Glycine betaine accumulation, physiological characterizations and growth efficiency in salt tolerant

and salt sensitive lines of indica rice (*Oryza sativa* L. spp. indica) responses to salt stress. J. Agron. Crop Sci. 193: 157–166.

Chaum, S., Yooyongwech, S. and Supaibulwatana, K. 2010b. Water deficit stress in the reproductive stage of four indica rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Pak. J. Bot. 42: 3387–3398.

Chen, C.W., Yang, Y.W., Lur, H.S., Tsai, Y.G. and Chang, M.C. 2006. A novel function of abscisic acid in the regulation of rice (*Oryza sativa* L.) root growth and development. Plant Cell Physiol. 47: 1–13.

Chen, D., Gunawardena, T.A., Naidu, B.P., Fukai, S. and Basnayake, J. 2005. Seed treatment with gibberellic acid and glycinebetaine improves seedling emergence and seedling vigour of rice under low temperature. Seed Sci. Technol. 33: 471–479.

Chen, H., An, R., Tang, J.H., Cui, X.H., Hao, F.S., Chen, J. and Wang, X.C. 2007. Over-expression of a vacuolar Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiporter gene improves salt tolerance in an upland rice. Mol. Breed. 19: 215–225.

Chen, Y., Fan, X., Song, W., Zhang, Y., Xu, G. 2012. Over-expression of OsPIN2 leads to increased tiller numbers, angle and shorter plant height through suppression of OsLAZY1. Plant Biotechnol J. 10: 139–149.

Chunthaburee, S., Dongsansuk, A., Sanitchon, J., Pattanagul, W. and Theerakulpisut, P. 2016. Physiological and biochemical parameters for evaluation and clustering of rice cultivars differing in salt tolerance at seedling stage. Saudi J. Biol. Sci. 23: 467–477.

Colmer, T.D. 2003. Long-distance transport of gases in plants: a perspective on internal aeration and radial oxygen loss from roots. Plant Cell Environ. 5: 17–36.

Colmer, T.D. and Pedersen, O. 2008. Oxygen dynamics in submerged rice (*Oryza sativa*). New Phytol. 5: 326–334.

Corbineau, F. and Come, D. 2006. Priming: A technique for improving seed quality. Seed Testing Int. 132: 38–40.

Corbineau, F., Picard, M.A. and Come, D. 1994. Germinability of leek seeds and its improvement by osmopriming. Acta Hort. 371: 45–52.

Couch, B.C. and Kohn, L.M. 2002. A multilocus gene genealogy concordant with host preference indicates segregation of a new species, *Magnaporthe oryzae*, from *M. grisea*. Mycologia. 94: 683–693.

Counce, P.A., Gealy, D.R. and Sung, S.J.S. 2003. Rice physiology. In: Smith CW, Dilday RH (eds) Rice: origin, history, technology and production. Wiley, Hoboken.

Counce, P.A., Keisling, T.C. and Mitchell, A.J. 2000. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. Crop Sci. 40: 436–443.

Dadlani, M. and Seshu, D.V. 1990. Effect of wet and dry heat treatment on rice seed germination and seedling vigor. Int. Rice Res. Newslet. 15: 21–22.

Deshpande, V.N., Waghmode, B.D., Dalvi, V.V. and Vanave P.B. 2003. Naphthaleneacetic acid holds promise in hybrid rice seed production. *Ind. J. Genet. Plant Breed.* 63(2): 157–158.

Dey, M. and Upadhaya, H. 1996. Yield loss due to drought, cold and submergence in Asia. In: Evenson R., Herdt R., Hossain M. (Eds.). *Rice Research in Asia: Progress and Priorities*. CAB International and IRRI: Wallingford, UK.

Ding, C.K. and 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.

Dolferus, R., de Bruxelles, G., Dennis, E.S. and Peacock, W.J. 1994. Regulation of the *Arabidopsis Adh* gene by anaerobic and other environmental stresses. *Ann. Bot.* 74: 301–308.

Drew, M.C. and Fourcy, A. 1986. Radial movement of cations across aerenchymatous roots of *Zea mays* measured by electron probe X-ray microanalysis. *J. Exp. Bot.* 5: 823–831.

Du, L.V. and Tuong, T.P. 2002. Enhancing the performance of dry-seeded rice: effects of seed priming, seedling rate, and time of seedling. In: Pandey S., Mortimer M., Wade L., Tuong T.P., Lopes K., Hardy B., (Eds.) *Direct seeding: Research strategies and opportunities*. International Research Institute, Manila, Philippines. pp: 241–256.

Ella, E.S. and Setter, T.L. 1996. Importance of carbohydrates in rice (*Oryza sativa* L.) seeds exposed to anoxia. 12th meeting of the Field Crops Science Society of the Philippines, Davao City.

Evans, D.E. 2003. Aerenchyma formation. *New Phytol.* 5: 35–49.

Fageria, N.K. 2007. Yield physiology of rice. *J. Plant Nutr.* 30: 843–879.

Fageria, N.K., Baligar, V.C. and Clark, R.B. 2006. *Physiology of crop production*. The Haworth Press, New York.

Fan, J., Guo, X.Y., Huang, F., Li, Y., Liu, Y.F., Li, L., Xu, Y.J., Zhao, J.Q., Xiong, H., Yu, J.J. and Wang, W. 2014. Epiphytic colonization of *Ustilaginoidea virens* on biotic and abiotic surfaces implies the widespread presence of primary inoculum for rice false smut disease. *Plant Pathol.* 63(4): 937–945.

Fang, Y., Liao, K., Du, H., Xu, Y., Song, H., Li, X. and Xiong, L. 2015. A stress-responsive NAC transcription factor SNAC3 confers heat and drought tolerance through modulation of reactive oxygen species in rice. *J. Exp. Bot.* 66: 6803–6817.

Farooq, M. and Basra S.M.A. 2005. Rice Cultivation by Seed priming, *Daily Dawn*, Lahore, Pakistan. August 28, 2005.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Rehman, H., Hussain, M. and Amanat, Y. 2007c. Pre-sowing salicylate seed treatments improve the germination and early seedling growth in fine rice. *Pak. J. Agric. Sci.* 44: 16–23.

Farooq, M., Basra, S.M.A. and Hafeez, K. 2006a. Seed invigoration by osmohardening in fine and coarse rice. *Seed Sci. Technol.* 34: 181–187.

Farooq, M., Basra, S.M.A. and Khan, M.B. 2007b. Seed priming improves growth of nursery seedlings and yield of transplanted rice. Arch. Agron. Soil Sci. 53: 315–326.

Farooq, M., Basra, S.M.A. and Rehman, H. 2006e. Seed priming enhances emergence yield and quality of direct seeded rice. Int. Rice Res. Notes 31: 42–44.

Farooq, M., Basra, S.M.A. and Rehman, H. 2008. Seed priming with polyamines improve the germination and early seedling growth in fine rice. J. New Seeds 9: 145–155.

Farooq, M., Basra, S.M.A. and Saleem, B.A. 2006d. Direct seeding method popular among rice farmer, Daily Dawn, Lahore, Pakistan. June 05, 2006.

Farooq, M., Basra, S.M.A. and Saleem, B.A. 2006h. Integrated rice growing system, Daily Dawn, Lahore, Pakistan. August 07, 2006.

Farooq, M., Basra, S.M.A. and Saleem, B.A. 2006j. Integrated weed management in rice. Daily Dawn, Lahore, Pakistan. July 24, 2006.

Farooq, M., Basra, S.M.A. and Wahid, A. 2006c. Priming of field-sown rice seed enhances germination, seedling establishment, allometry and yield. Plant Growth Regul. 49: 285–294.

Farooq, M., Basra, S.M.A. and Ahmed N. 2005a. Rice seed priming. Int. Rice Res. Notes 30: 45–48.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Afzal, I. and Khaliq, A. 2006g. Optimization of hydropriming techniques for rice seed invigoration. Seed Sci. Technol. 34: 507–512.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Ahmad, N. 2007a. Improving the performance of transplanted fine rice by seed priming. Plant Growth Regul. 51: 129–137.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Ahmad, N. and Warriach, E.A. 2005d. Seed germination, seedling vigor and electrical conductivity of seed leachates in coarse and fine rice as affected by dry heat and chilling treatments. Euro-Asian J. Appl. Sci. 1: 18–35.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Cheema, M.A. and Afzal, I. 2006b. Integration of pre-sowing soaking, chilling and heating treatments for vigor enhancement in rice (*Oryza sativa* L.). Seed Sci. Technol. 34: 499–506.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Hafeez, K. and Ahmad, N. 2005b. Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. J. Integr. Plant Biol. 47: 187–193.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Hafeez, K. and Ahmad, N. 2005c. Use of commercial fertilizers as osmotica for rice priming. J. Agric. Soc. Sci. 1: 172–175.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Hafeez, K. and Warriach, E.A. 2004b. Influence of high and low temperature treatments on the seed germination and seedling vigor of coarse and fine rice. Int. Rice Res. Notes 29: 75–77.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Karim, H.A. and Afzal, I. 2004a. Optimization of seed hardening techniques for rice seed invigoration. Emirates J. Agric. Sci. 16: 48–57.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Khalid, M. Tabassum, R. and Mehmood, T. 2006k. Nutrient homeostasis, reserves metabolism and seedling vigor as affected by seed priming in coarse rice. *Can. J. Bot.* 84: 1196–1202.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Rehman, H. and Mehmood, T. 2006f. Germination and early seedling growth as affected by pre-sowing ethanol seed treatments in fine rice. *Int. J. Agric. Biol.* 8: 19–22.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Tabassum, R. and Afzal, I. 2006l. Enhancing the performance of direct seeded fine rice by seed priming. *Plant Prod. Sci.* 9: 446–456.

Farooq, M., Wahid, A, Ito, O., Leem, D.J. and Siddique, K.H.M. 2009b. Advances in drought resistance of rice. *Crit. Rev. Plant Sci.* 28: 199–217.

Farooq, M., Wahid, A. and Siddique, K.H.M. 2014. Physiology of grain development in cereals. In: Pessarakli M (ed) *Handbook of plant and crop physiology*, 3 edn. Taylor and Francis Group, Boca Raton, pp. 301–311.

Farooq. M., Basra. S.M.A. and Saleem, B.A. 2006i. System of rice intensification: a beneficial option, *Daily Dawn*, Lahore, Pakistan. September 04, 2006.

Farooq. M/, Wahid. A. and Lee. D.J. 2009a. Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta. Physiol. Plant.* 31: 937–945.

Fashui, H. 2002. Study on the mechanism of cerium nitrate effects on germination of aged rice seed. *Biol. Trace Element Res.* 87: 191–200.

Fashui, H., Ling, W. and Chao, L. 2003. Study of lanthanum on seed germination and growth of rice. *Biol. Trace Element Res.* 94: 273–286.

Ferl, R.J. 1990. ARF-B2: a protein complex that specifically binds to part of the anaerobic response element of maize Adhl. *Plant Physiol.* 93: 1094–1101.

Finnerty, T.L., Zajicek, J.M. and Hussey, M.A. 1992. Use of seed priming to bypass stratification requirements of three *Aquilegia* species. *Hort Sci.* 27: 310–313.

Flematti, G.R., Ghisalberti, E.L., Dixon, K.W. and Trengove, R.D. 2004. A compound from smoke that promotes seed germination. *Science* 305: 977.

Flowers, T. and Yeo A. 1981. Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *New Phytol.* 88: 363–373.

Fourest, E., Rehms, L.D., Sands, D.C., Bjarko, M. and Lund R.E. 1990. Eradication of *Xanthomonas campestris* pv *translucens* from barley seed with dry heat treatment. *Plant Dis.* 74: 816–818.

Futsuhara, Y., Kondo, S. and Kitano, H. 1979. Ditto. II. Character expression and mode of inheritance of dense panicle rice. *Japan J. Breed.* 29: 239–247.

Gain, P., Mannan, M.A., Pal, P.S., Hossain, M.M. and Parvin, S. 2004. Effect of salinity on some yield attributes of rice. Effect of salinity on some yield attributes of rice. *Pak. J. Biol. Sci.* 7: 760–762.

Gallardo, K., Job, C., Groot, S.P.C., Puype, M., Demol, H., Vandekerckhove, J. and Job D. 2001. Proteomic analysis of *Arabidopsis* seed germination and priming. *Plant Physiol.* 126: 835–848.

Gleick P.H. 1993. Water crisis: a guide to the world's freshwater resources. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security. Stockholm Environment Institute. Oxford University Press, New York (USA).

Goldberg, R.B., Beals, T.P. and Sanders, P.M. 1993. Anther development: basic principles and practical applications. *Plant Cell.* 5: 1217–1229.

Gong, H.J., Randall, D.P. and Flowers, T.J. 2006. Silicon deposition in the root reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings by reducing bypass flow. *Plant Cell Environ.* 29: 1970–1979.

Gray, D., Steckel, J.R.A. and Hands, L.J. 1990. Responses of vegetable seeds to controlled hydration. *Ann. Bot.* 66: 227–235.

Greco, R., Stagi, L., Colombo, L., Angenent, G.C., Sari-Goria, M. and Pè, M.E. 1997. MADS box genes expressed in developing inflorescences of rice and sorghum. *Mol Gen. Genet.* 253: 615–623.

Gu, J.F., Qiu, M. and Yang, J.C. 2013. Enhanced tolerance to drought in transgenic rice plants overexpressing C4 photosynthesis enzymes. *Crop J.* 1: 105–114.

Guedes, A.C. and Cantliffe, D.J. 1980. Germination of lettuce seeds at high temperatures after seed priming. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105: 777–781.

Hardegree, S.P. and Emmerich, W.E. 1992a. Effect of matric-priming duration and priming water potential on germination of four grasses. *J. Exp. Bot.* 43: 233–238.

Hardegree, S.P. and Emmerich, W.E. 1992b. Seed germination response of four south-western range grasses to equilibration at sub-germination matric-potentials. *Agron. J.* 84: 994–998.

Harris, D. 2006. Development and testing of on-farm seed priming. *Adv. Agron.* 90: 129–178.

Harris, D. and Jones, M. 1997. On-farm seed priming to accelerate germination in rainfed, dry-seeded rice. *Inter. Rice Res. Notes* 22: 30.

Harris, D., Joshi, A., Khan, P.A., Gothkar, P. and Sodhi, P.S. 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., Tripathi, R.S. and Joshi A. 2002. On-farm seed priming to improve crop establishment and yield in dry direct-seeded rice. In: Pandey S., Mortimer M., Wade L., Tuong T.P., Lopes K., Hardy B., (Eds.), *Direct seeding: Research strategies and opportunities*. International Research Institute, Manila, Philippines, pp: 231–240.

Harris, D., Tripathi, R.S. and Joshi, A. 2000. On-farm seed priming to improve crop establishment and yield in dry direct-seeded rice. *Proc. Int. Workshop on Dry-seeded Rice Technol.* 25–28 January, Bangkok, Thailand.

Hasamuzzaman, M., Fujita, M., Islam, M.N., Ahamed, K.U. and Nahar, K. 2009. Performance of four irrigated rice varieties under different levels of salinity stress. *Int. J. Integr. Biol.* 6: 85–90.

Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J. and Ahmad, A. 2012. Role of proline under changing environments: a review. *Plant Signal Behav.* 7: 1456–1466.

He, C.Z., Hu, J., Zhu, Z.Y., Ruan, S.L. and Song, W.J. 2002. Effect of seed priming with mixed- salt solution on germination and physiological characteristics of seedling in rice (*Oryza sativa* L.) under stress conditions. *J. Zhejiang Univ. (Agric. Life Sci.)*. 28: 175–178.

Heydecker, W. 1977. Stress and seed germination: an agronomic view. In: Khan A.A., (Ed.), *The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination*, Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam, pp. 237–282.

Heydecker, W. and Coolbear P. 1977. Seed treatments for improved performance – survey and attempted prognosis. *Seed Sci. Technol.* 5: 353–425.

Heydecker, W., Higgins, J. and Turner, Y.J. 1975. Invigoration of seeds. *Seed Sci. Technol.* 3: 881–888.

Holdsworth, M.J., Finch-Savage, W.E., Grappin, P. and Job, D. 2008. Post-genomics dissection of seed dormancy and germination. *Trends Plant Sci.* 13: 7–13.

Hong, S.K., Aoki, T., Kitano, H., Satoh, H. and Nagato, Y. 1995. Phenotypic diversity of 188 rice embryo mutants. *Dev. Genet.* 16: 298–310.

Howell, K.A., Narsai, R., Carroll, A., Ivanova, A., Lohse, M., Usadel, B., Millar, A.H. and Whelan, J. 2009. Mapping metabolic and transcript temporal switches during germination in rice highlights specific transcription factors and the role of RNA instability in the germination process. *Plant Physiol.* 149: 961–980.

Hu, J., Zhu, Z.Y., Song, W.J., Wang, J.C. and Hu, W.M. 2005. Effects of sand priming on germination and field performance in direct-sown rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Sci. Technol.* 33: 243–248.

Huang, B.Q. and Sheridan, W.F. 1994. Female gametophyte development in maize: Microtubular organization and embryo sac polarity. *Plant Cell.* 6: 845–861.

Huaqi, W., Bouman, B.A.M., Zhao, D., Changgui, W. and Moya, P.F. 2002. Aerobic rice in northern China: Opportunities and challenges. Paper presented at the workshop on water-wise rice production, 8–11 April 2002 at IRRI headquarters in Los Baños, Philippines.

Hughes, N.M., Burkey, K.O. and Neufeld, H.S. 2005. Functional role of anthocyanins in high-light winter leaves of the evergreen herb *Galax urceolata*. *New Phytol.* 168: 575–587.

Huke R. and Huke E. 1997. Rice area by type of culture: South, Southeast and East Asia. A revised and updated database. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Hundertmark, M., Buitink, J., Leprince, O. and Hinch, D.K. 2011. Reduction of seed-specific dehydrins reduces seed longevity in *Arabidopsis thaliana*. *Seed Sci. Res.* 21: 165–173.

Igarashi, Y., Yoshida, Y., Sanada, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., Wada, K. and Shinozaki, K. 1997. Characterization of the gene for  $\Delta^1$ -pyrroline-5-carboxylate synthetase and correlation between the expression of the gene and the salt tolerance in *Oryza sativa* L. *Plant Mol. Biol.* 33: 857–865.

Inada, N., Sakai, A., Kuroiwa, H. and Kuroiwa, T. 2002. Three-dimensional progression of programmed death in the rice coleoptile. *Int Rev Cytol Sur Cell Biol.* 218: 221–258.

Inukai, Y., Miwa, M., Nagato, Y., Kitano, H. and Yamauchi, A. 2001. Characterization of rice mutants deficient in the formation of crown roots. *Breed. Sci.* 51: 123–129.

Itoh, J., Nonomura, K.I., Ikeda, K., Yamaki, S., Inukai, Y., Yamagishi, H., Kitano, H. and Nagato, Y. 2005. Rice plant development: from zygote to spikelet. *Plant Cell Physiol.* 46: 23–47.

Itoh, J.I., Hasegawa, A., Kitano, H. and Nagato, Y. 1998. A recessive heterochronic mutation, plastochron 1, shortens the plastochron and elongates the vegetative phase in rice. *Plant Cell.* 10: 1511–1521.

Itoh, J.I., Kitano, H., Matsuoka, M. and Nagato, Y. 2000. Shoot organization genes regulate shoot apical meristem organization and the pattern of leaf primordium initiation in rice. *Plant Cell.* 12: 2161–2174.

Iwata, N. and Omura, T. 1971a. Linkage analysis by reciprocal translocation method in rice plants (*Oryza sativa* L.). II. Linkage groups corresponding to the chromosomes 5, 6, 8, 9, 10 and 11. *Sci. Bull. Fac. Agric. Kyushu. Univ.* 25: 137–153.

Iwata, N. and Omura, T. 1971a. Studies on the trisomics in rice plants (*Oryza sativa* L.). VI. An accomplishment of a trisomic series in japonica rice plants. *Japan J. Breed.* 21: 19–28.

Iwata, N., Satoh, H. and Omura, T. 1983. Linkage studies in rice. On some marker genes locating on chromosome. *Japan J. Breed.* 33: 114–115.

Jackson, M.B. and Armstrong, W. 1999. Formation of aerenchyma and the processes of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence. *Plant Biol.* 5: 274–287.

Jackson, M.B., Fenning, T.M. and Jenkins, W. 1985. Aerenchyma (gas-space) formation in adventitious roots of rice (*Oryza sativa* L.) is not controlled by ethylene or small partial pressures of oxygen. *J. Exp. Bot.* 5: 1566–1572.

Jacobsen, J.V., Gubler, F. and Chandler, P.M. 1995. Gibberellin and abscisic acid in germinating cereals. In: Davies PJ (ed) *Plant hormones: physiology, biochemistry and molecular biology*. Kluwer, Boston, pp. 246–271.

Jagadish, S.V., Muthurajan, R., Oane, R., Wheeler, T.R., Heuer, S., Bennett, J. and Craufurd, P.Q. 2010. Physiological and proteomic approaches to address heat tolerance during anthesis in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Exp. Bot.* 61: 143–156.

Jeon, J.S., Jang, S., Lee, S., Nam, J., Kim, C., Lee, S.H., Chung, Y.Y., Kim, S.R., Lee, Y.H., Cho, Y.G. and An, G. 2000. Leafy hull sterile1 is a homeotic mutation in a rice MADS box gene affecting rice flower development. *Plant Cell.* 12: 871–884.

Jeong, Y.O., Cho, J.L. and Kang, S.M. 1994. Priming effect of pepper (*Casicum annum* L.) as affected by aging and growth regulators treatments. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 35: 407–414.

Ji, K.X., Wang, Y.Y., Sun, W.N., Lou, Q.J., Mei, H.W., Shen, S.H. and Chen, H. 2012. Drought-responsive mechanisms in rice genotypes with contrasting drought tolerance during reproductive stage. *J. Plant Physiol.* 169: 336–344.

Jiehua, Q., Shuai, M., Yizhen, D., Shiwen, H. and Yanjun, K. 2019. *Ustilaginoidea virens*: A Fungus infects rice flower and threats world rice production. *Rice Sci.* 26(4): 199–206.

Johnson, S.E., Lauren, J.G., Welch, R.M. and Duxbury, J.M. 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.

Jones, J.W. 1952. Inheritance of natural and induced mutation in caloro rice and observations on sterile caloro types. *J. Hered.* 43: 81–85.

Joshi, R. and Kumar, P. 2012. Lysigenous aerenchyma formation involves non-apoptotic programmed cell death in rice (*Oryza sativa* L.) roots. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 18: 1–9.

Joule, J.A. and Mills, K. 2000. *Heterocyclic Chemistry*. 4<sup>th</sup> ed. Blackwell Science Publishing, Oxford, UK.

Juliano, B.O. and Bechtel, D.R. 1985. The rice grain and its gross composition. In: Juliano BO (ed) *Rice chemistry and technology*. American Association of Cereals Chemists, St. Paul, pp. 17–57.

Kalita, U., Suhrawardy, J. and Das, J.R. 2002. Effect of seed priming with potassium salt and potassium levels on growth and yield of direct seeded summer rice (*Oryza sativa* L.) under rainfed upland condition, Ind. *J. Hill Farm.* 15: 50–53.

Kamiya, N., Itoh, J.I., Morikami, A., Nagato, Y. and Matsuoka, M. 2003a. The SCARECROW gene's role in asymmetric cell divisions in rice plants. *Plant J.* 36: 45–54.

Kamiya, N., Nagasaki, H., Morikami, A., Sato, Y. and Matsuoka, M. 2003b. Isolation and characterization of a rice WUSCHEL-type homeobox gene that is specifically expressed in the cells of a quiescent center in the root apical meristem. *Plant J.* 35: 429–441.

Kang, H.M. and Saltveit, M. 2002. Chilling tolerance of maize, cucumber and rice seedling leaves and roots are differentially affected by salicylic acid. *Physiol. Plant* 115: 571–576.

Karssen, C.M., Haigh, A., Toorn, P. and Weges, R. 1989. Physiological mechanisms involved in seed priming. In: Taylorson R.B. (Ed.), *Recent Advances in the Development and Germination of Seeds*, Plenum Press, New York, Pp: 269–280.

Katayama, T. 1963. Study on the progenies of autotriploid and asynaptic rice plants. *Japan J. Breed.* 13: 83–87.

Kaufman, P.B. 1959. Development of the shoot of *Oryza sativa* II: leaf histogenesis. *Phytomorphology*. 9: 277–311.

Kaur, S., Gupta, A.K. and Kaur, N. 2000. Effect of GA<sub>3</sub>, kinetin and indole acetic acid on carbohydrate metabolism in chickpea seedlings germinating under water stress. *Plant Growth Regul.* 30: 61–70.

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

Kawai, M., Samarajeewa, P.K., Barrero, R.A., Nishiguchi, M. and Uchimiya, H. 1998. Cellular dissection of the degradation pattern of cortical cell death during aerenchyma formation of rice roots. *Planta*. 204: 277–287.

Kawasaki, S., Borchert, C., Deyholos, M., Wang, H., Brazille, S., Kawai, K., Galbraith, D. and Bohnert, H.J. 2001. Gene expression profiles during the initial phase of salt stress in rice. *Plant Cell*. 13: 889–905.

Kawashima, C. 1988. Roots system formation in rice plant. III. Quantitative studies. *Japan J. Crop Sci.* 57: 26–36.

Kawata, S. and Harada, J. 1975. On the development of the crown root primordia in rice plants. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan*. 44: 438–457.

Kawata, S. and Lai, K.L. 1965. On the meristematic state of the endodermis in the crown roots of rice plants. *Proc. Crop Sci Soc. Japan* 34: 210–216.

Kawata, S., Harada, J., Yamazaki, K. 1978. On the number and the diameter of crown root primordial in rice plants. *Japan J. Crop Sci.* 47: 644–654.

Kazama, T. and Toriyama, K. 2003. A pentatricopeptide repeat-containing gene that promotes the processing of aberrant atp6 RNA of cytoplasmic male-sterile rice. *FEBS Lett.* 544: 99–102.

Kebrom, T.H. and Richards, R.A. 2013. Physiological perspectives of reduced tillering and stunting in the tiller inhibition (tin) mutant of wheat. *Funct. Plant Biol.* 40: 977–985.

Keeling, P.L., Banisadr, R., Barone, L., Wasserman, B.P. and Singletary, B.W. 1994. Effect of temperature on enzymes in the pathway of starch biosynthesis in developing wheat and maize grain. *Funct. Plant Biol.* 21: 807–827.

Khan, A.A. 1992. Pre-plant physiological conditioning. *Hort. Rev.* 13: 131–181.

Kim, J.H., Lee S.C. and Song, D.S. 1989. Morpho-physiological studies on elongation of mesocotyl and seminal root in rice plant. Kor. J. Crop Sci. 34: 325–330.

Kim, J.K., Lee, M.H. and Oh, Y.J. 1993. Effect of gibberellin seed-spray on seedling emergence and growth in dry-seeded rice. Kor. J. Crop Sci. 38: 297–303.

Kim, S.K., Son, T.K., Park, S.Y., Lee, I.J., Lee, B.H. and Kim, H.Y., Lee S.C. 2006. Influences of gibberellin and auxin on endogenous plant hormone and starch mobilization during rice seed germination under salt stress, J. Environ. Biol. 27: 181–186.

Kitada, K. and Omura, T. 1983. Genetic control of meiosis in rice *Oryza sativa* L. II. Cytogenetical analyses of desynaptic mutants. Japan J. Genet. 58: 567–577.

Komatsu, M., Chujo, A., Nagato, Y., Shimamoto, K. and Kyoizuka, J. 2003. Frizzy panicle is required to prevent the formation of axillary meristems and to establish floral meristem identity in rice spikelets. Development. 130: 3841–3850.

Komatsu, M., Maekawa, M., Shimamoto, K. and Kyoizuka, J. 2001. The LAX1 and FRIZZY PANICLE 2 gene determine the inflorescence architecture of rice by controlling rachis-branch and spikelet development. Dev. Biol. 231: 364–373.

Komori, T., Ohta, S., Murai, N., Takakura, Y., Kuraya, Y., Suzuki, S., Hiei, Y., Imaseki, H. and Nitta, N. 2004. Map-based cloning of a fertility restorer gene, Rf-1, in rice (*Oryza sativa* L.). Plant J. 37: 315–325.

Kulkarni, M.G., Sparg, S.G., Light, M.E. and Van Staden, J. 2006. Stimulation of rice (*Oryza sativa* L.) seedling vigour by smoke-water and butenolide. J. Agron. Crop Sci. 192: 395–398.

Kumar, S., Dwivedi, S.K., Singh, S.S., Bhatt, B.P., Mehta, P., Elanchezhian, R., Singh, V.P. and Singh, O.N. 2014. Morphophysiological traits associated with reproductive stage drought tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes under rain-fed condition of eastern Indo-Gangetic Plain. Indian J. Plant Physiol. 19: 87–93.

Kyoizuka, J., Kobayashi, T., Morita, M. and Shimamoto, K. 2000. Spatially and temporally regulated expression of rice MADS box genes with similarity to Arabidopsis class A, B and C genes. Plant Cell Physiol. 41: 710–716.

Kytridis, V.P. and Manetas, Y. 2006. Mesophyll versus epidermal anthocyanins as potential in vivo antioxidants: evidence linking the putative antioxidant role to the proximity of oxyradical source. J. Exp. Bot. 57: 2203–2210.

Lafitte, H.R., Ismail, A.M. and Bennett, J. 2004. Abiotic stress tolerance in rice for Asia: progress and the future. New directions for a diverse planet: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Crop Science Congress Brisbane, Australia, Sep. 26–Oct. 1, 2004.

Latif, H.H. 2014. Physiological responses of *Pisum sativum* plant to exogenous ABA application under drought conditions. Pak. J. Bot. 46: 973–982.

Lee, S., Jung, K.H., An, G. and Chung, Y.Y. 2004. Isolation and characterization of a rice cysteine protease gene, OsCP1, using T-DNA gene-trap system. Plant. Mol. Biol. 54: 755–765.

- Lee, S.S. and Kim, J.H. 1999. Morphological change, sugar content, and  $\alpha$ -amylase activity of rice seeds under various priming conditions. *Kor. J. Crop Sci.* 44: 138–142.
- Lee, S.S. and Kim, J.H. 2000. Total sugars,  $\alpha$ -amylase activity, and germination after priming of normal and aged rice seeds. *Kor. J. Crop Sci.* 45: 108–111.
- Lee, S.S., Kim, J.H. and Hong, S.B. 1999. Effect of priming and growth regulator treatments of seed on emergence and seedling growth of rice. *Kor. J. Crop Sci.* 44: 134–137.
- Lee, S.S., Kim, J.H., Hong, S.B. and Yun, S.H. 1998a. Effect of humidification and hardening treatment on seed germination of rice. *Kor. J. Crop Sci.* 43: 157–160.
- Lee, S.S., Kim, J.H., Hong, S.B., Kim, M.K. and Park, E.H. 1998c. Optimum water potential, temperature, and duration for priming of rice seeds. *Kor. J. Crop Sci.* 43: 1–5.
- Lee, S.S., Kim, J.H., Hong, S.B., Yun, S.H. and Park, E.H. 1998b. Priming effect of rice seeds on seedling establishment under adverse soil conditions. *Kor. J. Crop Sci.* 43: 194–198.
- Lee, S.Y., Lee, J.H. and Kwon, T.O. 2002. Varietal differences in seed germination and seedling vigor of Korean rice varieties following dry heat treatments. *Seed Sci. Technol.* 30: 311–321.
- Li, C.N., Yang, L.T., Srivastava, M.K. and Li, Y.R. 2014. Foliar application of abscisic acid improves drought tolerance of sugarcane plant under severe water stress. *Int. J. Agric. Innov. Res.* 3: 101–107.
- Li, X., Qian, Q., Fu, Z., Wang, Y., Xiong, G., Zeng, D., Wang, X., Liu, X., Teng, S., Hiroshi, F. and Yuan, M. 2003. Control of tillering in rice. *Nature.* 422: 618–621.
- Lian, H.L., Yu, X., Ye, Q., Ding, X.S., Kitagawa, Y., Kwak, S.S., Su, W.A. and Tang, Z.C. 2004. The role of aquaporin RWC3 in drought avoidance in rice. *Plant Cell Physiol.* 45: 481–489.
- Liu W, Xu ZH, Luo D, Xue HW (2003) Roles of OsCKI1, a rice casein kinase I, in root development and plant hormone sensitivity. *Plant J.* 36: 189–202.
- Lo, S.F., Yang, S.Y., Chen, K.T., Hsing, Y.I., Zeevaart, J.A.D., Chen, L.J. and Yu, S.M. 2008. A novel class of gibberellin 2-oxidases control semi dwarfism, tillering, and root development in rice. *Plant Cell.* 20: 2603–2618.
- Lopez-Dee, Z.P., Wittich, P., Pe, M.E., Rigola, D., Buono, I.D., Gorla, M.S., Kater, M.M. and Colombo, L. 1999. OsMADS13, a novel rice MADS-box gene expressed during ovule development. *Dev. Genet.* 25: 237–244.
- Luo, L., Zhou, W.Q., Liu, P., Li, C.X. and Hou, S.W. 2012. The development of stomata and other epidermal cells on the rice leaves. *Biol Plant.* 56: 521–527.
- Maeda, E. 1961. Studies on the mechanism of leaf formation in crop plants. II Anatomy of the lamina joint in rice plant. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan.* 29: 234–239.
- Maekawa, M. 1988. A new allele at the lg locus expressing short ligules. *Rice Genet Newsl.* 5: 87–89.

- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of plants, 2 edn. Academic Press, San Diego.
- Mathew, J., Mohanasarida, K. and Resmi, O.N. 2004. Addressing water scarcity in dry seeded lowland rice, New directions for a diverse planet: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Crop Science Congress Brisbane, Australia, 26 Sep–1 Oct 2004.
- McDonald, M.B. 2000. Seed priming. In: Black M., Bewley J.D., (Eds.), Seed Technology and Its Biological Basis. Sheffield Acad. Press, Sheffield, England.
- Menegus, F., Cattaruzza, L., Mattana, M., Beffagna, N. and Ragg, E. 1991. Response to anoxia in rice and wheat seedlings: changes in the pH of intracellular compartments, glucose-6-phosphate level, and metabolic rate. *Plant Physiol.* 95: 760–767.
- Mickelbart, M.V., Peel, G., Joly, R.J., Rodes, D. and Ejeta G. 2003. Development and Characterization of near-isogenic lines of sorghum segregating for glycinebetaine accumulation. *Physiol. Plant* 118: 253–261.
- Misro, B. 1981. Linkage studies in rice (*Oryza sativa* L.). 10. Identification of linkage groups in indica rice. *Oryza* Cuttack. 18: 185–195.
- Mittal, R. and Dubey, R.S. 1991. Behaviour of peroxidases in rice: changes in enzyme activity and isoforms in relation to salt tolerance. *Plant Physiol Biochem.* 29: 31–40.
- Miyoshi, K. and Sato, T. 1997a. The effects of kinetin and gibberellin on the germination of dehusked seeds of indica and japonica rice (*Oryza sativa* L.) under anaerobic and aerobic conditions. *Ann. Bot.* 80: 479–483.
- Miyoshi, K. and Sato, T. 1997b. The effects of ethanol on the germination of seeds of Japonica and Indica rice (*Oryza sativa* L.) under anaerobic and aerobic conditions. *Ann. Bot.* 79: 391–395.
- Miyoshi, K., Kagaya, Y., Ogawa, Y., Nagato, Y. and Hattori, T. 2002. Temporal and spatial expression pattern of the OSVP1 and OSEM genes during seed development in rice. *Plant Cell Physiol.* 43: 307–313.
- Miyoshi, K., Nakata, E. and Nagato, Y. 2000. Characterization of viviparous mutants in rice. *Breed. Sci.* 50: 207–213.
- Miyoshi, K., Nakata, E., Nagato, Y. and Hattori, T. 1999. Differential in situ expression of three ABA-responsive genes of rice, Rab16A, REG2 and OSBZ8 during seed development. *Plant Cell Physiol.* 40: 443–447.
- Mohanasarida, K. and Mathew, J. 2005. Effect of seed hardening on growth and yield attributes and yield of semi-dry rice. *Res. Crops* 6: 26–28.
- Mok, M. 1994. Cytokinins and plant development—an overview. In: Mok D, Mok M (eds) Cytokinins—chemistry, activity, and function. CRC Press, Boca Raton, pp. 155–166.
- Mostajeran, A. and Rahimi-Eichi, V. 2009. Effects of drought stress on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars and accumulation of proline and soluble sugars in sheath and blades of their different ages leaves. *Am. Eur. J. Agric. Environ. Sci.* 5: 264–272.

- Murata, Y. and Matsushima, S. 1975. Rice. In: Evans LT (ed) Crop physiology. Cambridge University Press, London, pp. 73–99.
- Musa, A.M., Johansen, C., Kumar, J. and Harris, D. 1999. Response of chickpea to seed priming in the high barid tract of Bangladesh, Inter. Chickpea Newslett. 6: 20–22.
- Myers, A.M., Morell, M.K., James, M.G. and Ball, S.G. 2000. Recent progress toward understanding biosynthesis of the amylopectin crystal. Plant Physiol. 122: 989–998.
- Nagao, S. and Takahashi, M. 1963. Trial construction of twelve linkage groups in Japanese rice. Genetical studies on rice plant, XXVII. J. Fac. Agr. Hokkaido. Univ. 53: 72–130.
- Nagasawa, N., Miyoshi, M., Sano, Y., Satoh, H., Hirano, H., Sakai, H. and Nagato, Y. 2003. SUPERWOMAN1 and DROOPING LEAF genes control floral organ identity in rice. Development. 130: 705–718.
- Naidu, B.P. and Williams, R. 2004. Seed treatment and foliar application of osmoprotectants to increase crop establishment and cold tolerance at flowering in rice. Report for the Rural Industries Research and Development Corporation. RIRDC Publication No, 04/004.
- Nakagawa, A. and Yamaguchi, T. 1989. Seed treatments for control of seed-borne *Fusarium roseum* on wheat. Jpn. Apric. Res. Quater. 23: 94–99.
- Nakamura, A., Umemura, I., Gomi, K., Hasegawa, Y., Kitano, H., Sazuka, T. and Matsuoka, M. 2006. Production and characterization of auxin-insensitive rice by overexpression of a mutagenized rice IAA protein. Plant J. 46: 297–306.
- Narciso, J. and Hossain M. 2002. World Rice Statistics. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Naredo M.E.B., Juliano A.B., Lu B.R., De Guzman F., Jackson M.T. (1998) Responses to seed dormancy-breaking treatments in rice species (*Oryza sativa* L.). Seed Sci. Technol. 26: 675–689.
- Naredo, M.E.B., Juliano, A.B., Lu, B.R., De-Guzman, F. and Jackson, M.T. 1998. Responses to seed dormancy-breaking treatments in rice species (*Oryza sativa* L.), Seed Sci. Technol. 26: 675–689.
- Nawaz, A., Farooq, M., Ahmad, R., Basra, S.M.A. and Lal, R. 2017. Seed priming improves stand establishment and productivity of no till wheat grown after direct seeded aerobic and transplanted flooded rice. European Journal of Agronomy. 76: 130–137.
- Nishimura, E.K., Jordan, S.A., Oshima, H., Yoshida, H., Osawa, M., Moriyama, M., Jackson, I.J., Barrandon, Y., Miyachi, Y. and Nishikawa, S.I. 2002. Dominant role of the niche in melanocyte stem-cell fate determination. Nature. 416: 854–860.
- Nonomura, K.I., Miyoshi, K., Eiguchi, M., Suzuki, T., Miyao, A., Hirochika, H. and Kurata, N. 2003. The MSP1 gene is necessary to restrict the number of cells entering into male and female sporogenesis and to initiate anther wall formation in rice. Plant Cell. 15: 1728–1739.

Nonomura, K.I., Nakano, M., Fukuda, T., Eiguchi, M., Miyao, A., Hirochika, H. and Kurata, N. 2004a. The novel gene HOMOLOGOUS PAIRING ABERRATION IN RICE MEIOSIS1 of rice encodes a putative coiled-coil protein required for homologous chromosome pairing in meiosis. *Plant Cell*. 16: 1008–1020.

Nonomura, K.I., Nakano, M., Murata, K., Miyoshi, K., Eiguchi, M., Miyao, A., Hirochika, H. and Kurata, N. 2004b. An insertional mutation in the rice PAIR2 gene, the ortholog of Arabidopsis ASY1, results in a defect in homologous chromosome pairing during meiosis. *Mol. Genet. Genomics*. 271: 121–129.

Obara, M., Ikeda, K., Itoh, J.I. and Nagato, Y. 2004. Characterization of leaf lateral symmetry 1 mutant. *Breed. Sci.* 54: 157–163.

Ota, Y. and Nakayama, M. 1970. Effects of seed coating with calcium peroxide on germination under submerged conditions in rice plant. *Proc. Crop Soc. Jpn.* 39: 535–536.

Palada, M. and Vergara, B.S. 1972. Environmental effect on the resistance of rice seedlings to complete submergence. *Crop Sci.* 12: 209–212.

Pandey, V. and Shukla, A. 2015. Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. *Rice Sci.* 22: 147–161.

Papademetriou, M.K. 2000. Rice production in the Asia-pacific region: issues and perspectives. In: Papademetriou MK, Dent FG, Herath EM (eds) Bridging the rice yield gap in the Asia-pacific region. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional office for Asia and the Pacific Bangkok, Bangkok.

Park, J.K., Kim, S.S. and Kim, K.O. 2001. Effect of milling ratio on sensory properties of cooked rice and on physicochemical properties of milled and cooked rice. *Cereal Chemistry*. 78: 151–156.

Paul, S. and 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.

Pedersen, O., Rich, S.M. and Colmer, T.D. 2009. Surviving floods: leaf gas films improve O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> exchange root aeration, and growth of completely submerged rice. *Plant J.* 5: 147–156.

Pedrini, S., Merritt, D.J., Stevens, J. and Dixon, K. 2017. Seed Coating: Science or Marketing Spin? *Trends in Plant Scie.* 22(2): 106–116.

Pen-Aloza, A.P.S. and Eira M.T.S. 1993. Hydration- dehydration treatments on tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* Mill), *Seed Sci. Technol.* 21: 309–316.

Penfield, S., Josse, E.M., Kannangara, R., Gilday, A.D., Halliday, K.J. and Graham, I.A. 2005. Cold and light control seed germination through the bHLH transcription factor SPATULA. *Curr. Biol.* 15: 1998–2006.

Perata, P., Guglielminetti, L. and Alpi, A. 1997. Mobilization of endosperm reserves in cereal seeds under anoxia. *Ann. Bot.* 79: 49–56.

Perl, M. and Feder Z. 1981. Improved seedling development of pepper seeds (*Capsicum annuum*) by seed treatment for pre-germination activities. *Seed Sci. Technol.* 9: 655–663.

- Pessarakli, M. 2011. Hand book of Plant and Crop Stress, 3<sup>rd</sup> edn. Published by Taylor & Francis Group.
- Petrásek, J. and Friml, J. 2009. Auxin transport routes in plant development. *Development*. 136: 2675–2688.
- Pill, W.G. and Necker, A.D. 2001. The effects of seed treatments on germination and establishment of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Seed Sci. Technol.* 29: 65–72.
- Pongprayoon, W., Chaum S., Pichakum, A. and Kirdmanee, C. 2008. Proline profiles in aromatic rice cultivars photoautotrophically grown in response to salt stress. *Int. J. Bot.* 4: 276–282.
- Ponnamperuma, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.* 24: 29–96.
- Prakash, L. and Prathapasenan, G. 1988. Putrescine reduces NaCl-induced inhibition of germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). *Aust. J. Plant Physiol.* 15: 761–767.
- Prasad, P.V.V., Boote, K.J., Allen, L.H., Sheehy, J.E. and Thomas, J.M.G. 2006. Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. *Field Crop Res.* 95: 398–411.
- Prasad, K., Saradhi, P.P. and Sharmila, O. 1999. Concerted action of antioxidant enzymes and curtailed growth under zinc toxicity in *Brassica juncea*. *Env. Exp. Bot.* 42(1): 1–10.
- Rabello, A.R., Guimarães, C.M., Rangel, P.H.N., Silva, F.R.D., Seixas, D., Souza, E.D., Brasileiro, A.C., Spehar, C.R., Ferreira, M.E. and Mehta, A. 2008. Identification of drought-responsive genes in roots of upland rice (*Oryza sativa* L.). *Genomics*. 9: 485–493.
- Raghavan, V. 1988. Anther and pollen development in rice (*Oryza sativa* L.). *Am. J. Bot.* 75: 183–196.
- Ranathunge, K., Steudle, E. and Lafitte, R. 2003. Control of water uptake by rice (*Oryza sativa* L.): role of the outer part of the root. *Planta* 5: 193–205.
- Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43: 439–463.
- Raskin, I. and Kende, H. 1983. How does deep water rice solve its aeration problem. *Plant Physiol.* 5: 447–454.
- Rehman, H.U., Kamran, M., Basra, S.M.B., Afzal, I. and Farooq, M. 2015. Influence of seed priming on performance and water productivity of direct seeded rice in alternating wetting and drying. *Rice Sci.* 22(4): 189–196.
- Ren, Z.H., Gao, J.P., Li, L.G., Cai, X.L., Huang, W., Chao, D.Y., Zhu, M.Z., Wang, Z.Y., Luan, S. and Lin, H. X. 2005. A rice quantitative trait locus for salt tolerance encodes a sodium transporter. *Nat. Genet.* 37: 1141–1146.
- Ricard, B., Couee, I., Raymond, P., Saglio, P.H., Saint-Ges, V. and Pradet, A. 1994. Plant metabolism under hypoxia and anoxia. *Plant Physiol. Biochem.* 32: 1–10.

Rivoal, J., Ricard, B., Pradet, A. 1989. Glycolytic and fermentative enzyme induction during anaerobiosis in rice seedlings. *Plant Physiol. Biochem.* 27: 43–52.

Ross, C., Bell, R.W. and White, P.F. 2000. Phosphorus seed coating and soaking for improving seedling growth of *Oryza sativa* (rice) cv. IR66. *Seed Sci. Technol.* 28: 391–401.

Roychoudury, A., Basu, S., Sarkar, S.N. and Sengupta, S.N. 2008. Comparative physiological and molecular responses of common aromatic indica rice cultivar to high salinity with non-aromatic indica rice cultivars. *Plant Cell Rep.* 27: 1395–1410.

Ruan, S., Xue, Q. and Tylkowska, K. 2002a. Effects of seed priming on germination and health of rice (*Oryza sativa* L.) seeds. *Seed Sci. Technol.* 30: 451–458.

Ruan, S., Xue, Q., Tylkowska, K. 2002b. The influence of priming on germination of rice (*Oryza sativa* L.) seeds and seedling emergence and performance in flooded soils. *Seed Sci. Technol.* 30: 61–67.

Ruan, S.L., Zhong, X.Q., Hua, W.Q., Ruan, S.L., Xue, Q.Z. and Wang, Q.H. 2003. Physiological effects of seed priming on salt-tolerance of seedlings in hybrid rice (*Oryza sativa* L.). *Sci. Agric. Sin.* 36: 463–468.

Rzewuski, G. and Sauter, M. 2008. Ethylene biosynthesis and signaling in rice. *Plant Sci.* 175: 32–42.

Sakamoto, T., Sakakibara, H., Kojima, M., Yamamoto, Y., Nagasaki, H., Inukai, Y., Sato, Y. and Matsuoka, M. 2006. Ectopic expression of KNOTTED1-like homeobox protein induces expression of cytokinin biosynthesis genes in rice. *Plant Physiol.* 142: 54–62.

Sarma, S., Dey, S.C., Choudhuri, A.K. 1993. Influence of seed priming and antitranspirant on physiological parameters in rice (*Oryza sativa* L.). *Neo Bot.* 1: 1–2.

Sasaki, K., Kishitani, S., Abe, F. and Sato T. 2005. 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.

Satina, S., Blakeslee, A.F. and Avery, A.G. 1940. Demonstration of the three germ layers in the shoot apex of *Datura* by the means of induced polyploidy in periclinal chimeras. *Am. J. Bot.* 27: 895–905.

Sato, Y., Hong, S.K., Tagiri, A., Kitano, H., Yamamoto, N., Nagato, Y. and Matsuoka, M. 1996. A rice homeobox gene, OSH1, is expressed before organ differentiation in a specific region during early embryogenesis. *Proc. Natl. Acad. Sci USA.* 93: 8117–8122.

Satoh, N., Hong, S.K., Nishimura, A., Matsuoka, M., Kitano, H. and Nagato, Y. 1999. Initiation of shoot apical meristem in rice: characterization of four SHOOTLESS genes. *Development.* 126: 3629–3636.

Scafaro, A.P., Haynes, P.A. and Atwell, B.J. 2010. Physiological and molecular changes in *Oryza meridionalis* Ng a heat-tolerant species of wild rice. J. Exp. Bot. 61: 191–202.

Scott, R.J., Spielman, M. and Dickinson, H.G. 2004. Stamen Structure and Function. Plant Cell. 16: S46–S60.

Selote, D.S. and Khanna-Chopra, R. 2004. Drought-induced spikelet sterility is associated with an inefficient antioxidant defence in rice panicles. Physiol. Plant. 121: 462–471.

Setter, T.L., Ellis, M., Laureles, V., Ella, E.S., Senadhira, D., Mishra, S.B., Sarkarung, S. and Datta, S. 1997. Physiology and genetics of submergence tolerance in rice. Ann Bot. 79: 67–77.

Setter, T.L., Waters, I., Wallace, I., Bhekasut, P. and Greenway, H. 1989. Submergence of rice. I. Growth and photosynthetic response to CO<sub>2</sub> enrichment of floodwater. Aust. J. Plant Physiol. 16: 251–263.

Shannon, J.C., Pien, F.M., Cao, H. and Liu, K.C. 1998. Brittle-1, an adenylate translocator, facilitates transfer of extraplastidial synthesized ADP-glucose into amyloplasts of maize endosperms. Plant Physiol. 117: 1235–1252.

Sharma, A.D., Rathore, S.V.S., Srinivasan, K. and Tyagi, R.K. 2014. Comparison of various seed priming methods for seed germination, seedling vigour and fruit yield in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). Sci. Horti. 165: 75-81.

Sharma, P. and Dubey, R.S. 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Regul. 46: 209–22.

Shehab, G.G., Ahmed, O.K. and El-Beltagi, H.S. 2010. Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). Not. Bot. Horti. Agr. Cluj-Napoca. 38: 139–148.

Shi, P., Tang, L., Wang, L., Sun, T., Liu, L., Cao, W. and Zhu, Y. 2015. Post-heading heat stress in rice of south china during 1981-2010. PLoS One. 10: e0130642.

Singer, M. and Berg, P. 1991. Genes and genomes. A changing perspective. Blackwell Scientific Publications, Oxford/London University Science Books.

Song, W.J., Hu, J., Qiu, J., Geng, H.Y. and Wang R.M. 2005. Primary study on the development of special seed coating agents and their application in rice (*Oryza sativa* L.) cultivated by direct seeding. J. Zhejiang Uni. (Agric. Life Sci.) 31: 368–373.

Soon, K.J., Whan, C.Y., Gu, S.B., Kil, A.C. and Lai C.J. 2000. Effect of hydropriming to enhance the germination of gourd seeds. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41: 559–564.

Srivastava, L.M. 2002. Plant Growth and Development: Hormones and Environment. Academic Press, London.

Steffens, B., Geske, T. and Sauter, M. 2011. Aerenchyma formation in the rice stem and its promotion by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. New Phytol. 190: 369–378.

Szalai, G., Tari, I., Janda, T., Pestenacz, A. and P'aldi E. 2000. Effects of cold acclimation and salicylic acid on changes in ACC andMACC contents in maize during chilling. *Biol. Plant.* 43: 637–640.

Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*, 4th ed. Sinaur Associates Inc. Massachusetts. Taylor A.G., Allen P.S., Bennett M.A., Bradford J.K., Burris J.S., Misra M.K. 1998. Seed enhancements. *Seed Sci. Res.* 8: 245–256.

Takahashi, M., Nagasawa, N., Kitano, H. and Nagato, Y. 1998. Panicle phytomer 1 mutations affect the panicle architecture of rice. *Theor. Appl. Genet.* 96: 1050–1056.

Taylorson, R.B. and Hendricks S.B. 1979. Overcoming dormancy in seeds with ethanol and other anesthetics, *Planta* 145, 507–510.

Thornton, J.M. and Powell, A.A. 1992. Short-term aerated hydration for the improvement of seed quality in *Brassica oleracea*. *Seed Sci. Res.* 2: 41–49.

Tsuchiya, T., Toriyama, K., Ejiri, S. and Hinata, K. 1994. Molecular characterization of rice genes specifically expressed in the anther tapetum. *Plant Mol. Biol.* 26: 1737–1746.

Venuprasad, R., Impa, S.M., Vowda-Gowda, R.P., Atlin, G.N. and Serraj, R. 2011. Rice near-isogenic-lines (NILs) contrasting for grain yield under lowland drought stress. *Field Crop Res.* 123: 38–46.

Vieira, A.R., Vieira, M.G., Fraga, A.C., Oliveira, J.A., Santos, C.D., Vieira, G.G. and Santos C.D. 2002. Action of gibberellic acid (GA3) on dormancy and activity of alpha-amylase in rice seeds. *Rev. Bras. Sementes* 24: 43–48.

Wahid, A., Sehar, S., Perveen, M., Gelani, S., Basra, S.M.A. and Farooq, M. 2008. Seed pretreatment with hydrogen peroxide improves heat tolerance in maize at germination and seedling growth stages. *Seed Sci. Technol.* 36: 663–645.

Wang, H., Zhang, L., Ma, J., Li, X., Li, Y., Zhang, R. and Wang, R. 2010. Effect of water stress on reactive oxygen species generation and protection system in rice during grain-filling stage. *Agric. Sci. China.* 9: 633–641.

Wang, Y. and Li, J. 2006. Genes controlling plant architecture. *Curr. Opin. Biotechnol.* 17: 123–129.

Waters, I., Morrell, S., Greenway, H. and Colmer, T.D. 1991. Effects of anoxia on wheat seedlings. II. Influence of O<sub>2</sub> supply prior to anoxia on tolerance to anoxia, alcoholic fermentation, and sugar levels. *J. Exp. Bot.* 42: 1437–1447.

Watson, M.B. and Malmberg, R.L. 1998. Arginine decarboxylase (polyamine synthesis) mutants of *Arabidopsis thaliana* exhibit altered root growth. *Plant J.* 13: 231–239.

Welbaum, G.E., Shen, Z., Oluoch, M.O. and Jett L.W. 1998. The evolution and effects of priming vegetable seeds. *Seed Technol.* 20: 209–235.

Wiengweera, A., Greenway, H. and Thomson, C. 1997. The use of agar nutrient solution to simulate lack of convection in waterlogged soils. *Ann. Bot.* 5: 115–123.

Wu, Y., Wang, Q., Ma, Y. and Chu, C. 2005. Isolation and expression analysis of salt up-regulated ESTs in upland rice using PCR-based subtractive suppression hybridization method. *Plant Sci.* 168: 847–853.

Xia, K., Wang, R., Ou, X., Fang, Z., Tian, C., Duan, J., Wang, Y. and Zhang, M. 2012. OsTIR1 and OsAFB2 downregulation via OsmiR393 overexpression leads to more tillers, early flowering and less tolerance to salt and drought in rice. *PLoS One.* 7: e30039.

Xu, K., Xu, X., Fukao, T., Canlas, P., Maghirang-Rodriguez, R., Heuer, S., Ismail, A.M., Bailey-Serres, J., Ronald, P.C. and Mackill, D.J. 2006. Sub1A is an ethylene-response-factor-like gene that confers submergence tolerance to rice. *Nature.* 442: 705–708.

Xu, K.N. and Mackill, D.J. 1996. A major locus for submergence tolerance mapped on rice chromosome 9. *Mol. Breed.* 2: 219–224.

Xu, M., Zhu, L., Shou, H. and Wu, P. 2005. A PIN1 family gene, OsPIN1, involved in auxin-dependent adventitious root emergence and tillering in rice. *Plant Cell Physiol.* 46: 1674–1681.

Yamaguchi, T., Nagasawa, N., Kawasaki, S., Matsuoka, M., Nagato, Y. and Hirano, H.Y. 2004. The YABBY gene DROOPING LEAF regulates carpel specification and midrib development in *Oryza sativa*. *Plant Cell.* 16: 500–509.

Yamauchi, M. 2002. Reducing floating rice seedlings in wet direct sowing by increasing specific gravity of seeds with iron powder coating. *Jpn. J. Crop Sci.* 71: 150–151.

Yamauchi, T., Rajhi, I. and Nakazono, M. 2011. Lysigenous aerenchyma formation in maize root is confined to cortical cells by regulation of genes related to generation and scavenging of reactive oxygen species. *Plant Signal Behav.* 5: 759–761.

Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Zhu, Q. and Wang, W. 2001. Remobilization of carbon reserves in response to water deficit during grain filling of rice. *Field Crop Res.* 71: 47–55.

Yang, P., Li, X., Wang, X., Chen, H., Chen, F. and Shen, S. 2007. Proteomic analysis of rice (*Oryza sativa*) seeds during germination. *Proteomics.* 7: 3358–3368.

Ye, C., Argayoso, M.A., Redoña, E.D., Sierra, S.N., Laza, M.A., Dilla, C.J., Mo, Y., Thomson, M.J., Chin, J., Delaviña, C.B., Diaz, G.Q. and Hernandez, J.E. 2012. Mapping QTL for heat tolerance at flowering stage in rice using SNP markers. *Plant Breed.* 131: 33–41.

Yong, M.L., Deng, Q.D., Fan, L.L., Miao, J.K., Lai, C.H., Chen, H.M., Yang, X.J., Wang, S., Chen, F.R. and Jin, L. 2018. The role of *Ustilaginoidea virens* sclerotia in increasing incidence of rice false smut disease in the subtropical zone in China. *Eur J Plant Pathol.* 150(3): 669–677.

Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute Manila, Los Baños.

Yoshida, S. and Hara, T. 1977. Effects of air temperature and light on grain filling of an indica and a japonica rice (*Oryza sativa* L.) under controlled environmental conditions. *Soil Sci Plant Nutr.* 23: 93–107.

Zazimalová, E., Murphy, A.S., Yang, H., Hoyerová, K. and Hosek, P. 2010. Auxin transporters – why so many? *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.* 2: 15-52.

Zeng, L. and Shannon, M.C. 2000. Salinity effects on seedling growth and yield components of rice. *Crop Sci.* 40: 996–1003.

Zhang, J., Liu, D., Huang, Y. and Liu, X. 2005. Effects of seed soaking with La3+ on seed germination and seedling growth of rice. *Chin. J. Ecol.* 24: 893–896.

Zhang, S., Hu, J.; Liu, N. and Zhu, Z. 2006. Pre-sowing seed hydration treatment enhances the cold tolerance of direct-sown rice. *Seed Sci. Technol.* 34: 593–601.

Zhang, S.W., Li, CH., Cao, J., Zhang, Y.C., Zhang, S.Q., Xia, Y.F., Sun, D.Y. and Sun, Y. 2009. Altered architecture and enhanced drought tolerance in rice via the down-regulation of indole-3-acetic acid by TLD1/OsGH3.13 activation. *Plant Physiol.* 151: 1889–1901.

Zhang, X.G. 1990. Physiochemical treatments to break dormancy in rice. *Int. Rice Res. Newslett.* 15: 22.

Zhang, Y., Zhang, K., Fang, A.F., Han, Y.Q., Yang, J., Xue, M.F., Bao, J.D., Hu, D.W., Zhou, B., Sun, X.Y., Li, S.J., Wen, M., Yao, N., Ma, L.J., Liu, Y.F., Zhang, M., Huang, F., Luo, C.X., Zhou, L.G., Li, J.Q., Chen, Z.Y., Miao, J.K., Wang, S., Lai, J.S., Xu, J.R., Hsiang, T., Peng, Y.L. and Sun, W.Y. 2014. Specific adaptation of *Ustilaginoidea virens* in occupying host florets revealed by comparative and functional genomics. *Nat Commun.* 5: 3849.

Zhou, B.Y., Ding, Z.S. and Zhao, M. 2011. Alleviation of drought stress inhibition on photosynthesis by overexpression of PEPC in rice. *Acta. Agron. Sin.* 37: 112–118.

Zhou, L., Xu, H., Mischke, S., Meinhardt, L.W., Zhang, D.P., Zhu, X.J., Li, X.H. and Fang, W.P. 2014. Exogenous abscisic acid significantly affects proteome in tea plant (*Camellia sinensis*) exposed to drought stress. *Hortic. Res.* 1: 1–19.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. Composition and functional properties of rice. *International Journal of Food Science and Technolog.* 37: 849–868.

Zhu, Q.H., Ramm, K., Shivakkumar, R., Dennis, E.S. and Upadhyaya, N.M. 2004. The ANOTHER INDEHISCENCE1 gene encoding a single MYB domain protein is involved in another development in rice. *Plant Physiol.* 135: 1514–1525.