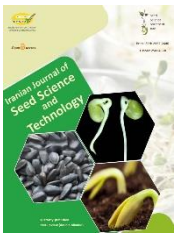
2024, 13 (2), 51-62 https://doi.org/10.22092/ijsst.2022.360310.1458

Seed Science Society of Iran

Seed and Plant Certification and Registration Institute

Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

Studying the relationship between buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Möench) seeds with different morphometric characteristics in response to germination temperatures

Bahman Ahmadvand[1], Seyed Amir Moosavi[2*], Seyed Ata Siadat[3], Reza Tavakkol Afshari[4], Ali Ghatei[5]

1. PhD. in Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.
3. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.
4. Professor, Department of Agrotechnlogy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
5. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

Article Information

Received: 22 Oct. 2023
Revised: 02 Dec. 2023
Accepted: 06 Dec. 2023

Keywords:
Buckwheat,
Seed morphometric,
Cardinal temperature,
Segmented model

Corresponding Author:
amirmoosavi@asnrukh.ac.ir

Abstract

This study aimed to investigate the relationship between the morphometric characteristics of the seeds of different buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Möench) lots obtained from different planting dates (29th Aug: 1, 13th Sep: 2, 28th Sep: 3, and 12th Oct: 4) with its seed germination quality under different temperature treatments. For each seed lot, four separate experiments with 11 temperature levels including 4, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 37, 40, and 45 °C were carried out in a completely randomized design with 3 replications in seed science and technology laboratory of Agricultural Sciences and Natural Resources of Khuzestan University in 2022. The results of the analysis of variance demonstrated that temperature has a significant effect at the level of 1% on the germination rate index. According to the model parameters and of course the standard error, the segmented model was chosen as the best model. Based on this, according to the superior (segmented) model, the base, optimal, and ceiling temperatures for lot 1 are 4.82, 34.24, and 44.82 degrees Celsius, in lot 2 they are 4.18, 33.82, and 46 respectively. 44.0 degrees Celsius, in lot 3 it was estimated at 5, 34.64, and 43.87 degrees Celsius respectively and in lot 4 it was estimated at 5, 31.69, and 44.27 degrees Celsius respectively. Identifying the cardinal temperatures can be of great help in managing the optimal sowing date of crops.

How to cite this paper: Ahmadvand, B., Moosavi, S.A., Siadat, S.A., Tavakkol Afshari, R., Ghatei, A. (2024). Studying the relationship between buckwheat (Fagopyrum esculentum Möench) seeds with different morphometric characteristics in response to germination temperatures. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *13* (2), 51-62. https://doi.org/10.22092/ijsst.2022.360310.1458

© 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 size is a critical physical indicator of seed quality that can directly impact germination processes and plant performance under various environmental conditions. Changes in seed size can later be observed in the transfer of nutrient reserves for seedling growth. Larger seeds have been found to improve germination, seedling growth, and survival, resulting in the production of strong and superior seedlings. Temperature is an indicator of timing in seasonal climates, and therefore plays a role in determining physiological and phenological processes, such as the timing of germination.

Material and methods

This study aims to investigate the relationship between the morphometric characteristics of seeds from different populations of buckwheat (Fagopyrum esculentum Möench), resulting from different planting dates (Aug: 29th, August: 1, 13th September: 13th and 28th and October 13) with their germination quality under various temperature levels. For each population studied, separate experiments were conducted at 11 temperature levels (4, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 37, 40, and 45 degrees Celsius) in a completely randomized design with three replications in the Laboratory of Seed Science and Technology at the University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Khuzestan in 2022.

Results and discussion

The analysis of variance results showed that temperature had a significant effect on germination speed at the 1% error probability level. Based on the model statistics and the standard error, the two-piece model was selected as the superior model. All seed populations showed 100% germination at temperatures between 7 and 35 degrees Celsius, whereas no germination was observed at temperatures of 4 and 45 degrees Celsius. As the temperature increased to 40 degrees Celsius, the cumulative germination percentage of buckwheat seed populations 1, 2, 3, and 4 decreased to 56%, 45.33%, 61.33%, and 64%, respectively.

In seed population 1, 100% germination was observed within the initial 32 hours at 30 and 35 degrees Celsius. In seed population 2, 100% germination was achieved within the initial 32 hours at 30 degrees Celsius. For seed population 3, 100% germination was obtained within the temperature range of 30-37 degrees Celsius. Additionally, for population 4, the maximum cumulative germination percentage was observed at 35 degrees Celsius.

Although the longest time required for the onset of germination in all populations occurred at 7 degrees Celsius and between 90-98 hours, compared to 40 degrees Celsius (maximum 64% for population 4), they had 100% germination. The cumulative germination percentage of buckwheat showed that in all populations, germination occurred faster at temperatures between 25 and 37 degrees Celsius, starting 18 hours after imbibition. The importance of the time required to reach a certain percentage of germination in response to environmental conditions is crucial; therefore, under unfavourable environmental conditions, more time is needed to start germination. The highest germination speed observed in all populations was at 30-35 degrees Celsius, with no significant statistical difference. In fact, it can be stated that the germination speed index, compared to the germination percentage, is highly sensitive to temperature treatment, and the optimal range for achieving the maximum germination speed index was from 30 to 35 degrees Celsius. However, the germination percentage was less sensitive to different temperatures, with a suitable temperature window for germination percentage from 7 to 35 degrees Celsius. Exiting this temperature range or, in other words, at temperatures lower and higher than the 30-35 degrees Celsius range, the germination speed decreased.

Conclusion

This study's results indicated that among the mathematical models of germination, the two-pieces model showed the best fit for buckwheat seed germination. According to this model, the base, optimum, and ceiling temperatures for germination of different buckwheat seed populations were estimated to be 4.5 ± 0.5 degrees Celsius, 33 ± 2 degrees Celsius, and 44 ± 1 degrees Celsius, respectively. Additionally, it was found that the larger the seeds, the shorter the time required to complete seed germination at the optimum temperature. Large seeds in populations 3 and 4 showed faster germination compared to smaller seeds (populations 1 and 2), likely due to the higher energy and nutrient reserves provided by larger seeds. However, the models predicted that smaller seeds had a lower base temperature compared to larger seeds.

دوره ۱۳، شماره ۲، صفحات ۶۲-۵۱ https://doi.org/10.22092/ijsst.2022.360310.1458

نشریه علوم و فناوری بذر ایران

ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

بررسی ارتباط میان بذرهای گندم سیاه (*Fagopyrum esculentum* Möench) با ویژگی‌های مختلف مورفومتریکی در پاسخ به دماهای ویژه جوانه‌زنی

بهمن احمدوند[۱]، سید امیر موسوی[۲*]، سید عطاالله سیادت[۳]، رضا توکل افشاری[۴]، علی قاطعی[۵]

۱. دانش آموخته دکتری اگروتکنولوژی-بذر، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۳. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۴. استاد گروه آگروتکنولوژی دانشگاه فردوسی مشهد

۵. استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

چکیده

هدف از اجرای این مطالعه بررسی ارتباط میان ویژگی‌های مورفومتریک بذر توده‌های مختلف گندم سیاه (*Fagopyrum esculentum* Möench) حاصل از تاریخ‌های کاشت متفاوت (۷ شهریور:۱، ۲۲ شهریور:۲، ۶ مهرماه:۳ و ۲۱ مهرماه:۴) با کیفیت جوانه‌زنی بذر آن تحت سطوح دمایی مختلف بوده است. برای هرکدم از توده‌های مورد بررسی آزمایش جداگانه‌ای با ۱۱ سطح دمایی (۴، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۳۷، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس) به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال ۱۴۰۱ انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در سطح احتمال خطای ۱ درصد، دما اثر معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی دارد. با توجه به آماره‌های مدل و البته خطای استاندارد، مدل دوتکه‌ای به عنوان مدل برتر انتخاب شد. بر این اساس دمای پایه، مطلوب و سقف با توجه به مدل برتر (دوتکه‌ای) برای توده ۱ به ترتیب ۴٫۸۲ ، ۳۴٫۲۴ و ۴۴٫۸۲ درجه سلسیوس، در توده ۲ به ترتیب ۴٫۱۸، ۳۳٫۸۲ و ۴۴٫۴۶ درجه سلسیوس، در توده ۳ به ترتیب ۵، ۳۴٫۶۴ و ۴۳٫۸۷ درجه سلسیوس و در توده ۴ به ترتیب ۵، ۳۱٫۶۹ و ۴۴٫۲۷ درجه سلسیوس برآورد گردید. تعیین دماهای کاردینال می‌تواند به مدیریت کشت و کار در گیاهان زراعی کمک شایانی کند.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵

واژه‌های کلیدی:

گندم سیاه،

مورفومتری بذر،

دمای کاردینال،

مدل دوتکه‌ای

نویسنده مسئول:

amirmoosavi@asnrukh.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله:

Ahmadvand, B., Moosavi, S.A., Siadat, S.A., Tavakkol Afshari, R., Ghatei, A. (2024). Studying the relationship between buckwheat (Fagopyrum esculentum Möench) seeds with different morphometric characteristics in response to germination temperatures. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *13* (2), 51-62. https://doi.org/10.22092/ijsst.2022.360310.1458

مقدمه

در کشاورزی مدرن امروزی شناخت عوامل مختلف موثر بر رشد و عملکرد گیاهان ازجمله عوامل محیطی و همچنین نحوه تاثیر آن‌ها بر خصوصیات کمی و کیفی محصول از مهم‌ترین جنبه‌های موفقیت در تولید گیاهان به شمار می‌روند (Jameson & Song, 2016). تولید موفق محصول در هر محیطی در ابتدا به کیفیت بذرهای کاشته شده بستگی دارد. اندازه بذر یک شاخص فیزیکی مهم از کیفیت بذر می‌باشد که می‌تواند به طور مستقیم بر فرایندهای جوانه‌زنی و عملکرد گیاه تحت شرایط محیطی مختلف تأثیر بگذارد. بذرها با اندازه‌های مشخص دارای سطوح مختلفی از نشاسته و سایر ذخایر انرژی هستند که ممکن است عامل مهمی برای بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه‌چه باشد (Shahi et al. 2015). علت تغییر اندازه بذر در بین ارقام می‌تواند به دلیل انتقال مواد غذایی به بذر درحال رشد بر روی گیاه مادری باشد. تغییر در اندازه بذر می‌تواند بعداً در انتقال ذخایر غذایی برای رشد گیاه‌چه نیز دیده شود (Ambika et al., 2014). مشاهده شده است که بذرهای درشت جوانه‌زنی، رشد گیاه‌چه، و بقاء خود را افزایش داد و در نتیجه می‌توانند گیاه‌چه‌های قوی و برتری را تولید کنند (Chacon et al., 1998). Moosavi et al. (2022) نشان دادند که مورفولوژی بذرهای کرچک بر جوانه‌زنی بذرکرچک نقش داشته و اندازه بذر در مقایسه با رنگ پوسته بذر تأثیر بیشتری بر نیازهای جوانه‌زنی آن دارد. گزارش شده است که بذرهای با رنگ تیره‌تر هدایت الکتریکی پایین‌تری در مقایسه با بذرهای با رنگ روشن داشتند که با پتانسیل جوانه‌زنی بالاتر در آن‌ها همبستگی داشت (Mavi, 2010). اندازه بذر می‌تواند با بسیاری از عوامل محیطی که بر جوانه‌زنی و استقرار موفق گیاه‌چه در مزرعه تأثیر می‌گذارند، تعامل داشته باشد (Steiner et al., 2019).

دما شاخصی از زمان‌بندی در اقلیم‌های فصلی بوده و به همین دلیل در تعیین فرایندهای فیزیولوژیک و فنولوژیک، مانند زمان جوانه‌زنی دخیل است. در مزرعه، بذرها در دماهایی جوانه می‌زنند که برای رشد و استقرار بعدی گیاه‌چه مساعد است. دماهایی که در آن جوانه‌زنی اتفاق می‌افتد، میزان جوانه‌زنی و زمان لازم برای تکمیل فرایند جوانه‌زنی درون یک جمعیت بذری را تعیین می‌کند (Ordoñez-Salanueva et al., 2015). پاسخ جوانه‌زنی به دما را می‌توان از طریق نرخ جوانه‌زنی مشخص کرد و با سه دمای ویژه یا آستانه تعریف می‌شود: درجه حرارت پایه (Tb) که در پایین‌تر از آن جوانه‌زنی اتفاق نمی‌افتد، دمای مطلوب (To) که در آن میزان جوانه‌زنی حداکثر است و دمای سقف (Tc) که بالاتر از آن جوانه‌زنی متوقف می‌شود (Sampayo-Maldonado et al., 2019). بنابراین پر واضح است که جوانه‌زنی و زنده‌مانی بذرها ممکن است از سالی به سال دیگر و از یک مکان تولید تا مکانی دیگر بسیار متفاوت باشد (Li et al.,2017). دماهای کاردینال و زمان حرارتی ابزارهای مفیدی برای کمی‌سازی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر فرایندهای تکاملی گیاه مانند جوانه‌زنی بذر هستند. درک واکنش جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال یک راهبرد مناسب برای مدیریت کاشت در تولید گیاهان زراعی می‌باشد به همین دلیل برای شرح رابطه بین جوانه‌زنی و دما از توابع بیولوژیکی نظیر دو تکه‌ای، دندان مانند، بتا و بتای اصلاح شده، استفاده می‌گردد (Siadat et al., 2021).

گندم سیاه (*Fagopyrum esculentum* Möench) گیاهی است یک‌ساله متعلق به خانواده هفت‌بندیان، بومی آسیا، گرمادوست، پهن‌برگ (قلبی شکل)، دارای ریشه‌های سطحی و ساقه‌های قائم به رنگ مایل به قرمز است که به منظور استفاده از دانه و بذر آن کشت می‌شود. گندم سیاه به طور عمده در آسیا و اروپای شرقی کشت می شود و تولیدکنندگان اصلی آن چین، روسیه، اوکراین و قزاقستان هستند. تولید جهانی آن طی دهه گذشته افزایش یافته و میزان آن به ۳٫۸ مگاتن در سال ۲۰۱۷ رسیده است (FAOSTAT, 2019; Small, 2017). این گیاه جزء غلات نیست، اما بذرها (فندقه) به دلیل کاربرد مشابه جزء شبه غلات طبقه‌بندی می‌شوند. برخلاف غلات شناخته شده که کمبود لیسین دارند، گندم سیاه از نظر ترکیب اسید آمینه ضروری، دارای کیفیت پروتئین عالی است. افزایش علاقه‌مندی به گیاه گندم سیاه بر اساس ویژگی‌های تغذیه‌ای آن از جمله میزان بالای پروتئین، وجود فلاونوئیدها، توانایی رشد در مناطق حاشیه‌ای و مناسب بودن برای کشت به عنوان یک محصول سنتی ارگانیک (بیولوژیکی یا اکولوژیکی) است (Tang et al., 2016).

اگرچه راجع به مزایای تغذیه‌ای، دارویی و اهمیت گندم سیاه مستندات زیادی وجود دارد اما راجع به ویژگی‌های رویشی آن

اطلاعات چندانی در دسترس نیست (Small, 2017; Zhu, 2016). از این رو، نیاز مبرم به توسعه سیاست‌های مناسب و علمی برای بهره برداری از این محصول باارزش غذایی و مقاوم به تغییر اقلیم در راستای امنیت غذایی پایدار احساس می شود (Babu et al.,2018). به همین سبب شناخت نیازهای رشدی گیاه از جمله شناسایی دماهای مناسب کاشت و نیز استفاده از توده‌های مختلف بذری با کیفیت متفاوت می‌تواند یکی از راه‌های مدیریت و توسعه کشت و کار این گیاه در شرایط آب و هوایی مختلف باشد.

مواد و روش‌ها

بذرهای گندم سیاه استفاده شده در این پژوهش از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۹ تهیه شدند. این بذرها متعلق به ژنوتیپ آمریکایی گندم سیاه تولید شرکت Genesis seed بودند که توسط شرکت بذررام و در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۵ وارد ایران شده بودند و مرتبطا تا سال تهیه بذرهای پژوهش جاری در دانشکدگان دانشگاه تهران و مزرعه تحقیقاتی آن تجدید کاشت می‌شدند. جهت انجام تحقیق حاضر بذرهای مورد مطالعه از دانشگاه تهران تهیه و سپس در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال زارعی ۱۴۰۰ تولید و تا زمان آزمایش در دمای مناسب انباری (۵ درجه سلسیوس) نگهداری شدند. مشخصات توده‌های مختلف بذری گندم سیاه نیز در جدول ۱ ارائه شده است. این توده‌ها حاصل کشت در تاریخ‌های متفاوت (۷ شهریور:۱، ۲۲ شهریور:۲، ۶ مهرماه:۳ و ۲۱ مهرماه:۴) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان بودند.

جدول ۱- ویژگی‌های توده‌های مختلف بذری مورد استفاده در این آزمایش

Table 1- Characters of different seed lots of buckwheat used in this experiment

	توده بذری ۱ Seed lot 1	توده بذری ۲ Seed lot 2	توده بذری ۳ Seed lot 3	توده بذری ۴ Seed lot 4
رنگ بذر Seed color	قهوه‌ای روشن Light brown	قهوه‌ای تیره Dark brown	سیاه Dark	قهوه‌ای Brown
وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم) 1000 seeds weight (g)	30.16	30.99	33.80	33.5
مساحت بذر (میلی‌متر مربع) Seed area (mm^2)	18.54	20.30	22.73	21.62
طول بذر (میلی‌متر) Seed length (mm)	6.59	6.87	7.27	6.96
قطر بذر (میلی‌متر) Diameter (mm)	6.13	6.20	6.26	5.98
محل تولید Production place	Ahwaz	Ahwaz	Ahwaz	Ahwaz
زمان تولید Production date	29th Aug, 2021	13th Sep, 2021	28th Sep, 2021	12th Oct, t2021

شکل ۱- اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفومتریک بذر گیاه گندم سیاه با استفاده از نرم‌افزار دیجی مایزر

Figure1- Measuring the morphometric characteristics of buckwheat seeds using Digimizer software

برای اندازه‌گیری صفات مورفومتریک بذر (مساحت، طول و قطر) با استفاده از نرم‌افزار دیجی‌مایزر، تعداد ۲۰۰ بذر به طور تصادفی انتخاب شد. وزن هزار دانه با شمارش ۸ تکرار ۱۰۰ بذری اندازه‌گیری شد (Childiyal et al., 2009) به منظور کمی‌سازی دماهای کاردینال جوانه‌زنی توده‌های مختلف بذر گندم سیاه، آزمایشی با سه تکرار ۲۵ بذری در ۱۱ سطح دمایی شامل ۴، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۳۷، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس انجام شد. آزمون‌ها در شرایط ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی ژرمیناتور با دوره زمانی ثابت ۸ روز (بر اساس نتایج پیش آزمایشی، جوانه‌زنی بیش از این مدت افزایش نیافت) اجراء شدند. برای هر ماده آزمایشی تعداد ۲۵ عدد بذر به داخل ظروف پتری (بر روی ۲ لایه کاغذ صافی واتمن شماره یک به عنوان بستر جوانه‌زنی) انتقال یافت و به هر پتری به اندازه ۱۰ میلی‌لیتر آب (به طوری که ۵۰ درصد سطح بذرها خارج از آب بودند) اضافه شد. شمارش بذرهای جوانه‌زده روزانه در زمان‌های مشخص انجام شد و معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد (Hashemi et al., 2020). تعیین دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و سقف) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی بین سرعت جوانه‌زنی لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد (معکوس متوسط زمان جوانه‌زنی) محاسبه شد. جهت برازش سرعت جوانه‌زنی طبق جدول ۲ از چهار مدل بتا ۴ پارامتره، بتا ۵ پارامتره، دندان مانند و دوتکه‌ای استفاده گردید (Siadat *et al*, 2021).

جدول ۲- مدل‌های مورد استفاده برای تعیین دماهای کاردینال

Table 2- Models used to determine cardinal temperatures

مدل Models	معادله Equation	منبع Reference
دو تکه‌ای Segmented	$f(T) = (T - T_b)/(T_o - T_b) \quad if \quad T_b < TMP < T_o$ $f(T) = 1 - \left(\frac{T - T_o}{T_c - T_o}\right) \quad if \quad T_o \le TMP < T_c$ $f(T) = 0 \quad if \quad TMP \le T_b \quad or \quad TMP \ge T_c$	(Mwale *et al.*, 1994)
بتای ۴ پارامتره Beta 4 parameter	$f(T) = \left(\frac{(TMP - T_b)}{(T_o - T_b)}\right)\left(\frac{(T_c - TMP)}{(T_c - T_o)}\right)^{\left(\frac{(T_c - T_o)}{(T_o - T_b)}\right)^c}$ $if \quad TMP > T_b \; and \; TMP < T_c$ $f(T)=0 \; if \; TMP \le T_b \; or \; TMP \ge T_c$	(Yin *et al.*, 1995)
بتای ۵ پارامتره Beta 5 parameter	$f(T) = \left(\frac{(T_c - TMP)}{(T_c - T_o)}\right)\left(\frac{TMP - T_b)}{(T_o - T_b)}\right)^{\left(\frac{(T_o - T_b)}{(T_c - T_o)}\right)}$ $f(T)=0 \; if \; TMP \le T_b \; or \; TMP \ge T_c$	(Yan & Hunt, 1999)
دندان مانند Dent-like	$f(T) = (TMP - T_b)/(T_{o1} - T_b) \quad if \quad T_b < TMP \le T_{o1}$ $f(T) = (T_c - TMP)/(T_c - T_{o2}) \quad if \quad T_{o2} < TMP < T_c$ $f(T) = 1 \quad if \quad T_{o1} \le TMP \le T_{o2}$ $f(T) = 0 \; if \quad TMP \le T_b \; or \; TMP \ge T_c$	(Piper *et al.*, 1996)

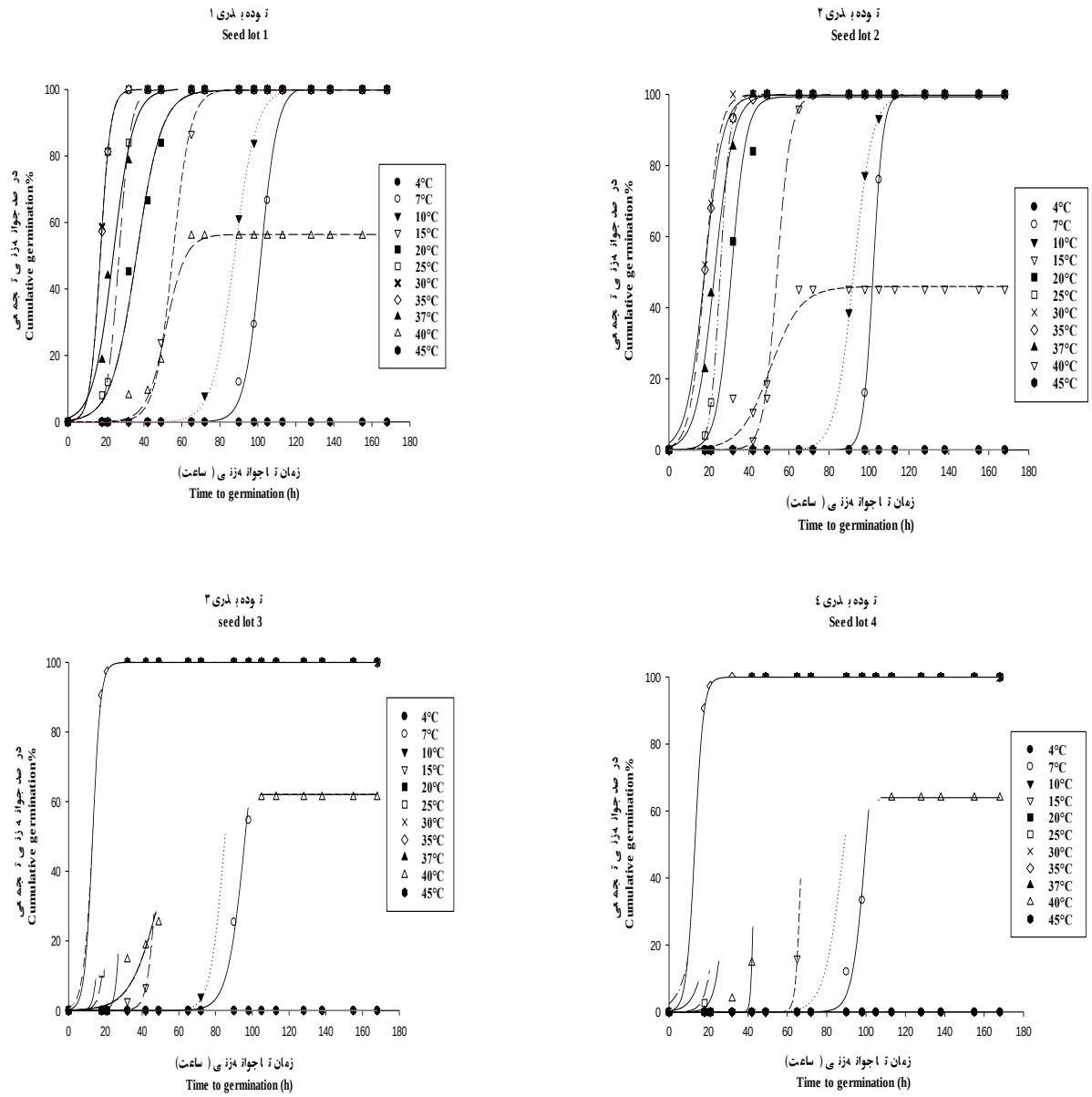
دمای سقف Tc: celling temperature دمای محیط TMP: seed surrounding temperature دمای پایه Tb: Base temperature

برای برازش این مدل‌ها از نرم‌افزار سیگماپلات ۱۴ و برای تعیین مدل از ضریب تبیین (R^2)، شاخص آکائیک تصحیح شده (AICc) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) استفاده شد.

نتایج و بحث

تمامی توده‌های بذری در دماهای ۷ تا ۳۵ درجه سلسیوس دارای ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی بودند و این در حالی بود که در دماهای ۴ و ۴۵ درجه سلسیوس هیچ گونه جوانه‌زنی مشاهده نگردید (شکل۲). با وجود عدم جوانه‌زنی تمامی توده‌های بذری در دماهای ۴ و ۴۵ درجه سلسیوس اما درصد جوانه‌زنی تجمعی در پاسخ به سایر دماها دارای روندهای مختلفی بود. با افزایش دما به ۴۰ درجه سلسیوس، درصد جوانه‌زنی تجمعی در توده‌های بذری گندم سیاه ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب به ۵۶، ۴۵/۳۳، ۶۱/۳۳ و ۶۴ درصد کاهش یافت. در توده بذری ۱ در ۳۲ ساعت اولیه ۱۰۰درصد جوانه‌زنی در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس مشاهده شد. در توده بذری ۲ در دمای ۳۰ درجه سلسیوس ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی در ۳۲ ساعت اولیه حاصل شد. برای توده بذری ۳ در محدوده دمایی ۳۰-۳۷ درجه سلسیوس ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی بدست آمد. همچنین برای توده ۴ در دمای ۳۵ درجه سلسیوس حداکثر درصد جوانه‌زنی تجمعی مشاهده گردید. این در حالی

بود که در همین بازه زمانی ۳۲ ساعته بذرهای همه توده‌های بذری در دمای ۴۰ درجه سلسیوس شروع به جوانه‌زنی کردند به طوری که ۸ درصد جوانه‌زنی تجمعی برای توده ۱ و برای سایر توده‌ها ۱۴/۶۶ درصد جوانه‌زنی حاصل شد. اگرچه در تمامی توده‌ها بیشترین زمان لازم برای شروع جوانه‌زنی در دمای ۷ درجه سلسیوس و بین ساعات ۹۰-۹۸ اتفاق افتاد اما در مقایسه با دمای ۴۰ درجه سلسیوس (حداکثر ۶۴ درصد برای توده ۴) دارای ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی بودند. درصد جوانه‌زنی تجمعی گندم سیاه نشان داد که در تمامی توده‌ها جوانه‌زنی در دماهای ۲۵ تا ۳۷ درجه سلسیوس با سرعت بیشتری انجام می‌شود به طوری که با گذشت ۱۸ ساعت پس از آبنوشی شروع به جوانه‌زنی کردند. اهمیت زمان رسیدن به درصد مشخصی از جوانه‌زنی در واکنش به شرایط محیطی می‌باشد، به همین دلیل در شرایط نامساعد محیطی زمان بیشتری برای شروع جوانه‌زنی لازم است.



شکل ۲- درصد جوانه‌زنی تجمعی توده‌های مختلف گندم سیاه در برابر زمان در تیمارهای مختلف دمایی

Figure 2- Continued Figure 2- Cumulative germination of buckwheat seed lots against time at different temperatures

آدام و همکاران (Adam et al., 2007) بیان کردند که واکنش جوانه‌زنی به درجه حرارت، در میان گونه‌ها و حتی توده‌های درون یک گونه می‌تواند متفاوت باشد. به طور کلی می‌توان این گونه بیان کرد که کاهش درصد جوانه‌زنی در دماهای بالا و پایین‌تر از حد مطلوب به دلیل کاهش کارآیی متابولیکی در بذور باشد. به نظر می‌رسد گیاه گندم سیاه در طیف نسبتا وسیعی از شرایط دمایی قابلیت جوانه‌زنی را داشته و می‌توان آن را در مناطقی که دارای محدودیت دمایی می‌باشند، کشت نمود.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر آن است که شاخص سرعت جوانه‌زنی بذور گندم سیاه در تمامی توده‌های بذری در سطح یک درصد تحت تاثیر درجه حرارت قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین سرعت جوانه‌زنی مشاهده شده در تمامی توده‌ها در دمای ۳۰ -۳۵ درجه سلسیوس بود و از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. در واقع می‌توان این طور بیان کرد که شاخص سرعت جوانه‌زنی در مقایسه با درصد جوانه‌زنی حساسیت بالایی به تیمار دمایی داشته و محدوده مناسب برای حصول حداکثر شاخص سرعت جوانه‌زنی از دمای ۳۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس بود. اما درصد جوانه‌زنی حساسیت کمتری به دماهای مختلف داشته به طوری که از دمای ۷ تا ۳۵ درجه سلسیوس پنجره دمایی مناسب برای صفت درصد جوانه‌زنی بود. با خارج شدن از این محدوده دمایی یا به عبارتی دیگر در دماهای پایین و بالاتر از محدوده ۳۰-۳۵ درجه سلسیوس سرعت جوانه‌زنی کاهش پیدا کرد. به دلیل اهمیتی که سرعت جوانه‌زنی در استقرار گیاهچه دارد برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذرها کاربرد دارد. سایر محققین با مطالعه روی گیاهانی مانند اسفرزه (Hashemi et al., 2022) و کینوا (Mamedi et al., 2021) به نتایجی مشابه با این مطالعه دست یافته بودند.

برای کمی سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما از مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند، بتای چهار پارامتره و بتای پنج پارامتره استفاده گردید. معیارهای مورد نظر به منظور انتخاب مدل برتر برای توصیف سرعت جوانه‌زنی توده‌های مختلف گیاه گندم سیاه نسبت به دما در جدول ۵ گزارش شده‌اند. بهترین مدل دارای ضریب تبیین (R^2) بالا، ریشه میانگین مربعات خطاء (RMSE) و شاخص آکائیک تصحیح شده کوچکتری دارد. با توجه به جدول ۴، مدل دو تکه‌ای نسبت به سایر مدل‌ها در توده‌های بذری ۱، ۲، ۳ و ۴ دارای ضریب تبیین بالا، ریشه میانگین مربعات خطاء و شاخص آکائیک تصحیح شده پایین‌تری بود که نشان‌دهنده برتری این مدل در تخمین جوانه‌زنی بذرهای این توده‌هاست. لازم به ذکر است با توجه به معیارهای ذکر شده مدل بتای پنج پارامتره بهترین تخمین سرعت جوانه‌زنی برای را توده بذری ۴ داشت اما ایراد اساسی این مدل در دمای پایه مطرح می‌باشد که خطای استاندارد آن بیش از دمای پایه است. بنابراین در نکویی مدل‌ها خطای استاندارد پارامترهای مدل نیز بایستی مورد توجه قرار گیرد (Zare et al., 2021). اهمیت انتخاب مدل مناسب در کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذور نسبت به شرایط دمایی در تعیین دماهای کاردینال می‌باشد (Habibzadeh Zarandi et al., 2017).

جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص سرعت جوانه‌زنی چهار توده بذری گندم سیاه تحت تاثیر دما

Table 3- Analysis of variance buckwheat germination rate index of four seed lots influenced by temperature

		میانگین مربعات Mean square			
		شاخص سرعت جوانه‌زنی Germination rate index			
منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	توده بذری ۱ Seed lot 1	توده بذری ۲ Seed lot 2	توده بذری ۳ Seed lot 3	توده بذری ۴ Seed lot 4
تیمار Treatment	10	0.614**	0.582**	0.805**	0.552**
خطای آزمایشی Error	22	0.0004	0.0006	0.0002	0.0007
ضریب تغییرات (درصد) %CV		3.91	4.74	2.62	5.12

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

**Significantly at 1% probability level.

جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص سرعت جوانه‌زنی چهار توده بذری گندم سیاه تحت تاثیر دما

Table 4- Mean comparison of buckwheat germination rate index of four seed lot influenced by temperature

	شاخص سرعت جوانه‌زنی Germination rate index (h^{-1})			
دما (درجه سلسیوس) Temperature ^0C	توده بذری ۱ Seed lot 1	توده بذری ۲ Seed lot 2	توده بذری ۳ Seed lot 3	توده بذری ۴ Seed lot 4
4	0^{j}	0^{j}	0^{i}	0^{j}
7	0.24^{f}	0.23^{f}	0.23^{h}	0.25^{f}
10	0.27^{f}	0.25^{f}	0.27^{j}	0.26^{f}
15	0.40^{e}	0.40^{e}	0.45^{e}	0.35^{e}
20	0.63^{d}	0.69^{d}	0.74^{d}	0.70^{d}
25	0.81^{c}	0.83^{c}	0.91^{c}	0.83^{c}
30	1.23^{a}	1.16^{a}	1.34^{a}	1.14^{a}
35	1.22^{a}	1.14^{a}	1.35^{a}	1.14^{a}
37	0.95^{b}	0.97^{b}	1.22^{b}	0.91^{b}
40	0.26^{f}	0.21^{f}	0.31^{f}	0.28^{f}
45	0^{j}	0^{j}	0^{i}	0^{j}

حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد با استفاده از آزمون دانکن

Similar letters are not significantly different ($\alpha \leq 0.01$) based on Duncan test.

جدول ۵- شاخص‌های برازش مدل‌های مختلف جوانه‌زنی بذر گندم سیاه

Table 5- Models fit indices derived from seed germination of buckwheat

نوع توده بذری Seed lot type	تابع Function	ضریب تبیین R^2	ریشه میانگین مربعات خطاء RMSE	شاخص آکائیک تصحیح شده AAI_C
توده بذری ۱ Seed lot 1	دوتکه‌ای Segmented	0.95	0.014	- 95.85
	دندان مانند Dent-like	0.95	0.014	-84.85
	مدل بتا چهار پارامتره Beta 4 parameters	0.89	0.022	-88.53
	مدل بتا پنج پارامتره Beta 5 parameters	0.83	0.02	-79.51
توده بذری ۲ Seed lot 2	دوتکه‌ای Segmented	0.96	0.01	-102.0947
	دندان مانند Dent-like	0.96	0.01	-91.09
	مدل بتا چهار پارامتره Beta 4 parameters	0.89	0.02	-90.54
	مدل بتا پنج پارامتره Beta 5 parameters	0.89	0.01	-81.88
توده بذری ۳ Seed lot 3	دوتکه‌ای Segmented	0.85	0.04	-73.8374
	دندان مانند Dent-like	0.85	0.04	-62.83
	مدل بتا چهار پارامتره Beta 4 parameters	0.74	0.052	-68.89
	مدل بتا پنج پارامتره Beta 5 parameters	0.85	0.037	-65.57
توده بذری ۴ Seed lot 4	دوتکه‌ای Segmented	0.83	0.037	-76.6631
	دندان مانند Dent-like	0.83	0.037	-65.66
	مدل بتا چهار پارامتره Beta 4 parameters	0.72	0.045	-72.18
	مدل بتا پنج پارامتره Beta 5 parameters	0.84	0.033	-68.78

در جدول ۶ مقادیر برآورد شـده دماهای کاردینال جوانه‌زنی توده‌های مختلف گندم سـیاه برای تمامی مدل‌ها جهت مقایسـه قابلیت تخمین هر یک از مدل‌ها ارائه شده است، البته همانطور که بیان گردید بهترین مدل برای تمامی توده‌ها مدل دوتکه‌ای بدست آمد. در شکل ۱ رابطه سرعت جوانه‌زنی در توده‌های مختلف بذور گندم سیاه با استفاده از مدل‌های مختلف نشـان داده شـده است.

دمای پایه، مطلوب و سـقف با توجه به مدل برتر (دوتکه‌ای) برای توده ۱ به ترتیب ۴٫۸۲ ، ۳۴٫۲۴ و ۴۴٫۸۲ درجه سلسیوس، در توده ۲ به ترتیب ۴٫۱۸، ۳۳٫۸۲ و ۴۴٫۴۶ درجه سـلسـیوس، در توده ۳ به ترتیب ۵، ۳۴٫۶۴ و ۴۳٫۸۷ درجه سـلسـیوس و در توده ۴ به ترتیب ۵، ۳۱٫۶۹ و ۴۴٫۲۷ درجـه سلسیـوس (جـدول ۶) بـرآورد گـردیـد.

جدول ۶- پارامترهای مدل‌های مختلف سرعت جوانه‌زنی بذر گندم سیاه

Table 6- Parameters derived from application of different models on seed germination of buckwheat

تابع Function	نوع توده بذری Seed lot type	دمای پایه (درجه سلسیوس) T_b (°C)	دمای مطلوب (درجه سلسیوس) T_o (°C)	دمای مطلوب تحتانی (درجه سلسیوس) T_{o1} (°C)	دمای مطلوب فوقانی (درجه سلسیوس) T_{o2} (°C)	دمای سقف (درجه سلسیوس) T_c (°C)	ضریب رگرسیونی F_o	ضریب ثابت a
دوتکه‌ای Segmented	توده بذری ۱ Seed lot 1	4.82 (1.61)	34.24 (0.85)	_	_	44.82 (0.86)	15.44 (0.95)	_
	توده بذری ۲ Seed lot 2	4.18 (1.35)	33.82 (0.69)	_	_	44.46 (0.66)	16.43 (0.80)	_
	توده بذری ۳ Seed lot 3	5 (3.25)	34.64 (1.53)	_	_	43.87 (1.34)	11.47 (1.47)	_
	توده بذری ۴ Seed lot 4	5 (2.97)	31.69 (2.17)	_	_	44.27 (1.59)	13.20 (1.56)	_
دندان مانند Dent-like	توده بذری ۱ Seed lot 1	4.82 (1.74)	_	32.45 (5.55)	34.88 (8.96)	44.82 (0.93)	16.44 (4.91)	_
	توده بذری ۲ Seed lot 2	4.18 (6)	_	32.39 (5.5)	34.34 (4.1)	44.46 (5.6)	17.26 (6.7)	_
	توده بذری ۳ Seed lot 3	5 (3.52)	_	33.71 (4.89)	34.93 (2.14)	43.87 (1.49)	11.84 (6.52)	_
	توده بذری ۴ Seed lot 4	5 (6.5)	_	30.02 (7.3)	32.48 (8)	44.27 (3.5)	14.08 (9.1)	_
مدل بتا چهار پارامتره Beta 4 parameters	توده بذری ۱ Seed lot 1	4 (8.13)	31.95 (1.40)	_	_	44.72 (0.74)	17.65 (1.34)	_
	توده بذری ۲ Seed lot 2	4 (6.63)	30.84 (1.42)	_	_	44.59 (0.77)	19.21 (1.43)	_
	توده بذری ۳ Seed lot 3	4 (15.74)	32.10 (2.45)	_	_	44.29 (1.16)	13.12 (1.82)	_
	توده بذری ۴ Seed lot 4	5 (12.45)	30.95 (2.61)	_	_	44.17 (1.32)	16 (2.31)	_
مدل بتا پنج پارامتره Beta 5 parameters	توده بذری ۱ Seed lot 1	4 (21.69)	31.73 (1.77)	_	_	44 (9.59)	16.47 (1.67)	2.85 (5.30)
	توده بذری ۲ Seed lot 2	4 (5.76)	30.74 (1.72)	_	_	44 (8.64)	17.99 (1.75)	2.50 (3.74)
	توده بذری ۳ Seed lot 3	4 (17.16)	31.95 (1.18)	_	_	44 (12.77)	9.89 (1.50)	6.59 (29.61)
	توده بذری ۴ Seed lot 4	4 (15.17)	30.78 (1.32)	_	_	44 (12.35)	11.97 (1.79)	5.86 (22.16)

اعداد داخل پرانتز نشان دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشند. Numbers in parentheses are standard errors.

(Ahmadvand & Moosavi 2022) گزارش کردند که سرعت جوانه‌زنی گندم سیاه با افزایش دما از ۴ درجه سلسیوس به طور خطی روندی صعودی داشته و پس از عبور از دمای ۳۵ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. بنابراین به نظر می‌رسد بیشترین سرعت جوانه‌زنی این گیاه در محدوده دمایی ۳۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس باشد. با توجه به درصد جوانه‌زنی کامل (۱۰۰ درصد) در محدوده دمایی ۷ تا ۳۷ درجه سلسیوس به نظر می‌رسد اثر محسوس دما بر سرعت جوانه‌زنی بذور گندم سیاه باشد زیرا با افزایش دما شرایط مناسبی برای استقرار زودهنگام این گیاه فراهم می‌گردد. با افزایش احتمال موفقیت استقرار و رشد زودتر، گیاهچه گندم سیاه می‌تواند در مواجه با مشکل علف‌های هرز بهتر عمل کرده و به عنوان یک گیاه خفه‌کننده علف‌های هرز ظاهر شود. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص گردید که توده‌های مختلف بذری گندم سیاه قادر به جوانه‌زنی در محدوده نسبتا وسیعی از دما هستند، به طوری که در دمای ۴۰ درجه سلسیوس بین ۴۵ تا ۶۴ درصد جوانه‌زنی مشاهده گردید که حاکی از تحمل بالای جوانه‌زنی آن به دماهای مختلف می‌باشد.

نتایج این بررسی بیانگر آن است که در بین مدل‌های ریاضی جوانه‌زنی، مدل دوتکه‌ای بهترین برازش جوانه‌زنی بذور گندم سیاه را نشان داد. طبق این مدل و به طور کلی دمای پایه، بهینه و سقف جوانه‌زنی توده‌های مختلف گندم سیاه به ترتیب ۰٫۵ ± ۴٫۵ درجه سلسیوس، دمای مطلوب ۲ ± ۳۳ و دمای سقف ۱ ± ۴۴ محاسبه شد. همچنین مشخص شد که هر چه بذرها درشت‌تر باشند، زمان لازم برای تکمیل جوانه‌زنی بذر در دمای بهینه کمتر است .در واقع بذرهای درشت در توده ۳ و ۴ نسبت به بذرهای ریزتر (توده ۱ و ۲)، به دلیل Fo پایین‌تر، جوانه‌زنی سریع‌تری از خود نشان دادند. جوانه‌زنی سریع بذرهای درشت‌تر در مقایسه با بذرهای ریزتر احتمالاً به دلیل توانایی بذرهای درشت در تأمین انرژی و مواد غذایی بالاتر در جهت ظرفیت جوانه‌زنی بیشتر باشد. با این حال پیش‌بینی مدل حاکی از این بود که بذرهای ریز در مقایسه با بذرهای درشت دمای پایه کمتری داشتند. توجه به قابلیت بالای جوانه‌زنی بذر گندم سیاه می‌توان انتظار موفقیت کشت آن در اقلیم‌های متفاوت را انتظار داشت اگرچه برای تایید این موضوع، باید سایر خصوصیات رشدی آن در مراحل رویشی و زایشی نیز در شرایط مختلف دمایی مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان جهت اجرای این پژوهش قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

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

Reference

Adam, N. R., Dierig, D. A., Coffelt, T. A., Wintermeyer, M. J., Mackey, B. E., & Wall, G. W. (2007). Cardinal temperatures for germination and early growth of two Lesquerella species. *Industrial Crops and Products*, *25*(1), 24-33. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.06.001

Ahmadvand, B., & Moosavi, S. A. (2022). Quantification of temperature effect on seed germination of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Möench). In *Proceedings of the 3rd International and 17th National Iranian Crop Science Congress* (n.p.). Shahid-Bahonar University of Kerman, Iran. [In Persian]

Ambika, S., Manonmani, V., & Somasundaram, G. (2014). Review on effect of seed size on seedling vigor and seed yield. *Research Journal of Seed Science*, *7*(2), 31-38. https://doi.org/10.3923/rjss.2014.31.38

Babu, S., Yadav, G. S., Singh, R., Avasthe, R. K., Das, A., Mohapatra, K. P., & Prakash, N. (2018). Production technology and multifarious uses of buckwheat (*Fagopyrum* spp.): A review. *Indian Journal of Agronomy*, *63*(4), 415-427.

Chacón, P. A. U. L. I. N. A., Bustamante, R. A. M. I. R. O., & Henríquez, C. A. R. O. L. I. N. A. (1998). The effect of seed size on germination and seedling growth of *Cryptocarya alba* (Lauraceae) in Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, *71*(2), 189-197.

Childiyal, S. K., Sharma, C. M., & Gairola, S. (2009). Environmental variation in seed and seedling characteristics of *Pinus roxburghii* Sarg. from Uttaranchal, India. *Applied Ecology and Environmental Research*, *7*(2), 121-129. https://doi.org/10.15666/aeer/0702_121129

FAOSTAT. (2016). Crop production statistics. http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx (accessed September 1, 2016).

Habibzadeh Zarandi, M., Allahdadi, I., Khalaj, H., & Labbafi, M. (2017). Application of nonlinear regression models for prediction of cardinal temperatures in seed germination of various cumin (*Cuminum cyminum*) ecotypes. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *6*(1), 79-88. https://doi.org/10.22034/ijsst.2017.113217 [In Persian]

Hashemi, A., Sharifzadeh, F., Maali Amiri, R., & Tavakkol Afshari, R. (2020). Evaluation of germination of safflower seed (*Carthamus tinctorius* L.) Faraman cultivar under water deficit stress and determination of cardinal germination temperatures. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *9*(3), 73-83. https://doi.org/10.22034/ijsst.2020.128718.1315 [In Persian]

Hashemi, A., Tavakkol Afshari, R., Tabrizi, L., & Barooti, S. (2022). Quantifying seed germination response of *Plantago ovata* under temperature and drought stress regimes. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *11*(2), 33-42. https://doi.org/10.22092/ijsst.2020.107995.1006. [In Persian]

Jameson, P. E., & Song, J. (2016). Cytokinin: A key driver of seed yield. *Journal of Experimental Botany*, *67*(3), 593-606. https://doi.org/10.1093/jxb/erv461

Li, R., Chen, L., Wu, Y., Zhang, R., Baskin, C. C., Baskin, J. M., & Hu, X. (2017). Effects of cultivar and maternal environment on seed quality in *Vicia sativa*. *Frontiers in Plant Science*, *8*, Article 1411. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01411

Mamedi, A., Sharifzadeh, F., & Maali Amiri, R. (2021). Evaluation of quinoa seed germination variability in response to temperature, drought, and salinity stresses. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *10*(4), 57–67. https://doi.org/10.22092/ijsst.2021.353918.1388 [In Persian]

Mavi, K. (2010). The relationship between seed coat color and seed quality in watermelon *Crimson Sweet*. *Horticultural Science*, *37*, 62–69. https://doi.org/10.17221/53/2009-HORTSCI

Moosavi, S. A., Siadat, S. A., Koochekzadeh, A., Parmoon, G., & Kiani, S. (2022). Effect of seed color and size on cardinal temperatures of castor bean (*Ricinus communis* L.) seed germination. *Agrotechnique in Industrial Crops*, *2*(1), 1–10. https://doi.org/10.22126/atic.2022.7417.1041

Mwale, S. S., Azam-Ali, S. N., Clark, J. A., Bradley, R. G., & Chatha, M. R. (1994). Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed Science and Technology*, *22*, 565–571.

Ordoñez-Salanueva, C. A., Seal, C. E., Pritchard, H. W., Orozco-Segovia, A., Canales-Martínez, M., & Flores-Ortiz, C. M. (2015). Cardinal temperatures and thermal time in *Polaskia* (Cactaceae) species: Effect of projected soil temperature increase and nurse interaction on germination timing. *Journal of Arid Environments*, *115*, 73–80. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.01.006

Piper, E. L., Boote, K. J., Jones, J. W., & Grimm, S. S. (1996). Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity dates of soybean. *Crop Science*, *36*, 1606–1614. https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600060033x

Sampayo-Maldonado, S., Ordoñez-Salanueva, C. A., Mattana, E., Ulian, T., Way, M., Castillo-Lorenzo, E., & Flores-Ortíz, C. M. (2019). Thermal time and cardinal temperatures for germination of *Cedrela odorata* L. *Forests*, *10*(10), 841. https://doi.org/10.3390/f10100841

Shahi, C., Vibhuti, K. B., & Bargali, S. S. (2015). How seed size and water stress affect seed germination and seedling growth in wheat varieties. *Current Agriculture Research Journal*, *3*(1), 60–68. https://doi.org/10.12944/CARJ.3.1.08

Siadat, S. A., Moosavi, S. A., Parmoon, G., & Kiani, S. (2021). Study on the relationship between seed size and aging on cardinal temperatures of canola. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *10*(4), 119–135. https://doi.org/10.22092/ijsst.2020.351193.1352 [In Persian]

Small, E. (2017). Buckwheat—the world's most biodiversity-friendly crop? *Biodiversity*, *18*(2-3), 108–123. https://doi.org/10.1080/14888386.2017.1332529

Steiner, F., Zuffo, A. M., Busch, A., de Oliveira Sousa, T., & Zoz, T. (2019). Does seed size affect the germination rate and seedling growth of peanuts under salinity and water stress? *Pesquisa Agropecuária Tropical*, *49*, 1–9. https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4954353

Tang, Y., Ding, M. Q., Tang, Y. X., Wu, Y. M., Shao, J. R., & Zhou, M. L. (2016). Germplasm resources of buckwheat in China. In M. Zhou, S.-H. Woo, & G. Wieslander (Eds.), *Molecular breeding and nutritional aspects of buckwheat* (pp. 13–20). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803692-1.00002-X

Yan, W., & Hunt, L. A. (1999). An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Annals of Botany*, *84*(5), 607–614. https://doi.org/10.1006/anbo.1999.0955

Yin, X., Kropff, M. J., McLaren, G., & Visperas, R. M. (1995). A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, *77*(1-2), 1–16. https://doi.org/10.1016/0168-1923(95)02236-Q

Zare, A., Malekpoor, M., & Arabizadeh, M. (2021). Determining cardinal temperature for seed germination of four weeds in the Brassicaceae family. *Journal of Crop Improvement*, *23*(2), 417–428. https://doi.org/10.22059/jci.2021.301607.2387 [In Persian]

Zhu, F. (2016). Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat. *Food Chemistry*, *203*, 231–245. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.050