

Research Article

Enhancing germination of deteriorated triticale (*x Triticosecale*) seeds with hormone primingGilla Nazari ¹, Mohammad Sedghi ^{2,*}, Raouf Seyed Sharifi ²**Extended abstract**

Introduction: Germination and seedling growth are one of the most important stages of plant growth, which determine the degree of success of agricultural systems in production. Seed deterioration due to storage conditions is a challenge that results in diminished germinability poor seedling establishment, the loss of seed vigor, and finally seed mortality. Thus, it is necessary to use methods to increase seed germinability and enhance seedling establishment. The use of plant hormones is one of the methods that can increase seed germinability and optimal plant growth under seed deterioration conditions. Seed priming with plant hormones is among simple and cheap methods to improve seed germination, accelerate seedling growth and establishment, germination uniformity, and production of vigorous seedlings. The purpose of this experiment is to determine the most effective pretreatments of growth hormones to improve the germination and seedling establishment characteristics of deteriorated triticale seeds.

Materials and Methods: To examine the effect of priming on germination indices and some biochemical traits of deteriorated triticale seeds, a factorial experiment was performed in a completely randomized design with three replications at the Laboratory of Seed Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili in 2023. Treatments included seed deterioration (5%, 15%, and 25%) and priming (no prime, distilled water, cytokinin, spermidine, salicylic acid, and auxin).

Results: The results showed that seed deterioration reduced the germination percentage. Priming reduced the effect of seed deterioration and improved the germination percentage by 36.9%. As seed deterioration increased, radicle length, seedling length, vigor index, protein content, and protease activity decreased, whereas priming mitigated the effect of seed deterioration on these traits. At the lowest level of seed deterioration (25%), priming with auxin increased radicle length, plumule length, protease activity, and seedling length vigor index by 72.07, 62.06, 73.27, and 77.06, respectively, compared with no priming.

Conclusions: In general, it seems that triticale seed priming with auxin can invigorate deteriorated seeds and increase germination and seedling production uniformity.

Keywords: *Auxin, Cytokinin, Protein, Seed vigor, Seed aging, Spermidine*

Highlights:

1. Auxin pretreatment had the greatest effect on improving the quality and germination characteristics of deteriorated triticale seeds.
2. Effects of using growth regulators pretreatment were investigated in deteriorated triticale seeds.

¹ Ph.D. student of Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran.

² Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran.

*Corresponding author, E-mail: m_sedghi@uma.ac.ir

Received: 6.3.2024; Revised: 12.8.2024;
Accepted: 20.9.2024; Online Published: 21.9.2024

DOI: [10.61186/yujrs.11.1.203](https://doi.org/10.61186/yujrs.11.1.203)



CrossMark

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مقاله پژوهشی

تقویت جوانه‌زنی بذرهای فرسوده تریتیکاله (*x Triticosecale*) با پیش تیمار هورمونیژیلا نظری^۱، محمد صدقی^{۲*}، رئوف سیدشریفی^۲

چکیده مبسوط

مقدمه: مرحله جوانه‌زنی و رویشی گیاهچه از مهم‌ترین مراحل رشدی گیاه است که تعیین کننده درجه موفقیت سامانه‌های زراعی در تولید است. فرسودگی ناشی از شرایط انبارداری بذر را چالشی است که موجب کاهش جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه ضعیف، از دست رفتن بنیه بذر و در نهایت مرگ بذر می‌گردد. به همین دلیل به‌کارگیری روش‌هایی برای افزایش توانایی جوانه‌زنی و افزایش بنیه بذر و بهبود استقرار گیاهچه‌ها امری ضروری است. استفاده از هورمون‌های گیاهی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند توانایی جوانه‌زنی بذر و رشد بهینه گیاه را در شرایط فرسودگی بذر افزایش دهد. پرایمینگ بذر با هورمون‌های گیاهی از جمله روش‌های بسیار ساده و ارزان جهت بهبود جوانه‌زنی بذر، تسریع رشد و استقرار گیاهچه، یکنواختی جوانه‌زنی و تولید گیاهچه قوی است. هدف از این آزمایش تعیین اثرگذارترین پیش تیمارهای هورمون‌های رشدی جهت بهتر شدن خصوصیات جوانه‌زنی بذرهای فرسوده تریتیکاله و استقرار گیاهچه‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی اثر پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی و برخی صفات بیوشیمیایی بذرهای فرسوده تریتیکاله، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. تیمارها شامل میزان فرسودگی (۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪) و انواع پرایمینگ (بدون پرایم، آب مقطر، سیتوکینین، اسپرمیدین، اسید سالیسیلیک و اکسین) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که فرسودگی درصد جوانه‌زنی را کاهش داد. پرایمینگ سبب کاهش تأثیر فرسودگی و بهبود درصد جوانه‌زنی به مقدار ۳۶/۹ درصد گردید. با افزایش فرسودگی طول ریشه‌چه، شاخص بنیه طولی گیاهچه، میزان پروتئین و فعالیت پروتئاز کاهش یافت، در حالی که پرایمینگ موجب کاهش اثر فرسودگی بر روی این صفات شد. در پایین‌ترین سطح بنیه بذر (۲۵ درصد) پرایمینگ با اکسین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، فعالیت پروتئاز و شاخص بنیه طولی گیاهچه را به ترتیب ۷۲/۰۷، ۶۲/۰۶، ۷۳/۲۷ و ۷۷/۰۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که پرایمینگ بذر تریتیکاله با هورمون رشد اکسین، می‌تواند موجب تقویت بذرهای فرسوده و افزایش جوانه‌زنی و یکنواختی تولید گیاهچه تریتیکاله گردد.

واژه‌های کلیدی: اکسین، اسپرمیدین، سیتوکینین، بنیه بذر، پروتئین، پیری بذر

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- پیش تیمار اکسین بیش‌ترین تأثیر را بر بهبود کیفیت و خصوصیات جوانه‌زنی بذر فرسوده تریتیکاله داشت.
- ۲- اثرات استفاده از پیش تیمار تنظیم کننده‌های رشد در بذرهای فرسوده تریتیکاله مورد بررسی قرار گرفت.



مقدمه

غلات یکی از اجزای اصلی رژیم غذایی انسان هستند و نقش مهمی در شکل‌گیری تمدن بشری ایفا کرده‌اند (یانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). تریتیکاله (*Triticum secale* Wittmack) غله دانه‌ریزی است که توسط انسان از تلاقی گندم به‌عنوان والد مادری و چاودار به‌عنوان والد پدری به وجود آمده است تا ویژگی‌های عملکرد و کیفیت دانه از گندم و مقاومت به بیماری‌ها و تنش‌های محیطی از چاودار، در یک گیاه ظهور پیدا کند (بیزابی^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). طبق آخرین آمار در سال ۲۰۲۰، مساحت زیر کشت تریتیکاله حدود ۳/۸ میلیون هکتار و تولید آن حدود ۱۵/۴ میلیون تن با میانگین عملکرد حدود ۴ تن در هکتار گزارش شده است (فائو^۳، ۲۰۲۲).

با توجه به فرآیندهای فیزیولوژیکی رشد گیاهان، جوانه‌زنی، از مهم‌ترین و حساس‌ترین مراحل چرخه زندگی گیاهان است که به‌عنوان اولین مرحله‌ی نمو، تأثیر قابل توجهی بر رشد و توسعه گیاهان دارد (بلوچی^۴ و همکاران، ۲۰۲۳؛ اوسویرک^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). واضح است که جوانه‌زنی مطلوب و در پی آن استقرار مناسب در مزرعه می‌تواند راه را برای تولید محصولی قابل قبول از نظر کمی و کیفی هموار سازد (سینگ^۶ و همکاران، ۲۰۲۰). بذر مهم‌ترین نهاده بخش کشاورزی است و معمولاً بذره‌های اغلب گیاهان زراعی پس از برداشت به مدت چندین ماه و یا چندین سال در انبار ذخیره و نگهداری می‌شوند. فرسودگی بذر مساله مهمی در ذخیره بذرها محسوب می‌شود که در نتیجه موجب افزایش هزینه‌های تولید محصولات کشاورزی می‌شود. در بعضی کشورها و نواحی جغرافیایی که بذرها در طول دوره رسیدگی و انبارداری با دما و رطوبت نسبی بالا مواجه هستند، فرسودگی به مراتب بیشتر است (کیم^۷، ۲۰۱۸). نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که فرسودگی باعث کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه، ضریب آلومتری، شاخص‌های بنیه گیاهچه،

فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدان بذر و افزایش حساسیت به تنش‌ها در گیاهان مختلف می‌شود (بهاروند^۸ و همکاران، ۲۰۱۷؛ دارابی^۹ و همکاران، ۲۰۱۷؛ گویندرج^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۷؛ کاپیلان^{۱۱}، ۲۰۱۵). همچنین فرسودگی بذر موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، ظهور گیاهچه‌های ضعیف، از دست دادن بنیه بذر و در نهایت، مرگ بذر می‌گردد (تیلبنی و گلیپایگانی^{۱۲}، ۲۰۱۱؛ پیری^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۷). آزمون پیری تسریع شده به‌عنوان یک آزمون مناسب جهت پیش‌بینی توان انبارمانی و همچنین، آزمونی برای برآورد بنیه بذر غلات شناخته شده است. فرسودگی بذر می‌تواند سبب کاهش قابلیت حیات و کاهش بنیه جوانه زنی بذر گردد (مک دونالد^{۱۴}، ۱۹۹۹؛ بیولی^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از دلایل افزایش فرسودگی بذر انواع اکسیژن فعال (ROS) است. ROS می‌تواند در تضعیف آندوسپرم در طول جوانه‌زنی از طریق شل شدن دیواره سلولی شرکت کند، اما تولید بیش از حد ROS می‌تواند منجر به تنش اکسیداتیو و آسیب سلولی شود که منجر به فرسودگی بذر، جلوگیری از جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه می‌شود (هان و الیس^{۱۶}، ۲۰۲۱). آقابرانی و مارالیان^{۱۷} (۲۰۱۲) گزارش دادند که درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه زنی، بنیه بذر، طول ساقه‌چه و طول ریشه‌چه گیاه افرا کیکم (*Acer cineracens* Boiss) با افزایش دوره فرسودگی، کاهش یافت. فرآیند فرسودگی بذر حتی در صورت نگهداری در ایده‌آل‌ترین شرایط غیر قابل اجتناب است و در نهایت، بذر توانایی جوانه‌زنی را از دست می‌دهد (عالیوند^{۱۸} و همکاران، ۲۰۱۲). انصاری و شریف‌زاده^{۱۹} (۲۰۱۲) در آزمایشی روی چاودار کوهی نشان دادند که با افزایش فرسودگی بذر، درصد گیاهچه‌های طبیعی و درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. شرایط محیطی گیاه مادری،

⁸ Baharvand

⁹ Darabi

¹⁰ Govindaraj

¹¹ Kapilan

¹² Tilebeni and Golpayegani

¹³ Piri

¹⁴ McDonald

¹⁵ Bewely

¹⁶ Han and Ellis

¹⁷ Aghabarati and Maralian

¹⁸ Alivand

¹⁹ Ansari and Sharifzadeh

¹ Yang

² Bezabih

³ FAO

⁴ Balouchi

⁵ Ocvirk

⁶ Singh

⁷ Kim

مرحله رسیدگی، اندازه و وزن بذر، خسارت مکانیکی و فرسودگی بذر از عوامل مؤثر بر بنیه بذر هستند (چاناک^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). هر چه بذرهای بنیه بالایی داشته باشند شرایط نامساعد را راحت‌تر پشت سر می‌گذارند (دی فیگوریو^۲ و همکاران، ۲۰۰۳). افزایش شدت فرسودگی، شاخص‌های رشد را کاهش می‌دهد (سعادت^۳ و همکاران، ۲۰۲۱؛ سعادت و صدقی^۴، ۲۰۲۱؛ سعادت و همکاران، ۲۰۲۰). فرسودگی باعث اختلال در یکپارچگی غشای سلول، نشت مواد از سلول، کاهش انرژی سوخت و ساز، تخریب DNA و RNA می‌شود که اثرات منفی روی بذر دارد (جیوتی و مالک^۵، ۲۰۱۳) و بروز این پدیده باعث کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و خصوصیات رشدی گیاهچه می‌شود (دارابی و همکاران، ۲۰۱۷؛ حاجی عباسی^۶ و همکاران، ۲۰۲۱؛ سانتوس^۷ و همکاران، ۲۰۲۱). بذرهای بر اساس این که نحوه تولید و نگهداری آن‌ها چگونه بوده باشد، دارای کیفیت و بنیه متفاوتی هستند و این شرایط می‌تواند به طور مستقیم بر طول ریشه‌چه و ساقه چه مؤثر باشد (فورسلا^۸ و همکاران، ۲۰۰۰). فرسودگی بذر در جو سبب کاهش وزن هزار دانه، درصد فیبر و پروتئین و عملکرد دانه می‌گردد (خشت زر و سیادت^۹، ۲۰۱۵). نتایج شیدائی^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که طی انبارداری طولانی مدت از کیفیت بذر کاسته می‌شود و به-تدریج فرسودگی اتفاق می‌افتد و بین فرسودگی بذر و میزان قندهای محلول و پروتئین بذر رابطه معکوسی وجود دارد و با افزایش فرسودگی بذر از میزان آن‌ها کاسته می‌شود.

پرایمینگ به عنوان تحریک یک حالت فیزیولوژیکی خاص تعریف می‌شود که به گیاهان اجازه می‌دهد در مقایسه با گیاهان بدون پرایمینگ، واکنش قوی‌تر و سریع‌تری در برابر تنش نشان دهند (بالمر^{۱۱} و همکاران،

۲۰۱۵) که مانند یک واکسن عمل می‌کند. پرایمینگ اغلب با پیش‌ تیمار کوتاه یا آماده‌سازی با ترکیبات مختلف (شیمیایی، زیستی) یا با تغییر عوامل فیزیکی برای یک دوره معین انجام می‌شود (فیلیپو^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۲؛ لوئندورف^{۱۳} و همکاران، ۲۰۲۰). تیمارهای پرایمینگ آنزیم‌های مختلفی مانند پروتئازها، دهیدروژنازها، هیدرولازها و آمیلازها را در بذر فعال می‌کند و این امر موجب ضعیف شدن آندوسپرم و تحرک مواد ذخیره می‌شود که در نهایت بنیه بذر را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، پروتئین‌های ترمیم‌کننده DNA، فاکتورهای رونویسی پاسخ‌دهنده به تنش و متابولیت‌هایی مانند پاد اکسیدان‌ها، اسمولیت‌ها و قندها افزایش می‌یابند که به ظهور فنوتیپ‌های مقاوم‌تر به تنش در گیاهچه کمک می‌کند (فاروق^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۹). هورمون‌های رشدی که اغلب برای پرایمینگ مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل اکسین‌ها، سیتوکنین، جبرلین‌ها، کینتین‌ها، پلی‌آمین‌ها، اتیلن، اسید سالیسیلیک و گاهی ویتامین ث (اسید آسکوربیک) است (دور و بافین^{۱۵}، ۱۹۹۵؛ آزادی^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۳). در آزمایشی روی ذرت گزارش شد که هیدروپرایمینگ موجب کم کردن زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و بالاترین شاخص جوانه‌زنی، شاخص بنیه و درصد جوانه‌زنی نهایی شد (مرادی دزولی^{۱۷} و همکاران، ۲۰۰۸). پرایمینگ بذر با افزایش محتوای کل پروتئین و افزایش سطوح فعالیت آنزیم‌ها با افزایش شدت تنفس و شکستن و انتقال مواد ذخیره‌ای همراه است (براجینی^{۱۸} و همکاران، ۲۰۰۰). فرسودگی با تخریب DNA، باعث اختلال در رونویسی و بیوسنتز ناقص برخی از آنزیم‌های ضروری جوانه‌زنی بذر می‌شود که این امر باعث کاهش شاخص بنیه بذر می‌شود (کاپور^{۱۹} و همکاران، ۲۰۱۱). شاخص بنیه بذر تابعی از درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه و وزن گیاهچه است، پس افزایش این صفات باعث افزایش شاخص‌های بنیه بذر خواهد شد. پرایمینگ با تسریع و

¹² Filippou¹³ Leuendorf¹⁴ Farooq¹⁵ Durr and Boffin¹⁶ Azadi¹⁷ Moradi Dezuli¹⁸ Braccini¹⁹ Kapoor¹ Canak² De Figueiredo³ Saadat⁴ Saadat and Sedghi⁵ Jyoti and Malik⁶ Hajiabbasi⁷ Santos⁸ Forcella⁹ Khesht zar and Seyed¹⁰ Sheidaei¹¹ Balmer

سلیسیوس در محلول‌های آب مقطر و هورمون خیسانده شدند (هورمون‌های مورد استفاده با غلظت ۱ میلی‌مولار بر اساس نتایج آزمون مقدماتی در نظر گرفته شدند. در آزمون مقدماتی غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌مولار از هر هورمون استفاده شد که مناسب‌ترین غلظت ۱ میلی‌مولار بود). جهت ایجاد فرسودگی (فرسودگی تسریع شده) توده‌های بذر در داخل آون با دمای ۴۰ درجه سلیسیوس و رطوبت ۱۰۰ درصد به مدت ۲ و ۵ روز قرار گرفتند تا به درجه فرسودگی ۱۵ و ۲۵ درصد برسند (دلوش و باسکین^۵، ۱۹۷۳). این تعداد روزهای مورد نیاز برای رسیدن به فرسودگی ۸۵٪ و ۷۵٪ از آزمون مقدماتی که به مدت یک ماه ادامه یافت و در آن پس از یک ماه بنبه جوانه‌زنی بذر به صفر رسید، بدست آمدند.

برای انجام آزمون جوانه‌زنی استاندارد، ابتدا بذرها به مدت ۲۴ ساعت در محلول‌های مورد نظر خیسانده شدند، پس از طی شدن مدت زمان مورد نظر، بذرها از محلول‌ها خارج و چندین بار با آب مقطر شسته شدند و سپس، در دمای آزمایشگاه خشک شدند. از هر تیمار ۱۰۰ عدد بذر با ۴ تکرار (برای جوانه‌زنی در کل ۱۲ تکرار در نظر گرفته شد. ۴ تکرار برای هر تیمار در ۳ تکرار برای کل آزمایش) در پتری کشت و سپس، ظروف درون ژریمیناتور مدل IKH.RI تنظیم‌شده با دمای ۲۵ درجه سلیسیوس و ۸ ساعت روشنایی و ۱۴ ساعت تاریکی منتقل گردیدند. شمارش بذره‌های جوانه‌زده (خروج ریشه‌چه به اندازه حداقل دو میلی‌متر) به صورت روزانه در یک زمان معین انجام گردید و در صورت نیاز به محیط آب مقطر اضافه گردید (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱). زمانی که تعداد بذره‌های جوانه‌زده در بستر کشت در طول سه روز متوالی هیچ تغییری نکرد و ثابت ماند، شمارش متوقف شد (ایستا^۶، ۲۰۰۹). برای محاسبه صفات جوانه‌زنی (درصد، مدت و یکنواختی جوانه‌زنی (روز)) از برنامه Germin استفاده شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۳). برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، در پایان روز دهم کشت، از خط‌کش با واحد میلی‌متری استفاده شد.

بهبود جوانه‌زنی، افزایش رشد طولی و تقسیم سلولی در گیاه و افزایش نسبت جذب آب موجب افزایش بنبه بذرها می‌شود (داسیلوا^۱ و همکاران، ۲۰۰۵). سعیدی^۲ و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که اکسین موجب بهبود درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنبه بذر، طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه بذر ارقام گندم گردید. صفری^۳ و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی اثر اکسین بر جوانه‌زنی گندم نشان دادند که با مصرف اکسین، درصد جوانه‌زنی بذر ارقام گندم مورد مطالعه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. بعضی از مطالعات تأثیرات مثبت پرایمینگ بذر با پلی‌آمین‌ها را روی درصد جوانه‌زنی، بنبه بذر و رشد گیاهچه در گندم (فاروق و همکاران، ۲۰۱۱)، برنج (فاروق و همکاران، ۲۰۰۸) و گوجه‌فرنگی (افضل^۴ و همکاران، ۲۰۰۸) نشان داده‌اند.

از آنجایی که در شرایط انبارداری بیش‌تر بذرها دچار فرسودگی می‌شوند و فرسودگی سبب کاهش توان جوانه زنی و نمو بذرها خواهد شد و تاکنون مطالعات کمی بر روی بذر فرسوده تریتیکاله و پرایمینگ با تنظیم کننده های رشد گیاهی برای کاهش اثر فرسودگی بر بذره‌های تریتیکاله انجام شده است، هدف از انجام این تحقیق، بررسی تغییرات شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات فیزیولوژیکی بذره‌های تریتیکاله در واکنش به فرسودگی و نقش پرایمینگ بذر در بهبود بنبه بذره‌های فرسوده تریتیکاله بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۲ انجام شد. تیمارها شامل فرسودگی (۵٪، ۱۵٪، ۲۵٪ که سطح ۵٪ به عنوان شاهد و دو سطح بعدی بصورت ۱۵٪ و ۲۵٪ فرسودگی بودند) و پرایمینگ (بدون پرایم، آب مقطر، سیتوکینین، اسپرمیدین، اسید سالیسیلیک و اکسین) بودند. بذرها به منظور اعمال پرایمینگ به مدت ۲۴ ساعت، در دمای ۲۵ درجه

¹ DaSilva

² Saeidi

³ Safari

⁴ Afzal

⁵ Delouche and Baskin

⁶ Soltani

⁷ ISTA

شاخص بنیه طولی گیاهچه (SLVI) از رابطه ۱ محاسبه شد (عبدالباقي و اندرسون^۱، ۱۹۷۳):
رابطه ۱:

$$SLVI = SL \text{ (mm)} \times GP/100$$

که در آن، SL طول گیاهچه (mm) و GP درصد جوانه‌زنی (درصد جوانه‌زنی در روز آخر) بذرها است.
اندازه‌گیری میزان پروتئین محلول کل (درصد):

برای تعیین میزان پروتئین کل به روش کجدال، در پنجمین روز آزمایش از بذرهاى جوانه‌زده نمونه‌گیری و قسمت ریشه‌چه و ساقه‌چه جدا و باقی مانده بذر توسط هاون له شد. سپس، با استفاده از فرمول زیر، درصد نیتروژن محاسبه شد. درصد پروتئین نیز از حاصل ضرب درصد نیتروژن به عدد ثابت ۵/۷ به‌دست آمد (بدون نام^۲، ۲۰۱۴):
رابطه ۳:

$$\%T.N = T-B/S \times N \times 14/1000 \times 100$$

در این رابطه T.N مقدار کل نیتروژن موجود در نمونه، T مقدار اسید نمونه، B مقدار اسید مصرفی به‌عنوان شاهد، S وزن نمونه و N نرمالیت اسید سولفوریک (۰/۵) است.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پروتئاز (آندو پروتئاز):

سنجش فعالیت آنزیم پروتئاز از نمونه بذری ۵ روز پس از کاشت، طبق روش هولوردا و راجرز^۳ (۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد. این آنزیم از نوع اندوپروتئاز است و بر مبنای واکنش با آزوکازئین قابل اندازه‌گیری است. میزان جذب روشناور در طول موج ۳۶۶ نانومتر ثبت شد. به این منظور، عصاره پروتئینی استخراج شده با بریج، استات سدیم و آزوکازئین مخلوط و پس از ۵ ساعت به منظور توقف واکنش TCA به محیط اضافه شد. پس از سانتریفیوژ در ۸۵۰۰ g، از روشناور حاصل میزان جذب ثبت گردید. محاسبات بر اساس ضریب خاموشی آزوکازئین ۳۷ $\text{cm}^{-1}\text{mM}^{-1}$ و بر اساس میلی‌مول

آزوکازئین تجزیه شده در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین گزارش شد.

تجزیه‌های آماری: داده‌های به‌دست آمده از نظر نرمال بودن و همبستگی بین صفات با SPSS بررسی و سپس، تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار SAS انجام گردید. میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه گردید.

نتایج و بحث

درصد، یکنواختی و مدت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف فرسودگی و پرایمینگ و برهمکنش آن‌ها بر درصد، یکنواختی و مدت جوانه‌زنی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین نشان می‌دهد کم‌ترین درصد جوانه‌زنی (۷۱ درصد) در فرسودگی ۲۵٪ و در شرایط بدون پرایمینگ و بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۹/۳۳) در تیمار پرایمینگ با اکسین در شرایط ۵٪ فرسودگی به‌دست آمد. بیش‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی (۲ روز) در فرسودگی ۵٪ و پرایمینگ با اکسین و همچنین، بیش‌ترین مدت زمان جوانه‌زنی (۱۴/۱۷۶ روز) در فرسودگی ۲۵٪ و بدون پرایمینگ مشاهده گردید (جدول ۲). جدول ۲ نشان می‌دهد که در تمام سطوح فرسودگی، اکسین بیش‌ترین افزایش را در صفات درصد، یکنواختی و مدت زمان جوانه‌زنی داشته است و تنظیم کننده‌های اسپرمیدین و اسید سالیسیلیک در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

فرایند فرسودگی موجب آسیب به mRNA، DNA، تخریب ترکیبات بیوشیمیایی مواد ذخیره‌ای بذر و پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود و پراکسیداسیون لیپیدها اثر مخربی بر عملکرد میتوکندری از طریق اضمحلال غشا خواهد داشت و موجب کاهش میزان ATP تشکیل شده در جوانه‌زنی می‌شود. هم‌چنین سبب تخریب غشای هسته شده و در نهایت منجر به تخریب DNA می‌شود که این مساله در نهایت منجر به کاهش سنتز آنزیم‌های مورد نیاز برای مراحل اولیه جوانه‌زنی می‌شود (مک دونالد، ۱۹۹۹). بنابراین، کاهش درصد گیاهچه‌های طبیعی و درصد

¹ Abdul-Baki and Anderson

² Anonymous

³ Holwerda and Rogers

جدول ۱: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای فرسودگی و انواع پرایمینگ بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذر تریتیکاله

Table 1: Analysis of variance (mean square) for seed vigor treatments and priming types on germination indices and biochemical traits of triticale seed

منبع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	مدت زمان جوانه‌زنی Germination time	طول ریشه - چه Radicle length	طول ساقچه Plumule length	شاخص بنیه طولی گیاهچه Seedling length vigor index	محتوای پروتئین Protein content	فعالیت پروتئاز Protease activity
بنيه بذر Seed vigor	2	1393.57**	15.489**	34.152**	24.214**	77.01**	8195681**	82.9968**	0.5938**
پرایمینگ بذر Seed priming	5	149.129**	2.557**	65.886**	53.033**	25.74**	1742864**	4.4872**	0.0386**
بنيه بذر × پرایمینگ بذر Seed vigor × seed priming	10	9.52**	0.068**	3.67**	0.906*	0.56**	14489**	0.108 ^{ns}	0.002**
خطا Error	34	0.998	0.018	0.235	0.10	0.089	1946.6	0.054	0.0005
C.V. (%)		1.12	4.09	6.68	2.511	3.13	2.19	2.10	5.57

ns و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال یک درصد

ns and ** are respectively non- significant and significant at 1% probability level

جدول ۲: مقایسه میانگین برهمکنش فرسودگی و انواع پرایمینگ شاخص‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذر تریتیکاله

Table 2: Mean comparison for the interaction of deterioration and priming types on germination indices and biochemical traits of triticale seed

ترکیب تیماری Treatment combination	جوانه‌زنی (درصد) Germination percentage	یکنواختی جوانه‌زنی (روز) Germination uniformity (day)	مدت زمان جوانه‌زنی (روز) Germination time (day)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	طول ساقچه (سانتی‌متر) Plumule length (cm)	شاخص بنیه طولی Seedling length vigor index	فعالیت پروتئاز (میلی‌مول بر میلی‌گرم پروتئین) Protease activity (mM/mg protein)
V1×P1	93 ^f	3.2 ^g	8.61 ^d	11.6 ^{gh}	9.8 ^f	1990.7 ^h	0.49 ^e
V1×P2	95.66 ^{de}	2.93 ^h	6.35 ^f	14.33 ^e	10.66 ^e	2391.7 ^e	0.55 ^d
V1×P3	97 ^{cd}	2.6 ⁱ	5.43 ^{ghi}	15.83 ^d	11.166 ^d	2618.4 ^d	0.616 ^c
V1×P4	98.66 ^{ab}	2.3 ^k	6.006 ^{fg}	16.7 ^c	11.733 ^c	2805.6 ^c	0.653 ^c
V1×P5	97.66 ^{bc}	2.36 ^{jk}	4.126 ^{jk}	18.16 ^b	13.5 ^b	3092.6 ^b	0.696 ^b
V1×P6	99.33 ^a	2 ^l	3.77 ^k	19.8 ^a	14.06 ^a	3364 ^a	0.736 ^a
V2×P1	83 ^{kl}	3.7 ^{ef}	12.166 ^b	9.63 ^j	7.7 ^h	1439.1 ^l	0.283 ^h
V2×P2	85 ^{ij}	3.6 ^f	10.236 ^c	10.80 ⁱ	7.7 ^h	1572.3 ^k	0.346 ^g
V2×P3	88.66 ^h	3.2 ^g	7.556 ^c	12.93 ^f	8.233 ^g	1876.7 ⁱ	0.4233 ^f
V2×P4	91 ^g	2.9 ^h	6.37 ^f	13.33 ^f	9.366 ^f	2065.9 ^g	0.436 ^f
V2×P5	92.66 ^f	2.66 ⁱ	5.316 ^{ghi}	14.26 ^e	10.5 ^e	2294.9 ^f	0.430 ^f
V2×P6	94.66 ^e	2.53 ^{ij}	4.636 ^{ij}	14.76 ^e	10.66 ^e	2407.4 ^e	0.423 ^f
V3×P1	71 ^o	5.36 ^a	14.176 ^a	5.53 ^m	5.333 ^k	771.57 ^o	0.1967 ^k
V3×P2	75.33 ⁿ	4.9 ^b	10.61 ^c	7.6 ^l	6.10 ^j	1032 ⁿ	0.2267 ^{jk}
V3×P3	78.33 ^m	4.5 ^c	8.796 ^d	8.53 ^k	6.966 ⁱ	1214 ^m	0.260 ^{ij}
V3×P4	82 ⁱ	4.1 ^d	5.91 ^{gh}	10.06 ^j	7.866 ^{gh}	1470 ^l	0.293 ^{hi}
V3×P5	83.66 ^{jk}	3.83 ^e	5.45 ^{gh}	11.26 ^{hi}	9.666 ^f	1751 ^j	0.3 ^h
V3×P6	85.66 ⁱ	3.53 ^f	5.20 ^{hi}	12.03 ^g	10.76 ^{de}	1953 ^h	0.32 ^{gh}

V1 و V2 و V3 به ترتیب فرسودگی ۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪، P1، P2، P3، P4، P5 و P6 به ترتیب عدم پرایمینگ، پرایمینگ با آب مقطر، پرایمینگ با سیتوکینین، پرایمینگ با اسپرمیدین،

پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و اکسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن با هم ندارند.

V1, V2 and V3 are 5%, 15% and 25% of deterioration, respectively. P1, P2, P3, P4, P5, and P6 are without priming, priming with distilled water, priming with cytokinin, priming with spermidine, priming with salicylic acid and auxin, respectively. Means with similar letters in each column do not have a statistically significant difference based on the Duncan's test.

(جینی و جوزف^۶، ۲۰۱۷). پرایمینگ با اسید سالیسیلیک اثر مثبت بر میزان جوانه‌زنی، رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه داشته است (محمدی^۷ و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهشی نشان داده شد که در پتانسیل اسمزی ۰/۶- و ۰/۹- مگاپاسکال، کاربرد اسید سالیسیلیک سبب بالا رفتن درصد جوانه‌زنی گردیده است، بطوری که مصرف ۱ میلی‌مولار آن سبب افزایشی معادل ۳۶/۳۷ و ۱۲۴/۹۷ درصد در جوانه‌زنی نسبت به بذرهای شاهد گردید (محصلی^۸ و همکاران، ۲۰۲۳). در مطالعه دیگری بالاترین درصد جوانه‌زنی، مدت زمان جوانه‌زنی، درصد گیاهچه طبیعی، طول گیاهچه و بنیه بذر از تیمار بذر با اسید سالیسیلیک به‌دست آمد (طباطبایی و انصاری^۹، ۲۰۱۶). اسید سالیسیلیک به‌عنوان یکی از تنظیم‌کننده‌های رشدی محسوب می‌شود که بسته به غلظت، نوع گونه گیاهی، مرحله رشدی و شرایط محیطی، نقش مهمی را در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان مثل رشد، جذب یون، فتوسنتز و جوانه‌زنی ایفا می‌کند (یزدان‌پناه^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۱). در مطالعاتی که روی بذرهای فرسوده کلزا انجام گرفت، گزارش شد که اسید سالیسیلیک و اسید جیبرلیک سبب بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی از جمله سرعت و درصد جوانه‌زنی شده است (عالیوند و همکاران، ۲۰۱۲). کاربرد اسید سالیسیلیک در بذرهای پیش‌تیمار شده گل‌گاوزبان (شکاری^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۱) باعث افزایش درصد جوانه‌زنی شده است. گزارش شده است که اسید سالیسیلیک از طریق سازمان‌دهی سازوکارهای دفاعی پاداکسیدان، افزایش برخی مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی از قبیل اکسین و سیتوکینین‌ها و تجمع پرولین سبب افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی بذرها می‌گردد (طباطبایی و انصاری، ۲۰۱۶).

نتایج تحقیقات نشان داد زمانی که بذرها با بنیه‌های متفاوت با غلظت‌های متفاوت هورمون سیتوکینین تیمار می‌شوند، با افزایش غلظت هورمون سیتوکینین میانگین سرعت جوانه‌زنی افزایش می‌یابد (رشیدی^{۱۲} و همکاران،

جوانه‌زنی به احتمال زیاد به دلایل ذکر شده مرتبط است (انصاری و شریف‌زاده، ۲۰۱۲). انصاری و شریف‌زاده (۲۰۱۲) در آزمایشی روی چاودار کوهی نشان دادند که با افزایش فرسودگی بذر، درصد گیاهچه‌های طبیعی و درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. کاهش در مدت زمان جوانه‌زنی به‌دلیل وقفه‌ای است که در شروع فرآیند جوانه زنی در بذرهای فرسوده ایجاد می‌شود (بیلی^۱ و همکاران، ۲۰۰۲).

پرایمینگ بذرها موجب بهبود در سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و کاهش حساسیت بذرها به عوامل محیطی می‌گردد. علت این واکنش، افزایش در فعالیت های تنفسی، تولید ATP، تحریک فعالیت RNA و پروتئین سازی در بذرهای پرایم شده بیان شده است. استقرار سریع‌تر، بنیه بالاتر، توسعه سریع‌تر، گلدهی زودتر و عملکرد بالاتر از پیامدهای پرایمینگ بذرهاست (حافظ^۲ و همکاران، ۲۰۰۷). در گزارشی، اثر مثبت هیدروپرایمینگ بر کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی و افزایش مدت زمان جوانه‌زنی بذر ذرت نشان داده شده است (افضل و همکاران، ۲۰۰۸). رضوانی اقدم^۳ (۲۰۱۱) نشان داد که پرایمینگ بذر باعث افزایش ضریب یکنواختی بذر می‌شود. پرایمینگ بذر به طور عمده از طریق تأثیر بر متابولیسم، بیوشیمی و فعالیت‌های آنزیمی بذر می‌تواند سبب کارایی بهتر فرایندهای زیستی بذر نظیر جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه گردد. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی اثرات واضح و مشخصی بر جوانه‌زنی و مقاومت بذرها در برابر شرایط نامساعد محیطی دارند (دشت‌میان^۴ و همکاران، ۲۰۱۴؛ حسین^۵ و همکاران، ۲۰۱۳).

تحقیقات نشان داده است که پرایمینگ با اسید سالیسیلیک می‌تواند موجب شکستن خواب بذرهای تازه شود و در نتیجه درصد جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. همچنین، اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت متابولیکی بذر موجب جوانه‌زنی سریع و یکنواخت در بذر می‌گردد

⁶ Jini and Joseph

⁷ Mohammadi

⁸ Mohasseli

⁹ Tabatabaei and Ansari

¹⁰ Yazdanpanah

¹¹ Shekari

¹² Rashidi

¹ Bailly

² Hafeez

³ Rezvani Aghdam

⁴ Dashtman

⁵ Hussain

بر اثر فرسودگی کاهش یافت. کم‌ترین طول ریشه‌چه (۵/۵۳ سانتی‌متر) در فرسودگی ۲۵٪ و در تیمار عدم پرایمینگ و بیش‌ترین طول ریشه‌چه (۱۹/۸ سانتی‌متر) در فرسودگی ۲۵٪ و پرایمینگ با اکسین به‌دست آمد (جدول ۲). و همچنین، کم‌ترین طول ساقه‌چه (۵/۳۳ سانتی‌متر) در فرسودگی ۲۵٪ و در تیمار عدم پرایمینگ و بیش‌ترین طول ساقه‌چه (۱۴/۶ سانتی‌متر) در فرسودگی ۵٪ و پرایمینگ اکسین به‌دست آمد (جدول ۲). با استناد به جدول ۲ می‌توان استنباط کرد که طول ساقه‌چه و ریشه‌چه در تمام سطوح فرسودگی متاثر از اثر اکسین بیشترین افزایش را داشت و اسید سالیسیلیک پس از اکسین تاثیر بیشتری نسبت به بقیه تنظیم‌کننده‌ها داشت. افزایش طول ریشه‌چه در بذره‌های پیش تیمار شده ممکن است که به‌دلیل افزایش گسترش دیواره سلولی جنین و تحریک فعالیت‌های متابولیکی داخل جنین باشد (سعادت و همکاران، ۲۰۲۰، سعادت و صدقی، ۲۰۲۱). نتایج آزمایش‌ها نشان داد که پرایمینگ بذر اثر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه ذرت و گیاهچه سرخارگل داشت و موجب بهبود آن‌ها شده است (سگوند^۶، ۲۰۱۹). با افزایش شدت فرسودگی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه، ریشه‌چه و گیاهچه کاهش یافت (نامانی^۷ و همکاران، ۲۰۲۱). فرسودگی بذر بر انتقال مواد از لپه به ساقه‌چه و ریشه‌چه در فرآیند جوانه‌زنی بذر ذرت اثر گذاشت و فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک را مختل کرد و موجب شد تا رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یابد (نهفته استرآباد^۸ و همکاران، ۲۰۱۶). محققان متعددی در پژوهش‌های خود روی بذر عدس گزارش کردند که پرایمینگ بذرها با آب مقطر و اسید سالیسیلیک موجب افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه نسبت به شاهد می‌گردد (محمدی و شکاری^۹، ۲۰۱۵). در کلزا نیز کاربرد اسید سالیسیلیک طول ریشه‌چه را افزایش داد (میر صادقی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۱). پلی‌آمین‌ها به‌عنوان مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی در محدوده وسیعی از فرآیندهای رشد و نمو نظیر تقسیم سلولی، تکوین ریشه، اتحاد عملکرد سلولی و

۲۰۱۶). صفری و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی اثر هورمون اکسین بر جوانه‌زنی بذر گندم نشان دادند که با مصرف هورمون اکسین، درصد جوانه‌زنی بذر ارقام گندم مورد مطالعه در مقایسه با شاهد افزایش یافت. نتایج تحقیقات رشیدی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که استفاده از هورمون‌های جیبرلین و سیتوکینین سبب بهبود صفات جوانه‌زنی در بذره‌های فرسوده شد. نتایج حاصل از آزمایش حقیقی^۱ و همکاران (۲۰۲۳) اثر مثبت پرایمینگ با هورمون اکسین بر کاهش اثر منفی ناشی از تیمار تنش شوری بر صفت سرعت جوانه‌زنی بذر تریتیکاله را نشان داد. سعیدی و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی اثر اکسین بر جوانه‌زنی بذر گندم گزارش کردند که این هورمون موجب افزایش مدت زمان جوانه‌زنی بذر ارقام مختلف گندم شد. نبئی^۲ و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که تیمار هورمون اکسین، باعث افزایش درصد و مدت زمان جوانه‌زنی بذر خارمریم (*Silybum marianum* L.) در مقایسه با شاهد شد، ولی اثر معنی‌داری بر رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه نداشت.

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که اسپرمیدین در شرایط تنش و بدون تنش (شاهد) توانایی زیادی در بهبود جوانه‌زنی بذر داشتند (شیخ‌نواز جاهد^۳ و همکاران، ۲۰۲۲). استفاده از اسپرمیدین و اسپرمین به شکل خارجی موجب حفاظت از DNA، تقسیم سلولی و سنتز ATP در بذره‌های تحت تنش می‌شود و به جوانه‌زنی بذر کمک می‌کند (کاسوکابا^۴ و همکاران، ۲۰۰۴). حیدر قلی‌نژاد کناری^۵ و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که استفاده از اسپرمیدین با غلظت یک میلی‌مولار باعث یکنواختی بیش‌تر جوانه‌زنی در تنش خشکی بالا (۴- بار) شد و برتری غیر معنی‌داری نسبت به شاهد داشت.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

اثر سطوح مختلف فرسودگی و پرایمینگ و برهمکنش آن‌ها بر تغییرات طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). طول ریشه‌چه

⁶ Segund

⁷ Namani

⁸ Nahofte Esterabad

⁹ Mohammadi and Shekari

¹⁰ Mir Sadegi

¹ Haghighi

² Nabai

³ Sheikhnavaaz Jahed

⁴ Kasukaba

⁵ Heydargholinejad Kanari

پایداری غشاها مشارکت دارند (کاور-ساهنی^۱ و همکاران، ۲۰۰۳). افزایش طول ریشه‌چه در بعضی شرایط آزمایش را می‌توان به سرعت زیادتر جوانه‌زنی در این شرایط ربط داد (حسینی و نصیری محلاتی^۲، ۲۰۰۶). نتایج تحقیقات رشیدی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که با افزایش غلظت هورمون سیتوکینین به ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومول، میانگین طول ریشه‌چه ارقام ذرت افزایش می‌یابد. صارمی^۳ و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود روی گیاه استویا، بیشترین صفت طول ساقه‌چه را از تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین مقدار آن را از تیمار یک میلی‌گرم بر لیتر از هورمون سیتوکینین مشاهده کردند. سعیدی و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که هورمون اکسین موجب بهبود درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه بذر ارقام گندم گردید.

شاخص بنیه طولی گیاهچه

برهمکنش فرسودگی و پرایمینگ بر شاخص بنیه طولی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). کمترین شاخص بنیه طولی (۷۷۱/۵۷) در فرسودگی ۲۵٪ در شرایط بدون پرایمینگ و بیش‌ترین مقدار (۳۳۶۴) در فرسودگی ۵٪ و پرایمینگ با اکسین به‌دست آمد و باعث افزایش ۷۷/۰۶ درصد شاخص بنیه طولی تریتیکاله گردید (جدول ۲). با استناد به جدول ۲ می‌توان استنباط کرد که ترتیب اثر تنظیم‌کننده‌ها بر شاخص بنیه طولی گیاهچه تریتیکاله در هر سه سطح فرسودگی به صورت زیر است:

$$P_1 < P_2 < P_3 < P_4 < P_5 < P_6$$

نتایج آزمایش سعادت و صدقی (۲۰۲۳) نشان داد که بیش‌ترین شاخص بنیه طولی بنیه گیاهچه لوبیا در شاهد (بدون فرسودگی) (۲۴/۹۹) و کم‌ترین آن (۱۰/۴) در فرسودگی ۱۴ روز بود. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سطوح فرسودگی از شاخص بنیه طولی بنیه کاسته می‌شود. پرایمینگ باعث افزایش این شاخص شد و تأثیر پرایمینگ با اکسین بیش‌تر از هیدرو پرایمینگ و اسید سالیسیلیک بود که با نتایج عبدلی^۴ (۲۰۲۰) در ذرت و

سعادت و صدقی (۲۰۲۱) در لوبیا مطابقت داشت. فرسودگی با تخریب DNA، باعث اختلال در رونویسی و بیوسنتز ناقص برخی از آنزیم‌های ضروری جوانه‌زنی بذر می‌شود که این امر موجب کاهش شاخص بنیه گیاهچه می‌شود (کاپور و همکاران، ۲۰۱۱). فرسودگی به مدت ۴۸ ساعت موجب کاهش ۱۷٪ شاخص بنیه طولی و ۲۱٪ شاخص وزنی بنیه شد و با افزایش مدت زمان فرسودگی به ۱۴۴ ساعت، شاخص بنیه طولی ۴۶٪ و شاخص بنیه وزنی ۵۰٪ کاهش یافت (عبادی^۵ و همکاران، ۲۰۱۶). طی دو روز فرسودگی شاخص بنیه طولی از ۱۸۵/۹ به ۱۲۸/۳ کاهش یافت که این نشان‌دهنده کاهش ۳۰/۹ درصدی مقدار آن طی دو روز فرسودگی بود، افزایش زمان فرسودگی از دو روز به شش روز، بنیه بذر را به‌شدت کاهش داد، به‌طوری که شاخص بنیه طولی ۲۲ درصد کاهش یافت (پرمون و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج آزمایش افروشه^۶ و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که بیش‌ترین طول گیاهچه (۰/۲۵ سانتی‌متر)، بنیه طولی (۱۲/۳۱) و بنیه وزنی (۰/۲۲) مربوط به تیمار پرایمینگ با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک و مدت زمان ۴۸ ساعت پرایم در شرایط بدون فرسودگی بود، همچنین در کلیه دوره‌های فرسودگی بذر بیش‌ترین شاخص‌های ذکر شده مربوط به این تیمار پرایمینگ بود. طبق آزمایش پرمون^۷ و همکاران (۲۰۱۵) پرایمینگ سبب افزایش شاخص بنیه طولی گیاه ماریتیغال (*Silyum marianum*) شد، به‌طوری که پرایمینگ با غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک دارای بیش‌ترین میزان شاخص بنیه طولی بود که نشان‌دهنده بیش‌ترین تأثیر پرایمینگ بر بنیه در این غلظت‌ها می‌باشد. بر اساس تحقیقات اسماعیل‌پور^۸ و همکاران (۲۰۱۷) پیش‌تیمار بذرهای بامیه با اسپرمیدین در دمای پایین موجب بهبود آثار منفی ناشی از سرما در مورد شاخص بنیه طولی و وزنی گردید. در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، بیش‌ترین مقدار شاخص بنیه طولی و وزنی مربوط به پیش‌تیمار با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین و شاهد بود. پلی‌آمین‌ها ظرفیت زیادی برای افزایش بنیه بذر و رشد اولیه

⁵ Abadi

⁶ Afrosheh

⁷ Parmoon

⁸ Esmailpour

¹ Kaur-Sawhney

² Hoseyni and Nassiri Mahalati

³ Sarimi

⁴ Abdoli

پروتئاز نسبت به بقیه تیمارها داشت. نتایج یک پژوهش نشان داد که تیمار بذرهای ۹۶ ساعت فرسودگی، بیشترین (۱۳/۵ درصد) و تیمار بذرهای غیر فرسوده، کمترین (۱۲/۲ درصد) مقدار پروتئین را دارا بودند. نتایج سطوح فرسودگی در این تحقیق، بیانگر افزایش جزیی درصد پروتئین بذر بود (خشت‌زر و سیادت، ۲۰۱۴). پرایمینگ موجب افزایش فعالیت پروتئازها، لیپازها و آمیلازها می‌شود که ذخایر غذایی را برای افزایش رشد و نمو جنین تجزیه می‌کنند (آچاربا^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). در آزمایشی، پرایمینگ بذر گندم یا اسید سالیسیلیک علاوه بر بهبود عملکرد گندم، محتوای پروتئین دانه را نیز افزایش داد (عبدالهی و شکاری^۲، ۲۰۱۳). اسید سالیسیلیک با تأثیر بر تشکیل پروتئین‌های دفاعی، پروتئین کیناز و روبیسکو و افزایش سنتز پروتئین‌های مهار کننده پروتئاز، مقدار پروتئین در شرایط مختلف را افزایش می‌دهد (هوروات^۳ و همکاران، ۲۰۰۷). افزایش میزان پروتئین ناشی از اعمال پلی‌آمین می‌تواند به علت نقش این تنظیم کننده در نابودی رادیکال‌های آزاد و حفظ ماکرومولکول‌هایی نظیر DNA و پروتئین باشد (گروپا و بناوید^۴، ۲۰۰۸). در نتیجه، اسپرمیدین با از بین بردن رادیکال‌های فعال اکسیژن در کاهش تجزیه و افزایش بیوسنتز پروتئین نقش داشته است. پرایم کردن بذر گندم می‌تواند اثرات مثبتی بر افزایش درصد پروتئین و میزان عناصر غذایی موجود در بذر داشته باشد (دونالدسون^۵ و همکاران، ۲۰۰۱). بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های آمیلاز، لیپاز و پروتئاز در تیمار هورمون پرایمینگ و سطح خشکی شاهد به دست آمد (خاتمی^۶ و همکاران، ۲۰۱۶). تعامل بین تیمار پرایمینگ بذرها و ارقام نیز برای پروتئین محلول، فعالیت آنزیم‌های آلفا آمیلاز و پروتئاز معنی‌دار بود، در حالی که برای میزان فنل کل و کلروفیل معنی‌دار نبود و حداکثر فعالیت

گیاهچه‌ها دارند. پیش‌تیمار بذر با افزایش مقدار پلی‌آمین‌های درونی بذر موجب افزایش بنیه بذر می‌گردد. پلی‌آمین‌ها موجب افزایش انتقال و کاربرد ذخایر بذر و بهبود بازسازی ژن‌ها می‌گردند و از این طریق باعث بهبود جوانه‌زنی بذر می‌شوند (فاروق و همکاران، ۲۰۰۸). برهمکنش اکسین با سیتوکینین بر شاخص وزنی و طولی بنیه بذر در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین شاخص طولی بنیه بذر به ترتیب در تیمار ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر اکسین به همراه عدم استفاده از سیتوکینین با میانگین ۸/۱۳ و عدم تیمار اکسین به همراه ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سیتوکینین با میانگین ۲/۶۸ مشاهده شد. به عبارتی، بیشترین شاخص طولی بنیه بذر در کمترین غلظت از هورمون اکسین و کمترین مقدار برای این صفت در غلظت‌های بالایی از هورمون سیتوکینین مشاهده شد (صارمی و همکاران، ۲۰۱۵).

میزان پروتئین و فعالیت پروتئاز

تأثیر تیمارهای فرسودگی و پرایمینگ بر تغییرات میزان پروتئین در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان پروتئین در فرسودگی ۵٪ (۱۳/۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین میزان پروتئین در فرسودگی ۲۵٪ (۹/۲۱ میلی‌گرم بر گرم) به دست آمد (شکل ۱). همچنین، بیشترین میزان پروتئین (۱۲/۰۱۱۱ میلی‌گرم بر گرم) در پرایمینگ با اکسین و کمترین میزان پروتئین (۱۰/۰۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در عدم پرایمینگ به دست آمد (شکل ۲).

اثر سطوح مختلف فرسودگی و پرایمینگ و برهمکنش آن‌ها بر فعالیت پروتئاز در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). کمترین میزان فعالیت پروتئاز (۰/۱۹۶۷ میلی‌مول بر میلی‌گرم پروتئین) در فرسودگی ۲۵٪ و در تیمار عدم پرایمینگ به دست آمد. همچنین، بیشترین میزان فعالیت این آنزیم (۰/۷۳۶ میلی‌مول بر میلی‌گرم پروتئین) در فرسودگی ۵٪ و پرایمینگ با اکسین مشاهده شد، و پرایمینگ باعث افزایش ۷۳/۲۷ درصد فعالیت پروتئاز گردید (جدول ۲). در سطح دوم و سوم فرسودگی اثر تیمار سیتوکینین، اسپرمیدین، اسید سالیسیلیک و اکسین از نظر آماری یکسان بود، ولی در سطح اول فرسودگی اکسین با اختلاف، اثر بیشتری بر فعالیت

¹ Acharya

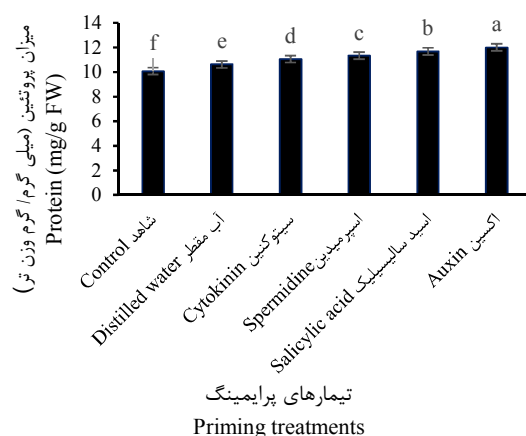
² Abdolahi and Shekari

³ Horvath

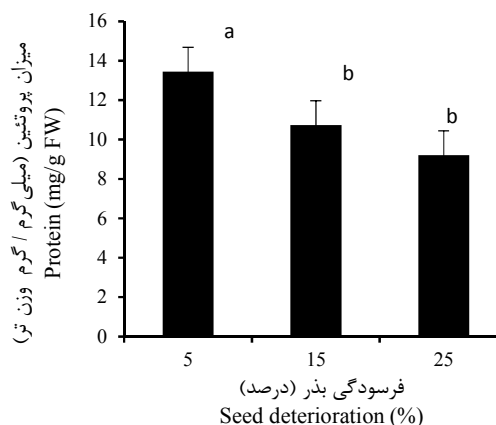
⁴ Groppa and Benavides

⁵ Donaldson

⁶ Khatami



شکل ۲: مقایسه اثر پرایمینگ بر میزان پروتئین بذر تریتیکاله
Figure 2: Comparison of the effect of priming on the protein content of triticale seed.



شکل ۱: مقایسه اثر فرسودگی بر میزان پروتئین بذر تریتیکاله
Figure 1: Comparison of the effect of deterioration on the protein content of triticale seed.

جدول ۳: ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه در بذر تریتیکاله تحت فرسودگی و پرایمینگ

	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	مدت زمان جوانه‌زنی Germination time	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Plumule length	شاخص بنیه طولی گیاهچه Seedling length vigor index	محتوای پروتئین Protein content	فعالیت پروتئاز Protease activity
درصد جوانه‌زنی Germination percentage	1							
یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	-0.968**	1						
مدت زمان جوانه‌زنی Germination time	-0.746**	0.753**	1					
طول ریشه‌چه Radicle length	0.943**	-0.947**	0.806**	1				
طول ساقه‌چه Plumule length	0.896**	-0.888**	-0.824**	0.948**	1			
شاخص بنیه طولی گیاهچه Seedling length vigor index	0.952**	-0.914**	-0.795**	0.992**	0.971**	1		
محتوای پروتئین Protein content	0.944**	-0.904**	-0.661**	0.924**	0.891**	0.944**	1	
فعالیت پروتئاز Protease activity	0.917**	-0.868**	-0.643**	0.934**	0.880**	0.945**	0.969**	1

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** significant at 1% probability level.

از نظر اقتصادی نیز پرایمینگ بذر با اکسین مقرون به صرفه خواهد بود، زیرا بذرهای با قوه نامیه پایین، قیمت کمتری دارند و هزینه ناشی از بهای اکسین (حدود ۲ میلیون ریال برای ۲۰۰ لیتر محلول و ۲۰۰ کیلوگرم بذر) و هزینه اجرا (حدود ۵ میلیون ریال) را جبران می‌کنند. قیمت هر کیلو بذر گواهی شده گندم نان در سال ۱۴۰۳، در حدود ۲۴۵۰۰۰ ریال بوده است و چنانچه قیمت هر کیلو بذر گواهی شده تریتیکاله را ۳۰۰۰۰۰ ریال باشد، با لحاظ ۱۸۰ کیلوگرم بذر مورد نیاز در هکتار، در حدود ۵۴ میلیون ریال هزینه تهیه بذر خواهد بود. اگر بذر با قوه نامیه پایین با کسر ۳۰٪ از قیمت خریداری شود، ۱۸ میلیون ریال از هزینه اولیه خرید بذر کاسته خواهد شد که از هزینه انجام پرایمینگ بیشتر و به نفع کشاورز خواهد بود. ولی، در مورد عملکرد نهایی محصول باید آزمایش مزرعه‌ای چندساله صورت پذیرد تا ثابت شود که آیا پرایمینگ می‌تواند عملکرد را در مقایسه با بذرهای قوی افزایش دهد و سود اقتصادی بیشتری ایجاد کند یا خیر؟

نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، با وجود این که فرسودگی شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تریتیکاله را کاهش داد، ولی پیش تیمار بذر با تنظیم-کننده‌های رشد اسید سالیسیلیک، سیتوکینین، اسپرمیدین و اکسین تاثیر زیادی بر بهبود جوانه‌زنی و تقویت بنیه بذر و صفات ریخت‌شناسی بذرهای تریتیکاله داشتند، بر اساس نتایج آزمایش حاضر، تأثیر اکسین برای بهبود بنیه بذرهای فرسوده تریتیکاله بیشتر از دیگر تنظیم‌کننده‌های مورد آزمایش بود. بنابراین، برای تسریع جوانه‌زنی و بهبود شاخص‌های رشدی گیاهچه بذرهای فرسوده شده تریتیکاله می‌توان از پیش تیمار اکسین جهت تقویت بنیه بذر استفاده کرد.

پروتئاز بذر جو در رقم خرم از بذرهای هیدروپرایمینگ و هالوپرایمینگ در ارقام به‌دست آمد، تیمار پرایمینگ بذر نیز فعالیت آلفا آمیلاز و پروتئاز را بهبود بخشید (صفاهانی و شهریار^۱، ۲۰۱۶). افروشه و همکاران (۲۰۱۷) اثر تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک را بر میزان پروتئین بذر گلرنگ مطالعه و نشان دادند که بیش‌ترین میزان پروتئین با میانگین ۰/۲۹ میلی‌گرم برگرم وزن تر مربوط به تیمار پرایمینگ بود. اسید سالیسیلیک به واسطه افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، موجب ارتقای توان پاداکسیدان‌های سلولی و سنتز پروتئین‌های جدید می‌شود و از این طریق از دستگاه فتوسنتزی محافظت می‌کند (پاسالا^۲ و همکاران، ۲۰۱۶).

همبستگی بین صفات مورد مطالعه

در جدول ۳ ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های درصد جوانه‌زنی، مدت و یکنواختی جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص بنیه طولی گیاهچه، محتوای پروتئین و فعالیت پروتئاز آورده شده است. نتایج نشان داد درصد جوانه‌زنی با طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص بنیه طولی گیاهچه، محتوای پروتئین و فعالیت پروتئاز همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. درصد جوانه‌زنی با یکنواختی و مدت جوانه‌زنی رابطه منفی و معنی‌دار (به ترتیب ۰/۹۶۸- و ۰/۷۴۶-) در سطح احتمال یک درصد نشان داد. لطفی^۳ و همکاران (۲۰۰۴) دریافتند که هر چه یکنواختی جوانه‌زنی مقادیر کمتری داشته باشد، نشان‌دهنده جوانه‌زنی همزمان بذرها است. برعکس، طولانی بودن دوره جوانه‌زنی، نشان می‌دهد که بذرها به‌طور همزمان جوانه نزده‌اند، بلکه جوانه‌زنی آن‌ها در دوره زمانی طولانی‌تری صورت گرفته است. همچنین بین طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه، شاخص بنیه طولی و محتوای پروتئین همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد که نشان می‌دهد با افزایش هر کدام از صفات ذکر شده بقیه صفات هم افزایش می‌یابند.

¹ Safahani and Shahriari

² Pasala

³ Latifi

منابع

- Abadi, A., Permon, Q. and Jahanbakhsh, S. 2016. The effect of seed pretreatment with potassium nitrate on seedling vigor indices in Maritigal spent seeds (*Silybum marianum*). Plant Research Journal (Iranian Biology Journal). 29(3): 553-566 [In Persian]
- Abdolahi, M. and Shekari, F. 2013. Effects of seed priming by salicylic acid on wheat cv. Alvand bread quality under late sowing condition. Iranian Journal of Crops Improvement, 15 (2): 87-98. [In Persian].
- Abdoli, M. 2020. Effect of aging of seed and hydro-priming on germination characteristics and activity of some antioxidant enzymes of hybrid corn (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Seed Science and Research, 7(2): 147-159. [In Persian].
- Acharya, P., Jayaprakasha, G.K., Crosby, K.M., Jifon, J.L. and Patil, B.S. 2020. Nanoparticle-mediated seed priming improves germination, growth, yield, and quality of watermelons (*Citrullus lanatus*) at multi-locations in Texas. Scientific Reports, 10: 1-16. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61696-7>
- Afrosheh, R., Balouchi, H., Movahedi Dehnavi, M. and Gharineh, M.H. 2017. The effects of salicylic acid and seed deterioration on germination indices and antioxidant enzymes changes of *Carthamus tinctorius* L. cv. Soffeh seed. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 7(1): 53-64. [In Persian].
- Afzal, I., Basra, S.M.A., Shahid, M., Farooq, M., and Saleem, M. 2008. Priming enhances germination of spring maize (*Zea mays* L.) under cool conditions. Seed Science and Technology, 36(2): 497-503. <https://doi.org/10.15258/sst.2008.36.2.26>
- Aghabarati, A. and Maralian, H. 2012. Acer cineracens boiss seed quality in relation to seed deterioration under accelerated aging conditions. Journal Natural Ecosystems of Iran, 2(2): 25-35. [In Persian]
- Alivand, R., Tavakol Afshari, R. and Sharifzadeh, F. 2012. Effects of gibberellin, salicylic acid, and ascorbic acid on improvement of germination characteristics of deteriorated seeds of *Brassica napus*. Iranian Journal of Field Crop Science, 43 (4): 561-571. [In Persian]
- Anonymous. 2014. A guide to Kjeldahl nitrogen determination methods and apparatus. LABCONCO. Texas. USA. Accessed online at www.ExptechUSA.com.
- Ansari, O. and Sharifzadeh, F. 2012. Improving germination characteristics of mountain rye (*Secale montanum*) primed seeds under slow moisture reduction and accelerated aging conditions. Journal of Seed Research, 2(2): 68-76. [In Persian]
- Azadi, M.S., Tabatabaei, S.A., Younesi, E., Rostami, M.R. and Mombeni, M. 2013. Hormone priming improve germination characteristics and enzyme activity of sorghum seeds (*Sorghum bicolor* L.) under accelerated aging. Cercetari Agronomic in Moldova, 3(155): 49-56. <https://doi.org/10.2478/v10298-012-0092-8>
- Baharvand, N., Mahdavi, B., and Dehajipour Heidarabadi, M. 2017. Effect of ascorbic acid on germination and activities of antioxidant enzymes of deteriorated safflower Goldasht cultivar seeds. Iranian Journal of Seed Science and Research, 4(3): 1- 12. [In Persian]
- Balouchi, H., Soltani Khankahdani, V., Moradi, A., Gholamhoseini, M., Piri, R., Heydari, S.Z. and Dedicova, B. 2023. Seed fatty acid changes germination response to temperature and water potentials in six sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars: Estimating the cardinal temperatures. Agriculture, 13(10): 1-17. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101936>
- Bailly, C., Bogatek-Leszczynska, R., Come, D. and Corbineau, F. 2002. Changes in activities of antioxidant enzymes and lipoxygenase during growth of sunflower seedlings from seeds of different vigour. Seed Science Research, 12: 47-55. <https://doi.org/10.1079/SSR200197>
- Balmer, A., Pastor, V., Gamir, J., Flors, V. and Mauch-Mani, B. 2015. The 'prime-ome': towards a holistic approach to priming. Trends in Plant Science- Cell Press, 20: 443-452. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.04.002>

- Bewley, J.D., Bradford, K., Hilhorst, H. and Nonogaki, H. 2013. Seeds: physiology of development, germination and dormancy. New York, NY, USA: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Bezabih, A., Girmay, G. and Lakewu, A. 2019. Performance of triticale varieties for the marginal highlands of Wag-Lasta, Ethiopia. Cogent Food and Agriculture, 5: 1-11. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1574109>
- Braccini, A.L.E., Reis, M.S., Moreira, M.A., Sediyaama C.S. and Scapim, C.A. 2000. Biochemical changes associated to soybean seeds osmoconditioning during storage. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 35: 447-433. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000200022>
- Canak, P., Miroslavljević, M., Ćirić, M., Kešelj, J., Vujošević, B., Stanisavljević, D., and Mitrović, B. 2016. Effect of seed priming on seed vigor and early seedling growth in maize under optimal and suboptimal temperature conditions. Selekcijai Semen, 22(1): 17-25. <https://doi.org/10.5937/SelSem1601017C>
- Da Silva, E. A. A., Toorop, P. E., Nijse, J. Bewley, J.D. and Hilhorst, H.W.M. 2005. Exogenous gibberellins inhibit coffee (*Coffea arabica* L. cv. Rubi) seed germination and cause cell death in the embryo. Journal of Experimental Botany, 56(413): 1029-1038. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri096>
- Darabi, F., Valipour, M., Naseri, R. and Moradi, M. 2017. The effects of accelerated aging test on germination and activity of antioxidant enzymes of maize (*Zea mays*) hybrid varieties seeds. Iranian Journal of Seed Research, 4(1): 45-59. [In Persian] <https://doi.org/10.29252/yujs.4.1.45>
- Dashtman, F.P., Hosseini, M.K. and Esfahani, M. 2014. Improving rice seedling physiological and biochemical processes under low temperature by seed priming with salicylic. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences, 4: 565-572.
- De Figueiredo, E., Albuquerque, M.C. and Carvalho, N.M. 2003. Effect of the type of environmental stress on the emergence of sunflowers (*Helianthus annuus* L.), soybean (*Glycine max* L.) and maize (*Zea mays* L.) seed with different levels of vigor. Seed Science and Technology, 31: 531-540. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.2.23>
- Delouche, J.C. and Baskin, C.C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. Seed Science and Technology, 1: 427-452.
- Donaldson, E., Schillinger, W.F. and Dofing, S.M. 2001. Straw production and grain yield relationships in winter wheat. Crop Science, 41(1): 100-106. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.411100x>
- Durr, C. and Boiffin, J. 1995. Sugar beet seedling growth from germination to first leaf stage. Journal of Agricultural Science, 124: 427-435. <https://doi.org/10.1017/S002185960007338X>
- Esmailpour, B., Bahadori, S. and Khoramdel, S. 2017. Effects of polyamines on seed germination characteristics of okra (*Abelmoschus esculentus* L. Basenti) under different times and temperatures. Journal of Vegetables Science, 3(6): 135-146. [In Persian]
- FAO. 2022. FAOSTAT [Online]. Available at <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Farooq, M., Aziz, T., Basra, S.M.A., Cheema, M.A. and Rahman, H. 2008. Chilling tolerance in hybrid maize induced by priming with salicylic acid. Agronomy and Crop Science, 194: 161-168. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00300.x>
- Farooq, M., Aziz, T., Reman, H., Rehman, A. and Aziz, S.A. 2011. Evaluating surface drying and redrying for wheat seed priming with polyamines effects of emergence: early seedling growth and starch metabolism. Acta Physiologica Plantarum, 33: 1707-1713. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0707-3>
- Farooq, M., Usman, M., Nadeem, F., Ur Rehman, H., Wahid, A., Basra, S. M. A., and Siddique, K. H. M. 2019. Seed priming in field crops: potential benefits, adoption and challenges. Crop and Pasture Science, 70(9): 731-771. <https://doi.org/10.1071/CP18604>
- Filippou, P., Antoniou, C., Yelamanchili, S. and Fotopoulos, V. 2012. NO loading: efficiency assessment of five commonly used application methods of sodium nitroprusside in *Medicago*

- truncatula* plants. Plant Physiol Biochem, 60: 115-118. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.07.026>
- Forcella, F., Benech Arnold, R.L., Sanchez, R. and Ghersa, C.M. 2000. Modeling seedling emergence. Journal Field Crop Research, 67: 123-139. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00088-5)
- Govindaraj, M., Masilamani, P., Alex Albert, V., and Bhaskaran, M. 2017. Role of antioxidants in seed quality-A review. Agricultural Reviews, 38(3): 180-190. <https://doi.org/10.18805/ag.v38i03.8977>
- Groppa, M.D. and Benavides, M.P. 2008. Polyamines and abiotic stress: recent advances. Amino Acids, 34(1): 35-45. <https://doi.org/10.1007/s00726-007-0501-8>
- Hafeez, F.Y., Naeem, F.I., shaheen, N. and Malik, K.A. 2007. Nodulation of *Sesbania* spp. by introduced rhizobia in competition with naturalized strains in different soil types. Pakistan Journal of Botany, 39(3): 919-929.
- Haghighi, A., Siadat, S., Moshatati, A. and Moosavi, S.A. 2023. The effect of auxin hormone priming on seed germination indices and seedling growth of triticale (Sanabad Cultivar) under salt stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 12(2): 1-12. [In Persian].
- Hajiabbasi, M., Tavakkol Afshari, R., Abbasi, A. and Kamaei, R. 2021. Effects of salicylic acid and ethylene on the germination and gene expression of alpha and beta amylase in deteriorated soybean seeds (*Glycine max*). Iranians Journal of Seed Science and Technology, 10(1): 156-141. [In Persian]
- Han, F. and Ellis, R. A. 2021. Predicting students' academic performance by their online learning patterns in a blended course. To what extent is a theory-driven approach and a data-driven approach consistent? Educational Technology and Society, 24(1): 191-204.
- Heydargholinejad Kanari, M., Qolipour, M., Pirdashti, H. E. and Abbas Dekht, H. 2018. Effect of seed priming with spermidine on boosting germination indicators and activity of some antioxidant enzymes in drought-stressed soybean seedlings. Iranian Journal of Seed Science and Research, 5(4): 59-70. [In Persian].
- Holwerda, B.C. and Rogers, J.C. 1992. Purification and characterization of aleurain. Journal of Plant Physiology, 99: 848-855. <https://doi.org/10.1104/pp.99.3.848>
- Horvath, E., Szalai, G. and Janda, T. 2007. Induction of Abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. Plant Growth Regulation, 26: 290-300. <https://doi.org/10.1007/s00344-007-9017-4>
- Hoseyni, H. and Nassiri Mahallati, M. 2006. The effect of seed priming in germination of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research, 4(1): 35-48. [In Persian]
- Hussian, I., Ahmad, R., Farooq, M. and Wahid, A. 2013. Seed priming improves the performance of poor quality wheat seed. International Journal of Agriculture and Biology, 15: 1343-1348.
- ISTA. 2009. International rules for seed testing. The International Seed Testing Association. Zurich. Switzerland.
- Jini, D. and Joseph, B. 2017. Physiological mechanism of salicylic acid for alleviation of salt stress in rice. Rice Science, 24(2): 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.07.007>
- Jyoti, U. and Malik, C.P. 2013. Seed deterioration: A review. International Journal of Life Science Botany and Pharmacy Research, 2: 374-85.
- Kapilan, R. 2015. Accelerated aging declines the germination characteristics of the maize seeds. Scholars Academic Journal of Biosciences, 3(8): 708-711.
- Kapoor, N., Arya, A., Asif Siddiqui, M., Kumar, H. and Amir, A. 2011. Physiological and biochemical changes during seed deterioration in aged seeds of rice (*Oryza sativa* L.). American Journal of Plant Physiology, 6(1): 28-35. <https://doi.org/10.3923/ajpp.2011.28.35>
- Kasukabe, Y., He, L., Nada, K., Misawa, S., Ihara, I. and Tachibana, S. 2004. Overexpression of spermidine synthase enhances tolerance to multiple environmental stresses and up-regulates the

- expression of various stress-regulated genes in transgenic *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiology*, 4(5): 73-84. <https://doi.org/10.1093/pcp/pch083>
- Kaur-Sawhney, R., Tiburcio, A. F. and Galston, A.W. 2003. Polyamines in plants: An overview. *Journal of Cellular and Molecular Biology*, 2: 1-12.
- Khatami, S.R. Sedghi, M. and Seyed Sharifi, R. 2016. Effect of priming and osmotic stress on the germination and activity of hydrolytic and glyoxylate cycle enzymes of hybrid maize (*Zea mays* L.) SC704 seed. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 6(1): 59-70. [In Persian].
- Khesht Zar, M., and Siadat, S.A. 2015. Study of effect seed deterioration and plant density on yield and yield components of hull-less barley. *Journal of Crops Improvement*, 16(4): 829-838. [In Persian]
- Kim, D.H. 2018. Extending populous seed longevity by controlling seed moisture content and temperature. *PLoS ONE*. 13(8): e0203080. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203080>
- Latifi, N., Soltani, A. and Spaner, D. 2004. Effect of temperature on germination components in canola cultivars. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 35(2): 313-321. [In Persian]
- Leuendorf, J. E., Frank, M. and Schmülling, T. 2020. Acclimation, priming and memory in the response of *Arabidopsis thaliana* seedlings to cold stress. *Scientific Reports- Nature*, 10: 689. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56797-x>
- McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*, 27: 177-237.
- Mir Sadegi, S., Shekari, F., Fotovat, R. and Zangani, E. 2011. The effect of priming by salicylic acid on vigor and seedling growth of canola (*Brassica napus*) under water deficit condition. *Journal of Plant Biology*, 6: 55-70. [In Persian].
- Mohammadi, L. and Shekari, F. 2015. Examination the effects of hydro-priming and priming by salicylic acid on lentil aged seeds. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8(3): 420-426.
- Mohammadi, L., Shekari, F., Saba, J. and Zangani, E. 2011. Seed priming by salicylic acid affected vigor and morphological traits of safflower seedlings. *Modern Agricultural Science*, 7(2): 63-72. [In Persian]
- Mohasseli, V., Izadi, M. and Roohian, M.H. 2023. Effect of salicylic acid on germination and early growth of *Securigera securidaca* seedling under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 9(2): 163-175. [In Persian] <https://doi.org/10.61186/yujs.9.2.163>
- Moradi Dezuli, P., Sharif-zadeh, F. and Janmohammadi, M. 2008. Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (*Zea mays* L.). *Journal of Agriculture and Biological Science*, 3: 22-25.
- Nabai, M., Roshandel, P. and Mohammad Khani, A.A. 2013. The effects of plant growth regulators on breaking seed dormancy in *Silybum marianum* L. *Journal of Cell & Tissue*, 4(1): 45-54. [In Persian]
- Nahofte Esterabad, A., Rahemi Karizaki, A. and Nakhzari Moghadam, A. 2016. Effect of seed deterioration on germination parameters and growth seedling of two maize varieties. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 3(2): 1-11. [In Persian].
- Namani, M., Ajam Norouzi, H. and Dadashi, M.R. 2021. Effect of seed aging on germination and seedling growth of Karim wheat cultivar in vitro. *Journal of Seed Research*, 11(38): 1-8. [In Persian]
- Ocvirk, D., Špoljarević, M., Kristić, M., Hancock, J.T., Teklić, T. and Lisjak, M. 2021. The effects of seed priming with sodium hydrosulphide on drought tolerance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in germination and early growth. *Annals of Applied Biology*, 178 (2): 400-413. <https://doi.org/10.1111/aab.12658>
- Pasala, R.K., Khan, M. I.R., Minhas, P.S., Farooq, M.A., Sultana, R., Per, T.S., Deokate, P.P., Khan, N.A. and Rane, J. 2016. Can plant bio-regulators minimize crop productivity losses

- caused by drought, heat and salinity stress? An integrated review. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 22: 89.
- Permon, G., Ebadi, A., Jahambakhsh, S. and Davari, M. 2015. Effect of seed priming by salicylic acid on the physiological and biochemical traits of aging milk thistle (*Silbum marianum*) seeds. *Crop Production*, 7(4): 223-234. [In Persian].
- Piri, R., Moradi, A. and Hoseini-Moghaddam, M. 2018. Effect of accelerated aging and seed priming on germination and some biochemical indices of cumin (*Cuminum Cyminum* L.). *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 5(1): 69-81. [In Persian]. <https://doi.org/10.22124/jms.2018.2901>
- Rashidi, S., Abbas Dokht, h., Gholami, A. and Tavakkol Afshar, R. 2016. Effect of gibberellin and cytokinin on improvement of germination traits and seed vigor of deteriorated corn cultivars (*Zea mays* L.). *Crop Physiology Journal*, 9(34): 79-95. [In Persian]
- Rezvani Aghdam, A. 2011. The effect of soaking time and the concentration of polyethylene glycol 6000 on white onion landrace seed germination factors in Kashan. The First National Conference on New Issues in Agriculture, Islamic Azad University, 11-14 November, Saveh. [In Persian]
- Saadat, H. and Sedghi, M. 2021. Effect of priming and aging on Physiological, biochemical traits seed common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Seed Research*, 11(3): 75-87. [In Persian]
- Saadat, T., Alidost, H., and Sedghi, M. 2021. Effect of priming on the germination of rice seeds of different vigor. *Journal of Seed Research*, 10(4): 60-67. [In Persian]
- Saadat, T., Sedghi, M., Gholipouri, A., Seyed Sharifi, R. and Sheykhabaglou, R. 2020b. Effect of seed priming and aging on germination, biochemical traits and antioxidant enzyme gene expression in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 7(1): 1-13. [In Persian, with English Abstract]
- Saeidi, M., Abdoli, M., Azhand, M., Jalali-Honarmand, S., Esfandiari, E. and Shekari, F. 2014. The effect of water deficiency stress and foliar application of indole acetic acid at different stages of grain growth on grain yield and germination traits of produced seeds in bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 3(2): 173-187. [In Persian, with English Abstract]
- Safahani, A.R. and Shahriari, Q. 2016. Comparison of different seed priming methods to improve the growth and yield of barley (*Hordeum vulgare*) under salinity conditions. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 11(44): 44-54. [In Persian]
- Safari, K., Sohrabi, Y., Siosemardeh, A. and Sasani, Sh. 2019. Effect of seed priming on some morphophysiological characteristics of three wheat cultivars under laboratory and greenhouse conditions. *Plant Production and Genetics*, 1: 53-68.
- Santos, R.F., Placido, H.F., Bosche, L.L., Neto, H.Z., Ferando, H. and Alessandro, B. 2021. Accelerated aging methodologies for evaluating physiological potential of treated soybean seeds. *Journal of Seed Science*, 43(4): 1- 10. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v43250605>
- Sarmi, R., Omid, H. and Bostani, A. 2015. The effect of different levels of hormonal priming on germination components, time to different percentages of germination, average duration of germination, germination speed and vigor of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) seeds. *Journal of Seed Ecophysiology*, 2(1): 33-46. [In Persian].
- Segund, M. 2019. The effect of osmopriming with KNO₃ and KH₂PO₄ germination indicators on seed improvement and growth of Sarhargol seedlings. M.Sc. Thesis. University of Lorestan. Iran. [In Persian, with English Abstract]
- Sheidaei, S., Heidari Sharisabad, H., Hamidi, A., Noormohammadi, G. and Moghaddam, A. 2016. Effect of storage condition, initial seed moisture content and germination on soybean seed deterioration. *Iranian Journal of Seed Research*, 2(2): 29-45. [In Persian] <https://doi.org/10.29252/yujs.2.2.29>

- Sheikhnaz Jahed, P. Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Sofalian, O. 2022. Effect of priming on germination indices of deteriorated seeds of pumpkin (*Cucurbita pepo*) in salinity conditions. *Plant Process and Function*, 11(50): 309-326. [In Persian].
- Shekari, F., Pakmehr, A., Rastgoo, M., Vazayefi, M. and Ghoreyshi Nasab, M.J. 2011. Effect of seed priming with salicylic acid on some of physiological traits in *Vigna unguiculata* L. under drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 4(13): 13-29. [In Persian].
- Singh, Y., Kaushal, S., and Sodhi, R.S. 2020. Biogenic synthesis of silver nanoparticles using cyanobacterium *Leptolyngbya* sp. WUC 59 cell-free extract and their effects on bacterial growth and seed germination. *Nanoscale Advances*, 2(9): 3972-3982. <https://doi.org/10.1039/D0NA00357C>
- Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E. and Latifi, N. 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea voasts of Iran. *Seed Science and Technology*, 29(3): 653-662.
- Soltani, E., Soltani, A. and Oveisi, M. 2013. Modeling seed aging effect on wheat seedling emergence in drought stress: optimizing germin program to predict emergence pattern. *Journal of Crops Improvement*, 15(2): 147-160. [In Persian, with English Abstract]
- Tabatabaei, S.A. and Ansari, O. 2016. Effect of Cu (SO₄) stress and plant growth regulators on germination characteristics and biochemical changes of *Brassica napus*. *Iranian Journal of Seed Research*, 3(1): 109-121. [In Persian] <https://doi.org/10.29252/yujs.3.1.109>
- Tilebeni, H. and Golpayegani, A. 2011. Effect of seed ageing on physiological and biochemical changes in rice seed (*Oryza sativa* L.). *International Journal of AgriScience*, 1(3): 138-143.
- Yang, S., Wang, Y., Liu, R., Li, Q. and Yang, Z. 2018. Effects of straw application on nitrate leaching in fields in the Yellow River irrigation zone of Ningxia, China. *Scientific Reports*, 8(1): 954. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18152-w>
- Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A. and Abbassi, F. 2011. The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. *African Journal of Agricultural Research*, 6(4): 798-807.