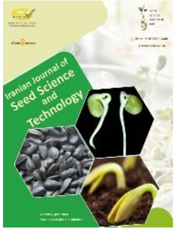
2025, 14 (1), 87-105 https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.363685.1501

Seed Science Society of Iran

SPCRI Seed and Plant Certification and Registration Institute

Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

The effect of priming and priming time on germination and some biochemical traits of Camelina (*Camelina sativa*) Sohail cultivar under drought stress

Mehdi Razmkhah[1], Ali Moradi[2*], Hojatollah Latifmanesh[3], Hamid Reza Balochi[4]

1. M.Sc. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
4. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

Article Information

Received: 06 Nov. 2023
Revised: 24 Dec. 2023
Accepted: 31 Jan. 2024

Keywords:
Alpha amylase,
Camelina,
Drought stress,
Priming,
Rye

Corresponding Author:
amoradi@yu.ac.ir

Abstract

Camelina (*Camelina sativa*) is a one-year oil plant and one of the most important problems of its cultivation is the interaction of the seed germination stage and seed establishment with drought stress. Use of herbal treatments such as rye plant extract can speed up them, especially in drought-stress conditions. Therefore, this research was conducted to investigate the effect of priming and priming time on germination and some biochemical traits of Camelina under drought stress in the Agriculture and Genetics Laboratory of Yasouj University from 2021 to 2022. The experiment was conducted as a factorial in a completely randomized design with 4 replications. The first factor was priming with Danko variety of rye plant root extract at 3 levels (zero, 40 and 60%), The second factor was priming times at three levels (zero, 6 and 12 hours) and the third factor included drought stress at three levels (zero, -3 and -6 times). Based on the obtained results, it was observed that drought stress affected the biochemical indicators and germination of Camelina and pre-treatment with rye extract at a concentration of 60% along with prime in 12 hours with the improvement of some biochemical indicators and germination were able to increase the tolerance of Camelina seedlings under drought stress by affecting the non-enzymatic antioxidant defense system of the plant. The results of the experiment show that using Danko variety of rye root extract with a concentration of 60% in 12 hours improves physical characteristics of the seed, helping germination in optimal and drought stress conditions.

How to cite this paper: Razmkhah, M., Moradi, A., Latifmanesh, H., & Balochi, H.R. (2025). The effect of priming and priming time on germination and some biochemical traits of Camelina (*Camelina sativa*) Sohail cultivar under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *14* (1), 87-105. https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.363685.1501

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Camelina (*Camelina sativa*), an annual oilseed plant, has garnered increasing attention due to its potential as a drought-resistant crop. Known for its high oil yield and environmental adaptability, camelina is particularly valuable in regions facing water scarcity. However, its cultivation faces challenges during the seed germination and establishment stages under drought stress. Seed priming techniques, especially using herbal treatments like rye (Secale cereale) root extract, can significantly mitigate these issues by enhancing seed vigor and tolerance to adverse conditions. This study aimed to evaluate the effects of priming concentrations and durations on the germination and biochemical traits of camelina under drought stress, conducted in the Agriculture and Genetics Laboratory at Yasouj University during 2021–2022.

Materials and Methods

The experiment utilized a factorial arrangement in a completely randomized design with four replications. The first factor was priming with Danko rye root extract at three concentrations (0%, 40%, and 60%). The second factor was priming durations (0, 6, and 12 hours), while the third factor involved drought stress levels (0, -3, and -6 bar). Rye root extracts were prepared through a meticulous extraction process, followed by their application to camelina seeds sourced from Shiraz Agricultural Research Center. The seeds were sterilized with 5% sodium hypochlorite before priming. Drought stress was simulated using polyethylene glycol (PEG 6000), and its osmotic potential was calculated using Michel and Kaufman's equation. Germination tests were conducted in a germinator set to a temperature cycle of 20–30°C for seven days. Germination-related metrics, including germination percentage, germination rate, root and shoot length, and biochemical indicators, were measured using standard protocols. Data were statistically analyzed using SAS software, with mean comparisons performed using Duncan’s multiple range test.

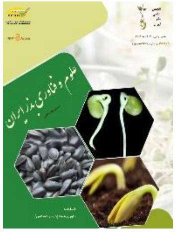
Results and Discussion

Drought stress significantly influenced camelina’s biochemical parameters. Under severe drought (-6 bar), proline and soluble sugar contents increased, indicating an osmotic adjustment response. However, malondialdehyde (MDA) levels also rose, reflecting enhanced lipid peroxidation and membrane damage. Priming with 60% rye extract for 12 hours effectively mitigated these effects, reducing MDA levels by up to 33% compared to non-primed seeds. The enhanced proline accumulation likely contributed to osmotic balance, consistent with findings by Shahverdi et al. (2019), highlighting the role of non-enzymatic antioxidants in stress tolerance. Drought stress led to a marked reduction in germination percentage and seedling vigor, with non-primed seeds exhibiting the lowest performance. Priming significantly improved these metrics, especially at 60% extract concentration for 12 hours, which achieved a germination rate 36% higher than untreated controls under -3 bar drought stress. This improvement is attributed to enhanced enzymatic activity, particularly alpha-amylase, which facilitates starch hydrolysis and energy release for seedling growth. Similar results were reported by Bajwa et al. (2018) in wheat seeds primed with herbal extracts. Root and shoot lengths were adversely affected by increasing drought intensity, with a 20% reduction observed at -6 bar stress compared to non-stressed conditions. However, priming significantly mitigated these effects, with 60% rye extract for 6 hours yielding the longest root and shoot lengths. Enhanced root development is critical under drought conditions, as it aids in water uptake and stress resilience. These findings align with Muscolo et al. (2014), who reported similar root elongation responses in lentils under osmotic stress. The interaction of priming duration and extract concentration revealed critical insights. Longer priming durations (12 hours) generally enhanced stress tolerance, improving germination rate, root and shoot growth, and biochemical traits. However, over-priming can lead to detrimental effects, possibly due to metabolic overactivation and oxidative stress, as suggested by previous studies. The optimal combination identified in this study—60% extract for 12 hours—maximized beneficial outcomes while minimizing risks. Priming improved biochemical markers such as soluble sugar content and alpha-amylase activity, which are vital for stress adaptation. Soluble sugars act as osmoprotectants, stabilizing cellular structures and maintaining turgor pressure under water-deficient conditions. The observed increase in alpha-amylase activity in primed seeds suggests enhanced mobilization of stored reserves, providing energy and building blocks for growth. These results corroborate findings by Huang et al. (2021), who demonstrated the efficacy of sorghum extracts in enhancing camelina’s drought resilience.

Conclusion

This study underscores the potential of herbal priming, particularly using rye root extract, as a cost-effective and environmentally friendly approach to enhancing camelina’s drought tolerance. The optimal treatment—60% rye extract for 12 hours—significantly improved germination and seedling vigor under drought stress by bolstering biochemical defenses and promoting efficient resource utilization. The findings suggest that incorporating such bio-priming techniques in rainfed agriculture can enhance crop establishment and productivity in water-scarce regions. Further field studies are recommended to validate these results under diverse environmental conditions.

دوره ۱۴، شماره ۱، صفحات ۱۰۵-۸۷
https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.363685.1501



ISSN: 2588-4638

نشریه علوم و فناوری بذر ایران

مقاله پژوهشی

تاثیر پرایمینگ و زمان پرایمینگ بر جوانه‌زنی و برخی صفات بیوشیمیایی کاملینا (*Camelina sativa*) رقم سهیل تحت تنش خشکی

مهدی رزمخواه[۱]، علی مرادی[۲*]، حجت‌اله لطیف‌منش[۳]، حمید رضا بلوچی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، 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.

چکیده

کاملینا (*Camelina sativa*) گیاهی روغنی یک‌ساله بوده و یکی از مهم‌ترین مشکلات زراعت آن برخورد مرحله جوانه‌زنی بذر و استقرار بذر با تنش خشکی می‌باشد. به همین دلیل استفاده از روش پرایمینگ بذر جهت سرعت بخشیدن به مرحله سبز شدن و استقرار به‌ویژه در شرایط تنش خشکی امری ضروری است. لذا این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پرایمینگ و زمان پرایمینگ بر جوانه‌زنی و برخی صفات بیوشیمیایی کاملینا تحت تنش خشکی در آزمایشگاه زراعت و ژنتیک دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج طی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ انجام گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. عامل اول پرایمینگ با عصاره ریشه گیاه چاودار رقم دانکو در ۳ سطح (صفر، ۴۰ و ۶۰ درصد)، عامل دوم زمان‌های پرایمینگ در سه سطح (صفر، ۶ و ۱۲ ساعت) و عامل سوم شامل تنش خشکی در ۳ سطح (صفر، ۳- و ۶- بار) بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشاهده گردید که تنش خشکی شاخص‌های بیوشیمیایی و جوانه‌زنی کاملینا را تحت تأثیر قرار داد و پیش تیمار با عصاره چاودار در غلظت ۶۰ درصد به همراه پرایم در زمان ۱۲ ساعت با بهبود برخی شاخص‌های بیوشیمیایی و جوانه‌زنی توانستند با تأثیر بر سامانه دفاع آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی گیاه باعث افزایش تحمل گیاهچه‌های کاملینا تحت تنش خشکی شوند. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که به‌کار بردن عصاره چاودار رقم دانکو با غلظت ۶۰ درصد در زمان ۱۲ ساعت ضمن بهبود ویژگی‌های فیزیکی بذر به جوانه‌زنی در شرایط بهینه و تنش خشکی کمک می‌نماید.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱

واژه‌های کلیدی:

آلفا آمیلاز،

تنش خشکی،

پرایمینگ،

چاودار،

کاملینا

نویسنده مسئول:

amoradi@yu.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله:

Razmkhah, M., Moradi, A., Latifmanesh, H., & Balochi, H.R. (2025). The effect of priming and priming time on germination and some biochemical traits of Camelina (*Camelina sativa*) Sohail cultivar under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *14* (1), 87-105. https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.363685.1501

مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات به‌عنوان دومین منبع مهم تأمین انرژی مورد نیاز بشر به‌شما می‌روند (Klińska et al., 2019). گیاه کاملینا (*Camelina sativa*) از جمله گیاهان دانه روغنی مرسوم در بخش‌هایی از آسیا و اروپا و به خانواده *Brassicaceae* تعلق دارد که شناخت کمی در مورد آن وجود دارد. گیاه کاملینا، منبعی مهمی برای تولید انرژی شناخته می‌شود و همچنین به عنوان یک گیاه روغنی جدید شناخته شده که به‌دلیل تحمل به تنش‌های مختلف محیطی نظیر خشکی، سرما و خشکی، مقاومت بالا در برابر آفات و بیماری‌ها، نیاز آبی و کودی کمتر، دوره رسیدگی کوتاه ما بین ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز و همچنین قابلیت بالای تولید روغن، می‌تواند جایگزین روغن‌های دیگر شود (Ghidoli et al., 2023) این گیاه دارویی-روغنی، با ۲۸ تا ۴۰ درصد روغن و اسیدهای چرب امگا-۳ منبع غنی از روغن به شمار می‌رود که قابلیت بالایی در مصرف در رژیم‌های غذایی بشر دارد. از طرف دیگر، حدودا ۹۰ درصد از اسیدهای چرب موجود در روغن کاملینا، اشباع نشده هستند که باعث منحصر به فرد بودن روغن آن شده است (Figueroa et al., 2017). از طرف دیگر باتوجه به اینکه در ایران در نتیجه تنش خشکی مشکلات تأمین دانه‌های روغنی وجود دارد گیاه کاملینا به دلیل مقاومت نسبت به خشکی می‌تواند در راستای رفع این مشکل مورد استفاده قرار گیرد (Kahrizi et al., 2015).

در بین تنش‌های محیطی، تنش خشکی یکی از شایع‌ترین آن در سطح کره زمین برای تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک است که موجب کاهش یا تأخیر در جوانه‌زنی، سرعت رشد اندام‌ها و کاهش تولید ماده خشک می‌گردد (Chaudhry & Sidhu, 2022). پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که پدیده تغییر اقلیم، وضعیت بارندگی را در آینده از شرایط فعلی بدتر خواهد نمود (Malhi et al., 2021). این امر به‌ویژه در مرحله جوانه‌زنی حائز اهمیت است، زیرا نقش عمده‌ای را در تعیین تراکم نهایی گیاه از خود به جا می‌گذارد. از طرفی، جوانه‌زنی بذر به‌عنوان اساسی‌ترین مرحله تعیین‌کننده رشد گیاه می‌باشد و فرآیندی پیچیده و چند مرحله‌ای است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود (Nikkhah et al., 2022). بذرهای بالغ خشک، اندام‌های در حال رکودی هستند که فعالیت متابولیکی آن‌ها تقریباً در حال سکون می‌باشد و برای جوانه‌زنی و انجام فعالیت‌های متابولیکی آنزیم‌های هیدرولیزکننده موجود در جنین، نیازمند جذب آب، دمای مناسب و اکسیژن کافی می‌باشند (Shahverdi et al., 2019). خشکی منجر به کاهش قابلیت دسترسی به آب شده و در نتیجه اثرگذاری نامطلوبی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه دارد (Hussain et al., 2018). یکی از پیامدهای رایج ناشی از تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب در بستر بذر است که در مراحل اولیه جوانه‌زنی، منجر به کاهش جذب آب توسط دانه و بازدارنده تداوم فرآیندهای مربوط به جوانه‌زنی شده و در نتیجه باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و وزن خشک ساقه‌چه می‌شود (Abdellaoui et al., 2019).

در همین راستا، محققین پس از بررسی اثر تنش خشکی بر جوانه‌زنی گیاه کلزا گزارش کردند که با افزایش سطح خشکی درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش و میانگین مدت زمان جوانه‌زنی افزایش یافت (Channaoui et al., 2017). در مطالعاتی بر رقم‌های بهاره و زمستانه‌ی گیاه کاملینا در شرایط تنش خشکی نشان داده شد که افزایش سطوح تنش خشکی موجب کاهش پروتئین محلول بذر و همچنین افزایش محتوای پرولین و قندهای محلول بذر گردید (Ĉanak et al., 2020). در پژوهشی پس از بررسی اثر چهار سطح خشکی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد حاصل از پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ بر خصوصیات بیوشیمیایی گیاه کاملینا گزارش شد که افزایش سطح خشکی تا ۲۰ درصد (معادل ۰/۵- مگاپاسکال در دمای ۲۵ درجه سلسیوس) موجب کاهش فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز در کاملینا گردید (Yadav et al., 2017).

یکی از روش‌های ساده و ارزان برای افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، خروج یکنواخت‌تر و سریع‌تر گیاهچه، کاهش ناهمگنی فیزیولوژیکی در استقرار گیاهچه، حذف یا ضعیف کردن موانع برای رشد جنین، مقاومت به تنش‌های زنده مانند حمله آفات و مقابله با تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی، تنش شوری و درجه حرارت‌های پایین، حذف خواب بذر و اصلاح سلول‌های زوال‌یافته با استفاده از پرایمینگ بذر است (Hasanuzzaman et al., 2019). پرایمینگ در حقیقت روشی است که قبل از جوانه‌زنی بذر اعمال می‌شود و در آن سطح جذب

آب در بذر کنترل 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 (Farooq et al., 2010).

امروزه استفاده از عصاره‌های گیاهی نیز جهت پیش‌تیمار بذرها در شرایط تنش قوت گرفته است. عصاره‌های گیاهی شامل دامنه متنوعی از مواد آلی هستند که می‌توانند منجر به فعالیت‌ها و واکنش‌های مختلفی شوند (Faroq et al., 2009). بسیاری از عصاره‌های گیاهی می‌توانند در فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با جوانه‌زنی و رشد و نمو گیاهان مداخله نمایند و زمانی که گیاه در هر یک از مراحل رشد خود در معرض مواد آللوپاتیک عصاره‌های گیاهی قرار می‌گیرد، شروع به تولید گونه‌های اکسیژن فعال ROS[1] نموده و تنش اکسیداتیو رخ می‌دهد که القاء تنش اکسیداتیو به‌وسیله عصاره گیاهی می‌تواند منجر به تحریک فعالیت آنزیم‌های جاروب‌کننده گونه‌های اکسیژن فعال از قبیل کاتالاز و پراکسیداز و همچنین پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء در گیاه شود (Alivand & Farajzadeh Memari Tabrizi, 2017). چاودار (*Secale cereale*) از گیاهان پوششی و علوفه‌ای بوده و از کارایی زیادی در تولید مواد آللوشیمیایی برخوردار هستند و مواد مترشحه چاودار در سطح خاک انباشته شده، مانع جوانه‌زنی و رشد و نمو علف‌های هرز ریز بذر نزدیک سطح خاک می‌شود. این در حالی است که روی گیاهان زراعی چنین پدیده‌ای دیده نمی‌شود (Pandey, 1996). به گفته Bajwa et al. (2018)، پرایمینگ بذر گندم با بنزیل آمینوپورین (BAP[2]) و عصاره گیاه چاودار باعث افزایش فعالیت آلفا آمیلاز شد. Pourghasemian & Moradi (2021) طی پژوهشی مشاهده نمودند پرایمینگ بذر گیاه کنجد با عصاره گیاه شیرین بیان موجب افزایش طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه نسبت به تیمار شاهد در شرایط تنش خشکی گردید. در آزمایشی Huang et al. (2021) مشاهده نمودند پرایمینگ بذر گیاه کاملینا با عصاره گیاه سورگوم موجب افزایش درصد سبز شدن (۹۶/۹۸ درصد)، افزایش طول ریشه‌چه (۸۲ درصد)، طول ساقه (۳۲ درصد)، وزن خشک ریشه‌چه (۷۵ درصد) و فعالیت آلفا آمیلاز (۶۶/۴۳ درصد) نسبت به تیمار عدم پرایمینگ گردید. Al-Hussaini & Alsaadawi (2013) اظهار نمودند در شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی با عصاره گیاه چاودار به‌طور معنی‌داری تولید زیست توده، محتوای کلروفیل و پرولین و عملکرد دانه گیاه ماش را افزایش داد.

گزارش شده است که افزایش مدت زمان پرایمینگ بیش از ۲۴ ساعت روی ویژگی‌های جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و شاخص جوانه‌زنی همیشه بهار اثر منفی داشته است (Hussain et al., 2008). اثر مدت زمان پرایمینگ و پتانسیل اسمزی در رونویسی هسته و نقش فرایندهای مولکولی برای بهبود یکنواختی و جوانه‌زنی بذر بررسی شده است و گزارش شده است که رونویسی از هسته در بذرهایی که تحت پتانسیل اسمزی پائین پرایم شده بودند، بیشتر بوده است (Hardegree & Emmerich, 1994). مطالعات در بررسی تاثیر مدت زمان هیدرو پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر تربچه نشان داد که درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر تربچه در هیدرو پرایمینگ ۱۵ ساعت و غلظت ۴ دسی‌زیمنس بر مترکلرید سدیم افزایش یافت (Farzane et al., 2012).

به‌طور کلی به‌دلیل اهمیت پتانسیل آب در مرحله جوانه‌زنی تأثیر آن بر استقرار گیاهان از جمله کاملینا به‌ویژه در شرایط تنش خشکی، انجام مطالعه و بررسی در این زمینه ضروری می‌باشد. بنابراین، این آزمایش با هدف بررسی تأثیر پرایمینگ با عصاره گیاه چاودار و مدت زمان پرایمینگ بر جوانه‌زنی و برخی صفات بیوشیمیایی کاملینا تحت تنش خشکی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. عامل اول پرایمینگ با عصاره ریشه گیاه چاودار رقم دانکو در ۳ سطح (صفر، ۴۰ و ۶۰ درصد)، عامل دوم زمان‌های پرایمینگ در سه سطح (صفر، ۶ و ۱۲ ساعت) و عامل سوم شامل تنش خشکی در ۳ سطح (صفر، ۳- و ۶- بار) بود. جهت به‌دست آوردن عصاره ریشه گیاه چاودار، ابتدا خاک

[1] Reactive Oxygen Species
[2] Benzylaminopurine

گلدان (نسبت ۲ به ۱، خاک مزرعه به ماسه نرم) در دستگاه اتوکلاو ضدعفونی شد. سپس تعداد ۱۶ گلدان نایلونی به ارتفاع ۲۵ و قطر ۱۸ سانتی‌متر به نحوی پر شدند که سطح خاک هر گلدان تا دهانه آن ۵ سانتی‌متر فاصله داشت. سپس ۱۰ بذر چاودار رقم دانکو در عمق یک سانتی‌متری کاشته شد. پس از استقرار گیاهچه‌ها و در مرحله چهار برگی، بوته‌ها در گلدان تنک و در نهایت پنج بوته در هر گلدان نگه داشته شد. آبیاری گلدان‌ها هر ۲ روز یکبار انجام شد. پس از سه هفته از زمان کاشت نمونه‌برداری از ریشه‌ها انجام و جهت عصاره‌گیری مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت از عصاره استخراج شده از هر نمونه غلظت مورد نظر تهیه شد (جهت عصاره‌گیری ابتدا ریشه‌های گیاه چاودار به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک شد و پس از آن نمونه‌ها پودر شدند. سپس ۱۰ گرم از نمونه پودر شده در ۱۰۰ سی سی آب مقطر به‌صورت محلول درآورده و به‌مدت ۲۴ ساعت روی شیکر قرار داده شد، بعد از آن محلول به‌دست آمده از کاغذ صافی عبور داده و از آن نسبت‌های مورد نظر جهت آزمایش به‌دست آمد).

ابتدا بذرهای کاملینا رقم سهیل که از مرکز تحقیقات شیراز تهیه شده بود با هیپوکلریت سدیم پنج درصد به‌مدت یک دقیقه ضدعفونی شد (Cuero et al., 1982). پس از به‌دست آوردن عصاره ریشه چاودار تیمارهای مورد بررسی برای پرایمینگ انتخاب و بذرها در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد سلسیوس در تاریکی در عصاره‌های ریشه چاودار در غلظت‌های تعیین شده غوطه‌ور شدند، پس از پرایمینگ در زمان‌های تعیین شده، بذرها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خشک شد. از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ (PEG 6000) برای ایجاد سطوح پتانسیل اسمزی استفاده شد، جهت محاسبه مقدار پلی اتیلن گلایکول برای هر سطح از پتانسیل مورد نظر از رابطه (Michel & Kaufman, 1973) استفاده شد.

رابطه (۱)
$$\Psi s = (1.18 \times 10^{-2})C - (1.18 \times 10^{-4})C^2 + (2.67\times10^{-4})CT + (8.39\times10^{-7})CT^2$$

در این رابطه Ψs پتانسیل آبی بر اساس واحد بار، T دمای محیط کشت بذر براساس درجه سلسیوس و C غلظت پلی اتیلن گلایکول بر حسب گرم بر لیتر آب می‌باشد.

به منظور ارزیابی جوانه‌زنی، نمونه‌های ۲۵ تایی بذر کاملینا در هر پتری به‌همراه کاغذ صافی به روش روی کاغذ، در دمای متناوب ۳۰-۲۰ درجه سلسیوس درون ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۷ روز، بر اساس سطوح تیماری قرار گرفت (ISTA, 2010). بدین منظور بذور آغشته‌شده با تیمارهای عصاره گیاه چاودار و آغشته نشده بلافاصله درون پتری‌های ۹۰ میلی‌متری که به میزان ۵ میلی‌لیتر آب مقطر جهت تیمار شاهد و ۵ میلی‌لیتر محلول اسمزی جهت اعمال تنش خشکی کشت شد و طی آزمون جوانه‌زنی استاندارد، تعداد بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه شمارش شد. در آزمون جوانه‌زنی استاندارد نمونه‌ها بذر در۴ 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 ژرمیناتور به مدت ۷ روز قرار داده شد و شمارش بذرهای جوانه‌زده از روز اول در ساعتی معین صورت گرفت. به هنگام شمارش، بذرهای 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 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 ۲) و سرعت جوانه‌زنی (رابطه ۳) اندازه‌گیری شد.

رابطه (۲): درصد جوانه‌زنی (GP) (Ikic et al., 2012)

GP= (تعداد بذرهای جوانه زده / تعدادکل بذرها) ×۱۰۰

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

رابطه (۳): سرعت جوانه‌زنی(GR) (Verma et al., 2005)

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

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 دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با استفاده از ضریب خاموشی ($155\ mM^{-1}\ cm^{-1}$) گردید. سنجش فعالیت آلفا آمیلاز با استفاده از روش لورتو و ولیکوا (Xiao et al., 2006) انجام و در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS، ۹.۱ و رسم نمودارها با نرم افزار Excel، نسخه ۲۰۱۳ 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.

نتایج و بحث

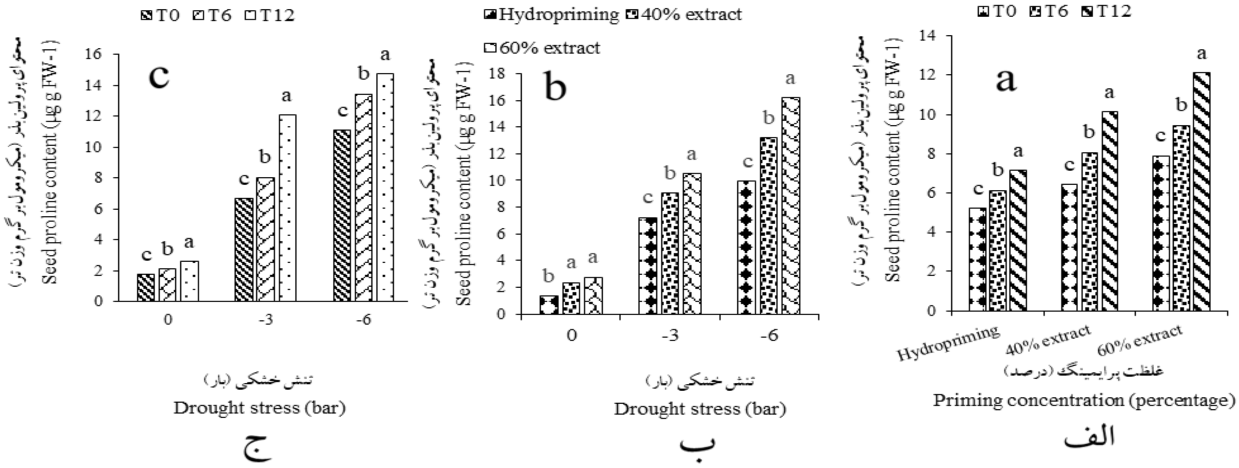
نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان از معنی‌داری اثر سه‌گانه تنش خشکی، غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ بر محتوای قندهای محلول و محتوای مالون دی‌آلدهید، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه در کاملینا در سطح احتمال خطای یک درصد دارد. در محتوای پرولین اثر دوگانه غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ، خشکی و غلظت پرایمینگ و خشکی و زمان پرایمینگ در سطح احتمال خطای یک درصد، فعالیت آلفا آمیلاز نیز نشان از معنی‌داری اثر دوگانه غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ و خشکی و غلظت پرایمینگ در سطح احتمال خطای یک درصد و در طول ساقه‌چه نیز اثر دوگانه خشکی و زمان پرایمینگ و خشکی و غلظت پرایمینگ در سطح احتمال خطای یک درصد دارد. (جدول ۱).

محتوای پرولین

نتایج مقایسه میانگین سطوح زمان پرایمینگ در هر سطح غلظت پرایمینگ نشان داد با افزایش غلظت پرایمینگ به ۶۰ درصد به محتوای پرولین افزوده شد و زمان پرایمینگ ۱۲ ساعت نیز اثر مثبتی بر محتوای پرولین بذر داشت. به‌طوریکه در غلظت‌های هیدروپرایمینگ، پرایمینگ با عصاره ۴۰ و عصاره ۶۰ درصد بیشترین محتوای پرولین بذر به‌ترتیب با میانگین‌های ۷/۹۰، ۹/۴۵ و ۱۲/۱۱ میکرومول بر گرم وزن تر بذر از زمان ۱۲ ساعت حاصل شد که به به‌ترتیب موجب افزایش ۵۱/۳۴، ۵۴/۴۱ و ۶۹/۳ درصدی محتوای پرولین بذر نسبت به زمان صفر شد (شکل ۱-الف). شکل شکل ۱-ب بیانگر این است که در تنش خشکی صفر، ۳- و ۶- بار بیشترین محتوای پرولین (۲/۷۶، ۱۰/۵۰ و ۱۶/۱۹ میکرومول بر گرم وزن تر بذر) مربوط به عصاره ۶۰ درصد بود که با کمترین میزان آن (۱/۳۳، ۷/۲۳ و ۹/۹۲ میکرومول بر گرم وزن تر بذر) در سطح هیدروپرایمینگ به‌ترتیب اختلاف ۵۱/۸۱، ۳۱/۱۴ و ۳۸/۷۲ درصدی داشتند.

نتایج مقایسه میانگین سطوح زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی نشان داد به‌طور کلی با افزایش سطوح تنش و همچنین زمان پرایمینگ به محتوای پرولین بذر کاملینا افزوده شد که در هر سه سطح صفر، ۳- و ۶- بار تنش خشکی بیشترین محتوای پرولین بذر از زمان ۱۲ ساعت پرایمینگ حاصل شد و به‌ترتیب موجب افزایش ۴۸/۲۷، ۸۰/۹۵ و ۳۲/۵۵ درصدی نسبت به زمان صفر شد (شکل ۱-ج).

آمینواسید پرولین از جمله تنظیم‌کننده‌های اسمزی است که در بسیاری از گیاهان عالی شناسایی شده است و معمولاً در مقادیر زیاد در پاسخ به تنش‌های محیطی تجمع می‌یابد؛ شکسته شدن سریع پرولین پس از پایان یافتن شرایط تنش، تأمین‌کننده عوامل لازم برای فسفریلاسیون اکسیداتیو میتوکندریایی و تولید ATP برای ترمیم آسیب‌های ناشی از تنش است (Shahverdi et al., 2019). Yadav *et al.* (2017) پس از بررسی اثر چهار سطح خشکی حاصل از پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ بر جوانه‌زنی گیاه کاملینا گزارش کردند که افزایش سطح خشکی تا ۲۰ درصد موجب افزایش محتوای پرولین بذر شد. مطالعات Ĉanak et al. (2020) بر رقم‌های بهاره و زمستانه گیاه کاملینا در شرایط تنش خشکی نشان داد که خشکی اثر مثبت معنی‌داری بر افزایش محتوای پرولین بذر کاملینا داشت.



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف زمان پرایمینگ در هر سطح غلظت پرایمینگ (الف)، سطوح مختلف غلظت پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی (ب) و سطوح مختلف زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی (ج) برای محتوای پرولین بذر کاملینا. (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 1- Comparison of the average effect of different levels of priming at each level of priming time (a), different levels of priming in each level of drought stress (b) and different levels of time in each level of drought stress (c) for the proline content of Camelina seeds. (The mean comparison with at least one similar letter using the L.S.Means procedure did not differ significantly).

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش خشکی، پرایمینگ و زمان پرایمینگ بر برخی از خصوصیات مورد بررسی بذر کاملینا

Table 1- analysis of variance (mean square) of the effect of drought stress, priming and priming time on some investigated characteristics of Camelina seeds

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F	محتوای پرولین Proline content	محتوای قندهای محلول soluble sugars content	محتوای مالون دی‌آلدهید Malondialdehyde content	فعالیت آلفا آمیلاز Alpha amylase activity	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ریشه‌چه Root length	طول ساقه‌چه Shoot length
خشکی Drought (D)	2	1102.54**	7194.96**	0.24**	377.21**	6312.44**	386.44**	4447.44**	177.09**
زمان Time (T)	2	98.06**	1177.71**	0. 1^{ns}	91. 02**	324.00**	21.83^{ns}	196.40^{ns}	38.05^{ns}
پرایمینگ Priming (P)	2	120.89**	465.41**	0.03**	101.51**	2061.77**	103.53**	1021.64**	53.28**
خشکی × زمان D× T	4	19.32**	137.20**	0.002**	0.31^{ns}	19.11^{ns}	4.23**	263.63**	9.79**
خشکی× پرایمینگ D× P	4	17.96**	31.37**	0.0001^{ns}	1.73**	39.55*	9.69**	54.02**	4.39**
پرایمینگ × زمان P× T	4	4.58**	11.32**	0.0001^{ns}	1.38**	179.11**	29.78**	46.02**	0.61^{ns}
خشکی× زمان×پرایمینگ D× T×P	8	0.69^{ns}	9.66**	0.001**	0.31^{ns}	42.88*	6.27**	30.51**	0.79^{ns}
خطا آزمایش Error	81	0.59	2.06	0.0002	0.33	19.9	3.13	9.61	0.89
ضریب تغییرات C.V		9.58	3.51	4.25	5.25	5.7	12.14	7.01	9.47

**، *، nsبه ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح یا، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

**, * , ns significant at 1 and 5 percent levels of probability and non-significant, respectively

عصـــاره گیاهی با افزایش میزان پرولین در بذر باعث ایجاد مقاومت و کمتر شـــدن آســـیب‌های ناشـــی از تنش‌ها می‌شـــود (Huang et al., 2021). Al-Hussaini & Alsaadawi (2013) با مطالعه اثر عصـــاره چاودار بر گیاه ماش بیان نمودند حضـــور تیمار عصـــاره چاودار باعث کمک به افزایش میزان پرولین بوده اســـت به‌طوری‌که بیشترین میزان پرولین در با حضور تیمار عصاره چاودار و کمترین میزان تیمار شـاهد بود. Ramezani & Rezaei (2012) بیان کردند انجام پرایمینگ در زمان بیشـــتر با محتوای پرولین بذر را افزایش می‌دهد و با افزایش آن در ســـلول و تنظیم اســـمزی سلول‌های گیاهی باعث تعدیل آثار مخرب تنش می‌شود. در راستا با نتایج محققین می‌توان بیان نمود که در پژوهش حاضر غلظت و زمان بالای پرایمینگ (غلظت ۶۰ درصـــد و زمان ۱۲ ســـاعت) می‌تواند در شـرایط تنش خشـکی با تنظیم اسـمزی سـلول‌ها اثرات مخرب تنش خشکی را کاهش دهد.

محتوای قندهای محلول بذر

نتایج نشـــان داد با افزایش ســـطوح تنش خشـــکی به محتوای قندهای محلول بذر افزوده شد و کاربرد پرایمینگ نیز موجب ایجاد بیشـــترین محتوای قندهای محلول بذر نسـبت به شـاهد شـد. نتایج حاصـل از مقایسـه میانگین سـطوح غلظت و زمان پرایمینگ در هر سـطح تنش خشـکی نشـان داد در سـطح بدون تنش، پرایمینگ با عصـاره ۶۰ درصـد به‌همراه زمان پرایمینگ ۱۲ سـاعت با میانگین ۳۲/۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر از بیشـــترین محتوای قندهای محلول بـذر برخوردار بود کـه موجب افزایش ۴۶/۱۳ درصـــدی محتوای قندهای محلول بذر نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۲).

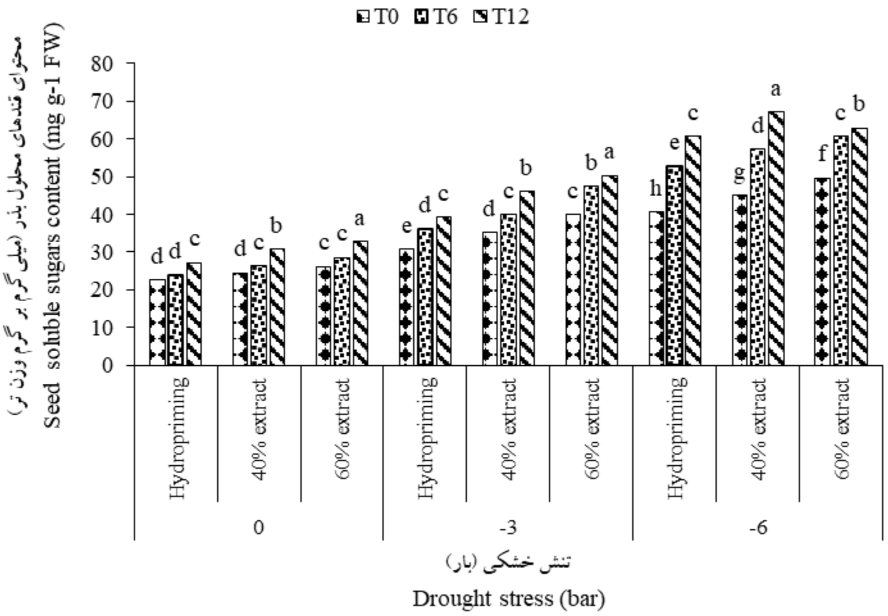
در ســـطح ۳- بار تنش خشـــکی نیز پرایمینگ با عصـــاره ۶۰ درصـــد به‌همراه زمان پرایمینگ ۱۲ ســـاعت با میانگین ۵۰/۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر از بیشـــترین محتوای قندهای محلول بذر و تیمار شـــاهد (زمان صـــفر و عدم پرایمینگ) از کم‌ترین محتوای قنـدهـای محلول بـذر (۳۰/۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بـذر) برخوردار بودنـد کـه بین آن‌هـا اختلاف ۳۸/۸۱ درصـــدی مشـاهده شـد. همچنین نتایج نشـان داد بین تیمارهای عصـاره ۶۰ درصد + زمان پرایمینگ ۶ ساعت و پرایمینگ عصاره ۴۰ درصد + ۱۲ سـاعت اختلاف معنی‌داری وجود نداشـت (شـکل ۲). در سطح ۶- بار تنش خشکی از تیمار پرایمینگ با عصاره ۴۰ درصد به‌همراه زمان پرایمینگ ۱۲ ســـاعت بیشـــترین محتوای قندهای محلول بذر حاصـل شـد که موجب افزایش ۶۴/۷۵ درصـدی در محتوای قندهای محلول بذر نسبت به تیمار شـاهد (زمان صـفر و هیدروپرایمینگ) شد (شکل ۲).

قندهای محلول به‌عنوان محافظت‌کننده‌های اسـمزی در تنظیم اسـمزی سـلول نقش دارند و در پاسـخ به تنش‌های محیطی تجمع می‌یابند. این ترکیبات موجب ثبات غشـای سـلولی و حفظ فشـار تورژسـانس سـلولی در طول تنش می‌شـوند (Vurukonda et al., 2016). در شرایط تنش خشکی رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابند و موجب بروز تنش اکسـیداتیو و آسـیب زدن به سـاختار غشـای سـلول می‌گردد. سـلول‌هـای گیـاهی بـا افزایش آنزیم‌هـای ســرکوب‌کننده‌ی رادیکال‌های آزاد و قندهای محلول در آب، درصـدد جبران و مقابله با تنش و آسـیب‌های وارد شـده می‌شـوند (Shahverdi et al., 2019). نقش قنـدهـا بـه‌عنوان پیش‌مـاده در متابولیسم کربن و انرژی شناخته شده است و حفاظت از گیاه در برابر از دسـت دادن آب به افزایش قندها در اندام‌های گیاه بسـتگی دارد. تنش خشـکی، تبدیل قندها و سـایر کربوهیدرات‌ها مانند سـاکارز و نشاسته به قندهای الکلی را در پی دارد (Koca et al., 2007).

پرایمینگ در زمان بیشـتر با اسـتفاده از افزایش تجمع قندهای محلول در سـلول و تنظیم اسـمزی سـلول‌های گیاهی باعث تعدیل آثـار مخرب تنش خشـــکی می‌شـــود (Hasanuzzaman & Fotopoulos, 2019). در تحقیقی کـاربرد خـارجی پرایمینـگ موجب افزایش تجمع قندهای محلول در شـرایط تنش خشـکی در کلـزا گـردیـد (Channaoui et al., 2017). Al-Hussaini & Alsaadawi (2013) اظهار نمودند در شـــرایط تنش خشـــکی، محلول‌پاشی با عصاره گیاه چاودار به‌طور معنی‌داری تولید قندهای محلول را افزایش داد. به بیان آن‌ها پیش تیمار بذر با عصـاره گیاه چاودار در رفع آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش نقش دارد و باعث ترمیم غشـاها و پویایی ذخایر قندی و پروتئینی و در نهایت باعث افزایش شـاخص‌های جوانه‌زنی گیاهچه می‌شـود. عصاره گیاهی با افزایش کشــش دیواره ســلولی یعنی انبســاط دیواره از طریق هیدرولیز نشـاسـته به قند که کاهش پتانسیل آب سلول را به دنبال دارد، باعث ورود آب به درون سلول و طویل شدن سلول می‌شود

(Alivand & Farajzadeh Memari Tabrizi, 2017).

ازآنجاکه استفاده از غلظت و همچنین زمان بیشتر موجب افزایش قندهای محلول گردیده است، نتیجه گرفته می‌شود که می‌توان در شرایط تنش خشکی از پرایمینگ عصاره ریشه گیاه چاودار به‌خصوص غلظت ۶۰ و زمان‌های ۶ و ۱۲ ساعت جهت افزایش محتوای قندهای محلول استفاده کرد تا در شرایط تنش آسیب‌های اکسیداتیو رفع شود و آب بیشتری به درون سلول وارد شود و موجب طویل شدن سلول و رشد طولی گردد.



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی برای محتوای قندهای محلول بذر کاملینا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 2- Comparison of the average effect of different levels of concentration priming and priming time at each level of drought stress for the content of soluble sugars in Camelina seeds.
(The mean comparison with at least one similar letter using the L.S.Means procedure did not differ significantly).

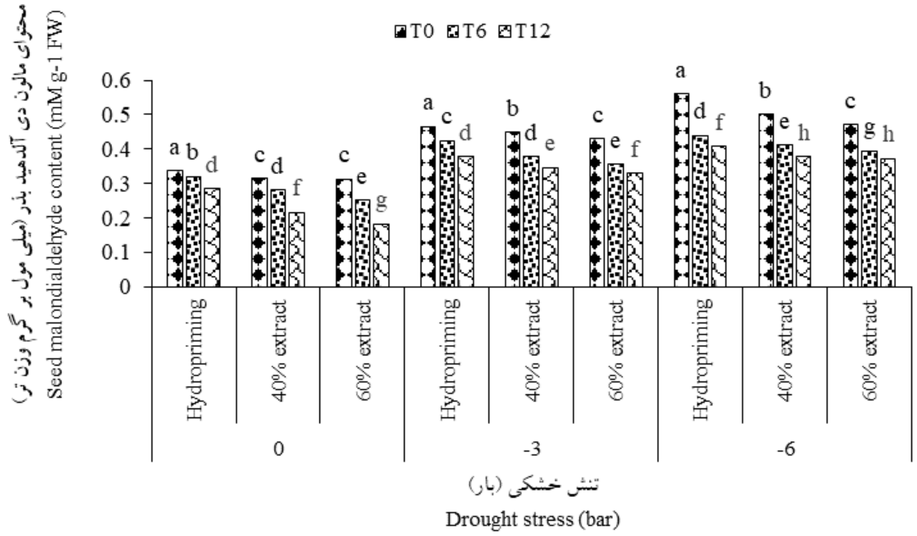
محتوای مالون دی آلدهید بذر

نتایج مقایسه میانگین سطوح غلظت و زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی نشان دهنده آن است که با افزایش سطوح تنش خشکی محتوای مالون دی آلدهید نیز افزایش یافته است اما کاربرد پرایمینگ موجب کاهش این روند نسبت به تیمار شاهد گردیده است. در هر سه سطح تنشی صفر، ۳- و ۶- بار بیشترین محتوای مالون دی‌آلدهید به‌ترتیب با میانگین ۰/۳۳۷، ۰/۴۶۵ و ۰/۵۶۰ میلی‌مول بر گرم وزن تر بذر از تیمار شاهد (زمان صفر و هیدرو پرایمینگ) و کم‌ترین آن نیز به‌ترتیب با میانگین‌های ۰/۱۸۲، ۰/۳۳۰ و ۰/۳۷۲ میلی مول بر گرم وزن تر بذر از تیمار پرایمینگ با عصاره ۶۰ درصد + زمان ۱۲ ساعت حاصل شد که به‌ترتیب با یکدیگر اختلاف ۴۵/۹۹، ۲۹/۰۳ و ۳۳/۵۷ درصدی داشتند (شکل ۳).

زمانی‌که گیاهان در معرض تنش محیطی قرار می‌گیرند، پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشای پلاسمایی اتفاق افتاده و سبب تولید مالون‌دی‌آلدئید می‌شود، این امر سبب خسارت به سامانه غشایی، مختل شدن نفوذپذیری انتخابی و افزایش نشت الکترولیت‌ها می‌شود. بنابراین محتوای مالون‌دی‌آلدئید می‌تواند منعکس‌کننده شدت پراکسیداسیون غشا باشد (Ĉanak et al., 2020). گزارش شده است که غلظت مالون دی‌آلدئید در گیاهان می‌توانند معیارهای مناسبی در جهت ارزیابی مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی باشد. رادیکال‌های آزاد اکسیژن یا واکنش‌های پراکسیداسیون لیپیدها، در غشای گیاهی به‌طور انتخابی اسیدهای چرب غیراشباع را تجزیه کرده و باعث تجمع آلدهیدها، هیدروکربن و غیره می‌شود. برای سنجش میزان آسیب وارده به سلول‌های گیاهی در نتیجه تنش‌ها، مالون دی‌آلدهید را نیز اندازه

می‌گیرند (Heidari et al., 2021). در پژوهشی نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش محتوای مالون دی آلدهید بذر ذرت شد (Manu et al., 2019).

عصاره‌های گیاهی به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های قوی در گیاه باعث پاک‌سازی گونه‌های اکسیژن فعال شناخته شده‌اند (Pandey, 1996). Alivand & Farajzadeh Memari Tabrizi (2017) گزارش کردند که پرایمینگ بذرهای گلرنگ با عصاره‌های گیاه رازیانه، نعناع و زیره سبز محتوای مالون دی‌آلدئید گیاهچه‌ها را کاهش داد. آن‌ها بیان داشتند که کاهش مالون دی‌آلدهید توسط عصاره گیاهی احتمالاً به این دلیل است که عصاره گیاهی می‌تواند با کلاته‌کردن یون‌های فلزی یا ترکیب شدن با لیپیدها، اکسیداسیون لیپیدها را کاهش دهد. Estekhdami et al. (2017) در پژوهشی مشاهده نمودند که پرایمینگ بذر سویا با عصاره گیاه مرزنجوش به‌مدت ۹ ساعت و با غلظت ۶۰ درصد دارای کم‌ترین محتوای مالون دی آلدهید بذر بود.



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی برای محتوای مالون دی‌آلدهید بذر کاملینا
(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 3- Comparison of the average effect of different levels of concentration priming and priming time at each level of drought stress for the Malondialdehyde camelina in camellia seeds.
(The mean comparison with at least one similar letter using the L.S.Means procedure did not differ significantly).

فعالیت آلفا آمیلاز

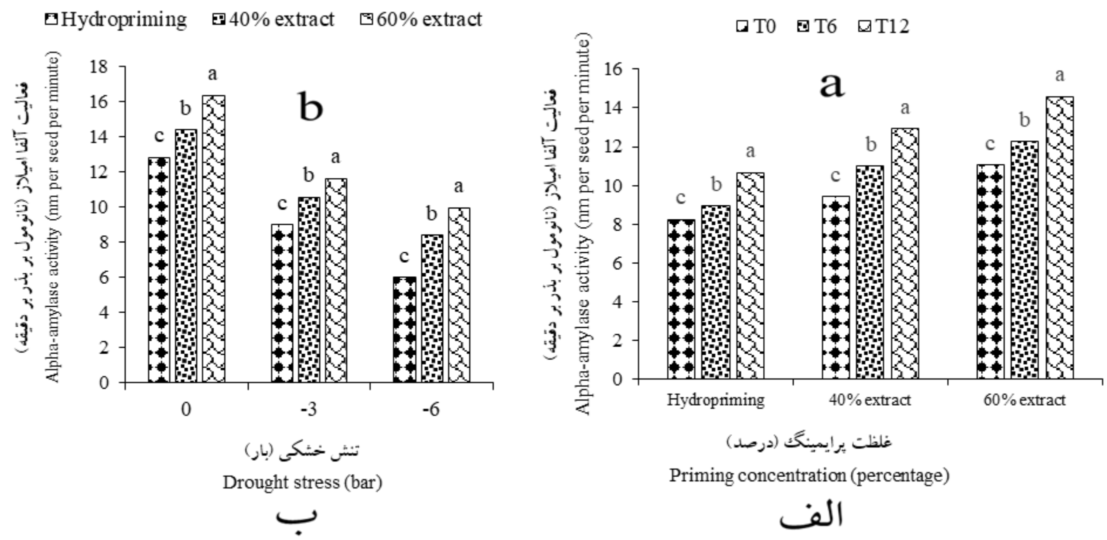
نتایج مقایسه میانگین سطوح غلظت در هر سطح زمان پرایمینگ نشان داد با افزایش غلظت پرایمینگ به عصاره ۶۰ درصد به فعالیت آلفا آمیلاز بذر کاملینا افزوده شد و کاربرد زمان ۱۲ ساعت نیز اثر مثبتی بر فعالیت آلفا آمیلاز بذر داشت. به‌طوریکه در سطوح هیدروپرایمینگ، عصاره ۴۰ و عصاره ۶۰ درصد بیشترین فعالیت آلفا آمیلاز بذر به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۱/۰۵، ۱۲/۲۶ و ۱۴/۵۹ نانومول بر بذر بر دقیقه از زمان ۱۲ ساعت حاصل شد که به به‌ترتیب موجب افزایش ۳۳/۹۳، ۲۹/۳۷ و ۳۶/۸۶ درصدی فعالیت آلفا آمیلاز بذر نسبت به تیمار زمان صفر شد (شکل ۴-الف).

نتایج شکل ۴-ب بیانگر این است که با افزایش سطوح تنش خشکی از فعالیت آلفا امیلاز کاسته شد اما کاربرد پرایمینگ به‌ویژه سطح عصاره ۶۰ درصد موجب افزایش آن شد. در تنش خشکی صفر، ۳- و ۶- بار بیشترین فعالیت آلفا آمیلاز بذر (۱۶/۳۳، ۱۱/۶۲ و ۹/۹۵ نانومول بر بذر بر دقیقه) مربوط به عصاره ۶۰ درصد بود که با کمترین میزان آن (۱۲/۸۳، ۸/۹۹ و ۶/۰۲ نانومول بر بذر بر دقیقه) در سطح هیدروپرایمینگ به‌ترتیب اختلاف ۲۱/۴۳، ۲۲/۶۳ و ۳۹/۴۲ درصدی داشتند.

نتایج این پژوهش با نتایج Kruger et al. (2014) بر روی

گیاه سویا مطابقت داشت؛ این محققین ضمن دستیابی به نتایج مشابه دریافتند که کاهش معنی‌دار فعالیت آلفا آمیلاز به دنبال کاهش پتانسیل اسمزی ممکن است به طولانی شدن فاز تأخیر بین مرحله جذب آب مربوط باشد. زیرا در طی این دوره افزایش محتوای رطوبتی بذر به کندی صورت می‌گیرد و از طرفی کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در اثر شرایط تنش خشکی، احتمالاً از طریق کاهش آب در دسترس موجب اختلال در فعالیت آنزیم‌ها برای انتقال مواد غذایی آندوسپرم و بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین شده و همچنین کاهش ترشح هورمون‌ها موجب اختلال در رشد گیاهچه شود.

مطابق تحقیقات، پرایمینگ باعث ایجاد آنزیم‌های سامانه مهار گونه‌های فعال اکسیژن، مانند گلوتاتیون ردوکتاز و پراکسیداز می‌شود. بنابراین افزایش سطح عصاره گیاهی ممکن است به گیاه کمک کند تا با تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش کنار بیاید (Pourghasemian & Moradi, 2021). گزارشی وجود دارد که نشان می‌دهد پرایمینگ با عصاره گیاهی موجب افزایش فعالیت آلفا آمیلاز در گندم می‌شود (Bajwa et al., 2018).



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف زمان پرایمینگ در هر سطح غلظت پرایمینگ (الف) و سطوح مختلف غلظت پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی (ب) برای فعالیت آلفا آمیلاز بذر کاملینا. (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 4- Comparison of the average effect of different levels of priming time at each level of priming concentration (a) and different levels of priming concentration in each level of drought stress (b) for the Alpha-amylase activity of Camelina seeds. (The mean comparison with at least one similar letter using the L.S.Means procedure did not differ significantly).

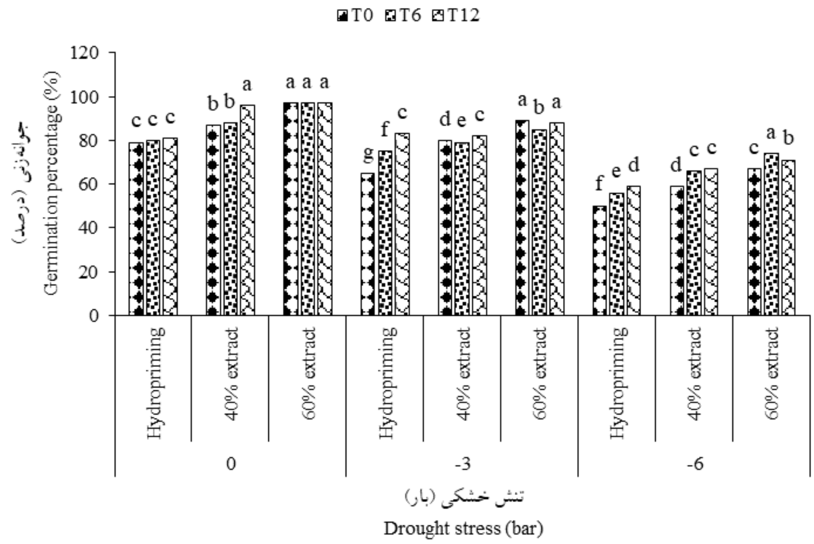
درصد جوانه‌زنی

نتایج مقایسه میانگین حاصل از داده‌ها نشان داد با افزایش سطوح تنش خشکی از درصد جوانه‌زنی کاسته شد اما کاربرد پرایمینگ در غلظت بالای عصاره و در زمان‌های بالا موجب افزایش درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد. در سطح بدون تنش بیشترین درصد جوانه‌زنی با میانگین ۹۷ درصد از تیمارهای عصاره ۶۰ درصد + زمان صفر، عصاره ۶۰ درصد + زمان ۶ ساعت و عصاره ۶۰ درصد + زمان ۱۲ ساعت حاصل شد اما از تیمار شاهد (زمان صفر+ هیدرو پرایمینگ) کم‌ترین درصد جوانه‌زنی (۷۹ درصد) به‌دست آمد (شکل ۵).

در سطح تنشی ۳- بار بیشترین درصد جوانه‌زنی از تیمار عصاره ۶۰ درصد + زمان ۱۲ ساعت (۸۹ درصد) حاصل شد که موجب افزایش ۳۶/۹۲ درصدی درصد جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۵). در سطح تنش ۶- بار بیشترین درصد جوانه‌زنی در عصاره ۶۰ درصد + زمان ۶ ساعت به‌دست آمد اما در این سطح تنشی با افزایش زمان به ۱۲ ساعت از درصد جوانه‌زنی کاسته شد. کم‌ترین این صفت نیز با میانگین ۵۰ درصد از تیمار شاهد به‌دست آمد (شکل ۵).

در بیشـتر گیاهان جوانه‌زنی بذر حسـاس‌ترین مرحله در برابر کم آبی اسـت به‌طوری که جوانه‌زنی بذر در گونه‌های حسـاس به تنش خشـکی آهسـته شـده یا کاهش یافته و در نتیجه اسـتقرار ضـعیف اسـت (Kayacetin et al., 2017). Channaoui et al. (2017) بیان کردند که درصـد جوانه‌زنی بذر کلزا تحت تنش خشـکی کاهش یافت. به‌نظر می‌رسـد کاهش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی و مختل شدن آن‌ها و کاهش انتقال و مصـرف اندوخته بذر توسـط جنین علت اصـلی کاهش درصـد جوانه‌زنی اسـت. تنش خشـکی در طی جوانه‌زنی می‌تواند باعث کاهش درصـد جوانه‌زنی و اختلال در خروج ریشـه‌چه بذر در گونه‌های مختلف ارقام زراعی گردد (Dawadi et al., 2019). پرایمینگ بذر یک تیمار پیش از کاشت است که کارایی جوانه‌زنی را به‌وسیله افزایش درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بهبود می‌بخشـد. پرایمینگ بذر، به‌عنوان یک روش معمول به‌منظور افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی در مزرعه، افزایش بنیه، و ظهور گیاهان مقاوم و در نتیجه رسـیدن گیاهان پاییزه به درجه‌ای از تحمل به تنش خشکی محسوب می‌شود. در شـرایط پرایمینـگ بـه دلیـل وقوع یـک‌سـری فراینـدهـای فیزیولوژیکی در بذر مانند فعال شـدن آنزیم‌های هیدرولاز و تجزیه سـریع‌تر مواد ذخیره‌ای لازم برای جوانه‌زنی بذر، افزایش تنفس بذر و تولید ATP، جوانه‌زنی تحت تنش خشـکی سـریع‌تر رخ می‌دهد (Bajwa et al., 2018).

عصـاره گیاهی چاودار تغییرات ایجاد شـده در فیتوهورمون‌ها که تحت تنش محیطی در گیاه اتفاق می‌افتد را کاهش می‌دهد و از طریق جلوگیری از کـاهش سـطح هورمون‌هـای اکسـین و سیتوکنین، از کاهش رشد ناشی از تنش جلوگیری کرده و موجب افزایش درصد جوانه‌زنی می‌گردد (Al-Hussaini & Alsaadawi et al., 2013). Huang et al. (2021) مشـاهده نمودند کاربرد عصـاره گیاه چاودار موجب افزایش درصـد جوانه‌زنی در بذر کاملینا گردید که نتایج تحقیق حاضر همسو با آن بود.



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی برای درصد جوانه‌زنی کاملینا

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 5- Comparison of the average effect of different levels of priming concentration and priming time at each level of drought stress for Germination percentage in camellia seeds.

(The mean comparison with at least one similar letter using the L.S.Means procedure did not differ significantly).

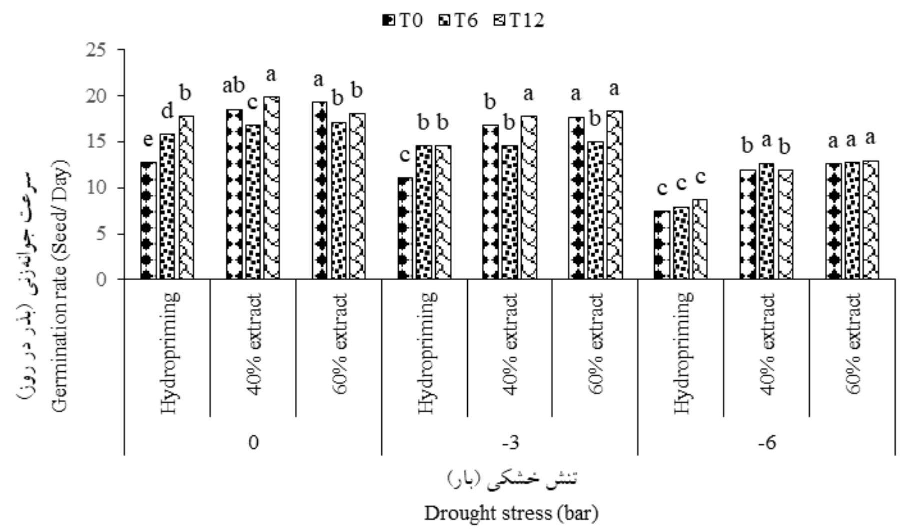
سرعت جوانه‌زنی

با انجام مقایسـه میانگین مشـاهده شـد با افزایش سـطوح تنش خشـکی سـرعت جوانه‌زنی روند کاهشـی داشـت. در سـطح بدون تنش با کاربرد عصاره ۴۰ درصد و زمان ۱۲ ساعت بیشترین و در تیمار شاهد نیز کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی حاصل شد. در سطوح تنش خشـکی ۳- و ۶- بار بیشـترین سـرعت جوانه‌زنی (۱۸/۲۴ و

۱۲/۸۹ بذر جوانه‌زده در روز) مربوط به عصاره ۶۰ درصد + زمان ۱۲ ساعت بود که به‌ترتیب باعث افزایش ۶۴/۹۱ و ۷۳/۹۵ درصدی سرعت جوانه‌زنی نسبت به کمترین میزان آن (۱۱/۰۶ و ۷/۴۱ بذر جوانه‌زده در روز) در شاهد شد (شکل ۶).

تنش خشکی می‌تواند سرعت جوانه‌زنی گیاه را با محدودیت مواجه نماید زیرا مرحله جوانه‌زنی بسیار حساس به تنش خشکی است (Dawadi et al., 2019). Channaoui et al. (2017) پس از بررسی اثر تنش خشکی بر جوانه‌زنی گیاه کلزا گزارش کردند که با افزایش سطح خشکی سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت که نتایج پژوهش حاضر همسو با آن بود.

پرایمینگ به‌عنوان یک فناوری جهت افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، بنیه بالا و بهبود عملکرد در گونه‌های زراعی معرفی شده است (Gupta & Hunsigi, 2010). (Khorramdel et al., 2013) طی مطالعه‌ای روی گیاه سیاهدانه مشاهده نمودند پرایمینگ باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی در سطوح تنشی مختلف نسبت به بذرهای شاهد شد. Pourghasemian & Moradi, (2021) گزارش کردند که سرعت جوانه‌زنی در تمام تیمارهای پرایمینگ با عصاره چاودار در بذر گیاه کنجد بالاتر از شاهد بود و اختلاف معنی‌داری با عدم پرایمینگ داشتند. پرایمینگ بذر توسط عصاره چاودار از طریق افزایش جذب آب توسط بذر موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌گردد. در بذرهای پرایم شده، تغییرات متابولیک و بیوشیمیایی به نفع جوانه‌زنی تحقق می‌یابد.



شکل ۶- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی برای سرعت جوانه‌زنی کاملینا

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 6- Comparison of the average effect of different levels of priming concentration and priming time at each level of drought stress for Germination rate in camellia seeds.

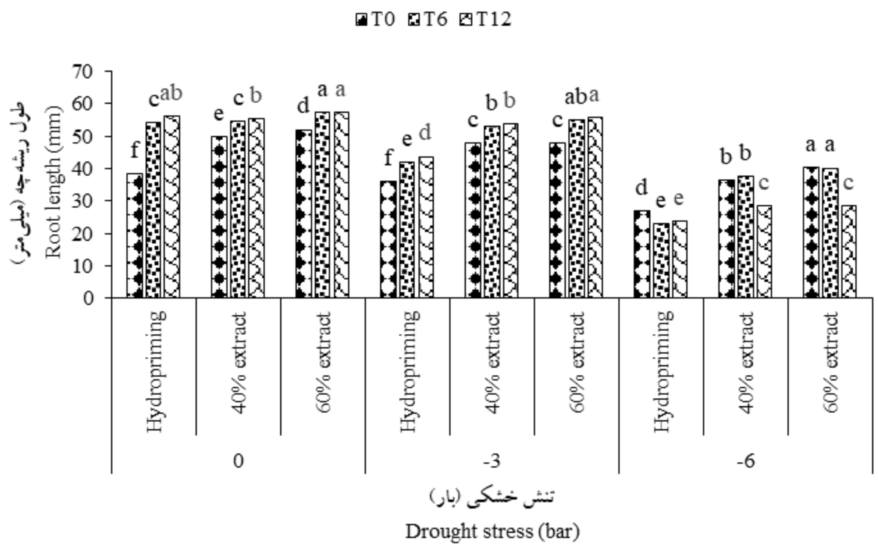
(The mean comparison with at least one similar letter using the L.S.Means procedure did not differ significantly).

طول ریشه‌چه

با انجام مقایسه میانگین مشاهده شد با افزایش سطوح تنش خشکی طول ریشه‌چه روند کاهشی داشت. در سطوح صفر و ۳- بار تنش خشکی با کاربرد پرایمینگ با غلظت عصاره ۶۰ درصد و در زمان ۱۲ ساعت در هر سه سطح تنشی بیشترین طول ریشه‌چه (۵۷/۳۲ و ۵۵/۷۲ میلی‌متر) که به‌ترتیب باعث افزایش ۴۹/۸۶ و ۵۴/۹۰ درصدی طول ریشه‌چه نسبت به کمترین میزان آن (۳۸/۳۰ و ۳۵/۹۷ میلی‌متر) در شاهد شد. در سطح ۶- بار تنش خشکی بیشترین و کمترین طول ریشه‌چه به‌ترتیب در تیمار پرایمینگ با عصاره ۶۰ درصد + ۶ ساعت و زمان ۱۲ ساعت+ هیدروپرایمینگ مشاهده شد (شکل ۷).

Manu et al. (2019) در بررسی تنش خشکی بر طول ریشه‌چه ذرت نشان دادند که طول ریشه‌چه، تأثیرپذیری نسبت به تنش داشت و نتیجه گرفتند که ریشه‌چه حساس‌ترین قسمت گیاه، نسبت به این تنش است. در بررسی حاضر نیز دیده شد که طول ریشه‌چه کاملینا نسبت به تنش خشکی حساس بوده، بنابراین می‌توان گفت که طول ریشه‌چه معیار مناسبی برای اندازه‌گیری تحمل به تنش خشکی در گیاهان مختلف است. طبق مشاهدات Muscolo et al. (2014) ریشه اندامی است که وظیفه جذب آب و املاح معدنی را به عهده دارد و تنش خشکی بیشتر از ناحیه ریشه به گیاه وارد می‌شود، بنابراین ریشه اولین اندامی است که با تنش خشکی مواجه می‌شود. نتایج آزمایش Rouhi et al. (2021) نشان داد تنش خشکی اثرات منفی بر شاخص‌های جوانه‌زنی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذر علف بره (*Festuca ovina*) داشته و با افزایش شدت تنش، درصد و سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه کاهش و متوسط زمان جوانه‌زنی افزایش یافت.

عصاره گیاهی از طریق تنظیم فشار اسمزی سلول، باعث افزایش جذب آب و مواد غذایی ضروری توسط گیاه شده و در نتیجه رشد گیاهچه در شرایط تنش افزایش پیدا می‌کند (Faroq et al., 2009). همچنین طی پژوهشی مشخص گردید عصاره‌های گیاه رازیانه، نعناع و زیره سبز با غلظت یک و دو درصد موجب افزایش درصد جوانه‌زنی (تا ۱۱/۶ درصد) و بهبود رشد ریشه‌چه گلرنگ در شرایط تنش کم‌آبی شد (Alivand & Farajzadeh Memari Tabrizi, 2017).



شکل ۷- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف غلظت پرایمینگ و زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی برای طول ریشه‌چه کاملینا
(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

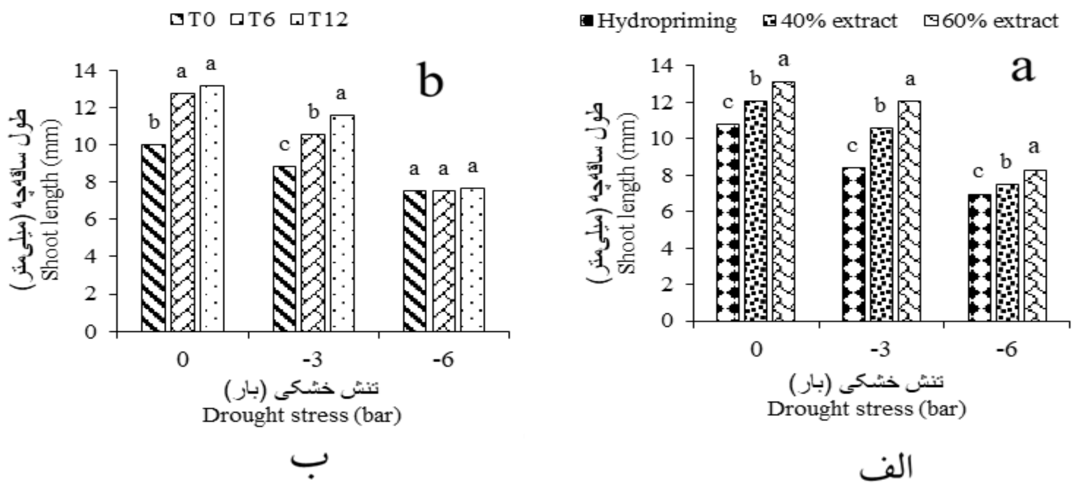
Figure 7- Comparison of the average effect of different levels of priming concentration and priming time at each level of drought stress for Root length in camellia seeds.
(The mean comparison was performed using the L.S.Means procedure, and at each level of chitosan, mean with at least one similar letter did not differ significantly).

طول ساقه‌چه

نتایج مقایسه میانگین سطوح زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی نشان داد به‌طور کلی با افزایش سطوح تنش از طول ساقه‌چه کاسته شد ولی زمان پرایمینگ اثر مثبتی بر افزایش طول ساقه‌چه داشت. در سطوح صفر و ۳- بار تنش خشکی بیشترین طول ساقه‌چه از زمان ۱۲ ساعت پرایمینگ حاصل شد و به‌ترتیب موجب افزایش ۳۱/۴۰ و ۳۰/۴۷ درصدی نسبت به زمان صفر شد. در سطح ۶- بار نیز هر سه سطح زمانی پرایمینگ در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۱۰). نتایج حاصل از مقایسه میانگین سطوح پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی (شکل ۴-۱۱) بیانگر

این است که در تنش خشکی صفر، ۳- و ۶- بار بیشترین طول ساقه‌چه (۱۳/۰۹، ۱۲/۰۵ و ۸/۲۷ میلی‌متر) مربوط به عصاره ۶۰ درصد و کمترین میزان آن (۱۰/۷۶، ۸/۳۹ و ۶/۹۶ میلی‌متر) مربوط به تیمار بدون پرایمینگ بود.

کاهش رشد طولی ساقه‌چه در اثر تنش خشکی می‌تواند به‌علت کاهش رشد سلول و سنتز مواد دیواره‌ای باشد زیرا شرایط کم‌آبی و پتانسیل منفی بر جذب آب سلول‌ها تأثیر گذاشته و در نتیجه فشار تورژسانس لازم مهیا نمی‌شود و طول سلول کاهش می‌یابد (نظامی و همکاران، ۱۳۹۶). Yadav et al. (2017) پس از بررسی اثر سطوح تنش خشکی حاصل از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ بر جوانه‌زنی گیاه کاملینا گزارش کردند که افزایش سطح خشکی تا ۲۰ درصد (معادل ۰/۵- مگاپاسکال در دمای ۲۵ درجه سلسیوس) طول ساقه‌چه کاملینا را کاهش داد. عصاره گیاهی از طریق جذب و نگهداری رطوبت و همچنین از طریق تنظیم فشار اسمزی سلول، به رشد اندام‌های رویشی گیاهان کمک می‌کند (Faroq et al., 2009). و احتمالاً یکی از دلایل رشد ساقه‌چه در تحقیق حاضر، همین موضوع است. در پژوهشی Estekhdami et al. (2017) مشاهده نمودند پرایمینگ بذر سویا با عصاره گیاه مرزنجوش به‌مدت ۹ ساعت و با غلظت ۶۰ درصد دارای بالاترین طول ریشه‌چه بود و کم‌ترین فعالیت آنزیم‌ها در تیمار شاهد مشاهده گردید.



شکل ۸- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف زمان پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی (الف) و سطوح مختلف پرایمینگ در هر سطح تنش خشکی (ب) برای طول ساقه‌چه بذر کاملینا. (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با استفاده از رویه L.S.Means اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 8- Comparison of the average effect of different levels of priming time at each level of drought stress (a) and different levels of priming in each level of drought stress (b) for the Shoot length of Camelina seeds.
(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).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق مشاهده گردید که تنش خشکی شاخص‌های بیوشیمیایی، گیاهچه‌ای و جوانه‌زنی کاملینا را تحت تأثیر قرار داد و پیش تیمار با عصاره آبی چاودار در غلظت ۶۰ درصد و زمان ۱۲ ساعت با بهبود شاخص‌های بیوشیمیایی و جوانه‌زنی توانستند با تأثیر بر سامانه دفاع آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی گیاه باعث افزایش تحمل گیاهچه‌های کاملینا تحت تنش خشکی شوند. با افزایش سطوح تنش خشکی شاخص‌های بیوشیمیایی مانند محتوای پرولین بذر، محتوای قندهای محلول بذر و محتوای مالون دی‌آلدهید افزایش اما از فعالیت آلفا آمیلاز بذر کاسته شد. همچنین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافتند. پرایم بذر با عصاره چاودار در اکثر صفات مورد مطالعه نسبت به عدم پرایمینگ برتری داشت و مشاهده گردید که پیش‌تیمار بذرها توانست تا حدودی باعث افزایش صفاتی چون

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه شوند. همچنین نتایج بررسی اثر زمان پرایمینگ بر صفات بیوشیمیایی نشان داد زمان پرایمینگ ۱۲ ساعت بذرهای کاملینا از بیشترین محتوای پرولین، قندهای محلول و فعالیت آلفا آمیلاز بذر و کم‌ترین محتوای مالون‌دی‌آلدهید برخوردار بود. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که استفاده از پرایمینگ بذر با عصاره جهت سرعت بخشیدن به مرحله سبز شدن و استقرار به‌ویژه در شرایط دمای پایین توصیه می‌شود. نتایج حاصل از پژوهش به‌کار بردن تیمارهایی با منشأ زیستی مانند عصاره ریشه چاودار جهت پرایمینگ کردن بذر کاملینا می‌تواند موجب استقرار بهتر بذر و افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای کاملینا تحت تنش خشکی شود. با توجه به هزینه پایین تهیه و تولید عصاره‌های آبی، سازگاری با محیط زیست استفاده از این عصاره‌ها در کشت‌های دیم در صورت تأیید نتایج مزرعه‌ای قابل توصیه است.

تعارض منافع

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

References

Abdellaoui, R., Boughalleb, F., Zayoud, D., Neffati, M., & Bakhshandeh, E. (2019). Quantification of *Retama raetam* seed germination response to temperature and water potential using hydrothermal time concept. *Environmental and Experimental Botany*, *157*, 211–216. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.005

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

Al-Hussaini, M. K., & Alsaadawi, I. S. (2013). Mitigation of drought stress effect on growth and productivity of mung bean by foliar application of sorghum water extract. *Iraqi Journal of Science*, *54*, 560–568.

Alivand, M., & Farajzadeh Memari Tabrizi, A. (2017). The enhancing effect of different concentrations of fennel, cumin, and mint extracts on the physiological characteristics of seed germination and yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit conditions. *Environmental Stress in Agricultural Sciences*, *11*(3), 675–690.

Bajwa, A. A., Farooq, M., & Nawaz, A. (2018). Seed priming with sorghum extracts and benzyl aminopurine improves the tolerance against salt stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *24*, 239–249. https://doi.org/10.1007/s12298-018-0517-6

Ĉanak, P., Jeromela, A., Vujošević, B., Kiprovski, B., Mitrović, B., Alberghini, B., Facciolla, E., Monti, A., & Zanetti, F. (2020). Is drought stress tolerance affected by biotypes and seed size in the emerging oilseed crop camelina? *Agronomy*, *12*, 1856. https://doi.org/10.3390/agronomy12121856

Channaoui, S., El Kahkahi, R., Charafi, J., Mazouz, H., El Fechtali, M., & Nabloussi, A. (2017). Germination and seedling growth of a set of rapeseed (*Brassica napus*) varieties under drought stress conditions. *International Journal of Environment, Agriculture and Biology*, *2*(1), 487–494.

Chaudhry, S., & Sidhu, G. P. S. (2022). Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review. *Plant Cell Reports*, *41*(1), 1–31. https://doi.org/10.1007/s00299-021-02759-5

Cuero, R. G., Smith, J. E., & Lacey, J. (1986). The influence of gamma irradiation and sodium hypochlorite sterilization on maize seed microflora and germination. *Journal of Food Microbiology*, *3*, 107–113. https://doi.org/10.1016/0740-0020(86)90011-7

Dawadi, D., Seepaul, R., George, S., Groot, J., & Wright, D. (2019). Drought tolerance classification of common oilseed species using seed germination assay. *Journal of Oilseed Brassica*, *10*, 97–105.

Estekhdami, P., Baradaran FiroozAbadi, M., Makarian, H., & Ghorbani, H. (2017). Investigating the antioxidant and physiological response of soybean to seed pretreatment and spraying with the extract of the medicinal plant marjoram. *Applied Research in Ecophysiology*, *6*(1), 115–125.

Farzane, M., Ghanbari, M., & Eftekhariyan Jahromi, A. R. (2012). Effect of proline content and seed germination of radish (*Raphanus sativus* L.) in terms of salinity. *Plant Science Research*, *8*(1), 65–74. [In Persian]

Figueroa, C., Padilla, R., Uribe, J. M., & Paneque, M. (2017). Land suitability assessment for camelina (*Camelina sativa* L.) development in Chile. *Sustainability*, *9*(1), 154. https://doi.org/10.3390/su9010154

Ghidoli, M., Ponzoni, E., Araniti, F., Miglio, D., & Pilu, R. (2023). Genetic improvement of *Camelina sativa* (L.) Crantz: Opportunities and challenges. *Plants*, *12*(3), 570. https://doi.org/10.3390/plants12030570

Gupta, M., & Hunsigi, J. (2010). Yield components and weed control potential in intercropping of mungbean and basil. *Indian Journal of Medical Plants*, *13*, 15–21.

Hardegree, S. P., & Emmerich, W. E. (1994). Seed germination response to polyethylene glycol solution depth. *Seed Science and Technology*, *22*, 1–7.

Hasanuzzaman, M., & Fotopoulos, V. (2019). Priming and pretreatment of seeds and seedlings: Implication in plant stress tolerance and enhancing productivity in crop plants. *Springer Nature Singapore*. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1

Heath, R. L., & Packer, L. J. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: 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

Heidari, M., Esmaeilzadeh Bahabadi, S., & Sangtarash, M. H. (2021). Effect of salicylic acid on growth, physiological, and biochemical characteristics of *Melissa officinalis* L. under cadmium stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *37*(1), 37–49. [In Persian]

Huang, P., He, L., Abbas, A., Hussain, S., Hussain, S., Du, D., Hafeez, H., Balooch, H., Zahra, N., Ren, X., Rafiq, M., & Saqib, M. (2021). Seed priming with sorghum water extract improves the performance of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) under salt stress. *Plants*, *10*(749), 1–15. https://doi.org/10.3390/plants10040749

Hussain, H. A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S. A., Men, S., & Wang, L. (2018). Chilling and drought stresses in crop plants: Implications, cross-talk, and potential management opportunities. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 393. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00393

Hussain, S. A. J., Akhtar, M. A., Riaz, M. A., & Saqib, Z. A. (2008). Ionic concentration and growth response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes under saline and/or sodic water application. *Soil and Environment*, *27*(2), 177–184.

Ikic, I., Maric´evic, M., Tomasovic, S., Gunjaca, J., Atovic, Z. S., & Arcevic, H. S. (2012). The effect of germination temperature on seed dormancy in Croatian-grown winter wheats. *Euphytica*, *188*, 25–34. https://doi.org/10.1007/s10681-011-0588-5

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. *Journal of Plant Physiology*, *141*(1), 55–60. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)80417-6

Kahrizi, D., Rostami, A. H., & Akbarabadi, A. (2015). Feasibility of cultivating camelina (*Camelina sativa*) as a medicinal-oil plant in rainfed conditions in Kermanshah: Iran's first report. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *47*(3), 117–125. [In Persian]

Kayacetin, F., Efeoğlu, B., & Alizadeh, B. (2018). Effect of NaCl and PEG-induced osmotic stress on germination and seedling growth properties in wild mustard (*Sinapis arvensis* L.). *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 28*(1), 62–68.

Khorramdel, S., Rizvani-Moghadam, P., Amin Ghafouri, A., & Shabahang, C. (2013). Investigating the effect of priming with salicylic acid and drought stress on the germination characteristics of black seed. *Iranian Agricultural Research Journal*, *10*(4), 709–725. [In Persian]

Klińska, S., Gazarkiewicz, K., & Banaś, A. (2019). Acyl-CoA: Lysophosphatidylcholine acyltransferases (LPCATs) of *Camelina sativa* seeds: Biochemical properties and function. *Planta*, *250*(5), 1655–1670. https://doi.org/10.1007/s00425-019-03266-w

Koca, H., Bor, M., Özdemir, F., & Türkan, İ. (2007). The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes, and proline content of sesame cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, *60*(3), 344–351. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.12.005

Krüger, G. H. J., De Villiers, M. F., Strauss, A. J., De Beer, M., Van Heerden, P. D. R., Maldonado, R., & Strasser, R. J. (2014). Inhibition of photosystem II activities in soybean (*Glycine max*) genotypes differing in chilling sensitivity. *South African Journal of Botany*, *95*, 85–96. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.08.007

Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, *13*(3), 1318. https://doi.org/10.3390/su13031318

Manu, N., Opit, G. P., Osekre, E. A., Arthur, F. H., Mbata, G., Armstrong, P., & Campbell, J. F. (2019). Moisture content, insect pest infestation, and mycotoxin levels of maize in markets in the northern region of Ghana. *Journal of Stored Products Research*, *80*, 10–20. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.11.005

Michel, B. E., & Kaufmann, M. R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, *51*(5), 914–916. https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914

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. https://doi.org/10.2307/3897501

Muscolo, A., Sidari, M., Anastasi, U., Santonoceto, C., & Maggio, A. (2014). Effect of PEG-induced drought stress on seed germination of four lentil genotypes. *Journal of Plant Interactions*, *9*(1), 354–363. https://doi.org/10.1080/17429145.2013.878633

Nikkhah, H. R., Tajali, H., Tabatabaei, S. A., & Taheri, M. (2022). Evaluation of yield stability and drought tolerance of barley genotypes in temperate regions of Iran. *Journal of Crop Breeding, 14*(44), 1–17. https://doi.org/10.1001.1.22286128.1401.14.44.1.8 [In Persian]

Pandey, D. K. (1996). Phytotoxicity of sesquiterpene lactone parthenin on aquatic weeds. *Journal of Chemical Ecology, 22*, 151–160. https://doi.org/10.1007/BF02055197

Pourghasemian, N., & Moradi, A. (2021). Alleviating drought stress in sesame seedlings by priming and irrigation of beeswax waste and licorice extracts. *Iranian Journal of Seed Science and Research, 8*(1), 45–62. [In Persian]

Ramezani, M., & Rezaei, R. (2012). Comparison of different times and priming concentrations on the seedling characteristics of winter rapeseed (*Sarigol*). *Journal of Agricultural Plant Breeding, 8*(1), 145–159. [In Persian]

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

Shahverdi, M., Omidi, H., Mosanaiey, H., Pessarakli, M., Mousavi, S. E., & Ghasemzadeh, M. (2019). Effects of light and temperature treatments on germination and physiological traits of stevia seedlings (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Journal of Plant Nutrition, 42*(10), 1125–1132. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617300

Verma, S. K., Bjpai, 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.

Vurukonda, S. S. K. P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., & Skz, A. (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth-promoting rhizobacteria. *American Journal of Microbiology Research, 184*, 13–24.

Yadav, P. V., Khatri, D., & Nasim, M. (2017). Salt and PEG-induced osmotic stress tolerance at germination and seedling stage in *Camelina sativa*: A potential biofuel crop. *Journal of Seed Science, 10*, 27–32. http://dx.doi.org/10.3923/rjss.2017.27.32