

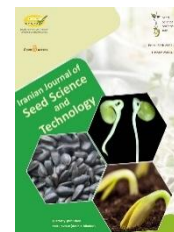


Seed
Science
Society of
Iran



Seed and Plant
Certification and Registration
Institute

Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

Effect of seed priming and drying method in laboratory on germination and some biochemical traits of *Camelina sativa* L. Sohail cultivar under low temperature

Zahra Karami¹, Ali Moradi^{2*} , Hojatollah Latifmanesh³ , Hamid Reza Balochi⁴ 

1. MSc student, Seed Science and Technology, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
2. Associate Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
3. Assistant Prof. Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
4. Professor, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

Article Information

Received: 14 Feb. 2024
Revised: 23 Nov. 2024
Accepted: 13 Jan. 2025

Keywords:

Base temperature,
Camelina,
Drying method,
Salicylic acid,
Seed priming.

Corresponding Author:

amoradi@yu.ac.ir



Abstract

One of the most important problems of camelina in cold regions is the interaction of seed germination stage and establishment with cold stress, the use of seed priming technology can be effective in this regard. This study aimed to investigate the effect of priming and drying methods on germination and some biochemical characteristics of camelina under low temperature, therefore the research was carried out in the Agronomy and Genetics Laboratory of the Faculty of Agriculture of Yasouj University during 2021-2022. A split factorial experiment was conducted in a completely randomized design with four replications in which the main plot consisted of low temperature at four levels (5, 10, 15 and 20 °C), a sub-factor including priming hormone using salicylic acid (0.25, 0.5, 0.75 and 1 mM) and gibberellic acid (at three levels of 50, 100 and 150 mg/L) and drying method for primed seed was done in two levels (rapid and normal method). Based on the results, it was observed that the drying method and priming treatment affected the biochemical and germination parameters of Camellina. In most of the studied temperatures, priming with gibberellic acid with concentrations of 100 and 150 mg/L with slow drying method had the highest proline content and could improve germination indices of Camellia seed. The most effective method was normal (slow) drying method among drying treatments. Based on the results of the experiment, it can be stated that applying priming with hormones while improving the physical characteristics of the Camellia seed, helps germination under optimum conditions and low temperature.

How to cite this paper: Karami, Z., Moradi, A., Latifmanesh, H., & Balochi, H.R. (xxxx). Effect of seed priming and drying method in laboratory on germination and some biochemical traits of *Camelina sativa* L. Sohail cultivar under low temperature. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, xx(x), xx-xx. <https://doi.org/10.22092/IJSST.2025.363417.1500>



© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Seed germination represents a vital and highly sensitive stage in the growth cycle of crop plants. It plays a pivotal role in determining plants' successful establishment and yield potential. However, various abiotic stresses, especially cold stress in cold regions, can hinder germination, causing reduced germination rates, slower seedling growth, and poor stand establishment. Camelina (*Camelina sativa* L.), an oilseed plant from the Brassicaceae family, has gained attention in recent decades for its high tolerance to environmental stresses, including drought and cold, as well as its suitability for growth in low-input agricultural systems. Despite these advantages, camelina's germination is particularly vulnerable to low-temperature stress, limiting its establishment in cold climates. This sensitivity necessitates effective strategies to enhance its resilience during early growth stages.

Seed priming, a pre-sowing treatment involving controlled hydration of seeds, has emerged as an effective method for enhancing seed performance under adverse conditions. By partially hydrating seeds and initiating metabolic activity, priming improves germination speed, uniformity, and seedling vigor. Among priming methods, hormonal priming with salicylic acid (SA) and gibberellic acid (GA) has shown great potential in mitigating the adverse effects of abiotic stresses, including cold stress. SA plays a dual role in reducing oxidative damage by stimulating antioxidant enzyme activity and improving seedling growth under stress conditions. Meanwhile, GA is vital for breaking seed dormancy and promoting cell elongation, division, and seedling development. The present study aims to evaluate the effects of SA and GA priming, combined with two drying methods, on the germination and biochemical properties of camelina seeds under low temperatures.

Materials and Methods

The study was conducted using a split-factorial experimental design within a completely randomized framework, with four replicates. The factors included: 1- Temperature: Four levels (5°C, 10°C, 15°C, and 20°C). 2- Hormonal Priming: Two types of hormones, SA (at 0.25, 0.5, 0.75, and 1 mM) and GA (at 50, 100, and 150 mg/L). 3- Drying Methods: Two levels (rapid drying and slow drying). Prior to the experiment, camelina seeds (cv. "Sohail") were sterilized with 1% sodium hypochlorite and rinsed with distilled water. For priming, seeds were immersed in hormone solutions at 20°C for 8 hours in darkness, followed by drying via rapid or slow methods. Rapid drying involved the use of silica gel in a vacuum chamber, while slow drying occurred at room temperature over 24 hours. Post-drying, seeds were subjected to germination tests at each temperature level, and parameters such as germination percentage, germination rate, proline content, malondialdehyde (MDA) levels, root and shoot lengths were measured.

Results and Discussion

The results demonstrated significant effects of temperature, priming treatments, and drying methods on germination and biochemical traits. These findings highlight the interplay between priming agents, drying techniques, and low-temperature stress on camelina seed performance.

1. Germination Percentage and Rate: At lower temperatures (5°C and 10°C), seed priming with GA (100 and 150 mg/L) showed a pronounced improvement in germination percentage and rate compared to SA-primed and untreated seeds. This suggests GA's role in enhancing enzymatic activity and mobilizing seed reserves under stress conditions. Slow drying of primed seeds consistently resulted in higher germination rates across all temperature levels, likely due to better preservation of seed viability and integrity during drying.

2. Proline Accumulation: Proline, an osmoprotectant, plays a critical role in protecting cellular structures and stabilizing proteins during stress. Seeds primed with GA at 150 mg/L exhibited the highest proline levels, particularly at 5°C, followed by SA at 1 mM under slow drying conditions. These treatments enabled camelina seeds to better withstand oxidative damage and maintain cellular homeostasis under cold stress.

3. Malondialdehyde (MDA) Content: MDA, an indicator of lipid peroxidation, reflects the extent of cellular membrane damage under stress. Seeds primed with SA at lower concentrations (0.25 and 0.5 mM) under rapid drying conditions showed the lowest MDA levels, indicating reduced oxidative damage. Conversely, untreated seeds and those subjected to higher SA concentrations displayed higher MDA levels, underscoring the protective role of optimal priming doses.

4. Root and Shoot Lengths: Seed priming with GA at 150 mg/L significantly enhanced root and shoot lengths across all temperature levels, particularly at 15°C and 20°C. Slow drying further amplified these effects, suggesting that GA priming supports robust seedling growth under stress by promoting cell elongation and division. SA treatments also improved root and shoot lengths but to a lesser extent compared to GA.

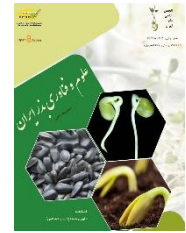
Conclusion

The findings of this study emphasize the effectiveness of hormonal priming, particularly using gibberellic acid (GA), in combination with the slow drying method, for improving the germination and biochemical traits of camelina seeds under low-temperature conditions. Among the tested treatments, priming with GA at higher concentrations (100–150 mg/L) paired with slow drying emerged as the most effective strategy, significantly enhancing germination percentage, rate, and seedling growth while minimizing oxidative damage.

Given these results, the application of GA priming with slow drying is recommended for farmers in cold regions to promote better seedling establishment and resilience against cold stress. This approach can support the successful cultivation of camelina in challenging environments, improving productivity and ensuring crop sustainability. Further field-based studies are necessary to assess the practical implications, scalability, and cost-effectiveness of this method, ensuring its feasibility for large-scale agricultural adoption. Utilizing such advanced seed treatments will enable farmers to address germination challenges effectively and contribute to sustainable agricultural production in cold climates.



نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

تأثیر پرایمینگ و روش خشک کردن بذر در آزمایشگاه بر جوانه‌زنی و برخی صفات بیوشیمیایی کاملینا (*Camelina sativa* L.) رقم سهیل تحت دمای پایینزهرا کریمی^۱، علی مرادی^{۲*}، حجت‌اله لطیف‌منش^۳، حمید رضا بلوچی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
۳. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
۴. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴

واژه‌های کلیدی:

اسید سالیسیلیک،

پیش تیمار کردن بذر،

دمای پایه،

روش خشک کردن،

کاملینا.

نویسنده مسئول:

amoradi@yu.ac.ir

یکی از مهم‌ترین مشکلات کاملینا در مناطق سردسیر، برخورد مرحله جوانه‌زنی بذر و استقرار با تنش سرما می‌باشد، استفاده از فناوری پرایمینگ بذر در این رابطه می‌تواند موثر باشد. با هدف بررسی تأثیر پرایمینگ و روش‌های خشک کردن بذر بر جوانه‌زنی و برخی صفات بیوشیمیایی کاملینا تحت دمای پایین پژوهشی در آزمایشگاه زراعت و ژنتیک دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام گردید. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد که پلات اصلی شامل دمای پایین در چهار سطح (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس)، عامل فرعی شامل هورمون پرایمینگ با استفاده از هورمون‌های اسید سالیسیلیک (در چهار سطح ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌مولار) و اسید جیبرلیک (در سه سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم برلیتر) و روش خشک کردن بذرهای پرایم شده در دو سطح (روش سریع و معمولی) انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده گردید که روش خشک کردن و نیز پیش تیمار پرایمینگ توانست شاخص‌های بیوشیمیایی و جوانه‌زنی کاملینا را تحت تأثیر قرار دهد. در اغلب دماهای مورد بررسی پیش تیمار با اسید جیبرلیک با غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به همراه روش خشک کردن آهسته بیشترین میزان پرولین را داشتند و توانستند باعث بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کاملینا شوند. بیشترین تأثیرگذاری را در میان تیمارهای خشک کردن نیز روش خشک کردن معمولی (آهسته) داشت. بر اساس نتایج آزمایش می‌توان اظهار داشت به کارگیری پیش تیمار با هورمون ضمن بهبود ویژگی‌های فیزیکی بذر کاملینا به جوانه‌زنی در شرایط بهینه و دمای پایین کمک می‌نماید.

نحوه استناد به این مقاله:

Karami, Z., Moradi, A., Latifmanesh, H., & Balochi, H.R. (xxxx). Effect of seed priming and drying method in laboratory on germination and some biochemical traits of *Camelina sativa* L. Sohail cultivar under low temperature. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, xx(x), xx-xx. <https://doi.org/10.22092/IJSST.2025.363417.1500>

مقدمه

می‌اندازد.

یکی از روش‌های مورد استفاده در بهبود جوانه‌زنی بذر در شرایط تنش، استفاده از پیش تیمارهای بذری است که در حالت کلی تحت عنوان پرایمینگ بذر نامیده می‌شوند. این امر می‌تواند سبب بروز تظاهرات زیستی و فیزیولوژیکی متعددی در بذر پرایم شده و گیاه حاصل از آن گردد، به طوری که این موارد را می‌توان در چگونگی جوانه‌زنی، استقرار اولیه گیاه، بهره‌مندی از نهاده‌های محیطی، زودرسی و افزایش کمی و کیفی محصول مشاهده کرد (Siadat et al., 2012). پرایمینگ با محرک‌های آلی در بسیاری از گیاهان باعث کاهش اثرات مضر تنش‌های غیرزیستی و افزایش عملکرد و کیفیت آن‌ها می‌گردد (Sedghi et al., 2010). یکی از این روش‌ها که اخیراً توجه محققین به آن معطوف شده است استفاده از هورمون پرایمینگ (پیش تیمار با برخی تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید جیبرلیک و سالیسیلیک اسید) می‌باشد. سالیسیلیک اسید از طریق سنتز پروتئین در بذر (Lolaei et al., 2022) و در نتیجه افزایش جذب آب باعث تحریک جوانه‌زنی بذر می‌شود (Rajasekaran et al., 2002) و به‌عنوان یک پیام داخلی موجب افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های شوری، خشکی، سرما و گرما می‌شود (Karami et al., 2012). همچنین اسید جیبرلیک در القای جوانه‌زنی (Mousavi Naserabad et al., 2020) و خواب فیزیولوژیک بذر نقش بارزی ایفا می‌کند (Najafi et al., 2006). اسید جیبرلیک یکی از مهم‌ترین جیبرلین‌ها می‌باشد که در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان نظیر فعالیت تقسیم سلولی مناطق مریستم، سرعت و درصد جوانه‌زنی و افزایش رشد گیاهچه‌ای دخالت دارد (Amini et al., 2019).

نتایج پژوهش Malek et al. (2019) روی گیاه روغنی کلزا نشان داد، پرایمینگ تغییرات محسوسی را در دماهای کاردینال ایجاد کرد و باعث کاهش دمای پایه و افزایش دمای سقف شد که تأثیر پرایمینگ روی دمای سقف بیشتر از دمای پایه بود. گزارش‌های متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد هورمون پرایمینگ موجب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌شود از جمله در آفتابگردان استفاده از سالیسیلیک اسید باعث افزایش فعالیت پراکسیداز شده است (Cag et al., 2009).

جوانه‌زنی بذر، به‌عنوان اولین مرحله‌ی رشدی، یکی از حساس‌ترین مراحل زندگی گیاهان زراعی است، به طوری که تأثیر دمای پایین طی جوانه‌زنی می‌تواند سبب کاهش درصد جوانه‌زنی و اختلال در خروج ریشه‌چه بذر در گونه‌های مختلف و ارقام زراعی گردد (Patade et al., 2011 & Bewley & Black, 2012). کاملینا (*Camelina sativa* L.) گیاهی روغنی-دارویی از خانواده براسیکاسه است که در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. آزمایش‌های مختلف نشان داده که این گیاه احتیاج به آب کمتر دارد درحالی که مقاومت به سرمای بیشتری نسبت به سایر گیاهان روغنی بخصوص کانولا دارد. همچنین این گیاه مقاومت بسیار بالایی نسبت به آفات رایج در دانه‌های روغنی مانند سوسک‌های گرده خوار دارد. کاملینا گیاهی یک‌ساله با تیپ رشدی زمستانه یا تابستانه است و ارتفاع آن بین ۳۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر متغیر است. وزن هزار دانه آن از ۰/۸ تا ۲ گرم متغیر است. بذره‌های این گیاه دارای ۳۸ تا ۴۳ درصد روغن و ۲۷ تا ۳۲ درصد پروتئین هستند (Turley, 2014). رقم سهیل اولین رقم معرفی شده از گیاه کاملینا در کشور است. در کاملینا درصد امگا ۳ بیشتر از سایر دانه‌های روغنی به استثنای روغن کتان است، دارای نیاز آبی پایین بوده و می‌تواند در مناطق فقیر و دارای عناصر غذایی کم بخوبی رشد نماید (Raziei et al., 2018).

در گیاهانی که بهار کشت می‌شوند از قبیل کاملینا تنش سرما می‌تواند جوانه‌زنی گیاه را با محدودیت مواجه نماید زیرا مرحله جوانه‌زنی بسیار حساس به سرما است (Russo & Reggiani, 2012). باتوجه به اینکه درجه حرارت مطلوب برای جوانه‌زنی بذر، به طور معمول، دمای بیشتر از ۱۵ درجه سلسیوس است، دمای پایین کمتر از ۱۵ درجه سلسیوس در مرحله جوانه‌زنی، سبب استقرار ضعیف گیاهچه‌ها و مرگ و میر آن‌ها می‌شود (Akhil et al., 2008). تنش سرما به دلیل القای تنش اکسیداتیو و تجمع مقدار زیادی گونه اکسیژن فعال (ROS) در سلول گیاهان، باعث پراکسیداسیون لیپید در غشاها می‌شود که این امر به نوبه خود افزایش تراوش سلول را طی سرمازدگی 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

آزمایش‌های مقدماتی درصد جوانه زنی ۹۹ در صد بود. آزمایش تحت دمای پایین در آزمایشگاه فناوری بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، با چهار تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل دمای پایین در چهار سطح (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس)، عامل فرعی شامل هورمون پرایمینگ با استفاده از هورمون اسید سالیسیلیک (در چهار سطح ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی مولار) و اسید جیبرلیک (در سه سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم برلیتر) و روش خشک کردن بذرهای پرایم شده در دو سطح (روش سریع و معمولی) انجام شد. محلول‌های مختلف اسید سالیسیلیک (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی مولار) تهیه شدند. اسید جیبرلیک در سه سطح (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم برلیتر) تهیه گردید، قبل از شروع آزمایش بذرهای کاملینا با هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی و سپس سه مرتبه با آب مقطر آبشویی شدند (رضسانی و همکاران ۱۳۹۵). برای اعمال پرایمینگ، بذرهای حدوداً به مدت ۸ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۰ درجه سلسیوس درون محلول‌ها قرار گرفتند. پس از اتمام پرایمینگ بذرهای دو روش معمولی و سریع خشک شدند (Bruggink et al., 1999). در روش سریع، بذرهای در ظرف‌های خلاء با استفاده از توری سیمی روی حدوداً ۲۰۰ گرم سلیکاژل قرار گرفتند تا رطوبت بذرهای کاهش یافته و به رطوبت اولیه بذر برسد و در روش معمولی بذرهای روی کاغذ تمیز قرار داده شد و به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. لازم به ذکر است هر دو روش خشک کردن در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) انجام شد. در آزمون جوانه‌زنی استاندارد نمونه‌های بذر در ۴ تکرار به روش روی کاغذ درون پتری با قطر ۹ قرار داده شد و به هر پتری ۶ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و چهار پتری نمونه بذر بدون پرایم به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و در انکوباتور در شرایط تاریکی با دماهای مختلف (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس) به مدت ۷ شبانه روز قرار داده شد و 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 بوده است (Miller & Chapman, 1978). در پایان دوره ۷ روزه پس از شمارش تعداد بذرهای جوانه‌زده، از هر پتری ۱۰ عدد

(Yousef et al., 2021) با بررسی اثر اسید جیبرلیک روی گیاه سرخار گل گزارش دادند پرایمینگ با اسید جیبرلیک موجب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای گردید و همچنین محتوای پروتئین و قندهای محلول را افزایش داد.

وقتی بذرهای خشک آب جذب می‌کنند تا مدتی تحمل به پساایدگی بدون تغییر باقی می‌ماند و بذرهای بدون هیچ آسیبی می‌توانند دوباره خشک شوند؛ اما هنگامی که به بذر اجازه داده شود به مدت طولانی تری آب جذب کند، تحمل به پساایدگی به تدریج کاهش می‌یابد و خشک کردن منجر به ایجاد اثرات مخرب در ساختار بذر می‌گردد (Powell, 2000). برای خشک کردن بذرهای پرایم شده روش‌های متفاوتی پیشنهاد شده است از مرسوم‌ترین این روش‌ها، دو روش خشک کردن سریع و آرام است. در روش سریع رطوبت بذرهای پرایم شده به سرعت و طی مدت زمان کوتاهی کاهش می‌یابد، اما در روش آرام این کاهش رطوبت با سرعت کم‌تری انجام شده و مدت بیش‌تری طول می‌کشد تا بذرهای به رطوبت اولیه خود برسند (Hay & Probert, 1995). Malek et al. (2020) روی گیاه کلزا، نشان دادند که خشک کردن بذرهای پرایم شده در مدت زمان کوتاه (روش خشک کردن سریع) باعث بهبود آثار منفی پرایمینگ می‌شود. تحمل به پساایدگی به عوامل مختلفی مانند محتوای ساکارز، برخی الیگوساکاریدهای خاص، پروتئین‌های محلول و سرعت کاهش رطوبت بستگی دارد (Bewley et al., 2013). یکی از مهم‌ترین مشکلات کاملینا در مناطق سردسیر به‌ویژه در تاریخ‌های کشت نابجا، برخورد مرحله جوانه‌زنی بذر و استقرار با دمای پایین می‌باشد. بنابراین هدف از این تحقیق بررسی تأثیر پرایمینگ و روش خشک کردن بذر بر جوانه‌زنی و برخی صفات بیوشیمیایی کاملینا تحت دمای پایین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به منظور بررسی پرایمینگ و روش خشک کردن بذر بر جوانه‌زنی و برخی صفات بیوشیمیایی کاملینا رقم سهیل که اولین رقم معرفی شده از گیاه کاملینا در کشور است، انجام شد. بذرهای مورد استفاده تولیدی سال ۱۳۹۹ بوده که از مرکز تحقیقات شیراز تهیه شده بودند، میزان جوانه‌زنی بذر در

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان از معنی‌داری اثر سه‌گانه دما، پرایمینگ و روش خشک کردن بر محتوای پرولین، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه در کاملینا در سطح احتمال خطای یک درصد و بر مالون‌دی‌آلدئید در سطح احتمال خطای پنج درصد داشت. در صفت درصد جوانه‌زنی بذر اثر دوگانه دما و پرایمینگ در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱).

محتوای پرولین

نتایج مقایسه میانگین سطوح پرایمینگ و روش خشک کردن در هر سطح دما نشان داد با افزایش دما از محتوای پرولین بذر کاسته شد (جدول ۲-۵). در دمای ۵ درجه سلسیوس بیشترین محتوای پرولین بذر با میانگین ۸۲/۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر از تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار به‌همراه خشک کردن معمولی و کم‌ترین آن نیز از تیمار اسید سالیسیلیک ۰/۲۵ میلی‌مولار به‌همراه روش خشک کردن سریع با میانگین ۳۰/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر حاصل شد که با یکدیگر اختلاف ۲۷۱ درصدی نشان دادند (جدول ۲). نتایج نشان داد در دماهای ۱۰ و ۱۵ درجه سلسیوس بیشترین محتوای پرولین به‌ترتیب از تیمار پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌همراه خشک کردن معمولی و کم‌ترین آن نیز از تیمار اسید سالیسیلیک ۰/۲۵ میلی‌مولار به‌همراه روش خشک کردن سریع حاصل شد (جدول ۳ و ۴). در دمای ۲۰ درجه سلسیوس نیز بیشترین محتوای پرولین از تیمار پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌همراه خشک کردن معمولی و کم‌ترین آن نیز از تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۰/۲۵ میلی‌مولار و روش خشک کردن سریع حاصل شد (جدول ۵).

در تنش‌ها رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابند و باعث بروز تنش اکسیداتیو و آسیب‌زدن به ساختار غشاء سلولی می‌شوند. سلول‌های گیاهی با افزایش آنزیم‌های سرکوب‌کننده رادیکال‌های آزاد و افزایش قندها و پروتئین‌های محلول در آب، در صدد جبران و مقابله با تنش و آسیب‌های وارده می‌شوند؛ و یکی از مهم‌ترین پروتئین‌های محلول در آب که در تعدیل تنش‌های

گیاهچه به صورت تصادفی انتخاب شد. طول گیاهچه (طول ساقه‌چه و ریشه‌چه) با خط‌کش و برحسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. صفاتی از قبیل درصد جوانه‌زنی (رابطه ۱) و سرعت جوانه‌زنی (رابطه ۲) اندازه‌گیری شد.

رابطه (۱): درصد جوانه‌زنی (GP) (Ikic et al., 2012)

$$GP = 100 \times (\text{تعداد کل بذر ها} / \text{تعداد بذر های جوانه زده})$$

GP: درصد جوانه‌زنی، n: مجموع کل بذرهای جوانه‌زده در

پایان آزمایش، N: کل بذرهای کاشته شده

رابطه (۲): سرعت جوانه‌زنی (GR) (Verma et al., 2005)

$$GR = \sum \frac{Ni}{Ti}$$

Ni: تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر روز، Ti: تعداد روزها پس

از شروع آزمایش

برای اندازه‌گیری قند محلول از روش ایریگوئن و همکاران (Irigoyen et al., 1992) استفاده شد و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. محتوای پرولین بذر نمونه‌ها با استفاده از روش پاکوئین و لچازر (Paquin & Le chasseur, 1979) 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 هیت و پاکر (Heath & Packer, 1968) با استفاده از اندازه‌گیری جذب دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی ($155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) محاسبه شد. سنجش پراکسید هیدروژن با استفاده از روش لورتو و ولیکوا (Loreto & Velikova, 2001) انجام و در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۹۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گردید. مقایسه میانگین اثرات اصلی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، در صورت معنی‌دار بودن برهم‌کنش‌ها از رویه L.S.Means برای مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

تنش‌های محیطی است (Queiroz et al., 2016). (Gilmour et al., 1988) گزارش دادند که مقادیر پرولین در آراییدوپسیس و طی شرایط دمای پایین افزایش می‌یابد.

وارده نقش اساسی دارد پرولین است (Mahdavi., 2011). در مجموع می‌توان گفت که نقش اسمولیت‌هایی مانند پرولین محافظت از پروتئین‌ها، غشا و آنزیم‌ها از خسارت‌های ناشی از

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر پرایمینگ و روش خشک کردن بر برخی از صفات بیوشیمیایی و جوانه‌زنی بذر کاملینا تحت دماهای پایین.
Table 1- Variance analysis of the effect of priming and drying method on some biochemical traits and Camelina seeds germination under low temperatures

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F.	محتوای پرولین Proline content	محتوای مالون دی‌آلدئید Malondialdehyde content	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقچه Shoot length
دما Temperature (Temp)	3	4018.38**	0.02**	79.83**	16.03**	12282.65**	192.53**
خطای عامل اصلی Main Error	12	16.09 ^{ns}	0.001 ^{ns}	6.43 ^{ns}	0.002 ^{ns}	20.64 ^{ns}	1.20 ^{ns}
پرایمینگ Priming (Prim)	6	2848.67**	0.01**	19.57**	0.08**	483.61**	20.78**
روش خشک کردن Drying method (Dry. m)	1	5.21 ^{ns}	0.05**	0.75 ^{ns}	1.51**	2.94 ^{ns}	5.84**
دما × پرایمینگ Temp × Prim	18	63.02**	0.002**	12.60**	0.02**	514.37**	9.60**
دما × روش خشک کردن Temp × Dry. M	3	206.68**	0.01**	6.30 ^{ns}	0.17**	2701.40**	20.08**
پرایمینگ × روش خشک کردن Prim × Dry. M	6	1435.98**	0.006**	9.73 ^{ns}	0.04**	368.99**	1.83 ^{ns}
دما × پرایمینگ × روش خشک کردن Temp × Prim × Dry. M	18	52.34**	0.002**	7.58 ^{ns}	0.02**	250.42**	5.77**
خطای آزمایش Error	156	16.33	0.001	5.81	0.008	44.99	1.06
ضریب تغییرات C.V		9.2	10.77	2.45	10.95	14.38	11.88

**، *، ^{ns} به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

**، * and ^{ns} significant at 1 and 5 percent levels of probability and non-significant, respectively

اسید سالیسیلیک یکی از مولکول‌های پیام‌رسان مهم است و باعث بروز عکس‌العمل گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود و مانند یک آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی نقش مهمی را در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک در گیاهان در شرایط تنش ایفا می‌کند (Arfan et al., 2007). با توجه به مطالعات انجام شده توسط

یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر برای کاهش اثرات تنش‌های محیطی روی گیاهان مختلف استفاده شده است کاربرد هورمون پرایمینگ به منظور کاهش خسارت‌های تنش است (Yuan & Lin, 2008). اسید سالیسیلیک به طور مستقیم و غیرمستقیم باعث فعال شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود.

افزایش پرولین به منظور کاهش اثرات تنش می‌گردد. از طرف دیگر ثابت شده است که کاربرد اسید جیبرلیک و جذب سلولی آن از طریق تحریک و افزایش تبدیل گلو تامات (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 (Khan et al., 2020).

Hayata et al. (2010) اسید سالیسیلیک باعث کاهش آثار دمای پایین در گوجه فرنگی و همچنین باعث کاهش اثرات تنش اکسیداتیو در گیاهچه آراییدوبسیس گردید. افزایش میزان پرولین با افزایش تنش دمای پایین، به دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن در ارتباط با ساخت ترکیب‌هایی مانند پرولین می‌باشد، لذا کاربرد اسید جیبرلیک خارجی، به منظور تعدیل تنش در سلول موجب

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف پرایمینگ و روش خشک کردن برای برخی خصوصیات مورد بررسی کاملینا در دمای ۵ درجه سلسیوس

Table 2- Mean comparison of different levels of priming and drying methods for some studied traits of *Camelina* at a temperature of 5 °C.

دما (درجه سلسیوس) Temperature (°C)	روش خشک کردن Drying method	پرایمینگ Priming	محتوای پرولین (میلی گرم بر گرم بذر تر) Proline content (mg g wet seed ⁻¹)	محتوای مالون دی آلدئید (میلی مول بر گرم بذر تر) Malondialdehyde content (mmol g wet seed ⁻¹)	سرعت جوانه‌زنی (بر روز) Germination rate (Day ⁻¹)	طول ریشه‌چه (میلی متر) Root length (mm)	طول ساقه‌چه (میلی متر) Shoot length (mm)
5 °C	سریع	GA50 (mg.L ⁻¹)	50.28 ^f	0.31 ^c	0.41 ^a	29.67 ^a	7.20 ^{ab}
		GA100 (mg.L ⁻¹)	58.48 ^e	0.25 ^d	0.45 ^a	30.55 ^a	7.62 ^{ab}
		GA 150 (mg.L ⁻¹)	50.25 ^h	0.25 ^d	0.40 ^a	29.82 ^a	7.55 ^{ab}
		SA 0.25 (mmol)	30.30 ^k	0.31 ^c	0.34 ^b	23.87 ^a	5.47 ^b
		SA 0.5 (mmol)	37.62 ^j	0.33 ^c	0.30 ^b	24.80 ^a	5.40 ^b
		SA 0.75 (mmol)	43.24 ⁱ	0.34 ^c	0.32 ^b	22.27 ^a	5.25 ^b
		SA 1 (mmol)	51.34 ^g	0.34 ^c	0.34 ^b	24.32 ^a	5.16 ^b
	معمولی	GA50 (mg.L ⁻¹)	67.80 ^d	0.43 ^a	0.32 ^b	27.70 ^a	7.05 ^{ab}
		GA100 (mg.L ⁻¹)	78.27 ^b	0.35 ^b	0.33 ^b	26.75 ^a	7.55 ^{ab}
		GA 150 (mg.L ⁻¹)	58.63 ^e	0.31 ^c	0.34 ^b	29.72 ^a	7.87 ^a
		SA 0.25 (mmol)	43.34 ⁱ	0.37 ^b	0.48 ^a	32.02 ^a	7.07 ^{ab}
		SA 0.5 (mmol)	49.79 ^h	0.36 ^b	0.36 ^b	36.17 ^a	7.17 ^{ab}
		SA 0.75 (mmol)	71.36 ^c	0.40 ^a	0.36 ^b	31.90 ^a	7.55 ^{ab}
		SA 1 (mmol)	82.03 ^a	0.39 ^a	0.34 ^b	28.42 ^a	7.80 ^a

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S.Means انجام شده و در هر سطح دما، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

The mean comparison was performed using the L.S.Means procedure, and at each level of temperature, mean with at least one similar letter did not differ significantly.

مخرب در ساختار بذر می‌گردد (Powell, 2000). به همین دلیل به نظر می‌رسد در شرایط خشک کردن سریع تحمل در پسابیدگی در گیاه افزایش یافته و گیاه نیازی به تولید بیشتر پرولین نداشته است اما در شرایط خشک کردن معمولی با توجه به اثرات مخربی که احتمالاً وجود داشته است بذر نیز برای افزایش مقاومت در خود پرولین بیشتری را تولید نموده است.

وقتی بذرهای خشک آب جذب می‌کنند تا مدتی تحمل به پسابیدگی بدون تغییر باقی می‌ماند و بذرها بدون هیچ آسیبی می‌توانند دوباره خشک شوند؛ اما هنگامی که به بذر اجازه داده شود به طور طولانی تری آب جذب کند، تحمل به پسابیدگی به تدریج کاهش می‌یابد و خشک کردن منجر به ایجاد اثرات

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف پرایمینگ و روش خشک کردن برای برخی خصوصیات مورد بررسی کاملینا در دمای ۱۰ درجه سلسیوس

Table 3- Mean comparison of of different levels of priming and drying methods for some studied traits of Camelina at a temperature of 10°C

دما (درجه سلسیوس) Temperature (°C)	روش خشک کردن Drying method	پرایمینگ Priming	محتوای پروتئین (میلی گرم بر گرم بذر تر) Proline content (mg g wet seed ⁻¹)	محتوای مالون دی آلدئید (میلی مول بر گرم بذر تر) Malondialdehyde content (mmol g wet seed ⁻¹)	سرعت جوانه زنی (بر روز) Germination rate (Day ⁻¹)	طول ریشه ساقه (میلی متر) Root length (mm)	طول ساقه ساقه (میلی متر) Shoot length (mm)
10 °C	سریع	GA50 (mg.L ⁻¹)	36.27 ⁱ	0.28 ^c	0.48 ^e	43.70 ^b	8.10 ^{ab}
		GA100 (mg.L ⁻¹)	42.55 ^f	0.28 ^c	0.50 ^e	60.85 ^a	9.00 ^b
		GA 150 (mg.L ⁻¹)	51.30 ^d	0.29 ^b	0.45 ^f	54.20 ^a	11.42 ^a
		SA 0.25 (mmol)	29.80 ^l	0.37 ^a	0.42 ^g	38.80 ^c	6.10 ^c
		SA 0.5 (mmol)	32.76 ^j	0.31 ^b	0.42 ^g	28.95 ^d	6.80 ^c
		SA 0.75 (mmol)	38.79 ^g	0.29 ^b	0.50 ^d	40.60 ^b	6.65 ^c
		SA 1 (mmol)	42.22 ^f	0.30 ^b	0.42 ^g	30.72 ^c	7.67 ^{bc}
	معمولی	GA50 (mg.L ⁻¹)	46.94 ^e	0.35 ^a	0.73 ^b	58.72 ^a	8.47 ^{ab}
		GA100 (mg.L ⁻¹)	56.56 ^b	0.31 ^b	0.53 ^d	52.57 ^a	7.50 ^{bc}
		GA 150 (mg.L ⁻¹)	69.49 ^a	0.27 ^d	0.84 ^a	59.45 ^a	9.66 ^b
		SA 0.25 (mmol)	32.86 ^j	0.35 ^a	0.61 ^c	43.75 ^b	7.27 ^{bc}
		SA 0.5 (mmol)	37.59 ^h	0.37 ^a	0.48 ^e	44.32 ^b	5.50 ^d
		SA 0.75 (mmol)	46.56 ^e	0.32 ^b	0.48 ^e	48.70 ^b	5.42 ^d
		SA 1 (mmol)	54.18 ^c	0.32 ^b	0.56 ^{cd}	46.25 ^b	5.20 ^d

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S.Means انجام شده و در هر سطح دما، میانگین های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی داری با هم ندارند.

The mean comparison was performed using the L.S.Means procedure, and at each level of temperature, mean with at least one similar letter did not differ significantly.

محتوای مالون دی آلدئید

دی آلدئید از تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی مولار به همراه خشک کردن معمولی و کم ترین آن نیز از تیمار اسید جیبرلیک ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر به همراه خشک کردن معمولی حاصل شد (جدول ۳). در دمای ۱۵ درجه سلسیوس نیز بیشترین محتوای مالون دی آلدئید از تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۰/۲۵ میلی مولار به همراه خشک کردن معمولی و کم ترین آن نیز از تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۰/۷۵ میلی مولار و تیمار اسید جیبرلیک ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر به همراه خشک کردن سریع حاصل شد (جدول ۴). در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بیشترین محتوای مالون دی آلدئید از تیمار اسید سالیسیلیک ۰/۲۵ میلی مولار و روش خشک کردن سریع و کم ترین آن نیز از تیمار اسید جیبرلیک ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر به همراه خشک کردن سریع حاصل شد (جدول ۵).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین سطوح پرایمینگ و روش خشک کردن در هر سطح دما برای میزان مالون دی آلدئید بذر کاملینا نشان داد که در دمای ۵ درجه سلسیوس پرایم کردن بذر با سطوح بالای اسید جیبرلیک موجب کاهش محتوای مالون دی آلدئید در هر دو روش خشک کردن سریع و معمولی شد. در دمای ۵ درجه سلسیوس بیشترین محتوای مالون دی آلدئید بذر با میانگین (۰/۴۳ میلی گرم بر گرم وزن تر بذر) از تیمار پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر به همراه روش خشک کردن معمولی و کم ترین آن نیز از تیمارهای اسید جیبرلیک ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر به همراه روش خشک کردن سریع با میانگین (۰/۲۵ میلی گرم بر لیتر وزن تر بذر) حاصل شد (جدول ۲). در دمای ۱۰ درجه سلسیوس بیشترین محتوای مالون

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف پرایمینگ و روش خشک کردن برای برخی خصوصیات مورد بررسی کاملینا در دمای ۱۵ درجه سلسیوس

Table 4- Mean comparison of of different levels of priming and drying methods for some studied traits of Camelina at a temperature of 15 °C

دما (درجه سلسیوس) Temperature (C°)	روش خشک کردن Drying method	پرایمینگ Priming	محتوای پرولین (میلی گرم بر گرم بذر تر) Proline content (mg g wet seed ⁻¹)	محتوای مالون دی آلدئید (میلی مول بر گرم بذر تر) Malondialdehyde content (mmol g wet seed ⁻¹)	سرعت جوانه‌زنی (بر روز) Germination rate (Day ⁻¹)	طول ریشه‌چه (میلی متر) Root length (mm)	طول ساقچه (میلی متر) Shoot length (mm)
15 °C	سریع	GA50 (mg.L ⁻¹)	29.92 ^m	0.27 ^b	1.58 ^{ab}	54.77 ^c	11.20 ^b
		GA100 (mg.L ⁻¹)	37.94 ^h	0.25 ^c	1.43 ^b	66.52 ^b	9.15 ^c
		GA 150 (mg.L ⁻¹)	48.52 ^d	0.29 ^b	1.85 ^a	80.62 ^a	15.87 ^b
		SA 0.25 (mmol)	25.18 ⁿ	0.29 ^b	1.30 ^b	47.80 ^d	9.87 ^{bc}
		SA 0.5 (mmol)	28.54 ^m	0.26 ^b	0.54 ^d	58.92 ^c	8.27 ^c
		SA 0.75 (mmol)	33.70 ⁱ	0.25 ^c	0.56 ^d	80.40 ^a	11.67 ^b
		SA 1 (mmol)	40.99 ^g	0.27 ^b	0.54 ^d	31.22 ^e	10.65 ^b
	معمولی	GA50 (mg.L ⁻¹)	43.07 ^e	0.32 ^a	1.67 ^{ab}	60.62 ^c	14.30 ^a
		GA100 (mg.L ⁻¹)	53.75 ^b	0.33 ^a	1.78 ^a	44.55 ^d	14.92 ^a
		GA 150 (mg.L ⁻¹)	63.21 ^a	0.30 ^a	1.85 ^a	87.75 ^a	11.15 ^b
		SA 0.25 (mmol)	31.50 ^l	0.35 ^a	0.86 ^c	74.60 ^b	8.40 ^d
		SA 0.5 (mmol)	36.64 ⁱ	0.31 ^a	0.91 ^c	72.22 ^b	8.70 ^d
		SA 0.75 (mmol)	41.96 ^f	0.32 ^a	0.94 ^c	76.75 ^b	11.32 ^b
		SA 1 (mmol)	50.47 ^c	0.29 ^b	0.84 ^c	69.10 ^b	11.65 ^b

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S.Means انجام شده و در هر سطح دما، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

The mean comparison was performed using the L.S.Means procedure, and at each level of temperature, mean with at least one similar letter did not differ significantly.

انتخابی اسیدهای چرب غیراشباع را تجزیه کرده و باعث تجمع آلدئیدها، هیدروکربن و غیره می‌شود. برای سنجش میزان آسیب وارده به سلول‌های گیاهی در نتیجه تنش‌ها، مالون دی آلدئید را نیز اندازه می‌گیرند (Khan et al., 2020).

تنظیم‌کننده‌های رشد به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های قوی در گیاه باعث پاکسازی گونه‌های اکسیژن فعال شناخته شده‌اند. کاهش مالون دی آلدئید توسط اسید سالیسیلیک احتمالاً به این دلیل است که اسید سالیسیلیک می‌تواند با کلاته کردن یون‌های فلزی یا ترکیب شدن با لیپیدها، اکسیداسیون لیپیدها را کاهش دهد. Jan et al. (2019) در پژوهشی بر گیاه آفتاب‌گردان مشاهده کردند پرایمینگ با هر دو غلظت ۰/۱ و ۰/۲ درصد اسید جیبرلیک سبب کاهش محتوای مالون دی آلدئید گیاهچه‌ها نسبت به شاهد (بدون پرایم) و پرایم با آب مقطر شد.

وقتی گیاهان در معرض تنش محیطی قرار می‌گیرند، پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشای پلاسمایی اتفاق افتاده و سبب تولید مالون دی آلدئید می‌شود، این امر سبب خسارت به سیستم غشایی، مختل شدن نفوذپذیری انتخابی و افزایش نشت الکترولیت‌ها می‌شود. بنابراین محتوای مالون دی آلدئید می‌تواند منعکس‌کننده شدت پراکسیداسیون غشا باشد (Jiangn & Zhang, 2001). گزارش شده است که غلظت مالون دی آلدئید در گیاهان می‌تواند معیار مناسبی در جهت ارزیابی مقاومت گیاه به تنش سرما باشد. به طوری که گیاه لوبیا تحت استرس سرما با افزایش میزان اکسیژن فعال و مالون دی آلدئید (MDA) همراه بود که باعث افزایش آسیب وارده به گیاه می‌شود (Yadeghari et al., 2008). رادیکال‌های آزاد اکسیژن یا واکنش‌های پراکسیداسیون لیپیدها، در غشای گیاهی به‌طور

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف پرایمینگ و روش خشک کردن برای برخی خصوصیات مورد بررسی کاملینا در دمای ۲۰ درجه سلسیوس

Table 5- Mean comparison of of different levels of priming and drying methods for some studied traits of Camelina at a temperature of 20 °C

دما (درجه سلسیوس) Temperature (°C)	روش خشک کردن Drying method	پرایمینگ Priming	محتوای پرولین (میلی گرم بر گرم بذر تر) Proline content (mg g wet seed ⁻¹)	محتوای مالون دی آلدئید (میلی مول بر گرم بذر تر) Malondialdehyde content (mmol g wet seed ⁻¹)	سرعت جوانه زنی (بر روز) Germination rate (Day ⁻¹)	طول ریشه چپه (میلی متر) Root length (mm)	طول ساقه چپه (میلی متر) Shoot length (mm)
20 °C	سریع	GA50 (mg.L ⁻¹)	29.47 ⁱ	0.29 ^b	1.58 ^b	49.87 ^b	8.72 ^{bc}
		GA100 (mg.L ⁻¹)	34.66 ^f	0.32 ^b	1.43 ^c	38.67 ^c	10.62 ^a
		GA 150 (mg.L ⁻¹)	42.31 ^c	0.24 ^c	1.52 ^b	55.55 ^b	10.87 ^a
		SA 0.25 (mmol)	23.24 ^l	0.37 ^a	1.30 ^d	55.55 ^b	10.42 ^a
		SA 0.5 (mmol)	28.83 ^j	0.33 ^a	1.44 ^c	57.60 ^b	10.30 ^a
		SA 0.75 (mmol)	24.64 ^k	0.30 ^b	1.48 ^c	65.95 ^a	10.77 ^a
		SA 1 (mmol)	35.52 ^e	0.25 ^{ab}	1.41 ^c	65.62 ^a	7.40 ^c
	معمولی	GA50 (mg.L ⁻¹)	38.04 ^d	0.36 ^a	1.67 ^a	44.90 ^c	9.42 ^b
		GA100 (mg.L ⁻¹)	48.97 ^b	0.32 ^b	1.78 ^a	38.67 ^c	9.67 ^a
		GA 150 (mg.L ⁻¹)	54.31 ^a	0.26 ^b	1.85 ^a	30.50 ^{cd}	10.5 ^a
		SA 0.25 (mmol)	28.29 ⁱ	0.29 ^b	1.59 ^b	30.62 ^d	9.97 ^{ab}
		SA 0.5 (mmol)	31.49 ^g	0.29 ^b	1.78 ^a	29.62 ^d	9.67 ^{ab}
		SA 0.75 (mmol)	36.00 ^e	0.31 ^b	1.65 ^a	38.67 ^c	9.25 ^b
		SA 1 (mmol)	42.08 ^c	0.31 ^b	1.59 ^a	43.80 ^c	8.45 ^{bc}

مقایسه میانگین با استفاده از رویه L.S.Means انجام شده و در هر سطح دما، میانگین های دارای حداقل یک حرف مشابه اختلاف معنی داری با هم ندارند.

The mean comparison was performed using the L.S. Means procedure, and at each level of temperature, mean with at least one similar letter did not differ significantly.

سلسیوس کاهش درصد جوانه زنی در تیمارهای پرایم شده با سالیسیلیک اسید مشاهده شد به طوری که بیشترین درصد جوانه زنی با میانگین ۹۹/۲۵ درصد در تیمار اسید جیبرلیک ۵۰ میلی گرم بر لیتر و کمترین آن در تیمار اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار با میانگین ۹۲ درصد ملاحظه گردید که بین آنها اختلاف ۷/۳۰ درصدی مشاهده شد (شکل ۱). به طور کلی در همه دماها تیمارهای پرایم شده با اسید جیبرلیک میانگین درصد جوانه زنی بالاتری نسبت به تیمارهای پرایم شده با سالیسیلیک اسید نشان دادند.

پرایمینگ بذر یک تیمار پیش از کاشت است که کارایی جوانه زنی را به وسیله افزایش درصد جوانه زنی و سرعت جوانه زنی بهبود می بخشد. پرایمینگ بذر، به عنوان یک روش معمول به منظور افزایش سرعت و یکنواختی جوانه زنی در مزرعه، افزایش

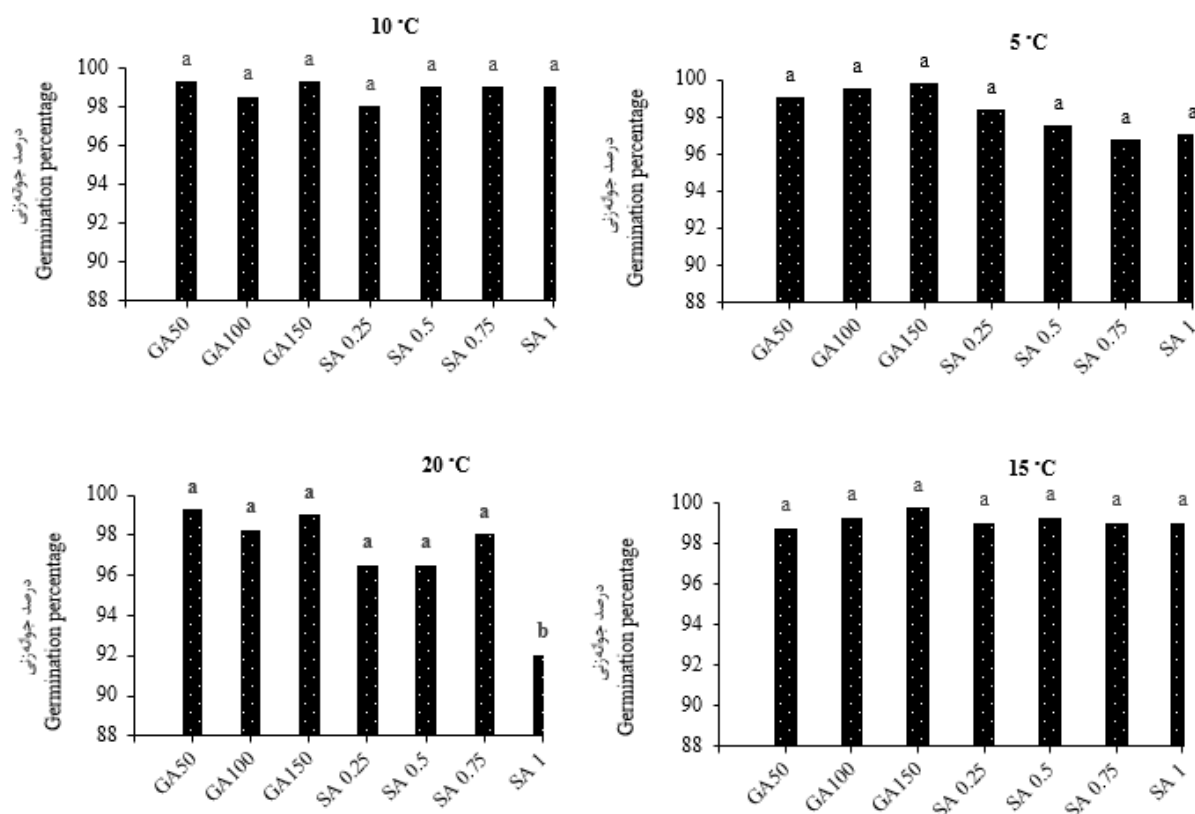
علت تأثیر مثبت خشک کردن بذرها چچم به روش سریع، کاهش سریع رطوبت در این روش به حفظ یکپارچگی غشای سلولی کمک می کند که این امر مانع از بین رفتن ساختارهای سلول و حفظ انسجام ساختاری در شرایط مواجهه با تنش می شود (Debaene-Gill et al., 1994). به طور کلی کمترین میزان مالون دی آلدئید در روش خشک کردن سریع در دمای ۱۵ درجه سلسیوس و در روش خشک کردن معمولی در دما ۲۰ درجه سلسیوس مشاهده شد.

درصد جوانه زنی

نتایج مقایسه میانگین سطوح پرایمینگ در هر سطح دمایی نشان داد که صفت درصد جوانه زنی تا ۱۵ درجه سلسیوس روند افزایشی داشت، درعین حال همه تیمارهای مورد بررسی در یک گروه آماری قرار گرفتند، درحالی که در دمای ۲۰ درجه

مصرف اندوخته بذر توسط جنین علت اصلی کاهش درصد جوانه‌زنی است. دمای پایین در طی جوانه‌زنی می‌تواند باعث کاهش درصد جوانه‌زنی و اختلال در خروج ریشه‌چه بذر در گونه‌های مختلف ارقام زراعی گردد (Patade et al., 2011). با توجه به پایین بودن صفر فیزیولوژیک بذر کاملینا، جوانه‌زنی در ۵ درجه سلسیوس مناسب بود و با افزایش دما از ۵ به ۱۵ درجه سلسیوس برای تیمارهای پرایم شده با سالیسیلیک اسید افزایش درصد جوانه‌زنی مشاهده شد ولی در ۲۰ درجه سلسیوس تیمارهای پرایم شده با سالیسیلیک اسید نسبت به دیگر تیمارها کاهش درصد جوانه‌زنی داشتند. درحالی که استفاده از اسید جیبرلیک باعث افزایش درصد جوانه‌زنی در تمامی دماها به استثنای اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بود.

بنیه و ظهور گیاهان مقاوم و در نتیجه رسیدن گیاهان پاییزه به درجه‌ای از تحمل به سرما قبل از وقوع یخبندان محسوب می‌شود (Finch-Savage et al., 2004). در شرایط پرایمینگ به دلیل وقوع یکسری فرایندهای فیزیولوژیکی در بذر مانند فعال شدن آنزیم‌های هیدرولاز و تجزیه سریع‌تر مواد ذخیره‌ای لازم برای جوانه‌زنی بذر، افزایش تنفس بذر و تولید ATP، جوانه‌زنی تحت تنش سرما سریع‌تر رخ می‌دهد (Hussain et al., 2016). در بیشتر گیاهان جوانه‌زنی بذر حساس‌ترین مرحله در برابر سرما است بطوری که جوانه‌زنی بذر در گونه‌های حساس به سرما در دماهای زیر ۲۰ درجه سلسیوس آهسته شده یا کاهش یافته و در نتیجه استقرار ضعیف است (Parvaiz & Prasad., 2012). به‌نظر می‌رسد کاهش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی در درجه حرارت کم و مختل شدن آن‌ها در دمای بالا و کاهش انتقال و



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف پرایمینگ و روش خشک کردن برای درصد جوانه‌زنی کاملینا در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند). (GA = اسید جیبرلیک، SA = اسید سالیسیلیک).

Figure 1- Mean comparison of of different levels of priming and drying methods for some studied traits of Camelina at a temperature of 5, 10, 15 and 20 °C

(The mean comparison was performed using the L.S.Means procedure, and at each level of chitosan, mean with at least one similar letter did not differ significantly.). (GA = gibberellic acid, SA = salicylic acid).

سرعت جوانه‌زنی

نتایج مقایسه میانگین سطوح پرایمینگ و روش خشک کردن در هر سطح دما برای صفت سرعت جوانه‌زنی نشان داد که با افزایش دما سرعت جوانه‌زنی روند افزایشی داشت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین در دمای ۵ درجه سلسیوس بیشترین میزان سرعت جوانه‌زنی مربوط به تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۰/۲۵ میلی‌مولار به همراه روش خشک کردن معمولی با میانگین ۰/۴۸ بذر جوانه‌زده در روز) بود که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای اسید جیبرلیک ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نداشت و کم‌ترین آن مربوط به تیمار اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار به همراه روش خشک کردن سریع با میانگین ۰/۳۳ بذر جوانه‌زده در روز) حاصل شد (جدول ۲). در دمای ۱۰ درجه سلسیوس بیشترین میزان سرعت جوانه‌زنی از تیمار پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به همراه خشک کردن معمولی و کم‌ترین آن از تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۰/۲۵ و ۱ میلی‌مولار همراه با روش خشک کردن سریع حاصل گردید (جدول ۳).

در دمای ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس بیشترین میزان سرعت جوانه‌زنی از تیمار پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به همراه روش خشک کردن سریع و معمولی که تفاوت معنی‌داری با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به همراه روش خشک کردن معمولی نداشت و کم‌ترین میزان سرعت جوانه‌زنی به ترتیب از تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و تیمار اسید سالیسیلیک ۰/۲۵ میلی‌مولار به همراه روش خشک کردن سریع حاصل شد (شکل ۴ و ۵).

در گیاهانی که بهار کشت می‌شوند تنش سرما می‌تواند جوانه‌زنی گیاه را با محدودیت مواجه نماید، زیرا مرحله جوانه‌زنی بسیار حساس به سرما است و پرایمینگ به عنوان یک فناوری جهت افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، بنیه بالا و بهبود عملکرد در گونه‌های زراعی معرفی شده است (Gupta & Hunsigi, 2010).

در خشک کردن بذرهای چچم به روش سریع، کاهش سریع رطوبت به حفظ یکپارچگی غشای سلولی کمک کرد که این امر مانع از بین رفتن ساختارهای سلول و حفظ انسجام ساختاری در شرایط مواجه با تنش می‌شود (Debaene-Gill et al., 1994).

پژوهش حاضر نیز در روش خشک کردن فقط در دمای ۱۵ درجه سلسیوس نسبت به خشک کردن معمولی از سرعت جوانه‌زنی بالاتری برخوردار بود اما در سطوح دمایی ۵، ۱۰ و ۲۰ درجه سلسیوس روش خشک کردن معمولی برتری داشت.

طول ریشه‌چه

نتایج بررسی میانگین نشان داد که در دمای ۵ درجه سلسیوس تیمارهای مورد بررسی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۲). در دمای ۱۰ درجه سلسیوس بیشترین طول ریشه‌چه (۶۰/۸۵ میلی‌متر) از تیمار پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به همراه روش خشک کردن سریع و کم‌ترین طول ریشه‌چه (۲۸/۹۵ میلی‌متر) از تیمار اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار به همراه روش خشک کردن سریع حاصل شد (جدول ۳).

در دمای ۱۵ درجه سلسیوس بیشترین طول ریشه‌چه (۸۷/۷۵ میلی‌متر) به تیمار پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به همراه روش خشک معمولی اختصاص داشت و کم‌ترین طول ریشه‌چه (۳۱/۲۲ میلی‌متر) از تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار به همراه روش خشک کردن سریع حاصل گردید (جدول ۴). در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بیشترین طول ریشه‌چه (۶۵/۹۵ میلی‌متر) از تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۰/۷۵ میلی‌مولار به همراه روش خشک کردن سریع حاصل شد (شکل ۵).

ایجاد استحکام و سخت شدن دیواره سلول در دوره تنش سبب ایجاد ریشه‌های کوتاه‌تر و گیاهچه کوچک‌تر می‌شود. تنش دمای پایین با تحریک تولید گونه‌های اکسیژن فعال سبب اختلال در جریان انتقال الکترون در فرآیند متابولیسم می‌شود و منجر به آسیب غشاهای سلولی و تجمع ترکیبات تیوبیوریک اسید همراه با پراکسیداسیون چربی می‌گردد (Purvis & Shewfelt., 1993). علاوه بر این افزایش تدریجی دمای پایین باعث کاهش نفوذپذیری غشای سلول‌های ریشه‌چه نسبت به آب شده و در نتیجه جذب آب و به دنبال آن رشد ریشه‌چه کاهش می‌یابد.

طول ساقه‌چه

نتایج بررسی میانگین اثر پرایمینگ و روش خشک کردن در دمای ۵ درجه سلسیوس نشان داد بیشترین طول ساقه‌چه (۷/۸۷ میلی‌متر)

بهبود پارامترهای جوانه‌زنی گیاه اشاره شده تحت تنش دمای پایین شدند (Ganji Arjenaki et al., 2011).
وقتی بذرها خشک آب جذب می‌کنند تا مدتی تحمل به پسابدگی بدون تغییر باقی می‌ماند و بذرها بدون هیچ آسیبی می‌توانند دوباره خشک شوند؛ اما هنگامی که به بذر اجازه داده شود به‌طور طولانی تری آب جذب کند، تحمل به پسابدگی به تدریج کاهش می‌یابد و خشک کردن منجر به ایجاد اثرات مخرب در ساختار بذر می‌گردد (Powell, 2000). به همین دلیل به‌نظر می‌رسد در شرایط خشک کردن سریع تحمل به پسابدگی در گیاه افزایش یافته و به‌دنبال آن طول ساقه‌چه نیز افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق مشاهده گردید که تنش دمای پایین شاخص‌های بیوشیمیایی و جوانه‌زنی کاملینا را تحت تأثیر قرار داد و پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک و اسید جیبرلیک با بهبود شاخص‌های بیوشیمیایی و جوانه‌زنی توانستند با تأثیر بر سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی گیاه باعث افزایش تحمل گیاهچه‌های کاملینا تحت دمای پایین شوند. با افزایش دما شاخص‌های بیوشیمیایی کاهش و برخی صفات جوانه‌زنی افزایش یافت. به‌طوری که کمترین میزان شاخص‌های بذر کاملینا در پایین‌ترین سطح تنش دمای پایین دیده شد. پرایم بذر با میزان مناسب اسید جیبرلیک و اسید سالیسیلیک در اکثر صفات مورد مطالعه نسبت به عدم پرایم برتری داشت و مشاهده گردید که پیش‌تیمار بذرها توانست تا حدودی باعث افزایش صفاتی چون طول ریشه‌چه و ساقه‌چه شوند که افزایش این پارامترها از طریق افزایش در درصد و سرعت جوانه‌زنی اتفاق افتاد. همچنین نتایج بررسی اثر روش خشک کردن بر صفات بیوشیمیایی نشان داد خشک کردن بذرها پرایم شده کاملینا به روش معمولی از بیشترین میزان محتوای پرولین و مالون‌دی‌آلدئید برخوردار بود. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین مشکلات کاملینا در مناطق سردسیر به ویژه در تاریخ‌های کشت با تأخیر، برخورد مرحله جوانه‌زنی بذر و استقرار با تنش محیطی سرما می‌باشد. استفاده از هورمون پرایمینگ بذر جهت سرعت

از تیمار پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به همراه روش خشک کردن معمولی را به خود اختصاص داد که با کم‌ترین میزان این صفت (۵/۱۶ میلی‌متر) در تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار به همراه روش خشک کردن سریع اختلاف ۵۲/۵۱ داشت (جدول ۲). در دمای ۱۰ درجه سلسیوس بیشترین طول ساقه‌چه (۱۱/۴۲ میلی‌متر) از تیمار پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به همراه روش خشک کردن سریع حاصل شد و کم‌ترین میزان این صفت (۵/۲ میلی‌متر) از تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار همراه با روش خشک کردن معمولی حاصل شد (جدول ۳).

در دمای ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس بیشترین میزان این صفت به ترتیب (۱۵/۸۷ و ۱۰/۸۷ میلی‌متر) از تیمار پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به همراه روش خشک کردن سریع حاصل شد و کم‌ترین میزان این صفت در دمای ۱۵ درجه سلسیوس از تیمار اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار همراه با روش خشک کردن سریع حاصل گردید و در دمای ۲۰ درجه سلسیوس کم‌ترین میزان این صفت از تیمار پرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار همراه با روش خشک کردن سریع حاصل گردید (جدول ۴ و ۵).

کاهش رشد طولی ساقه‌چه در اثر دمای پایین می‌تواند به‌علت کاهش رشد سلول و سنتز مواد دیواره‌ای باشد زیرا شرایط تنش و پتانسیل منفی بر جذب آب سلول‌ها تأثیر گذاشته و در نتیجه فشار تورژسانس لازم مهیا نمی‌شود و طول سلول کاهش می‌یابد (Andrews et al., 1995). حسینی‌پور و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی روند تغییرات دمایی بذر کتان روغنی بر طول ساقه‌چه نشان دادند که با کاهش دما میزان طول ساقه‌چه نیز کاهش داشت. Gilmour et al. (1988) گزارش دادند که طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در آراییدوپسیس و طی تنش دمای پایین کاهش می‌یابد. Karami et al. (2020) نشان دادند پرایم بذرها کینوا با غظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک علاوه بر بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی، رشد طولی گیاهچه را نیز بهبود بخشیده است. گزارش شده است که تنش سرما بشدت منجر به کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن خشک گیاهچه در گل همیشه بهار شد، درحالی‌که پرایمینگ باعث

Ganji Arjenaki, F., Amini Dehaghi, M., & Jabbari, R. (2011). Effects of priming on seed germination of marigold (*Calendula officinalis*). *Advances in Environmental Biology*, 5(2), 276–280.

Gilmour, S. J., Hajela, R. K., & Thomashow, M. F. (1988). Cold acclimation in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology*, 87, 745–750.

Gupta, T., & Hunsigi, S. L. (2010). Improving the performance of peppermint (*Mentha piperita*) by physical seed priming under semi-arid conditions. *Indian Journal of Medicinal Plant Research*, Special Issue, 15–21.

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

Hayat, S., Ali, B., & Ahmad, A. (2007). Salicylic acid: Biosynthesis, metabolism and physiological role in plants. In S. Hayat & A. Ahmad (Eds.), *Salicylic acid: A plant hormone* (pp. 1–14). Springer.

Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189–198.

Hosseinipoor, A., Yadavi, A. R., Balouchi, H. R., & Moradi, A. (2020). The effect of water potential and deterioration on some germination and biochemical indices of linseed (*Linum usitatissimum* var. Norman) seed at different temperatures. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 9(2), 19–33. (In Persian)

Hussain, S., Khan, F., Hussain, H. A., & Nie, L. (2016). Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-induced chilling tolerance in rice cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 7, Article 116. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00116>

Ikic, I., Maricevic, M., Tomasovic, S., Gunjaca, J., Sarcevic, Z., & Arcevic, H. (2012). The effect of germination temperature on seed dormancy in Croatian-grown winter wheats. *Euphytica*, 188, 25–34. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0735-8>

Irigoyen, J. J., Emerich, D. W., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress-induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84, 55–60.

Jiang, M., & Zhang, J. (2001). Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative defence system and oxidative damage in leaves of maize seedlings. *Plant and Cell Physiology*, 42, 1265–1273.

بخشیدن به مرحله سبز شدن و استقرار به ویژه در شرایط دمایی پایین توصیه می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر استفاده از روش خشک کردن آهسته بذر موثرتر از روش خشک کردن سریع بذر بود.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض منافی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

Reference

Akhil, R. B., Ishigo-Oka, N., Adachi, M., & Oguma, Y. (2008). Cold tolerance at the early growth stage in wild and cultivated rice. *Euphytica*, 165(3), 459–470.

Amini, E., Ashraf Mehrabi, A., & Alizadeh, Y. (2019). Effect of gibberellic acid on germination and seedling growth in different sorghum genotypes under salt stress conditions. *Journal of Seed Research*, 9(3), 35–45.

Andrews, J. R., Fryer, M. J., & Baker, N. R. (1995). Characterization of chilling effects on photosynthetic performance of maize crops during early-season growth using chlorophyll fluorescence. *Journal of Experimental Botany*, 46, 1195–1203.

Bewley, J. D., & Black, M. (2012). *Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination: Vol. 2. Viability, dormancy, and environmental control*. Springer.

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd ed.). Springer.

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

Cag, S., Cevahir-Oz, G., Sarsag, M., & Goren Saglam, N. (2009). Effect of salicylic acid on pigment, protein content and peroxidase activity in excised sunflower cotyledons. *Pakistan Journal of Botany*, 41(5), 2297–2303.

Delavari, P., Baghizadeh, M. A., Enteshari, S., & Manouchehri Kalantari, K. (2012). Effect of salicylic acid on resistance and induction of oxidative stress in green basil (*Ocimum basilicum* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Biology*, 4(12), 25–35. <https://sid.ir/paper/160014/fa>

Finch-Savage, W. E., Dent, K. C., & Clark, L. J. (2004). Soak conditions and temperature following sowing influence the response of maize (*Zea mays* L.) seeds to on-farm priming (pre-sowing seed soak). *Field Crops Research*, 90, 361–374.

- Powell, A. A., Yule, L. J., Jing, H. C., Groot, S. P. C., Bino, R. J., & Pritchard, H. W. (2000). The influence of aerated hydration seed treatment on seed longevity as assessed by the viability equations. *Journal of Experimental Botany*, 51(353), 2031–2043.
- Purvis, A. C., & Shewfelt, R. L. (1993). Does the alternative pathway ameliorate chilling injury in sensitive plant tissues? *Plant Physiology*, 88, 712–718.
- Rajasekaran, L. R., Stiles, A., Surette, M. A., Sturz, A. V., Blake, T. J., Caldwell, C., & Nowak, J. (2002). Stand establishment in processing carrots – Effects of various temperature regimes on germination and the role of salicylates in promoting germination at low temperatures. *Canadian Journal of Plant Science*, 82(2), 443–450. <https://doi.org/10.4141/P01-016>
- Ramezani, A., Haddad, R., & Sedaghati, B. (2016). Effect of sodium hypochlorite concentration and time on disinfection and germination of *Catharanthus roseus* seeds under in vitro conditions. In *Proceedings of the 6th National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources*. <https://civilica.com/doc/573557>
- Raziei, Z., Kahrizi, D., & Rostami-Ahmadvandi, H. (2018). Effects of climate on fatty acid profile in *Camelina sativa*. *Cellular and Molecular Biology*, 64(5), 91–96.
- Russo, R., & Reggiani, R. (2012). Antinutritive compounds in twelve *Camelina sativa* genotypes. *American Journal of Plant Sciences*, 3(10), 1408–1412.
- Sedghi, M., Nemati, A., & Esmailpour, B. (2010). Effect of seed priming on germination and seedling growth of two medicinal plants under salinity. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 22(2), 130–139.
- Siadat, S. A., Moosavi, A., & Sharafi-Zadeh, M. (2012). Effects of seed priming on antioxidant activity and germination characteristics of maize seeds under different ageing treatment. *Research Journal of Seed Science*, 5, 51–62.
- Turley, L. M. (2014). *The growth, development, and agronomic management of Camelina sativa* (Doctoral dissertation, Lincoln University).
- Verma, S. K., Bajpai, G. C., Tewari, S. K., & Singh, J. (2005). Seedling index and yield as influenced by seed size in pigeon pea. *Legume Research*, 28(2), 143–145.
- Yadeghari, L. Z., Heidari, R., & Carapetian, J. (2008). The influence of cold acclimation on proline, malondialdehyde (MDA), total protein and pigment contents in soybean (*Glycine max*) seedlings. *Research Journal of Biological Sciences*, 3(1), 74–79.
- Yousef, F., Siahpoush, A., Bakhshandeh, A., & Mousavi, A. (2021). The effect of hormone seed priming using gibberellic acid on seed germination characteristics and seedling growth of *Echinacea purpurea*. *Iranian Journal of Seed Research*, 8(1), 173–188. [In Persian]
- Karami, R., Ebrahimi, F., Balouchi, H., & Babaei Zarch, M. J. (2020). Improving germination behavior and seedling characteristics of *Chenopodium quinoa* Willd under the influence of salicylic acid and salinity stress. *Journal of Seed Research*, 10(1), 53–66. [In Persian]
- Khan, F., Hussain, S., Khan, S., & Geng, M. (2020). Seed priming improved antioxidant defense system and alleviated Ni-induced adversities in rice seedlings under N, P, or K deprivation. *Frontiers in Plant Science*, 11, 565647. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.565647>
- Lolaei, A., Khalili, A., Mohammadi, H., & Eslami, S. (2022). Effect of seed priming with salicylic acid on germination and growth indices of borage under salinity stress. *Journal of Seed Research*, 11(4), 1–14. [In Persian]
- Loreto, F., & Velikova, V. (2001). Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. *Plant Physiology*, 127, 1781–1787.
- Mahdavi, B., Modarres Sanavy, S. A. M., Aghaalikhani, M., Sharifi, M., & Dolatabadian, A. (2011). Chitosan improves osmotic potential tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seedlings. *Journal of Crop Improvement*, 25(6), 728–741.
- Miller, T., & Chapman, S. J. (1978). Germination responses of three forage grasses to different concentrations of six salts. *Journal of Range Management*, 31(2), 123–124.
- Mousavi Naserabad, M., Moradi, A., Masoumi-asl, A., & Balouchi, H. (2020). Effect of gibberellic acid, germination temperature and stratification on dormancy breaking and seed germination of *Smyrniun cordifolium*. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 51(2), 199–212. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.275448.654580> [In Persian]
- Najafi, F., Bannayan, M., Tabrizi, L., & Rastgoo, M. (2006). Seed germination and dormancy breaking techniques for *Ferula gummosa* and *Teucrium polium*. *Journal of Arid Environments*, 64, 542–547.
- Paquin, R., & Lechasseur, P. (1979). Observation sur une méthode de dosage de la proline dans les plants. *Canadian Journal of Botany*, 57(18), 1851–1854. <https://doi.org/10.1139/b79-233>
- Patade, V. Y., Maya, K., & Zakwan, A. (2011). Seed priming-mediated germination improvement and tolerance to subsequent exposure to cold and salt stress in *Capsicum*. *Research Journal of Seed Science*, 4(3), 125–136.