Research Article

Iranian Journal of Seed Research, 2025, 11(2): 95-110

Studying the effect of seed production environment and genotype on germination and seedling traits of different sugar beet (*Beta vulgaris*) single crosses

Mohammad Reza Mirzaei [1,*]

Extended abstract

Introduction: One of the most critical factors in achieving optimal sugar beet root performance at harvest time is appropriate plant density, which depends on high seedling emergence rates and subsequent seedling growth facilitated by using seeds with desirable vigor. Various seedling traits are key determinants of seed vigor and quality in sugar beet.

Materials and Methods: To evaluate germination vigor and seedling growth under laboratory conditions, traits such as maximum germination, hypocotyl length, radicle length, and fresh and dry seedling weights were measured in ten single-cross hybrids derived from crosses between ten male-sterile maternal lines and one paternal line, produced in three different seed production environments. Additionally, correlations between these traits and seedling emergence traits in greenhouse conditions, as well as seed chemical properties, were examined.

Results: The results indicated that seedling traits, which reflect seed vigor, are primarily influenced by two factors: the sugar beet seed production environment and genetics. Analysis of correlation coefficients between laboratory seedling traits and greenhouse seedling emergence traits, as well as seed electrical conductivity, revealed that genotypes with low electrical conductivity and low total soluble solids in the seed pericarp germinated faster and emerged more quickly under greenhouse conditions. Thus, high electrical conductivity in the sugar beet seed pericarp was associated with low seed vigor. Furthermore, significant correlations were observed between seedling emergence speed and mean emergence time in the greenhouse and hypocotyl length in the laboratory, showing positive ($+0.91^{**}$) and negative (-0.82^{**}) relationships, respectively. Therefore, genotypes with longer hypocotyls in the laboratory exhibited faster seedling emergence in the greenhouse. Consequently, single-cross hybrids such as MS KWS × OT 231, which had greater radicle length (8.49 cm), seedling length (14.66 cm), and radicle-to-hypocotyl ratio (1.37) under laboratory conditions, also showed a significant increase in mean dry shoot weight (1.89 mg) and seedling vigor weight index (8.26) in the greenhouse compared to other single-cross hybrid.

Conclusions: Therefore, it appears that seedling traits and chemical characteristics of sugar beet seeds can be used to predict seedling emergence performance in the greenhouse and potentially in the field. However, for validation and precise assessment, it is recommended that this experiment be conducted under field conditions.

Keywords: Correlation, Seed quality, Seed vigor, Seedling emergence, Seedling growth

***Highlights*:**

1. Differences were observed among genotypes in terms of seed characteristics and the maternal environment in which the seeds were produced.
2. Poor sugar beet seed vigor can reduce both the potential emergence percentage and the speed and uniformity of seedling emergence compared to high-vigor seeds.
3. Seedling traits in sugar beet are indicators of seed vigor and are influenced by both the seed production environment and genetics.

[1] Associate Professor Sugar Beet Seed Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

*Corresponding author, E-mail: mr.mirzaei@areeo.ac.ir

http://dx.doi.org/10.61882/yujs.11.2.95

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

Received: 21.10.2024; Revised: 11.1.2025;
Accepted: 21.1.2025; Online Published: 21.3.2025

مقاله پژوهشی

پژوهش‌های بذر ایران/ سال یازدهم/ شماره دوم/ ۱۴۰۳/ صفحات: ۱۱۰-۹۵

بررسی تأثیر محیط تولید بذر و ژنوتیپ بر جوانه‌زنی و صفات گیاهچه‌ای سینگل کراس‌های مختلف چغندرقند (*Beta vulgaris*)

محمدرضا میرزایی [۱،*]

چکیده مبسوط

مقدمه: از مهم‌ترین عوامل دست‌یابی به عملکرد مطلوب ریشه چغندرقند در زمان برداشت، تراکم مناسب به واسطه درصد ظهور گیاهچه بالا و متعاقب آن رشد گیاهچه‌ها به واسطه استفاده از بذر با بنیه مطلوب می‌باشد. از صفات تعیین کننده بنیه و کیفیت بذر چغندرقند، صفات مختلف گیاهچه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها: برای این منظور بنیه جوانه‌زنی و میزان رشد گیاهچه در شرایط آزمایشگاه با اندازه‌گیری صفات حداکثر جوانه‌زنی، طول هیپوکوتیل، طول ریشه‌چه، وزن تر و خشک گیاهچه در ده سینگل‌کراس حاصل از تلاقی ده پایه مادری نرعقیم و یک پایه پدری در سه محیط مختلف تولید بذر استفاده شد. همچنین همبستگی صفات مذکور با صفات ظهور گیاهچه در گلخانه و صفات شیمیایی بذر، مطالعه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که صفات گیاهچه‌ای که نشان دهنده صفاتی از بنیه بذر می‌باشد، توسط دو عامل اصلی محیط تولید بذر چغندرقند و ژنتیک تعیین می‌شود. بررسی ضرایب همبستگی بین صفات گیاهچه‌ای در آزمایشگاه با صفات ظهور گیاهچه در گلخانه و هدایت الکتریکی بذر نشان داد که ژنوتیپ‌هایی با ویژگی هدایت الکتریکی و درصد مواد جامد محلول روی پریکارپ بذر پایین در شرایط گلخانه سریع‌تر جوانه زده و در زمان کمتری سبز شدند. بنابراین، سطح بالای هدایت الکتریکی پریکارپ بذر چغندرقند، با بنیه بذر پایین همراه بود. همچنین همبستگی معنی‌داری بین سرعت ظهور گیاهچه و میانگین زمان ظهور گیاهچه در گلخانه با طول هیپوکوتیل در آزمایشگاه به ترتیب مثبت ($+۰/۹۱^{**}$) و منفی ($-۰/۸۲^{**}$) مشاهده شد. پس می‌توان نتیجه گرفت، ژنوتیپ‌ها با طول هیپوکوتیل بیشتر در آزمایشگاه منتج به ظهور گیاهچه سریعتر در گلخانه شدند. متعاقبا، سینگل‌کراس‌هایی همانند MS KWS × OT 231 با طول ریشه‌چه (۸/۴۹ سانتی‌متر)، طول گیاهچه (۱۴/۶۶ سانتی‌متر) و نسبت طول ریشه‌چه به هیپوکوتیل (۱/۳۷) بیشتر در شرایط آزمایشگاه، میانگین وزن خشک اندام هوایی (۱/۸۹ میلی‌گرم) و شاخص وزنی بنیه گیاهچه (۸/۲۶) آنها در گلخانه با افزایش معنی‌داری نسبت به برخی سینگل‌کراس‌های دیگر همراه بود.

نتیجه‌گیری: بنابراین، به نظر می‌رسد می‌توان از صفات گیاهچه‌ای و مشخصات شیمیایی بذر چغندرقند برای پیش‌بینی وضعیت ظهور گیاهچه در گلخانه و شاید در مزرعه استفاده و توصیه نمود. لیکن به منظور اعتبار سنجی و ارزیابی دقیق، پیشنهاد می‌شود آزمایش مذکور در شرایط مزرعه اجرا شود.

واژه‌های کلیدی: کیفیت بذر، بنیه بذر، رشد گیاهچه، ظهور گیاهچه، همبستگی

جنبه‌های نوآوری:

۱- بین ژنوتیپ‌ها به لحاظ خصوصیات بذری و محیط مادری که در آن بذر رشد نموده، تفاوت وجود داشت.

۲- بنیه و عملکرد ضعیف بذر چغندرقند می‌تواند هم درصد پتاسیل ظهور گیاهچه و هم سرعت و یکنواختی ظهور گیاهچه را نسبت به بذرهای با بنیه قوی کاهش دهد.

۳- صفات گیاهچه‌ای در چغندرقند صفاتی از بنیه بذر بوده که تحت تاثیر محیط تولید بذر چغندرقند و نیز ژنتیک می‌باشد.

[۱] دانشیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

[*] رایانامه نویسنده مسئول: mr.mirzaei@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۷/۳۰؛ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

http://dx.doi.org/10.61882/yujs.11.2.95

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

مقدمه

کیفیت بذرها در تولید محصول، تغذیه انسان و امنیت غذایی، نقش اساسی دارند. یکی از مؤلفه‌های کلیدی در کارکرد موفق بذر، صفت پیچیده بنیه بذر است. عملکرد محصول و بهره‌وری استفاده از نهاده‌ها به استقرار بوته موفق در مزرعه بستگی دارد و این بنیه بذر است که توانایی آنها را برای جوانه‌زدن و استقرار سریع، یکنواخت و قوی گیاهچه در محیط‌های مختلف، مشخص می‌کند (فینچ-ساویچ و باسل[1]،۲۰۱۶). چندین محقق دیگر تأیید کردند که بذرهای کم بنیه مسئول کاهش رشد کلی محصول هستند (ادبیسی[2] و همکاران، ۲۰۱۳؛ امبیکا[3] و همکاران، ۲۰۱۴). بر همین اساس، بهبود بنیه بذر برای افزایش یک مرحله حیاتی و تعیین کننده تولید محصول، یکی از اهداف اصلی صنعت کشاورزی و شرکت‌های بذری و به نژادی است که از آن حمایت می‌شود. البته بنیه بذر، به‌عنوان یک ویژگی واحد و قابل اندازه‌گیری نیست، بلکه یک مفهوم مرتبط با جنبه‌هایی از عملکرد بذر است که عبارتند از: سرعت جوانه‌زنی بذر، یکنواختی جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه، پتانسیل ظهورگیاهچه بذر در شرایط نامساعد محیطی، عملکرد پس از ذخیره‌سازی یا انبار بذر به‌ویژه حفظ توانایی جوانه‌زنی، می‌باشد (فینچ-ساویچ و باسل، ۲۰۱۶). بنابراین بنیه را می‌توان به عنوان عملکرد بالقوه بذرهای زنده در عمل کشاورزی در نظر گرفت که توسط برهمکنش پیچیده بین اجزای ژنتیکی و محیطی، تعیین می‌شود (ویتینگتون[4]، ۱۹۷۳؛ هوچکین و هگارتی[5]، ۱۹۷۸). در شرایط بهینه، بذرها از منابع مختلف ممکن است منجر به سطوح بالای جوانه‌زنی و مشابه شوند. با این حال، همین بذرها در شرایط تنش‌های مختلف در مزرعه ممکن است توانایی‌های بسیار متضادی برای ایجاد گیاهچه به دلیل تفاوت در بنیه بذر آنها، داشته باشند (فینچ-ساویچ و باسل، ۲۰۱۶). آمادگی بذر چغندرقند برای جوانه‌زنی در طول رسیدگی بر گیاه مادری بدست می‌آید و بنیه بذر چغندرقند به عنوان یک صفت مهم زراعی تعریف می‌شود (کاتوس[6] و همکاران، ۲۰۰۸).

شرایط اقلیمی از جمله دما، میزان بارندگی و توزیع آن، رطوبت نسبی هوا و نظایر آن، اغلب به مقدار قابل ملاحظه‌ای بین سال‌ها و مناطق مختلف متغیر است. این تغییرات از عوامل اصلی تفاوت در عملکرد و کیفیت محصولات زراعی در سال‌ها و مناطق مختلف محسوب می‌شوند (پلاتنکمپ و شاو[7]، ۱۹۹۳؛ دونوهو و اشمیت[8]، ۱۹۹۸؛ گالووی[9]، ۲۰۰۱). هر محموله[10] ویژگی‌های خاص خود را دارد، به طوری که بذرهایی که دارای یک ژنوتیپ مشترک هستند، بسته به محیط مادری که در آن رشد کرده و برداشت و جابجایی بعدی آنها می‌تواند به شدت از نظر بنیه بذر متفاوت باشد. تأثیر محیط تولید بذر به خوبی شناخته شده است و در نتیجه، مکان‌های جغرافیایی خاصی که دارای آب و هوای مطلوب هستند، اغلب توسط شرکت‌های بذر تجاری برای کمک به تضمین تولید بذر با کیفیت بالا، انتخاب می‌شوند (فینچ-ساویچ و باسل، ۲۰۱۶). به عنوان مثال تولید بذر چغندرقند به منطقه نواحی نزدیک دریا و مدیترانه و اطراف آن نسبت به شرایط اقلیمی قاره‌ای به نحو مؤثری برای افزایش کیفیت بذر مناسب‌تر هستند، منتقل شده است (ککلمن[11] و همکاران، ۲۰۱۰).

در طی رشد بذر، بذرها روی گیاه مادر به تدریج توانایی جوانه‌زدن و ظرفیت تولید یک گیاهچه را به دست می آورند (پراور[12] و همکاران، ۲۰۲۳؛ بلوچی[13]و ۲۰۲۳). سپس بنیه بذر به تدریج تا بلوغ فیزیولوژیکی[14] یعنی نقطه حداکثر کیفیت بذر، افزایش می‌یابد (دورنبوس[15]، ۱۹۹۵؛ استیل و برادفورد[16]، ۱۹۹۸؛ فینچ-ساویچ و باسل، ۲۰۱۶). بنیه بذر می‌تواند پس از قطع ارتباط با گیاه مادری به افزایش خود ادامه دهد. بنابراین رسیدگی فیزیولوژیکی می‌تواند پس از رسیدگی وزن خشک[17] (حداکثر وزن خشک بذر) و معمولاً قبل از بلوغ

[1] Finch-Savage and Bassel
[2] Adebisi
[3] Ambika
[4] Whittington
[5] Hodgkin and Hegarty
[6] Catusse
[7] Platenkamp and Shaw
[8] Donohue and Schmitt
[9] Galloway
[10] Lot
[11] Kockelmann
[12] Paravar
[13] Balouchi
[14] Physiological maturity
[15] Dornbos
[16] Still and Bradford
[17] Mass maturity

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]

برداشت[1] (بذر ها ابتدا باید روی گیاه مادری خشک شوند) رخ دهد. زمان دقیق حداکثر بنیه بین گونه‌ها متفاوت است (تکرونی و ایگل[2]، ۱۹۹۷).

صفات جوانه‌زنی مانند میانگین زمان جوانه‌زنی و اندازه‌گیری اندازه گیاهچه اغلب در آزمایش‌های گزارش شده با هم اشتباه می‌شود. همیشه در یک زمان معین، بذری که دیر جوانه می‌زند نسبت به بذری که جوانه‌زنی سریعی دارد، گیاهچه کوچک‌تری تولید می‌کند. بین گیاهان بخش قابل توجهی از واریانس میانگین زمان جوانه‌زنی در تمام مناطق مورد مطالعه ناشناخته باقی مانده است و این نشان می‌دهد که عوامل دیگری زیستی[3] زیستی[3] یا غیر زیستی[4] به غیر از توده بذر[5]، بر میانگین میانگین زمان جوانه‌زنی تاثیر می‌گذارد. در واقع واریانس غیر قابل توضیح میانگین زمان جوانه‌زنی به صفات دیگر بذر مانند ضخامت پوسته بذر، مربوط می‌شود (نوردن[6] و همکاران، ۲۰۰۹). در آزمایش‌ها مهم است که اندازه‌گیری گیاهچه‌ها به‌طور مستقل پس از جوانه‌زنی انجام شود. با این وجود، اهمیت میانگین زمان جوانه‌زنی به‌عنوان شاخصی از میزان و ظهور گیاهچه نهایی در طیف وسیعی از گونه‌های زراعی نشان داده شده است (ماتیوس[7] و همکاران، ۲۰۱۲). میانگین زمان جوانه‌زنی توسط ژنتیک و محیط تولید بذر، تعیین می‌شود. مؤلفه ژنتیکی را می‌توان با تجزیه و تحلیل ژنتیکی کمی ژنوتیپ‌های تولید شده در شرایط محیطی یکسان تعیین کرد (بتی[8] و همکاران، ۲۰۰۰)، و این می‌تواند مبنایی برای بهبود کارکرد یا بهبود کیفیت بذر در عمل فراهم کند.

آزمون هدایت الکتریکی یکی از آزمون‌های بنیه بذر است که در قوانین ایستا گنجانده شده است (ایستا، ۲۰۰۶). سطوح بالای نشت، مشخصه بذر کم بنیه با سطوح قابل قبولی از جوانه‌زنی آزمایشگاهی (به عنوان مثال بالای ۸۰ درصد) اما با درصد سبز پایین در مزرعه، به ویژه در خاک‌های سرد و مرطوب همراه می‌باشد (ماتیوس و پاول[9]، ۲۰۰۶). بنیه بذر یک صفت کمی است است که تحت تأثیر برهمکنش بین ژنتیک و محیط قرار می‌گیرد. علیرغم نقش اصلی بنیه در موفقیت محصولات زراعی، در برنامه‌های اصلاحی تجاری که بطور عمده و مستقیم بر سایر اجزای عملکرد گیاه و مقاومت به بیماری تمرکز می‌کنند، کمتر توجه شده است (فینچ-ساویچ و باسل، ۲۰۱۶). ژانگ[10] و همکاران (۲۰۱۷) چهار شاخص برای بنیه گیاهچه (طول ساقه‌چه یا اندام هوایی گیاهچه، طول ریشه‌چه، وزن مرطوب گیاهچه و وزن خشک گیاهچه) لحاظ نمودند و دریافتند که ۵۷ مورد از ۶۵ جایگاه صفت کمی (DNA مرتبط با تغییرات در فنوتیپ‌ها) با بنیه گیاهچه مطابقت دارد. نتایج تحقیقی نشان داد که تفاوت بین ارقام مختلف چغندرقند به لحاظ طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و وزن خشک آنها، معنی‌دار بود (جلیلیان[11] و همکاران، ۲۰۱۲). بین بنیه بذر و پارامترهای بیومتریک مانند درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه و وزن خشک و شاخص‌های بنیه رابطه مثبت و مستحکمی مشاهده شد (کانداسامی[12] و همکاران، ۲۰۲۰). کیفیت بذر معمولاً روی بنیه گیاهچه و استقرار آن تأثیر دارد. مطالعات نشان داد که اندازه بذر نیز از عوامل کیفیت بذر بوده که عامل اصلی جوانه‌زنی بذر، استقرار گیاهچه و رشد و نمو بعدی است (کانداسا و همکاران، ۲۰۲۰؛ امبیکا و همکاران، ۲۰۱۴؛ فینچ-ساویچ، ۱۹۹۵). زنده ماندن بذر[13]، توانایی بذر برای جوانه زدن در شرایط بهینه است، در حالی که بنیه بذر[14] توانایی آن برای ظهور یکنواخت گیاهچه حتی در شرایط نامساعد محیطی در مزرعه می‌باشد (کانداسامی و همکاران، ۲۰۲۰). بررسی نتایج همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در آزمون جوانه‌زنی استاندارد نخود با مزرعه نشان داد درصد و سرعت ظاهر شدن گیاهچه در مزرعه بیشترین همبستگی را با درصد جوانه‌زنی نهایی، درصد گیاهچه قوی و شاخص بنیه گیاهچه داشتند. بنابراین این آزمون از قابلیت بالایی برای پیش بینی درصد و سرعت

[1] Harvest maturity
[2] TeKrony and Egley
[3] Biotic
[4] Abiotic
[5] Seed mass
[6] Norden
[7] Matthews
[8] Bettey
[9] Matthews and Powell
[10] Zhang
[11] Jalilian
[12] Kandasa
[13] Seed viability
[14] Seed vigor

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]

ظاهر شدن گیاهچه در مزرعه برخوردار می باشد. بنیه پایین بذر به دو طریق ممکن است موجب کاهش عملکرد گردد: اول این که درصد گیاهچه‌های ظاهر شده در مزرعه کمتر از حد انتظار باشد. در نتیجه تراکم گیاهی در واحد سطح کمتر از حد مطلوب می‌شود. دوم آن که سرعت رشد و یکنواختی چنین گیاهانی کمتر از سرعت رشد گیاهان حاصل از رشد بذر های قوی گردد (بیات[1] و همکاران، ۲۰۱۶)

بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر محیط تولید بذر و ژنوتیپ بر صفات مختلف ظهور گیاهچه و صفات گیاهچه در سینگل‌کراس‌های چغندرقند بود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ابتدا ریشه سال اول ۱۰ لاین مادری نرعقیم سیتوپلاسمی (شامل ۲۶۱، ۷۱۱۲، ۴۱۹، ۴۳۶، ۴۷۴، ۴۵۲، ۴۲۸، FC607، FC708 و KWS) با یک پایه گرده افشان (O-Type 231) در کرج تولید شده و سپس جهت بهاره سازی در فیروزکوه سیلو شدند. در نهایت ریشه‌های هر پایه به سه قسمت مساوی تقسیم و هر قسمت در یک آزمایش مجزا و در قالب بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار در شهرستان‌های کرج، فیروزکوه و اردبیل در سال ۱۳۹۳ کشت و تولید بذر شد. با استفاده از بذر ۱۰ سینگل‌کراس چغندرقند حاصل از تلاقی ده لاین مادری نرعقیم سیتوپلاسمی با یک پایه گرده افشان صفات مختلف گیاهچه در شرایط آزمایشگاه با اندازه‌گیری صفات حداکثر جوانه‌زنی، طول هیپوکوتیل، طول ریشه-چه، وزن تر و خشک گیاهچه در سینگل‌کراس حاصل از سه محیط مختلف، مقایسه شد. همچنین صفات ظهور گیاهچه در شرایط گلخانه و هدایت الکتریکی بذر ۱۰سینگل‌کراس حاصل از سه محیط مختلف، تعیین شد.

آزمون رشد گیاهچه در شرایط آزمایشگاه

ارزیابی میزان رشد گیاهچه در واقع تعیین میزان تاثیرگذاری والدین (پایه پدری و مادری) بر صفات مرتبط با کیفیت در بذر سینگل‌کراس‌ها است. برای این منظور درصد جوانه‌زنی و میزان رشد گیاهچه تحت شرایط آزمایشگاه مقایسه شد. برای ارزیابی صفات مختلف گیاهچه‌ای (حداکثر جوانه‌زنی، طول هیپوکوتیل، طول ریشه‌چه، طول گیاهچه، وزن تر و خشک گیاهچه) در ده سینگل‌کراس حاصل از سه محیط مختلف تولید بذر چغندرقند (کرج، فیروزکوه و اردبیل) انجام شد. تولید بذر سینگل‌کراس‌ها در هر محیط با کشت ده پایه‌های مادری و یک پدری در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. سپس از محموله بذر حاصل از هرکرت به‌طور کاملا تصادفی ۲۵ عدد بذر چغندرقند با دستگاه مقسم جدا شد. بدین ترتیب ۲۵ بذر هر کرت آزمایشی در بین دو کاغذ صافی رل شده و به فاصله ۲ سانتی‌متر از بالا و روی حوله‌های کاغذی کشت، سپس با اضافه کردن آب با پتانسیل اسمزی صفر (آبیاری با آب دوبار دیونیزه)، به مقدار ۱۰ میلی لیتر به روی بذرها، آبیاری شد. بعد از رل شدن حوله‌های کاغذی مرطوب محتوی بذر، انتهای رل را در داخل لوله‌های پلی اتیلنی که محتوی آب (آب دوبار دیونیزه)، مربوطه بود، در درون ظروف استوانه‌ای خاص ابداعی موسسه چغندرقند برای آزمون جوانه‌زنی قرار داده و با یک پوشش پلاستیکی پوشانده شد (چگینی[2]، ۱۹۹۹). در نهایت ظروف در درون ژرمیناتور با شرایط دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از هفت روز با باز کردن حوله‌های کاغذی درصد گیاهچه-های طبیعی شمارش، طول ریشه‌چه و طول هیپوکوتیل بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. وزن‌تر گیاهچه‌های طبیعی توزین و سپس گیاهچه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار داده و در نهایت وزن خشک گیاهچه‌ها توزین شد. برای محاسبه شاخص بنیه گیاهچه[3] (SVI) از روابط ۱-۳ استفاده شد.

رابطه ۱:

شاخص طولی بنیه گیاهچه=درصد جوانه‌زنی× طول گیاهچه (طول هیپوکوتیل + طول ریشه‌چه)

(عبدالباکی و اندرسون[4]، ۱۹۷۳؛ ژائو[5] و همکاران، ۲۰۱۶).

(۲۰۱۶).

رابطه ۲:

شاخص طولی بنیه هیپوکوتیل گیاهچه=درصد جوانه‌زنی× طول هیپوکوتیل

[1] Bayat

[2] Chgini

[3] Seedling vigor index

[4] Abdul-Baki and Anderson

[5] Zhao

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]

(آگراوال[1]، ۲۰۰۳؛ کیم[2] و همکاران، ۱۹۹۴).

رابطه ۳:

شاخص وزنی بنیه گیاهچه=درصد جوانه‌زنی× وزن خشک گیاهچه

(کانداسا و همکاران، ۲۰۲۰؛ عبدالباکی و اندرسون، ۱۹۷۳)

تعیین صفات ظهور گیاهچه در شرایط گلخانه

برای تعیین پتانسیل ظهور گیاهچه، از بستر ماسه در شرایط گلخانه استفاده شد. یک لایه ۱۰ سانتی‌متری ماسه استریل را در ته جعبه پلاستیکی (سانتی‌متر ۱۵×۴۰×۶۰) ریخته و از تیمارها به‌طور کاملا تصادفی سه تکرار و هر تکرار در یک جعبه (براساس مدل آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی) به تعداد ۶۰ بذر در عمق یک سانتی‌متر کشت شد. جعبه‌ها جهت انجام آزمایش گلخانه‌ای با دمای شبانه‌روزی حدود ۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۴ روز برای رسیدن به استقرار، نگهداری شدند. برای ارزیابی مؤلفه‌های ظهور گیاهچه (یعنی درصد، سرعت و یکنواختی) به‌طور روزانه نشان‌گذاری و به‌صورت تجمعی یادداشت برداری و ثبت شد. در روز پانزدهم گیاهچه‌های هر جعبه از کف بریده، سپس وزن تر و خشک تعیین گردید. برای محاسبه درصد، سرعت و یکنواختی ظهور گیاهچه بذر هر نمونه، منحنی پیشرفت جوانه‌زنی در مقابل زمان (ساعت) ترسیم و زمان لازم برای ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد (G10، G50 و G90 مدت‌زمانی که طول می‌کشد، ظهور گیاهچه تجمعی به ترتیب ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حداکثر خود برسد)، از طریق درون‌یابی خطی برآورد شد. معکوس زمان تا ۵۰ درصد ظهور گیاهچه نهایی (1/D50) به‌عنوان سرعت ظهور گیاهچه و فاصله زمانی (برحسب ساعت) بین ۱۰ تا ۹۰ درصد ظهور گیاهچه نهایی به‌عنوان یکنواختی ظهور گیاهچه در نظر گرفته شد. هر چه مقدار این مدت‌زمان کمتر باشد نشان-دهنده ظهور گیاهچه یکنواخت‌تر (هم‌زمانی) بذرها می‌باشد. سرعت ظهور گیاهچه و یکنواختی ظهور گیاهچه از روابط ۴، ۵، و ۶ محاسبه شدند (داسیلوا[3] و همکاران، ۲۰۱۹؛ برادفورد و همکاران، ۱۹۹۰).

رابطه ۴: $T50 = \frac{\sum NiTi}{\sum Ni}$

رابطه ۵: $GR50 = \frac{1}{D50}$

رابطه ۶: $\text{Uniformity of emergenc} = T90 - T10$

T50 زمان رسیدن به ۵۰٪ ظهور گیاهچه Ni تعداد بذر جوانه زده در هر شمارش، Ti میانگین زمان ظهور گیاهچه می‌باشد. درصد ظهور گیاهچه نهایی، سرعت و یکنواختی هر یک از تیمارهای بذری با استفاده از برنامه جرمین نسخه دو[4] (سلطانی[5] و همکاران، ۲۰۱۳) از طریق درون‌یابی منحنی افزایش ظهور گیاهچه در مقابل زمان، محاسبه شد. برای تعیین میانگین زمان جوانه‌زنی[6] پس از ۱۵ روز بر اساس رابطه ۷ محاسبه شد (رانال[7] و همکاران، ۲۰۰۹).

رابطه ۷: $MGT = \frac{\sum FX}{\sum X}$

MGT = میانگین زمان سبز شدن (روز)؛ F= شماره روز شمارش و X= تعداد بذر جدید جوانه زده در هر روز

تعیین صفات هدایت الکتریکی و درصد مواد جامد محلول پریکارپ

آزمون تعیین هدایت الکتریکی بذر

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر در بشرهای ۵۰۰ میلی‌لیتری ریخته شده و سپس کلیه بشرها با فویل آلومینیومی پوشانده و به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور در دمای۲۰ درجه سلسیوس قرارداده شد. چهار نمونه بذر ۱۰ گرمی از هر تیمار انتخاب و بعد از توزین در بشرهای مذکور ریخته و دوباره برای ۲۴ ساعت دیگر در همان شرایط قرار داده شد. هدایت الکتریکی نمونه ها با EC متر اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه ۸ محاسبه گردید (همپتون و تکرونی[8]، ۱۹۹۵).

رابطه ۸:

وزن نمونه بذر(گرم) / قابلیت هدایت الکتریکی(میکرو زیمنس بر سانتی متر)= هدایت الکتریکی

[1] Agrawal
[2] Kim
[3] da Silva
[4] Germin v2
[5] Soltani
[6] Mean Germination Time
[7] Ranal
[8] Hampton and Tekrony

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]

همچنین با دستگاه رفرکتومتر مدل ABBEMAT (ساخت شرکت آلمان) مجهز ثبات دمایی درصد مواد جامد محلول پریکارپ تعیین شد. در نهایت پس از انجام آزمون یکنواختی واریانس خطاها به روش آزمون هارتلی در مناطق مختلف، تجزیه واریانس مرکب براساس مدل آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه محیط با فرض ثابت بودن سینگل‌کراس‌ها و محیط با استفاده از نرم افزار SAS (v. 9.1) و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد اثر محیط بر میانگین طول ریشه‌چه، طول گیاهچه و شاخص طولی بنیه هیپوکوتیل در سطح احتمال ۵٪ و همچنین بر وزن تر و خشک گیاهچه، شاخص طولی بنیه گیاهچه و شاخص وزنی بنیه گیاهچه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. میانگین مربعات ژنوتیپ‌ها برای میانگین طول هیپوکوتیل، طول ریشه‌چه، طول گیاهچه و نسبت طولی ریشه‌چه به هیپوکوتیل و همچنین وزن تر، وزن خشک گیاهچه، شاخص طولی بنیه گیاهچه و هیپوکوتیل اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ نشان داد (جدول ۱). اثر محیط فقط بر پتانسیل ظهور گیاهچه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. لیکن میانگین مربعات ژنوتیپ‌ها برای سرعت ظهور گیاهچه، میانگین زمان ظهور گیاهچه، یکنواختی ظهور گیاهچه و شاخص وزنی بنیه گیاهچه در شرایط گلخانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). پژوهشگران دیگری نیز بر تفاوت خصوصیات بذری ژنوتیپ‌ها در اثر محیط مادری که در آن بذر رشد کرده، تاکید کرده‌اند (فینچ-ساویچ و باسل،۲۰۱۶). بر همین اساس برای کمک به تضمین تولید بذر با کیفیت بالا، می‌توان این سه محیط تولید بذر چغندرقند را رتبه بندی نمود. نتایج نشان داد که سینگل‌کراس‌های حاصل از تلاقی‌ها از نظر خصوصیات بذری دارای تنوع هستند، لذا می‌توان از بین این سینگل‌کراس‌ها برای صفات مورد نظر، گزینش انجام داد. اثر برهمکنش محیط و ژنوتیپ بر هیچ یک از صفات گیاهچه‌ای در آزمایشگاه و گلخانه، معنی‌دار نبود (جدول-های ۱ و۲). درصد مواد جامد محلول روی پریکارپ بذر چغندرقند (مواد بازدارنده جوانه‌زنی) فقط تحت تاثیر محیط تولید بذر بود. لیکن اثر برهمکنش بین محیط و ژنوتیپ روی هدایت الکتریکی بذر چغندرقند در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

بذر سینگل‌کراس‌های تولید شده در دو محیط کرج و اردبیل به لحاظ میانگین طول ریشه‌چه و طول گیاهچه در یک سطح آماری قرار گرفتند. اما طول ریشه‌چه و طول گیاهچه در فیروزکوه تنها نسبت به اردبیل، برتری معنی‌داری داشت. چانچه بیان شد، بین میانگین وزن خشک گیاهچه ژنوتیپ‌های مختلف در سه محیط تولید بذر، تفاوت معنی‌دار مشاهده شد که در فیروزکوه نسبت به اردبیل و اردبیل نسبت کرج برتری داشت (جدول۴). اهمیت نتیجه صفت مذکور به این دلیل است که گزارش شده، صفات مختلف مرتبط با رشد گیاهچه، برآیند آنها در میانگین وزن خشک گیاهچه نمایان می شود (خلیلی اقدم[1] و همکاران، ۲۰۱۲؛ فینچ-ساویچ و باسل،۲۰۱۶؛ گالووی، ۲۰۰۱). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این تفاوت معنی‌دار در میانگین وزن ماده خشک گیاهچه، به واسطه اختلاف در بنیه بذر و تحت تاثیر محیط مادری که بذر ژنوتیپ‌های مشترک تولید شده، ایجاد شده است. یافته بدست آمده توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (فینچ-ساویچ و باسل،۲۰۱۶؛ ادبیسی و همکاران، ۲۰۱۳؛ امبیکا و همکاران، ۲۰۱۴). شاید به همین دلیل شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه در فیروزکوه نسبت به دو محیط دیگر (اردبیل و کرج) برتری معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). دو محیط کرج و اردبیل از لحاظ پتانسیل ظهور گیاهچه در یک سطح آماری قرار گرفتند. اما پتانسیل ظهور گیاهچه در فیروزکوه نسبت به کرج و اردبیل، کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۴). همچنین بیشترین میزان هدایت الکتریکی بذرهای چغندرقند به اردبیل و فیروزکوه و کمترین به کرج مربوط بود (جدول ۴). هدایت الکتریکی بالای بذر اردبیل و فیروزکوه نسبت به کرج، می‌تواند به عنوان شاخصی از کیفیت پایین بذر تلقی شود. زیرا میزان هدایت الکتریکی بالای بذر نشان دهنده میزان استحکام پایین غشاء در مقابل نشت مواد الکترولیت است (داسیلوا و همکاران،

[1] Khaliliaqdam

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات گیاهچه‌ای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای ژنوتیپ‌های مختلف بذر چغندرقند تولید شده در سه محیط مختلف

Table 1. The results of variance analysis of seedling traits measured in the laboratory for different genotypes of sugar beet seeds produced in three different environments.

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی DF	طول هیپوکوتیل Hypocotyl length	طول ریشه‌چه Radicle length	طول گیاهچه Seedling length	نسبت طولی ریشه‌چه به هیپوکوتیل Radicle to hypocotyl length ratio	وزن تر گیاهچه Fresh weight of seedling	وزن خشک گیاهچه Dry weight of seedling	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigor index	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling weight vigor index	شاخص طولی بنیه هیپوکوتیل Hypocotyl length vigor index
محیط Environment	2	0.668 ^{ns}	30.75 *	40.46 *	0.506 ^{ns}	951.23 **	0.955 **	43.76 **	0.757 **	160.62 *
خطا Error	9	1.244	3.83	6.24	0.125	102.88	0.056	6.42	0.048	98.08
ژنوتیپ Genotype	9	1.065 **	5.67 **	9.60 **	0.100 **	95.87 **	0.070 **	16.67 **	0.043 ^{ns}	248.58 **
محیط × ژنوتیپ Environment × Genotype	18	0.119 ^{ns}	1.05 ^{ns}	1.02 ^{ns}	0.037 ^{ns}	23.19 ^{ns}	0.022 ^{ns}	2.34 ^{ns}	0.033 ^{ns}	20.55 ^{ns}
خطا Error	81	0.220	1.63	2.44	0.033	28.66	0.019	3.40	0.040	37.98
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)		7.32	15.59	10.70	14.10	10.50	7.88	13.51	12.28	10.32

**, * و ^{ns} به ترتیب معنی دار درسطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و غیر معنی‌دار

ns, * and ** indicate not significant and the significant differences at 5% and 1% error probability level, respectively.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات مختلف ظهور گیاهچه در گلخانه برای ژنوتیپ‌های مختلف بذر چغندرقند تولید شده در سه محیط مختلف

Table 2. The results of analysis variance of different traits of seedling emergence of different genotypes of sugar beet seeds produced in three different environments.

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی DF	حداکثر ظهور گیاهچه Seedling emergence Maximum	سرعت ظهور گیاهچه Seedling emergence rate	میانگین زمان ظهورگیاهچه Mean seedling emergence time	یکنواختی ظهور گیاهچه Uniformity seedling emergence	وزن خشک تک گیاهچه Dry weight of seedling	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling weight vigor index
محیط Environment	2	2040.03 **	0.0000018 ^{ns}	0.869 ^{ns}	587.54 ^{ns}	76.84 ^{ns}	17.68 ^{ns}
خطا Error	9	122.34	0.0000084	2.864	199.43	23.33	19.28
ژنوتیپ Genotype	9	124.00 ^{ns}	0.0000010 **	0.591 **	327.41 **	2.37 ^{ns}	3.49 ^{ns}
محیط × ژنوتیپ Environment × Genotype	18	68.29 ^{ns}	0.00000013 ^{ns}	0.046 ^{ns}	155.55 ^{ns}	1.96 ^{ns}	2.28 ^{ns}
خطا Error	81	71.36	0.00000015	0.062	96.98	1.30	1.52
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)		10.09	4.61	4.36	20.93	12.98	16.87

**, * و ^{ns} به ترتیب معنی دار درسطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و غیر معنی‌دار

ns, * and ** indicate not significant and the significant differences at 5% and 1% error probability level, respectively.

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس میزان هدایت الکتریکی و درصد مواد جامد محلول روی پریکارپ بذر ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند تولید شده در سه محیط مختلف

Table 3. The results of variance analysis of the electrical conductivity and the percentage of solids soluble in pericarp of different genotypes of sugar beet produced in three different environments.

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	درصد مواد جامد محلول Brix
محیط Environment	2	170630.04**	0.1060*
خطا Error	9	0.6013	0.0136
ژنوتیپ Genotype	9	2.14 ns	0.0059 ns
محیط × ژنوتیپ Environment × Genotype	18	0.4398*	0.004 ns
خطا Error	81	0.5057	0.0038
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)		4.43	16.73

**، * و ns به ترتیب معنی دار درسطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد و غیر معنی‌دار

ns, * and ** indicate not significant and the significant differences at 5% and 1% error probability level, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات گیاهچه‌ای بذر چغندرقند در کرج، اردبیل و فیروزکوه در شرایط آزمایشگاه و صفات ظهور گیاهچه در گلخانه

Table 4. Comparison of mean seedling traits of sugar beet seeds in Karaj, Ardabil and Firuzkuh under laboratory conditions and seedling emergence traits in greenhouse.

صفت محیط Trait Environment	صفات گیاهچه‌ای در آزمایشگاه Seedling traits in laboratory							گلخانه greenhouse	صفات شیمیایی بذر Chemical traits of seeds	
	طول ریشه‌چه RL	طول گیاهچه SL	وزن تر گیاهچه SFW	وزن خشک گیاهچه SDW	شاخص بنیه طولی گیاهچه SLVI	شاخص بنیه وزنی SWVI	شاخص بنیه طولی هیوکوتیل HLVI	حداکثر ظهور گیاهچه SEM	هدایت الکتریکی EC	درصد مواد جامد محلول Brix
	سانتی‌متر cm		میلی‌گرم mg					درصد %	میکرو زیمنس بر سانتی‌متر µmhos/cm	%
اردبیلArdabil	7.31b	13.60b	48.10b	1.72b	12.51b	1.57b	57.42a	85.35a	312.93a	0.38a
فیروزکوه Firuzkuh	9.07a	15.61a	56.60a	1.90a	14.57a	1.77a	61.10a	75.90b	229.40b	0.41a
کرج Karaj	8.21ab	14.61ab	48.20b	1.59c	13.84a	1.51b	60.65a	89.90a	184.19c	0.31b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هرستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند

Means in each column followed by not similar letter(s) are significantly different at p< 0.05 level using Duncan test

RL: Radicle length; SL: Seedling length; SFW: Seedling fresh weight; SDW: Seedling dry weight; SLVI: Seedling length vigor index; SWVI: Seedling weight vigor index; HLVI: Hypocotyl length vigor index; SEM: Seedling emergence maximum; EC: Electrical conductivity

۲۰۱۲ ؛ ماتیوس و پاول، ۲۰۰۶؛ اوکلی[1] و همکاران، ۲۰۰۴)، می‌تواند منجر به پتانسیل ظهور گیاهچه پایین اردبیل و بخصوص فیروزکوه نسبت به کرج شده باشد. این یافته با نتایج دیگر پژوهشگران مطابقت داشت (چامونتوفسکی و پودلاسکی[2]، ۲۰۲۰). البته چنانچه پژوهشگران نیز بیان کردند، بنیه بذر، یک ویژگی واحد و قابل اندازه‌گیری نیست، بلکه با جنبه‌های مختلفی از عملکرد بذر مرتبط می‌باشد (فینچ-ساویچ و باسل،۲۰۱۶).

[1] Oakley

[2] Chomontowski and Podlaski

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]

بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کلی نمود که صفات گیاهچه‌ای در شرایط آزمایشگاه و گلخانه که نشان دهنده صفاتی از بنیه بذر می‌باشد، توسط دو عامل اصلی محیط تولید بذر چغندرقند و ژنتیک تعیین می‌شود (فینچ-ساویچ و باسل، ۲۰۱۶؛ پلاتنکمپ و شاو، ۱۹۹۳؛ دونوهو و اشمیت، ۱۹۹۸؛ گالووی، ۲۰۰۱). از طرفی بنیه بذر را به عنوان عملکرد بالقوه بذر در مزرعه می‌توان در نظر گرفت که چنانچه در نتایج اشاره شد، توسط برهمکنش پیچیده بین اجزای ژنتیکی و محیطی تعیین می‌شود(ویتینگتون، ۱۹۷۳؛ هوچکین و هگارتی، ۱۹۷۸). به‌طورکلی در جمع-بندی صفات در جدول ۴، هر ژنوتیپ ویژگی‌های خاص خود را بسته به سه محیط تولید بذر (کرج، اردبیل و فیروزکوه) که در آن رشد کرده و برداشت و منتقل شده، می‌تواند از نظر بنیه بذر متفاوت باشند. این یافته توسط پژوهشگران دیگر نیز بیان شده است(فینچ-ساویچ و باسل، ۲۰۱۶). شاید به همین علت تولید بذر چغندرقند در جهان به نواحی نزدیک دریا و با شرایط اقلیم مدیترانه‌ای با هدف افزایش کیفیت بذر، منتقل شده است (ککلمن و همکاران، ۲۰۱۰). بیشترین و کمترین میانگین طول هیپوکوتیل، طول ریشه‌چه و طول گیاهچه به ترتیب به سینگل‌کراس (231 × 436) SC و (231 × 708) SC مربوط بود. بیشترین و کمترین نسبت طول ریشه‌چه به هیپوکوتیل به سینگل‌کراس (231 × 607) SC، (KWS SC (231 × ، (231 × 708) SC و (231 ×474) SC به ترتیب با ۱/۴۰ ،۱/۳۷ و ۱/۱۷، ۱/۱۱ تعلق داشت (جدول ۵). بالا بودن نسبت طول ریشه‌چه به هیپوکوتیل نیز می‌تواند به عنوان یکی از مولفه‌های بنیه بذر محسوب شود. همچنین بیشترین و کمترین میانگین وزن خشک تک گیاهچه (در ۱۴ روز) به سینگل‌کراس (231 × KWS) SC و SC (231 ×607) به ترتیب با ۱/۸۹ و ۱/۵۹ میلی‌گرم مربوط بود (جدول ۵ و شکل ۱). بنابراین با توجه به نتایج صفات موصوف، سینگل‌کراس (231 × KWS) SC به عنوان سینگل کراس با بنیه بذر بالا نسبت به سیگل‌کراس‌های دیگر انتخاب می‌شود. بیشترین میانگین شاخص طولی بنیه گیاهچه به سینگل‌کراس (231 × 436) SC و SC (231 ×452) مربوط بود. البته دو سینگل‌کراس مذکور با اغلب سینگل‌کراس‌های دیگر، در یک گروه آماری مشابه قرار گرفتند (جدول ۵). کمترین میانگین شاخص بنیه طول گیاهچه به سینگل‌کراس (231 ×708) SC مربوط بود که تفاوتش با مابقی سینگل‌کراس‌های دیگر، معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین میانگین شاخص بنیه طول هیپوکوتیل به ترتیب به سینگل‌کراس‌های (436 × 231) SC و (231 ×708) SC مربوط بود. بر اساس نتایج صفات گیاهچه‌ای اندازه‌گیری شده در شرایط آزمایشگاه، سینگل-کراس‌های حاصل از تلاقی‌ها از نظر خصوصیات بذری دارای تنوع هستند. به نظر می‌توان براساس خصوصیات موصوف برای طبقه‌بندی کردن گیاهچه‌ها به گروه‌های رشدی بنیه ضعیف و قوی و در نهایت ارزیابی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها استفاده و از بین این سینگل‌کراس‌ها برای صفات مورد نظر گزینش انجام داد. پژوهشگران دیگر نیز به گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس سطح بنیه بذر، توصیه نموده‌اند (اوکلی و همکاران، ۲۰۰۴؛ خلیلی اقدم و همکاران، ۲۰۱۲). به‌طورکلی، بر اساس جمع‌بندی سینگل‌کراس‌هایی که میانگین طول گیاهچه و بیوماس بیشتری تولید کردند، می‌توان با محاسبه شاخص‌های طولی و وزنی شاخص بنیه گیاهچه در شرایط آزمایشگاه، رتبه بندی نمود. این روش گروه‌بندی توسط محققین دیگری نیز توصیه شده است همپتون و تکرونی، ۱۹۹۵).

سینگل‌کراس‌های (231 × 436) SC، (231 × 419) SC، (231 × 428) SC و (231 × 261) SC دارای بیشترین سرعت ظهور گیاهچه و در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین سرعت ظهور گیاهچه به سینگل‌کراس-های (231 × 708) SC تعلق داشت. همچنین سینگل-کراس اخیر غیر یکنواخت‌ترین ظهور گیاهچه و پایین‌ترین شاخص وزنی بنیه گیاهچه را داشت (جدول ۶). نتایج ارزیابی صفات گیاهچه‌ای برای سینگل‌کراس (MS SC (231 × 708 در شرایط آزمایشگاه (جدول ۵) که با سطح بنیه ضعیف گروه‌بندی شد، با نتایج گلخانه مطابقت کامل داشت. سینگل‌کراس (231 × KWS) SC به لحاظ سرعت ظهور گیاهچه نسبت به اغلب سینگل‌کراس‌های دیگر پایین بود. لیکن از نظر صفت یکنواختی ظهور گیاهچه فقط به غیر از سینگل‌کراس (231 × 474) SC نسبت به مابقی سینگل‌کراس‌ها برتری معنی‌داری نشان داد. همچنین به لحاظ وزن خشک تک گیاهچه و شاخص وزنی بنیه گیاهچه نسبت به اغلب سینگل‌کراس‌های دیگر برتری معنی‌داری داشت (جدول ۶). البته نتایج برای

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]

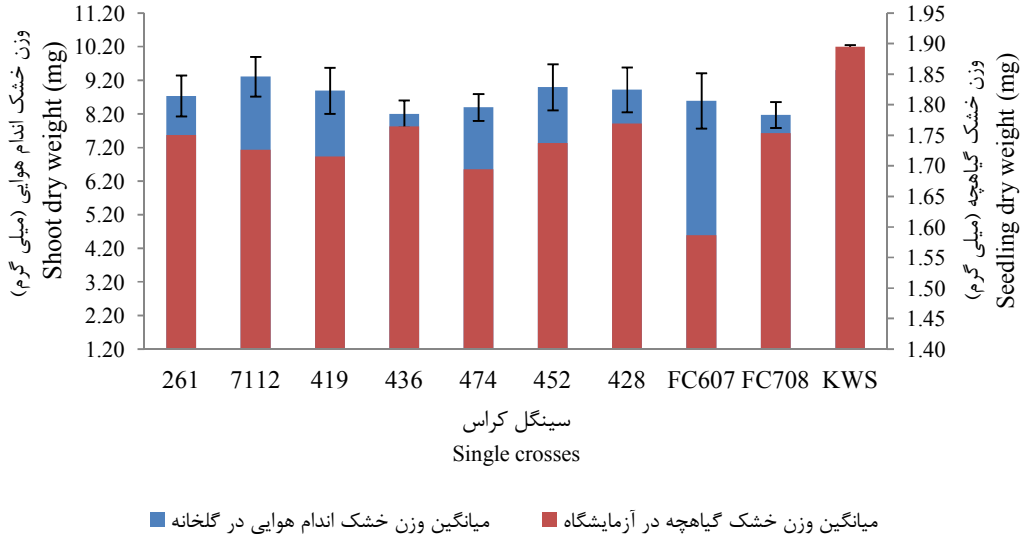
جدول ۵. مقایسه میانگین صفات گیاهچه‌ای بذر چغندرقند در کرج، اردبیل و فیروزکوه در شرایط آزمایشگاه

Table 5. Comparison of the mean seedling traits of sugar beet seeds in Karaj, Ardabil and Firuzkuh under laboratory conditions

سینگل‌کراس Single cross	طول هیپوکوتیل Hypocotyl length	طول ریشه‌چه Radicle length	طول گیاهچه seedling length	نسبت طولی ریشه‌چه به هیپوکوتیل Radicle to hypocotyl length ratio	وزن تر گیاهچه Fresh weight of seedling	وزن خشک گیاهچه Dry weight of seedling	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigor index	شاخص طولی بنیه هیپوکوتیل Hypocotyl length vigor index
	سانتی‌متر cm				میلی‌گرم mg			
SC(261×231)	6.37^{bc}	8.13^{ab}	14.50^{ab}	1.28^{abc}	52.85^{ab}	1.75^{b}	13.79^{ab}	60.16^{ab}
SC(7112×231)	6.34^{bc}	8.48^{a}	14.82^{ab}	1.34^{ab}	50.66^{abc}	1.73^{b}	13.75^{ab}	58.79^{bc}
SC(4192×31)	6.64^{ab}	8.04^{ab}	14.68^{ab}	1.21^{bcd}	51.62^{abc}	1.72^{b}	13.79^{ab}	62.23^{ab}
SC(436×231)	6.99^{a}	8.94^{a}	15.93^{a}	1.28^{abc}	55.46^{a}	1.76^{b}	14.97^{a}	65.59^{a}
SC(474×231)	6.35^{bc}	7.10^{bc}	13.45^{bc}	1.11^{d}	47.03^{c}	1.69^{bc}	12.79^{b}	60.50^{ab}
SC(452×231)	6.52^{bc}	8.56^{a}	15.09^{a}	1.32^{abc}	52.34^{ab}	1.74^{b}	14.66^{a}	63.27^{ab}
SC(428×231)	6.60^{abc}	8.73^{a}	15.33^{a}	1.33^{abc}	53.26^{a}	1.77^{b}	14.45^{ab}	62.32^{ab}
SC(FC607×231)	6.21^{cd}	8.62^{a}	14.83^{ab}	1.40^{a}	47.03^{c}	1.59^{c}	14.39^{ab}	60.23^{ab}
SC(FC708×231)	5.91^{d}	6.89^{c}	12.80^{c}	1.17^{cd}	47.94^{bc}	1.75^{b}	10.98^{c}	50.17^{d}
SC(KWS ×231)	6.17^{cd}	8.49^{a}	14.66^{ab}	1.37^{ab}	51.48^{abc}	1.89^{a}	12.85^{b}	53.96^{cd}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هرستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند

Means in each column followed by not similar letter(s) are significantly different at p< 0.05 level using Duncan test



شکل۱. مقایسه ماده خشک اندام هوایی و وزن خشک گیاهچه سینگل‌کراس‌های مختلف چغندرقند به ترتیب در شرایط در شرایط گلخانه (محور عمودی سمت چپ) و آزمایشگاه (محور عمودی سمت راست)

Figure 1. Comparison of shoot dry matter and seedling dry weight of different sugar beet single crosses in greenhouse (left vertical axis) and laboratory (right vertical axis) conditions respectively.

سینگل‌کراس SC (KWS × 231) در شرایط آزمایشگاه نیز همانند نتایج گلخانه، بیشترین ماده خشک را به خود اختصاص داد (جدول ۵ و ۶). بر اساس نتایج صفات اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و گلخانه، امکان رتبه بندی سینگل‌کراس‌ها بر اساس گروه‌های رشد ضعیف و قوی گیاهچه‌ها وجود دارد. این یافته را پژوهشگران دیگر مبنی بر اینکه بذرهای کم بنیه مسئول کاهش رشد کلی محصول بوده، تاکید کرده‌اند (ادبیسی و همکاران، ۲۰۱۳؛ امبیکا و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین، با توجه به نتایج صفات گیاهچه‌ای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و صفات

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات مختلف ظهور گیاهچه بذر چغندرقند در کرج، اردبیل و فیروزکوه در شرایط گلخانه

Table 6. Comparison of the mean different seedling emergence traits of sugar beet seeds in Karaj, Ardabil and Firuzkuh under greenhouse conditions

سینگل‌کراس Single cross	سرعت ظهور گیاهچه Seedling emergence rate (1/h) ساعت/۱	یکنواختی ظهور گیاهچه Uniformity of seedling emergence ساعت (h)	میانگین زمان ظهورگیاهچه Mean seedling emergence time روز (day)	وزن خشک تک گیاهچه Dry weight of seedling میلی‌گرم (mg)	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling weight vigor index
SC(231*261)	0.00855^{ab}	47.18^{bc}	5.62^{bcd}	8.74^{abc}	7.38^{abc}
SC(231*7112)	0.00843^{abc}	43.64^{bc}	5.66^{bcd}	9.31^{ab}	7.60^{ab}
SC(231*419)	0.00863^{a}	46.63^{bc}	5.54^{d}	8.89^{abc}	7.48^{ab}
SC(231*436)	0.00878^{a}	50.54^{b}	5.51^{d}	8.20^{c}	6.69^{bc}
SC(231*474)	0.00849^{ab}	41.01^{c}	5.56^{cd}	8.40^{bc}	7.15^{abc}
SC(231*452)	0.00852^{ab}	48.75^{bc}	5.60^{bcd}	8.99^{abc}	7.07^{bc}
SC(231*428)	0.00857^{ab}	44.02^{bc}	5.53^{d}	8.92^{abc}	7.43^{abc}
SC(231*FC607)	0.00823^{bc}	45.82^{bc}	5.77^{bc}	8.59^{abc}	7.63^{ab}
SC(231*FC708)	0.00778^{d}	59.62^{a}	6.25^{a}	8.17^{c}	6.31^{c}
SC(231*KWS)	0.00874^{c}	43.38^{bc}	5.80^{b}	9.51^{a}	8.26^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هرستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند

Means in each column followed by not similar letter(s) are significantly different at p< 0.05 level using Duncan Test

اندازه‌گیری شده در گلخانه که در بالا تشریح شد، همچنین کیفیت بذر بر اساس صفات رشد گیاهچه که شامل میانگین طول هیپوکوتیل، طول ریشه‌چه و طول گیاهچه (طول هیپوکوتیل بعلاوه طول ریشه‌چه) و نسبت طول ریشه‌چه به طول هیپوکوتیل که نشان دهنده سرعت و یکنواختی رشد گیاهچه است، می‌تواند ارزیابی شود (ساکو[1] و همکاران، ۲۰۰۴).

شاید بتوان نتیجه گرفت که بر آیند صفات مذکور در میانگین وزن خشک گیاهچه نمایان شده است (شکل ۱). اندازه‌گیری صفات گیاهچه‌ای نسبت به آزمون جوانه‌زنی اهمیت بیشتری دارد زیرا در شرایط بهینه، بذرها از منابع مختلف ممکن است منجر به سطوح بالای جوانه‌زنی مشابه شوند. اما، همین بذرها در شرایط مزرعه ممکن است عملکرد متفاوتی برای ایجاد گیاهچه به دلیل تفاوت در بنیه بذر آنها، داشته باشند. این موضوع توسط پژوهشگران دیگری نیز تاکید شده است (فینچ-ساویچ و باسل، ۲۰۱۶).

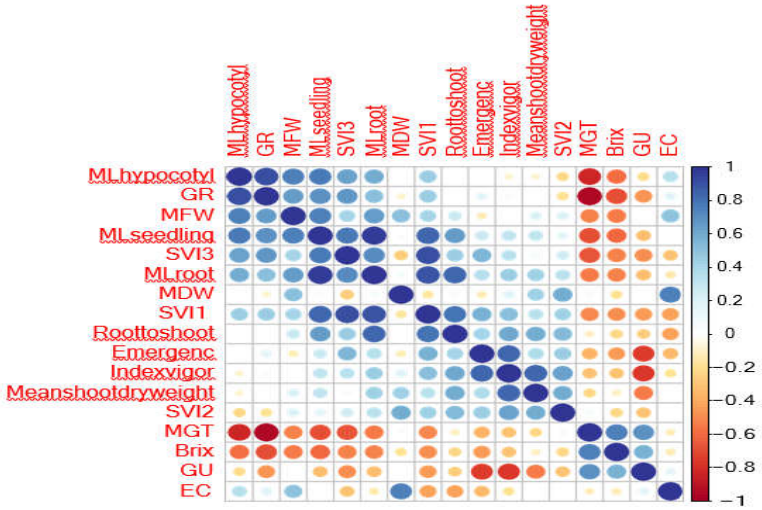
نتایج نشان داد که با کاهش درصد مواد جامد محلول روی پریکارپ بذر چغندرقند (مواد بازدارنده جوانه‌زنی)، پتانسیل ظهور گیاهچه (**۰/۴۵-) و سرعت ظهور گیاهچه (**۰/۷۰-) افزایش، میانگین زمان ظهور گیاهچه (**۰/۷۵+) و یکنواختی ظهور گیاهچه (**۰/۵۷+) در شرایط گلخانه کاهش معنی‌داری داشت (شکل ۲). به طورکلی ژنوتیپ‌های با ویژگی هدایت الکتریکی و درصد مواد جامد محلول روی پریکارپ بذر پایین، نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها در شرایط گلخانه سریع‌تر جوانه زده و در زمان کمتری سبز شدند. بنابراین، بنیه پایین بذر به هم موجب کاهش درصد گیاهچه‌های ظاهر شده و هم کاهش سرعت رشد و یکنواختی گردید. این یافته توسط پژوهشگران دیگر گزارش شده است (ریچاردز[2] و همکاران، ۱۹۹۹). میرزایی و بابایی[3] (۲۰۲۲) گزارش کردند که با کاهش درصد مواد جامد محلول بذر چغندرقند درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی در شرایط آزمایشگاه افزایش می‌یابد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. همبستگی مثبت (**۰/۷۵+) درصد مواد جامد محلول با میانگین وزن خشک گیاهچه در شرایط آزمایشگاه مشاهده شد (شکل ۲). گزارش شده بنیه پایین بذر چغندرقند با محتوای مواد شیمیایی غیر آلی بیشتر در پریکارپ که مرتبط به هدایت الکتریکی بالاتر بذر است، مربوط می-باشد (چومونتواسکی و پوداسکی، ۲۰۲۰). دیگر پژوهشگران نیز قبلا میزان هدایت الکتریکی عصاره بذر

[1] Sako

[2] Richards

[3] Mirzaei and Babaee

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]



شکل ۲. همبستگی بین صفات هدایت الکتریکی و درصد مواد جامد محلول (بریکس)، صفات مختلف ظهور گیاهچه و صفات گیاهچه‌ای بذر سینگل کراس های چغندرقند

Figure 2. Correlation between electrical conductivity and percentage of solids soluble (Brix) traits, different seedling emergence traits, and seedling traits of single cross hybrids.

میانگین طول هیپوکوتیل Hypocotyl، میانگین طول ریشه Mean length root، میانگین طول گیاهچه Mean length seedling، نسبت ریشه به اندام هوایی Root to shoot، میانگین وزن تر Mean fresh weight، میانگین وزن خشک Mean dry weight، شاخص طولی بنیه گیاهچه SVI1، شاخص وزنی بنیه گیاهچه SVI2، شاخص طولی بنیه هیپوکوتیل SVI3، هدایت الکتریکی EC، درصد مواد جامد محلول Brix، پتانسیل ضهور گیاهچه emergence، سرعت ظهور گیاهچه Gr، میانگین زمان ظهور گیاهچه MGT، یکنواختی ظهور گیاهچه GU، میانگین وزن خشک اندام هوایی در گلخانه mean shoot dry weight و شاخص بنیه Index vigor

بالا را به عنوان کیفیت نامطلوب و بنیه پایین بذر گزارش کردند (داسیلوا و همکاران، ۲۰۱۲ ؛ دورانت و لود[1]، و ۱۹۹۰؛ میلوسویچ[2] و همکاران، ۲۰۱۰). همبستگی معنی‌داری بین سرعت ظهور گیاهچه و میانگین زمان ظهور گیاهچه در گلخانه با طول هیپوکوتیل در آزمایشگاه به ترتیب مثبت (**۰/۹۱+) و منفی (**۰/۸۲-) مشاهده شد (شکل ۲). در واقع ژنوتیپ‌هایی که طول هیپوکوتیل بیشتری در آزمایشگاه داشتند، ظهور گیاهچه سریعتری در گلخانه نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها دارا بودند. در آزمایشگاه ژنوتیپ‌هایی که طول ریشه‌چه، طول گیاهچه نسبت طول ریشه‌چه به هیپوکوتیل بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر داشتند، میانگین وزن خشک اندام هوایی و شاخص وزنی بنیه گیاهچه آنها در گلخانه با افزایش معنی‌دار نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر همراه بود. همبستگی مثبت و معنی-داری بین شاخص بنیه طول گیاهچه (SVI1) و شاخص بنیه وزنی گیاهچه (SVI2) اندازه گیری شده در آزمایشگاه با میانگین وزن خشک اندام هوایی در شرایط گلخانه به ترتیب *۰/۳۳+ و **۰/۵۸+ مشاهده شد (شکل ۲).

نتیجه گیری

ژنوتیپ‌ها به لحاظ خصوصیات بذری و محیط مادری که در آن بذر رشد نموده، متفاوت بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که بنیه پایین بذر و عملکرد ضعیف بذر می‌تواند هم درصد پتاسیل ظهور گیاهچه و هم سرعت و یکنواختی ظهور گیاهچه را نسبت به بذرهای با بنیه قوی کاهش دهد. البته ارزیابی بنیه و کیفیت بذر چغندرقند که یک صفت پیچیده بوده، برای طبقه‌بندی و غربال کردن ژنوتیپ‌ها در پیش‌بینی عملکرد بذر برای دست‌یابی به عملکرد مطلوب ریشه چغندرقند در زمان برداشت بسیار اهمیت دارد. صفات گیاهچه‌ای که نشان دهنده صفاتی از بنیه بذر می‌باشد، تا حد زیادی تحت تاثیر محیط تولید بذر چغندرقند و نیز ژنتیک می‌باشد.

[1] Durrant and Load
[2] Milosevic

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]

بر اساس نتایج این تحقیق همبستگی معنی‌داری بین صفات گیاهچه‌ای در آزمایشگاه با صفات مختلف ظهور گیاهچه در گلخانه و شیمیایی بذر وجود دارد. ژنوتیپ‌هایی با هدایت الکتریکی و درصد مواد جامد محلول روی پریکارپ بذر پایین در شرایط گلخانه سریع‌تر جوانه زده و در زمان کمتری سبز شدند. از صفات گیاهچه‌ای و مشخصات شیمیایی بذر چغندرقند برای پیش‌بینی وضعیت ظهور گیاهچه در گلخانه و شاید در مزرعه می‌توان استفاده و توصیه نمود.

منابع

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

Adebisi, M.A., Kehinde, T.O., Salau, A.W., Okesola, L.A., Porbeni, J.B.O., Esuruoso, A.O. and Oyekale, K.O. 2013. Influence of different seed size fractions on seed germination, seedling emergence and seed yield characters in tropical soybean (*Glycine max* L. Merrill). International Journal of Agricultural Research, 8: 26-33. https://doi.org/10.3923/ijar.2013.26.33

Agrawal, R. 2003. Seed Technology. Pub. Co. PVT. LTD. New Delhi. India.

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

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

Bayat, P., Ghobadi, M., Ghobadi, M.E. and Mohammadi, G.h.R. 2016. Evaluation the ability of standard germination test to predict emergence and establishment of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seedlings in field. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 5(1): 27-38. [In Persian]

Bettey, M., Finch-Savage, W.E., King G.J. and Lynn J.R. 2000. Quantitative genetic analysis of seed vigour and pre-emergence seedling growth traits in *Brassica oleracea* L. New Phytologist, 148: 277-286. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00760.x

Bradford, K.J., Steiner, J.J. and Trawatha, S.E. 1990. Seed priming influence on germination and emergence of pepper seed lots. Crop Science, 30: 718-721. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000030049x

Catusse, J., J.M. Strub., C. Job; A. V. Dorsselaer and Job, D. 2008. Proteome-wide characterization of sugar beet seed vigor and its tissue specific expression. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105(29): 10262-10267. https://doi.org/10.1073/pnas.0800585105

Chgini, M.A. 1999. Effect of environment (temperature and photoperriod) on bolting, flowering and seed production in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) Ph.D. dissertation, The University of Reading. UK.

Chomontowski, C. and Podlaski, S. 2020. Impact of sugar beet seed priming using the SMP method on the properties of the pericarp. BMC Plant Biology, 20(32): 1-9. https://doi.org/10.1186/s12870-020-2246-4

da Silva, C.B., Lopes, M.D.M., Marcos-Filho, J. and Vieira, R.D. 2012. Automated system of seedling image analysis (SVIS) and electrical conductivity to assess sun hemp seed vigor, Revista Brasileira de Sementes, 34: 55-60. https://doi.org/10.1590/S0101-31222012000100007

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]

da Silva, L.J., de Medeiros, A.D. and Oliveira, A.M.S. 2019. Seed Calc, a new automated R software tool for germination and seedling length data processing. Journal of Seed Science, 41(2): 250-257. https://doi.org/10.1590/2317-1545v42n2217267

Donohue, K. and Schmitt, J. 1998. Maternal environmental effects in plants: Adaptive plasticity? In Mousseau T. A., Fox, C.W. (eds.), Maternal Effects as Adaptations, Oxford University Press, Oxford, UK, Pp. 137-158. https://doi.org/10.1093/oso/9780195111637.003.0009

Dornbos, D.L. 1995. Production environment and seed quality. In: Basra, A.S. (eds.), Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications, New York, Haworth Press, Pp. 119-145. https://doi.org/10.1201/9781003075226-4

Durrant, M.J. and Loads, A.H. 1990. Some changes in sugar beet seeds during maturation and after density grading. Seed Science and Technology, 18: 11-21.

Finch-Savage, W. E. and Bassel, G.W. 2016. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. Journal of Experimental Botany, 67(3): 567-591. https://doi.org/10.1093/jxb/erv490

Finch-Savage, W.E. 1995. Influence of seed quality on crop establishment, growth and yield. In: Basra, A.S. (eds.), Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications, New York, Haworth Press, Pp. 361-384. https://doi.org/10.4324/9781003075226-11

Galloway, L.F. 2001. The effect of maternal and paternal environments on seed characters in the herbaceous plant *Campanula americana* (Campanulaceae). American Journal of Botany, 88(5): 832-840. https://doi.org/10.2307/2657035

Hampton, J.G. and Tekrony, D.M. 1995. Handbook of vigour test Methods. 3rd Edition, The International Seed Testing Association, Zurich.

Hodgkin, T. and Hegarty, T.W. 1978. Genetically determined variation in seed germination and field emergence of *Brassica oleracea*. Annals of Applied Biology, 88: 407-413. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1978.tb00732.x

ISTA. 2006. International Rules for Seed Testing. Edition. International Seed Testing Association, Switzerland.

Jalilian, A., Dabiri, V., Khurgami, A., Basati, J. and Uosefabadi, V. 2012. Study of germination and emergence of monogerm seed of sugar beet cultivars under moisture stress. Journal of Sugar Beet, 27(2): 135-152. [In Persian]

Kandasa, S., Weerasuriya, N., Gritsiouk, D., Saldias, S., Patterson, G., Shimaila, A. and Lazarovits, G. 2020. Size variability in seed lot impact seed nutritional balance, seedling vigor, microbial composition and plant performance of common corn hybrids. Agronomy, 10(2): 157. https://doi.org/10.3390/agronomy10020157

Khaliliaqdam, N., Soltani, A., Latifi, N. and Ghaderi-Far, F. 2012. Effect of environmental conditions on soybean seed vigor in different area of Iran. Crop Production, 5(4): 87-104. [In Persian]

Kim, S.H., Choe, Z.R., Kang, J.H., Copeland, L.O.and Elias, S.G. 1994. Multiple seed vigour indices to predict field emergence and performance of barley. Seed Science and Technology, 22: 29-38.

Kockelmann, A., Tilcher, R. and Fischer, U. 2010. Seed production and processing. Sugar Tech, 12(3-4): 267-275. https://doi.org/10.1007/s12355-010-0039-z

Matthews, S. and Powell, A. 2006. Electrical conductivity vigour test: Physiological basis and use. Seed Science, 131: 32-35.

Matthews, S., Noli, E., Demir, I., Khajeh Hosseini, M. and Wagner, M.H. 2012. Evaluation of seed quality: from physiology to international standardization. Seed Science Research, 22: S69-S73. https://doi.org/10.1017/S0960258511000365

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]

Milosevic, M., Vujakovic, M. and Karagic, D. 2010. Vigour tests as indicators of seed viability. Genetika, 42(1): 103-118. https://doi.org/10.2298/GENSR1001103M

Mirzaei, M.R., and Babaee, B. 2022. Effect of environment and maternal plant on seed density andcorrelation with sugar beet (*Beta vulgaris*) germination traits. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 11(3): 73-88. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijsst.2021.355382.1403

Norden, N., Daws, M.I., Antoine, C., Gonzalez, M.A., Garwood, N. C. and Chave, J. 2009. The relationship between seed mass and mean time to germination for 1037 tree species across five tropical forests. Functional Ecology, 23: 203-210. https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01477.x

Oakley, K., Kester, S.T. and Geneve, R.L. 2004. Computer-aided digital image analysis of seedling size and growth rate for assessing seed vigour in Impatiens. Seed Science and Technology, 32: 907-915. https://doi.org/10.15258/sst.2004.32.3.18

Paravar, A., Maleki Farahani, S., Adetunji, A.E., Oveisi, M. and Piri, R. 2023. Effects of seed moisture content, temperature, and storage period on various physiological and biochemical parameters of *Lallemantia iberica* Fisch. & CA Mey. Acta Physiologiae Plantarum, 45(9): 1-15. https://doi.org/10.1007/s11738-023-03581-0

Platenkamp, G.A.J. and Shaw, R.G. 1993. Environmental and genetic maternal effects on seed characters in Nemophilamenziesii. Evolution, 47: 540-555. https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1993.tb02112.x

Ranal, M., Santana, D.G., Ferreira, W.R. and Mendes-Rodrigues, C. 2009. Calculating germination measurements and organizing spreadsheets. Revista Brazilian Journal of Botany, 32: 849-855. https://doi.org/10.1590/S0100-84042009000400022

Richards, R. A., Codon, A.G., and Rebetzke, G.J. 1999. Traits to improve yield in dry environments In: Reyndds, M., I. Ortiz-Monasterio and A. McNab, eds. Applying physio to wheat breeding Mexico: CIMMYT.

Sako, Y., Hoffmaster A., Fujimura, K., McDonald, M.B. and Bennett, M.A. 2004. Computer applications in Seed Technology. Publication supported by Can. Int. Dev. Agency (CIDA). https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.631.1

Soltani, E., Soltani, A. and Oveisi, M. 2013. Modeling seed aging effect on wheat seedling emergence in drought stress: Optimizing Germin program to predict emergence pattern. Crops Improvement, 15: 147-160. [In Persian].

Still, D.W. and Bradford, K.J. 1998. Using hydrotime and ABA-time models to quantify seed quality of Brassicacea during development. Journal of the Society of Horticultural Science, 123: 692-699. https://doi.org/10.21273/JASHS.123.4.692

Tekrony, D.M. and Egli, D.B. 1997. Accumulation of Seed Vigour During Development and Maturation. In: Ellis R.H., Black, M., Murdoch, A.J. and Hong, T.D. (eds.), Basic and Applied Aspects of Seed Biology, Dordrecht, Kluwer, Pp. 369-384. https://doi.org/10.1007/978-94-011-5716-2_41

Whittington, W.J. 1973. Genetic Regulation of Germination. In: Heydecker, W. (eds.), Seed Ecology, London, Butterworths, Pp. 5-30.

Zhang, A., Liu, C., Chen, G., Hong, K., Gao, Y., Tian, P., Peng, Y., Zhang, B., Ruan, B. and Jiang, H. 2017. Genetic analysis for rice seedling vigor and fine mapping of a major QTL qSSL1b for seedling shoot length. Breeding Science, 67: 307-315. https://doi.org/10.1270/jsbbs.16195

Zhao, X., Chul Joo, J., Kim, D., Lee, J.K. and Young Kim, J. 2016. Estimation of the seedling vigor index of sunflowers treated with various heavy metals. Journal of Bioremediation and Biodegradation, 7(3): 1-6. https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000353

[DOI: 10.61882/yujs.11.2.95]