Yasouj University

Iranian Journal of Seed Research, 2024, 10(2): 151-166

Research Article

Application of the thermal time model to assess the effects of priming treatments on seed germination of rice (*Oryza sativa*) cultivars in response to temperature

Ahmad Munir Amini[1], Farshid Ghaderi-Far[2*], Benjamin Torabi[3], Asieh Siahmarguee[3], Hamid Reza Sadeghipour[4],

Extended abstract

Introduction: With regard to the ever-growing water deficit in the world, the adoption of the direct-seeded rice cultivation system has been suggested as an alternative to the transplanting method. One of the disadvantages of the direct-seeded method is low and non-uniform germination and emergence due to low seed vigor in rice. Priming is a technique which improves the rate and uniformity of seed germination under these conditions. Thus, this study aimed to investigate the effects of priming treatments on seed germination of different rice cultivars under different temperature conditions using the thermal time model.

Materials and methods: This study was conducted in 2019 at the seed research laboratory of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. In this experiment, germination of primed and non-primed seeds in three rice cultivars (Nada, Anam, and Tolo) was investigated under different temperatures (15, 20, 25, 30, and 35°C). The priming treatments which consisted of control, hydropriming, and osmopriming with different chemicals (potassium chloride 2%, potassium nitrate 1%, calcium chloride 4%, glycine betaine 10 ppm, salicylic acid 10 ppm, and ascorbic acid 10 ppm) were investigated under different temperatures.

Results: The results showed that priming treatments had no significant effect on the seed germination percentage of rice cultivars at different temperatures. The thermal time model based on binomial distribution fitted well to cumulative germination percentages in all priming treatments. Among the parameters of the thermal time model, the greatest priming effect was on the reduction of the thermal coefficient, followed by the reduction of the sigma coefficient, which resulted in the increased rate and uniformity of germination. Priming treatments had no significant effect on base temperature. Also, the responses of rice cultivars to seed priming treatments varied so that in Anam and Neda, priming with calcium chloride but in Tolo, hydropriming was more effective on the model parameters, especially thermal time to 50% of germination.

Conclusion: In general, priming treatments did not affect the base temperature of germination in rice cultivars, but they significantly affected the rate and uniformity of seed germination. As the latter issue is one of the main problems in the direct-seeded rice system, suitable priming treatments for each cultivar can be adopted to increase the rate and uniformity of seed germination and emergence in this system.

Keywords: ***Direct seeded rice, Germination models, Germination rate, Germination uniformity, Seed enhancement treatments, Seed vigor***

Highlights:

1- The thermal time model can be used to select the appropriate priming treatment for improving seed germination components of rice cultivars.
2- The responses of rice cultivars to different seed priming treatments were different.
3- Priming treatments did not improve the base temperature of seed germination in rice cultivars, but they significantly affected seed germination rate and uniformity.

---

[1] Graduated of Seed Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

[2] Professor of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

[3] Associate Professor of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

[4] Associate Professor of Biology at Golestan University, Gorgan, Iran.

*Corresponding author, E-mail: farshidghaderifar@gau.ac.ir

Received: 8.2.2023; Revised: 19.7.2023;
Accepted: 26.7.2023; Online Published: 17.3.2024

DOR:

DOI: 10.61186/yujs.10.2.151

CrossMark

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

پژوهش‌های بذر ایران/ سال دهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۲/ صفحات: ۱۶۶-۱۵۱

مقاله پژوهشی

کاربرد مدل زمان حرارتی جهت ارزیابی تیمارهای پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر ارقام برنج (*Oryza sativa*) در پاسخ به دما

احمد منیر امینی[1]، فرشید قادری فر[2*]، بنیامین ترابی[3]، آسیه سیاهمرگویی[3]، حمیدرضا صادقی‌پور [4]

چکیده مبسوط

مقدمه: با توجه به کمبود روزافزون آب در جهان، استفاده از روش کاشت هوازی برنج به‌عنوان یک روش جایگزین برای کاشت نشائی برنج معرفی شده است. یکی از مشکلات موجود در این روش، جوانه‌زنی و سبز شدن پایین و غیریکنواخت ناشی از قدرت کم بذرهای برنج است. یکی از راهکارهایی که باعث بهبود سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی در این شرایط می‌گردد، پرایمینگ بذر است. هدف از این تحقیق، بررسی کارایی تیمارهای پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذرهای ارقام مختلف برنج در شرایط دمایی مختلف با کمک مدل زمان حرارتی بود.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۹ انجام شد. در این آزمایش، جوانه‌زنی بذرهای سه رقم برنج (ندا، آنام و طلوع) در دماهای مختلف (۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس) با تیمارهای پرایمینگ شامل شاهد (بدون پرایم)، اسموپرایمینگ با نیترات پتاسیم ۱ درصد، کلرید پتاسیم ۲ درصد، کلرید کلسیم ۴ درصد، گلایسین بتائین ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، اسید سالیسیلیک ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، اسید آسکوربیک ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و هیدروپرایمینگ، در دماهای مختلف بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد تیمارهای پرایمینگ تأثیر معنی‌داری بر بهبود درصد جوانه‌زنی ارقام برنج در دماهای مختلف نداشت. مدل زمان حرارتی بر اساس توزیع دوجمله‌ای برازش مناسبی به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در کلیه تیمارهای پرایمینگ داشت. از بین فراسنجه‌های مدل زمان حرارتی، بیشترین تأثیر تیمارهای پرایمینگ بر کاهش فراسنجه حرارتی و به دنبال آن کاهش فراسنجه سیگما بود که منجر به افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی گردید. تیمارهای پرایمینگ تأثیر معنی‌داری بر دمای پایه نداشت. همچنین واکنش ارقام برنج به تیمارهای پرایمینگ متفاوت بود و در ارقام آنام و ندا پرایمینگ با کلرید کلسیم و در رقم طلوع هیدروپرایمینگ بر فراسنجه‌های این مدل به‌ویژه زمان حرارتی تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی موثرتر بودند.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی تیمارهای پرایمینگ تأثیری بر بهبود دمای پایه ارقام برنج نداشت؛ اما تأثیر معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی داشت؛ از آنجا که یکی از مشکلات اصلی کاشت برنج هوازی، پایین بودن سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی است، می‌توان از تیمارهای پرایمینگ مناسب برای هر رقم برای افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن برنج در این سامانه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: کاشت هوازی برنج؛ تیمارهای بهبود بذر؛ قدرت بذر؛ مدل‌های جوانه‌زنی؛ سرعت جوانه‌زنی؛ یکنواختی جوانه‌زنی

جنبه‌های نوآوری:

۱- از مدل زمان حرارتی می‌توان برای انتخاب تیمار پرایمینگ مناسب برای بهبود مؤلفه‌های جوانه‌زنی ارقام برنج استفاده کرد.
۲- واکنش ارقام برنج به تیمارهای مختلف پرایمینگ متفاوت بود.
۳- تیمارهای پرایمینگ تأثیری بر بهبود دمای پایه ارقام برنج نداشت اما تأثیر معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی داشت.

---

[1] فارغ التحصیل کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

[2] استاد گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

[3] دانشیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

[4] دانشیار گروه زیست شناسی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

DOR:

DOI: 10.61186/yujs.10.2.151

[*] رایانامه نویسنده مسئول: farshidghaderifar@gau.ac.ir

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹؛ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۴/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۴؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان یکی از غلات مهم و قوت غالب بیش از نیمی از مردم جهان است. سطح زیر کشت برنج در جهان در سال ۲۰۲۰ حدود ۱۶۳/۳۸ میلیون هکتار و تولید آن نزدیک به ۵۰۶/۴۴ میلیون تن بوده است (وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا[1]، ۲۰۲۱). قاره آسیا با تولید ۹۰/۶ درصد برنج در رتبه اول تولید این محصول قرار دارد (فائو[2]، ۲۰۲۱). سطح زیر کشت برنج در ایران برای سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، ۶۳۷۲۴۲ هکتار با تولید سالیانه ۲۹۴۳۳۷۵ تن بود و استان‌های مازندران، گیلان و گلستان به ترتیب جایگاه اول تا سوم از لحاظ تولید برنج را به خود اختصاص دادند (مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات[3]، ۲۰۲۱).

گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد که بیش از ۵۵ درصد از سطح کشت برنج در جهان که حدود ۷۵ درصد تولید جهانی را به خود اختصاص داده است، در سامانه کاشت غرقابی تولید می‌شود (سیما[4] و همکاران، ۲۰۱۷). در شرایط غرقابی حجم بسیاری زیادی از آب مورد نیاز است؛ اما با بروز پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر و به موازات آن کاهش منابع آبی، فراهم‌سازی این حجم از آب امکان‌پذیر نخواهد بود. منابع نشان می‌دهد که کارایی مصرف آب توسط برنج بسیار پایین است و برای تولید یک کیلوگرم برنج حدود ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ لیتر آب مصرف می شود که حدوداً سه برابر بیشتر از مصرف آب در تولید گندم است (بومان[5] و همکاران، ۲۰۰۷). این در حالی است که نیاز واقعی برنج برای تولید یک کیلوگرم دانه ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ لیتر است (پریدیپا[6]، ۲۰۱۲). از سوی دیگر در مزارع برنج به دلیل شرایط غرقابی خاک، در اثر تجزیه مواد آلی به‌صورت غیرهوازی توسط باکتری‌ها، متان آزاد می‌گردد و پتانسیل گرمایش جهانی متان ۲۵ برابر دی‌اکسید کربن است (سلطانی و میرزائی[7]، ۲۰۲۱).

به نظر می‌رسد وقوع خشک‌سالی‌های پی‌درپی در بسیاری از مناطق کره زمین درنتیجه بروز پدیده تغییر اقلیم نقش مهمی در کاهش تولید محصولات زراعی ازجمله برنج خواهد داشت (مومنی[8]، ۲۰۱۵؛ فورویا و کویاما[9]، ۲۰۰۵). ایران نیز یکی از مناطق مهم دنیاست که خشک‌سالی ناشی از بروز پدیده تغییر اقلیم را با شدت بالا تجربه خواهد کرد. رشد منفی بارش در ایران در دهه‌های اخیر این امر را مورد تأیید قرار داده است به نحوی‌که در سال ۱۳۹۳، ۲۱ استان ازجمله سه استان شمالی که مرکز کشت برنج هستند، بارش کمتر از میانگین درازمدت به خود را داشته‌اند (مومنی، ۲۰۱۵).

از این رو انجام مطالعات در جهت شناسایی روش‌های جایگزین باهدف افزایش بهره‌وری آب و کاهش آب مورد نیاز در تولید برنج ضروری است. یکی از راهکارهای مناسب برای جایگزینی با سامانه کاشت غرقابی برنج، استفاده از روش کاشت هوازی می‌باشد (جوشی[10] و همکاران، ۲۰۱۳). در سال‌های اخیر توجه به اجرای کاشت هوازی برنج به دلیل بازده اقتصادی مناسب، استفاده از نیروی انسانی کم‌تر، کاشت سریع‌تر و آسان‌تر، صرفه‌جویی از آب مورداستفاده، کاهش تولید گاز متان و قابلیت ماشینی کردن افزایش یافته است؛ اما یکی از معضلات پیش رو در این سامانه، جوانه‌زنی و سبز شدن پایین و غیریکنواخت ناشی از قدرت پایین بذر است (فاروق[11] و همکاران، ۲۰۱۱). در این شرایط، جوانه‌زنی و سبز شدن به صورت غیریکنواخت و با سرعت پایین صورت می‌گیرد و درنتیجه استقرار گیاهچه در شرایط مزرعه دچار مشکل می‌شوند. تأخیر در سبز شدن به همراه غیریکنواختی در الگوی جوانه‌زنی و سبز شدن، منجر به بسته شدن دیرهنگام کانوپی گیاهی و به دنبال آن کاهش جذب تشعشع می‌گردد (یاسوموتو[12] و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین در این شرایط قدرت رقابت برنج با علف‌های هرز برای منابع مشترک نیز کاهش می‌یابد. مجموع این عوامل دست به دست هم داده و منجر به کاهش عملکرد گیاه برنج می‌گردد (فاروق و

---

[1] USDA
[2] FAO
[3] ICTC
[4] Simma
[5] Bouman
[6] Predeepa
[7] Soltani and Mirzai
[8] Momeni
[9] Furuya and Koyama
[10] Joshi
[11] Farooq
[12] Yasumoto

همکاران، ۲۰۱۱؛ کمال‌پریت[1] و همکاران، ۲۰۱۷). از این این رو بکارگیری روش‌هایی که سبب افزایش قدرت بذر برنج گردد، می‌تواند به رفع این مشکل و به دنبال آن توسعه کاشت هوازی برنج کمک زیادی نماید.

یکی از راه‌های بهبود قدرت بذر استفاده از پرایمینگ[2] می‌باشد. در این روش بذرها به مقداری آب جذب می‌کنند که مراحل اولیه جوانه‌زنی انجام شود، اما منجر به خروج ریشه‌چه نشود (سلطانی[3] و همکاران، ۲۰۰۹). مطالعات نشان می‌دهد که بذرهای پرایم شده سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و همچنین سرعت سبز شدن بالاتری در شرایط مزرعه داشته و از توانایی بیشتری در تحمل به تنش‌های محیطی ازجمله خشکی، شوری و تنش دمایی برخوردار هستند (اسکومبر و بردافورد[4]،۲۰۱۰؛ هادی نژاد[5] و همکاران،۲۰۱۳).

مدل زمان حرارتی الگوی جوانه‌زنی بذرها در پاسخ به دما را توصیف می‌کند. این مدل دارای سه فراسنجه θ_T، $\sigma_{\theta T}$ انحراف استاندارد در $\log \theta_T$ و T_b می‌باشند که به‌ترتیب بیانگر سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و دمای پایه جوانه‌زنی است (آلوارادو و برادفورد[6]، ۲۰۰۲). ازآنجایی‌که فراسنجه‌های مدل زمان حرارتی دارای مفاهیم زیستی قابل تفسیر هستند، مدل را می‌توان به‌عنوان ابزاری مفید برای مقایسه تیمارهای مختلف از قبیل تیمارهای پرایمینگ استفاده کرد. مطالعات مختلفی که با هدف ارزیابی مدل زمان حرارتی در کارکرد تیمار پرایمینگ در مقایسه با شاهد انجام شده است؛ توانایی مدل زمان حرارتی را در توصیف نقش پرایمینگ مورد تائید قرار داده است (ملک[7] و همکاران، ۲۰۱۹؛ هاردگری و همکاران، ۲۰۰۲). روش‌های مختلفی برای پرایمینگ بذر وجود دارد که شامل هیدروپرایمینگ[8] (استفاده از آب)، اسموپرایمینگ[9] (استفاده از در محلول‌های اسمزی با پتانسیل آب پایین) و ماتریکس پرایمینگ[10] (استفاده از مواد جامد با پتانسیل ماتریک پایین) است (واقاس[11] و همکاران، ۲۰۱۹؛ دیویکا[12] و همکاران، ۲۰۲۱). برخی مطالعات نشان می‌دهد که ارقام مختلف پاسخ‌های متفاوتی به تیمارهای پرایمینگ نشان می‌دهند؛ به‌عبارت‌دیگر ممکن است یک رقم به یک نوع تیمار پرایمینگ پاسخ مثبت نشان دهد حال آن‌که در همان آزمایش، رقم دیگر به آن تیمار واکنش خاصی نشان ندهد. ازاین‌رو لازم است تیمارهای پرایمینگ مناسب برای هر رقم شناسایی و معرفی شود. با توجه به اینکه در سامانه کاشت هوازی برنج استقرار سریع و یکنواخت حائز اهمیت است، این آزمایش با هدف ارزیابی تیمارهای مختلف پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذرهای سه رقم برنج مناسب برای این سامانه در پاسخ به دما با استفاده از مدل‌های زمان حرارتی انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه واکنش سه رقم برنج ندا (رقم غیر هوازی)، آنام (رقم غیر هوازی اما پتانسیل بالا برای کاشت هوازی) و رقم طلوع (رقم هوازی) به تیمارهای پرایمینگ بذر در دامنه دمایی مختلف در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۹ انجام شد. بذرهای گواهی شده از معاونت موسسه تحقیقات برنج در آمل که در سال ۱۳۹۸ تولید شده بودند، تهیه و در یخچال در دمای ۸ درجه سلسیوس به مدت یک سال نگهداری شدند. هدف از نگهداری بذرها در یخچال، رفع احتمالی کمون بذرهای برنج در طی پس‌رسی و جلوگیری از زوال بذرها و حفظ کیفیت بذرها بود. درصد جوانه‌زنی ارقام مورد مطالعه، قبل از آزمایش در دمای ۳۰ درجه سلسیوس، بالای ۹۵ درصد بود.

اثرات پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذرهای ارقام برنج در دماهای مختلف

در این آزمایش بذرهای سه رقم برنج با روش‌های مختلف پرایمینگ شد. تیمارهای پرایمینگ شامل شاهد

---

[1] Kamalpreet
[2] Priming
[3] Soltani
[4] Schwember and Bradford
[5] Hadinezhad
[6] Alvarado and Bradford
[7] Malek
[8] Hydro priming
[9] Osmopriming
[10] Matrix priming
[11] Waqas
[12] Devika

(بذرهای بدون پرایمینگ)، هیدروپرایمینگ (حسین[1] و همکاران، ۲۰۱۵)، اسموپرایمینگ با کلرید پتاسیم (KCl) ۲ درصد (گالاهیتیگاما[2] و همکاران، ۲۰۲۱)، اسموپرایمینگ با نیترات‌پتاسیم (KNO_3) ۱درصد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۶)، اسموپرایمینگ با کلرید کلسیم ($CaCl_2$) ۴ درصد (رحمن[3] و همکاران، ۲۰۱۵)، اسموپرایمینگ با گلایسین بتائین ۱۰ میلی‌گرم در لیتر (ژانگ[4] و همکاران، ۲۰۱۴)، اسموپرایمینگ با اسید سالیسیلیک ۱۰ میلی‌گرم در لیتر (بسرا[5] و همکاران، ۲۰۰۶) و اسموپرایمینگ با اسید آسکوربیک (AsA) ۱۰میلی‌گرم در لیتر (بسرا و همکاران، ۲۰۰۶) بود. برای انجام تیمارهای پرایمینگ، ابتدا بذرهای ارقام برنج، در آب مقطر یا تیمارهای مختلف به مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور شدند. هوادهی محلول‌ها توسط پمپ آکواریوم در طی غوطه‌وری و آبنوشی بذرها انجام شد. نسبت بذر به آب/محلول، یک به پنج (گرم بر میلی‌لیتر) در نظر گرفته شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت از زمان پرایمینگ، بذرها از محلول‌ها خارج شده و با آب مقطر سه بار شسته (فاروق و همکاران، ۲۰۰۷) و در دمای اتاق (نزدیک ۲۵ درجه سلسیوس) خشک شدند. نگهداری بذرها در شرایط اتاق تا زمانی ادامه یافت که بذرها به رطوبت اولیه خود برسند.

بذرهای پرایمینگ شده با تیمارهای مختلف به همراه بذرهای شاهد (بدون پرایمینگ) برای آزمون جوانه‌زنی در دماهای ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. چهار تکرار ۲۵ تایی بذر از هر تیمار پرایمینگ تهیه و در پتری‌های با قطر ۹ سانتی‌متری در بین دو کاغذ صافی قرار گرفتند و به هر پتری پنج میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید و در صورت نیاز نیز به پتری‌ها، آب مقطر اضافه شد. پتری‌ها، در شرایط نوری (۱۲ ساعت نور و ۱۲ ساعت تاریکی) در انکوباتور برای ۱۰-۳۰ روز (بسته به سرعت جوانه‌زنی) در هر دمای مورد نظر قرار داده شدند. بذرهای جوانه‌زده در هر دما روزانه یک الی سه بار شمارش گردید. خروج ریشه‌چه به‌اندازه دو میلی‌متر یا بیش‌تر به عنوان معیار جوانه‌زنی لحاظ شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۹). شمارش بذرهای جوانه‌زده تا زمانی ادامه یافت تا برای یک هفته جوانه‌زنی مشاهده نگردد. در پایان آزمایش، درصد جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار آماری (SAS) صورت گرفت. نظر به اینکه داده‌های درصد جوانه‌زنی دارای توزیع دوجمله‌ای است، برای مقایسه درصد جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف از مدل خطی تعمیم یافته (Model Linear Generalized) با رویه proc genmod استفاده شد (گالوپ[6] و همکاران، ۲۰۰۳). برازش مدل زمان حرارتی به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان (تابع ۱ و ۲) در تیمارهای پرایمینگ بر اساس توزیع دوجمله‌ای با رویه proc nlmixed صورت گرفت:

تابع ۱:

$$\boldsymbol{Probit(g)} = \frac{\boldsymbol{\{log[(T-T_b)t_g]-log\theta_T\}}}{\boldsymbol{\sigma_{\theta T}}}$$

تابع ۲:

$$N \sim Binomial\big(NV, Probit(g)\big)$$

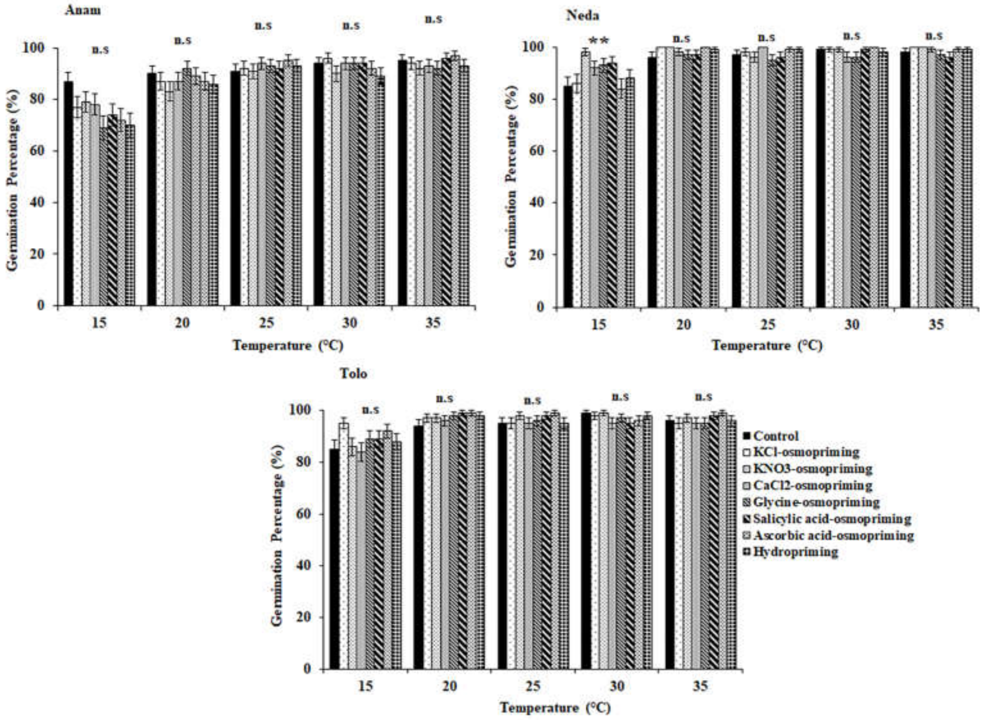
Probit (g) تابع پروبیت برای درصد جوانه‌زنی تجمعی؛ θ_T میانگین زمان حرارتی تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی، $\sigma_{\theta T}$ انحراف استاندارد در $\log \theta_T$، T_b دمای پایه، T درجه حرارت، N تعداد بذرهای جوانه زده و NV کل بذرهای استفاده شده در هر پتری می‌باشد (دوناتو[7] و همکاران، ۲۰۱۷).

نتایج و بحث

در شکل ۱ حداکثر درصد جوانه‌زنی بذر برنج پرایمینگ شده در ارقام مختلف به همراه شاهد در دماهای مختلف ارائه شد. در ارقام طلوع و آنام، در کلیه دماها، بین تیمارهای مختلف پرایمینگ ازلحاظ حداکثر درصد جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همین روند در رقم ندا نیز مشاهده شد؛ با این تفاوت که در این

---

[1] Hussain
[2] Galahitigama
[3] Rehman
[4] Zhang
[5] Basra
[6] Gallop
[7] Donato



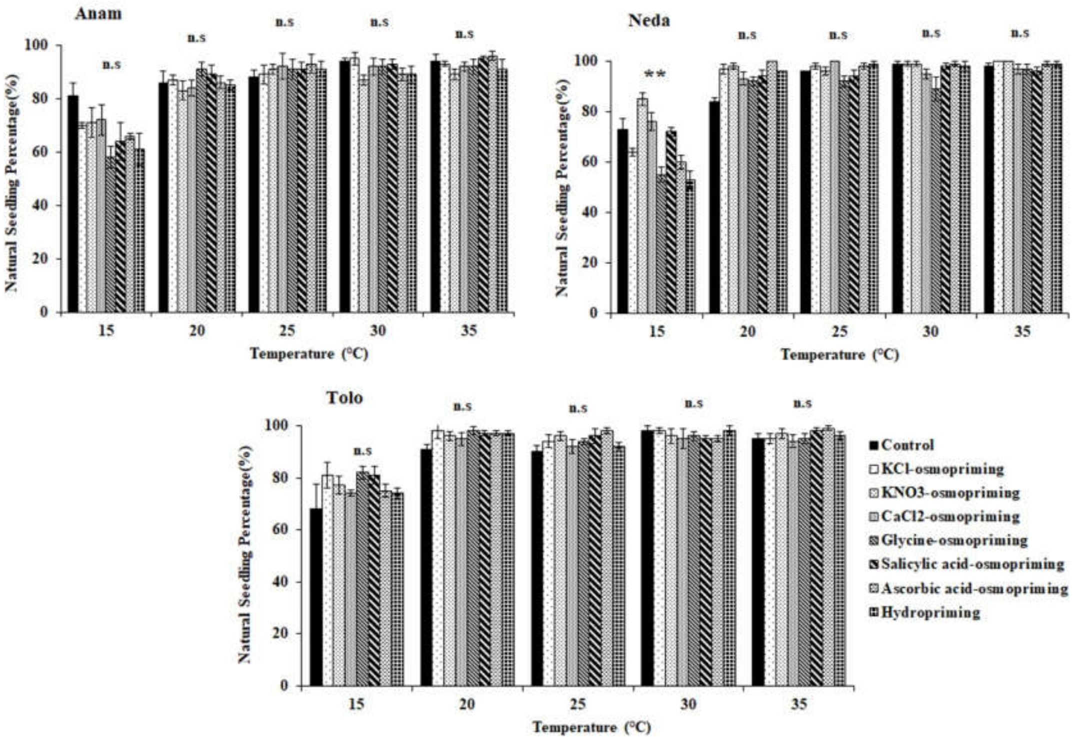
شکل ۱. درصد جوانه‌زنی بذر در ارقام مختلف برنج پرایمینگ شده با روش‌های مختلف در پاسخ به دما.

**، * و n.s به ترتیب سطح معنی‌داری در سطح یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار برای تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر در هر دما را نشان می‌دهد. میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار بر اساس توزیع دوجمله‌ای می‌باشد.

Fig. 1. Seed germination percentage in different rice cultivars primed with different methods in response to temperature.

* ,** and n.s respectively indicate significance at the level of one and five percent, and non-significant for different seed priming treatments at each temperature. The vertical bars indicate the standard deviation based on the binomial distribution.

رقم، بین تیمارهای مختلف پرایمینگ در دمای ۱۵ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری وجود داشت. در این دما، حداکثر درصد جوانه‌زنی (۹۸ درصد) در تیمار اسموپرایمینگ با نیترات‌پتاسیم (KNO_3) مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد (۸۵ درصد)، ۱۳ درصد افزایش مشاهده شد. در کلیه تیمارهای پرایمینگ و شاهد، درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس در ارقام برنج بالای ۹۰ درصد بود و در دمای ۱۵ درجه سلسیوس، کاهش جوانه‌زنی در مقایسه با سایر دماها مشاهده شد. الگوی تغییرات درصد گیاهچه طبیعی در ارقام طلوع و آنام نیز مشابه درصد جوانه زنی بود و در کلیه دماها، بین تیمارهای مختلف پرایمینگ ازلحاظ حداکثر درصد جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. اما در رقم ندا در کلیه دماها (به استثنای دمای ۳۵ درجه سلسیوس) بین تیمارهای مختلف پرایمینگ اختلاف معنی داری وجود داشت و در کلیه دماها، اسموپرایمینگ با نیترات‌پتاسیم نسبت به سایر تیمارها نسبت به شاهد دارای درصد گیاهچه طبیعی



شکل ۲. درصد گیاهچه طبیعی در ارقام مختلف برنج پرایمینگ شده با روش‌های مختلف در پاسخ به دما.

**، * و n.s به ترتیب سطح معنی‌داری در سطح یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار برای تیمارهای مختلف پرایمینگ بذر در هر دما را نشان می‌دهد. میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف معیار بر اساس توزیع دوجمله‌ای می‌باشد.

Fig. 2. Normal Seeding percentage in different rice cultivars primed with different methods in response to temperature.

* ,** and n.s respectively indicate significance at the level of one and five percent, and non-significant for different seed priming treatments at each temperature. The vertical bars indicate the standard deviation based on the binomial distribution.

بالاتری بود (شکل ۲). مطالعات مختلف بیانگر این مطلب است که مؤلفه درصد جوانه‌زنی نسبت به سایر مؤلفه‌های جوانه‌زنی کمتر تحت تأثیر دما قرار می‌گیرد.

در مطالعه‌ای که (قالب[1] و همکاران، ۲۰۲۲) روی بذرهای گندم، *Festuca arundinacea*، *Lolium perenne* و *Dactylis glomerata* انجام دادند بیان داشتند که دما تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی بذرهای گونه‌های موردمطالعه نداشت. در مطالعه‌ای دیگر که پورعلی[2] و همکاران (۲۰۱۷) بر روی بذرهای پنبه انجام دادند مشاهده کردند که درصد جوانه‌زنی بین دماهای مختلف اختلاف چندانی ندارد؛ اما در برخی مطالعات مشاهده شده است که دما بر درصد جوانه‌زنی بذر تأثیر بسزایی دارد و با کمی افزایش یا کاهش دما از دمای مطلوب، درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. برخی محققان علت این کاهش را به القاء کمون ثانویه ناشی از دمای پایین یا بازدارندگی دمایی ارتباط دادند. برای مثال شیا[3] و همکاران، (۲۰۱۸) و گرزین[4] و همکاران، (۲۰۲۱) گزارش کردند که با افزایش و کاهش دما، درصد جوانه‌زنی برخی از ارقام آفتابگردان و کلزا کاهش می‌یابد. نامبردگان علت کاهش جوانه‌زنی را به القاء کمون ثانویه ارتباط دادند. در مطالعه‌ای دیگر (ملک و همکاران، ۲۰۲۲) بیان داشتند که بذرهای پرایمینگ شده کلزا قادر به جوانه‌زنی در دماهای پایین و بالا می‌باشند و می‌توان استنباط کرد که پرایمینگ مانع از القاء کمون ثانویه در بذرهای کلزا و باعث افزایش درصد جوانه‌زنی می‌گردد. در مطالعه‌ای دیگر (تیریاکی و بیوک

---

[1] Ghaleb
[2] Porali
[3] Xia
[4] Gorzin

سینگیل[1]، ۲۰۰۹) گزارش کردند که جوانه‌زنی بذرهای پرایمینگ شده سورگوم به‌طور معنی‌داری در دمای پایین افزایش می‌یابد. به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که حساسیت درصد جوانه‌زنی بذرهای سه رقم برنج ندا، آنام و طلوع به دما کم می‌باشد و این سه رقم توانایی بالایی برای جوانه‌زنی در دامنه‌ای از دماها دارند و از آنجا که درصد جوانه‌زنی در بذرهای شاهد بدون پرایمینگ در بالاترین ظرفیت خود (نزدیک ۹۰ درصد) بود، تیمارهای پرایمینگ قادر به افزایش درصد جوانه‌زنی بیشتر از این مقدار نخواهد بود (به استثنای رقم ندا و در دمای ۱۵ درجه سلسیوس). نکته قابل‌توجه در این مطالعه این بود که در رقم آنام و در دمای ۱۵ درجه سلسیوس، تیمارهای پرایمینگ نه‌تنها باعث افزایش درصد جوانه‌زنی نگردید، بلکه باعث کاهش این صفت نیز شد. کاهش درصد جوانه‌زنی در تیمارهای پرایمینگ نسبت به شاهد در برخی مطالعات گزارش شده است. هاردگری و وان واکتور[2]، (۲۰۰۰) علت کاهش جوانه‌زنی در بذرهای پرایمینگ را کاهش در متابولیت ذخایر بذری در طی مراحل پرایمینگ بیان داشتند.

برازش مدل زمان حرارتی به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی ارقام برنج در تیمارهای پرایمینگ با توزیع دوجمله‌ای در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است و در جدول ۱ نیز فراسنجه‌های مدل زمان حرارتی برای بذرهای پرایمینگ شده ارقام مختلف برنج ارائه شده است. به طورکلی، این مدل برازش مناسبی به داده‌های درصد جوانه‌زنی ارقام برنج در تیمارهای پرایمینگ با توزیع دوجمله‌ای داشت (ضریب تبیین بالای ۹۲ درصد در تیمارهای مختلف پرایمینگ).

دمای پایه (T_b)، یکی از فراسنجه‌های برآورد شده در مدل زمان حرارتی می‌باشد. دمای پایه دمایی است که پایین تر از آن جوانه‌زنی رخ نمی‌دهد. هرچه مقدار این فراسنجه در مدل کم‌تر باشد، بیانگر این مطلب است که بذرها برای جوانه‌زنی به دمای پایین‌تری نیازمند هستند. در بذرهای بدون پرایمینگ، اختلاف معنی‌داری در دمای پایه جوانه‌زنی بین ارقام مختلف برنج وجود نداشت و دمای پایه در ارقام آنام، ندا و طلوع به ترتیب ۱۱/۶۰، ۱۲/۳۴ و ۱۲/۰۵ درجه سلسیوس تخمین زده شد. دمای پایه جوانه‌زنی در برنج در مطالعات قبلی ۱۰/۵ درجه سلسیوس (غلامی تیل آبادی[3] و همکاران، ۲۰۱۱)، ۱۴ درجه سلسیوس (صبوری و همکاران، ۲۰۱۲) و ۱۲/۶-۱۳/۹ درجه سلسیوس (علی[4] و همکاران، ۲۰۰۳) برآورد شده است؛ همان‌گونه که مشاهده می‌شود دمای پایه برآورد شده در این تحقیق نیز در دامنه دماهای پایه جوانه‌زنی گزارش‌های قبلی قرار دارد. تیمارهای پرایمینگ باعث تغییر معنی‌داری در دمای پایه گردید. در رقم آنام تیمارهای پرایمینگ باعث افزایش دمای پایه گردید؛ به‌طوری‌که دمای پایه در بذرهای شاهد ۱۱/۶۰ درجه سلسیوس و در تیمار هیدروپرایمینگ و اسموپرایمینگ با اسید آسکوربیک به ۱۲/۹۶ درجه سلسیوس رسید. برعکس، در رقم ندا و طلوع دمای پایه به ترتیب با تیمارهای اسموپرایمینگ با نیترات پتاسیم و اسموپرایمینگ با کلرید کلسیم نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۱). گزارش های مختلفی در زمینه تأثیر پرایمینگ بر دمای پایه وجود دارد. در مطالعه‌ای مشاهده شد که پرایمینگ باعث کاهش دمای پایه ارقام کلزا گردید؛ اما این کاهش ازلحاظ آماری معنی‌داری نبود (ملک و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعات دیگر (هاردیگری و وان واکتور، ۲۰۰۰) و (فوتی[5] و همکاران، ۲۰۰۲) کاهش دمای پایه را در چند گونه گراس و سورگوم گزارش کردند؛ اما مقایسه معنی‌داری دمای پایه در بذرهای شاهد و پرایمینگ شده ارائه نشده بود.

فراسنجه زمان حرارتی تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (θ_t) جمعیت بذری به عنوان یکی دیگر از فراسنجه‌های مدل زمان حرارتی، بیانگر شاخصی از سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای موردنظر می‌باشد. هر چه مقدار عددی این فراسنجه پایین‌تر باشد، به همان اندازه سرعت جوانه‌زنی بالاتر خواهد بود. فراسنجه زمان حرارتی تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی در بذرهای شاهد در ارقام آنام، ندا و طلوع به ترتیب ۱۰۱۹/۹۴، ۷۵۷/۵۳ و ۸۰۳/۱۲ درجه سلسیوس در ساعت برآورد شد. به‌عبارت‌دیگر سرعت جوانه‌زنی در

---

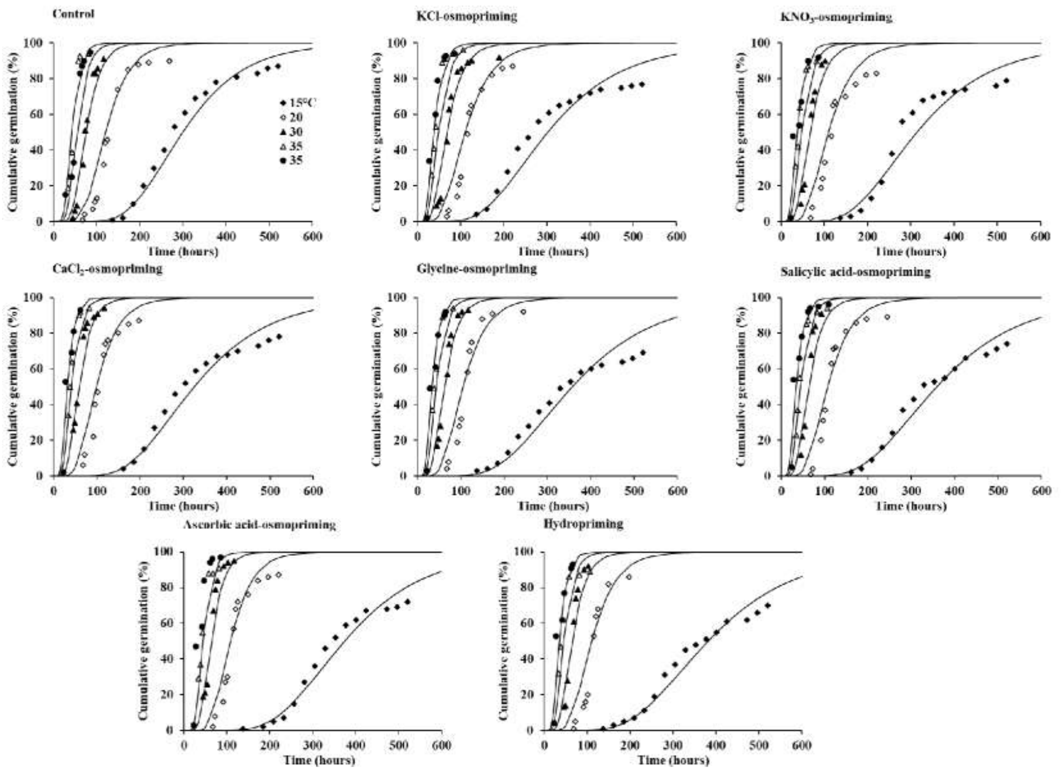
[1] Tiryaki and Buyukcingil

[2] Hardegree and Van Vactor

[3] Gholami Tilebani

[4] Ali

[5] Foti



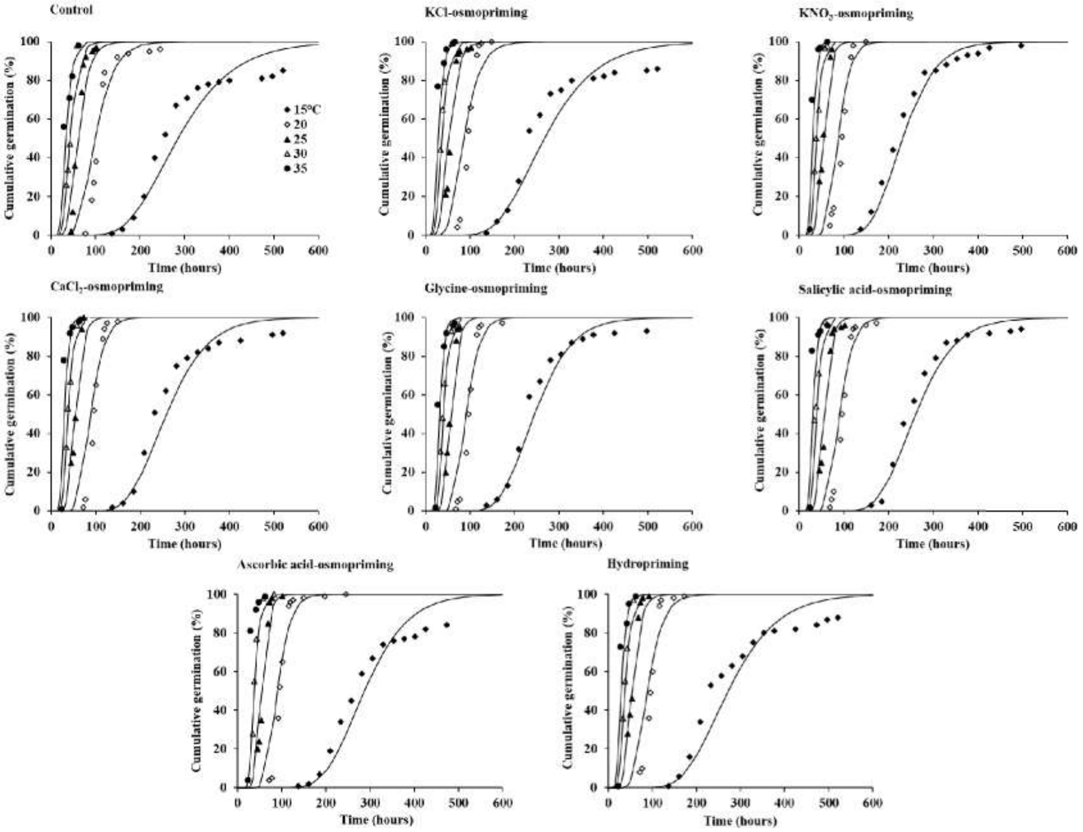
شکل ۳. برازش مدل زمان حرارتی به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در برنج رقم آنام در مقابل زمان (ساعت) در تیمارهای مختلف پرایمینگ

Fig. 3. Fitting the thermal time model to cumulative seed germination percentage in Anam rice variety against time (hours) in different priming treatments

رقم ندا بیش‌تر از طلوع و آنام و طلوع بیش‌تر از آنام برآورد شد. نتایج این تحقیق موید این موضوع است که تیمارهای پرایمینگ باعث کاهش معنی‌دار فراسنجه زمان حرارتی تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (افزایش سرعت جوانه‌زنی) در هر سه رقم برنج شد؛ اما درصد کاهش و نوع تیمار پرایمینگ، بین ارقام متفاوت بود. در رقم آنام همه تیمارهای پرایمینگ باعث کاهش معنی‌دار فراسنجه زمان حرارتی تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی گردید (جدول ۱). در این رقم کم‌ترین فراسنجه زمان حرارتی تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی در تیمار پرایمینگ با کلریدکلسیم (۷۰۹/۰۸ درجه سلسیوس در ساعت) مشاهده شد و با استفاده از این تیمار، سرعت جوانه زنی نسبت به تیمار شاهد ۳۰ درصد افزایش یافت. اما در رقم ندا همه تیمارها باعث کاهش معنی‌دار فراسنجه زمان حرارتی تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی نشدند و تنها تیمارهای پرایمینگ با کلرید پتاسیم، کلرید کلسیم، اسید آسکوربیک و هیدروپرایمینگ باعث کاهش معنی‌دار این شاخص شدند. در این رقم پایین‌ترین فراسنجه زمان حرارتی تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی با استفاده از تیمار پرایمینگ با کلرید پتاسیم (۶۳۳/۲۸ درجه سلسیوس در ساعت) به دست آمد، به‌طوری‌که این تیمار باعث افزایش ۱۶ درصدی سرعت جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد گردید. در رقم طلوع نیز همه تیمارهای پرایمینگ باعث کاهش معنی‌دار فراسنجه زمان حرارتی تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی نگردید و تنها تیمارهای پرایمینگ با گلاسین بتائین، اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ باعث کاهش معنی‌دار این شاخص شدند. پایین‌ترین فراسنجه زمان حرارتی تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی با استفاده از تیمار هیدروپرایمینگ (۶۸۵/۴۶ درجه سلسیوس در ساعت) حاصل شد که این تیمار در بذرهای رقم طلوع، باعث افزایش ۱۵ درصدی سرعت جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد. همچنین در این رقم برخلاف دو رقم دیگر، تیمار پرایمینگ با کلریدکلسیم باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی

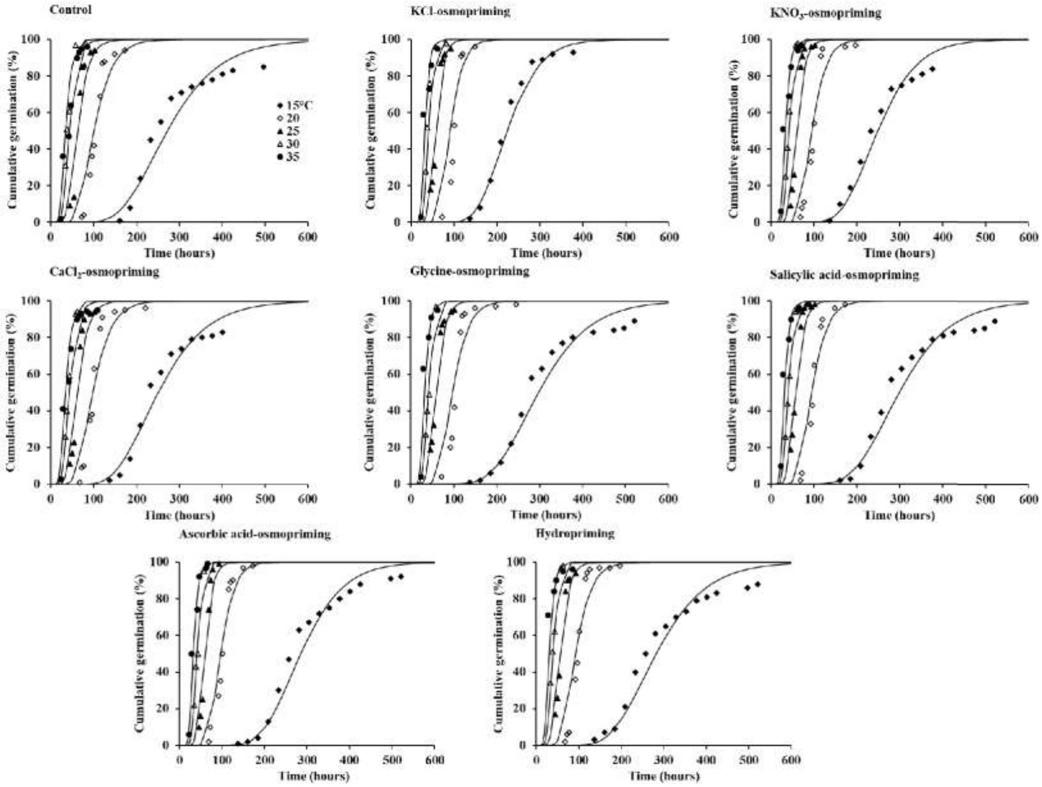
(افزایش فراسنجه زمان حرارتی تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی) بذرها گردید.

به‌طورکلی سرعت جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های جوانه‌زنی است و اثرات تیمارهای مختلف و تأثیرگذاری آن‌ها بر جوانه‌زنی بذرها با کمک این مؤلفه سنجیده می‌شود. در واقع سرعت جوانه‌زنی یکی از شاخص‌های قدرت بذر نیز به‌حساب می‌آید. مطالعات مختلف نشان داده است که پرایمینگ باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌گردد. هاردگری و وان واکتور (۲۰۰۲) در چند گراس مشاهده کرد که پرایمینگ باعث کاهش فراسنجه زمان حرارتی گردید.



شکل ۴. برازش مدل زمان حرارتی به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در برنج رقم ندا در مقابل زمان (ساعت) در تیمارهای مختلف پرایمینگ

Fig. 4. Fitting the thermal time model to the cumulative seed germination percentage data in Neda rice cultivar against time (hours) in different priming treatments



شکل ۵. برازش مدل زمان حرارتی به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در برنج رقم طلوع در مقابل زمان (ساعت) در تیمارهای مختلف پرایمینگ

Fig. 5. Fitting the thermal time model to the cumulative seed germination percentage data in Tolo rice cultivar against time (hours) in different priming treatments

در مطالعه‌ای دیگر در پنبه (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۸)، کلزا (ملک و همکاران، ۲۰۱۹) و گندم (جمالی، ۲۰۱۲) مشاهده شد که پرایمینگ باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن در تیمارهای دمایی گردید. علت افزایش سرعت جوانه‌زنی در بذرهای پرایم شده را می‌توان به افزایش ظرفیت فعالیت‌های تنفسی، تولید ATP و بهبود ظرفیت آنتی اکسیدانتی، در طی فرایند پرایمینگ بیان کرد (کاتا[1] و همکاران، ۲۰۱۴). نی[2] و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که تنش سرما منجر به کاهش جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه برنج شده و همچنین در این شرایط سرعت تنفس و محتویات ATP در بذرها و گیاهچه‌های برنج کاهش می‌یابد، درحالی‌که تیمار پرایمینگ منجر به افزایش قابل‌توجهی در میزان تنفس و سطوح ATP شد. چنین اثرات معنی‌دار ممکن است با افزایش فعالیت متابولیکی گلیکولیز و همچنین ترمیم میتوکندری همراه باشد. پیتن[3] و همکاران (۲۰۱۶) و تاتاری[4] و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که تأثیر تیمارهای پرایمینگ بر بهبود مؤلفه‌های جوانه‌زنی به رقم بستگی دارد و ارقام مختلف واکنش‌های مختلفی به تیمارهای پرایمینگ نشان می‌دهند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد و تیمارهای مناسب پرایمینگ در ارقام برنج با هم متفاوت می‌باشد.

---

[1] Kata
[2] Nie
[3] Patane
[4] Tatari

جدول ۱. فراسنجه‌های مدل زمان حرارتی برای بذرهای ارقام برنج پرایمینگ شده با روش‌های مختلف در دمای ۱۵ الی ۳۵ درجه سلسیوس

Table 1. Thermal time model parameters for the seeds of rice cultivars primed with different methods at temperatures from 15 to 35 degrees Celsius

رقم **Cultivar**	**تیمارهای پرایمینگ** **Priming treatments**	**دمای پایه** **T_b(°C)**	**زمان حرارتی** **θ_t(°Ch)**	**انحراف استاندارد** **$\sigma\theta_t$ (°C)**	**ضریب تبیین** **R^2**
آنام Anam	Control	11.60 ±0.150d	1019.94±26.778a	0.37 ±0.018d	0.94
	KCl-osmopriming	12.11 ±0.140c	872.23 ±25.972	0.45 ±0.023a	0.94
	KNO_3-osmopriming	12.33 ±0.130c	837.91 ±24.549c	0.43 ±0.025ab	0.93
	$CaCl_2$-osmopriming	12.82 ±0.100ab	709.08 ±20.453e	0.42 ±0.025abc	0.95
	Glycine-osmopriming	12.92 ±0.095ab	742.84 ±20.690fe	0.42 ±0.024abc	0.95
	Salicylic acid-osmopriming	12.88 ±0.098ab	763.08 ±21.3de	0.42 ±0.024abc	0.96
	Ascorbic acid-osmopriming	12.96 ±0.087a	762.09 ±19.245def	0.38 ±0.021cd	0.96
	Hydropriming	12.96 ±0.093a	777.25 ±21.152d	0.41 ±0.024abcd	0.94
	LSD (0.05)	0.23	47.74	0.049	
ندا Neda	Control	12.34 ±0.112de	757.53 ±20.412a	0.34 ±0.020a	0.93
	KCl-osmopriming	12.63 ±0.099ab	633.28 ±17.534f	0.32 ±0.020ab	0.92
	KNO_3-osmopriming	12.00 ±0.111f	694.95 ±15.543bc	0.25 ±0.015**c**	0.96
	$CaCl_2$-osmopriming	12.39 ±0.099cd	673.87 ±15.957de	0.28 ±0.017abc	0.94
	Glycine-osmopriming	12.04 ±0.111f	724.25 ±16.246b	0.27 ±0.015bc	0.96
	Salicylic acid-osmopriming	12.35 ±0.097de	690.76 ±15.217cd	0.27 ±0.015bc	0.94
	Ascorbic acid-osmopriming	12.72 ±0.078a	657.09 ±14.302de	0.27 ±0.015bc	0.95
	Hydropriming	12.58 ±0.095abc	657.86 ±16.535de	0.32 ±0.018ab	0.93
	LSD (0.05)	0.21	34.92	0.036	
طلوع Tolo	Control	12.05 ±0.128de	803.12 ±21.364a	0.34 ±0.019ab	0.93
	KCl-osmopriming	11.59 ±0.138f	765.27 ±18.333b	0.27 ±0.016d	0.93
	KNO_3-osmopriming	11.93 ±0.121de	764.04 ±17.922b	0.29 ±0.016cd	0.96
	$CaCl_2$-osmopriming	11.77 ±0.148f	809.67 ±22.116a	0.35 ±0.019a	0.96
	Glycine-osmopriming	12.59 ±0.093ab	716.39 ±17.205de	0.31 ±0.017cd	0.95
	Salicylic acid-osmopriming	12.70 ±0.086a	688.29 ±16.318e	0.31 ±0.017cd	0.96
	Ascorbic acid-osmopriming	12.43 ±0.091c	734.10 ±15.988bcd	0.27 ±0.015d	0.97
	Hydropriming	12.57 ±0.095abc	685.46 ±16.640e	0.32 ±0.017abc	0.95
	LSD (0.05)	0.24	38.65	0.036	

فراسنجه سیگما ($\sigma\theta_t$) شاخصی از یکنواختی جوانه‌زنی در تیمارها می‌باشد و هر چه مقدار عددی این فراسنجه کوچک‌تر باشد، به همان اندازه یکنواختی جوانه‌زنی بیش‌تر است. مقدار عددی فراسنجه سیگما در بذرهای شاهد ارقام آنام، ندا و طلوع به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۳۴ و ۰/۳۴ درجه سلسیوس برآورد شد (جدول ۱). در رقم آنام هیچ یک از تیمارهای پرایمینگ باعث کاهش این فراسنجه نگردید. اما در دو رقم دیگر، با استفاده از تیمارهای پرایمینگ فراسنجه سیگما (افزایش یکنواختی جوانه‌زنی) کاهش یافت. کم‌ترین مقدار عددی این فراسنجه در رقم ندا در تیمار پرایمینگ با نیترات پتاسیم (۰/۲۵ درجه سلسیوس) و در رقم طلوع با تیمارهای پرایمینگ با اسید آسکوربیک و کلرید پتاسیم (۰/۲۷ سلسیوس) به دست آمد که به ترتیب باعث افزایش ۲۶ و ۲۰ درصدی یکنواختی جوانه‌زنی در بذرهای ارقام ندا و طلوع نسبت به تیمار شاهد گردید. برخی مطالعات بیانگر این مطلب که پرایمینگ نه‌تنها منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌گردد، بلکه باعث بهبود یکنواختی جوانه‌زنی نیز می‌شود (روتانارانگبورن[1] و همکاران، ۲۰۱۷). برخی مطالعات هم بیانگر این موضوع است که پرایمینگ تنها بر سرعت جوانه‌زنی تأثیرگذار است و تأثیر معنی‌داری بر یکنواختی جوانه‌زنی ندارد (جمالی، ۲۰۱۲).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که فراسنجه‌های مدل زمان حرارتی ابزار مفیدی برای ارزیابی اثرات تیمارهای پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر برنج تحت شرایط دمایی

---

[1] Ruttanaruangboworn

می‌باشد. همچنین از این مدل می‌توان برای انتخاب تیمار پرایمینگ مناسب برای بهبود مؤلفه‌های جوانه‌زنی ارقام برنج استفاده کرد. واکنش ارقام برنج به تیمارهای مختلف پرایمینگ متفاوت بود و در ارقام آنام و ندا پرایمینگ با کلرید کلسیم و در رقم طلوع هیدروپرایمینگ تأثیرگذارتر بودند. به‌طورکلی تیمارهای پرایمینگ تأثیر معنی‌داری بر بهبود (کاهش) دمای پایه ارقام ندا و طلوع داشت؛ اما در رقم آنام باعث افزایش معنی‌دار دمای پایه گردید. تیمارهای پرایمینگ تأثیر معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی داشت؛ ازآنجاکه یکی از مشکلات اصلی برنج در روش کاشت هوازی، پایین بودن سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی است، می‌توان از تیمارهای پرایمینگ به ویژه هیدروپرایمینگ به دلیل سادگی و پایین بودن هزینه برای افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن برنج در این روش استفاده کرد.

منابع

Ali, M.G., Naylor, R.E.L. and Matthews, S. 2003. Effect of a range of constant temperatures on germination of fifteen Bangladeshi rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Pakistan Journal of Biological Sciences, 6: 1070-1076. https://doi.org/10.3923/pjbs.2003.1070.1076

Alvarado, V. and Bradford, K.J. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperature for seed germination. Plant, Cell and Environment, 25: 621-624. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00894.x

Basra, S.M.A., Farooq, M., Wahid, A. and Khan, M.B. 2006. Rice seed invigoration by hormonal and vitamin priming. Seed Science and Technology, 34(3): 753-758. https://doi.org/10.15258/sst.2006.34.3.23

Bouman, B.A.M., Lampayan, R.M. and Tuong, T.P. 2007. Water management in irrigated rice: coping with water scarcity. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute, 54 p.

Devika, O.S., Singh, S., Sarkar, D., Barnwal, P., Suman, J. and Rakshit, A. 2021. Seed priming: a potential supplement in integrated resource management under fragile intensive ecosystems. Frontiers in Sustainable Food Systems, 5: 1-11. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.654001

Donato, L., Farshid, G.F., Zahra, R. and Roberta, M. 2017. Base temperatures for germination of selected weed species in Iran. Plant Protection Science, 54(1): 60-66. https://doi.org/10.17221/92/2016-PPS

FAO, 2021. FAOSTAT. Statistical Databases. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http:/ www.fao.org.

Farooq, M., Tabassum, R. and Afzal, I. 2006. Enhancing the performance of direct seeded fine rice by seed priming. Plant Production Science, 9(4): 446-456. https://doi.org/10.1626/pps.9.446

Farooq, M., Basra, S.M.A., Rehman, H., Ahmad, N. and Saleem, B. A. 2007. Osmopriming improves the germination and early seedling growth of melons (*Cucumis melo* L.). Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 44(3): 529-536.

Farooq, M., Siddique, K.H., Rehman, H., Aziz, T., Lee, D.J. and Wahid, A. 2011. Rice direct seeding: experiences, challenges and opportunities. Soil and Tillage Research, 111(2): 87-98. https://doi.org/10.1016/j.still.2010.10.008

Foti, S., Cosentino, S. L., Patane, C. and D'agosta, G.M. 2002. Effect of osmoconditioning upon seed germination of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) under low temperatures. Seed Science and Technology, 30(3): 521-533.

Furuya, J. and O. Koyama. 2005. Impacts of climatic change on world agricultural product markets: Estimation of macro yield functions. Japan Agricultural Research Quarterly, 39(2): 121-134. https://doi.org/10.6090/jarq.39.121

Galahitigama, G.A.H., Tharindi, P.W.M. and Kaushalya, K.C. 2021. Different halo-primed seed treatments on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Agriculture Research and Life Sciences, 2(1): 25-28.

Gallop, R.J., Crits-Christoph, P., Muenz, L.R. and Tu, X.M. 2003. Determination and interpretation of the optimal operating point for ROC curves derived through generalized linear models. Understanding Statistics, 2(4): 219-242. https://doi.org/10.1207/S15328031US0204_01

Ghaleb, W., Ahmad, L.Q., Wagner, M.H., Eprinchard-Ciesla, A., Olivares-Rodriguez, W.E., Perrot, C., Chenu, K., Norton, M., and Escobar-Gutierrez, A.J. 2022. The concepts of seed germination rate and germinability: A re-evaluation for cool-season grasses. Agronomy, 12 (1291): 2-17. https://doi.org/10.3390/agronomy12061291

Gholami Tilebani, H.V., Kurd Firouzjaei, Q., and Zainli, A. 2011. Evaluation cardinal temperatures of germination in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Seed Science and Technology, 1(1): 41-52. [In Persian with English Summary].

Gorzin, M., Ghaderi-Far, F., Sadeghipour, H.R., Zeinali, E., 2021. Induced thermo-dormancy in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars by sub-and supra-optimal temperatures. Journal of Plant Growth Regulation, 40: 2164-2177. https://doi.org/10.1007/s00344-020-10266-2

Hadinezhad, P., Payamenur, V., Mohamadi, J. and Ghaderifar, F. 2013. The effect of priming on seed germination and seedling growth in (*Quercus castaneifolia* L.). Seed Science and Technology, 41(1): 121-124. https://doi.org/10.15258/sst.2013.41.1.11

Hardegree, S.P. and Van Vactor, S.S. 2000. Germination and emergence of primed grass seeds under field and simulated-field temperature regimes. Annals of Botany, 85: 379-390. https://doi.org/10.1006/anbo.1999.1076

Hussain, S., Zheng, M., Khan, F., Khaliq, A., Fahad, S., Peng, S., Hung, J., Cui, K. and Nie, L. 2015. Benefits of rice seed priming are offset permanently by prolonged storage and the storage conditions. Scientific Reports, 5(1): 1-12. https://doi.org/10.1038/srep08101

Information and Communication Technology Center. 2021. Report on the level, production and yield of crops in the year 2020-2021. Ministry of Jahade Agriculture. [In Persian].

Jamali, M. 2012. The effects of priming on the germination of wheat seeds with different levels of seed vigor under environmental stresses. Master's thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. [In Persian with English Summary].

Joshi, E., Kumar, D., Lal, B., Nepalia, V., Guatam, P. and Vyas, A.K. 2013. Management of direct seeded for enhance resources - use efficiency. Plant Knowledge Journal, 2(3): 119-134.

Kamalpreet, K., Prabhjot, K. and Tarundeep, K. 2017. Problems faced by farmers in cultivation of direct seeded rice in Indian Punjab. Agricultural Research Journal, 54(3): 428-431. https://doi.org/10.5958/2395-146X.2017.00081.3

Kata, L.P., Bhaskaran, M. and Umarani, R. 2014. Influence of priming treatments on stress tolerance during seed germination of rice. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology, 7(2): 225-232. https://doi.org/10.5958/2230-732X.2014.00238.1

Malek, M., Ghaderi-Far, F., Trabi, B., and Sadeghipour, H.R. 2022. Dynamics of seed dormancy and germination at high temperature stress is affected by priming and phytohormones in rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of Plant Physiology, 269: 153614. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153614

Malek, M., Ghadrifar-Far, F., Torabi, B. and Sadeghipour, H.R. 2019. Reaction of primed seeds of canola in response to different temperatures. Journal of plant production research, 26 (2): 215-227. [In Persian with English Summary].

Momeni, A. 2015. An overview on potential of aerobic rice production in water crisis conditions in Iran. Iranian Journal of Crop Sciences, 18 (3): 179-195. [In Persian with English Summary].

Nie, L., Liu, H., Zhang, L. and Wang, W. 2020. Enhancement in rice seed germination via improved respiratory metabolism under chilling stress. Food and Energy Security, 9(4): 1-13. https://doi.org/10.1002/fes3.234

Patanè, C., Saita, A., Tubeileh, A., Cosentino, S.L. and Cavallaro, V. 2016. Modeling seed germination of unprimed and primed seeds of sweet sorghum under PEG-induced water stress through the hydrotime analysis. Acta Physiologiae Plantarum, 38(5): 1-12. https://doi.org/10.1007/s11738-016-2135-5

Porali, F., Ghaderi-Far, F., Soltani, E., Pahlevani, M.H. 2019. Comparison of different models for determining time up to 50% maximum germination: a case study of cottonseeds (*Gossypium hirsutum*). Iranian Journal of Seed Research, 5(2): 1-13. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.29252/yujs.5.2.1

Predeepa, J. 2012. Aerobic rice- the next generation innovation in rice cultivation technology. International Journal of Farm Sciences, 2(2): 54-58.

Rehman, H., Kamran, M., Basra, S.M.A., Afzal, I. and Farooq, M. 2015. Influence of seed priming on performance and water productivity of direct seeded rice in alternating wetting and drying. Rice Science, 22(4): 189-196. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2015.03.001

Ruttanaruangboworn, A., Chanprasert, W., Tobunluepop, P., and Onwimol, D. 2017. Effect of seed priming with different concentrations of potassium nitrate on the pattern of seed imbibition and germination of rice. Journal of Integrative Agriculture, 16(3): 605-613. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61441-7

Sabouri, H., Sabouri, A. and Dadres, A.R. 2012. Modeling the response of germination rate of different rice germinations to temperature. Cereal Research, 2: 123-135. [In Persian with English Summary].

Schwember, A.R. and Bradford, K.J. 2010. A genetic locus and gene expression patterns associated with the priming effect on lettuce seed germination at elevated temperatures. Plant Molecular Biology, 73(1-2): 105-118. https://doi.org/10.1007/s11103-009-9591-x

Simma, B., Polthanee, A., Goggi, A.S., Siri, B., Promkhambut, A. and Caragea, P.C., 2017. Wood vinegar seed priming improves yield and suppresses weeds in dryland direct-seeding rice under rainfed production. Agronomy for Sustainable Development, 37(6): 1-9. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0466-2

Soltani, A. and Mirzai, A. 2021. Sustainable agriculture. Sirang Vocabulary Publications. [In Persian].

Soltani, A., Miri, A.A. and Ghadrifar-Far, F. 2009. The effect of seed priming on emergence and yield of cotton at different sowing dates. Journal of Plant Production, 16 (3): 163-174. [In Persian with English Summary].

Soltani, E., Akram, G.F., and Memar, H. 2008. The effect of priming on germination components and seedling growth of cotton seeds under drought. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 14(5): 9-16. [In Persian with English Summary].

Tatari, S., Ghaderi-Far, F., Yamchi, A., Siahmarguee, A., Shayanfar, A. and Baskin, C.C. 2020. Application of the *hydrotime model to assess seed priming effects on the germination of rapeseed (Brassica* napus L.) in response to water stress. Botany, 98(5): 283-291. https://doi.org/10.1139/cjb-2019-0192

Tiryaki, I. and Buyukcingil, Y. 2009. Seed priming combined with plant hormones: influence on germination and seedling emergence of sorghum at low temperature. Seed Science and Technology, 37: 303-31. https://doi.org/10.15258/sst.2009.37.2.05

United States Department of Agriculture (USDA). 2021. World agriculture production. Available in: https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda

Waqas, M., Korres, N.E., Khan, M.D., Nizami, A.S., Deeba, F., Ali, I. and Hussain, H. 2019. Advances in the concept and methods of seed priming. In Priming and pretreatment of seeds and seedlings. Springer, Singapore. 11-41. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_2

Xia, Q., Maharajah, P., Cueff, G., Rajjou, L., Prodhomme, D., Gibon, Y. and El-Maarouf-Bouteau, H. 2018. Integrating proteomics and enzymatic profiling to decipher seed metabolism affected by temperature in seed dormancy and germination. Plant Science, 269: 118-125. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.01.014

Yasumoto, S., Maki, N., Kojima, M. and Ohshita, Y. 2017. Changes in developmental duration of direct-seeded rice in a well-drained paddy field in response to late planting. Plant Production Science, 20(3): 279-287. https://doi.org/10.1080/1343943X.2017.1340801

Zhang, Q., Rue, K. and Mueller, J. 2014. The effect of glycinebetaine priming on seed germination of six turfgrass species under drought, salinity, or temperature stress. Horticulture Science, 49(11): 1454-1460. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.11.1454