"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد سیزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳
(ص ۵۸-۴۷)
مقاله پژوهشی

Iranian Journal of Seed Science and Technology
Vol.: 13, No.: 2, Summer 2024
(pp: 47-58)
DOI: 10.22092/ijsst.2022.360310.1458
Research Article

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

بهمن احمدوند[1]، سید عطاالله سیادت[2]، سید امیر موسوی[3*]، رضا توکل افشاری[4] و علی قاطعی[5]

۱. دانش آموخته دکتری اگروتکنولوژی-بذر، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۲. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۳. دانشیار 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
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵)

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.

کلمات کلیدی: گندم سیاه، مورفومتری بذر، دمای کاردینال، مدل دوتکه‌ای

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

B. Ahmadvand[1], S. A. Siadat[2], S. A. Moosavi[3*], R. Tavakkol Afshari[4], A. Ghatei[5]

1. PhD. in Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.
2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.
3. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.
4. Professor Ferdowsi University of Mashhad
5. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan
(Received: Oct. 22, 2023 – Accepted: Dec. 06, 2023)

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.

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

* Email: amirmoosavi@asnrukh.ac.ir

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 and 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 می باشد 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). موسوی و همکاران (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 می گذارند، 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 می‌زند که برای رشد و استقرار بعدی گیاه‌چه مساعد است. دماهایی که در آن جوانه زنی اتفاق می‌افتد، میزان جوانه‌زنی و زمان لازم برای تکمیل فرایند جوانه‌زنی درون یک جمعیت بذری را تعیین می‌کند (Ordoñez-Salanueva *et al.*, 2015). پاسخ جوانه زنی به دما را می توان از طریق نرخ جوانه زنی 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 جوانه زنی حداکثر است و دمای سقف (Tc) که بالاتر از آن جوانه‌زنی متوقف می شود (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 جوانه زنی 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 می گردد (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 می شود. گندم سیاه به طور عمده در آسیا و اروپای شرقی کشت می شود و تولید کنندگان 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 ویژگی های 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).

اگر چه راجع به مزایای تغذیه‌ای، دارویی و اهمیت گندم سیاه مستندات زیادی وجود دارد اما راجع به ویژگی های 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 می‌شود (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

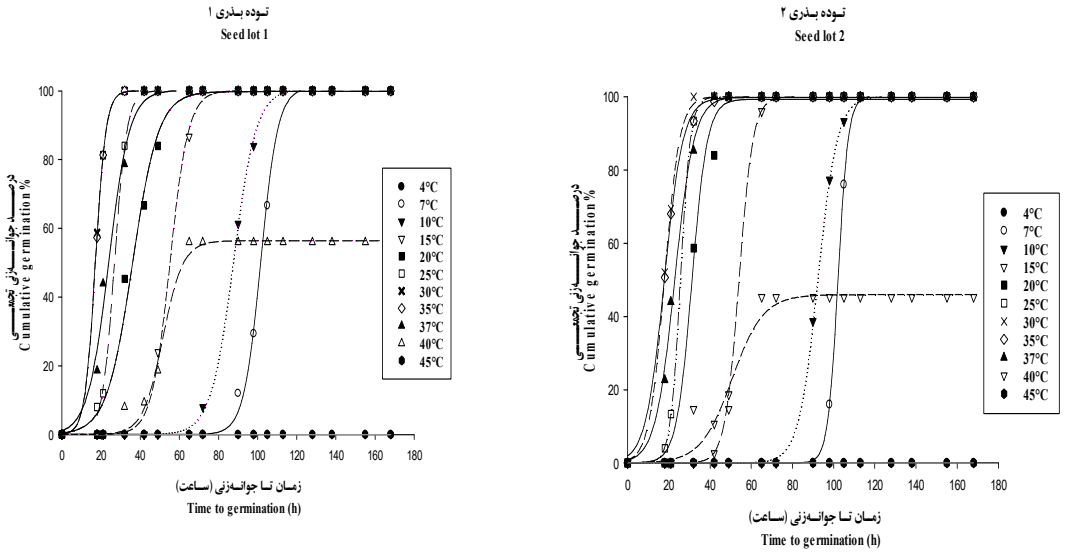
مدل Models	معادله Equation	منبع Reference
دو تکه‌ای Segmented	$f(T)=(T-T_b)/(T_o-T_b)$ *if* $T_b<TMP<T_o$ *if* $T_o\le TMP<T_c f(T)=1-\left(\frac{T-T_o}{T_c-T_o}\right)$ *if* $TMP\le T_b$ *or* $TMP\ge T_c f(T)=0$	(Mwale *et al.*, 1994)
بتای ۴ پارامتره Beta 4 parameter	$f(T)=\left(\frac{(TMP-T_b)}{(T_o-T_b)}\right)\left(\frac{(T_c-TMP)}{(T_c-T_o)}\right)^{\left(\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

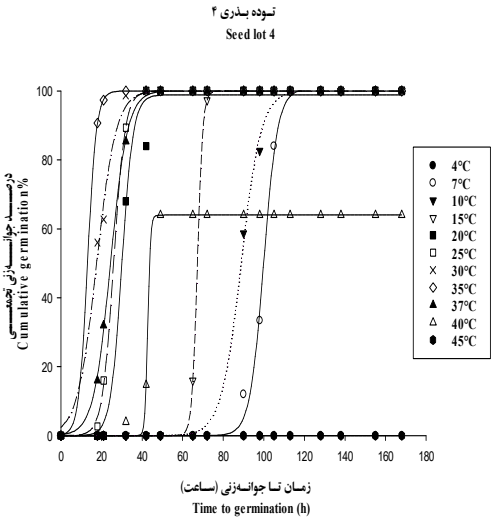
نتایج و بحث

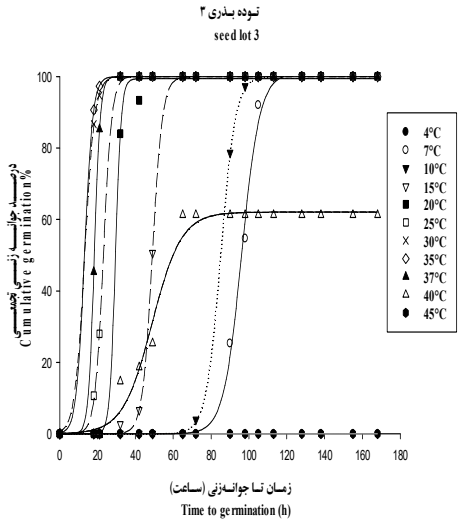
تمامی توده های بذری در د ما های ۷ تا ۳۵ درجه سلسیوس دارای ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی بودند و این در حالی بود که در دماهای ۴ و ۴۵ درجه سلسیوس هیچ گونه جوانه‌زنی مشاهده نگرد ید (شکل۲). با وجود عدم جوانه‌زنی تمامی توده‌های بذری در دماهای ۴ و ۴۵ درجه سلسیوس اما درصد جوانه‌زنی تجمعی در پاسخ به سایر د ما ها دارای رو ند های مختلفی بود. با افزایش د ما 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 حا صل 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- Cumulative germination of buckwheat seed lots against time at different temperatures





شکل ۲- ادامه

Figure 2- Continued

آدام وهمکاران (Adam *et al.,* 2007) بیان کردند که واکنش جوانه‌زنی به درجه حرارت، در میان گونه ها 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

**Significantly at 1% probability level. ** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

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 ^{0}C	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 $AAIc$
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 شده دماهای کاردینال جوانه‌زنی توده‌های مختلف گندم سیاه برای تمامی مدل‌ها جهت مقایسه 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 نشان داده شده است. 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 (جدول ۶) برآورد گردید. احمدوند و موسوی (Ahmadvand and 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.

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 (℃)	دمای مطلوب (درجه سلسیوس) T_o (℃)	دمای مطلوب تحتانی (درجه سلسیوس) T_{o1} (℃)	دمای مطلوب فوقانی (درجه سلسیوس) T_{o2} (℃)	دمای سقف (درجه سلسیوس) T_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.

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 جوانه زنی بذر در دمای بهینه کمتر است .در واقع بذرهای درشت در توده ۳ و ۴ نسبت به بذرهای ریزتر (توده ۱ و ۲)، به دلیلFo 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.

منابع

Reference

Adam, N. R., D. A. Dierig, T. A. Coffelt, M. J. Wintermeyer, B. E. Mackey, and G. W. Wall. 2007. Cardinal temperatures for germination and early growth of two Lesquerella species. Ind. Crops Prod. 25: 24-33. DOI: 10.1016/j.indcrop.2006.06.001.

Ahmadvand, B., and S. A. Moosavi. 2022. Quantification of temperature effect on seed germination of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Möench). 3 rd. International and 17th National Iranian Crop Science Congress January 25 – 27, Shahid-Bahonar University of Kerman, Iran. (In Persian, with English abstract)

Ambika, S., V. Manonmani, and G. Somasundaram. 2014. Review on effect of seed size on seedling vigour and seed yield. Res. J. Seed Sci. 7(2): 31-38. DOI: 10.3923/rjss.2014.31.38.

Babu, S., G. S. Yadav, R. Singh, R. K. Avasthe, A, Das, A, K. P. Mohapatra, and N. Prakash. 2018. Production technology and multifarious uses of buckwheat (*Fagopyrum* spp.): A Rev. Indian J. Agron. 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., C.M. Sharma, and S. Gairola. 2009. Environmental variation in seed and seedling characteristics of Pinus roxburghii Sarg. From Uttaralhand, India. Appl. Ecol. Environ. Res. 7(2): 121-129. DOI: 10.15666/aeer/0702_121129.

FAOSTAT 2016. Crop production statistics. [Online] Available at http://faostat.fao.org/site/567/ DesktopDefault.aspx (accessed 1 September 2016).

Habibzadeh Zarandi, M, I, Allahdadi, H, Khalaj, and M. Labbafi. 2017. Application of nonlinear regression models for prediction of cardinal temperatures in seed germination of various cumin (*Cuminum cyminum*) ecotypes. Iranian J. Seed Sci. Technol. 6(1): 79-88. (In Persian). DOI: 10.22034/ijsst.2017.113217.

Hashemi, A, F, Sharifzadeh, R, Maali Amiri, and R. Tavakkol Afshari. 2020. Evaluation of Germination of Safflower Seed (*Carthamus tinctorius* L.) Faraman Cultivar, Under Water Deficit Stress and Determination of Cardinal Germination Temperatures. Iranian J. Seed Sci. Technol. 9(3): 73-83. (In Persian). DOI: 10.22034/ijsst.2020.128718.1315.

Hashemi, A., R. Tavakkol Afshari, L. Tabrizi, and S. Barooti. 2022. Quantifying seed germination response of *Plantago ovata* under temperature and drought stress regimes. Iranian J. Seed Sci.Technol. 11(2): 33-42. DOI: 10.22092/ijsst.2020.107995.1006. (In Persian, with English Abstract)

Jameson, P. E and J. Song. 2016. Cytokinin: a key driver of seed yield. J. Exp. Bot. 67(3): 593-606. DOI: 10.1093/jxb/erv461.

Li, R., L. Chen, Y. Wu, R. Zhang, C. C. Baskin, J. M. Baskin, and X. Hu. 2017. Effects of cultivar and maternal environment on seed quality in *Vicia sativa*. Frontiers in Plant Sci. 8: 1411. DOI: 10.3389/fpls.2017.01411

Mamedi, A., F. Sharifzadeh, and R. Maali Amiri. 2021. Evaluation of quinoa seed germination variability in response to temperature, drought, and salinity stresses. Iranian J. Seed Sci. Technol.:10(4):57-67. DOI: 10.22092/ijsst.2021.353918.1388. (In Persian, with English Abstract)

Mavi K. 2010. The relationship between seed coat color and seed quality in watermelon Crimson sweet. Hortic. Sci. 37: 62–69. DOI: 10.17221/53/2009-HORTSCI.

Moosavi, S. A., S. A. Siadat, A. Koochekzadeh, G. Parmoon, and S. Kiani. 2022. Effect of Seed Color and Size on Cardinal Temperatures of Castor Bean (*Ricinus Communis* L.) Seed Germination. Agrotechnique in Ind Crops. 2(1): 1-10. DOI: 10.22126/atic.2022.7417.1041.

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

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

Piper, EL., K.J. Boote, J.W. Jones, and SS. Grimm. 1996. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. Crop Sci. 36: 1606–1614. DOI: 10.2135/cropsci1996.0011183X003600060033x.

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

Shahi, C., K. B. Vibhuti, and S. S. Bargali. 2015. How seed size and water stress affect the seed germination and seedling growth in wheat varieties. Curr. Agric. Res. J. *3*(1): 60-68. DOI: 10.12944/CARJ.3.1.08.

Siadat, S. A., S. A. Moosavi, G. Parmoon, and S. Kiani. 2021. Study the relationship between seed size and aging on cardinal temperatures of Canola. Iranian J. Seed Sci .Technol. 10(4): 119-135. (In Persian). DOI: 10.22092/ijsst.2020.351193.1352.

Small, E. 2017. 54. Buckwheat–the world's most biodiversity-friendly crop? Biodiversity, 18(2-3): 108-123. DOI: 10.1080/14888386.2017.1332529.

Steiner F., A.M. Zuffo, A. Busch, T. de O. Sousa, and T. Zoz. 2019. Does seed size affect the germination rate and seedling growth of peanuts under salinity and water stress? Pesquisa Agropecuária Tropical 49:1-9. DOI: 10.1590/1983-40632019v4954353.

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

Yan, W., and L.A. Hunt. 1999. An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. Ann. Bot. 84(5): 607–614. DOI: 10.1006/anbo.1999.0955.

Yin X., M.J. Kropff, G. McLaren, R.M. Visperas. 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. Agric. For. Meteorol. 77(1-2): 1–16. DOI: 10.1016/0168-1923(95)02236-q

Zare, A., M. Malekpoor, and M. Arabizadeh. 2021. Determining Cardinal Temperature for Seed Germination of Four Weeds Brassicaceae Family. J. Crops Improvement, 23(2), 417-428. DOI: 10.22059/jci.2021.301607.2387. (In Persian)

Zhu, F. 2016. Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat. Food Chem. 203: 231-245. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.02.050.