Research Article

Iranian Journal of Seed Research, 2025, 11(2): 163-188

Revitalizing deteriorated sweet corn (*Zea mays* var. Saccharata Basin R) seeds through priming with ellagic acid, gibberellin, and potassium nitrate

Kamran Gharehbeygi Tavabea[1], Hamidreza Balouchi[2*], Mohsen Movahhedi Dehnavi[2], Ali Moradi[3], Fatemeh Ebrahimi[4]

Extended abstract

Introduction: Poor seedling vigor is one of the major challenges in agriculture, as it reduces seed germination capacity and seedling establishment, directly impacting plant establishment and yield. The use of seed priming methods with chemicals and growth regulators can serve as an effective strategy to enhance seedling vigor and improve biochemical traits and seed germination. In this study, the enhancement of sweet corn seedling vigor through priming with ellagic acid, gibberellin, and potassium nitrate was investigated under accelerated aging conditions.

Materials and Methods: A factorial experiment was conducted in the Seed Technology Laboratory of the Faculty of Agriculture at Yasouj University in 2024, based on a completely randomized design with two factors. The first factor was accelerated seed aging at two levels (aged and non-aged), and the second factor was seed priming at eight levels (no prime, hydropriming, ellagic acid at two concentrations (25 and 100 mg/l), gibberellin at two concentrations (50 and 150 mg/l), and potassium nitrate at two concentrations (15 and 60 mg/l)). Biochemical traits and seed germination characteristics were measured ultimately.

Results: The findings of this study revealed that seed deterioration significantly reduced germination characteristics, including germination percentage and rate, shoot length, root length, and seedling vigor index (length and weight). Additionally, biochemical indices such as soluble sugar content and α-amylase enzyme activity were negatively affected by aging. On the other hand, seed deterioration increased proline content, malondialdehyde levels, and peroxidase enzyme activity, indicating heightened oxidative stress under aging conditions. Priming of deterioration seeds with ellagic acid, gibberellin, and potassium nitrate positively influenced germination characteristics and biochemical indices. Specifically, concentrations of 100 mg/l ellagic acid, 150 mg/l gibberellin, and 15 mg/l potassium nitrate were the most effective pretreatments.

Conclusion: The results of this research demonstrated that pretreatment of deteriorated Basin sweet corn seeds with ellagic acid, gibberellin, and potassium nitrate significantly improved germination and biochemical indices. These treatments mitigated the negative effects of seed aging, enhancing seedling vigor and establishment. Therefore, these priming can be recommended as effective methods to improve the quality of Basin sweet corn seeds under various agricultural conditions.

Keywords: α-amylase, Germination percentage, Sweet corn, Seed priming, Seed vigor.

***Highlights*:**

1. Seed deterioration leads to an increase in biochemical indicators such as seed proline content, peroxidase enzyme activity, and seed malondialdehyde content.
2. The vigor of Basin sweet corn seeds is improved through pretreatment with gibberellin and ellagic acid.
3. The effect of priming before and after artificial deterioration on germination and seed vigor of sweet corn cultivar Basin was compared and investigated.

[1]M.S.c student of Seed Science and Technology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
[2]Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
[3]Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
[4]Ph.D. student of Crop Physiology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

*Corresponding author, E-mail: balouchi@yu.ac.ir

Received: 26.1.2025; Revised: 12.3.2025;
Accepted: 15.3.2025; Online Published: 21.3.2025

DOI: 10.61186/yujs.11.2.163

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/).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

مقاله پژوهشی

پژوهش‌های بذر ایران/ سال یازدهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۳/ صفحات: ۱۸۸-۱۶۳

احیا بذر زوال یافته ذرت شیرین (*Zea mays* var. Saccharata) رقم بیسین با پیش‌تیمار توسط اسید الاژیک، جیبرلین و نیترات پتاسیم

کامران قره‌بیگی توابع[۱]، حمیدرضا بلوچی[۲*]، محسن موحدی دهنوی[۲]، علی مرادی[۳]، فاطمه ابراهیمی[۴]

چکیده مبسوط

مقدمه: بنیه ضعیف گیاهچه یکی از مشکلات اصلی در کشاورزی است که قابلیت جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه را کاهش داده و به‌طور مستقیم بر استقرار و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد. استفاده از روش‌های پیش‌تیمار بذر با مواد شیمیایی و تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر در تقویت بنیه گیاهچه و بهبود صفات بیوشیمیایی و جوانه‌زنی بذر مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه، تقویت بنیه گیاهچه‌های ذرت شیرین به کمک پیش‌تیمارهای اسید الاژیک، جیبرلین و نیترات پتاسیم تحت آزمون پیری تسریع شده بررسی شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در آزمایشگاه فناوری بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال ۱۴۰۳ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو عامل صورت گرفت. فاکتور اول پیری تسریع شده بذر در دو سطح (زوال و بدون زوال) و فاکتور دوم پیش‌تیمار بذر در ۸ سطح (بدون پیش‌تیمار، پیش‌تیمار با آب مقطر، اسید الاژیک در دو سطح (۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، جیبرلین در دو سطح (۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) و نیترات پتاسیم در دو سطح (۱۵ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) بود. در نهایت صفات بیوشیمیایی و جوانه‌زنی بذرها اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که زوال بذر به‌طور معنی‌داری منجر به کاهش خصوصیات جوانه‌زنی شامل درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه شد. همچنین، شاخص‌های بیوشیمیایی نظیر محتوای قندهای محلول و فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز تحت تأثیر منفی زوال کاهش یافتند. از سوی دیگر، زوال بذر موجب افزایش محتوای پرولین، مالون دی‌آلدهید و فعالیت آنزیم پراکسیداز گردید که نشان‌دهنده تشدید تنش اکسیداتیو در شرایط زوال است. پیش‌تیمار بذرهای زوال‌یافته با اسید الاژیک، جیبرلین و نیترات پتاسیم تأثیر مثبتی در بهبود خصوصیات جوانه‌زنی و شاخص‌های بیوشیمیایی داشت. به‌طور خاص، غلظت‌های ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید الاژیک، ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلین و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نیترات پتاسیم مؤثرترین پیش‌تیمارها بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که پیش‌تیمار بذرهای زوال‌یافته ذرت شیرین رقم بیسین با اسید الاژیک، جیبرلین و نیترات پتاسیم موجب بهبود قابل توجه جوانه‌زنی و شاخص‌های بیوشیمیایی شد. این تیمارها با کاهش اثرات منفی زوال بذر، به تقویت بنیه و استقرار گیاهچه‌ها کمک کردند. بنابراین، این پیش‌تیمارها می‌توانند به‌عنوان روشی مؤثر برای بهبود کیفیت بذرهای رقم بیسین در شرایط مختلف زراعی پیشنهاد شوند.

واژه‌های کلیدی: آلفا آمیلاز، بنیه بذر، پیش‌تیمار بذر، درصد جوانه‌زنی، ذرت شیرین.

جنبه‌های نوآوری:

۱- زوال بذر منجر به افزایش شاخص‌های بیوشیمیایی از قبیل محتوای پرولین بذر، فعالیت آنزیم پراکسیداز و محتوای مالون دی‌آلدهید بذر می‌گردد.

۲- بنیه بذر ذرت شیرین رقم بیسین با پیش‌تیمار توسط اسید جیبرلین و اسید الاژیک بهبود می‌یابد.

۳- اثر پیش‌تیمار قبل و بعد از زوال مصنوعی بر قابلیت جوانه‌زنی و بنیه بذر ذرت شیرین رقم بیسین مقایسه و بررسی شد.

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

[۲]استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

[۳]دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

[۴]دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

[*]رایانامه نویسنده مسئول: balouchi@yu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۷؛ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

DOI: 10.61186/yujs.11.2.163

شاپا: ۱۴۸۰-۲۳۸۳ (برخط)؛ ۱۲۵۱-۲۳۸۳ (چاپی)

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

مقدمه

ذرت شیرین (*Zea mays* L. *var* Saccharata) از خانواده غلات، گونه‌ای تغییر شکل‌یافته ژنتیکی از ذرت معمولی می‌باشد که با جهش ایجاد شده در کروموزوم شماره ۴ تولید شده است (وانگ[1] و همکاران، ۲۰۲۲). چنین ویژگی‌هایی باعث ایجاد اختلال در قابلیت‌های حیاتی بذر شده و توانایی انبارداری آن را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، زوال بذر با نگهداری طولانی مدت حتی در شرایط نگهداری مهار شده، رخ می‌دهد و موجب کاهش پتانسیل جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه می‌گردد (روحی[2] و همکاران، ۲۰۲۱). برخی از ارقام ذرت شیرین مانند رقم بیسین به‌دلیل ضعف ویژگی‌های جوانه‌زنی جهت استقرار در خاک با مشکل رو به رو می‌شوند و زوال بذر می‌تواند این خصوصیات را بیشتر تحت تأثیر قرار دهد و اثر منفی بر آن داشته باشد (رویلا[3] و همکاران، ۲۰۲۱؛ بهبود[4] و همکاران، ۲۰۲۴).

در شرایط زوال، بذرها قوه نامیه و بنیه خود که به‌عنوان اولین جزء از کیفیت بذر را از دست می‌دهند و این مسئله موجب کاهش پتانسیل جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه و افزایش حساسیت به انواع تنش‌ها در زمان جوانه‌زنی می‌شود (کوربینو[5] و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین، تغییرات متابولیکی و سلولی برگشت‌ناپذیر مثل کاهش ظرفیت پاداکسیدانی، آسیب غشای پلاسمایی، کاهش ذخیره مواد غذایی و تخریب مواد ژنتیکی در بذرهای زوال‌یافته ظاهر می‌شود (لن[6] و همکاران، ۲۰۲۴). نتایج تحقیقات مختلف نشان داد که زوال بذر باعث کاهش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن خشک گیاهچه، ضریب آلومتری، شاخص‌های بنیه گیاهچه، فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانت بذر و افزایش حساسیت به تنش‌های محیطی در گیاهان مختلف می‌شود (کاپیلان[7]، ۲۰۱۵). سعادت و صدقی[8] (۲۰۲۳) مشاهده نمودند با ایجاد زوال بذر، ضریب آلومتری ذرت کاهش یافت. به‌طوری که بیشترین ضریب آلومتری در شاهد (۰/۹۰۵) و کم‌ترین آن (۰/۸۲۵) در زوال پس از ۱۴ روز بود. کوماری[9] و همکاران (۲۰۱۷) نشان داده‌اند که طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و طول گیاهچه تحت زوال در ذرت کاهش یافت. نتایج حاصل از تحقیقات پژوهشگران، کاهش درصد جوانه‌زنی بذرهای زوال‌یافته را ناشی از تغییرات در فیزیولوژی سلولی بذر از جمله کاهش انتقال مواد تجزیه‌شده از بافت ذخیره‌ای بذر لوبیا چشم بلبلی به محور جنین و کند شدن سنتز ترکیبات شیمیایی در جنین دانسته‌اند (اکبری[10] و همکاران، ۲۰۲۰). طبق گزارش‌های موجود با افزایش سطح زوال بذر در گندم، میزان آلفا و بتا آمیلاز که از آنزیم‌های هیدرولیتیک در فرآیند جوانه‌زنی هستند، کاهش می‌یابد (شیخ‌نواز جاهد[11] و همکاران، ۲۰۲۲). کونگ[12] و همکاران (۲۰۱۵) نیز در تحقیق خود روی گیاه جو دوسر بیان نمودند که افزایش شدت زوال بذر همگام با افزایش محتوای رطوبتی بذرها سبب افزایش محتوای پرولین در بذرهای زوال یافته می‌گردد و پرولین از مرگ برنامه‌ریزی شده‌ی سلول جلوگیری می‌نماید.

با این توضیحات، افزایش کارآیی بذر با استفاده از روش‌های ارتقاءدهنده کارآیی بذر مانند پیش‌تیمار می‌تواند راه رسیدن به استقرار بهتر بذرهای زوال‌یافته را تسهیل کند (اوکورک[13] و همکاران، ۲۰۲۱). پیش تیمار در حقیقت روشی است که قبل از جوانه‌زنی بذر اعمال می‌شود و در آن سطح جذب آب در بذر مهار شده و تا سطحی ادامه می‌یابد که فعالیت‌های اولیه جوانه‌زنی مثل فعال شدن هورمون‌ها، آنزیم‌ها و شکستن بافت‌های ذخیره شده در بذر شروع شده، اما از خروج ریشه‌چه جلوگیری می‌شود (فاضلی نسب[14] و همکاران، ۲۰۲۳). تیمارهای پیش از کاشت بذرها می‌توانند روش‌های مختلفی از قبیل خیساندن در آب، خیساندن در محلول‌های اسمزی و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد و یا مواد جامد اجرا شود (پیری[15] و همکاران، ۲۰۲۱).

[1] Wang
[2] Rouhi
[3] Revilla
[4] Behboud
[5] Corbineau
[6] Lan
[7] Kapilan
[8] Saadat and Sedghi
[9] Kumuri
[10] Akbari
[11] Sheikhnavaz Jahed
[12] Kong
[13] Ocvirk
[14] Fazeli-Nasab
[15] Lara

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

از جمله موادی که می‌تواند در افزایش قدرت جوانه‌زنی بذر ایفای نقش کند، می‌توان به اسید الاژیک اشاره کرد. این ماده، یک ترکیب فعال زیستی است که کاربردهای دارویی و صنعتی بسیاری دارد و دارای خواص متنوعی از جمله خواص پاداکسیدانت می‌باشد. اسید الاژیک پلی‌فنولی طبیعی است که در میوه‌ها از جمله انار، توت‌فرنگی، تمشک و انگور یافت می‌شود (اوتیوگین[1] و همکاران، ۲۰۲۰). اسید الاژیک در گیاهان گیاهان به شکل تانن‌های قابل هیدرولیز که الاژیتانن نامیده می‌شوند، دیده می‌شود. در بین آنتی‌اکسیدانت‌های مختلف، اسید الاژیک با توجه به خصوصیات پلی‌فنولیک آن، یکی از بهترین جاروب‌کننده‌های رادیکال‌های آزاد اکسیژن است (عرب[2] (عرب[2] و همکاران، ۲۰۲۲ a). اسید الاژیک به‌طور مستقیم از طریق مقابله با اثرات تخریبی تنش اکسیدانتی و فعال کردن یا القای سامانه‌های پاداکسیدانی سلول مانند سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز اثرات خود را اعمال می‌نماید (اوتیوگین و همکاران، ۲۰۲۰). جیبرلین نیز از مواد رشد گیاهی است که بیشترین کاربرد مستقیم را در مهار و تسریع جوانه‌زنی دارد. مهار رویش، توسط هورمون جیبرلین بطور عمده از طریق نفوذپذیری غشاء و اثر آن بر سطح اولیه ATP و سطوح انرژی در جنین انجام می‌گیرد که منجر به رویش و جوانه‌زنی می‌شود. یکی از آنزیم‌های مهم و اثرگذار در درصد جوانه‌زنی و سرعت آن، فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز می‌باشد. فعالیت این آنزیم با افزایش هورمون جیبرلین، افزایش یافته که در نتیجه نشاسته بیشتری تجزیه شده و قندها برای تنفس و متابولیسم بیشتر فراهم شده، و می‌تواند یکی از دلایل افزایش درصد جوانه‌زنی توسط هورمون جیبرلین باشد (آرتکا[3]، ۲۰۱۳). نیترات پتاسیم در فرآیندهای متابولیکی بذر مفید است و باعث سنتز زیستی اکسین و شروع رشد جنین می‌شود. نیترات پتاسیم با ایفای نقش در تعادل هورمونی بذر و کاهش مواد بازدارنده رشد مانند اسید آبسیزیک باعث جوانه‌زنی می‌شود. همچنین نیترات پتاسیم به‌عنوان محرکی برای جذب اکسیژن و یا به‌عنوان یک کوفاکتور فیتوکوروم عمل می‌کند و در نهایت موجب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌گردد (مسرت[4] و همکاران، ۲۰۱۴).

قنبری و سعیدی‌پور[5] (۲۰۲۲) گزارش کردند بالاترین درصد نهایی جوانه‌زنی ذرت در پیش‌تیمار با ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلین مشاهده شد که ۲۴ درصد بیشتر از شاهد بود. بیشترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه به‌ترتیب با ۷۳/۹۲ و ۹۷/۱۳ میلی‌متر به تیمار ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلین تعلق داشت. در مطالعه دیگری توسط کایا[6] و همکاران (۲۰۲۰) در ذرت، پیش‌تیمار کیتوزان، اسید سالیسیلیک، اسید جیبرلیک، و اکسید نیتریک باعث بهبود زیست‌توده گیاهی، سرعت جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و عملکرد بالای آن شد. نتایج تحقیق موری[7] و همکاران (۲۰۱۸) روی گندم نشان داد پیش‌تیمار بذر با اسید جیبرلیک موجب افزایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و میانگین جوانه‌زنی روزانه گردید. آن‌ها بیان نمودند که پیش‌تیمار هورمونی می‌تواند منجر به بهبود جوانه‌زنی بذر و درنتیجه استقرار بهتر گیاهچه شود. در تحقیقی روی ذرت مشاهده شد پیش‌تیمار بذر با نیترات پتاسیم موجب بهبود درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها شد. رضایی سوخت آبدانی و رمضانی[8] (۲۰۱۳) طی مطالعه‌ای روی ذرت نتیجه گرفتند بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی، تعداد گیاهچه عادی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه از غلظت ۵ درصد نیترات پتاسیم حاصل شد.

عرب و همکاران (۲۰۲۲b) طی مطالعه‌ای بذرهای سویا را با غلظت‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر اسید الاژیک پیش‌تیمار نمودند و مشاهده کردند کاربرد اسید الاژیک از طریق افزایش دادن فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز موجب افزایش درصد جوانه‌زنی در بذرهای بدون فرسودگی و فرسوده گردید. پیش‌تیمار بذرها با اسید الاژیک موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید و هدایت الکتریکی در بذرها شد. بر اساس نتایج پژوهش

[1] Evtyugin
[2] Arab
[3] Arteca
[4] Massarat
[5] Ghanbari and Saeedipour
[6] Kaya
[7] Moori
[8] Rezai Sokht Abdani and Ramezani

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

انجام شده بیان نمودند می‌توان کاربرد ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید الاژیک را به‌عنوان بهترین غلظت مورد استفاده این ماده معرفی کرد. محققان دریافتند که اسید الاژیک سبب کاهش پراکسیداسیون غشا و کاهش اثرات تنش شوری و افزایش درصد رشد گیاه کلزا گردید (خان[1] و همکاران، ۲۰۱۷). تغییرات جوانه‌زنی و بیوشیمیایی ناشی از پیش‌تیمار بذر با اسیدالاژیک، جیبرلین و نیترات پتاسیم به ندرت در بذرهای زوال‌یافته‌ی ذرت شیرین مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر اسیدالاژیک، جیبرلین و نیترات پتاسیم بر خصوصیات جوانه‌زنی و بیوشیمیایی بذرهای زوال یافته ذرت شیرین بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در آزمایشگاه فناوری بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال ۱۴۰۳ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو عامل صورت گرفت که خصوصیات بیوشیمیایی با سه تکرار و خصوصیات جوانه‌زنی با چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول زوال بذر در دو سطح (بذر زوال یافته و بدون زوال) و فاکتور دوم پیش‌تیمار بذر در ۸ سطح (بدون پیش‌تیمار، پیش‌تیمار با آب مقطر، اسید الاژیک در دو سطح (۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، جیبرلین در دو سطح (۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) و نیترات پتاسیم در دو سطح (۱۵ و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) بود. بذرهای ذرت شیرین هیبرید بیسین از شرکت سمینیس و اسید الاژیک، نیترات پتاسیم و جیبرلین از شرکت سیگما خریداری شدند.

برای ایجاد زوال، ۱۰۰ عدد بذر روی توری‌های فلزی در ظروف مخصوص با دمای ۲±۴۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵ درصد به‌مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند و پس از آن پیش‌تیمار بذر انجام شد (روی[2] و همکاران، ۱۹۹۶). برای اعمال پرایمینگ، بذرها بذرها با هورمون جیبرلین به مدت ۱۲ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس (سعادت و صدقی، ۲۰۲۳)، با نیترات پتاسیم به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۰ درجه سلسیوس (حسن‌زاده کهل سفلی[3]، سفلی[3]، ۲۰۱۴) و با اسید الاژیک به مدت ۶ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس (عرب و همکاران،۲۰۲۲) درون محلول‌ها غوطه‌ور شدند، پس از پیش‌تیمار، بذرها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشک شدند و برای آزمون جوانه‌زنی استاندارد آماده شدند.

به منظور ارزیابی جوانه‌زنی، نمونه‌های ۲۵تایی بذر در هر پتری به روش روی کاغذ، درون ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس، و شرایط تاریکی به‌مدت ۷ روز، بر اساس سطوح تیماری قرار گرفت (ایستا[4]، ۲۰۱۰). بدین منظور بذرهای آغشته‌شده با تیمارهای مورد نظر و آغشته نشده بلافاصله درون پتری‌های ۹۰ میلی‌متری که به میزان ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه شده کشت شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده از روز اول در ساعتی معین صورت گرفت. به هنگام شمارش، بذرهایی جوانه‌زده تلقی شدند که طول ریشه‌چه آن‌ها از ۲ میلی‌متر بیشتر بود (میلر و چپمن[5]، ۱۹۷۸). در پایان دوره ۷ روزه پس از شمارش تعداد بذرهای جوانه‌زده، از هر پتری ۱۰ عدد گیاهچه به صورت تصادفی انتخاب شد و طول ساقه‌چه و طول ریشه‌چه (برحسب میلی‌متر با خط کش) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، نمونه‌ها را درون دستگاه آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده و سپس توزین شدند (اکرمیان[6] و همکاران، ۲۰۰۷). در ادامه صفاتی نظیر درصد جوانه‌زنی (رابطه ۱)، سرعت جوانه‌زنی (رابطه ۲) و شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه (رابطه ۳ و ۴) اندازه‌گیری شدند.

رابطه ۱: درصد جوانه‌زنی (GP) (مگوایر[7]، ۱۹۶۸).

$$GP= (n / N) \times ۱۰۰$$

GP: درصد جوانه‌زنی، n: مجموع کل بذرهای جوانه‌زده در پایان آزمایش، N: کل بذرهای کاشته شده

رابطه۲: سرعت جوانه‌زنی (GR) (مگوایر، ۱۹۶۸)

$$GR=\Sigma\frac{ni}{ti}$$

[1] Khan
[2] Roy
[3] Hassanzadeh Kohl-Sofla
[4] ISTA
[5] Miller and Chapman
[6] Akramian
[7] Maguire

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

ni: تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز، ti: تعداد روزها پس از شروع آزمایش

رابطه ۳: شاخص بنیه طولی گیاهچه SVI (عبدوالبکی و آندرسون[1]، ۱۹۷۳)
(۱۹۶۲).

$$SVI = SL\ (mm) \times GP\ /100$$

SL: طول گیاهچه

رابطه۴: شاخص وزنی بنیه گیاهچه SVW (عبدوالبکی و آندرسون، ۱۹۷۳)

$$SVI = SW\ (mg) \times GP\ /100$$

SW: وزن خشک گیاهچه

شاخص‌های بیوشیمیایی از قبیل محتوای پرولین، محتوای قندهای محلول، فعالیت آنزیم پراکسیداز، محتوای مالون‌دی‌آلدئید و آنزیم آلفا آمیلاز از جنین بذر بعد از آبنوشی بذر و قبل از خروج ریشه‌چه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری قند محلول بذر از روش ایرگوئن[2] و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Shimadzo 54A ساخت ژاپن) قرائت گردید. محتوای پرولین بذر نمونه‌ها با استفاده از روش پاکوئین و لیچازر[3] (۱۹۷۹) اندازه‌گیری شد و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت گردید. برای سنجش محتوای مالون‌دی‌آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپید غشای سلولی از روش هیث و پکر[4] پکر[4] (۱۹۶۸) با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با استفاده از ضریب خاموشی (۱۵۵ $mM^{-1}\ cm^{-1}$) گردید. سنجش آلفا آمیلاز با استفاده از روش بیکر[5] (۱۹۹۱) انجام گرفت و در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت گردید. اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر صورت گرفت (کار و میشرا[6]، ۱۹۷۶). برای محاسبه محتوای پروتئین محلول بذرها از روش برادفورد[7] (۱۹۷۶) استفاده شد. در این روش قرائت قرائت میزان جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر با با دستگاه اسپکتوفتومتر صورت گرفت. تجزیه داده‌ها و محاسبه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و Excel و مقایسه میانگین به روش LSD در سطح ۵ درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان از معنی‌داری اثر زوال، پیش‌تیمار و برهم‌کنش آن‌ها بر شاخص‌های بیوشیمیایی بذر (محتوای قندهای محلول، محتوای مالون دی‌آلدهید و فعالیت پراکسیداز) در ذرت شیرین در سطح احتمال خطای یک درصد دارد. اما برهم‌کنش آن‌ها بر محتوای پرولین و فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز معنی‌دار نگردید (جدول ۱). نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان از معنی‌داری اثر زوال، پیش‌تیمار و برهم‌کنش آن‌ها بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، شاخص بنیه طولی و شاخص بنیه وزنی گیاهچه در سطح احتمال خطای یک درصد دارد. همچنین نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده زوال و پیش‌تیمار در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲).

محتوای قندهای محلول بذر

در بیشتر پیش‌تیمارها زوال بذر موجب کاهش محتوای قندهای محلول بذر در ذرت شیرین شد. بیشترین محتوای قندهای محلول بذر در هر دو شرایط زوال و عدم زوال به ترتیب با میانگین‌های ۱۱۱/۵۳ و ۶۰/۴۰ میلی‌گرم در گرم بافت تر بذر از پیش‌تیمار با ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد (بدون پیش‌تیمار و عدم زوال) به‌ترتیب ۸۵/۳۸ و ۰/۳۹ درصد افزایش نشان داد. همچنین تیمار زوال + ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم

[1] Abdul-Baki and Anderson
[2] Irigoyen
[3] Paquin and Le chasseur
[4] Heath and Packer
[5] Baker
[6] Kar and Mishra
[7] Bradford

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

کم‌ترین محتوای قندهای محلول (۱۵/۵۰ میلی‌گرم در گرم بافت تر بذر) را نشان داد که با تیمار عدم زوال بذر + ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر سطوح زوال بذر و پیش‌تیمار بر برخی از خصوصیات بیوشیمیایی بذر ذرت شیرین

Table 1. Analysis of variance for effect of seed deterioration levels and priming on some biochemical traits of sweet corn seeds

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	محتوای قندهای محلول Soluble sugars content	مالون دی آلدهید Malondialdehyde	فعالیت آنزیم پراکسیداز peroxidase enzyme activity	فعالیت آلفا آمیلاز α-amylase activity	محتوای پرولین Proline content
زوال (A) deterioration (A)	1	4016.85**	53.97**	0.0004**	30.43**	191.20**
پیش‌تیمار (B) priming (B)	7	2321.00**	13.37**	0.0002**	9.33**	49.60**
اثر متقابل A×B Interaction A×B	7	374.43**	7.55 **	0.00004 **	5.10ns	7.64ns
خطا Error	32	47.81	0.40	0.000002	2.34	3.42
ضریب تغییرات (درصد) C. V (%)		13.07	13.83	14.24	17.96	15.52

ns و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد.

ns and ** represent not significant and significant at 1% probability, respectively.

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر سطوح زوال بذر و پیش‌تیمار بر برخی از خصوصیات جوانه‌زنی بذر ذرت شیرین

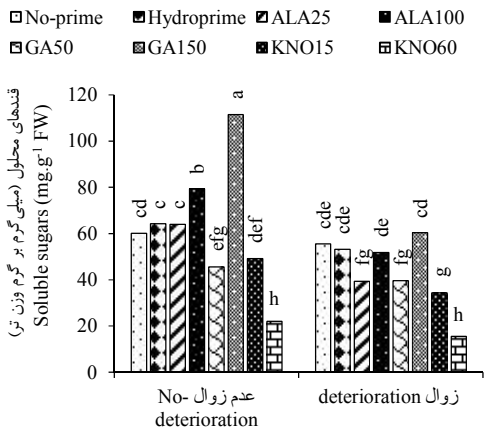
Table 1. Analysis of variance for effect of seed deterioration levels and priming on some germination traits of sweet corn seeds

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ریشه‌چه Root length	طول ساقه‌چه Shoot length	شاخص بنیه طولی گیاهچه Seedling length vigor index	شاخص بنیه وزنی گیاهچه Seedling weight vigor index
زوال (A) Deterioration (A)	1	7766.01**	109.90**	86.46**	27.57**	252.61**	355.84**
پیش‌تیمار (B) Priming (B)	7	452.62**	2.65**	15.44**	1.12**	10.07**	16.74**
اثر متقابل A×B Interaction A×B	7	235.65**	1.78**	3.31**	1.24**	7.02**	6.02**
خطا Error	48	26.17	0.52	0.46	0.36	0.50	0.65
ضریب تغییرات (درصد) C. V (%)		11.92	20.25	11.57	13.44	15.21	11.95

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد.

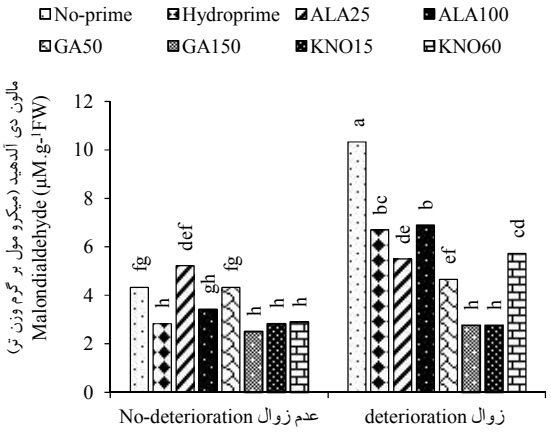
** significant at 1% probability

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]



شکل ۱. مقایسه میانگین برهم‌کنش زوال و پیش‌تیمار برای محتوای قندهای محلول بذر در ذرت شیرین.

Figure 1. Mean comparison of the interaction deterioration and priming for the seed Soluble sugars content in sweet corn.



شکل ۲. مقایسه میانگین برهم‌کنش زوال و پیش‌تیمار برای محتوای مالون دی‌آلدهید بذر در ذرت شیرین.

Figure 2. Mean comparison of the interaction deterioration and priming for the content of seed malondialdehyde content in sweet corn.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.No-prime : بدون پیش‌تیمار، Hydroprime: پیش‌تیمار با آب مقطر؛ ALA25 و ALA100: پیش‌تیمار با ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید الاژیک؛ GA50 و GA150: پیش‌تیمار با ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین؛ KNO15 و KNO60: پیش‌تیمار با ۱۵ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم؛ می‌باشند.

Means that have a common letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test.
No-prime: no priming; Hydroprime: pretreatment with distilled water; ALA25 and ALA100: pretreatment with 25 and 100 mg/L ellagic acid; GA50 and GA150: pretreatment with 50 and 150 mg/L gibberellin; KNO15 and KNO60: pretreatment with 15 and 60 mg/L potassium nitrate.

در سطوح بدون پیش‌تیمار، پیش‌تیمار با آب مقطر، ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلین و ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات پتاسیم اختلاف معنی‌داری بین زوال و عدم زوال ایجاد نشد. بیشترین میزان کاهش محتوای قندهای محلول بذر در شرایط زوال نسبت به عدم زوال نیز در پیش‌تیمار با ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین، ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در اسید الاژیک و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم مشاهده شد که نسبت به یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند (شکل ۱).

کاپور[1] و همکاران (۲۰۱۰) طی مطالعه‌ای بیان نمودند با گذشت زمان و افزایش زوال در بذرهای برنج، بذرها همچنان به انرژی نیاز دارند تا بتوانند فعالیت‌های زیستی حداقلی را حفظ کنند. برای تأمین این انرژی، قندهای محلول تجزیه می‌شوند و در فرآیندهای متابولیکی مانند تنفس مصرف می‌شوند. به دلیل افزایش تنفس و متابولیسم غیرعادی، محتوای قندهای محلول به تدریج کاهش می‌یابد. مشخص شده است زوال بذر با آسیب به ساختارهای سلولی و افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک همراه است که به تجزیه ذخایر قندی منجر می‌شود. این آنزیم‌ها قندهای پیچیده را به قندهای ساده‌تر تجزیه می‌کنند و به مصرف انرژی در بذرهای در حال زوال کمک می‌کنند. همچنین بذرهای زوال‌یافته بیشتر در معرض تولید رادیکال‌های آزاد و تنش اکسیداتیو قرار می‌گیرند. این تنش منجر به تخریب مولکول‌های قندی و آسیب به غشاهای سلولی می‌شود، که در نتیجه موجب کاهش محتوای قندهای محلول می‌گردد (ژانگ[2] و همکاران، ۲۰۲۱). منصوری و امیدی[3] (۲۰۲۲) با مطالعه روی گیاه کینوا مشاهده نمودند که زوال بذر موجب اختلال در عملکرد پروتئین‌ها و آنزیم‌های انتقال‌دهنده مواد می‌شود و محتوای قندهای محلول کاهش می‌یابد. کاهش مقدار قندهای محلول بذر ذرت شیرین می‌تواند حاصل این اختلال و همچنین اختلال در سنتز کربوهیدرات در شرایط زوال باشد. قندهای محلول به‌عنوان محافظت‌کننده‌های اسمزی در تنظیم اسمزی

[1] Kapoor

[2] Zhang
[3] Mansouri and Omidi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

سلول نقش دارند و در پاسخ به تنش‌های محیطی تجمع می‌یابند. این ترکیبات موجب ثبات غشای سلولی و حفظ فشار تورژسانس سلولی در طول تنش می‌شوند (وروکوندا[1] و همکاران، ۲۰۱۶). طی پیش‌تیمار بذر رابطه مثبت و معنی‌داری بین فعالیت آلفا آمیلاز و میزان قند مشاهده شده است که در پیش‌تیمار بذر قبل از کاشت، کربوهیدرات در بذر آماده استفاده برای توسعه سلولی خواهد شد (ماتسوشیما و ساکاگامی[2]، ۲۰۱۳).

در شرایط زوال بذر، کاهش فعالیت آلفا آمیلاز باعث محدود شدن فرآیند هیدرولیز نشاسته شده و در نتیجه محتوای قندهای محلول کاهش پیدا کرده است. از سوی دیگر، جیبرلین در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر توانسته است با تحریک بیشتر فعالیت آلفا آمیلاز، هم محتوای قندهای محلول را افزایش دهد و هم فرآیند جوانه‌زنی را بهبود بخشد. عرب و همکاران (a۲۰۲۲) نشان دادند پیش‌تیمار با اسید الاژیک باعث افزایش محتوای قندهای محلول گیاه سویا نسبت به تیمار شاهد تحت تنش شد. به بیان این محققین اسید الاژیک به عنوان یک پاداکسیدان قوی می‌تواند از تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن جلوگیری کرده و آسیب‌های اکسیداتیو به سلول‌ها را کاهش دهد. این عمل از تخریب غشاهای سلولی و آنزیم‌های حیاتی جلوگیری می‌کند و شرایطی را فراهم می‌آورد که آنزیم‌های متابولیکی، به ویژه آنهایی که در مسیرهای گلیکولیز و سوخت و ساز قندها نقش دارند به طور بهینه عمل کنند. پیش‌تیمار بذر در رفع آسیب اکسیداتیو ناشی از زوال نقش دارد و باعث ترمیم غشاها و پویایی ذخایر قندی و پروتئینی و در نهایت باعث افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی گیاهچه می‌شود. اسید جیبرلیک با افزایش کشش دیواره سلولی یعنی انبساط دیواره از طریق هیدرولیز نشاسته به قند که کاهش پتانسیل آب سلول را به دنبال دارد، باعث ورود آب به درون سلول و طویل شدن سلول می‌شود (شیخ‌نواز جاهد و همکاران، ۲۰۲۲).

نیترات پتاسیم به عنوان منبع نیتروژن و پتاسیم، جذب این عناصر را توسط بذرها افزایش می‌دهد. نیتروژن به عنوان یکی از عناصر ضروری، در ساختار اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها و آنزیم‌های کلیدی شرکت می‌کند. این امر به افزایش فعالیت‌های متابولیکی و سنتز پروتئین کمک می‌کند که منجر به بهبود فرآیندهای متابولیکی مرتبط با تولید قندهای محلول می‌شود (هرناندز[3] و همکاران، ۲۰۲۱).

محتوای مالون دی آلدهید بذر

با ایجاد زوال، محتوای مالون دی‌آلدهید به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و در شرایط زوال با اعمال پیش‌تیمار در تمامی غلظت‌ها از محتوای مالون دی‌آلدهید بذر نسبت به سطح بدون پیش‌تیمار محتوای مالون دی‌آلدهید کاهش یافت. بیشترین محتوای مالون دی‌آلدهید در شرایط زوال با میانگین ۱۰/۳۳ میکرو مول بر گرم وزن تر بذر به تیمار بدون پرایم و در شرایط عدم زوال با میانگین ۵/۲۳ میکرو مول بر گرم وزن تر بذر به پیش‌تیمار با ۲۵ میلی‌گرم در لیتر اسید الاژیک تعلق داشت. همچنین کمترین محتوای آن در شرایط عدم زوال با میانگین ۲/۵۰ میکرو مول بر وزن تر بذر به تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلین و در شرایط زوال با میانگین ۲/۷۶ میکرو مول بر وزن تر بذر به تیمارهای ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم تعلق داشت. در شرایط زوال نیز اختلاف معنی‌داری بین پیش‌تیمارهای ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید الاژیک و پیش‌تیمار با آب مقطر مشاهده نشد (شکل ۲). همچنین با افزایش غلظت جیبرلین از ۵۰ به ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر در هر دو شرایط زوال و عدم زوال، محتوای مالون دی‌آلدهید به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و سبب کاهش تنش اکسیداتیو شد (شکل ۲).

مالون دی‌آلدهید یک شاخص مهم جهت نشان دادن خسارت به غشای سلولی است. بنابراین می‌توان گفت سطح مالون دی‌آلدهید نشان‌دهنده درجه خسارت است. زوال بذر معمولاً با افزایش محتوای مالون دی‌آلدهید همراه است. مالون دی‌آلدهید یک محصول نهایی از

[1] Vurukonda
[2] Matsushima and Sakagami
[3] Hernández

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

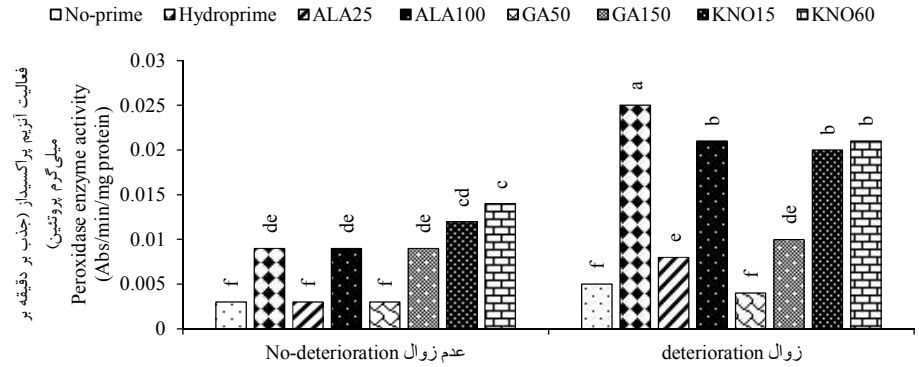
پراکسیداسیون لیپیدها است که به عنوان یک شاخص مهم برای سنجش آسیب اکسیداتیو و یک نشانگر زوال در بذرها شناخته می‌شود. وقتی بذرها تحت شرایط نامساعد یا پیری قرار می‌گیرند، سامانه‌های دفاع پاداکسیدانی آن‌ها ضعیف‌تر می‌شود و در نتیجه پراکسیداسیون لیپیدها افزایش می‌یابد. این فرایند باعث تخریب غشاهای سلولی و تجمع مالون دی‌آلدهید می‌شود، که به طور قابل توجهی با کاهش توانایی جوانه‌زنی و کاهش کیفیت کلی بذرها مرتبط است (کمائی[1] و همکاران، ۲۰۲۴). سعادت و صدقی (۲۰۲۳) مشاهده نمودند با افزایش فرسودگی محتوای مالون دی‌آلدهید بذر ذرت روند افزایشی داشت. کوماری و همکاران (۲۰۱۷) نشان داده‌اند که محتوای مالون دی‌آلدهید گیاهچه تحت پیری در ذرت کاهش یافت. تنظیم‌کننده‌های رشد به‌عنوان پاداکسیدان‌های قوی در گیاه باعث پاکسازی گونه‌های اکسیژن فعال شناخته شده‌اند. عرب و همکاران (a۲۰۲۲) گزارش کردند که پیش‌تیمار بذرهای سویا با اسید الاژیک محتوای مالون دی‌آلدئید را کاهش داد. آن‌ها بیان داشتند که کاهش مالون دی‌آلدهید توسط اسید الاژیک احتمالاً به این دلیل است که اسید الاژیک می‌تواند با کلاته‌کردن یون‌های فلزی یا ترکیب شدن با لیپیدها، اکسیداسیون لیپیدها را کاهش دهد. جان[2] و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی بر گیاه آفتابگردان مشاهده کردند پیش‌تیمار با هر دو غلظت ۰/۱ و ۰/۲درصد اسید جیبرلیک سبب کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید گیاهچه‌ها نسبت به شاهد (بدون پیش‌تیمار) و پیش‌تیمار با آب مقطر شد. همچنین مشخص شد استفاده از نیترات پتاسیم می‌تواند با تأمین نیتروژن و پتاسیم، سامانه پاداکسیدانی گیاه را بهبود بخشد و از پراکسیداسیون لیپیدها جلوگیری کند. این امر به کاهش تولید مالون دی‌آلدهید کمک می‌کند، زیرا پتاسیم نقشی اساسی در تنظیم اسمزی و کاهش اثرات منفی تنش‌های اکسیداتیو دارد و نیتروژن نیز در سنتز پروتئین‌های دفاعی و ترکیبات پاداکسیدانی نقش دارد (رامان[3] و همکاران، ۲۰۲۰).

فعالیت آنزیم پراکسیداز بذر

مقایسه میانگین (شکل ۳) نشان داد که با ایجاد زوال، فعالیت آنزیم پراکسیداز به طور معنی‌داری افزایش یافت. پیش‌تیمار نیز در مقایسه با عدم پیش‌تیمار، در شرایط زوال بذر تأثیر معنی‌داری در افزایش این صفت نشان داد. در شرایط زوال و عدم زوال بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز بذر به‌ترتیب از هیدروپرایمینگ و پیش‌تیمار با ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم حاصل شد که به‌ترتیب نسبت به تیمار شاهد (عدم زوال و عدم پیش‌تیمار) ۷/۳ و ۳/۶ برابر افزایش یافت (شکل ۳). به‌طور کلی در جنبه‌های مختلف فیزیولوژی بذر، گونه‌های فعال اکسیژن تأثیرگذار می‌باشند و آزاد شدن گونه‌های اکسیژن فعال در طی شرایط تنشی چون کاهش دسترسی به آب، زوال بذر در بذرها و گیاهچه‌های آن موجب افزایش پراکسیداسیون چربی و پروتئین‌های غشا و در نهایت باعث تخریب ساختار غشا سلولی می‌شود. در مقابل سلول‌ها برای حفظ بقای خود از ترکیبات پاداکسیدان که از بین‌برنده گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد، بهره می‌برند (سلطانی[4] و همکاران، ۲۰۱۷). بلوچی و استادیان‌بیدگلی[5] (۲۰۱۷) در بررسی ترکیبات پاداکسیدانی بذر کتان روغنی رقم نورمن و توده محلی بزرک قرمز در شرایط زوال کاهش مقادیر شاخص‌های جوانه‌زنی بذرها با افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانی چون کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز را گزارش کردند. در نهایت بر اساس نتایج مقادیر آنزیم پراکسیداز بذر گیاه ذرت شیرین در این مطالعه می‌توان گزارش کرد که روند افزایشی میزان فعالیت این آنزیم در شرایط زوال بذر در جهت کاهش اثرات مخرب زوال بذر این گیاه بود. جهت اثر مثبت پیش‌تیمار با آب مقطر بر فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌توان بیان نمود احتمالاً پیش‌تیمار با آب مقطر با جذب سریع آب به‌عنوان یک محرک عمل می‌کند که یکسری از مؤلفه‌هایی که در نهایت به فعالیت بهتر آنزیم پراکسیداز ختم می‌شود، بهبود می‌بخشد.

[1] Kamaei
[2] Jan
[3] Rhaman
[4] Soltani
[5] Balouchi and Ostadian Bidgoly

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]



شکل ۳. مقایسه میانگین برهم‌کنش زوال و پیش‌تیمار برای فعالیت آنزیم پراکسیداز بذر در ذرت شیرین.

Figure 3. Mean comparison of the interaction deterioration and priming for seed peroxidase enzyme activity in sweet corn.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.No-prime : بدون پیش‌تیمار؛ Hydroprime: پیش‌تیمار با آب مقطر؛ ALA25 و ALA100: پیش‌تیمار با ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید الاژیک؛ GA50 و GA150: پیش‌تیمار با ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین؛ KNO15 و KNO60: پیش‌تیمار با ۱۵ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم می‌باشند.

Means that have a common letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test. No-prime: no priming; Hydroprime: pretreatment with distilled water; ALA25 and ALA100: pretreatment with 25 and 100 mg/L ellagic acid; GA50 and GA150: pretreatment with 50 and 150 mg/L gibberellin; KNO15 and KNO60: pretreatment with 15 and 60 mg/L potassium nitrate.

پیش‌تیمار با آب مقطر باعث تنظیم مجدد متابولیسم سلولی، فعال‌سازی آنزیم‌ها و تحریک مسیرهای پاداکسیدانی می‌شود. این فرآیندها در بذرهای زوال‌یافته که از تجمع رادیکال‌های آزاد و پراکسیداسیون لیپیدها رنج می‌برند، بسیار ضروری است (موهی[1]، ۲۰۱۸).

اسید الاژیک به‌عنوان یک پاداکسیدان قوی می‌تواند فعالیت آنزیم‌های پاداکسیداتیو مانند پراکسیداز را افزایش دهد. این آنزیم‌ها در مقابله با تنش اکسیداتیو و کاهش آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد نقش دارند. اسید الاژیک با تقویت این آنزیم‌ها می‌تواند به حفظ تعادل اکسیداتیو و افزایش مقاومت سلولی کمک کند (عرب و همکاران، b۲۰۲۲). در پژوهش ابوالسود[2] و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده شد استفاده از هیدروپرایمینگ و اسید الاژیک توانست فعالیت آنزیم پراکسیداز را در بذرهای زوال‌یافته نخود بهبود دهد. علت اثر مثبت این تیمارها احتمالاً افزایش پراکسیداز جهت کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید و به‌دنبال آن کاهش هدایت الکتریکی بذرها است. در تحقیق حاضر مشاهده شد که جیبرلین کم‌ترین اثر را بر افزایش فعالیت پراکسیداز نشان داده است. این هورمون بیشتر بر تحریک رشد و تقسیم سلولی تمرکز دارد و تأثیر مستقیم چندانی بر فعال‌سازی سامانه پاداکسیدانی ندارد (رشیدی[3] و همکاران، ۲۰۲۳). نیترات پتاسیم نیز تأثیری قابل توجه، اما کم‌تر از پیش‌تیمار با آب مقطر و پیش‌تیمار با اسید الاژیک در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، داشته است. این ترکیب به دلیل تأمین نیتروژن به‌عنوان پیش‌ساز پروتئین‌ها و پتاسیم به‌عنوان تنظیم‌کننده اسمزی، به حفظ تعادل فیزیولوژیکی و بهبود شرایط کلی بذر کمک می‌کند. اما به دلیل اینکه تأثیر مستقیمی بر حذف رادیکال‌های آزاد ندارد، اثر آن بر افزایش فعالیت پراکسیداز محدودتر بوده است (احمدی[4] و همکاران، ۲۰۲۲).

فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز بذر

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی زوال (شکل ۴)، بیشترین فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز (۹/۳۱ میلی‌گرم مالتوز هیدرولیز شده بر گرم وزن تر بذر) در

[1] Muhei
[2] Abu El Soud
[3] Rashidi
[4] Ahmadi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

شرایط عدم زوال حاصل شد و زوال بذر از کم‌ترین فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز (۷/۷۲ میلی‌گرم مالتوز هیدرولیز شده بر گرم وزن تر بذر) برخوردار بود. طبق گزارش‌های موجود با افزایش سطح فرسودگی بذر در گندم، میزان آلفا و بتا آمیلاز که از آنزیم‌های هیدرولیتیک در فرآیند جوانه‌زنی هستند، کاهش می‌یابند (شیخ‌نواز جاهد و همکاران، ۲۰۲۲). گویندرج[1] و همکاران (۲۰۱۷) عنوان کردند که طی پیری، فعالیت آنزیم‌های مؤثر در تجزیه ذخایر بذر مانند آلفا آمیلاز کاهش می‌یابند که نتایج پژوهش حاضر همسو با آن می‌باشد. طبق نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی غلظت پیش‌تیمار (شکل ۵)، پیش‌تیمار با ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین بیشترین فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز (۱۰/۶۳ میلی‌گرم مالتوز هیدرولیز شده بر گرم وزن تر بذر) را نشان داد و پیش‌تیمار با ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم نیز با میانگین ۶/۹۳ میلی‌گرم مالتوز هیدرولیز شده بر گرم وزن تر بذر کم‌ترین فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز را نشان داد که با ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین در یک گروه آماری قرار گرفت. در این تحقیق، مشخص شد که جیبرلین در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تأثیر را بر افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در بذرهای ذرت شیرین داشته است. این امر نشان‌دهنده نقش حیاتی جیبرلین در تحریک فرآیندهای متابولیکی مرتبط با جوانه‌زنی است. جیبرلین به‌طور مستقیم سنتز آنزیم‌هایی نظیر آلفا آمیلاز را القا می‌کند که موجب تجزیه نشاسته به قندهای ساده شده و انرژی لازم برای رشد جنین را فراهم می‌کند (جان و همکاران، ۲۰۱۹). اثر قابل‌توجه جیبرلین در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به غلظت‌های پایین‌تر، احتمالاً به دلیل تأمین هورمون کافی برای فعال‌سازی مسیرهای زیستی مرتبط است. با این حال، سطوح پایین‌تر جیبرلین مانند ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، به دلیل کمبود هورمون، قادر به تحریک کامل این مسیرها نبوده و عملکرد ضعیف‌تری نشان داده‌اند. از سوی دیگر، پیش‌تیمار با آب مقطر نیز به‌عنوان تیماری که پس از جیبرلین ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بالاترین فعالیت آلفا آمیلاز را القا کرده، به دلیل جذب تدریجی آب و ایجاد شرایط مطلوب برای فعال‌سازی متابولیسم بذر نقش مهمی ایفا کرده است. پیش‌تیمار با آب مقطر از طریق بهبود ساختار سلولی و آماده‌سازی سامانه‌های آنزیمی، فرآیندهای زیستی را تقویت می‌کند (موهی، ۲۰۱۸)، اما به دلیل عدم اثر مستقیم بر سنتز هورمون‌های محرک نظیر جیبرلین، تأثیر آن به‌اندازه جیبرلین قوی نبوده است. از طرف دیگر، اثر محدود پیش‌تیمارهایی نظیر نیترات پتاسیم و غلظت پایین جیبرلین بر فعالیت آلفا آمیلاز احتمالاً به دلیل نقش غیرمستقیم آن‌ها در تحریک سامانه‌های آنزیمی بوده که نیازمند مشارکت سایر مسیرهای زیستی است. در مجموع، این نتایج نشان‌دهنده تأثیر هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد در تسریع فرآیندهای جوانه‌زنی و اهمیت سطح مناسب هورمون یا شرایط بهینه برای بهبود عملکرد بذر است.

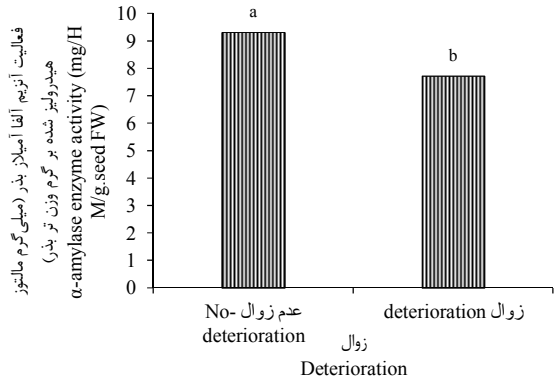
نیترات پتاسیم به‌عنوان منبع نیتروژن و پتاسیم بیشتر بر تأمین مواد غذایی نقش دارد و به‌طور مستقیم در تنظیم آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی مانند آلفا آمیلاز دخالتی ندارد. در غیاب تأثیرات محرک خاص، نیترات پتاسیم ممکن است نتواند مسیرهای پیام‌رسانی مرتبط با سنتز آلفا آمیلاز را فعال کند. در نتیجه، بذرهایی که فقط تحت تأثیر نیترات پتاسیم قرار گرفته‌اند، حتی نسبت به بذرهایی که هیچ پیش‌تیماری نداشته‌اند، ممکن است فعالیت آنزیمی کم‌تری نشان دهند، زیرا تیمارهای طبیعی بدون دخالت عوامل بیرونی، می‌توانند از منابع داخلی و مسیرهای متابولیکی خود بهره بیشتری ببرند. این نتایج اهمیت تعادل و دقت در انتخاب غلظت پیش‌تیمارهای شیمیایی را نشان می‌دهد.

محتوای پرولین بذر

بر اساس مقایسه میانگین اثر اصلی زوال (شکل ۶)، بیشترین محتوای پرولین بذر (۱۳/۹۰ میکرو مول بر گرم بافت تر بذر) در شرایط زوال حاصل شد و تیمار عدم زوال از کم‌ترین محتوای پرولین بذر (۹/۹۱ میکرو مول بر گرم بافت تر بذر) برخوردار بود به طوری که با یکدیگر اختلاف ۴۰/۲۶ درصدی نشان دادند.

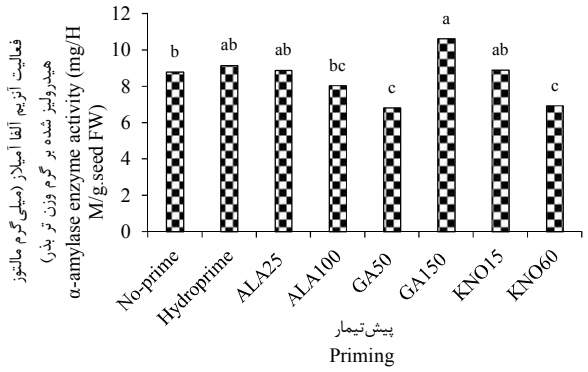
[1] Govindaraj

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]



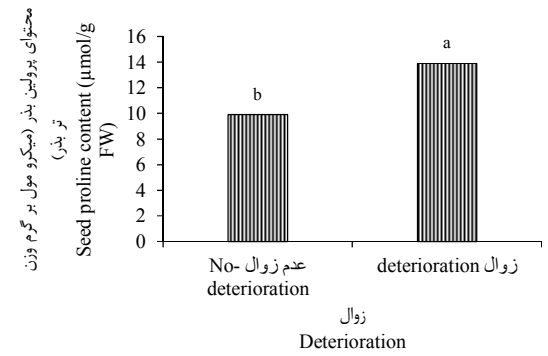
شکل ۴. مقایسه میانگین زوال بذر برای فعالیت آلفا آمیلاز بذر در ذرت شیرین.

Figure 4. Mean comparison of seed derogation for seed α-amylase activity in sweet corn.



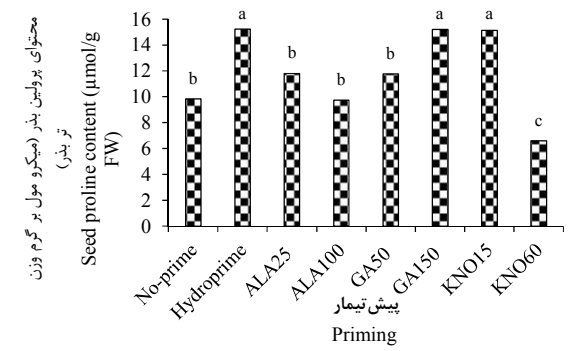
شکل ۵. مقایسه میانگین پیش‌تیمار بذر برای فعالیت آلفا آمیلاز بذر در ذرت شیرین.

Figure 5. Mean comparison of seed priming for seed α-amylase activity in sweet corn.



شکل ۶. مقایسه میانگین زوال بذر برای محتوای پرولین بذر در ذرت شیرین.

Figure 6. mean comparison of seed deterioration for Seed proline content in sweet corn.



شکل ۷. مقایسه میانگین پیش‌تیمار بذر برای محتوای پرولین بذر در ذرت شیرین.

Figure 7. mean comparison of seed priming for Seed proline content in sweet corn.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.No-prime : بدون پیش‌تیمار؛ Hydroprime: پیش‌تیمار با آب مقطر؛ ALA25 و ALA100: پیش‌تیمار با ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید الاژیک؛ GA50 و GA150: پیش‌تیمار با ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین؛ KNO15 و KNO60: پیش‌تیمار با ۱۵ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم؛ می‌باشند.

Means that have a common letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test. No-prime: no priming; Hydroprime: pretreatment with distilled water; ALA25 and ALA100: pretreatment with 25 and 100 mg/L ellagic acid; GA50 and GA150: pretreatment with 50 and 150 mg/L gibberellin; KNO15 and KNO60: pretreatment with 15 and 60 mg/L potassium nitrate.

پرولین یکی از پاداکسیدانت‌های غیرآنزیمی بوده که در شرایط وقوع تنش‌های محیطی در بافت‌های مختلف گیاهی تولید آن افزایش می‌یابد. انباشتگی پرولین ممکن است برای تنظیم اسمزی در سطح سلولی ادامه پیدا کند (افروز[1] و همکاران، ۲۰۲۳). تجمع پرولین در شرایط تنش‌زا باعث افزایش فشار اسمزی درون سلولی می‌شود که خود یکی از سازوکارهای مقاومت به تنش‌های اکسیداتیو در گیاهان است (کوماری و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین اختصاص کربن بیشتر در ساختار آلی و مؤثر در تنظیم اسمزی از جمله پرولین نیز می‌تواند باعث اختلال در کارکردهای عادی گیاه گردد. زوال باعث القای تولید پرولین می‌گردد. محققان پیشنهاد کردندکه پرولین یک قسمت بسیار مهم در

[1] Afrouz

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

واکنش‌های محافظتی در گیاهان در پاسخ به تنش‌ها است که در کاهش اثرات مضر تنش‌ها شرکت می‌کند و فرایندهای ترمیمی را در طول دوره بروز تنش‌های اکسیداتیو تسریع می‌بخشد (کاپیلان، ۲۰۱۵). کونگ و همکاران (۲۰۱۵) نیز در تحقیق خود روی گیاه جو دوسر بیان نمودند که افزایش شدت زوال بذر همگام با افزایش محتوای رطوبتی بذرها سبب افزایش محتوای پرولین در بذرهای زوال یافته می‌گردد و پرولین از مرگ برنامه‌ریزی شده‌ی سلول جلوگیری می‌نماید.

بر اساس مقایسه میانگین اثر اصلی پیش‌تیمار (شکل ۷)، با کاربرد پیش‌تیمار روی بذرهای ذرت شیرین، سطوح هیدروپرایمینگ، غلظت‌های ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم محتوای پرولین بذر را نسبت به تیمار بدون پیش‌تیمار افزایش دادند، اما غلظت‌های ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدالاژیک و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلین با سطح عدم پیش‌تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند. همچنین مشاهده شد کاربرد ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم محتوای پرولین را نسبت به سطح عدم پیش‌تیمار کاهش داد (شکل ۷).

بین سطوح پیش‌تیمار بیشترین محتوای پرولین بذر (۱۵/۲۳ میکرو مول بر گرم بافت تر بذر) از پیش‌تیمار با آب مقطر حاصل شد که با غلظت‌های ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلین و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نیترات پتاسیم اختلاف معنی‌داری ایجاد نکرد. همچنین مشاهده شد کم‌ترین محتوای پرولین بذر (۶/۶۰ میکرو مول بر گرم بافت تر بذر) از غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات پتاسیم حاصل شد که با سایر غلظت‌های پیش‌تیمار اختلاف معنی‌داری ایجاد نمود (شکل ۷).

به‌کارگیری پیش‌تیمار با آب مقطر می‌تواند مصرف متابولیک قندهای محلول را برای شکل‌گیری ساختارهای سلولی جدید فعال سازد که خود به‌عنوان سازوکاری جهت تحریک رشد و سرانجام افزایش تجمع پرولین در بذر موجب کاهش اثرات تخریبی زوال بذر می‌گردد (موهی، ۲۰۱۸). پیش‌تیمار با آب مقطر به دلیل شرایط طبیعی‌تر و تحریک متابولیسم اولیه با جذب آب، بیشترین تأثیر را بر تولید پرولین داشته است. با این حال، جیبرلین در غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و نیترات پتاسیم در غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر به دلیل تنظیم هورمونی و تغذیه‌ای مشابه، اثرات هم‌راستایی با پیش‌تیمار با آب مقطر نشان داده‌اند.

اسیدالاژیک، به‌عنوان یک ترکیب فنولی پاداکسیدانی، می‌تواند با کاهش آسیب‌های اکسیداتیو و بهبود وضعیت پاداکسیدانی گیاه، تجمع پرولین را در شرایط تنش القا کند و میزان آن را افزایش دهد اما در تحقیق حاضر می‌توان بیان نمود که برخلاف تیمارهایی مانند جیبرلین یا نیترات پتاسیم که مستقیماً در مسیرهای بیوشیمیایی مرتبط با سنتز پرولین نقش دارند (مانند تأمین نیتروژن یا تنظیم هورمونی)، اسید الاژیک بیشتر در مسیرهای پاداکسیدانی فعال است و ممکن است تأثیر غیرمستقیمی بر سنتز پرولین داشته باشد (خان و همکاران، ۲۰۱۷).

افزایش میزان پرولین با ایجاد زوال به‌دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن در ارتباط با ساخت ترکیب‌هایی مانند پرولین می‌باشد، لذا ثابت شده است که کاربرد اسید جیبرلیک و جذب سلولی آن از طریق تحریک و افزایش تبدیل گلوتامات (آنزیم سنتزکننده پرولین) به پرولین موجب افزایش میزان پرولین درونی شده و در نتیجه باعث می‌شود که گیاه در برابر تنش محیطی تحمل نشان دهد (خان و همکاران، ۲۰۲۰). ملک[1] و همکاران (۲۰۱۹) مشاهده نمودند پیش‌تیمار بذر ذرت با اسید جیبرلیک در شرایط تنش محیطی موجب افزایش محتوای پرولین گردید و از این طریق مقاومت گیاه به تنش افزایش یافت. در تحقیق حاضر نیز احتمالاً غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر توانسته است اثر بیشتری در تبدیل گلوتامات به پرولین داشته باشد و به همین دلیل میزان پرولین را افزایش داده باشد.

نیترات پتاسیم از طریق افزایش محتوای نیتروژن موجود، تولید اسید آمینه‌های مهم مانند گلوتامات را که پیش‌ساز پرولین است، تقویت می‌کند. افزایش دسترسی به نیتروژن باعث تسریع در سنتز پرولین می‌شود، که به گیاه در تحمل تنش‌های محیطی کمک می‌کند (رامان و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهش حاضر مشاهده شد غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم نسبت به غلظت ۶۰

[1] Malek

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم جهت افزایش محتوای پرولین در بذر ذرت شیرین کارآمدتر بود که می‌توان بیان نمود غلظت بالاتر نیترات پتاسیم نتوانسته است اثر افزایشی داشته باشد و لزوماً غلظت بیشتر این ماده موجب افزایش محتوای پرولین نمی‌گردد.

درصد جوانه‌زنی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد در همه پیش تیمارها در شرایط زوال بذر درصد جوانه‌زنی نسبت به شرایط عدم زوال به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین درصد جوانه‌زنی (۷۰ درصد) از تیمار عدم زوال + ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید الاژیک حاصل شد و از تیمار زوال + پیش‌تیمار با آب مقطر کم‌ترین آن (۱۷/۵۰ درصد) حاصل گردید که با یکدیگر اختلاف ۳ برابری نشان دادند (شکل ۸). بطور کلی نتایج مقایسه میانگین نشان از آن دارد که در شرایط عدم زوال کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید الاژیک بیشترین درصد جوانه‌زنی را در ذرت شیرین ایجاد نمود اما در شرایط زوال پیش‌تیمار با جیبرلین بیشترین درصد جوانه‌زنی را نشان داد.

زوال بذر فرآیندی طبیعی و غیرقابل بازگشت است که به تدریج باعث کاهش کیفیت و قابلیت جوانه‌زنی بذرها می‌شود. در این فرآیند، ابتدا سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد و در نهایت تعداد بذرهایی که قادر به جوانه زدن هستند به شدت کاهش می‌یابد و ممکن است به مرگ کامل بذرها بینجامد (بیاتیان[1] و همکاران، ۲۰۲۱). از دلایل اصلی این پدیده می‌توان به تجمع گونه‌های اکسیژن فعال اشاره کرد که به آسیب‌های اکسیداتیو به مولکول‌های زیستی از جمله پروتئین‌ها، لیپیدهای غشایی، mRNA وDNA منجر می‌شود. تخریب لیپیدها به ویژه باعث کاهش یکپارچگی غشاهای سلولی شده و در نتیجه، عملکرد غشا مختل می‌شود. همچنین، کاهش فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدان و تخریب پروتئین‌ها به واسطه اکسیداسیون، منجر به اختلال در متابولیسم بذرها می‌شود. علاوه بر این، افت در فعالیت آنزیمی و ناتوانی در ترمیم آسیب‌ها نیز از عوامل مؤثر بر کاهش درصد جوانه‌زنی است (رستگار[2] و همکاران، ۲۰۱۱).

در پژوهش حاضر کاهش درصد جوانه‌زنی در بذرهای زوال‌یافته با کاهش فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز (شکل ۴) ارتباط دارد. پژوهشگران کاهش درصد جوانه‌زنی بذرهای زوال‌یافته را ناشی از تغییرات در فیزیولوژی سلولی بذر از جمله کاهش انتقال مواد تجزیه‌شده از بافت ذخیره‌ای بذر لوبیا چشم بلبلی به محور جنین و کند شدن سنتز ترکیبات شیمیایی در جنین دانسته‌اند (اکبری و همکاران، ۲۰۲۰).

اسید الاژیک ویژگی آنتی‌اکسیدانت دارد و با توجه به بروز تنش اکسیداتیو بذرها در شرایط زوال، پیش‌تیمار بذر با اسید الاژیک ممکن است در کاهش آسیب ناشی از تنش اکسیداتیو و به ویژه پراکسیداسیون لیپیدها مؤثر بوده باشد (ابوالسود و همکاران، ۲۰۱۳). اسید جیبرلیک در موقع جوانه‌زنی باعث القای آنزیم آلفا آمیلاز می‌گردد که این خود منجر به هیدرولیز نشاسته به قند می‌شود و برای فراهم نمودن انرژی مورد نیاز برای عمل جوانه‌زنی لازم است (لطفی اصل گیگلو[3] و همکاران، ۲۰۲۰). در نتیجه‌ی ایجاد این تغییرات، آنزیم‌های سنتز شده به آندوسپرم انتقال یافته و سبب تجزیه غذای ذخیره‌ای و تأمین انرژی لازم برای جوانه‌زنی و رشد می‌شوند. صدقی[4] و همکاران (۲۰۱۸) نتیجه‌گرفتند پیش‌تیمار بذر استویا با اسید جیبرلیک درصد جوانه‌زنی را ۴۰ درصد افزایش داد.

نیترات پتاسیم نیز می‌تواند به‌عنوان یک محرک برای جوانه‌زنی عمل کند. این ترکیب به افزایش جذب آب و تحریک فعالیت آنزیمی کمک می‌کند و در نتیجه، جوانه‌زنی بهبود می‌یابد. نیترات پتاسیم اغلب برای بذرهایی که نیاز به پیش‌تیمار دارند، به کار می‌رود و می‌تواند مقاومت بذرها را در برابر شرایط نامساعد محیطی افزایش دهد (دن[5] و همکاران، ۲۰۲۲). در تحقیقی روی ذرت مشاهده شد پیش‌تیمار بذر با نیترات پتاسیم موجب بهبود درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها شد. با توجه به نتایج مشاهده شده، بذرهای تیمار شده

[1] Bayatian

[2] Rastegar
[3] Lotfi Asle Giglo
[4] Sedghi
[5] Den

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

با نیترات پتاسیم بهترین و مؤثرترین تیمار جهت بهبود درصد جوانه‌زنی بود (مسرت و همکاران، ۲۰۱۳). استفاده از اسید الاژیک، جیبرلین، و نیترات پتاسیم می‌تواند بهبود قابل توجهی در درصد جوانه‌زنی بذرها ایجاد کند. هر کدام از این عوامل با سازوکارهای مختلفی باعث افزایش توانایی بذرها در شروع رشد می‌شوند. در پژوهش حاضر استفاده از پیش‌تیمار با اسید الاژیک، جیبرلین و نیترات پتاسیم توانست درصد جوانه‌زنی را در بذرهای زوال‌یافته و زوال‌نیافته بهبود دهد. علت اثر مثبت این تیمارها احتمالاً کاهش محتوای مالون دی‌آلدهید (شکل ۲) و به دنبال آن افزایش محتوای پرولین بذرها (شکل ۷) است.

اینکه جیبرلین ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، اسید الاژیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و پیش‌تیمار با آب مقطر باوجود اثرات مثبت بر خصوصیات بیوشیمیایی، نتوانسته‌اند درصد جوانه‌زنی را در شرایط زوال حفظ کنند، می‌تواند به دلیل محدودیت‌های آن‌ها در مقابله با آسیب‌های فیزیکی و ساختاری ایجادشده توسط زوال بذر باشد. زوال بذر اغلب باعث تخریب غشای سلولی، اکسیداسیون پروتئین‌ها و لیپیدها، و کاهش یکپارچگی ساختارهای حیاتی می‌شود. این آسیب‌ها ممکن است به حدی شدید باشند که حتی افزایش فعالیت بیوشیمیایی و آنزیمی نتواند به‌طور کامل عملکرد طبیعی بذر را بازیابی کند.

برای جیبرلین، اگرچه این هورمون باعث تحریک رشد و فعال‌سازی آنزیم‌هایی مانند آلفا آمیلاز می‌شود، اما نمی‌تواند اثرات تخریبی ناشی از زوال شدید بر غشاها و اندامک‌های سلولی را جبران کند. همچنین، سطح بالای جیبرلین ممکن است باعث رشد بیش‌ازحد جنین شده و در صورت وجود محدودیت‌های فیزیکی ناشی از زوال، فرآیند جوانه‌زنی را مختل کند.

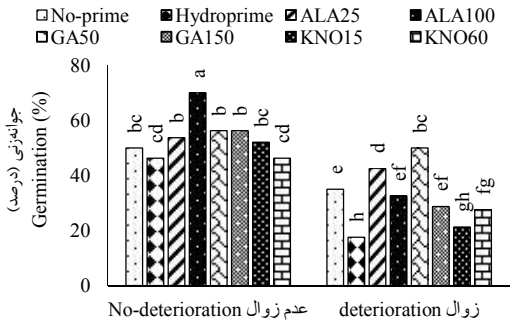
در مجموع، این تیمارها اگرچه خصوصیات بیوشیمیایی را بهبود داده‌اند، اما محدودیت آن‌ها در مقابله با آسیب‌های ساختاری ناشی از زوال، مانع از حفظ درصد بالای جوانه‌زنی شده است. این مسئله نشان می‌دهد که برای مقابله با زوال شدید، علاوه بر بهبود فعالیت بیوشیمیایی، نیاز به راهکارهایی برای بازسازی ساختارهای فیزیکی و محافظت از یکپارچگی سلولی وجود دارد.

اینکه پیش‌تیمار با آب مقطر نسبت به تیمار عدم پیش‌تیمار درصد جوانه‌زنی کم‌تری در هر دو شرایط زوال و عدم زوال نشان داده، می‌تواند به اثرات منفی مرتبط با جذب بیش‌ازحد یا نامتعادل آب و القای برخی فرآیندهای زیان‌آور در بذر مرتبط باشد. در پیش‌تیمار با آب مقطر، بذرها تحت شرایط رطوبت بالا قرار می‌گیرند که ممکن است باعث جذب سریع و بیش‌ازحد آب شود. این وضعیت می‌تواند تعادل فشار اسمزی سلول‌ها را مختل کرده و منجر به ترک‌خوردگی غشاهای سلولی یا آسیب به ساختارهای حیاتی بذر شود. در شرایط زوال، این آسیب بیشتر تشدید می‌شود، زیرا غشاها و ساختارهای سلولی از قبل تحت تأثیر تخریب ناشی از پیری یا اکسیداسیون قرار دارند و کمتر قادر به تنظیم آب هستند.

سرعت جوانه‌زنی

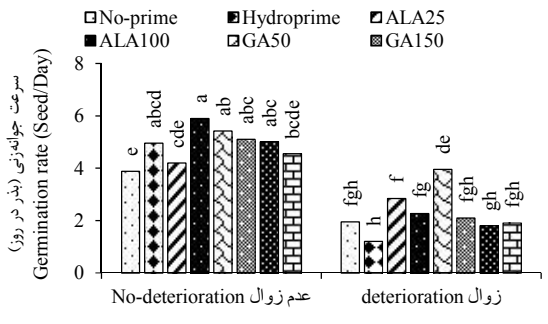
در همه پیش‌تیمارها با ایجاد زوال، سرعت جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و در شرایط زوال با اعمال پیش‌تیمار در غلظت‌های ۲۵ میلی‌گرم در لیتر اسیدالاژیک و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین نسبت به سطح بدون پیش‌تیمار سرعت جوانه‌زنی را افزایش دادند. در شرایط عدم زوال نیز با اعمال پیش‌تیمارهای مختلف نسبت به عدم پیش‌تیمار به سرعت جوانه‌زنی افزوده شد. بیشترین سرعت جوانه‌زنی با میانگین ۵/۹۰ بذر جوانه‌زده در روز به تیمار عدم زوال + پیش‌تیمار با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید الاژیک تعلق داشت و کم‌ترین آن نیز با میانگین ۱/۲۱ بذر جوانه‌زده در روز به تیمار زوال + پیش‌تیمار با آب مقطر تعلق داشت (شکل ۹).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]



شکل ۸. مقایسه میانگین برهم‌کنش زوال و پیش‌تیمار برای درصد جوانه‌زنی در ذرت شیرین.

Figure 8. Mean comparison of the interaction deterioration and priming for the germination percentage in sweet corn.



شکل ۹. مقایسه میانگین برهم‌کنش زوال و پیش‌تیمار برای سرعت جوانه‌زنی در ذرت شیرین

Figure 9. Mean comparison of the interaction deterioration and priming for the germination rate in sweet corn.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.No-prime : بدون پیش‌تیمار؛ Hydroprime: پیش‌تیمار با آب مقطر؛ ALA25 و ALA100: پیش‌تیمار با ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید الاژیک؛ GA50 و GA150: پیش‌تیمار با ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین؛ KNO15 و KNO60: پیش‌تیمار با ۱۵ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم؛ می‌باشند.

Means that have a common letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test. No-prime: no priming; Hydroprime: pretreatment with distilled water; ALA25 and ALA100: pretreatment with 25 and 100 mg/L ellagic acid; GA50 and GA150: pretreatment with 50 and 150 mg/L gibberellin; KNO15 and KNO60: pretreatment with 15 and 60 mg/L potassium nitrate.

زوال بذر به مرور زمان باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی می‌شود. این کاهش سرعت ناشی از تغییرات مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در بذرها است. زوال بذر باعث کاهش یکپارچگی غشاهای سلولی می‌شود، که به نوبه خود باعث کاهش توانایی بذر در جذب سریع و مؤثر آب هنگام جوانه‌زنی می‌گردد (پراور[1] و همکاران، ۲۰۲۱). تجمع ROS در بذرهای پیر باعث آسیب اکسیداتیو به DNA، پروتئین‌ها و لیپیدها می‌شود، که توانایی بذر برای شروع سریع فرآیندهای متابولیکی را کاهش می‌دهد. با نگاه به این نتایج، می‌توان نتیجه گرفت که زوال بذر بر صفت جوانه‌زنی اثر کاهنده‌ای‌داشته و این کاهش به‌دلیل اثر رطوبت و حرارت در بذرهای زوال‌یافته بر آنزیم‌هایی بوده که در جوانه‌زنی مؤثرند (غنایی[2]، ۲۰۱۹).

پیش‌تیمار به عنوان یک فناوری جهت افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، بنیه بالا و بهبود عملکرد در گونه‌های زراعی معرفی شده است. ملک و همکاران (۲۰۱۹) طی مطالعه‌ای روی گیاه کلزا مشاهده نمودند پیش‌تیمار با آب مقطر باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی در دماهای مختلف و همچنین سبب تغییر شکل منحنی سرعت جوانه‌زنی در پاسخ به دما، نسبت به بذرهای شاهد شد. اسید الاژیک به عنوان یک پاداکسیدان قوی عمل کرده و از آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن در طول جوانه‌زنی جلوگیری می‌کند. این ویژگی باعث می‌شود که بذرها در شرایط مطلوب‌تر متابولیکی قرار گیرند، و در نتیجه، سرعت فرآیندهای فیزیولوژیکی مرتبط با جوانه‌زنی افزایش یابد و سرعت جوانه‌زنی افزایش یابد (ابوالسود و همکاران، ۲۰۱۳).

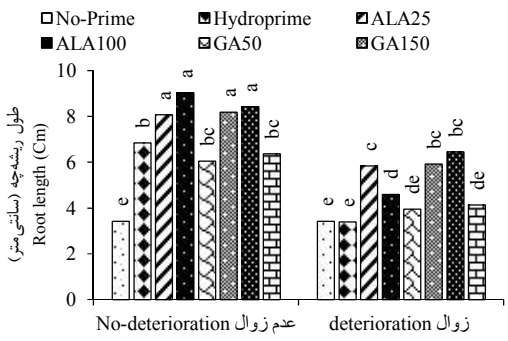
در تحقیق حاضر در شرایط زوال بذر در پیش‌تیمار با آب مقطر کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی ایجاد شد. در بذرهای زوال‌یافته، غشاهای سلولی دچار آسیب شده‌اند و یکپارچگی ساختاری خود را از دست داده‌اند. هنگامی که این بذرها تحت تیمار پیش‌تیمار با آب مقطر قرار می‌گیرند، ممکن است آب به‌سرعت و به‌صورت نامتعادل جذب شود. جذب سریع آب بدون تنظیم مناسب می‌تواند منجر به تورم غیرقابل مهار سلول‌ها و آسیب بیشتر به غشاهای سلولی شود. این وضعیت باعث

[1] Paravar
[2] Ghanaei

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

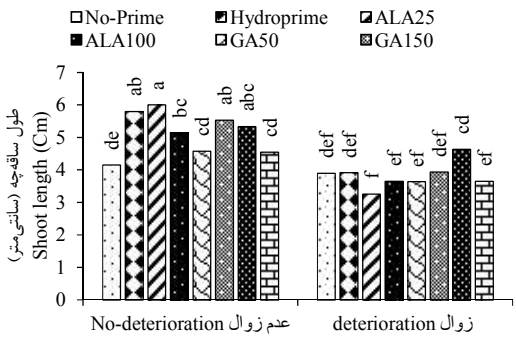
اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی اولیه، مانند فعالیت آنزیم‌های جوانه‌زنی، می‌شود و سرعت جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد. پیش‌تیمار بذر با هورمون جیبرلین از طریق افزایش جذب آب توسط بذر موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌گردد.

در بذرهای پرایم شده، تغییرات بیوشیمیایی به نفع جوانه‌زنی تحقق می‌یابد (لطفی اصل گیگلو و همکاران، ۲۰۲۰). نیترات پتاسیم به تنظیم توازن اسمزی کمک می‌کند، که جذب آب را افزایش می‌دهد و فرآیند جوانه‌زنی را تسریع می‌کند. نیترات نیز به عنوان منبع نیتروژن، محرک تولید آنزیم‌ها و پروتئین‌های ضروری برای رشد بذر است. این ماده با افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در متابولیسم انرژی، روند تقسیم و رشد سلول‌های جنین را سرعت می‌بخشد. همچنین، نیترات پتاسیم می‌تواند تولید هورمون‌های محرک جوانه‌زنی مانند جیبرلین را افزایش دهد، که باعث شکستن خواب بذر و شروع سریع‌تر رشد می‌شود (پیرردا[1] و همکاران، ۲۰۲۳). در همین راستا احمدی و همکاران (۲۰۲۲) مشاهده نمودند نیترات پتاسیم ۰/۳ درصد موجب افزایش میزان مؤلفه‌های جوانه‌زنی همچون درصد جوانه‌زنی (۹۰ درصد) و سرعت جوانه‌زنی (۱۶/۹ بذر در روز) گردید.



شکل ۱۰. مقایسه میانگین برهم‌کنش زوال و پیش‌تیمار برای طول ریشه‌چه در ذرت شیرین.

Figure 10. Mean comparison of the interaction deterioration and priming for the root length in sweet corn.



شکل ۱۱. مقایسه **میانگین** برهم‌کنش زوال و پیش‌تیمار برای طول ساقه‌چه در ذرت شیرین

Figure 11. Mean comparison of the interaction deterioration and priming for the shoot length in sweet corn.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.No-prime : بدون پیش‌تیمار؛ Hydroprime: پیش‌تیمار با آب مقطر؛ ALA25 و ALA100: پیش‌تیمار با ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید الاژیک؛ GA50 و GA150: پیش‌تیمار با ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین؛ KNO15 و KNO60: پیش‌تیمار با ۱۵ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم؛ می‌باشند.

Means that have a common letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test. No-prime: no priming; Hydroprime: pretreatment with distilled water; ALA25 and ALA100: pretreatment with 25 and 100 mg/L ellagic acid; GA50 and GA150: pretreatment with 50 and 150 mg/L gibberellin; KNO15 and KNO60: pretreatment with 15 and 60 mg/L potassium nitrate.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

با ایجاد زوال، طول ریشه‌چه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین طول ریشه‌چه با میانگین ۹/۰۴ سانتی‌متر از تیمار عدم زوال + غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدالاژیک حاصل شد و کم‌ترین آن نیز با میانگین ۳/۴۰ سانتی‌متر به تیمار زوال + پیش‌تیمار با آب مقطر تعلق داشت (شکل ۱۰).

با توجه به نتایج مشاهده می‌شود در غالب پیش‌تیمارها زوال بذر اثر کاهشی بر طول ساقه‌چه داشت و با اعمال پیش‌تیمار طول ساقه‌چه افزایش یافت. بیشترین طول ساقه‌چه با میانگین ۶/۰۱ سانتی‌متر به تیمار عدم زوال + غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر اسیدالاژیک تعلق داشت و کم‌ترین آن نیز با میانگین ۳/۲۶ سانتی‌متر به تیمار زوال + غلظت ۲۵ میلی‌گرم در

[1] Pirredda

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

لیتر اسیدالاژیک تعلق داشت. همچنین مشاهده گردید در شرایط عدم زوال نیز پیش‌تیمار با آب مقطر اثر مثبتی بر طول ساقه‌چه داشت (شکل ۱۱). در شرایط زوال هیچ کدام از پیش‌تیمارها نتوانستند نسبت به پیش‌تیمار با آب مقطر طول ساقه‌چه را افزایش دهند. در شرایط زوال نیز تنها پیش‌تیمار با ۱۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم طول ساقه‌چه را نسبت به پیش‌تیمار با آب مقطر افزایش داد (شکل ۱۱).

زوال بذر معمولاً با آسیب به غشاهای سلولی همراه است. این آسیب می‌تواند باعث افزایش نفوذپذیری غشا و خروج مواد حیاتی از سلول‌ها شود، که تأثیر منفی بر فرایندهای رشد دارد. گیاهچه‌ای که از بذر زوال‌یافته رشد می‌کند، ممکن است توانایی کامل برای جذب آب و مواد غذایی را نداشته باشد، که رشد طولی را محدود می‌کند (راجو[1] و همکاران، ۲۰۰۸). سعادت و صدقی (۲۰۲۳) مشاهده نمودند با افزایش فرسودگی در طول ساقه‌چه و طول ریشه‌چه روند کاهشی بود. به‌طوری که بیشترین طول گیاهچه در شرایط بدون فرسودگی و کم‌ترین آن در فرسودگی ۱۴ روز بود. این محققین بیان نمودند بذرهای زوال‌یافته معمولاً دارای فعالیت آنزیمی کم‌تری هستند. این آنزیم‌ها برای هضم ذخایر غذایی بذر و تأمین مواد لازم برای رشد گیاهچه ضروری هستند. با کاهش فعالیت آنزیمی، فرآیند رشد گیاهچه کندتر شده و طول آن کاهش می‌یابد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در شرایط زوال بذر از فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز کاسته شده است و همین می‌تواند عاملی باشد که در نهایت طول گیاهچه کاهش یافته است.

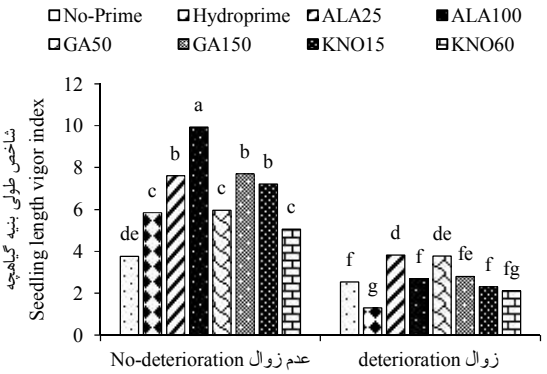
اسید الاژیک با بهبود سامانه دفاع پاداکسیدانی گیاهچه می‌تواند آسیب‌های اکسیداتیو را کاهش داده و فرایندهای متابولیکی را حمایت کند. این موضوع به رشد بهتر و افزایش طول گیاهچه منجر می‌شود (ابوالسود و همکاران، ۲۰۱۳). اسید جیبرلیک از طریق تحریک تقسیم سلولی، طویل شدن سلولی و یا هر دو سازوکار ذکر شده موجب رشد ریشه‌چه می‌شود. اسید جیبرلیک در موقع جوانه‌زنی باعث القای آنزیم آلفا آمیلاز می‌گردد که این خود منجر به هیدرولیز نشاسته به قند می‌شود و برای فراهم نمودن انرژی مورد نیاز برای عمل جوانه‌زنی لازم است و موجب سریع در جوانه‌زنی می‌گردد که تسریع در این مرحله موجب می‌شود گیاهچه زمان کافی برای افزایش طول ریشه‌چه و استفاده بهتر از آب و ... داشته باشد (لطفی اصل گیگلو و همکاران، ۲۰۲۰). صدقی و همکاران (۲۰۱۸) نتیجه‌گرفتند پیش‌تیمار بذر استویا با اسید جیبرلیک موجب افزایش طول ریشه‌چه نسبت به تیمار شاهد شد. نیترات پتاسیم نقش مهمی در تشکیل پروتوپلاسم و سلول‌های جدید ایفا می‌کند و افزایش طول گیاه را تحریک می‌کند. همچنین پتاسیم عنصر ضروری برای سازوکار فیزیولوژیک رشد گیاهی است (منصوری و امیدی، ۲۰۲۲). دن و همکاران (۲۰۲۲) مشاهده نمودند پیش‌تیمار بذرهای آفتابگردان با غلظت ۱۰ میلی‌مولار نیترات پتاسیم موجب افزایش طول گیاهچه گردید.

شاخص بنیه طولی و وزنی گیاهچه

در همه پیش‌تیمارها با ایجاد زوال، شاخص طولی بنیه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و در شرایط زوال با اعمال پیش‌تیمار در غلظت‌های ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسیدالاژیک و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلین نسبت به سطح بدون پرایم شاخص طولی بنیه گیاهچه افزایش یافت. بیشترین شاخص طولی بنیه با میانگین ۹/۹۴ به تیمار عدم زوال + ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدالاژیک تعلق داشت و کم‌ترین آن نیز با میانگین ۱/۳۱ به تیمار زوال + پیش‌تیمار با آب مقطر تعلق داشت. در شرایط زوال تیمارهای ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اسیدالاژیک، ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلین و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نیترات پتاسیم در یک گروه آماری قرار گرفتند. پیش‌تیمار با آب مقطر نیز در شرایط عدم زوال موجب افزایش شاخص طولی بنیه گیاهچه نسبت به عدم پیش‌تیمار گردید اما در شرایط زوال نتوانست نسبت به عدم پیش‌تیمار اثر مثبتی بر شاخص طولی بنیه گیاهچه داشته باشد (شکل ۱۲). احتمالاً علت کاهش شاخص بنیه طولی در پیش‌تیمار با آب مقطر را می‌توان به کاهش درصد جوانه‌زنی (شکل ۸) مرتبط دانست. همچنین با ایجاد زوال، شاخص بنیه وزنی گیاهچه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

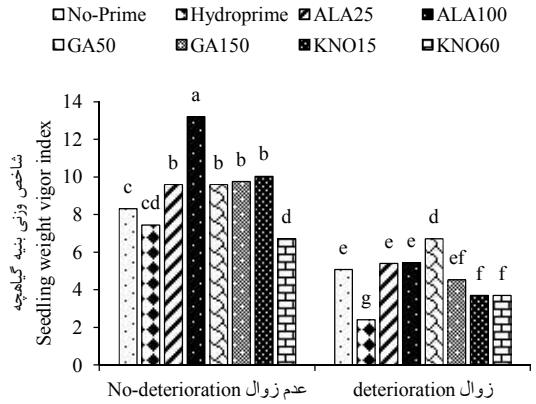
[1] Rajjou

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]



شکل ۱۲: مقایسه میانگین برهم‌کنش زوال و پیش‌تیمار برای شاخص بنیه طولی گیاهچه در ذرت شیرین.

Figure 12: Mean comparison of the interaction deterioration and priming for the Seedling length vigor index in sweet corn.



شکل ۱۳: مقایسه میانگین برهم‌کنش زوال و پیش‌تیمار برای شاخص بنیه وزنی گیاهچه در ذرت شیرین

Figure 13: Mean comparison of the interaction deterioration and priming for the Seedling weight vigor index in sweet corn.

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means that have a common letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test.

No-prime: بدون پیش‌تیمار؛ Hydroprime: پیش‌تیمار با آب مقطر؛ ALA25 و ALA100: پیش‌تیمار با ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید الاژیک؛ GA50 و GA150: پیش‌تیمار با ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین؛ KNO15 و KNO60: پیش‌تیمار با ۱۵ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم؛ می‌باشند.

No-prime: no priming; Hydroprime: pretreatment with distilled water; ALA25 and ALA100: pretreatment with 25 and 100 mg/L ellagic acid; GA50 and GA150: pretreatment with 50 and 150 mg/L gibberellin; KNO15 and KNO60: pretreatment with 15 and 60 mg/L potassium nitrate.

بیشترین شاخص بنیه وزنی گیاهچه با میانگین ۱۳/۲۱ به تیمار عدم زوال + ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدالاژیک تعلق داشت و کم‌ترین آن نیز با میانگین ۲/۴۱ به تیمار زوال + پیش‌تیمار با آب مقطر تعلق داشت که بین آن‌ها اختلاف ۴/۴۸ برابری مشاهده شد (شکل ۱۳). شاخص بنیه طولی از درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه و شاخص بنیه وزنی از درصد جوانه‌زنی و وزن گیاهچه حاصل می‌گردد. بهبود این صفات باعث بالا بردن بنیه بذر می‌شود. زوال بذر به‌دلیل القای تنش اکسیداتیو و تجمع مقدار زیادی گونه اکسیژن فعال در سلول گیاهان، باعث پراکسیداسیون لیپید در غشاها می‌شود که این امر به نوبه خود افزایش تراوش سلول را طی زوال و به هنگام جذب آب به همراه دارد و به شدت یکنواختی و بنیه بذر را از بین می‌برد و با اختلال در خروج ریشه‌چه بذر، مراحل رشد گیاه را به تأخیر می‌اندازد. همانگونه که در تحقیق حاضر مشاهده می‌شود زوال بذر موجب کاهش درصد جوانه‌زنی (شکل ۸) و سپس کاهش طول گیاهچه (شکل ۱۰ و شکل ۱۱) شد که این نتایج دلیلی بر کاهش شاخص طولی بنیه گیاهچه ذرت شیرین می‌باشد. آقابراتی و مارالیان[1] (۲۰۱۲) گزارش‌کردن با افزایش مدت زوال بنیه بذر کاهش می‌یابد. تسریع پیری موجب آسیب به مواد ذخیره‌ای بذر شده و بر عملکرد میتوکندری از طریق تخریب غشاء تأثیر منفی می‌گذارد که موجب کاهش میزان ATP تشکیل شده در جوانه‌زنی می‌گردد. این مسئله منجر به کاهش جوانه‌زنی می‌شود.

علت افزایش شاخص بنیه گیاهچه تحت پیش‌تیمار می‌تواند مربوط به حرکت ذخایر غذایی، فعالیت و سنتز مجدد بعضی آنزیم‌ها، شروع سنتز مجدد RNA و DNA و رشد سریع جنین بدنبال برطرف شدن موانع جوانه‌زنی در پیش‌تیمار باشد (ماهاجان[2] و همکاران، ۲۰۱۱).

محققان بیان کردند که اسید الاژیک به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد و جوانه‌زنی گیاهان مطرح است و موجب افزایش درصد جوانه‌زنی در بذرها می‌گردد و پس از آن با افزایش طول و وزن گیاهچه موجب بهبود بنیه می‌گردد (پری و سیواسانکاری[3]، ۲۰۰۸). رشید[4] و

[1] Aghabarati and Maralian
[2] Mahajan
[3] Pari and Sivasankari
[4] Rasheed

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که اسید الاژیک از طریق افزایش گلایسین بتائین موجب افزایش درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذرهای گندم بهاره می‌گردد. گلایسین بتائین یک ترکیب آمونیومی چهارگانه از جمله معمول‌ترین محلول‌های سازگار در گیاهان است و نقش مهمی در پاکسازی رادیکال‌های آزاد در گیاهان دارد.

نتایج نشان داده‌اند افزایش بنیه بذر به‌علت توسعه بهبود سازوکار ترمیمی ژنتیکی نیترات پتاسیم روی بذرهای پرایم شده، یا افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده مثل آلفا آمیلاز، و همچنین سنتز DNA، RNA و پروتئین و تولید متابولیت‌های لازم برای جوانه‌زنی است. بهبود شاخص بنیه بذر در اثر پیش‌تیمار با نیترات پتاسیم را نیز می‌توان به بهبود درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نسبت داد (پیری و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج تحقیق موری و همکاران (۲۰۱۹) روی گندم نشان داد پیش‌تیمار بذر با اسید جیبرلیک موجب افزایش درصد جوانه‌زنی و بنیه طولی و وزنی گیاهچه گردید. آن‌ها بیان نمودند که پیش‌تیمار هورمونی می‌تواند منجر به بهبود جوانه‌زنی بذر و متعاقباً استقرار بهتر گیاهچه شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که پیش‌تیمار بذر ذرت شیرین با اسید الاژیک، جیبرلین و نیترات پتاسیم باعث بهبود شاخص‌های بیوشیمیایی (مانند فعالیت آنزیم پراکسیداز، آلفا آمیلاز، محتوای پرولین و محتوای قندهای محلول) و افزایش صفات جوانه‌زنی (از جمله درصد و سرعت جوانه‌زنی) در شرایط زوال بذر گردید. پیش‌تیمارها همچنین با تقویت سامانه دفاع پاداکسیدانی و افزایش محتوای پرولین، توانستند اثرات منفی زوال بذر را کاهش دهند. در میان تیمارهای مورد بررسی، غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید الاژیک، ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر جیبرلین و ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر نیترات پتاسیم بهترین نتایج را از نظر بنیه طولی و وزنی گیاهچه نشان داد و بـرای حصول درصد جوانه‌زنی و استقرار مناسب در رقم بیسین قابل توصیه باشد. این یافته‌ها پیش‌تیمار بذر را به‌عنوان راهکاری مؤثر برای مدیریت زوال بذر و افزایش عملکرد گیاه پیشنهاد می‌کند.

منابع

Abdul-Baki, A. and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. Crop Science, 13(6): 630-633. https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x

Abu El Soud, W., Hegab, M.M., Abdelgavad, H., Zinta, G. and Asard, H. 2013. Ability of ellagic acid to alleviate osmotic stress on chickpea seedlings. Journal of Plant Physiology and Biochemistry, 71(1): 173-183. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.07.007

Afrouz, M., Sayyed, R.Z., Fazeli-Nasab, B., Piri, R., Almalki, W. H. and Fitriatin, B. N. 2023. Seed bio-priming with beneficial *Trichoderma harzianum* alleviates cold stress in maize. PeerJ, 11: e15644. https://doi.org/10.7717/peerj.15644

Aghabarati, A. and Maralian, H. 2012. Acer cineracens boiss seed quality in relation to seed deterioration under accelerated ageing conditions. Natural Ecosystems of Iran, 2(2): 25-35.

Ahmadi, K., Shojaeeyan, A., Omidi, H., Amini Dehaghi, M. and Azadbakht, F. 2022. The effect of salicylic acid and potassium nitrate on germination characteristics, photosynthetic pigments and seedling proline seedlings of two safflower cultivars under salinity stress. Environmental Stresses in Crop Sciences, 15(1): 247-257. [In Persian]

Akbari, M., Baradaran firouzabadi, M., Amerian. M.R. and Farrokhi, N. 2020. Seed pretreatment with cinnamic acid positively affects germination, metabolite leakage, malondialdehyde content and heterotrophic growth of aging cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds. Iranian Journal of Seed Research, 6(2): 163-176. [In Persian] https://doi.org/10.29252/yujs.6.2.163

Akramian, M., Hosseini, A., Kazerooni, M. and Rezvani, M.J. 2007. Effect of seed osmopriming on germination and seedling development of fennel (*Foeniculum vulgare* mill.). Iranian Journal of Field Crop Science, 5(1): 37-46. [In Persian]

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

Arab, S., Baradaran, Firouzabadi, M., Gholami, A. and Haydari, M. 2022a. Effect of priming with Ellagic acid on the seed reserves mobilization and the growth of soybean seedlings under accelerated aging. Iranian Journal of Seed Science and Research, 9(3): 41-55. [In Persian] https://doi.org/10.61186/yujs.9.2.113

Arab, S., Baradaran, Firouzabadi, M., Gholami, A. and Haydari, M. 2022b. the effect of seed treatment and foliar spray with ellagic acid on physiological traits of plants soybean under accelerated aging. Iranian Journal of Field Crops Research, 20(3): 305-317. [In Persian]

Arteca, R.N. 2013. Plant growth substances: principles and applications. Springer Science and Business Media, 332.

Baker, J.E. 1991. Purification and partial characterization of α-Amylase allozymes from the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*. Insect Biochemistry, 21(3): 303- 311. https://doi.org/10.1016/0020-1790(91)90020-F

Balouchi, H. and Ostadian Bidgoly, R. 2017. Effect of seed deterioration on physiological and biochemical traits of oil flax (*Linum usitatissimum* L. Norman var.) seed. Plant Productions, 40(2): 37-52. [In Persian]

Bayatian, N., Nikoumaram, S. and Ansari, O. 2021. The effect of drought stress and seed deterioration on cardinal temperatures of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Environmental Stresses and Crop Sciences, 14(1): 143-155. [In Persian]

Behboud, R., Moradi, A., Piri, R., Dedicova, B., Fazeli-Nasab, B. and Ghorbanpour, M. (2024). Sweet corn (*Zea mays* L.) seed performance enhanced under drought stress by chitosan and minerals coating. BMC Plant Biology, 24(1): 991. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05704-2

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method of quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72: 248-254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999

Corbineau, F. 2024. The effects of storage conditions on seed deterioration and ageing: How to improve seed longevity. Seeds, 3(1): 56-75. https://doi.org/10.3390/seeds3010005

Den, N., Bukhari. S.A. and Rathinasabapathi, B. 2022. Improvement of seed germination and early growth of sunflower under non-lethal heat stress via seed priming with potassium nitrate. Scientia Horticulturae, 18(3): 111-119. https://doi.org/10.2139/ssrn.4299830

Evtyugin, D., Magina, S. and Evtuguin, D. 2020. Recent advances in the production and applications of ellagic acid and its derivatives. A Review. Journal of Molecules 25: 27-45. https://doi.org/10.3390/molecules25122745

Fazeli-Nasab, B., Khajeh, H., Piri, R. and Moradian, Z. 2023. Effect of humic acid on germination characteristics of *Lallemantia royleana* and *Cyamopsis tetragonoloba* under salinity stress. Iranian Journal of Seed Research, 9(2): 51-62. [In Persian] https://doi.org/10.61186/yujs.9.2.51

Ghanaei, p. 2019. The effect of seed deterioration on germination and seedling growth of corn. Journal of Seed Research, 8(4): 49-58. [In Persian]

Ghanbari, A. and Saeedipour, S. 2022. Effect of seed priming hormone on germination characteristics and seedling growth of *Zea mays* L. Iranian Journal of Seed Science and Research, 9(1): 39-49. [In Persian].

Govindaraj, M., P. Masilamani, V. Alex Albert, and M. Bhaskaran. 2017. Role of antioxidants in seed quality. A review Agricultural Revolution, 91(9): 810-830.

Hassanzadeh Kohl-Sofla, S. 2014. The effect of pretreatment on the growth and antioxidant enzyme activity of super sweet corn cultivar Basin under salt stress. Iranian Journal of Plant Ecophysiology Research, 33(1): 21-28. [In Persian]

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

Heath, R. L. and Packer, L. 1968. Photo peroxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics, 125(1): 189-198. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

Hernández, J. A., Díaz-Vivancos, P., Acosta-Motos, J. R. and Barba-Espín, G. 2021. Potassium nitrate treatment is associated with modulation of seed water uptake, antioxidative metabolism, and phytohormone levels of pea seedlings. Seeds, 1(1): 5-15. https://doi.org/10.3390/seeds1010002

Irigoyen J.J., D.W. Emerich and M. Sanchez-Diaz. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum, 84: 55-60. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1992.840109.x

ISTA, International Seed Testing Association. 2010. Seed Vigour. International rules for seed testing. Rules 2010. Chapter 15.

Jan, A.U., Hadi, F., Akbar, F. and Shah, A., 2019. Role of potassium, zinc and gibberellic acid in increasing drought stress tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Pakistan Journal of Botany, 51: 809-815. https://doi.org/10.30848/PJB2019-3(4)

Kamaei, R., Kafi, M., Afshari, R. T., Shafaroudi, S. M. and Nabati, J. 2024. Physiological and molecular changes of onion (*Allium cepa* L.) seeds under different aging conditions. BMC Plant Biology, 24(1): 85. https://doi.org/10.1186/s12870-024-04773-7

Kapilan, R. 2015. Accelerated aging declines the germination characteristics of the maize seeds. Scholars Academic Journal of Biosciences, 3(8): 708-711.

Kapoor, R., Arya, A., Siddiqui, M.A., Amir, A. and Kumar, H. 2010. Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated ageing. Asian Journal of Plant Science, 9(3): 158-162. https://doi.org/10.3923/ajps.2010.158.162

Kar, M. and Mishra. D. 1976. Catalase, Peroxides and poly phenol oxides activities during rice leaf senescence. Plant Physiology, 57: 315-319. https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315

Kaya, C., Ashraf, M., Alyemeni, M.N., Corpas, F.J. and Ahmad, P. 2020. Salicylic acid-induced nitric oxide enhances arsenic toxicity tolerance in maize plants by upregulating the ascorbate-glutathione cycle and glyoxalase system. Journal of Hazardous Materials, 399: 123020. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123020

Khan, A., Nazar, S., Lang, I., Nawaz, H. and Hussain, M.A. 2017. Effect of ellagic acid on growth and physiology of canola (*Brassica napus* L.) under saline conditions. Journal of Plant Interaction, 12(1): 520-525. https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1400122

Kong, L., Huo, H. and Moa, P. 2015. Antioxidant response and related gene expression in aged oat seed. Frontiers Plant Science, 6: 1-9. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00158

Kumuri, N., Kumar, P., Rai Bura, B. and singh, J. 2017. Effect of halo priming and hormonal priming on seed germination and seedling vigor in maize (*Zea mays* L.) seeds. Journal of Pharmacognosy Pyhtochemistry, 6(4): 27-30.

Lan, D., Yu, M., Wang, H. and Zhang, B. 2024. Competitive degradation process based monitoring of steer-by-wire system under unknown degradation features. Measurement Science and Technology, 36(1): 016216. https://doi.org/10.1088/1361-6501/ad8fc0

Lotfi, M., Oveisi, M., Rahimian Mashhadi, H., Pourmorad Kaleibar, B. and Naeimi, M. H. 2020. Effect of chilling time and gibberellic acid treatments on germination thermal parameters of *Eryngium caeruleum*. Iranian Journal of Field Crop Science, 51(1): 91-100.

Maguire, J.D. 1968. Seed dormancy, germination and seedling vigor of some Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) varieties as affected by environmental and endogenous factors. Dissertation. Oregon State University.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

Mahajan, G., Sarlach, R.S., Japinder, S., and Gill, M.S. 2011. Seed priming effects on germination, growth and yield of dry direct -seeded rice. Journal of Crop Improvement, 25(4): 409-417. https://doi.org/10.1080/15427528.2011.576381

Malek, M., Ghaderifar, F., Torabi, B. and Sadeghipour, H. 2019. Response of primed rapeseed (*Brassica napus* L) seeds to different temperatures. Journal of Plant Production Research, 26(2): 215-227. [In Persian]

Mansouri, A. and Omidi, H. 2022. Effect of priming and seed age on germination, photosynthetic pigments, and biochemical content of Quinoa seedling. Journal of Plant Process and Function, 11(50): 243-260. [In Persian]

Massarat, N., Siadat, A., Sharafizadeh, M. and Habibi, B. 2014. The effect of priming on germination and growth of maize hybrid SC704 in drought and salinity stress condition. Plant Ecophysiology, 5(15): 13-25. [In Persian]

Matsushima, K. I. and Sakagami, J. I. 2013. Effects of seed hydropriming on germination and seedling vigor during emergence of rice under different soil moisture conditions. American Journal of Plant Sciences, 4(8): 1584-1593. https://doi.org/10.4236/ajps.2013.48191

Miller, T. and Chapman, S. J. 1978. Germination responses of three forage grasses to different concentration of six salts. Journal of Range Management, 31(2): 123-124. https://doi.org/10.2307/3897659

Moori, S., Eisvand, H. R., Ismaili, A. and Sasani, S. 2018. Effects of seed preparation with gibberellic acid and brassinosteroid on germination indices and physiological traits after accelerated aging. Seed Science and Technology, 7(2): 183-193. [In Persian]

Muhei, S.H. 2018. Seed priming with phytohormones to improve germination under dormant and abiotic stress conditions. Advances in Crop Science and Technology, 6: 403-409. https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000403

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: 400-413. https://doi.org/10.1111/aab.12658

Paquine, R. and P. Lechasseur. 1979. Observations sur une methode dosage la libre dans les de plantes. Canadian Journal of Botany, 57: 1851-1854. https://doi.org/10.1139/b79-233

Paravar, A., Maleki Farahani, S., Adetunji, A.E., Oveisi, M. and Piri, R. 2023. Effects of seed moisture content, temperature, and storage period on various physiological and biochemical parameters of *Lallemantia iberica* Fisch. & CA Mey. Acta Physiologiae Plantarum, 45(9): 1-15. https://doi.org/10.1007/s11738-023-03581-0

Pari, L. and Sivasankari, R. 2008. Effect of ellagic acid on cyclosporine A-induced oxidative damage in the liver of rats. Fundamental and Clinical Pharmacology, 22: 395-401. https://doi.org/10.1111/j.1472-8206.2008.00609.x

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

Piri, R., Moradi, A., Salehi, A. and Balouchi, H.R. 2021. Effect of seed biological pretreatments on germination and seedling growth of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 9(4): 11-26. [In Persian] https://doi.org/10.22034/ijsst.2019.109182.1054

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

Pirredda, M., Fañanás-Pueyo, I., Oñate-Sánchez, L. and Mira, S. 2023. Seed longevity and ageing: a review on physiological and genetic factors with an emphasis on hormonal regulation. Plants, 13(1): 41. https://doi.org/10.3390/plants13010041

Rajjou, L., Lovigny, Y., Groot, S. P. C., Belghazi, M., Job, C. and Job, D. 2008. Proteome-wide characterization of seed aging in Arabidopsis: A comparison between artificial and natural aging protocols. Plant Physiology, 148(2): 620-641. https://doi.org/10.1104/pp.108.123141

Rasheed, R., Ashraf, M.A., Hussain, I., Haider, M.Z., Kanwal, U. and Iqbal, M. 2014. Exogenous proline and glycine betaine mitigate cadmium stress in two genetically different spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Brazilian Journal of Botany, 37: 399-406. https://doi.org/10.1007/s40415-014-0089-7

Rashidi, F., Bagheri, N., Jelodar, N. B. and Kelagar, A. D. 2023. Investigating seed priming by salicylic acid and gibberellin on early maturity, germination and yield components two canola genotypes. Crop Production, 16(1): 99-114. [In Persian]

Rastegar, Z., Sedghi M. and Khomari, S. 2011. Effects of accelerated aging on soybean seed germination indexes at laboratory conditions. Not Science Biology, 3: 126-129. https://doi.org/10.15835/nsb336075

Revilla, P., Anibas, C.M. and Tracy, W.F. 2021. Sweet corn research around the world 2015-2020. Agronomy, 11(3): 534. https://doi.org/10.3390/agronomy11030534

Rezai Sokht Abdani, R. and Ramezani, M. 2013. The effect of osmopriming on some germination characteristics of two-vein single cross 704 corn seeds. Iranian Seed Science and Technology Journal, 2(2): 135-146. [In Persian]

Rhaman, M. S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C. C., Murata, Y. and Hasanuzzaman, M. 2020. Seed priming with phytohormones: an effective approach for the mitigation of abiotic stress. Plants (Basel), 10: 1-17. https://doi.org/10.3390/plants10010037

Rouhi, H.R., Vafaei, M.H., Saman, M. and Shahbodaghloo, A.R. 2021. Study of ascorbic acid priming on germination and biochemical indexes of sheep fescue (*Festuca ovina*) seeds under drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 10(1): 29-42. [In Persian]

Roy, S.K.S., Hamid, A., Giashuddin Miah, M. and Hashem, A. 1996. Seed size variation and its effect on germination and seedling vigour in rice. Journal of Agronomy and Crop Science, 176: 79-82. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1996.tb00449.x

Saadat, H. and Sedghi, M. 2023. The effect of priming and aging on the growth indicators and activity of antioxidant enzymes in hybrid maize single cross 704. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 12(2): 49-63. [In Persian] https://doi.org/10.61186/yujs.10.2.49

Sedghi, M., Sheikh Nawazjahid, P. and Seyed Sharifi, R. 2018. The effect of gibberellic acid and pretreatment on germination and some compounds of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). Plant Process and Function, 7(36): 199-207. [In Persian]

Sheikhnavaz Jahed, P., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Sofalian, O. 2022. Effect of seed priming on germination and seedling characteristics of aged squash seeds under drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 2(9): 31-48. [In Persian]

Soltani, M., Moradi, A., Tavakol Afshari, R. and Balouchi, H. 2017. Effect of different storage conditions on germination and some biochemical characteristics of castor bean (*Ricinus communis*) seed. Iranian Journal of Field Crop Science, 48(1): 91-105. [In Persian]

Vurukonda, S. S. K. P., Vardharajula, S., Shrivastava, M. and SkZ, A. 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiological Research, 184: 13-24. https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]

Wang, B., Yang, R., Ji, Z., Zhang, H., Zheng, W., Zhang, H. and Feng, F. 2022. Evaluation of biochemical and physiological changes in sweet corn seeds under natural aging and artificial accelerated aging. Agronomy, 12: 1028. https://doi.org/10.3390/agronomy12051028

Zhang, K., Zhang, Y., Sun, J., Meng, J. and Tao, J. 2021. Deterioration of orthodox seeds during ageing: Influencing factors, physiological alterations and the role of reactive oxygen species. Plant Physiology and Biochemistry, 158: 475-485. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.031

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-31]