Iranian Journal of Seed Research, 2024, 11(1): 223-239

Short Research Article

Evaluation of drought stress effect on germination characteristics of some advanced dryland bread wheat lines

Fatemeh Vafaee [1], Hamidreza Nooryazdan [2, *], Rahmatallah Karimizadeh [3]

Extended abstract

Introduction: Drought stress in dryland wheat cultivation, where the plant solely relies on rainwater, can have a detrimental effect on plant growth. Given the lengthy duration of breeding projects, identifying stress-tolerant breeding lines at the germination stage can significantly reduce the time and cost of dryland wheat breeding programs for developing drought-resistant varieties. Identifying the stress tolerance of unreleased lines through laboratory simulation of drought stress is among novel methods to aid in selecting drought-tolerant varieties in the final stages. Moreover, the germination stage is crucial for plant establishment. This stage is critical for plant growth and development and can significantly impact bread wheat yield in case tolerant lines are available.

Materials and Methods: This experiment was conducted to investigate the germination characteristics of 11 advanced dryland bread wheat lines at four osmotic potential levels (-2, -4, -6, and -8 bars) induced by polyethylene glycol 6000 along with a control (for a total of five levels), under laboratory (controlled) conditions at Persian Gulf University. The investigation was performed as a factorial experiment in a completely randomized design (CRD) with three replications. Traits in this experiment including germination percentage, germination rate, growth rates of radicles and plumules, dry weight and length of radicle and plumule, seed vigor indices I and II, seedling length, and allometric coefficient were measured.

Results: The mean of all traits decreased with increasing stress levels. Results of ANOVA showed a significant interaction at the 1% level between the lines and drought stress treatments. Therefore, physical slicing analysis was conducted at each stress level to compare the lines. The response of the lines to different traits was of an ordinal interaction type. As drought stress levels increased, germination percentage and rate, radicle and plumule growth rates, and seedling length decreased. Overall, lines 3 and 4 exhibited the highest germination percentage (58.86) and rate (3.60 seeds per day), as well as radicle (0.85 cm per day) and plumule rates (0.70 cm per day), and radicle (8.83 cm) and seedling (7.12 cm) length.

Conclusions: The response of the lines to different osmotic stress levels varied in terms of various traits. Based on the traits evaluated, lines 3 and 4 exhibited superior drought stress tolerance. These lines can be utilized in future breeding programs.

Keywords: Osmotic potential, Polyethylene glycol, Seed vigor index, Wheat

***Highlights*:**

1. Evaluating and screening wheat breeding lines for drought tolerance was performed by simulating stress conditions in the laboratory and comparing morphological traits in early plant growth stages.
2. The response of the lines to similar levels of drought stress was heterogeneous, and physical slicing analysis based on each stress level revealed an ordinal interaction between stress and line levels.

[1] M.Sc. Graduated of Genetics and Plant Breeding, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture Engineering, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.
[2] Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture Engineering, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.
[3] Associate professor, Kohgiloyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran.

*Corresponding author, E-mail: hrnooryazdan@pgu.ac.ir

Received: 25.5.2024; Revised: 9.7.2024;
Accepted: 14.7.2024; Online Published: 21.9.2024

DOI: 10.61186/yujs.11.1.223

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 یازدهم/ شماره اول/ ۱۴۰۳/ صفحات: ۲۳۹-۲۲۳

مقاله کوتاه پژوهشی

ارزیابی اثر تنش خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی برخی لاین‌های پیشرفته گندم نان دیم

فاطمه وفایی[۱]، حمیدرضا نوریزدان[۲و*]، رحمت‌الله کریمی‌زاده[۳]

چکیده مبسوط

مقدمه: وقوع تنش خشکی در کشت دیم گندم که در آن گیاه تنها متکی به آب باران است، می‌تواند اثر مخربی بر رشد گیاه داشته باشد. با توجه به طولانی بودن پروژه‌های به‌نژادی، شناسایی لاین‌های اصلاحی از نظر تحمل به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی، می‌تواند به طور قابل توجهی به کاهش زمان و هزینه‌های برنامه‌های به نژادی گندم دیم برای توسعه ارقام مقاوم به خشکی منجر شود. شناسایی میزان تحمل لاین‌هایی که هنوز به مرحله آزادسازی نرسیده‌اند از طریق شبیه‌سازی تنش خشکی در شرایط آزمایشگاهی، از جمله روش‌های نوآور برای کمک به انتخاب رقم متحمل به خشکی در مراحل نهایی است. از سوی دیگر مرحله جوانه‌زنی، اهمیت بسیاری در استقرار بوته‌ها دارد. این مرحله برای رشد و توسعه گیاه حیاتی است و در صورت وجود لاین‌های متحمل می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر عملکرد گندم نان داشته باشد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به منظور بررسی خصوصیات جوانه‌زنی ۱۱ لاین پیشرفته گندم نان دیم، در چهار سطح پتانسیل اسمزی (۲-، ۴-، ۶- و ۸- بار) بوجود آمده توسط پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ به همراه شاهد (در مجموع پنج سطح) در شرایط آزمایشگاهی در دانشگاه خلیج فارس، به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش صفات شامل درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی، سرعت رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص بنیه بذر (به دو روش)، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، طول گیاهچه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و ضریب آلومتری، اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: میانگین صفات، با افزایش سطح تنش، کاهش یافت. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که بین لاین‌ها و سطوح تنش خشکی برهمکنش در سطح معنی‌دار یک درصد وجود داشت. بنابراین تجزیه برشی فیزیکی در هر سطح تنش برای مقایسه ارقام انجام شد. واکنش لاین‌ها از نظر صفات مختلف، در برابر سطوح مختلف پتانسیل اسمزی، از نوع برهمکنش ترتیبی بود. با افزایش سطح تنش خشکی، درصد و سرعت جوانه‌زنی، سرعت رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه و طول گیاهچه کاهش یافت. در مجموع کل آزمایش، لاین‌های شماره ۳ و ۴ دارای بالاترین درصد جوانه‌زنی (۵۸/۸۶) و سرعت جوانه‌زنی (۳/۶۰ بذر در روز)، سرعت رشد ریشه‌چه (۰/۸۵ سانتی‌متر در روز) و ساقه‌چه (۰/۷۰ سانتی‌متر در روز)، و طول ریشه‌چه (۸/۸۳ سانتی‌متر) و گیاهچه (۷/۱۲ سانتی‌متر) بودند.

نتیجه‌گیری: واکنش لاین‌ها از نظر صفات مختلف، در برابر سطوح مختلف پتانسیل اسمزی، متفاوت بود. بر اساس صفات بررسی شده، لاین‌های ۳ و ۴ از نظر تحمل به تنش خشکی وضعیت بهتری داشتند. از این لاین‌ها می‌توان به عنوان منابع برتر در برابر شرایط خشکی در برنامه‌های بعدی به‌نژادی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل اسمزی، پلی‌اتیلن گلیکول، شاخص بنیه بذر، گندم

جنبه‌های نوآوری:

۱- ارزیابی و غربال‌گری لاین‌های اصلاحی گندم از نظر تحمل به تنش خشکی با شبیه‌سازی شرایط در آزمایشگاه با مقایسه صفات مورفولوژیک در مراحل اولیه رشد گیاه، انجام شد.

۲- واکنش لاین‌ها در سطوح مشابه تنش خشکی، غیر یکسان بود و تجزیه برشی فیزیکی بر اساس هر سطح تنش، برهمکنش ترتیبی بین سطوح لاین و تنش را نشان داد.

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

[۲] استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

[۳] دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: hrnooryazdan@pgu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۵؛ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۴/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۲۴؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۳/۶/۳۱

DOI: 10.61186/yujs.11.1.223

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

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) پر مصرف‌ترین و یکی از سازگارترین محصولات زراعی به شرایط محیطی است که به صورت آبی و دیم کشت می‌شود. نیاز دنیا به گندم با توجه به رشد جمعیت و الگوی مصرف غذا، رو به افزایش است. این محصول ۲۰ درصد کالری و بیش از ۲۵ درصد پروتئین مصرفی انسان را تأمین می‌کند (جیرالدو[1] و همکاران، ۲۰۱۹). تخمین زده می‌شود که برای تأمین جمعیت در حال رشد دنیا، هر سال نیاز به افزایش تولید گندم حداقل به میزان یک درصد باشد. برای تولید بیشتر گندم باید به چند عامل از جمله کیفیت بذر، بستر مناسب کشت و بی اثر کردن تنش‌های محیطی توجه کرد. میزان تولید گندم در دنیا ۷۹۴/۶ و در ایران ۱۳ میلیون تن گزارش شده است (فائو[2]، ۲۰۲۲). تولید گندم در ایران نسبت به سال ۲۰۲۱، ۱۲۸ درصد افزایش و نسبت به متوسط پنج‌ساله اخیر ۳ درصد کاهش داشته است (فائو، ۲۰۲۲). سطح زیر کشت گندم دیم در ایران ۴۵۳۸۸۲۹ هکتار با متوسط عملکرد ۹۸۶ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (آمارنامه[3] وزارت کشاورزی، ۲۰۲۲). مزارع گندم دیم عموماً در مراحل جوانه‌زنی و اواخر دوره رشد با تنش خشکی مواجه هستند (گراوندی[4] و همکاران، ۲۰۱۰). گندم غذای اصلی مردم ایران است و با توجه به وضعیت اقلیمی کشور، شناسایی و آزادسازی ارقام مقاوم به تنش خشکی، نقش مهمی در تضمین امنیت غذایی دارد. ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های پیشرفته نسبت به تنش پیش از معرفی رقم ضروری است. در واقع انتخاب ژنوتیپ‌های با خصوصیات مناسب در مرحله جوانی‌زنی کم هزینه و مؤثر خواهد بود. با اینکه گندم سازگاری بسیاری به شرایط محیطی دارد اما تولید این محصول به دلیل مواجه با تنش های محیطی از جمله خشکی بویژه در نواحی خشک و نیمه خشک با مشکلاتی مواجه است (ابرو[5] و همکاران، ۲۰۲۱). در سال‌های اخیر، میزان وقوع تنش خشکی به دلیل تغییرات اقلیمی افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود این روند برای بسیاری از مناطق دنیا، ادامه داشته باشد.

تنش خشکی ناشی از کم‌آبی، مهمترین عامل محدود کننده رشد گیاهان زراعی به ویژه در شرایط کشت دیم است (شوالم[6] و همکاران، ۲۰۱۷).

مهم‌ترین مراحل حساس به تنش خشکی در گندم، جوانه‌زنی، سنبله‌دهی، گلدهی و پر شدن دانه است (سارتو[7] و همکاران، ۲۰۱۷). از جمله روش‌های مؤثر برای مقابله با خشکی، معرفی ارقامی است که در شرایط تنش، کمتر آسیب ببینند. ارزیابی ژنوتیپ‌ها، ابزار ارزشمندی برای یافتن منابع تحمل به خشکی است. تنش کمبود آب بر جوانه‌زنی، رشد اندام‌های هوایی و ریشه، تجمع ماده خشک، سرعت فتوسنتز و فعالیت‌های آنزیمی گیاه اثر نامطلوب دارد (لی[8] و همکاران، ۲۰۲۰). مرحله جوانه‌زنی، اهمیت بسیاری در استقرار بوته‌ها دارد. این مرحله برای رشد و توسعه گیاه حساس و حیاتی است و در آن تحمل به شرایط نامساعد، از جمله خشکی، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر رشد و عملکرد گندم نان داشته باشد. قدرت جوانه‌زنی بذر، بنیه و طول کلوئپتیل از عوامل اساسی موفقیت در استقرار گیاهان زراعی می‌باشد (ماهپارا[9] و همکاران، ۲۰۲۲).

ژنوتیپ‌های گندم، واکنش‌های متفاوتی نسبت به سطوح مختلف PEG دارند (ابرو و همکاران، ۲۰۲۱؛ بتول[10] و همکاران، ۲۰۲۲). بر این اساس شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در مراحل اولیه رشد گیاه و در شرایط آزمایشگاهی، می‌تواند روند به‌نژادی گیاهان را تسریع کند (ماهپارا و همکاران، ۲۰۲۲). مطالعه اثر تنش خشکی روی ژنوتیپ‌های مختلف در مزرعه و مهار شرایط به راحتی ممکن نیست (موسکولا[11] و همکاران، ۲۰۱۴).

صفات مختلف در گیاهچه تحت تنش ناشی از PEG قرار می‌گیرند. با کاهش پتانسیل اسمزی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه و زیست‌توده گیاهچه کاهش می‌یابد (فیصل[12] و همکاران، ۲۰۱۹؛ پیری[13] و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین تنش خشکی در مراحل اولیه جوانه‌زنی موجب کاهش

[1] Geraldo
[2] FAO
[3] Statistical Yearbook
[4] Garavandi
[5] Abro
[6] Schwalm
[7] Sarto
[8] Li
[9] Mahpara
[10] Batool
[11] Muscoloa
[12] Faisal
[13] Piri

وزن گیاهچه تولیدی شده است (قوش[1] و همکاران، ۲۰۲۰؛ احمد[2] و همکاران، ۲۰۲۰). در شرایط تنش خشکی، بیوماس ریشه و اندام هوایی (بیلال[3] و همکاران، ۲۰۱۵) و نیز بنیه گیاهچه (نورکا[4] و همکاران، ۲۰۱۳)، می‌تواند شاخصی برای انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی باشد.

با توجه به انجام برنامه به‌نژادی روی یازده لاین جدید و پیشرفته گندم دیم به منظور آزادسازی رقم (ارقام)، هدف از این تحقیق، ارزیابی آن‌ها در مرحله اولیه رشد، در برابر سطوح مختلف تنش خشکی ایجاد شده در شرایط آزمایشگاهی و مطالعه صفات مربوط به جوانه‌زنی در شرایط تنش بود. از یافته‌های این تحقیق، می‌توان برای گزینش لاین (های) برتر متحمل به تنش خشکی برای تکمیل برنامه به‌نژادی استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۴۰۰ در آزمایشگاه فیزیولوژی و اصلاح نباتات دانشکده مهندسی کشاورزی دانشگاه خلیج فارس، با ۱۱ لاین پیشرفته گندم نان دیم و ۵ سطح تنش خشکی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل تنش خشکی، دارای سطوح (صفر، ۲-، ۴-، ۶- و ۸- بار) بود. شجرهٔ لاین‌های مورد استفاده که از مرکز تحقیقات دیم گچساران تهیه شده بودند در جدول ۱ موجود است. برای ایجاد سطوح مختلف پتانسیل اسمزی، از پلی‌اتیلن گلیکول (۶۰۰۰) و با روش میشل و کافمن[5] (۱۹۷۳) استفاده شد (جدول ۲). پیش از شروع آزمایش جوانه‌زنی لاین‌ها با روش استاندارد بررسی شد (انجمن بین‌المللی آزمون بذر[6]، ۲۰۲۳). متوسط قدرت جوانه‌زنی همه لاین‌ها برابر ۹۵ درصد با انحراف معیار ۲/۴۴ بود. بذرها پس از سترون سطحی با محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به مدت ۵ دقیقه و شستشوی چند باره با آب مقطر در پتری قرار داده شدند (گانیو[7] و همکاران، ۲۰۲۱). هر واحد آزمایشی شامل پتری سترون به قطر ۱۰ سانتی‌متر حاوی کاغذ صافی استریل و ۱۰ میلی‌لیتر محلول اسمزی بود. در هر پتری تعداد ۲۵ بذر سالم و هم اندازه به مدت ۸ روز در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در اتاقک رشد (۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی) قرار داده شدند (قلی‌نژاد[8]، ۲۰۱۴). در این آزمایش صفات درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی، سرعت رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص طولی و وزنی بنیه بذر، طول گیاهچه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و ضریب آلومتری اندازه‌گیری شدند. در محاسبات مربوط به هر صفت، دو مرتبه و هر بار ۱۰ نمونه به صورت تصادفی انتخاب و میانگین حاصل اندازه گیری و یادداشت شد. شمارش بذرها جوانه‌زده شده هر ۲۴ ساعت یک‌بار انجام شد. بر اساس روش بولوی و بلک[9] (۲۰۱۲)، مشاهده خروج ریشه‌چه از بذر به عنوان زمان جوانه‌زنی محسوب شد. درصد و سرعت جوانه‌زنی با روش پیشنهادی کتیولی[10] و همکاران (۲۰۰۸)، شاخص بنیه با روش پیشنهادی عبدالباکی و اندرسون[11] (۱۹۷۳)، و ضریب آلومتری با روش استاندارد (انجمن بین‌المللی آزمون بذر، ۲۰۲۳) محاسبه شدند (جدول ۲). برای اندازه گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با خط‌کش اندازه‌گیری شد. وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در آخرین روز آزمایش اندازه‌گیری شدند. سپس تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن انجام شد. در صورت معنی‌دار بودن برهمکنش خشکی و لاین، برش‌دهی فیزیکی در هر سطح تنش انجام شد. از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

[1] Ghosh
[2] Ahmed
[3] Bilal
[4] Noorka
[5] Michel and Kaufmann
[6] International Seed Testing Association
[7] Ganiyu
[8] Gholinezhad
[9] Bewley and Black
[10] Cattivelli
[11] Abdul-Baki and Anderson

جدول ۱ - شجره لاین‌های مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Pedigree of the lines used in the experiment

شماره لاین Line Number	شجره Pedgree
1	TACUPETO F2001*2/BRAMBLING// KIRITATI/ 2*TRCHCMSS08Y00140S-099Y-099M-099NJ-29WGY-0B
2	KACHU/SAUAL/8/ATTILA*2/PBW65/6/PVN//CAR422/ANA/5/BOW/CROW//BUC/PVN/3/YR/4/TRAP#1/7/ATTILA/2*PASTORCMSS10Y00374S-099Y-099M-1WGY-0B
3	92.001E7.32.5/SLVS/4/WHEAR/KUKUNA/3/C80.1/3*BATAVIA//2*WBLL1CMSA08M00321S-040M-0NJ-14Y-0B
4	QUAIU #1CGSS01B00046T-099Y-099M-099M-099Y-099M-29Y-0B-12B-0Y
5	BECARD/PFUNYE #1CMSS09Y00374S-099Y-099M-099Y-10WGY-0B
6	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/SRMA/TUIPTSA08M00045S-050ZTM-050Y-28ZTM-010Y-0B
7	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/SRMA/TUIPTSA08M00045S-050ZTM-050Y-28ZTM-010Y-0B
8	KACHU/SAUAL/3/TRCH/SRTU//KACHUCMSS10Y00375S-099Y-099M-6WGY-0B
9	PASTOR/KAUZ/6/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/ 4/WEAVER /5/2*KAUZ/7/2*PRL/ 2*PASTOR//PBW343*2/ KUKUNACMSS09Y01016T-099TOPM-099Y-099M-099Y-21WGY-0B
10	KACHU/3/PBW343*2/KUKUNA//PBW343*2/KUKUNACMSS09B00277S-099ZTM-099NJ-099NJ-19WGY-0B
11	ROLF07/3/TRCH/SRTU//KACHU/4/SAUAL/MUTUSCMSS10Y00986T-099TOPM-099Y-099M-7WGY-0B

جدول ۲- روابط ریاضی مورد استفاده برای اندازه‌گیری صفات در آزمایش

Table 2. Mathematical equations used to measure traits in experiments

صفت Trait	رابطه Equation	عوامل رابطه Factors of Eq	منبع Reference
پتانسیل محلول تنش Potential stress solution	$\Psi_s = -(1.18 \times 10^{-2}) C - (1.18 \times 10^{-4}) C^2 + (2.67 \times 10^{-4}) CT + (8.39 \times 10^{-7}) C^2T$	C = غلظت PEG6000 (گرم بر کیلوگرم) T= دما بر حسب سلسیوس Ψ_s = پتانسیل اسمزی محلول	میشل و کافمن (۱۹۷۳)
درصد جوانه‌زنی Germination percentage	$GP = \frac{\text{تعداد کل بذرها جوانه زده در روز ام‌اُم}}{\text{تعداد کل بذرها}}$	GP = درصد جوانه‌زنی	کاتیولی و همکاران (۲۰۰۸)
سرعت جوانه‌زنی Germination rate	$GR = \sum \frac{\text{تعداد بذرها جوانه زده تا روز ام‌اُم}}{\text{تعداد روز از شروع آزمایش}}$	GR = سرعت جوانه‌زنی	کاتیولی و همکاران (۲۰۰۸)
شاخص بنیه بذر اول Vigor index I	VIS= (GP X SL)/100	VIS = شاخص بنیه بذر، GP = درصد جوانه‌زنی و SL = طول گیاهچه	عبدالباکی و اندرسون (۱۹۷۳)
شاخص بنیه بذر دوم Vigor index II	VGI= (GP X SDW)/100	VGI = شاخص بنیه بذر II ، GP = درصد جوانه زنی و SDW = وزن خشک گیاهچه	بدالباکی و اندرسون (۱۹۷۳)
ضریب آلومتریک Allometric coefficient	$AC = \frac{\text{وزن خشک ریشه چه}}{\text{وزن خشک ساقه چه}}$	AC = ضریب آلومتریک	انجمن بین‌المللی آزمون بذر (۲۰۲۳)
سرعت رشد ساقه‌چه و ریشه چه Radicle and Plumule growth rate	$SGR = \sum \frac{L_i}{D_i}$	SGP = سرعت رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه Li = طول ساقه‌چه یا ریشه‌چه در روز اندازه گیری، Di = تعداد روز از ابتدای کشت	مگوایر[1] (۱۹۶۸)

[1] Maguire

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی: مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی نشان داد که با افزایش تنش خشکی درصد جوانه‌زنی، نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۳). نتایج برش‌دهی نشان داد که در سطح شاهد، بجز لاین‌های ۸ و ۱۱ که کمترین میزان صفت را داشتند، بقیه لاین‌ها با میزان بالاتر جوانه‌زنی، تفاوت آماری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). در سطح تنش ۲- بار، لاین‌های شماره، ۶، ۱ و ۷ بیشترین مقدار جوانه‌زنی را نشان دادند (جدول ۳). برای این صفت در سطح شاهد، به جز لاین‌های ۸ و ۱۱ بقیه اختلاف آماری با یکدیگر نداشتند. در سطح تنش ۲- بار، لاین‌های ۱، ۶ و ۷، در سطح تنش ۴- بار لاین‌های شماره ۳ و ۴، در سطح ۶- بار لاین شماره ۴ و در سطح تنش ۸- بار، لاین شماره ۱ بیشترین مقدار صفت را داشتند (جدول ۳).

بالا بودن میزان این صفت در استقرار گیاهچه در مزرعه، تحت شرایط تنش نقش مهمی دارد. در این آزمایش با افزایش سطح تنش، میزان درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد، به ترتیب ۲۰، ۳۱، ۹۲ و ۹۹ درصد کاهش داشت. به طور کلی با افزایش سطح تنش، میزان جذب آب کاهش می‌یابد اما میزان این کاهش بسته به ژنوتیپ، می‌تواند متفاوت باشد (ماهپارا و همکاران، ۲۰۲۲). نتایج مشابهی توسط شارما[1]و همکاران (۲۰۲۲) در مورد ژنوتیپ‌های مختلف گندم، گزارش شد. تفاوت بین ژنوتیپ‌ها به دلیل اختلاف ساختارهای ژنتیکی در توانایی جذب رطوبت لازم برای جوانه‌زنی بذر است و از این نظر بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم، تنوع وجود دارد (پرامانیک[2]و همکاران، ۲۰۲۲). با زیاد شدن سطح تنش خشکی، فعالیت آنزیم‌های کنترل کننده جوانه‌زنی و ذخیره غذا برای رشد گیاهک، مختل می‌شود (لطفی[3]و همکاران، ۲۰۲۲). نیاز به جوانه‌زنی ناشی از افزایش تعداد سلول‌های ریشه‌چه و جذب آب روی می‌دهد. در شرایط کمبود آب و کاهش آماس سلولی درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. تاثیر تنش آبی بر کاهش جوانه‌زنی در گندم (شارما و همکاران، ۲۰۲۲؛ بلگیلی[4]و همکاران، ۲۰۱۹) مشاهده شده است. با توجه به اینکه جوانه‌زنی مطلوب بویژه در شرایط تنش، در تعیین تراکم بوته نقش مهمی دارد، در مجموع، لاین شماره ۴ و ۳، به ترتیب، بهترین وضعیت از نظر این صفت را در سطوح ۴- و ۶- بار نشان دادند. با توجه به اهمیت درصد جوانه‌زنی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی (ممون[5]و همکاران، ۲۰۲۳)، این لاین‌ها، برای این صفت موقعیت بهتری داشتند.

سرعت جوانه‌زنی: در مقایسه سطوح تنش با یکدیگر، با افزایش پتانسیل اسمزی، سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت (جدول ۳). کاهش سرعت جوانه‌زنی برای تمام لاین‌ها با افزایش سطح تنش، مشاهده شد. واکنش لاین‌ها بسته به سطح تنش متفاوت بود (جدول ۳). در سطح شاهد، لاین‌های ۱، ۳ و ۲ بهترین نمود صفت را داشتند (جدول ۳). در تنش ۲- بار، لاین شماره ۲ با اینکه در شرایط عادی، وضعیت خوبی از نظر این صفت داشت اما بشدت تحت شرایط تنش قرار گرفت و ۶۲ درصد کاهش سرعت جوانه‌زنی داشت. (جدول ۳). هر چند لاین شماره ۴ در شرایط عادی، بالاترین سرعت جوانه‌زنی در روز را در مقایسه با سایر لاین‌ها نداشت اما در تنش‌های ۴- و ۶- بار، بهترین نمود را از خود نشان داد. لاین شماره ۳ نیز در تنش‌های ۴- و ۶- بار، وضعیت خوبی در مقایسه با بقیه از نظر این صفت داشت (جدول ۳).

با این حال این روند کاهشی در مقایسه سطوح مختلف با یکدیگر، یکسان نبود. به عبارت دیگر در پتانسیل‌های اسمزی بالاتر، میزان بذر جوانه زده شده در روز، با سرعت بیشتری روند کاهشی داشت افزایش پتانسیل اسمزی موجب کاهش توانایی دست‌یابی بذر به آب می‌شود. با کاهش جذب آب، روند فعالیت‌های متابولیکی، کم شده و در نتیجه مدت زمان خروج ریشه چه از بذر افزایش می‌یابد. از این رو سرعت جوانه‌زنی کاهش پیدا می‌کند (اویسی[6]و همکاران، ۲۰۲۴؛ بولی و بلک، ۲۰۱۲).

سرعت رشد ریشه‌چه: اثر نامطلوب افزایش تنش خشکی روی این صفت مشاهده شد (جدول ۳). در سطح شاهد، لاین‌های ۵، ۳، ۲ و ۱ بهترین وضعیت را داشتند

[1] Sharma
[2] Pramanik
[3] Loutfy
[4] Bilgili
[5] Memon
[6] Oveisi

جدول ۳- مقایسه میانگین لاین‌ها در سطوح مختلف تنش خشکی (بار) برای صفات مورد مطالعه بر اساس برش‌دهی فیزیکی برهمکنش‌ها برای درصد و سرعت جوانه‌زنی و سرعت رشد ریشه‌چه

Table 3. Mean comparison of the lines at different levels of drought stress (bar) for the studied traits based on physical slicing of interactions for germination percentage, germination rate and radicle growth rate

لاین Line	درصد جوانه‌زنی Germination percentage					سرعت جوانه زنی (تعداد بذر در روز) Germination rate (Number of seed / day)					سرعت رشد ریشه‌چه (سانتی‌متر در روز) Radicle growth rate (cm / day)				
	0	-2	-4	-6	-8	0	-2	-4	-6	-8	0	-2	-4	-6	-8
1	96.00^{ab}	91.33^{ab}	43.33^{b}	13.66^{c}	11^{a}	9.43^{a}	4.58^{ab}	1.82^{c}	0.57^{b}	0.04^{a}	1.15^{d}	0.82^{f}	0.65^{c}	0.42^{b}	0.33^{b}
2	95.00^{ab}	67.66^{d}	12.33^{d}	0^{f}	0^{b}	8.73^{ab}	3.32^{c}	0.21^{f}	0.00^{c}	0.00^{a}	1.26^{ab}	0.84^{ef}	0.63^{c}	0.00^{d}	0.00^{d}
3	96.00^{ab}	85.66^{bc}	83.33^{a}	20.66^{b}	0.33^{b}	9.33^{a}	4.83^{ab}	3.47^{b}	0.63^{b}	0.03^{a}	1.27^{ab}	1.24^{b}	0.79^{b}	0.67^{a}	0.39^{a}
4	94.66^{ab}	88.33^{b}	78.00^{a}	41.66^{a}	0^{b}	7.22^{cd}	4.93^{ab}	4.10^{a}	1.50^{a}	0.00^{a}	1.25^{a}	1.24^{b}	0.96^{a}	0.42^{b}	0.00^{d}
5	96.00^{ab}	62.33^{d}	3.67^{e}	0.00^{f}	0^{b}	8.47^{b}	4.61^{ab}	0.01^{f}	0.00^{c}	0.00^{a}	1.34^{a}	1.30^{a}	0.31^{e}	0.00^{d}	0.00^{d}
6	99.33^{a}	97.00^{a}	27.66^{c}	0^{f}	0^{b}	8.27^{b}	5.40^{a}	0.87^{d}	0.00^{c}	0.00^{a}	1.29^{ab}	0.95^{cd}	0.64^{c}	0. 00^{d}	0.00^{d}
7	93.33^{ab}	91.33^{ab}	30.00^{c}	6.00^{d}	0^{b}	7.31^{cd}	5.17^{ab}	0.26^{ef}	0.17^{c}	0.00^{a}	1.16^{cd}	1.04^{c}	0.73^{bc}	0.05^{d}	0.00^{d}
8	90.66^{b}	80.00^{d}	0.027^{e}	0.027^{f}	0^{b}	8.06^{bc}	4.53^{ab}	0.00^{f}	0.00^{c}	0.00^{a}	1.25^{b}	0.99^{cd}	0.52^{d}	0.31^{c}	0.00^{d}
9	93.33^{ab}	61.33^{d}	11.66^{d}	0^{f}	0^{b}	8.46^{b}	2.61^{c}	0.51^{de}	0.00^{c}	0.00^{a}	1.24^{b}	0.91^{de}	0.35^{e}	0.00^{d}	0.00^{d}
10	96.00^{ab}	24.66^{e}	0.00^{e}	0^{f}	0^{b}	8.15^{b}	0.42^{d}	0.00^{f}	0.00^{c}	0.00^{a}	1.23^{bc}	0.36^{g}	0.17^{f}	0.00^{d}	0.00^{d}
11	92.00^{b}	85.33^{bc}	25.67^{c}	3.66^{e}	0.33^{b}	6.52^{d}	4.34^{b}	0.94^{d}	0.11^{c}	0.00^{a}	1.25^{b}	0.92^{de}	0.52^{d}	0.32^{c}	0.12^{c}
میانگین Mean	94.75^{A}	75.90^{B}	28.69^{C}	7.78^{D}	1.06^{E}	8.18^{A}	4.07^{B}	1.11^{C}	0.27^{D}	0.00^{E}	1.25^{A}	0.96^{B}	0.57^{C}	0.34^{D}	0.14^{E}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

In each column, means with common letters are not significantly different at the 5% level based on duncan's multiple range

(جدول ۳). با قرار گرفتن لاین‌ها در تنش ۲- بار، سرعت رشد ریشه‌چه لاین‌ها در مقایسه با شاهد کاسته شد (جدول ۳). در این سطح از تنش، لاین شماره ۵ وضعیت بهتری نسبت به بقیه داشت. در تنش ۴- بار، لاین شماره ۴ و در سطح ۶- و ۸- بار، لاین شماره ۳ نسبت به بقیه سرعت رشد بیشتری را نشان داد (جدول ۳).

لاین‌های شماره ۳ و ۴ به طور متوسط در تمامی سطوح تنش، نسبت به بقیه، عملکرد بهتری داشتند. در مطالعات تنش، رشد سریع ریشه به عنوان شاخص تحمل به خشکی اهمیت دارد (گوپتا و پالما[1]، ۲۰۲۱).

سرعت رشد ساقه‌چه: این صفت نیز تحت تاثیر افزایش تنش خشکی، کاهش داشت (جدول ۴). با معنی دار شدن برهمکنش لاین و خشکی، تجزیه برشی فیزیکی برای این صفت هم انجام شد. در سطح شاهد و نیز سطح تنش ۲- بار، لاین‌های شماره ۵ و ۳ بهترین وضعیت را داشتند (جدول ۴). با قرار گرفتن لاین‌ها در تنش ۲- بار، بیشترین کاهش در لاین ۱۰ و ۱ اتفاق افتاد (جدول ۴). در سطح تنش ۴- بار، لاین شماره ۳ و در ۶- بار لاین ۴ سرعت رشد ساقه‌چه بیشتری داشتند (جدول ۴). در آخرین سطح تنش (۸- بار)، لاین شماره ۱ نسبت به بقیه برتری داشت. هر چند در این سطح از تنش، در مقایسه با شاهد، میانگین تمام لاین‌ها، عملاً امکان رشد نداشتند (جدول ۴). با اینکه مقدار این صفت برای لاین شماره ۳ نیز مانند بقیه با افزایش تنش خشکی کاهش داشت اما روند کاهش صفت تا پتانسیل ۴- بار نسبت به بقیه کمترین مقدار را داشت (جدول ۴).

لاین‌های شماره ۳ و ۴ با متوسط سرعت رشد ۰/۷۳ و ۰/۶۸ سانتی‌متر در روز در سطوح مختلف خشکی، بیشترین میزان رشد ساقه را داشتند. با کاهش پتانسیل آب، جذب آن توسط بذر دچار اختلال شده و مدت خروج اندام‌های هوایی، طولانی‌تر می‌شود. ژنوتیپ‌هایی که سرعت رشد بیشتری دارند، فرصت بیشتری برای تکمیل دوره رشد خواهند داشت.

بنیه بذر: این شاخص نشان دهنده قدرت و توانایی گیاهچه برای رشد سریع و واکنش به شرایط محیطی است. دو روش برای محاسبه این شاخص وجود دارد (جدول ۲). بر اساس شاخص بنیه اول، اثر نامطلوب تنش بر این صفت نیز مشاهده شد. نتایج حاصل از شاخص بنیه دوم نیز اثر نامطلوب تنش بر میانگین لاین‌ها را نشان داد (جدول ۴).

روش بنیه اول، با هدف ارزیابی رشد گیاهچه‌ها برآورد شد. بر این اساس لاین‌های شماره ۳ و ۴ در شرایط تنش خشکی، رشد بهتری داشتند. روش دوم، بر اساس مواد ذخیره شده در گیاهان است. بر این اساس لاین شماره ۳ و ۴ در شرایط تنش موفق به تجمع ماده خشک بیشتری شدند (جدول ۴).

فعالیت‌های متابولیکی و فتوسنتز بر وزن ماده خشک تولید گیاهچه تاثیر دارد (استریت و کوکران[2]، ۲۰۱۴)، بنابراین ممکن است لاینی که طول گیاهچه بیشتری دارد، لزوماً وزن ماده خشک بیشتری نداشته باشد.

طول ریشه‌چه: با افزایش پتانسیل اسمزی، میانگین طول ریشه‌چه تمامی لاین‌های مورد مطالعه کاهش یافت (جدول ۵). روند کاهش طول ریشه‌چه در سطوح مختلف تنش خشکی، یکسان نبود. با قرار گرفتن لاین‌ها در تنش ۲- بار، به طور متوسط ۲۲ درصد از طول ریشه‌چه لاین‌ها در مقایسه با شاهد کاسته شد. هر چند در مورد میزان کاهش طول ریشه‌چه در مقایسه با شرایط شاهد، بین لاین‌ها تنوع وجود داشت. لاین‌های ۴ و ۳ به ترتیب با ۲/۳ و ۰/۳ درصد کاهش، کمترین اختلاف را با شاهد نشان دادند (جدول ۵). در حالی که لاین شماره ۱ بیشترین حساسیت را نسبت به قرار گرفتن در شرایط تنش کم (۲- بار) نشان داد. لاین‌های شماره ۳ و ۴ بهترین وضعیت را در بین لاین‌ها دارا بودند (جدول ۵).

در سطح شاهد، بجز لاین‌های شماره ۱ و ۷ که کمترین طول ریشه‌چه را داشتند، وضعیت بقیه لاین‌ها بهتر بود (جدول ۵). در سطح تنش ۲- بار، لاین شماره ۵ بیشترین مقدار صفت را نشان داد. در این سطح تنش، لاین‌های شماره ۴ و ۳ در رده بعدی از نظر طول ریشه‌چه قرار گرفتند (جدول ۵). در سطوح ۴- و ۶- بار به ترتیب لاین‌های شماره ۴ و ۳ بالاترین مقدار صفت را نشان دادند. لاین شماره ۳ در شدیدترین سطح تنش این آزمایش (۸- بار)، بیشترین طول ریشه‌چه را داشت (جدول ۵).

[1] Gupta and Palma

[2] Street and Cockburn

طویل بودن ریشه‌چه، می‌تواند در سازگاری ژنوتیپ به شرایط دیم مؤثر باشد (اتمانی[1]و همکاران، ۲۰۲۱). با توجه به اهمیت صفات طول ریشه‌چه، درصد و سرعت جوانه‌زنی در شرایط دیم، لاین‌های شماره ۳ و ۴ با دارا بودن ریشه‌چه طویل‌تر و داشتن درصد و سرعت جوانه‌زنی خوب، می‌توانند لاین مناسبی برای کشت دیم باشند. این نتایج با گزارش مجتبی[2]و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت داشت. واکنش سامانه ریشه به تغییرات محیطی از طریق صفت طول ریشه، انجام می‌شود. تحت تنش خشکی، رشد ریشه محدود خواهد شد علت این امر می‌تواند کم آبی پروتوپلاسم در شرایط پتانسیل اسمزی و اثر آن روی کاهش تقسیم سلولی باشد (بلوچی[3]و همکاران، ۲۰۲۳؛ لیپیک[4]و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج این آزمایش در مورد کاهش طول ریشه‌چه با افزایش پتانسیل اسمزی با گزارش ابیدو و زسومبیک[5] (۲۰۱۸) مطابقت داشت. در مواردی مشاهده شده که وقوع پتانسیل‌های کمتر از ۲- بار (۰/۴۷- و یا ۱/۴۸- بار) در برخی ژنوتیپ‌ها موجب افزایش طول ریشه‌چه برای سازگاری با محیط شده است (مجتبی و همکاران، ۲۰۱۶). این امر با نتایج حاصل در این آزمایش مطابقت نداشت. دلیل آن منفی‌تر بودن پتانسیل اسمزی و خصوصیات متفاوت ژنوتیپ‌های موجود در این آزمایش بود. کاهش طول ریشه در شرایط تنش، بدلیل کاهش تقسیم سلولی است (اتمانی و همکاران، ۲۰۲۱).

طول ساقه‌چه: بین سطوح پتانسیل اسمزی، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد (جدول ۵). اما درصد کاهش این صفت در مقایسه دو به دوی سطوح تنش، یکسان نبود. بیشترین درصد کاهش صفت در مقایسه پتانسیل‌های ۶- و ۸- بار با یکدیگر بود (۸۰ درصد) و کمترین مقدار در مقایسه شاهد با پتانسیل ۲- بار به میزان ۳۰ درصد مشاهده شد (جدول ۵). درسطح شاهد، بجز لاین‌های شماره ۲ و ۱ بقیه وضعیت خوبی داشتند (جدول ۵). با اینکه طول ساقه‌چه لاین شماره ۱ در تیمار خشکی شاهد کمتر از بقیه لاین‌ها بود، اما با ورود به شرایط تنش، کمتر از بقیه تحت تاثیر قرار گرفت. به گونه‌ای که با ورود به تنش‌های ۶- و ۸- بار، بیشترین مقدار صفت را نشان داد (جدول ۵). در سطح تنش ۲- بار، لاین‌های شماره ۵، ۳ و ۴ بهترین نمود صفت را نشان دادند. لاین‌های ۳ و ۴ بیشترین طول ساقه‌چه را در پتانسیل ۴- بار نشان دادند. در سطح تنش ۶- بار، لاین شماره ۱، بیشترین مقدار را نشان دادند (جدول ۵). در سطح ۸- بار، لاین‌های ۱ و ۱۱ بهترین نمود صفت را داشتند. در این سطح از تنش، بقیه لاین‌ها قادر به رشد نبودند.

مقایسه سطوح تنش برای طول ساقه‌چه و ریشه‌چه نشان داد که همواره ریشه‌چه کمتر از ساقه‌چه تحت تاثیر تنش قرار گرفت. این نتایج با سایر تحقیقات انجام شده روی گندم مطابقت داشت (ابیدو و زسومبیک، ۲۰۱۸؛ سوربهایا[6]و همکاران، ۲۰۱۸).

مقایسه دو صفت در جدول ۵ نشان داد که همواره متوسط طول ساقه‌چه لاین‌ها از متوسط طول ریشه‌چه کمتر بود. کمتر حساس بودن ریشه در مقایسه با اندام هوایی در شرایط تنش، از سازوکارهای مهم مقابله با تنش خشکی است که در غلّات دیگر هم مشاهده شده است (گامپالا[7]و همکاران، ۲۰۱۵). ژنوتیپ‌هایی که رشد ریشه بهتری دارند، بهتر می‌توانند شرایط تنش را تحمل کنند (عبدی[8]و همکاران، ۲۰۱۴).

[1] Othmani
[2] Mujtaba
[3] Balouchi
[4] Lipiec
[5] Abido and Zsombik
[6] Surbhaiyya
[7] Gampala
[8] Abdi

جدول ۴- مقایسه میانگین لاین‌ها در سطوح مختلف تنش خشکی برای صفات مورد مطالعه بر اساس برش‌دهی فیزیکی برهمکنش‌ها برای سرعت رشد ساقه‌چه و شاخص‌های بنیه

Table 4. Mean comparison of the lines at different levels of drought stress for the studied traits based on physical slicing of interactions for plumule growth rate, and vigor indecies

لاین Line	سرعت رشد ساقه‌چه (سانتی‌متر در روز) Plumule growth rate (cm / day)					شاخص بنیه اول (سانتی‌متر درصد) Vigor index I (cm percentage)					شاخص بنیه دوم (گرم درصد) Vigor index II (gr percentage)				
	0	-2	-4	-6	-8	0	-2	-4	-6	-8	0	-2	-4	-6	-8
1	1.11^{de}	0.55^{f}	0.47^{c}	0.36^{a}	0.12^{a}	21.69^{de}	12.57^{e}	4.88^{c}	1.07^{c}	0.55^{a}	11.58^{cd}	5.93^{cd}	1.97^{c}	0.36^{b}	0.00^{a}
2	1.09^{e}	0.76^{e}	0.16^{ef}	0.00^{d}	0.00^{b}	22.42^{cde}	10.87^{f}	0.97^{ef}	0.00^{d}	0.00^{b}	11.56^{cd}	2.88^{f}	1.13^{d}	0.00^{c}	0.00^{a}
3	1.27^{ab}	1.24^{a}	0.98^{a}	0.15^{c}	0.03^{b}	24.41^{abc}	21.33^{a}	14.82^{a}	1.69^{b}	0.01^{b}	12.44^{c}	10.67^{a}	6.71^{a}	0.64^{a}	0.00^{a}
4	1.18^{cd}	1.12^{b}	0.78^{b}	0.35^{a}	0.00^{b}	23.08^{bcde}	20.90^{a}	13.58^{b}	3.25^{a}	0.00^{b}	10.67^{d}	6.41^{c}	2.83^{b}	0.69^{a}	0.00^{a}
5	1.32^{a}	1.27^{a}	0.22^{e}	0.00^{d}	0.00^{b}	25.62^{a}	16.58^{c}	0.19^{f}	0.00^{d}	0.00^{b}	13.63^{b}	9.12^{b}	0.08^{fg}	0.00^{c}	0.00^{a}
6	1.21^{bc}	0.55^{f}	0.35^{d}	0.00^{d}	0.00^{b}	24.89^{ab}	14.61^{d}	2.77^{d}	0.00^{d}	0.00^{b}	17.01^{a}	6.57^{c}	0.66^{e}	0.00^{c}	0.00^{a}
7	1.12^{de}	0.94^{c}	0.42^{c}	0.00^{d}	0.00^{b}	21.31^{e}	18.13^{b}	3.44^{d}	0.02^{d}	0.00^{b}	11.90^{cd}	5.14^{e}	0.43^{ef}	0.00^{c}	0.00^{a}
8	1.21^{bc}	0.86^{d}	0.30^{d}	0.27^{b}	0.00^{b}	22.39^{cde}	14.83^{d}	0.00^{f}	0.00^{d}	0.00^{b}	10.75^{d}	6.02^{cd}	0.00^{g}	0.00^{c}	0.00^{a}
9	1.21^{bc}	0.72^{e}	0.11^{f}	0.00^{d}	0.00^{b}	22.96^{bcde}	10.04^{f}	0.54^{f}	0.00^{d}	0.00^{b}	11.29^{cd}	5.32^{de}	0.08^{fg}	0.00^{c}	0.00^{a}
10	1.21^{bc}	0.27^{g}	0.00^{g}	0.00^{d}	0.00^{b}	23.42^{bcd}	1.56^{g}	0.00^{f}	0.00^{d}	0.00^{b}	11.00^{d}	0.39^{g}	0.00^{g}	0.00^{c}	0.00^{a}
11	1.14^{cde}	0.86^{d}	0.22^{e}	0.12^{c}	0.11^{a}	22.28^{de}	15.23^{cd}	1.66^{e}	0.19^{d}	0.009^{b}	11.28^{cd}	6.22^{c}	0.15^{fg}	0.02^{c}	0.00^{a}
میانگین Mean	1.19^{A}	0.83^{B}	0.36^{C}	0.11^{D}	0.01^{E}	23.13^{A}	14.24^{B}	3.9^{C}	0.56^{D}	0.056^{E}	12.10^{A}	5.88^{B}	1.27^{C}	0.15^{D}	0.00^{D}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

In each column, means with common letters are not significantly different at the 5% level based on duncan's multiple range

جدول ۵- مقایسه میانگین لاین‌ها در سطوح مختلف تنش خشکی برای صفات مورد مطالعه بر اساس برش‌دهی فیزیکی برهمکنش‌ها برای طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاه‌چه

Table 5. Mean comparison of the lines at different levels of drought stress for the studied traits based on physical slicing of interactions for radicle, plumule, and seedling length

لاین Line	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling length (cm)					طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)					طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Plumule length (cm)				
						0	-2	-4	-6	-8	0	-2	-4	-6	-8
1	22.60^{e}	13.76^{h}	11.2^{bc}	7.83^{a}	3.75^{a}	11.50^{d}	8.26^{f}	6.50^{c}	4.20^{b}	3.30^{b}	11.10^{de}	5.50^{f}	4.76^{c}	3.63^{a}	1.27^{a}
2	23.60^{de}	16.06^{f}	8.00^{d}	0.00^{d}	0.00^{c}	12.63^{ab}	8.46^{ef}	6.33^{c}	0.00^{d}	0.00^{d}	10.96^{e}	7.60^{e}	1.66^{fg}	0.00^{d}	0.00^{c}
3	25.43^{b}	24.90^{b}	17.83^{a}	8.20^{a}	0.00^{c}	12.73^{ab}	12.43^{b}	7.96^{b}	6.70^{a}	3.93^{a}	12.70^{ab}	12.46^{a}	9.86^{a}	1.50^{c}	0.33^{b}
4	24.36^{bcd}	23.66^{c}	17.40^{a}	7.80^{a}	0.00^{c}	12.50^{b}	12.46^{b}	9.60^{a}	4.23^{b}	0.00^{d}	11.86^{cd}	11.20^{b}	7.80^{b}	3.56^{a}	0.000^{c}
5	26.66^{a}	26.16^{a}	5.33^{ef}	0.00^{d}	0.00^{c}	13.43^{a}	12.46^{a}	3.10^{e}	0.00^{d}	0.00^{d}	13.23^{a}	12.70^{a}	2.23^{f}	0.000^{d}	0.00^{c}
6	25.06^{bc}	15.06^{g}	10.00^{c}	0.00^{d}	0.00^{c}	12.96^{ab}	9.56^{cd}	6.43^{c}	0.00^{d}	0.00^{d}	12.10^{bc}	5.50^{f}	3.56^{e}	0.00^{d}	0.00^{c}
7	22.86^{e}	19.86^{d}	11.50^{b}	0.50^{c}	0.00^{c}	11.63^{cd}	10.40^{c}	7.30^{bc}	0.50^{c}	0.00^{d}	11.23^{de}	9.46^{c}	4.20^{d}	0.006^{d}	0.00^{c}
8	24.70^{bcd}	18.56^{e}	7.90^{d}	6.10^{b}	0.00^{c}	12.56^{b}	9.900^{cd}	5.20^{d}	3.10^{b}	0.00^{d}	12.13^{bc}	8.66^{d}	3.23^{e}	2.46^{b}	0.00^{c}
9	24.60^{bcd}	16.40^{f}	4.66^{f}	0.00^{d}	0.00^{c}	12.46^{b}	9.16^{de}	3.50^{e}	0.00^{d}	0.00^{d}	12.13^{bc}	7.23^{e}	1.16^{g}	0.00^{d}	0.00^{c}
10	24.40^{bcd}	6.36^{i}	1.83^{g}	0.00^{d}	0.00^{c}	12.30^{bc}	3.66^{g}	1.76^{f}	0.00^{d}	0.00^{d}	12.10^{bc}	2.70^{g}	0.06^{h}	0.00^{d}	0.00^{c}
11	24.22^{cd}	17.83^{e}	6.46^{e}	5.48^{b}	2.30^{b}	12.76^{ab}	9.20^{de}	5.23^{d}	3.28^{b}	1.20^{c}	11.46^{cde}	8.63^{d}	2.20^{f}	1.23^{c}	1.10^{a}
میانگین Mean	24.41^{A}	18.06^{B}	9.29^{C}	3.26^{D}	0.55^{E}	12.50^{A}	9.72^{B}	5.72^{C}	2.00^{D}	0.76^{E}	11.91^{A}	8.33^{B}	3.70^{C}	1.12^{D}	0.24^{E}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

In each column, means with common letters are not significantly different at the 5% level based on duncan's multiple range

طول گیاهچه: با افزایش سطح تنش، متوسط طول گیاهچه کاهش یافت (جدول ۵). تجزیه برشی برای هر سطح تنش نشان داد که برهمکنش از نوع ترتیبی بود، به گونه‌ای که در سطح شاهد، لاین شماره ۵، در پتانسیل ۲- بار، لاین‌های شماره ۵، ۳ و ۴ طول گیاهچه بهتری از بقیه داشتند. با افزایش پتانسیل اسمزی به ۴- بار، طول گیاهچه لاین شماره ۵ به میزان ۸۰ درصد در مقایسه با پتانسیل ۲- بار کاهش یافت اما لاین‌های ۳ و ۴ بیشترین طول گیاهچه را داشتند (جدول ۵). وضعیت مشابهی در پتانسیل ۶- بار، نیز وجود داشت و لاین‌های شماره ۳ و۴ در مقایسه با بقیه، طول گیاهچه بیشتری داشتند .در پتانسیل ۸- بار، لاین ۱ وضعیت بهتری داشت (جدول ۵). بدیهی است در شرایط تنش با کاهش جذب آب و اختلال فعالیت‌های آنزیمی و کاهش تولید اکسین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافته و در نتیجه، طول گیاهچه حاصل نیز کم می شود. در شرایط تنش از جمله خشکی، میزان آبسیزیک اسید افزایش یافته و مانع رشد سلول‌های گیاه می‌شوند (گوپتا و پالما، ۲۰۲۱).

وزن خشک ساقه‌چه: افزایش سطح تنش خشکی، اثر بازدارندگی بر این صفت داشت و از نظر نمود آن در بین لاین‌ها تنوع مشاهده شد (جدول ۶). در سطح شاهد، لاین شماره ۶ نسبت به بقیه برتری داشت. اما با قرار گرفتن لاین‌ها در تنش خشکی ۲- و ۴- بار، لاین شماره ۳ عملکرد بهتری را نشان داد (جدول ۶). لاین شماره ۱ و ۳ در سطح تنش ۶- بار نسبت به بقیه برتری داشت اما در سطح تنش ۸- بار مقدار صفت برای همه لاین‌ها، صفر گزارش شد.

واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در برابر سطوح مختلف تنش در آزمایش‌های جوانه‌زنی سورگوم (سوسیلو[1] و همکاران، ۲۰۲۳) و گندم (غدیر، ۲۰۱۸) گزارش شده است. این امر اهمیت مطالعه تنوع ژنتیکی برای یافتن ژنوتیپ‌های مناسب برای محیط‌های تنش را نشان می دهد. افزایش تنش خشکی، موجب کاهش فتوسنتز و افزایش سرعت تنفس سلولی می‌شود. این امر می‌تواند موجب کاهش جذب مواد شود (قوش[2] و همکاران، ۲۰۲۰).

وزن خشک می‌تواند معیاری از میزان مواد ذخیره شده باشد. وقوع تنش در مراحل اولیه و میانی رشد گندم، موجب کاهش ذخیره مواد غذایی در گیاه و کاهش تعداد پنجه بارور خواهد شد (گال[3] و همکاران، ۲۰۱۵). با افزایش تنش خشکی، میزان اکسیژن فعال در سلول‌های گیاهی افزایش یافته و موجب تخریب پروتئین و فرایندهای متابولیکی گیاه می‌شود. در این شرایط فتوسنتز کاهش یافته، و گونه‌های فعال اکسیژن از جمله پراکسید هیدروژن موجب تخریب اجزا و غشای سلولی می‌شوند. در ژنوتیپ‌های متحمل غلّاتی مانند تریتیکاله، افزایش بیان ژن سوپراکسیددیسموتاز می‌تواند دلیل افزایش تحمل برخی ژنوتیپ‌ها در برابر محیط تنش‌زا باشد (ساعد-موچشی و صفری[4]، ۲۰۲۳).

وزن خشک ریشه‌چه: تنش خشکی اثر نامطلوب بر روی صفت مورد مطالعه داشت (جدول ۶). در سطح شاهد، لاین شماره ۶، در سطح تنش ۲- بار، لاین‌های ۳ و ۵، در سطح تنش ۴- بار، لاین شماره ۳، در سطح تنش ۶- بار، لاین شماره ۸ بیشترین وزن خشک ریشه‌چه را نشان دادند (جدول ۶). مقدار این صفت برای همه لاین‌ها در سطح تنش ۸- بار، برابر صفر گزارش شد (جدول ۶).

وزن خشک ریشه‌چه می‌تواند بیانگر ساختار پایدار ریشه در مواجه با شرایط تنش باشد. به عبارت دیگر، ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، ریشه‌های قوی‌تری داشته و با جذب ماده غذایی بیشتر، وزن خشک بیشتری تولید خواهند کرد (ابرو و همکاران، ۲۰۲۱). ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، فعالیت پاداکسیدانی بالاتری دارند و ژنوتیپ‌های گندم از نظر میزان رشد ریشه در شرایط تنش دارای تنوع بسیاری هستند (رضا[5] و همکاران، ۲۰۱۲).

ضریب آلومتریک (نسبت وزن خشک ریشه‌چه به وزن خشک ساقه‌چه): تنش خشکی بر این صفت نیز اثر نامطلوبی داشت. لاین ۷ در سطح تنش شاهد و ۲- بار بیشترین مقدار ضریب را داشت (جدول ۶). در سطح ۴- بار لاین شماره ۳، در سطح ۶- بار لاین شماره ۴ بهترین نمود صفت را داشت (جدول ۶). مقدار این ضریب همواره کمتر از یک بود.

[1] Susilo
[2] Ghosh
[3] Le Gall
[4] Saed-Moucheshi& Safari
[5] Raza

جدول ۶- مقایسه میانگین لاین‌ها در سطوح مختلف تنش خشکی برای صفات مورد مطالعه بر اساس برش‌دهی فیزیکی برهمکنش‌ها برای وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه و ضریب آلومتریک

Table 6. Mean comparison of the lines at different levels of drought stress for the studied traits based on physical slicing of interactions for plumule and radicle waigth, and Allometric coefficient

لاین Line	وزن خشک ساقه‌چه (گرم) Plumule dry weight (g)					وزن خشک ریشه‌چه (گرم) Radicle dry weight (g)					ضریب آلومتریک (بدون واحد) Allometric coefficient (unscaled)				
	0	-2	-4	-6	-8	0	-2	-4	-6	-8	0	-2	-4	-6	-8
1	0.072^{cd}	0.048^{d}	0.037^{b}	0.025^{a}	0^{a}	0.048^{e}	0.017^{f}	0.008^{e}	0.001^{d}	0.000^{c}	0.66^{d}	0.35^{f}	0.21^{e}	0.05^{c}	0^{a}
2	0.067^{de}	0.065^{b}	0.025^{c}	0.00^{c}	0^{a}	0.054^{d}	0.026^{c}	0.017^{c}	0.000^{d}	0.000^{c}	0.81^{c}	0.68^{a}	0.40^{c}	0.00^{d}	0^{a}
3	0.076^{c}	0.072^{a}	0.053^{a}	0.021^{a}	0^{a}	0.053^{d}	0.046^{b}	0.027^{a}	0.009^{b}	0.004^{a}	0.70^{d}	0.59^{b}	0.52^{a}	0.44^{b}	0^{a}
4	0.060^{e}	0.048^{d}	0.024^{c}	0.011^{b}	0^{a}	0.052^{de}	0.024^{cd}	0.011^{d}	0.005^{c}	0.001^{b}	0.86^{abc}	0.51^{cd}	0.47^{b}	0.47^{a}	0^{a}
5	0.085^{b}	0.073^{a}	0.00^{e}	0.00^{c}	0^{a}	0.067^{b}	0.061^{a}	0.022^{b}	0.000^{d}	0.000^{c}	0.82^{c}	0.72^{a}	0.00^{f}	0.00^{d}	0^{a}
6	0.093^{a}	0.043^{e}	0.018^{d}	0.00^{c}	0^{a}	0.078^{a}	0.024^{de}	0.005^{e}	0.000^{d}	0.000^{c}	0.83^{c}	0.55^{bc}	0.31^{d}	0.00^{d}	0^{a}
7	0.066^{de}	0.033^{f}	0.00^{e}	0.00^{c}	0^{a}	0.061^{c}	0.023^{de}	0.014^{cd}	0.000^{d}	0.000^{c}	0.92^{ab}	0.69^{a}	0.00^{f}	0.00^{d}	0^{a}
8	0.066^{de}	0.053^{c}	0.00^{e}	0.00^{c}	0^{a}	0.052^{de}	0.021^{e}	0.005^{e}	0.013^{a}	0.000^{c}	0.78^{c}	0.40^{ef}	0.00^{f}	0.00^{d}	0^{a}
9	0.065^{de}	0.064^{b}	0.00^{e}	0.00^{c}	0^{a}	0.055^{d}	0.021^{e}	0.007^{e}	0.000^{d}	0.000^{c}	0.84^{bc}	0.33^{f}	0.00^{f}	0.00^{d}	0^{a}
10	0.059^{e}	0.012^{g}	0.00^{e}	0.00^{c}	0^{a}	0.055^{d}	0.004^{g}	0.00^{f}	0.000^{d}	0.000^{c}	0.93^{a}	0.33^{f}	0.00^{f}	0.00^{d}	0^{a}
11	0.067^{de}	0.049^{d}	0.00^{e}	0.00^{dc}	0^{a}	0.055^{d}	0.023^{de}	0.008^{e}	0.005^{c}	0.000^{c}	0.83^{c}	0.46^{de}	0.00^{f}	0.00^{d}	0^{a}
میانگین Mean	0.070^{A}	0.050^{B}	0.014^{C}	0.005^{D}	0.00^{E}	0.057^{A}	0.026^{B}	0.011^{C}	0.004^{D}	0.000^{E}	0.82^{A}	0.51^{B}	0.17^{C}	0.08^{D}	0.00^{E}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

In each column, means with common letters are not significantly different at the 5% level based on duncan's multiple range

این اصطلاح در زیست‌شناسی برای بررسی و توصیف روابط بین صفات زیستی و فهم روابط ساختاری بکار برده می‌شود. به همین دلیل در مقالات مختلف مربوط به جوانه‌زنی، برای محاسبه آن از روابط مختلفی استفاده شده است. در اینجا از نسبت وزن خشک ریشه‌چه به وزن خشک ساقه چه استفاده شده است (جدول ۲). بالاتر بودن وزن خشک ساقه‌چه در مقایسه با وزن خشک ریشه‌چه، همانند گزارش فعلی، در ژنوتیپ‌های گندم گزارش شده است (احمد و همکاران، ۲۰۲۲؛ مجتبی و همکاران، ۲۰۱۶؛ پارامانیک و همکاران، ۲۰۲۲، ممون و همکاران، ۲۰۲۳، احمد و همکاران، ۲۰۲۰). هر چند تنش خشکی بر رشد هر دو اندام تاثیر نامطلوب دارد. واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از نظر وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه وابسته به خصوصیات ژنتیکی بذرهاست.

نتیجه‌گیری: در این آزمایش ۱۱ لاین پیشرفته گندم نان دیم از نظر ویژگی‌های جوانه‌زنی تحت تنش خشکی شبیه‌سازی شده با پلی‌اتیلن گیلکول ۶۰۰۰ قرار گرفتند. با افزایش سطح تنش خشکی، درصد و سرعت جوانه‌زنی، سرعت رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه و طول گیاهچه به طور قابل‌توجهی کاهش یافت، در حالی که طول ریشه‌چه افزایش یافت. از نظر تمام صفات بررسی شده، برهمکنش بین لاین و تنش خشکی وجود داشت. واکنش لاین‌ها از نظر صفات مختلف، در برابر سطوح مختلف پتانسیل اسمزی، متفاوت بود. بر اساس صفات بررسی شده، لاین‌های ۳ و ۴ از نظر تحمل به تنش خشکی وضعیت بهتری داشتند. این لاین‌ها دارای بالاترین درصد و سرعت جوانه‌زنی، سرعت رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه، و طول ریشه‌چه و گیاهچه بودند. از این لاین ها می‌توان در برنامه‌های بعدی به‌نژادی به عنوان منابع متحمل به خشکی استفاده کرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از کارشناسان محترم آزمایشگاه فیزیولوژی و اصلاح نباتات دانشکده مهندسی کشاورزی دانشگاه خلیج فارس که امکان اجرای آزمایش را فراهم کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Abdi, H., Bihamta, A., Ebrahim, F. and Chogan, R. 2014. Investigation of drought stress levels caused by polyethylene glycol (PEG 6000) on seed rejuvenation components and its relationship with drought tolerance indices in promising cultivars and lines. Bread wheat (*Triticum aestivum* L). Iran Agricultural Research, 12(4): 582-596.

Abdul-Baki, A. and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. Crop Science, 13(6): 630-633. https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x

Abido, W.A.E. and Zsombik, L. 2018. Effect of water stress on germination of some Hungarian wheat landraces varieties. Acta Ecologica Sinica, 38(6): 422-428. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.03.004

Abro, A.A., Eisawi, K.A., Batyrbek, M., Sial, N.Y., Akhtar, M. and Memon, S.A. 2021. Identification of drought-tolerant wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars based on the associations of in-vitro and in-vivo predictors through polyethylene glycol (PEG 6000) mediated osmotic stress. Pakistan Journal of Biotechnology, 18(3-4): 69-80. https://doi.org/10.34016/pjbt.2022.19.1-2.69

Ahmad, A., Aslam, Z., Javed, T., Hussain, S., Raza, A., Shabbir, R., Mora-Poblete, F., Saeed, T., Zulfiqar, F., Ali, M.M. and Nawaz, M. et al. 2022. Screening of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought tolerance through agronomic and physiological response. Agronomy, 12(2): 287. https://doi.org/10.3390/agronomy12020287

Ahmed, H., Zeng, Y., Yang, X., Anwaar, H.A., Mansha, M.Z., Hanif, C., Ikram, K., Ullah, A. and Alghanem, S. 2020. Conferring drought-tolerant wheat genotypes through morpho-

physiological and chlorophyll indices at seedling stage. Saudi Journal of Biological Sciences, 27: 2116-2123. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.06.019

Balouchi, H., Soltani Khankahdani, V., Moradi, A., Gholamhoseini, M., Piri, R., Heydari, S.Z. and Dedicova, B. 2023. Seed fatty acid changes germination response to temperature and water potentials in six sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars: Estimating the cardinal temperatures. Agriculture, 13(10): 1-17. https://doi.org/10.3390/agriculture13101936

Batool, M., El-Badri, A.M., Wang, Z., Mohamed, I.A., Yang, H., Ai, X., and Zhou, G. 2022. Rapeseed morpho-physio-biochemical responses to drought stress induced by PEG-6000. Agronomy, 12(3): 579. https://doi.org/10.3390/agronomy12030579

Bewley, J.D. and Black, M. 2012. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination: volume 2: viability, dormancy, and environmental control. Springer Science & Business Media.

Bilal, M., Rashid, R., Rehman, S., Iqbal, F., Ahmed, J., Abid, M., Ahmed, Z. and Hayat, A. 2015. Evaluation of wheat genotypes for drought tolerance. Journal of Green Physiology, Genetic Genome, 1: 11-21.

Bilgili, D., Mehmet, A. and Kazım, M. 2019. Effects of peg-induced drought stress on germination and seedling performance of bread wheat genotypes. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 29(4): 765-771. https://doi.org/10.29133/yyutbd.595627

Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Marè, C., Tondelli, A. and Stanca, A.M. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research, 105(1-2): 1-14. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.07.004

Faisal, S., Mujtaba, S.M., Asma and Mahboob, W., 2019. Polyethylene glycol mediated osmotic stress impacts on growth and biochemical aspects of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Crop Science and Biotechnology, 22: 213-223. https://doi.org/10.1007/s12892-018-0166-0

Food and Agriculture Organization (FAO). 2022. FAOSTAT agriculture. Form http://fao.org/crop/statistics

Gall, H., Philippe, F., Domon, J.M., Gillet, F., Pelloux, J. and Rayon, C. 2015. Cell wall metabolism in response to abiotic stress. Plants, 4(1): 112-166. https://doi.org/10.3390/plants4010112

Gampala, S., Singh, V.J., Chakraborti, S., Vishwajith, K. and Manjunath, G. 2015. Genotypic differences against poly ethylene glycol (PEG) simulated drought stress in rice. Green Farming, 6(1): 117-121.

Ganiyu, S.A., Popoola, A.R., Imonmion, J.E., Uzoemeka, I.P., and Ojo, K.O. 2021. Effect of three sterilizing agents on seed viability, seedling vigor and occurrence of seed-borne bacterial pathogens of two tomato cultivar. Nigerian Journal of Plant Protection, 35(1): 32-38.

Garavandi, M., Farshadfar, E., Kahrizi, D. 2010. Evaluation of drought tolerance in advanced bread wheat genotypes in field and laboratory condition. Journal of Seed and Plant Seedling, 2: 233-252. [In Persian]

Gholinezhad, E. 2014. The Effects of Salinity Stress on Related germination traits of wheat genotypes. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 27(2): 276-287. [In Persian]

Ghosh, S., Shahed, M.A., and Robin, A. 2020. Polyethylene glycol induced osmotic stress affects germination and seedling establishment of wheat genotypes. Plant Breeding Biotechnology, 8: 174-185. https://doi.org/10.9787/PBB.2020.8.2.174

Giraldo, P., Benavente, E., Manzano-Agugliaro, F. and Gimenez, E. 2019. Worldwide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis. Agronomy, 9(7): 352. https://doi.org/10.3390/agronomy9070352

Gupta, K. D. and Palma J. 2021. Plant Growth and Stress Physiology. Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78420-1

International Seed Testing Association (ISTA). 2023. International rules for seed testing. Rules. Seed Science and Technology, 13(2): 299-513.

Li, D., Batchelor, W.D., Zhang, D., Miao, H., Li, H., and Song, S. 2020. Analysis of melatonin regulation of germination and antioxidant metabolism in different wheat cultivars under polyethylene glycol stress. PLOS One, 15(8): e0237536. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237536

Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz, A. and Kondracka, K. 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. International Agrophysics, 27(4): 463-477. https://doi.org/10.2478/intag-2013-0017

Loutfy, N., Hassanein, A.M., Inouhe, M., and Salem, J.M. 2022. Biological aspects and proline metabolism genes influenced by polyethylene glycol and salicylic acid in two wheat cultivars. Egyptian Journal of Botany, 62(3): 671-685. https://doi.org/10.21608/ejbo.2022.124280.1921

Maguire, J.D. 1968. Seed dormancy, germination and seedling vigor of some Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) varieties as affected by environmental and endogenous factors. Dissertation. Oregon State Universty.

Mahpara, S., Zainab, A., Ullah, R., Kausar, S., Bilal, M., Latif, M.I., and Zuan, A. 2022. The impact of PEG-induced drought stress on seed germination and seedling growth of different bread wheat (Triticum aestivum L.) genotypes. PLoS One, 17(2): e0262937. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262937

Memon, S., Abro, A., Jakhro, M.I., Farid, A., Habib, M., Ahmed, M., Bhutto, L.A., Memon, S.A. and Farooq, M. 2023. Polyethylene glycol mediated osmotic stress impacts on growth and biochemical aspects of wheat under artificial osmotic stress condition. Journal of Innovative Sciences, 9(1): 44-50. https://doi.org/10.17582/journal.jis/2023/9.1.44.50

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

Mujtaba, S.M., Faisal, S., Khan, M.A., Mumtaz, S. and Khanzada, B., 2016. Physiological studies on six wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought stress tolerance at seedling stage. Agricultural Research & Technology, 1(2): 1-5. https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2016.01.555559

Muscoloa, A., Sidaria, M., Anastasib, U., Santonocetoa, C., and Maggioc, A. 2014. Effect of PEG induced drought stress on seed germination of four lentil genotypes. Journal of Plant Interactions, 9: 354-363. https://doi.org/10.1080/17429145.2013.835880

Noorka, I.R., Batool, A., Rauf, S., Teixeira da Silva, J. and Ashraf, E. 2013. Estimation of heterosis in wheat (*Triticum aestivum* L.) under contrasting water regimes. International Journal of Plant Breeding, 7: 55-60.

Othmani, A., Ayed, S., Chamekh, Z., Slama-Ayed, O., Teixeira Da Silva, J.A., Rezgui, M., Slim-Amara, H. and Younes, M.B. 2021. Screening of seedlings of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars for tolerance to peg-induced drought stress. Pakistan Journal of Botany, 53(3): pp.823-832. https://doi.org/10.30848/PJB2021-3(5)

Oveisi, M., Alizadeh, H., Lorestani, S.A., Esmaili, A., Sadeghnejad, N., Piri, R., Gonzalez-Andujar, J.L. and Müller-Schärer, H. 2024. Triangle area model (TAM) for predicting germination: An approach to enhance hydrothermal time model applications. Current Plant Biology, 39: 1-15. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2024.100356

Piri, R., Moradi, A., Salehi, A. and Balouchi, H. R. 2021. Effect of seed biological pretreatments on germination and seedling growth of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress. Iranian

Journal of Seed Science and Technology, 9(4): 11-26. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/ijsst.2019.109182.1054

Pramanik, S.K., Sikder, S. and Hasan, M.A., 2022. Polyethylene glycol mediated osmotic stress on germination, seedling traits and seed metabolic efficiency of wheat. Bangladesh Agronomy Journal, 25(2): 19-29. https://doi.org/10.3329/baj.v25i2.65926

Qadir, S.A. 2018. Wheat grains germination and seedling growth performance under drought condition. Basrah Journal of Agricultural Sciences, 31(2): 44-52. https://doi.org/10.33762/bagrs.2018.160132

Raza, S., Saleem, M., Khan, I., Jamil, M., Ijaz, M., Khan, M., 2012. Evaluating the drought stress tolerance efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Russian Journal of Agriculture and Economic Sciences, 12 (12): 41-46. https://doi.org/10.18551/rjoas.2012-12.04

Saed-Moucheshi, A., and Safari, H. 2023. Superoxide dismutase enzyme expression in root and shoot of triticale seedlings under drought stress conditions. Cereal Biotechnology and Biochemistry, 1: 581-595.

Sarto, M.V.M., Sarto, J.R.W., Rampim, L., Rosset, J.S., Bassegio, D., da Costa, P.F., and Inagaki, A.M. 2017. Wheat phenology and yield under drought: a review. Australian Journal of Crop Science, 11(8): 941-946. https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.08.pne351

Schwalm, C.R., Anderegg, W.R.L., Michalak, A.M., Fisher, J.B., Biondi, F., Koch, G., Litvak, M., Ogle, K., Shaw, J.D., and Wolf, A. 2017. Global patterns of drought recovery. Nature, 548: 202-205. https://doi.org/10.1038/nature23021

Sharma, K., Dhingra, M., Kaur, R., Singh, S., Kaur, A., Kaur, S., and Sharma, A. 2022. Evaluation of Triticum durum-Aegilops tauschii derived primary synthetics as potential sources of drought stress tolerance for wheat improvement. Cereal Research Communications: 50: 1205-1216. https://doi.org/10.1007/s42976-022-00265-2

Sharma, V., Kumar, A., Chaudhary, A., Mishra, A., Rawat, S., Basavaraj, Y.B., Shami, V. and Kaushik, P. 2022. Response of wheat genotypes to drought stress stimulated by PEG. Stresses, 2: 26-51. https://doi.org/10.3390/stresses2010003

Statistical Yearbook of the Ministry of Agriculture for the Iranian year 2022. 95 pp.

Street, H.E, and Cockburn, W. 2014. Plant Metabolism. Elsevier Science, 334 pp.

Surbhaiyya, S.D., Gahukar, S.J., Jadhav, P.V., Bhagatm, S.Y., Moharil, M.P., Potdukhe, N.R. and Singh, P.K. 2018. In-vitro based screening of promising wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for osmotic stress imposed at seedling stage. International Journal Current Microbiology Applied Science (6): 2500-2508.

Susilo, E., Setyowati, N., Nurjanah, U., Riwandi, R., and Muktamar, Z. 2023. Inhibition of seed germination under water extracts of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and its ratoon cultivated in swamp land. International Journal of Agricultural Technology, 19(3): 1337-1346.