"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد یازدهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱
(ص ۸۸-۷۳)
مقاله پژوهشی

Iranian Journal of
Seed Science and Technology
Vol.: 11, No.: 3, Autumn 2022
(pp: 73-88)
DOI: 10.22092/ijsst.2021.355382.1403
Research Article

تاثیر محیط و پایه‌های مادری بر چگالی بذر و ارتباط آن با صفات جوانه‌زنی چغندرقند (*Beta Vulgaris*)

محمدرضا میرزایی[1*]، بابک بابایی[1]

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

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۴)

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل دست‌یابی به عملکرد مطلوب ریشه چغندرقند و موثر بر رسیدگی و یکنواختی اندازه ریشه‌ها در زمان برداشت مکانیزه، جوانه‌زنی یکنواخت بذر به واسطه استفاده از بذر با کیفیت است. از عوامل تعیین کننده کیفیت بذر چغندرقند، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بذر است. برای این منظور، صفات فیزیکی و شیمیایی بذر چغندرقند و ارتباطش با صفات جوانه‌زنی مطالعه شد. این صفات بر روی ده سینگل کراس که از سه منطقه اردبیل، فیروزکوه و کرج به دست آمده بود، مورد مقایسه قرار گرفت. این مطالعه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. نتایج نشان داد که چگالی حجمی، چگالی واقعی و هدایت الکتریکی بذر چغندرقند تحت اثر متقابل محیط و ژنوتیپ می‌باشد. درصد مواد جامد محلول روی پریکارپ بذر چغندرقند (مواد بازدارنده جوانه‌زنی) فقط تحت تاثیر محیط تولید بذر بود. ژنتیک و شرایط محیطی حاکم بر طول مدت رشد و نمو بذر چغندرقند بر روی گیاه مادر، بر درصد، سرعت و میانگین زمان جوانه‌زنی موثر بودند. اما یکنواختی جوانه‌زنی بذر چغندرقند فقط تحت تأثیر ژنوتیپ بود. از طرفی همبستگی بین چگالی واقعی، چگالی حجمی، تخلخل، میزان درصد مواد جامد محلول پریکارپ و هدایت الکتریکی بذر چغندرقند با برخی صفات جوانه‌زنی، معنی‌دار بود. اما صفت یکنواختی جوانه‌زنی هیچ همبستگی با صفات فیزیکی و شیمیای بذر نداشت. افزایش چگالی پریکارپ بذر موجب کاهش عوامل کاهنده کیفیت بذر از جمله هدایت الکتریکی بذر و درصد مواد جامد محلول بر روی پریکارپ شد. بنابراین یکنواختی جوانه‌زنی که کمتر تحت تاثیر محیط است، می‌تواند در بر نامه‌های اصلاحی به عنوان یک شاخص انتخاب کیفیت بذر، استفاده شود. صفات فیزیکی و شیمیایی که همبستگی معنی داری با صفات جوانه‌زنی دارند، در مدیریت تولید بذر چغندرقند با هدف افزایش ضریب استحصال و کیفیت بذر چغندرقند، قابل توصیه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: پریکارپ ، چگالی حجمی، چگالی واقعی، هدایت الکتریکی، یکنواختی جوانه‌زنی

Effect of environment and maternal plant on seed density and correlation with sugar beet (*Beta Vulgaris*) germination traits

M.R. Mirzaei[1*], B. Babaee[1]

1. The faculty of plant breeding department of sugar beet seed institute,Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO) Karaj, Iran

(Received: Aug. 01, 2021 – Accepted: Nov. 15, 2021)

Abstract

One of the most important factors in achieving optimal yield of sugar beet root and affecting the ripening and root size uniformity during mechanized harvesting, germination uniformity through the use quality seeds. Of factors determining the quality of sugar beet seeds is the physical and chemical properties of the seeds. For this purpose, the physical and chemical characteristics of sugar beet seed and its relationship with germination traits was studied. This traits were evaluated on 10 sugar beet singles crosses obtained from three locations including Ardabil, Firuzkuh, and Karaj. This study was conducted in a randomized complete block design with four replications in 2014. Results showed that bulk density, true density and electrical conductivity are influenced by environment and genotype. Percentage of solids soluble in sugar beet pericarp (germination inhibitors) it was only affected by the seed production environment. Genetics and environmental conditions on the maternal plant during seed development and maturing were effective on germination percentage, germination velocity and mean germination time. But the germination uniformity of sugar beet seeds was only affected by genotype. On the other, the correlation between bulk density, true density, electrical conductivity, porosity and percentage of solids in pericarp solution of sugar beet seeds with some germination traits was significant. But, the germination uniformity had no correlation with the physical and chemical properties of the seed. Increased density of the seed pericarp caused a decrease of seed quality factors including electrical conductivity and percentage of solids solution on pericarp. Therefore, germination uniformity, which is less affected by the environment, can be used in breeding programs as an indicator of seed quality selection. Physical and chemical traits that was a significant correlation with germination traits, in the management of sugar beet seed production with the aim of increasing the extraction coefficient and quality of sugar beet seeds are recommended.

Key words: bulk density, electrical conductivity, germination uniformity, pericarp, true density

* Email: mirzaie_1346@yahoo.com

مقدمه

آب یکی از عوامل اساسی و تعیین کننده فرآیند جوانه‌زنی است. لیکن دسترسی به آب توسط خصوصیات محیط جوانه‌زنی، صفات مورفولوژی، آناتومی و فیزیکوشیمیایی بذر چغندرقند، تعیین می‌شود (Chomontowski and Podlaski, 2020; Hadas, 2004). پریکارپ چغندرقند به عنوان بافت میوه، می‌تواند جذب آب و اکسیژن را به داخل بذر محدود نماید. کلاهک بذر چغندرقند (operculum)، که از کلاهک تخمدان میوه ایجاد شده، بخش فوقانی پریکارپ را تشکیل می‌دهد (Hermann *et al*., 2007; Ignatz *et al*., 2019). در طرف مقابل کلاهک، محل اتصال میوه به شاخه وجود دارد که به آن پایه منافذ گفته می‌شود. در واقع این قسمت با یک ساختار منفذ مانند از سلولهای سست در قسمت پایین پریکارپ پر شده است. پایه منافذ، احتمالا مهمترین مکان برای جاری شدن آب به بذر است (Ignatz *et al*., 2019). هر دو قسمت مذکور به عنوان ورودی‌های اصلی آب و اکسیژن به بذر معرفی شده‌اند (Hermann *et al*., 2007; Richard *et al*., 1989; Santos and Pereira, 1989). ساختار پریکارپ، اندازه منافذ و درجه پرشدن بافت آن از طریق ژنوتیپ مادر و ژنتیکی تعیین می‌شود. پریکارپ شامل سه لایه است. اولین لایه در مجاورت حفره بذر از اسکلرئیدهای کوچک با دیواره چند لایه ضخیم ساخته شده است. بلورهای بزرگ و منفردی از ترکیبات شیمیایی در این لایه وجود داشت. لایه میانی پریکارپ از اسکلرئیدها با دیواره‌های سلولی نازک تر ساخته شده است. در داخل این اسکلرئیدها، مجموعه ای از کریستال‌های کوچک و متعدد از ترکیبات شیمیایی وجود داشت. لایه دوم پریکارپ به تدریج به لایه سوم که از سلول‌های پارانشیم ساخته شده است، می‌رود (Hermann *et al*., 2007; Lukaszewska and Sliwinska, 2007; Chomontowski and Podlaski, 2020). ضخامت پریکارپ بذر چغندرقند در دامنه بین ۰/۶ تا ۰/۹۶ میلی‌متر است. نسبت ضخامت لایه پارانشیم به لایه اسکلرانشیم، چگالی، پتانسیل آب و میزان جریان آب از طریق پریکارپ را تعیین نمود. چگالی پریکارپ از ۰/۵۶ تا ۱/۱۰ گرم بر سانتی‌مترمکعب متغیر بود. ازآنجا که بافت پارانشیم پریکارپ سست است و بافت اسکلرانشیم پریکارپ فشرده و متراکم است، بافت اسکلرانشیم نسبت به ضخامت کل پریکارپ، ضخیم تر است (Chomontowski and Podlaski, 2020). تجزیه و تحلیل اشعه ایکس از بلورهای ترکیب شیمیایی پریکارپ نشان داد که شامل عناصر زیر می‌باشد: پتاسیم، کلسیم، منیزیم، فسفر، کلر و گوگرد. بر اساس تجزیه و تحلیل مواد جامد محلول روی پریکارپ بذر، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم در بین کاتیون‌ها غالب هستند، در حالیکه نیترات، کلرید، فسفات و اگزالات سولفات در بین آنیون‌ها غالب هستند (Inoue and Yamamoto, 1974; Inoue and Yamamoto, 1975; Juntilla, 1976). پژوهشگران دیگر، بازدارنده‌های پریکارپ چغندرقند و چغندر قرمز را یون‌های غیر آلی معرفی کردند. از جمله کاتیون‌های مختلف (عمدتا سدیم و پتاسیم) و آنیون‌ها (عمدتا کلر و اگزالات) بودند (Junttila, 1976; Morris *et al*., 1984; Podlaski and Chrobak, 1986).

برای جوانه‌زنی بذر، جریان آب از طریق پریکارپ مهم است. یکی از معیارهای اندازه گیری جریان آب، ضریب انتشار آن است. بنابراین، می‌توان بیان کرد که پریکارپ در جوانه‌زنی و رشد گیاهچه چغندر قند نقش بسیار مهمی دارد (Blunk *et al*., 2017; Hadas, 2004). رابطه بین جذب آب میوه و بلوغ میوه نیز توسط سلیمی و بولت (Salimi and Boelt, 2019) بیان شده است که میزان آب بیشتری در میوه‌های نارس را ذکر کردند. مقدار آب و پتانسیل آب در پریکارپ و بذر با هدایت الکتریکی بذر مرتبط بود. این میزان را می‌توان با مقدار مهارکننده‌های جوانه‌زنی در اشکال نمک‌های غیر آلی اندازه گیری کرد. مقدار این مهارکننده‌ها عمدتا به شرایط محیطی در طی بلوغ

و سطح بلوغ بذر بستگی داشت (Salimi and Boelt, 2019; Podlaski and Chrobak, 1986). از هدایت الکتریکی بذر می‌توان به عنوان آزمایش قدرت بذر نخود (Cicer arietinum)، سویا (*Glycine max*)، نخود فرنگی (*Pisum sativum*)، چغندرقند (*Beta Vulgaris*) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) استفاده کرد. افزایش میزان آب در پریکارپ همراه با کاهش محتوای آب در جنین بذر چغندرقند، شواهدی از مشکلات جریان آب در پریکارپ بود که با کاهش مقدار ضریب نفوذ آب به پریکارپ را اثبات کرد. افزایش مقدار آب پریکارپ میوه‌هایی با بنیه پایین، با کاهش مقدار پتانسیل آب در پریکارپ همراه بود. به احتمال زیاد، پتانسیل پایین آب در اثر تشکیل محلول اسمزی حاصل از بلورهای حل کننده ترکیبات شیمیایی ایجاد شده بود. همچنین هدایت الکتریکی بالا بذر چغندرقند با بنیه بذر پایین همراه بود. از طرف دیگر، بنیه پایین بذر منجر به افزایش رطوبت پریکارپ و کاهش رطوبت بذر و همچنین با پتانسیل آب کمتر در پریکارپ و بذر چغندرقند، همراه بود (Chomontowski and Podlaski, 2020). تمام روش‌های مورد استفاده در تیمار بذر چغندرقند باعث تغییر در ویژگی‌های پریکارپ، مانند پتانسیل آب ، چگالی، رطوبت و مقدار مواد شیمیایی و در نتیجه هدایت الکتریکی آب بذر، شدند (Orzeszko-Rywka and Podlaski, 2003). ژنوتیپ‌هایی از سویا که دارای پوسته بذر با چگالی بالا و منافذ عمیق و باز بود، با نفوذ پذیری سریع پوسته ارتباط داشت (Chachalis and Smith, 2001).

کیفیت محصول ابتدا تحت تأثیر عوامل ژنتیک و محیط (Górnik and Grzesik, 1998; Nik *et al*., 2011) و سپس تحت تأثیر عواملی مانند ترکیب شیمیایی خاک، کوددهی، در دسترس بودن آب، و محل قرارگرفتن بذرها بر روی گیاه مادر بود (Schopfer *et al*., 2001; Martinez-Villaluenga *et al*., 2016; Grzesik *et al*., 2012; Gruszecki, 2013). وضعیت آب و هوایی (مانند تغییرات دما، مجموع بارندگی و توزیع آن، رطوبت نسبی و نظایر آن اغلب به مقدار قابل ملاحظه‌ای بین سال‌ها و بین محیط‌های مختلف تغییر می‌کند. این تغییرات در هر اقلیم عامل اصلی تفاوت در عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی بین سال‌ها و منطقه مختلف محسوب می‌شوند (platenkamp and shaw, 1993; Donohue and smith, 1998; Galloway, 2001). محیط پایه پدری و مادری بطور مستقل بر خصوصیات بذر موثر بودند (Galloway, 2001).

جوانه‌زنی زمانی اتفاق می‌افتد که رشد جنین بر محدودیت‌های دیواره میوه اطراف بذر چغندرقند غلبه کند. در خلال جذب آب در بذر چغندرقند، قبل از شروع به ترک خوردن بذر، روند جوانه‌زنی آغاز می‌شود (Blunk *et al*., 2017). بهره‌وری جوانه‌زنی، توسط ابعاد و جرم بذر تعیین می‌شود. بذرهای بزرگ‌تر و سنگین‌تر، سریع‌تر و درصد بیشتری جوانه می‌زنند که به عملکرد محصول بالاتر کمک می‌کند. به نظر می‌رسد بین جوانه‌زنی و جرم بذر، ارتباط باشد. زیرا بذرهای سنگین دارای عناصر غذایی بیشتری برای جوانه زدن ذخیره نمودند (Amin and Brinis, 2013; Sadeghi *et al*., 2011). در تحقیقی ۷۵ هیبرید چغندرقند حاصل از تلاقی ۵ اتایپ (O-type) و ۱۵ نرعقیم (CMS) که هر دو دیپلویید بودند و بر اساس آنالیز ژنتیکی، واریانس افزایشی برای طول ریشچه، طول هیپوکوتیل، یکنواختی جوانه‌زنی و وزن هزار دانه، معنی‌دار بود. همچنین همبستگی سرعت جوانه‌زنی و طول هیپوکوتیل با یکنواختی جوانه‌زنی به ترتیب مثبت و منفی بود. همبستگی درصد جوانه‌زنی با وزن جنین منفی و معنی‌دار بود. همواره همبستگی بین وزن ۱۰۰۰جنین بذر با وزن ۱۰۰۰ دانه بذر مثبت بود. بنابراین می‌توان از صفات بذری در انتخاب و هتروزیست برای برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد (Yousefabadi and Rajabi, 2012).

یکنواختی ظهور گیاهچه در زراعت چغندرقند، علاوه بر درصد ظهور گیاهچه بر عملکرد کمی و کیفی نهایی محصول بسیار مهم است. نتایج تحقیقی نشان داد که همبستگی بین درصد جوانه‌زنی در آزمایشگاه و درصد

ظهور گیاچه در مزرعه (۰/۶۵+) معنی‌دار بود. علاوه بر این، همبستگی بین یکنواختی جوانه‌زنی در آزمایشگاه و درصد ظهور گیاهچه در مزرعه (۰/۷۵+) نیز معنی‌دار بود (Alipour *et al*., 2019).

کنترل کیفیت بذر چغندرقند را می‌توان از طریق درصد توانایی جوانه‌زنی روز چهارم، چهاردهم، میانگین زمان جوانه‌زنی، هدایت الکتریکی، درصد تخلخل و قطر مزوپور، ارزیابی کرد. بهترین بذر چغندرقند با ویگور بالا، دارای ویژگی‌های با توانایی جوانه‌زنی بالا پس از ۴ روز، جوانه‌زنی سریع، کمترین میزان هدایت الکتریکی بذر چغندرقند، تخلخل کل نسبتاً زیاد و بیشترین قطر مزوپور (mesopore diameter) بود (Chomontowski and Podlaski, 2020). مطالعات پودلاسکی (Podlaski, 1990 cited in Chomontowski and Podlaski, 2020) نشان داده است که بنیه پایین بذر معمولاً با محتوای بالاتر ترکیبات شیمیایی در پریکارپ همراه بود. این ترکیبات شیمیایی به تدریج حل شده و یک محلول اسمزی که مانع جذب آب می‌شود، ایجاد نمود. بین سرعت جوانه‌زنی بذر و ضریب نفوذ آب پریکارپ، همبستگی وجود دارد. از این عبارت نتیجه گیری عملی می‌شود که پریکارپ باید تا حد ممکن نازک بوده و نباید حاوی کریستال‌هایی از ترکیبات شیمیایی معدنی و بازدارنده‌های آلی باشد. بنیه پایین بذر چغندرقند با محتوای مواد شیمیایی غیر آلی بیشتر در پریکارپ که مرتبط به هدایت الکتریکی بالاتر بذر است، مربوط بود. در نهایت با افزایش ضریب نفوذ آب پریکارپ، جوانه‌زنی بذر چغندرقند تسریع می‌شود (Chomontowski and Podlaski, 2020). تفاوت در عملکرد ریشه با بنیه‌های متفاوت در توانایی ظهور گیاهچه تعیین نمی‌شود. بلکه نتیجه اختلاف در زمان و یکنواختی ظهور گیاهچه بود. این اختلافات بعداً در طول توسعه رشد محصول کاهش یافت. اما همانطور که تحقیقات نشان داده، تأثیر آنها تا زمان برداشت ادامه یافت (Stibbe and Märläder, 2002).

به طور کلی اطلاعات منتشر شده در مورد ارتباط بین پارامترهای فیزیکی مثل چگالی، جرم و... بذرهای چغندرقند در مقابل صفت‌های جوانه‌زنی آنها کم است. روابط مذکور باید به طور دقیق مورد بررسی و توصیف قرار گیرد تا برای بهره وری حداکثر از فرآیندهای بوجاری و درجه‌بندی فیزیکی بذر، به بالاترین کیفیت تولید بذر چغندرقند منتج شود. هدف از این مطالعه تعیین همبستگی بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی بذرهای چغندرقند و صفات جوانه‌زنی آنها در جهت دست یابی به حداکثر کیفیت بذر است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با استفاده از ۱۰ سینگل کراس چغندرقند از تلاقی ده لاین مادری نرعقیم سیتوپلاسمی (شامل ۲۶۱، ۷۱۱۲، ۴۱۹، ۴۳۶، ۴۷۴، ۴۵۲، ۴۲۸، FC607، FC708 و SB37 با یک پایه گرده افشان (O-Type 231) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در شهرستان‌های کرج، فیروزکوه و اردبیل در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. مشخصات برخی پارامترهای هواشناسی محل‌های اجرای آزمایش در جدول ۱ بیان شده است.

برای ارزیابی صفات جوانه‌زنی (حداکثر جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی) از هر سینگل کراس بذر به طور کاملاً تصادفی چهار تکرار ۱۰۰ تایی از نمونه بذر اندازه استاندارد با دستگاه مقسم انتخاب و شمارش شد. به منظور رفع اثر مواد ممانعت کننده جوانه‌زنی موجود در پریکارپ بذر چغندرقند، بذرها در داخل دستگاه شستشوی بذر با آب روان در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت چهار ساعت شستشو داده شد. سپس بذرها شسته شده با محلول دو هزار کربوکسین‌تیرام (Vitavax-thiram 75% WP) به مدت ۲ الی ۳ ثانیه ضدعفونی شدند. پس از خشک شدن بذرها در فضای آزاد، ۱۰۰ عدد بذر در داخل کاغذ صافی چین‌دار (Pleated filter paper) کشت و با ۳۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه آبیاری و سپس کاغذ صافی چین‌دار در داخل جعبه‌های پلاستیکی (سانتی‌متر ۱۲*۱۶*۶) قرار داده شد.

جدول ۱- ویژگی‌های اقلیمی و برخی پارامترهای هواشناسی در مناطق مختلف محل اجرای آزمایش

Table1- Climatic characteristics and some meteorological parameters in different regions of the trial site

پارامترهای اقلیمی/مناطق Climatic parameters/Region	کرج Karaj	فیروزکوه Firuzkuh	اردبیل Ardabil
اقلیم Climate	نیمه خشک (تابستان گرم و خشک و زمستان سرد و مرطوب) semi-arid (hot, dry summers and cold, wet winters)	نیمه خشک سرد cold semi-arid	نیمه خشک سرد cold semi-arid
میانگین دما سالانه (°C) Mean annual temperature	15.9	9.7	10.4
میانگین حداقل دما سالانه (°C) Mean annual minimum temperature	-20	-28.5	-38.5
میانگین حداکثردما سالانه (°C) Mean annual maximum temperature	42	38	44
میانگین ساعات آفتابی Mean hours of sunshine	11.35	9.88	10.01
میانگین بارندگی(میلی‌متر) Mean rainfall(mm)	243	269	250
میانگین رطوبت نسبی هوا (درصد) Mean relative humidity of the air (%)	50	35.32	59.19
میانگین کمینه رطوبت(درصد) Mean minimum humidity (%)	35	19.65	-
میانگین بیشینه رطوبت(درصد) Mean maximum humidity (%)	70	59.49	-
ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude above sea level (m)	1313	1930	1350

جعبه‌ها به مدت ۱۴ روز در داخل ژرمیناتور در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. اولین شمارش بذرها در روز چهارم آزمایش انجام گرفت. بذرهایی که حداقل ریشه‌چه آنها ۲ میلی‌متر ظاهر شده بود، به عنوان بذر جوانه زده شمارش شد (ISTA, 2009). برای محاسبه درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی بذر هر نمونه، منحنی پیشرفت جوانه‌زنی در مقابل زمان (ساعت) ترسیم و زمان لازم برای ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد (G10، G50 و G90 مدت زمانی که طول می‌کشد، جوانه‌زنی تجمعی به ترتیب ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد حداکثر خود برسد)، از طریق درون‌یابی خطی برآورد شد. معکوس زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی (1/D50) به عنوان سرعت جوانه‌زنی[1] (GR) و فاصله زمانی (بر حسب ساعت) بین ۱۰ تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی نهایی به عنوان یکنواختی جوانه‌زنی[2] (GU) در نظر گرفته شد. هر چه مقدار این مدت زمان کمتر باشد نشان‌دهنده جوانه‌زنی یکنواخت‌تر (هم زمان) بذرها می‌باشد. سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی از فرمول‌های زیر محاسبه شدند (da Silva *et al*., 2019; Bradford *et al*., 1990).

$$T50 = \sum NiTi / \sum Ni$$

$$GR50 = 1/D50$$

$$\text{Uniformity of germination} = \frac{}{T90 _ T10}$$

(یکنواختی جوانه‌زنی)

T50 زمان رسیدن به ۵۰٪ جوانه‌زنی، Ni تعداد بذر جوانه زده در هر شمارش، Ti میانگین زمان جوانه‌زنی می‌باشد. درصد جوانه‌زنی نهایی، سرعت و یکنواختی هر یک از تیمارهای بذری با استفاده از برنامه Germin از طریق درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان، محاسبه شد. میانگین زمان جوانه‌زنی[3] پس از ۱۴ روز بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (Ranal *et al*., 2009).

[1] Germination rate
[2] Uniformity of germination
[3] Mean Germination Time

$$MGT=\sum FX/\sum X$$

MGT = میانگین زمان جوانه‌زنی (روز)

F= شماره روز شمارش

X = تعداد بذر جدید جوانه زده در هر روز

چگالی واقعی[4] که همان نسبت جرم یک بذر به حجم آن و با روش جابجایی حجم مایع تولوئن[6] (اگر از آب استفاده شود توسط بذر جذب می‌شود) با غوطه‌ور کردن ۱۵-۲۰ گرم بذر چغندر قند اندازه‌گیری شد (Kaspas, 2006; Dursun *et al*., 2007).

برای تعیین چگالی حجمی[5] در یک ظرف ۵۰۰ میلی لیتری به ارتفاع ۱۵۰میلی‌متر بذر ریخته سپس توزین شد (Kaspas 2006; Dursun *et al*., 2007). درصد تخلخل بذر (Ɛ) نیز از رابطه زیر محاسبه شد.

$$Ɛ=(1- Pb/Pt)100$$

Ɛ به درصد Pb چگالی حجمی و Pt چگالی واقعی که بر اساس کیلوگرم بر متر مکعب تعیین شد (Dursun *et al*., 2007). برای اندازه گیری چگالی‌ها بایستی درصد رطوبت بذر یکسان باشد. به منظور محاسبه مقدار آب مقطر مورد نیاز جهت تامین درصد رطوبت بذر مورد نظر از رابطه زیر استفاده شد.

$$Q=Wi(Mf-Mi)/(100-Mf)$$

در این رابطه Wi وزن نمونه بذر به کیلوگرم، Mf مقدار رطوبت نهایی نمونه (٪)، Mi مقدار رطوبت ابتدای نمونه (٪) و Q وزن آب اضافه شده به کیلوگرم می‌باشد (Dursun *et al*., 2007). برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر (آب دیونیزه) در بشرهای ۵۰۰ میلی‌لیتری ریخته شده و سپس کلیه بشرها با فویل آلومینیومی پوشانده تا از آلودگی‌شان جلوگیری شود. بشرها قبل از قرار دادن بذر در داخل آنها به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور در دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرارداده تا از لحاظ دما به تعادل برسند. ۴ نمونه بذر ۱۰ گرمی از هر تیمار انتخاب و بعد از توزین در بشرهای محتوی آب مقطر قرار داده شد. سپس کلیه بشرها به وسیله فویل آلومینیومی پوشانده و در انکوباتور در دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. در پایان دوره ۲۴ ساعت خیساندن بذر، هدایت الکتریکی نمونه‌ها با EC متر اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی هر نمونه از رابطه زیر محاسبه گردید (Hampton and Tekrony, 1995).

$$\text{هدایت الکتریکی} = \frac{\text{وزن نمونه بذر (گرم)}}{\text{قابلیت هدایت الکتریکی (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)}}$$

همچنین بادستگاه 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 در مناطق مختلف، تجزیه واریانس مرکب براساس مدل آماری طرح بلوک-های کامل تصادفی در سه منطقه با فرض ثابت بودن سینگل کراس‌ها و محیط با استفاده از نرم افزار SAS (v. 9.1) و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر محیط و ژنوتیپ بر چگالی حجمی و واقعی، تخلخل، وزن و حجم هزار دانه بذر منوژرم چغندرقند در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. درصد مواد جامد محلول پریکارپ بذر چغندرقند تنها تحت تاثیر محیط بود. اثر برهمکنش محیط و ژنوتیپ بر چگالی حجمی در سطح احتمال یک درصد و بر روی صفات چگالی واقعی و هدایت الکتریکی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر

[1] Kernnel true or true density
[2] C7H8
[3] Bulk density

محیط بر درصد، میانگین زمان و سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر ژنوتیپ نیز بر سرعت، میانگین زمان و یکنواختی جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد و بر روی صفت درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر محیط× ژنوتیپ تنها بر روی سرعت جوانه‌زنی بذر چغندرقند معنی دار بود (جدول ۲). بر همکنش معنی دار بین محیط تولید بذر چغندرقند و ژنتیک بر اندازه بذر چغندرقند گزارش شده است (Mirzaei, 2016; Donohue and Schmitt, 1998; Galloway, 2001). تغییر در اندازه آناتومی بذر که تشکیل دهنده اجزاء عملکرد است، ممکن است شامل تغییر در پریکارپ، بافت بذر (آندوسپرم و جنین) و یا توأم آنها باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مختلف فیزیکی و جوانه‌زنی بذر منوژرم چغندرقند در مناطق مختلف آب و هوایی

Table 2- Results of combined analysis of variance of physical and germination traits of sugar beet seed monogerm in different climatic regions

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		چگالی حجمی Bulk density	چگالی واقعی true density	تخلخل Seed porosity percentage	وزن هزار دانه 1000-seed weight	حجم هزار بذر 1000-seed Volume	هدایت الکتریکی Electrical conductivity
محیط Environment	2	31685.71**	72966.53**	161.08**	75.525**	283.15**	170630.04**
خطا Error	9	442.98	1867.75	3.05	0.755	0.6013	2804.29
ژنوتیپ Genotype	9	1829.95**	6939.28**	13.58**	1.244**	2.14**	750.68 ns
ژنوتیپ × محیط Environment * Genotype	18	225.17**	981.80*	2.34 ns	0.1562 ns	0.4398 ns	702.84*
خطا Error	81	62.46	566.51	1.42	0.1411	0.5057	389.58
CV %		3.43	3.53	1.81	3.48	4.43	8.15

Continued table 2

ادامه جدول ۲

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		درصد مواد جامد محلول Percentage of solids soluble	درصد جوانه‌زنی Germination%	سرعت جوانه‌زنی Germination velocity	میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination time	یکنواختی جوانه‌زنی germination uniformity	جوانه‌های غیر نرمال Abnormal seedling percentage
محیط Environment	2	0.1060*	1001.13**	0.00026**	2.699**	77.52 ns	0.4504**
خطا Error	9	0.0136	96.31	0.00000864	0.07	303.27	0.0554
ژنوتیپ Genotype	9	0.0059 ns	158.51*	0.000041**	0.439**	1313.22**	0.0999 ns
ژنوتیپ × محیط Environment * Genotype	18	0.004 ns	93.22 ns	0.000012**	0.047 ns	222.82 ns	0.0578 ns
خطا Error	81	0.0038	72.60	0.0000055	0.056	226.49	0.0754
CV %		16.73	10.04	15.38	4.99	21.20	26.50

*,**, ns به ترتیب معنی دار درسطح احتمال پنج، یک درصد و غیر معنی‌دار

*, ** and ns: significant at $p < 0.05$, $p < 0.01$ levels and non-significant, respectively.

بنابراین تغییر در جرم و حجم بذر که اجزاء تشکیل دهنده چگالی است، تغییر در اندازه بافت بذر یا ضخامت پریکارپ بذر را نیز شامل می‌شود (Sultan, 1996; Lacey, 1996). بذر چغندرقند تولید شده در اردبیل و فیروزکوه از لحاظ چگالی حجمی و چگالی واقعی، کمترین میزان را نسبت به بذر تولید شده در کرج داشتند. میانگین چگالی واقعی سینگل کراس‌ها در سه منطقه تولید بذر از ۰/۶۵ تا ۰/۷۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب متغیر بود (جدول ۴). پژوهشگران دیگر نیز متغیر بودن چگالی پریکارپ چغندرقند را گزارش کرده اند (Chomontowski and Podlaski, 2020). اختلاف چگالی بین محیط‌های تولید بذر چغندر قند، می‌تواند ناشی از شرایط سرد محیط که موجب رشد بیشتر میوه چغندرقند نسبت به شرایط گرم، شود. این موضوع نیز به دلیل بزرگتر شدن و افزایش مقدار پریکارپ بود (Chegini, 1999; Wood *et al*., 1982; Mirzaei, 2017). حجم پریکارپ بذر چغندرقند در فیروزکوه و اردبیل به ترتیب ۱۸/۸۸ و ۱۵/۷۱ نسبت به کرج ۱۳/۶۰ سانتی‌متر مکعب، افزایش معنی داری نشان داد (جدول ۳).

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شرایط سرد محیط (مثل فیروزکوه و اردبیل) نسبت به شرایط معتدل (مثل کرج) باعث افزایش حجم بیشتر پریکارپ نسبت به وزن میوه چغندرقند می‌شود. در نتیجه به همین دلیل، چگالی حجمی و چگالی واقعی فیروزکوه و اردبیل نسبت به کرج کاهش معنی دار داشت. بیشترین میزان هدایت الکتریکی بذرهای چغندرقند به اردبیل و فیروزکوه و کمترین به کرج مربوط بود (جدول ۴). هدایت الکتریکی بالا بذر اردبیل و فیروزکوه نسبت به کرج، می‌تواند به عنوان شاخصی از کیفیت پایین بذر تلقی شود. این یافته با نتایج دیگر پژوهشگران مطابقت داشت (Chomontowski and Podlaski, 2020). کاهش درصد جوانه‌زنی در اردبیل (۸۱/۹۶٪) و فیروزکوه (۸۱/۰۵٪) نسبت به کرج (۹۰/۶۸٪) می‌تواند به این دلیل معنی دار باشد. در ادامه بر اساس نتایج، نقش و ارتباط صفات فیزیکی و شیمیایی میوه چغندرقند با صفات جوانه‌زنی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. از بین مولفه‌های صفات جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی بیشترین همبستگی را با صفات فیزیکی و شیمیایی بذر چغندرقند نشان داد.

جدول۳ - مقایسه میانگین صفات فیزیکی و شیمیایی بذر سینگل کراس‌های چغندرقند در مناطق مختلف آب و هوایی بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد

Table 3- Means comparison for physical and chemical traits of seeds of sugar beet single crosses in different climatic regions at p< 0.05 level using LSD Test

صفت Traits / منطقه Location	هدایت الکتریکی (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) Electrical conductivity (µmhos/cm)	درصد مواد جامد محلول (٪) Percentage of solids soluble (%)	حجم هزار بذر (سانتی‌متر مکعب) 1000-seed Volume (cm3)	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (gr)	درصد جوانه‌زنی (٪) Germination percent (%)	میانگین زمان جوانه‌زنی (روز) Mean germination time (day)
اردبیل Ardabil	312.93a	0.38a	15.71b	10.13b	82.38b	4.72b
فیروزکوه Firuzkuh	229.40b	0.41a	18.88a	12.35a	81.64b	4.99a
کرج Karaj	184.19c	0.31b	13.60c	9.83b	90.65a	4.47c
LSD 5%	26.79	0.06	0.39	0.44	4.96	0.13

میانگین‌های دارای غیرحروف مشترک در هرستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری دارند

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

جدول ۴ – مقایسه میانگین صفات صفات فیزیکی، شیمیایی و سرعت جوانه‌زنی بذر سینگل کراس‌ها در مناطق مختلف آب و هوایی

Table 4- Means comparison traits of physical, chemical and germination rate of sugar beet single crosses in different climatic regions

صفات Traits	هدایت الکتریکی (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) Electrical conductivity (µmhos/cm)			تخلخل (درصد) Seed porosity (Percentage)			چگالی واقعی (کیلوگرم بر متر مکعب) True density (Kg/m^3)			چگالی حجمی (کیلوگرم بر متر مکعب) Bulk density (Kg/m^3)			سرعت جوانه‌زنی (ساعت /درصد) Germination velocity (hour/percentage)		
ژنوتیپ × محیط Environment * Genotype	کرج Karaj	فیروزکوه Firuzkuh	اردبیل Ardabil	کرج Karaj	فیروزکوه Firuzkuh	اردبیل Ardabil	کرج Karaj	فیروزکوه Firuzkuh	اردبیل Ardabil	کرج Karaj	فیروزکوه Firuzkuh	اردبیل Ardabil	کرج Karaj	فیروزکوه Firuzkuh	اردبیل Ardabil
SC(231*261)	185.77	226.65	308.66	63.78	66.03	68.83	697.24	652.54	643.39	252.52	221.45	200.55	0.0172	0.0125	0.0136
SC(231*7112)	172.70	235.83	296.92	64.05	66.46	67.56	750.52	672.31	685.47	269.90	225.43	222.36	0.0162	0.0128	0.0154
SC(231*419)	205.38	231.64	307.99	64.35	66.76	68.33	687.62	636.04	614.31	245.36	211.41	193.82	0.0225	0.0129	0.0156
SC(231*436)	188.83	236.83	323.60	65.08	66.18	69.82	723.28	631.27	664.02	252.67	213.49	200.31	0.0198	0.0124	0.0142
SC(231*474)	187.63	230.81	314.36	65.33	67.32	68.64	734.53	679.94	637.98	254.32	222.22	200.01	0.0174	0.0124	0.015
SC(231*452)	201.89	226.29	306.12	65.14	64.81	67.49	715.53	648.65	613.57	249.30	228.24	199.37	0.0221	0.0133	0.0175
SC(231*428)	175.18	222.11	326.49	64.57	66.32	68.36	698.09	635.96	610.66	247.23	214.17	192.85	0.02	0.0157	0.0156
SC(231*FC607)	173.77	211.11	286.43	63.04	66.05	67.00	726.44	667.96	631.54	268.47	226.72	208.41	0.0128	0.012	0.0126
SC(231*FC708)	167.04	220.82	344.56	61.67	66.48	66.87	777.40	678.92	716.18	298.11	227.35	236.82	0.0122	0.0119	0.0124
SC(231* SB37)	183.75	251.89	314.19	61.15	64.09	65.31	729.25	642.27	644.48	283.15	230.69	223.47	0.0183	0.0123	0.017
میانگین	184.19	229.40	312.93	63.82	66.05	67.82	723.99	654.59	646.16	262.10	222.12	207.80	0.0179	0.0128	0.0149
LSD 5%		27.82			1.68			33.54			11.14			0.0033	

همبستگی بین درصد جوانه‌زنی با میزان هدایت الکتریکی (**۰/۴۸-) و حجم پریکارپ بذر چغندرقند (**۰/۶۰-)، منفی و معنی دار بود. همچنین با افزایش چگالی حجمی و چگالی واقعی بذر چغندرقند، درصد جوانه‌زنی و درصد جوانه‌های غیر طبیعی بذر چغندرقند به ترتیب افزایش و کاهش یافت (جدول ۶). این یافته توسط پژوهشگران دیگر نیز بیان شده است (da Silva *et al*., 2012). با افزایش حجم هزار بذر، درصد مواد جامد محلول و میزان هدایت الکتریکی بذر افزایش یافت. در نتیجه درصد جوانه‌های غیر طبیعی افزایش و درصد جوانه‌زنی کاهش یافت (جدول ۶). علت این کارکرد بذر توسط پژوهشگران چنین بیان شده که در خلال جذب آب، املاح روی پریکارپ بذر چغندرقند حل شده که منجر به تشکیل محلولی با پتانسیل اسمزی پایین و هدایت الکتریکی بالا، در پریکارپ می‌شود. این محلول، جریان آب را از طریق پریکارپ به درون بذر، مهار می‌کند و در نتیجه باعث کاهش ضریب انتشار آب در پریکارپ می‌گردد (Chomontowski and Podlaski, 2020; Salimi and Boelt, 2019). بنابراین میزان هدایت الکتریکی بذر بالا نشان دهنده میزان استحکام غشاء پایین در مقابل نشت مواد الکترولیت است (da Silva *et al*., 2012; Oakley *et al*., 2004; Durrant and Load, 1990)، می‌تواند منجر به کیفیت نامطلوب بذر اردبیل و فیروزکوه نسبت به کرج شده باشد. بر همین اساس، می‌توان نتیجه گرفت که دسترسی به آب برای فرآیند جوانه‌زنی، توسط خصوصیات مورفولوژی، آناتومی و فیزیکوشیمیایی بذر چغندرقند، تعیین می‌شود (Chomontowski and Podlaski, 2020; Hadas, 2004). کمترین و بیشترین چگالی به ترتیب به سینگل کراس MS 428*OT 231 اردبیل و MS FC708*OT231 کرج به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۷۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب مربوط بود (جدول ۴). تقریبا در مجموع سه محیط، سینگل کراس‌های

MS FC708*OT231، MS SB37*OT231 و در رتبه بعدی MS FC607*OT231 بیشترین و سینگل کراس و MS 428*OT 231 کمترین چگالی حجمی و چگالی واقعی را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). کمترین میزان هدایت الکتریکی بذر در کرج به سینگل کراس MS 708*OT231 در فیروزکوه MS FC607*OT231 و MS FC708*OT 231 و اردبیل MS FC607*OT 231 مربوط بود (جدول ۴). سینگل کراس‌های اخیر نسبت به سینگل کراس‌های MS 419*OT 231 و MS 428*OT 231 حجم پریکارپ بذر کمتری داشتند که قابل پیش بینی بود (جدول ۵). پژوهشگران بیان نمودند که مقدار پریکارپ تنها از طریق ژنوتیپ مادر و ژنتیکی تعیین می‌شود (Hermann *et al*., 2007; Lukaszewska and Sliwinska, 2007; Chomontowski and Podlaski, 2020). اما نتایج این تحقیق و پژوهشگران دیگری نشان داده‌اند که علاوه بر ژنوتیپ، محیط نیز بر مقدار پریکارپ موثر بود (Chegini, 1999; Wood *et al*., 1982; Mirzaei, 2017). بر اساس نتایج این تحقیق، به نظر می‌رسد که بذر سینگل کراس‌های چغندرقند به لحاظ ضخامت پریکارپ و چگالی، متنوع می‌باشند. این یافته توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (Chomontowski and Podlaski, 2020).

از مولفه‌های دیگر صفات کیفی بذر، سرعت جوانه‌زنی است که تحت تأثیر برهمکنش منطقه × ژنوتیپ بود (جدول ۲). سرعت جوانه‌زنی سینگل کراس‌های کرج با ۰/۰۱۷۹ ساعت بر درصد نسبت به دو منطقه اردبیل و فیروزکوه به ترتیب ۰/۰۱۴۹ و ۰/۰۱۲۸ ساعت بر درصد، برتری داشت (جدول ۴). این یافته با نتایج تحقیق دیگری در همان شرایط اقلیمی، مطابقت داشت (Farzaneh, 2015). کاهش سرعت جوانه‌زنی بذر اردبیل و فیروزکوه، می‌تواند به دلیل محدودیت در جذب آب و اکسیژن به داخل بذر باشد (Hermann *et al*., 2007; Ignatz *et al*., 2019). زیرا هر چه حجم پریکارپ بیشتر باشد، پتانسیل آب پریکارپ در یک زمان مشخص کمتر می‌شود (Chomontowski and Podlaski, 2020). از طرفی پتانسیل پایین آب پریکارپ، باعث کاهش جریان آب به بذر و ایجاد نوعی محدودیت می‌شود. براردفورد (Bradford, 1994) گزارش کرد که پتانسیل آب بذرها درست قبل از خروج ریشه چه تقریباً ۱- مگاپاسکال است. بنابراین هر عامل محیطی یا خصوصیت بذر که دستیابی به چنین سطح پتانسیل آبی را به تأخیر بیندازد، روند جوانه‌زنی را طولانی می‌کند (Podlaski *et al*., 2019). این محدودیت چنانچه قبلا بیان شد، به دلیل شرایط سرد محیط تولید بذر چغندرقند که منتج به افزایش مقدار پریکارپ می‌شود، حادث می‌گردد (Chegini, 1999; Wood *et al*., 1982; Mirzaei, 2017). همچنین افزایش ضخامت و حجم پریکارپ بذرهای فیروزکوه و اردبیل نسبت بذر کرج باعث افزایش مواد جامد محلول بر روی پریکارپ شده که همان بازدارنده‌های جوانه‌زنی شناخته می‌شوند و به عنوان اسمولیته یا مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی (یون‌ها) ارزیابی می‌شود (جدول ۳). بر همین اساس همبستگی معنی‌داری بین افزایش حجم بذر و مواد بازدارنده غیر یونی (+۰/۷۳**) وجود داشت (جدول ۶). تفاوت در هدایت الکتریکی بذر چغندرقند به میزان ترکیبات بازدارنده جوانه‌زنی که به اشکال نمک‌های غیر آلی هستند، مربوط می‌باشد. البته مقدار این بازدارنده‌های جوانه‌زنی عمدتا به شرایط محیط تولید بذر در دوره بلوغ و سطح بلوغ بذر، بستگی دارد (Salimi and Boelt, 2019; Podlaski and Chrobak, 1986). از طرفی جریان آب و ضریب انتشار آب از طریق پریکارپ که برای جوانه‌زنی بذر مهم است (Blunk et al. 2017; Hadas 2004)، تحت تاثیر پریکارپ قرار می‌گیرد. نتایج این تحقیق نشان داد، با افزایش درصد مواد جامد محلول و حجم هزار بذر، سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت (جدول ۶).

پژوهشگران، همبستگی معنی داری بین سرعت جوانه‌زنی بذر و ضریب نفوذ آب به پریکارپ را گزارش کردند (Podlaski, 1990 cited in Chomontowski and

Podlaski, 2020). از طرفی ارتباط بین مقدار آب و پتانسیل آب در پریکارپ بذر با هدایت الکتریکی بذر گزارش شده است. همچنین می‌دانیم که، تفاوت در هدایت الکتریکی بذر چغندرقند مربوط به میزان ترکیبات بازدارنده جوانه‌زنی است. بر همین اساس سرعت جوانه‌زنی بیشتر بذرهای کرج نسبت به اردبیل و فیروزکوه قابل تفسیر می‌باشد. شرایط محیطی شامل پارامترهای مختلف آب و هوایی از جمله درجه حرارت است. میانگین درجه حرارت سالانه کرج (۱۵/۹ C°) بیشتر از فیروزکوه (۹/۷ C°) و اردبیل (۱۰/۴ C°) است. نتایج تحقیقی نشان داد که، دمای بالا محیط، بذرهایی با سرعت جوانه‌زنی سریع‌تر تولید می‌کند (Fenner, 1991). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که، شرایط محیط بر خصوصیت فیزیکی و شیمیایی میوه چغندرقند موثر است. این خصوصیات نیز بر مولفه‌های صفات جوانه‌زنی بذر چغندرقند موثر بود.

در سه منطقه تولید بذر، سینگل کراس‌های 231 *MS428OT، 231 *MS452OT و MS419*OT 231 دارای بیشترین سرعت جوانه‌زنی و MS FC708*OT 231 و 231 *MS FC607OT دارای کمترین سرعت جوانه‌زنی بودند (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که سرعت جوانه‌زنی تحت تاثیر محیط و ژنوتیپ بود (جدول ۲). از طرفی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این سینگل کراس‌ها از جمله درصد مواد جامد بر روی پریکارپ، وزن هزار دانه و حجم بذر متفاوت بودند (جدول ۵) و با سرعت جوانه‌زنی مرتبط بود (جدول ۶). علاوه بر محیط، ژنتیک نیز بر صفات فیزیکی و شیمیایی بذر چغندرقند موثر بود. وزن هزار دانه (Yousefabadi and Rajabi, 2012; Luzuriaga *et al*., 2006)، رنگ پوشش بذر (Luzuriaga *et al*., 2006) حجم پریکارپ بذر تحت تاثیر ژنوتیپ می‌باشند. صفات بذری مذکور سهم قابل توجهی از تغییرات سرعت جوانه‌زنی را توضیح می‌دهند. در مجموع، سرعت جوانه‌زنی بذر چغندرقند، یک صفت پیچیده از پتانسیل فیزیولوژیکی (Marcos-Filho, 2015) و کیفیت بذر است که بطور مشترک تحت تاثیر مولفه‌های فیزیکی شیمیایی میوه چغندرقند قرار دارد که بخشی از آن ارثی می‌باشد (Luzuriaga *et al*., 2006; Gizbullin, 1984).

جدول ۵- مقایسه میانگین سینگل کراس‌های از نظر صفات جوانه‌زنی بذر چغندرقند در مناطق مختلف آب و هوایی

Table 5- Means comparison for germination traits of single crosses sugar beet seeds in different climatic regions

Single crosse سینگل کراس	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (gr)	حجم هزار بذر (سانتی‌متر مکعب) 1000-seed Volume (cm^3)	جوانه‌زنی (درصد) Germination percent (percent)	یکنواختی جوانه‌زنی (ساعت) Germination uniformity (hour)	میانگین زمان جوانه‌زنی (روز) Mean germination time (day)
SC(231*261)	10.86bc	16.41ab	86.49abc	72.15abc	4.744b
SC(231*7112)	10.94b	15.66cd	89.38ab	74.41ab	4.683bcd
SC(231*419)	10.46e	16.28ab	82.41cd	72.17abc	4.538cd
SC(231*436)	10.59cde	15.88bcd	83.51bcd	77.41ab	4.780bc
SC(231*474)	10.45e	15.36d	83.46bcd	68.08bc	4.698bcd
SC(231*452)	10.97b	16.73a	79.33d	80.87a	4.539cd
SC(231*428)	10.59cde	16.44ab	84.22bcd	81.68a	4.514d
SC(231*FC607)	10.54de	15.68cd	91.84a	60.23c	5.003a
SC(231*FC708)	11.51a	16.01bc	82.53bcd	47.11d	5.093a
SC(231* SB37)	10.81bcd	16.20abc	85.71abcd	75.77a	4.744b
LSD 5%	0.31	0.58	6.92	12.23	0.19

میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک در هرستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری دارند

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

جدول۶- ضرایب همبستگی بین صفات فیزیکی و شیمیایی با صفات جوانه‌زنی بذر سینگل کراس‌های چغندرقند

Table 6- Correlation coefficients among physical and chemical characteristics with germination traits of seeds of sugar beet single crosses

صفات جوانه‌زنی، فیزیکی و شیمیایی Traits of germination, physical, chemical	درصد جوانه‌زنی Germination Percentag	سرعت جوانه‌زنی Germination velocity	میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination	یکنواختی جوانه‌زنی germination	درصد جوانه‌های غیر نرمال abnormal seedling	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	درصد مواد جامد محلول Percentage of	هزار دانه 1000-seed weight	حجم هزار بذر 1000-seed Volume
چگالی حجمی Bulk density	0.65**	0.32 ns	-0.21 ns	-0.21 ns	-0.68**	-0.78**	-0.54**	-0.20 ns	-0.55**
چگالی واقعی True density	0.67**	0.26 ns	-0.22 ns	-0.30 ns	-0.70**	-0.65**	-0.52**	-0.28 ns	-0.65**
تخلخل Seed porosity	-0.53**	-0.33 ns	0.16 ns	0.07 ns	0.53**	0.79**	0.45**	0.06 ns	0.33 ns
هدایت الکتریکی Electrical conductivity	-0.48**	-0.31 ns	0.20 ns	0.06 ns	0.43*	1	0.43*	-0.06 ns	0.23 ns
درصد مواد جامد محلول Percentage of solids soluble	-0.61**	-0.40*	0.67**	-0.28 ns	0.62**	0.43*	1	0.66**	0.73**
هزار دانه 1000-seed weight	-0.38*	-0.46**	0.72**	-0.21 ns	0.43*	-0.06 ns	0.66**	1	0.91**
حجم هزار بذر 1000-seed Volume	-0.60**	-0.47**	0.66**	-0.02 ns	0.64**	0.23 ns	0.73**	0.91**	1
درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	1	0.19 ns	-0.24 ns	-0.12 ns					
سرعت جوانه‌زنی Germination velocity	0.19 ns	1	-0.74**	0.45*					
میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination time	-0.24 ns	-0.74**	1	-0.55**					
یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	-0.12 ns	0.45*	-0.55**	1					

از دیگر مولفه‌های صفات کیفی بذر چغندرقند، یکنواختی جوانه‌زنی است که فقط تحت تأثیر ژنوتیپ بود (جدول ۲). کمترین و بیشترین یکنواختی جوانه‌زنی به سینگل کراس MS FC708*OT231 و MS 428*OT231 به ترتیب با ۴۷/۱۱ و ۸۱/۶۸ ساعت مربوط بود (جدول ۵). سرعت جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی به ترتیب همبستگی مثبت (*۰/۴۵+) و منفی (**۰/۵۵-) با یکنواختی جوانه‌زنی داشتند (جدول ۶). این یافته توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (Yousefabadi and Rajabi, 2012). صفات سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی از صفات بسیار مهم چغندرقند محسوب می‌شود. زیرا جوانه‌زنی سریع و یکنواخت بذر چغندرقند، منتج به ظهور گیاهچه سریع‌تر و یکنواخت‌تر و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود. از طرفی، رابطه نزدیکی بین یکنواختی جوانه‌زنی در آزمایشگاه با یکنواختی ظهور گیاهچه و استقرار بوته در مزرعه گزارش شده است (Stibbe and Märläder, 2002; Marcinek and Harper, 2013; Alipour *et al*., 2019). محققین دیگر نیز اشاره داشتند که تأثیر صفت یکنواختی ظهور گیاهچه در محصولات گیاهی مهم است، که عملکرد قابل فروش از عملکرد بیولوژیکی، مهمتر باشد (TeKrony and Egli, 1991; Finch-Sawage and Bassel, 2016). بر همین اساس گزارش شده است که، درصورت مدیریت مزرعه مناسب در زراعت چغندرقند و با تراکم بوته و تحت شرایط اگرواکولوژیکی مشابه، تفاوت عملکرد ریشه و عملکرد قند در مزارع، ناشی از تفاوت در سرعت ظهور گیاهچه و یکنواختی ظهور گیاهچه ارقام

خواهد بود (Podlaski and Chomontowski, 2020). در نهایت با توجه به همبستگی معنی‌دار برخی صفات فیزیکی و شیمیایی با یکدیگر و با صفات جوانه‌زنی، می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت و خصوصیات جوانه‌زنی بذر چغندرقند به شرایط محیطی و ژنتیک وابسته است. این نتیجه توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Coste and Crozat, 2001; Galloway, 2001; Alcaraz *et al*., 1998).

کیفیت بذر چغندرقند را می‌توان با استفاده از شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی بذر بهبود داد. میانگین چگالی واقعی بذر سینگل کراس‌های چغندرقند از ۰/۶۵ تا ۰/۷۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب متغیر بود. بذرهای چغندرقند با چگالی حجمی و چگالی واقعی بیشتر، درصد جوانه‌زنی بالاتری داشتند. بنابراین بازده جوانه‌زنی بذر چغندرقند را می‌توان از طریق جداسازی کم چگالی ترین بذرها بهبود بخشید. استفاده از پارامترهای فیزیکی بذر برای بهبود کیفیت بذر توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (Kaliniewicz *et al*., 2014). به نظر می‌رسد بتوان از صفات چگالی، درصد مواد جامد محلول و میزان هدایت الکتریکی بذر چغندرقند، به عنوان شاخص‌های ارزیابی کیفیت بذر چغندرقند، استفاده نمود. از صفت یکنواختی جوانه‌زنی چغندرقند که کمتر تحت تاثیر محیط قرار می‌گیرد، می‌تواند در انتخاب و غربال و نقطه قوتی در برنامه‌های اصلاحی به عنوان یک شاخص انتخاب ژنوتیپ چغندرقند، منظور شود. با توجه به ارتباط صفات فیزیکی و شیمیایی بذر با صفات جوانه‌زنی بذر چغندرقند، می‌توانند در مدیریت تولید بذر چغندرقند با هدف افزایش ضریب استحصال و کیفیت، قابل توصیه باشد.

منابع

Reference

Alcaraz, G., T. Genter, G. Laillet, and D. Rageot. 1998. Sugar beet pollen biology. Pp 393–399. Proc. 61st IIRB Congr. Brussels, Belgium.

Alipour, S., M. Taghvaei, A. Jalilian, A. Kazemeini, and H. Razi, 201**9.** Hydro-thermal priming enhance seed germination capacity and seedling growth in sugar beet. Cell. Mol. Biol. 65(4): 90-96.

Amin, C., and L. Brinis. 2013. Effect of seed size on germination and establishment of vigorous seedlings in durum wheat (Triticum durum Desf.). Adv. Environ. Biol. 7(1): 77-81.

Blunk, S., A.H. Malik, M. I de Heer, T. Ekblad, K. Fredlund, S.J. Mooney, and C.J. Sturrock. 2017. Quantification of differences in germination behave our of pelleted and coated sugar beet seeds using x-ray computed tomography (x-ray CT). Biomed. Phys. Eng. Express. Doi:10.1088/2057-1976/aa7c3f.

Bradford, K.J., J.J. Steiner, and S.E. Trawatha. 1990. Seed priming influence on germination and emergence of pepper seed lots. JPN J. Crop Sci. 30: 718–721.

Bradford, K.J. 1994. Water stress and the water relations of seed development: A critical review. Crop Sci. 34: 1-11. Doi: 10.2135/cropsci1994.0011183X003400010001x

Chachalis, D., and M.L. Smith. 2011. Seed coat regulation of water uptake during imbibition in soybeans (Glycine max L. Merr.). Seed Sci. Technol. 29(2): 401–412.

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

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

Coste, F.M., and Y. Crozat. 2001. Seed development and seed physiology quality of field grown beans (Phaseolus vulgar L.). Seed Sci. Technol. 29: 121-136.

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

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

Donohue, K., and J. Schmitt. 1998. Maternal environmental effects in plants: adaptive plasticity? Pp 137–158. In T. A. Mousseau and C. W. Fox (eds). Maternal effects as adaptations. Oxford University Press, Oxford, UK.

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

Dursun, I., K.M. Tugrul, and E. Dursun. 2007. Some physical properties of sugar beet seed. J. Stored Prod. Res. 43: 149–155.

Farzaneh, S. 2015. Investigation of relationship between phenological, morphological and physiological characteristics of different maternal and paternal lines on quantity and quality of sugar beet seed. Final report of Sugar Beet Seed Institute. (In Persian, with English abstract).

Fenner, M. 1991. The effects of the parent environment on seed germinability. Seed Sci. Res. 1: 75-84

Galloway, L.F. 2001. The effect of maternal and paternal environments on seed characters in the herbaceous plant Campanula Americana (Campanulaceae). Am. J. Bot. 88(5): 832–840

Gizbullin, N.G. 1984. Effect of ecological conditions of seed production on yield and quality of monogerm sugar beet seeds. Wisscenschaftliche Beitrage Martin Luther Universittat Halle. Wittenberg. 55: 528-536

Górnik, K., and M. Grzesik. 1998. Genetyczne, siedliskowe i maternalne uwarunkowania jakosci nasion. Postepy Nauk Rolniczych. 5: 38-47.

Gruszecki, R. 2013. Wplyw normy siewu na wielkosc i jakosc nasion pasternaku. Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska Lublin – Polonia, XXIII (1). P. 18-24.

Grzesik, M., R. Janas, and K. Górnik. 2012. Romanowska-Duda Z. Biologiczne i fizyczne metody stosowane w produkcji i uszlachetnianiu nasion. J. Res. Appl. Agric. Eng. 57(3): 147-152.

Hadas, A. 2004. Seedbed preparation- The soil physical environment of germinating seeds. P. 3-36. In R.L. Benech-Arnold, R.A. Sánchez (ed.) Handbook of Seed Physiology Applications to agriculture. The Haworth Press, Inc., Binghamton, NY, USA.

Hampton, J.G., and D.M. Tekrony, 1995. Handbook of vigor test methods. 3rd Edition, ISTA, Zurich.

Hermann, K., J. Meinhard, P. Dobrev, A. Linkies, B. Pesek, B. Hess, I. Machácková, U. Fischer, and G. Leubner-Metzger. 2007. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid and abscisic acid during the germination of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) a comparative study of fruits and seeds. J. Exp. Bot. 58(11): 3047–3060.

Ignatz, M., J.E. Hourston, V. Tureckova, M. Strnad, J. Meinhard, U. Fischer, T. Steinbrecher, and G. Leubner-Metzger. 2019. The biochemistry underpinning industrial seed technology and mechanical processing of sugar beet. Planta. 250:1717–29.

Inoue, K., and R. Yamamoto. 1974. The growth inhibitors in sugar beet balls. I. isolation of mono-sodium oxalate as a root growth inhibitor. Proc. Crop Sci. Soc. Japan. 43(3): 439–444.

Inoue, K., and R. Yamamoto.1975. The growth inhibitors in sugar beet balls II. Isolation of potassium nitrate as the germination inhibitor and hypocotyl stimulating substance. Proc. Crop Sci. Soc. Japan. 44(4): 465–470.

International Rules for Seed Testing (ISTA). 2009. International Seed Testing Association, Switzerland

Juntilla, O. 1976. Germination inhibitors in fruit extracts of red beet (*Beta vulgaris* cv rubra). J. Exp. Bot. 27(99): 827–836.

Kaliniewicz, Z., K. Jadwisienczak, D. Choszcz, E. Kolankowska, M. Przywitowski, and D. Sliwinski. 2014. Correlations between germination capacity and selected properties of parsnip seeds (Pastinaca Sativa L.). Agric. Eng. 1(149): 39-49.

Kaspas, A. 2006. Physical properties of monogerm sugar beet (*Beta vulgaris* var. altissima) seeds. New Zealand J. Crop Hortic. Sci. 34: 311–318

Lacey, E.P.1996. Parental effects in Plantago lanceolata. I. A growth chamber experiment to examine pre- and postzygotic temperature effects. Evolution. 50(2): 865–878.

Lukaszewska, E., and E. Sliwinska. 2007. Most organs of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants at the vegetative and reproductive stages of development are polysomatic. SEX Plant Reprod. 20: 99–107.

Luzuriaga, A.L., A. Escudero, and F. Rez-García. 2006. Environmental maternal effects on seed morphology and germination in Sinapisarvensis (Cruciferae). Weed Res. 46: 163–174

Marcinek, R., and S. Harper. 2013. Speed and uniformity of sugar beet seed germination and plant development determined by image capture and analysis. 37th Biennial Meeting of American Society of Sugar beet Technologist. Feb. 2013.

Martinez-Villaluenga, C., E. Penas, E. Ciska, M.K. Piskula, H. Kozlowska, C. Vidal-Valverde, and J. Frias. 2010. Time dependence of bioactive compounds and antioxidant capacity during germination of different cultivars of broccoli and radish seed. Food Chem. 120: 710-716.

Finch-Sawage, W.E., and G.W. Bassel. 2016. Seed vigour and crop establishment extending performance beyond adaptation. J. Exp. Bot. 67(3): 567–591.

Marcos-Filho, J. 2015. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective, Sci. Agric. 72(4): 363-374.

Mirzaei, M.R., J. Asghari, D. Fatholah Taleghani, and S. Sadghzadeh Hemayati. 2017. Effect of environmental factors and female parent on some sugar beet seed traits. J. Sugar Beet. 33: 73-87. (In Persian)

Mirzaei, M.R., J. Asghari., D. Fatholah Taleghani, and S. Sadghzadeh Hemayati. 2016. Effects of environment and genetic on yield and seed size of single crosses of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Iranian J. Crop Sci.18(1): 258-270. (In Persian)

Morris, P.C., D. Grierson., and W.J. Whittington. 1984. Endogenous inhibitors and germination of *Beta vulgaris*. J. Exp. Bot. 35: 994–1002.

Nik, M.M., M. Babaeian, and A. Tavassol. 2011. Effect of seed size and genotype on germination characteristic and seed nutrient content of wheat. Sci. Res. Essays. 6(9): 2019-2025.

Oakley, K., S.T. Kester., and R.L. Geneve. 2004. Computer-aided digital image analysis of seedling size and growth rate for assessing seed vigour in Impatiens. Seed Sci. Technol. 32: 907-915.

Orzeszko-Rywka, A., and S. Podlaski. 2003. The effect of sugar beet seed treatments on their vigour. Plant Soil Environ. 49(6): 249–254

Platenkamp, G.A.J., and R.G. Shaw. 1993. Environmental and genetic maternal effects on seed characters in Nemophila menziesii. Evolution. 47: 540–555.

Podlaski, S., and Z. Chrobak. 1986. Germination ability and germination rate of sugar beet seeds, in relations to the content of germination inhibitors measured by the conductivity of aqueous extracts of seeds. Seed Sci Technol. 14(3): 631–40.

Podlaski, S., and C. Chomontowski. 2020. Various methods of assessing sugar beet seed vigour and its impact on the germination process, field emergence and sugar yield. Sugar Tech. 22(1):130–136.

Podlaski, S., H. Wzorek., and C. Chomontowski. 2019. Effects of the physicochemical properties of pellets on the germination of pelleted sugar beet seeds. Int. Agrophys. 33:175–183.

Ranal, M., D.G. Santana, W.R. Ferreira, and C. Mendes-Rodrigues. 2009. Calculating germination measurements and organizing spreadsheets. Rev. Brazil. Bot. 32(4): 849–855.

Richard, G., P. Raymond, F. Corbineau, and A. Pradet. 1989. Elect of the pericarp on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seed germination: study of the energy metabolism. Seed Sci. Technol. 17: 485–498.

Sadeghi, H., F. Khazaei, S. Sheidaei, and L. Yari. 2011. Effect of seed size on seed germination behavior of safflower (Carthamus tinctorius L.). ARPN J. Agric. Biol. Sci. 6(4), 5-8.

Santos, D.S.B., and M.F.A. Pereira. 1989. Restrictions of the tegument to the germination of Beta vulgaris L. Seed Sci. Technol. 17: 601–612.

Salimi, Z., and B. Boelt. 2019. Optimization of germination inhibitors elimination from sugar beet (Beta vulgaris L.) seeds of different Maturity Classes. Agronomy. 9(763). doi:10.3390/agronomy9110763

Schopfer, P., C. Plachy, and G. Frahry. 2001. Release of reactive oxygen intermediates (superoxide radicals, hydrogen peroxide, and hydroxyl radicals) and peroxidase in germination radish seeds controlled by light, gibberellin, and abscisic acid. Plant Physiol. 125: 1591-1602.

Stibbe, C., and B. Ma¨rla¨nder. 2002. Field emergence dynamics significance to intraspecific competition and growth efficiency in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Eur. J. Agron. 3: 161–171.

Sultan, S. E. 1996. Phenotypic plasticity for offspring traits in Polygonum persicaria. Ecology. 77(6): 1791–1807.

TeKrony, D.M., and D.B. Egli. 1997. Accumulation of Seed Vigour during seed development and maturation. Pp 369-385. In R.H. Ellis, M. Black, A.J. Murdoch, and T.D. Hong (eds.). Basic and Applied Aspects of Seed Biology. Kluwer Academic Publishers, Dordercht.

Wood, D.W., R.K. Scott, and P.C. Longded. 1982. Effects of seed crop ripening temperature on bolting in the sugar beet root crop. Proc. 45th Winter Congr. I.I.R.B. Brussels, Belgium. Pp 15-24.

Yousefabadi, V., and A. Rajabi, 2012. Study on inheritance of seed technological characteristics in sugar beet. Euphytica. 186: 367-376.