



<https://ijpb.ui.ac.ir/?lang=en>
Journal of Plant Biological Sciences
E-ISSN: 3041-9603
Vol. 16, Issue 1, No. 59, spring 2024
Document Type: Research Paper
Received: 21/06/2024 Accepted: 16/02/2025

Estimation of genetic factors and the response of different sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars to low temperatures at the maturity stage

Mehdi Jalilian¹, Massoud Dehdari¹ ^{*}, Reza Amiri Fahlani¹, Mohsen Movahedi Dehnovi¹

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj, Iran

Abstract

Sugar beet has a high yield potential, but various stresses, including cold, reduce its yield worldwide. To investigate the cold tolerance of common sugar beet cultivars in the maturity stage, an experiment was carried out at Yasouj University in 2020. In this research, ten sugar beet cultivars (Karaji, SBSI-005, Shirin, Rastad, Anakonda, Dorotea, Merac, Antik, Zarghan, and Persia.) were exposed to four temperature levels, including (0, 5, 10, and 25 (control) °C) at maturity stage. The experiment was performed at each temperature level based on a completely randomized design with three repetitions. The results of the analysis of variance showed that the effect of temperature for all measured traits, the effect of genotype for all characteristics except root diameter, electrolyte leakage, and Fv/Fm, and the interaction of temperature and genotype for all measured traits except electrolyte leakage were significant. Therefore, the cultivars studied responded differently to the different temperature levels studied. The highest reduction of the characteristics at 0°C compared to the control (25°C) was related to the shoot dry weight by 55%, and the highest increase was related to the leaf proline content by 58%. Sugar weight had a positive and significant genetic correlation with the traits of root weight, soluble sugar, sugar content, and shoot dry weight. At the same time, it showed a negative correlation with the root length and SPAD number traits. The three-dimensional scatter plot identified Persia and Antic cultivars as more tolerant to cold stress than other cultivars. The results of this study provide valuable information to sugar beet breeders to improve cold tolerance.

Keywords: Cold stress, Electrolyte Leakage, Factor analysis, Sugar beet, Sugar content.

*Corresponding author: adehdari@yu.ac.ir



Introduction

Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) is one of the twelve main plants that provide food for the world's people. Sugar beet has a high yield potential, but various stresses, including cold, reduce its yield worldwide. Cold is one of the most important abiotic stresses that limit plant growth, production, and geographical distribution. The cold at the end of the growing season reduces the yield of sugar beet and has a negative effect on its quality. Therefore, it is of great theoretical and practical importance to explore the mechanism of cold tolerance and to improve it in susceptible sugar beet genotypes. Most of the previous studies have been conducted regarding the effect of cold stress on physiological aspects of sugar beet traits at the seedling stage. Our previous study studied the effect of cold stress on morpho-physiological traits of ten common sugar beet cultivars. There is little information about the genetic aspects of cold tolerance of common sugar beet cultivars at the maturity stage in Iran. This research investigated the genetic response of sugar beet cultivars to cold stress and the genetic relationships between their important traits in cold stress conditions at the maturity stage.

Materials and Methods

To study the cold tolerance of common sugar beet cultivars in the maturity stage, an experiment was carried out at Yasouj University in 2020. In this research, ten sugar beet cultivars (Karaji, SBSI-005, Shirin, Rastad, Anakonda, Dorotea, Merac, Antik, Zarghan, and Persia.) were exposed to four temperature levels, including (0, 5, 10, and 25 (control) °C) at maturity stage. The experiment was performed at each temperature level based on a completely randomized design with three repetitions. Ten days after the cold treatment application, important morpho-physiological traits, including crown height, plant height, shoot dry weight, root diameter, root length, root weight, proline content, soluble sugar, SPAD value, electrolyte leakage, Fv/Fm ratio, sugar content, and sugar weight were measured. Combined variance analysis was performed, and environmental, genotypic, and phenotypic variances were calculated. Genotypic and phenotypic coefficients of variation and broad-sense heritability were calculated. The Pearson correlation coefficient between the measured traits was calculated, and the relationships among variables were interpreted. Factor analysis was done, and the most important first components were interpreted. The three-dimensional scatter plot of the distribution of genotypes was drawn based on the first three factor scores. Genotypes were classified according to their response to cold stress.

Results and Discussion

The results of the combined analysis of variance showed that the effect of temperature for all measured traits, the effect of genotype for all characteristics except root diameter, electrolyte leakage, and Fv/Fm, and the interaction of temperature and genotype for all measured traits except electrolyte leakage were significant. The highest reduction of the characteristics at 0°C compared to the control (25°C) was related to the shoot dry weight by 55%, and the highest increase was related to the leaf proline content by 58%. Broad-sense heritability of root diameter, electrolyte leakage, and Fv/Fm was over 50%, indicating less effect of environmental factors. Proline content and total soluble sugar had a maximum genetic coefficient of variation. In contrast, sugar weight had a positive and significant genetic correlation with the traits of root weight, soluble sugar, sugar content, and shoot dry weight. At the same time, it showed a negative correlation with the root length and SPAD number traits. So, these traits can be used in indirect selection to improve sugar weight. Factors analysis in cold conditions identified the first two factors related to cold tolerance and the third factor related to cold sensitivity. The three-dimensional scatter plot identified Persia and Antic cultivars as more tolerant to cold stress than other cultivars. The results of this study provide valuable information to sugar beet breeders to improve cold tolerance.

Conclusion

Based on the results of this research, high genetic diversity was observed for traits related to cold tolerance in sugar beet. In addition, genetic relationships among important sugar beet traits in cold conditions show that some characteristics can be used in indirect selection to improve cold tolerance in sugar beet. Some traits had more than 50% heritability, which can be considered in sugar beet breeding programs. There was a relationship between cold tolerance in the vegetative stage and the maturity stage. Therefore, it is possible to improve cold tolerance in the early stages of growth.

بر آورد فاکتورهای ژنتیکی و پاسخ ارقام مختلف چغندر قند (*Beta vulgaris*) نسبت به دماهای پائین در مرحله رسیدگی

مهدی جلیلیان^۱، مسعود دهداری^{۱*}، رضا امیری فهلیانی^۱، محسن موحدی دهنوی^۱
^۱گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

چکیده

چغندر قند دارای پتانسیل عملکرد بالایی است، اما تنش‌های مختلف از جمله سرما مهمترین عوامل کاهش دهنده عملکرد آن در سطح جهان است. برای بررسی تحمل به سرما در مرحله رسیدگی ده رقم مورد کشت چغندر قند، آزمایشی به صورت طرح کامل تصادفی در سه تکرار در دانشگاه یاسوج به اجرا درآمد. ژنوتیپ‌ها در معرض چهار سطح دمایی شامل ۵، ۱۰ و ۲۵ (شاهد) درجه سانتی‌گراد درون اتاقک رشد با دمای مورد نظر قرار گرفتند. صفات مهم کمی و کیفی اندازه‌گیری شدند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان دادند اثر دما برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده، اثر ژنوتیپ برای تمام صفات بجز قطر ریشه، نشت الکترولیت و Fv/Fm و برهمکنش دما و رقم برای تمام صفات اندازه‌گیری شده بجز نشت الکترولیت معنی‌دار بودند. بنابراین ارقام مورد بررسی واکنش‌های متفاوتی نسبت به سطوح مختلف دمایی مورد بررسی داشتند. بیشترین کاهش صفات در دمای صفر درجه نسبت به شاهد، مربوط به وزن خشک اندام هوایی به میزان ۵۵ درصد و بیشترین افزایش مربوط به میزان پرولین برگ به میزان ۵۸ درصد بود. وزن قند همبستگی ژنتیکی مثبت و معنی‌داری با صفات وزن ریشه (غده)، قندهای محلول، عیار قند و وزن خشک اندام هوایی داشت، در حالی که با صفات طول غده و شاخص کلروفیل همبستگی منفی نشان داد. گروه‌بندی ارقام توسط نمودار سه بعدی حاصل از امتیاز سه عامل اول ارقام پرشیا و آنتیک را متحمل‌تر نسبت به سرما در مقایسه با سایر ارقام تشخیص داد. نتایج این پژوهش، اطلاعات ارزشمندی جهت بهبود تحمل به سرما در اختیار به‌نژادگران چغندر قرار می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به عامل‌ها، تنش سرما، چغندر قند، عیار قند، نشت الکترولیت

*Corresponding author: adehdari@yu.ac.ir



مقدمه

چغندر قند با نام علمی *Beta vulgaris* L. یکی از دوازده گیاه اصلی است که غذای مردم جهان را تأمین می‌کند. شکر یکی از عمده‌ترین و ارزان‌ترین مواد غذایی است که جایگاه خاصی در تغذیه انسان دارد و به عنوان سرچشمه انرژی و غذای خالص با جنبه‌های حیاتی محسوب می‌شود (Basati et al., 2003). همانند سایر گیاهان چغندر قند نیز در اثر تنش سرما دچار خسارت و کاهش عملکرد می‌شود. در آخر فصل رشد، سرمای شدید و یخبندان‌های طولانی مدت، سبب یخ زدن و از بین رفتن محصول می‌شود و تأثیر منفی بر کیفیت فرآوری چغندر قند دارد (Deihimfard et al., 2019; Barbier et al., 1982).

به‌نژادی برای تحمل سرما می‌تواند به علت محدودیت‌های مهم مربوط به شرایط مزرعه‌ای در طول ارزیابی صفت، محدود شود. در حقیقت، برنامه‌های به‌نژادی مزرعه‌ای به علت تغییرات محیطی پیشرفت در انتخاب را محدود می‌کنند (Li et al., 2018)، اگر چه برنامه‌هایی که تحت شرایط کنترل شده در آزمایشگاه انجام می‌شوند، دارای معایبی هستند، این محدودیت را ندارند. به همین علت اتافک‌های سرد اغلب جهت انتخاب برای تحمل سرما و برای تلفیق ارزیابی‌های انجام شده در مزرعه استفاده می‌شوند (Revilla et al., 2016).

مثال‌های گسترده‌ای از کنترل ژنتیکی تحمل به سرما توسط Revilla et al. (2005) گزارش شده است، که اشاره کردند تحمل در مراحل مختلف رشد تحت کنترل مجموعه‌های مختلف ژن هستند. از آنجا که مقاومت به دمای کم در گیاهان در بیشتر مواقع صفت بسیار پیچیده‌ای است، به‌نژادی توسط صفات فیزیولوژیکی به‌عنوان یک روش کارآمد برای جمع کردن مؤلفه‌های مختلف تحمل، در یک ژنوتیپ پیشنهاد شده است (Reynolds, & Langridge, 2016). در این زمینه، پژوهش کنترل ژنتیکی تحمل به سرما مبنایی برای اجرای برنامه‌های نوین به‌نژادی

و بنابراین برای بهبود سازگاری گیاهان با محیط‌های سرد خواهند بود (Takeda & Matsuoka, 2008). وراثت-پذیری مهمترین شاخص بویژه برای صفات کمی است که روند و میزان انتقال صفات از والدین به فرزندان را نشان می‌دهد به‌گونه‌ای که هر قدر مقدار آن زیادتر باشد، سهم واریانس ژنتیکی زیادتر و اصلاح آن صفت ساده تر خواهد بود (Sharma, 1998). بنابراین این شاخص نقش کلیدی در طراحی برنامه‌های به‌نژادی دارد.

Nezami et al. (2011) نشان دادند ارقام برتر چغندر قند که مقاومت بیشتری نسبت به سرما و یخ‌زدگی داشتند، در تعداد، سطح و وزن خشک برگ و نیز قطر ریشه عملکرد بهتری داشتند. همچنین بیان داشتند که بین درصد بقاء و صفات ریخت‌شناسی اشاره شده همبستگی مثبت و معنی-داری وجود دارد که بیش‌ترین همبستگی بین درصد بقاء با تعداد برگ و طول ریشه مشاهده شد. در حالی که درجه حرارت مطلوب برای ذخیره‌سازی و توجه به عوامل مؤثر بر ذخیره‌سازی چغندر قند مهم است، اما تعیین درجه حرارت بهینه برای ذخیره‌سازی دشوار است (Wyse, 1978). در پژوهش‌های مختلف به صفات مهمی مثل قندهای محلول (Nezami et al., 2011)، نشت الکترولیت (Bagheri et al., 2010; Hajmohammadnia Ghalibaf et al., 2020) و کارایی فتوسنتز (Maxwell & Johnson, 2000) و پرولین (Siosemardeh et al., 2012; Barzan et al., 2018) مرتبط با تحمل به سرما اشاره شده است. Nezami et al. (2011) نشان دادند در چغندر قند با کاهش دما و رفتن به سمت یخ‌زدگی محتوی کلروفیل کاهش می‌یابد. در فلفل سبز توانستند قبل از مشاهده آثار ظاهری خسارت سرما توسط تغییرات فلورسانس کلروفیل تفاوت‌ها در اثر سرما را تشخیص دهند. بنابراین اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل یک روش سودمند جهت تشخیص زود هنگام و اندازه‌گیری کمی تخریب سلولی ایجاد شده توسط دماهای پائین است (Maxwell & Johnson, 2000).

درصد به مدت پنج دقیقه ضد عفونی و تعداد هفت الی هشت عدد بذر از هر رقم در هر گلدان به ابعاد ۳۵×۴۵ سانتیمتر (به عنوان یک تکرار) که حاوی مخلوط خاک، ماسه و کود حیوانی به ترتیب به نسبت ۲:۱:۱ بود، کشت شدند و آبیاری به مقدار مورد نیاز صورت پذیرفت و زمانی که گیاهچه‌ها استقرار کامل پیدا کردند، بوته‌ها طوری تنک شدند که در هر گلدان فقط یک بوته سالم و قوی وجود داشته باشد. دو هفته قبل از برداشت (مرحله رشد ۳۹ بر اساس BBCH)، زمانی که برگ‌ها در حال قهوه‌ای شدن بودند گلدان‌ها برای اعمال تنش سرما درون اتاقک رشد با دمای مورد نظر (با توجه به سطوح حرارتی ذکر شده)، دوره نوری ۱۲ ساعت شب / روز و شدت نوری 400 ± 50 میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه قرار داده شدند.

اندازه‌گیری صفات

پس از گذشت ۱۰ روز سرمادهی، صفات ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع طوقه، طول، قطر و وزن ریشه (غده) اندازه‌گیری شدند. همچنین عیار قند و صفات فیزیولوژیک به شرح زیر اندازه‌گیری شدند:

اندازه‌گیری محتوای قند: ابتدا ریشه به دقت شسته و سپس یک برش طولی روی ریشه انجام شد، به طوری که قطعه جدا شده شامل قسمت‌های انتها، وسط و طوقه ریشه باشد. سپس قسمت جدا شده به صورت خلالی رنده شد (به وزن ۲۸ گرم) و در ۱۷۷ میلی‌لیتر استات سرب قلیائی رقیق ریخته شده و به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفت. در این مدت به طور مداوم به کمک همزن، هم زده شدند تا قند آن در محلول استات سرب قلیائی کاملاً آزاد شود. سپس نمونه مجدد هم زده شد و از کاغذ صافی عبور داده شد تا نمونه صاف شود (توجه شود نمونه باید کاملاً شفاف باشد). سپس عصاره‌ها را در فالدکون ریخته و بلافاصله نمونه‌ها توسط دستگاه پلازیمتر (Saccharomat Germany V, Schmidt + Haensch GmbH & Co.) خوانده شدند (Babaei et al., 2013).

گیاه به عنوان یک موجود زنده به طور همزمان تحت تأثیر متغیرهای مختلف قرار می‌گیرد، به همین علت استفاده از تجزیه و تحلیل‌های چند متغیره برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در برنامه‌های به‌نژادی نتایج معتبرتری در بر خواهد داشت (Li et al., 2018). تجزیه به عامل‌ها از جمله روش‌های آماری چند متغیره هستند که جهت بررسی روابط بین متغیرها و گروه‌بندی مشاهدات به کار می‌رود (Johnson, 1998). این روش به علت برخورداری از مدل آماری بر سایر روش‌ها از جمله تجزیه به مولفه‌های اصلی ارجحیت دارد.

با توجه به اینکه، زمان مناسب برای برداشت چغندر قند در مناطق سردسیر، آبان ماه و گاهی آذر ماه است، بنابراین احتمال وقوع تنش سرما و وارد آمدن خسارات بر محصول این گیاه امکان پذیر است (Khayamim & Taleghani, 2008). با وجود اهمیت تنش سرما و خسارات وارده به تولید چغندر قند، اطلاعات اندکی درباره تحمل به سرمای ارقام رایج وجود دارد و پژوهش‌ها بیشتر در رابطه با جنبه‌های زراعی و فیزیولوژیکی سرما و یخ‌زدگی بر روی چغندر قند انجام شده، در این پژوهش واکنش ژنتیکی ارقام به تنش سرما و روابط ژنتیکی میان صفات مهم آنها در شرایط سرما در مرحله رسیدگی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط آزمایش

این پژوهش در دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در شرایط کنترل شده گلخانه و اتاقک رشد اجرا شد. در پژوهش حاضر، ده رقم چغندر قند (شیرین، کرجی، راستاد، زرقان، پرشیا، SBSI-005، دروتی، آناکوندا، مراک، آنتیک) در معرض چهار سطح دمایی شامل (۰، ۵، ۱۰، ۲۵ (شاهد) درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. آزمایش در هر کدام از سطوح دمایی به صورت کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. ابتدا بذور با هیپوکلریت سدیم ۰/۵

اندازه‌گیری محتوای قندهای محلول: برای اندازه‌گیری قندهای محلول ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی هر نمونه داخل لوله آزمایش ریخته شد. سپس سه میلی‌لیتر آنترون تازه به آن اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد. پس از خنک شدن نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه، میزان جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Lambda ez 210 USA) خوانده شد. قبل از انجام مراحل فوق، استانداردهایی از گلوکز تهیه و کلیه مراحل مذکور روی آن‌ها نیز انجام شد. سپس منحنی کالیبراسیون با استاندارد گلوکز رسم و میزان قندهای محلول نمونه‌ها بر اساس میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل، بعد از اعمال تیمار دمایی و قبل از برداشت نمونه‌های برگ، فاکتورهای میزان فلورسانس کلروفیل (F_v/F_m , F_v , F_m , F_o) نیز توسط دستگاه فلوری متر مدل (OS1-FL) خوانده شد. اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ ارقام مختلف چغندر قند نیز با دستگاه اسپاد (SPAD-502 Readings Minolta, Japan) انجام گرفت. جهت میانگین سه برگ همسان در هر گلدان، به عنوان عدد اسپاد هر تیمار ثبت شدند.

شدت تنش و شاخص تحمل به تنش نیز به کمک رابطه‌های زیر محاسبه شدند (Fernandez, 1992):

رابطه (۱):

$$\text{SI} = 1 - \left(\frac{F_v}{F_m} \right) \quad (\text{Stress Intensity})$$

رابطه (۲):

$$\text{STI} = \frac{(Y_p) \times (Y_s)}{Y_p^2} \quad (\text{Stress Tolerance Index})$$

\bar{Y}_s و \bar{Y}_p به ترتیب میانگین کلیه ژنوتیپ‌ها برای صفات در شرایط شاهد و تنش سرما و Y_s و Y_p مقدار صفت هر ژنوتیپ در شرایط شاهد و تنش سرما است.

همچنین وزن قند (SY) توسط رابطه $SY = RY \times SC$ محاسبه شد که در این رابطه RY وزن ریشه و SC عیار قند است.

بعد از اعمال تیمارهای حرارتی مقدار ۰/۵ گرم برگ تر از بوته‌های هر گلدان بلافاصله برداشت و در دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. جهت اندازه‌گیری محتوای پرولین و قندهای محلول، ابتدا عصاره الکلی از برگ‌ها تهیه شد.

میزان پرولین و قندهای محلول به ترتیب با روش‌های Paquine & Lechasseur (1979) و Irigoyen et al. (1992) اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری محتوای پرولین: برای اندازه‌گیری پرولین ابتدا به تعداد تیمارها لوله آزمایشی درب دار به حجم حداقل ۳۰ میلی‌لیتر تهیه شد. در مرحله بعد، ۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی را به لوله‌های مذکور منتقل و ۱۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر شده به آن اضافه شد. سپس ۵ میلی‌لیتر نین‌هیدرین (به ازای هر نمونه ۰/۱۲۵ گرم نین‌هیدرین در ۲ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار و ۳ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال (۹۹/۹٪) حل شد و به مدت ۱۶ ساعت توسط همزن مگنت دار به هم زده شد تا کاملاً حل شود) به نمونه‌ها اضافه شد و بعد از آن ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال (۹۹/۹٪) به هر نمونه اضافه شد و نمونه‌ها به مدت ۴۵ دقیقه داخل حمام آب جوش (بن‌ماری، ۹۵ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها خارج شدند و در دمای محیط خنک شدند. بعد از آن، به هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر بنزن اضافه و به شدت تکان داده شدند، تا پرولین وارد فاز بنزن شود. بعد از این مرحله، نمونه‌ها به مدت نیم ساعت به حالت سکون نگهداری و سپس میزان جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Lambda ez 210 USA) خوانده شد.

تجزیه‌های آماری

بعد از اندازه‌گیری صفات، ابتدا تجزیه مرکب انجام شد و مقایسه میانگین‌های آثار اصلی به روش LSD و بر همکنش‌ها بر اساس رویه LSmeans صورت گرفت. اجزاء واریانس، ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی و وراثت‌پذیری عمومی صفات توسط امید ریاضی میانگین مربعات محاسبه شدند (Sharma, 1998).

رابطه (۳):

$$Cv_p = \frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{X}} \times 100$$

در این رابطه Cv_p و σ_p^2 به ترتیب ضریب تنوع فنوتیپی و واریانس فنوتیپی و \bar{X} میانگین کل است.

رابطه (۴):

$$Cv_g = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{X}} \times 100$$

در این رابطه Cv_g و σ_g^2 به ترتیب ضریب تنوع ژنوتیپی و واریانس ژنتیکی و \bar{X} میانگین کل است.

رابطه (۵):

$$h_b^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2} \times 100$$

در این رابطه h_b^2 وراثت‌پذیری عمومی است. σ_p^2 و σ_g^2 به ترتیب واریانس ژنوتیپی و واریانس فنوتیپی هستند.

جهت محاسبه ضریب همبستگی ژنتیکی نیز از رابطه‌های زیر استفاده شد (Sharma, 1998).

رابطه (۶):

$$R_{g(x,y)} = COV_{g(x,y)} / (S_x \cdot S_y)$$

در رابطه فوق، COV_g کوواریانس ژنتیکی دو صفت X و Y و S_x و S_y انحراف معیار ژنتیکی دو صفت مذکور است. کوواریانس ژنتیکی دو صفت توسط اطلاعات حاصل از تجزیه واریانس چند متغیره طرح کامل تصادفی به کمک رابطه زیر محاسبه شد.

رابطه (۷):

$$COV_g = (SSCP_v / df_v - SSCP_e / df_e) / r$$

در این رابطه، $SSCP_v$ از ماتریس مجموع ضرب‌های واریته (رقم) و $SSCP_e$ نیز از ماتریس مجموع

مربعات حاصل ضرب‌های خطا بدست آمد. df_v ، df_e و r به ترتیب درجه‌های آزادی رقم، خطا و تعداد تکرار است.

تجزیه به عامل‌ها به روش مؤلفه‌های اصلی انجام شد و به روش واریماکس دوران داده شدند، سپس مهمترین عامل-های اول تفسیر شدند. در مرحله بعد امتیاز عامل‌ها برای سه عامل اول محاسبه شدند و نمودار سه بعدی پراکنش ژنوتیپ‌ها برای امتیاز سه عامل اول ترسیم شد. ژنوتیپ‌ها براساس قرار گرفتن در چهار ناحیه حاصل (نواحی A، B، C و D) از نظر تحمل به سرما گروه‌بندی شدند. از نرم افزارهای آماری (SAS 9.1 (SAS Institute, Cary NC) و SPSS version 22 (IBM Corp., Armonk, N.Y., USA) جهت انجام تجزیه‌های آماری استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان دادند تأثیر دما برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده، اثر ژنوتیپ برای تمام صفات به جز قطر ریشه، نشت الکترولیت و F_v/F_m و بر همکنش دما و رقم برای تمام صفات اندازه‌گیری شده به جز نشت الکترولیت معنی‌دار بودند. بنابراین ارقام مورد بررسی از لحاظ صفات اندازه‌گیری شده واکنش‌های متفاوتی نسبت به سطوح دمایی مورد بررسی داشتند. با توجه به نتایج حاصل جهت خلاصه نویسی سایر تجزیه‌های آماری بر روی مشاهدات سطح شاهد (دمای $25^\circ C$) و سطح تنش (صفر درجه سانتی‌گراد) صورت گرفت.

بررسی میانگین‌ها (جدول ۲) نشان دادند میانگین کلیه صفات ریخت‌شناسی اندازه‌گیری شده در حالت تنش نسبت به عدم تنش کاهش یافت. در شرایط سرما، انرژی متابولیکی کمتری در دسترس گیاهان زراعی است، جذب آب و عناصر غذایی توسط آن‌ها محدود می‌شود، بیوسنتز کمتری ایجاد می‌شود، آسیمیلاسون کاهش یافته و رشد متوقف می‌شود (Morris et al., 1990). میانگین ارتفاع اندام هوایی در حالت عدم تنش ۴۰/۲ سانتی‌متر و در حالت

طور چشمگیری در شرایط تنش سرما افزایش می‌یابد (Shabala, 2012). با وجود افزایش میزان پروکلین در اکثر گیاهان تحت تنش سرما، اما ارتباط آن با تحمل به سرما در همه گیاهان به اثبات نرسیده است (Wani & Herath, 2018). در زمان سرمادهی محتوای نسبی آب سلول‌های برگ کاهش و غلظت کلروفیل در سلول‌های برگ به تدریج افزایش می‌یابد. این روند می‌تواند ناشی از کند شدن رشد، کاهش تقسیم سلولی، کوچک‌تر شدن برگ‌ها و افزایش کلروفیل در واحد سطح باشد (Chen et al., 2006).

بررسی میانگین صفات فلورسانس کلروفیل نیز نشان داد صفت F_v/F_m در حالت تنش نسبت به عدم تنش به ترتیب تغییر چندانی نداشت. (Jalilian et al., 2009) کاهش حداکثر فلورسانس کلروفیل (F_m) و کارایی فتوسیستم II در ارقام بهاره چغندر قند را علت افزایش شدت خسارت یخ‌زدگی در گیاهان ذکر نمودند. در پژوهشی بر روی گیاه دارویی سرخارگل نشان داده شده که مقدار F_v/F_m در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد کاهش محسوسی نشان داده است (Asadi-Sanam et al., 2014). (Habibi et al., 2017) در گندم کاهش نسبت F_v/F_m را در اثر سرما گزارش دادند. همچنین آنها اظهار داشتند با افزایش مؤثر سازوکارهای حفاظت نوری شامل فعالیت آنزیم کاتالاز و مقدار آنتوسیانین برگ‌ها فتوسیستم‌ها حفاظت می‌شوند و از کاهش F_v/F_m ممانعت می‌شود.

تنش ۲۵/۳ بود، که کاهش ۳۷ درصدی را نسبت به حالت عدم تنش نشان می‌دهد. (Reinsdorf et al., 2013) نیز از ارتفاع و سن گیاه به‌عنوان یک معیار جهت بررسی تحمل به یخ‌زدگی استفاده کرده‌اند. گیاهان وقتی در دمای تنش سرما رشد می‌کنند ارتفاع کوتاهی از خود نشان می‌دهند. علت این پدیده را می‌توان به کاهش میزان متابولیسم اولیه، کاهش فعالیت‌های آنزیمی و تغییرات هورمون‌هایی از جمله اسیدسالیسیلیک و اکسین‌ها نسبت داد (Shabala, 2012). مقایسه میانگین وزن ریشه در حالت تنش نسبت به عدم تنش سرما کاهش ۳۵ درصدی را نشان می‌دهد. میانگین صفات وزن تر اندام هوایی، قطر ریشه، وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع طوقه و طول ریشه به ترتیب ۴۰، ۱۷، ۵۵، ۱۵ و ۹ درصد کاهش نسبت به حالت عدم تنش نشان دادند. در سایر گیاهان از جمله در لوبیا نیز کاهش این صفات در اثر سرما گزارش شده است (Amooaghaie & Shariat, 2014). میانگین نشت الکترولیت، شاخص کلروفیل (اسپد)، قندهای محلول و پروکلین در سطح تنش نسبت به عدم تنش به ترتیب ۴۰، ۲۰، ۲۷ و ۵۸ درصد افزایش نشان داد. در مجموع، افزایش قندهای محلول در زمان تنش را می‌توان به علت توقف رشد یا سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوستتزی و همچنین تخریب قندهای نامحلول که سبب افزایش قندهای محلول می‌شود، بیان کرد (Ghorbanli & Niakan, 2005; Alavilli et al., 2023). محتوی قندهای محلول در برگ اکثر گیاهان به

جدول ۱- میانگین مربعات منابع تغییر برای صفات اندازه گیری شده در مرحله رسیدگی چغندر قند.

Table 1. Mean squares of the source of variation for the measured traits at the maturity stage of sugar beet

Source of variation	Df	Crown height	Plant height	Shoot dry weight	Root diameter	Root length	Root weight	Sugar content	Sugar weight
Temperature (T)	3	4.22**	1440.3**	1100.29**	10.16**	83.90**	173617.6**	42.38**	1051**
Error1	8	0.11	5.6	280.21	0.85	7.47	1455.9	2.69	281.3
Cultivar (C)	9	0.63*	49.2**	48.22**	0.57 ^{ns}	23.63**	24705.3*	5.44**	613.0*
T × C	27	0.50*	27.4*	32.70*	1.97**	13.88*	29427.0**	3.75*	572.0**
Error2	72	0.26	15.9	17.87	0.74	8.38	10684.15	1.91	205.2
Coefficient of variation (CV)		24.49	11.27	22.44	11.69	48.16	24.77	10.01	25.19
Stress intensity (SI)		0.15	0.36	0.55	0.17	0.09	0.34	0.17	0.20

Table 1. Continued

Source of variation	Df	Proline	Soluble sugar	SPAD	Electrolyte leakage	F _v /F _M
Temperature (T)	3	148.8**	1134.1**	1001.86**	5908.9**	0.004**
Error1	8	1.28	20.99	16.39	78.48	0.0002
Cultivar(C)	9	6.30**	207.3**	43.94*	128.23 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
T × C	27	8.76**	217.2**	44.47**	118.4 ^{ns}	0.0002 ^{ns}
Error2	72	1.23	56	17.66	113.08	0.00009
Coefficient of variation (CV)		21.66	23.87	7.21	17.02	1.13
Stress intensity (SI)		0.58	0.37	0.20	0.40	0.01

^{ns}، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح پنج و یک درصد را نشان می دهند.

^{ns}، * and ** indicated not significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

این است که دو صفت پرولین و قندهای محلول کل به ترتیب در شرایط عدم تنش و تنش از تنوع بالایی برخوردار بودند که نشان از تنوع بین واریته‌ها در مورد این صفات است. از ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی برای تعیین وجود یا عدم وجود تنوع استفاده می‌شود. بنابراین، بر اساس نتایج (Dwivedi et al., 2017)، ارزیابی تنوع بر تصمیم‌گیری در مورد اینکه اهداف و بهترین روش انتخاب کدام است کمک می‌کنند. همچنین این منابع ژنتیکی را می‌توان برای ارزیابی آلل‌های مطلوب موجود در مجموعه‌های ژرم پلاسما در نظر گرفت. مقایسه این ضرایب تأثیر عوامل محیطی را بر روی همه صفات نشان می‌دهد. در اینجا نیز در مورد همه صفات (بجز صفت قندهای محلول کل در شرایط تنش) ضریب تنوع فنوتیپی از ضریب تنوع ژنتیکی بیشتر بود که نشان دهنده تأثیر عوامل محیطی بر صفات مورد بررسی است.

بیش‌ترین میزان وراثت‌پذیری عمومی (جدول ۲) برآورد شده مربوط به صفات قطر ریشه و نشت الکترولیت به ترتیب با میزان ۵۶/۴۸ و ۵۲/۶۴ بود و کم‌ترین میزان وراثت‌پذیری عمومی مربوط به شاخص کلروفیل (۱۳/۸۲) بود. اگر وارث پذیری صفتی بیشتر از ۰/۵ باشد، صفت دارای توارث پذیری بالا و اگر بین ۰/۲ تا ۰/۵ باشد، صفت دارای توارث پذیری متوسط و اگر کمتر از ۰/۲ باشد، صفت دارای وراثت پذیری پائینی است (Stansfield, 1991). بر اساس نتایج مشاهده شده، دو صفت قطر ریشه و نشت الکترولیت از وراثت‌پذیری بالا و صفت شاخص کلروفیل از وراثت‌پذیری پائینی برخوردار بودند. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شد، اکثر صفات ریخت‌شناسی از وراثت‌پذیری کم تا متوسطی برخوردارند که می‌توان گفت این صفات توسط ژن‌های زیاد با اثرات کم که به شدت تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرند، کنترل می‌شوند. بنابراین، با توجه به توارث‌پذیری پایین و متوسط، برای بهبود این صفات باید از روش‌های گزینش که براساس

کاهش F_v/F_m در شرایط تنش سرما می‌تواند از طرفی به علت تخریب و غیر فعالسازی پروتئین D_1 مراکز واکنش فتوسیستم II تحت تنش سرما و از سوی دیگر، آشفستگی در کلروپلاست و پدیده بازدارندگی نوری باشد (Asadi-Sanam et al., 2014). اختلال در فعالیت‌های غشای سلولی تحت تأثیر تنش سرما، سبب نشت الکترولیت‌ها از سلول شده و اندازه‌گیری نشت از بافت‌ها می‌تواند معیار قابل قبولی برای سنجش مقاومت به تنش سرما باشد.

بررسی میانگین دو صفت مهم در چغندر قند شامل عیار قند و وزن قند نیز نشان دادند تحت تنش نسبت به حالت عدم تنش به میزان ۱۸ درصد افزایش در میزان عیار را داشته است درصد بالایی عیار قند بر اثر تنش را می‌توان به از دست دادن آب ریشه یا کوچک بودن ریشه در شرایط تنش نسبت داد در حالی که وزن قند در اثر سرما ۲۰ درصد نسبت به عدم تنش سرما کاهش نشان داد که ناشی از کاهش شدید وزن ریشه در اثر تنش سرما است. در زمان تنش، عرضه هیدروکربن‌ها از برگ‌ها به ریشه به عنوان عامل اصلی تعیین کننده رشد ریشه محسوب می‌شود. زمانی که تنش میزان هیدروکربن‌ها را کاهش دهد، ناگزیر رشد ریشه کم می‌شود (Cook & Scott, 1993).

ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی و وراثت‌پذیری مربوط به صفات اندازه‌گیری شده در ۱۰ رقم مورد بررسی در جدول ۲ آورده شده است. بیش‌ترین و کم‌ترین ضریب تنوع ژنوتیپی در شرایط تنش سرما به ترتیب مربوط به قندهای محلول کل (۲۶/۸۲) و F_v/F_m (۰/۰۹) و در شرایط عدم تنش سرما مربوط به پرولین (۴۷/۰۷) مشاهده شد. در بین صفات اندازه‌گیری شده در شرایط عدم تنش سرما صفات پرولین (۵۴/۰۲) و F_v/F_m (۱/۱۶) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان ضریب تنوع فنوتیپی را به خود اختصاص دادند و در شرایط تنش سرما صفات پرولین (۲۹/۳۴) و F_v/F_m (۰/۴۶) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار ضریب تنوع فنوتیپی را دارا بودند. این موضوع نشان دهنده

ژنوتیپ صورت می‌گیرد همراه با روش‌های به‌زرایی، استفاده کرد (Sharma, 1998).

جدول ۲- میانگین، ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی صفات اندازه‌گیری شده چغندر قند در شرایط صفر درجه و بدون تنش سرما (۲۵°C).

Table 2. Average, genetic, and phenotypic variation coefficients of the measured traits under cold stress (0°C) and non-cold-stress (25°C) conditions.

Traits	Phenotypic coefficient of variation		Genetic coefficient of variation		Average		Heritability
	0°C	25°C	0°C	25°C	0°C	25°C	
Crown height (cm)	22.03	30.06	14.20	13.70	1.67	1.98	34.92
Plant height (cm)	13.39	7.80	8.70	3.90	25.30	40.20	13.51
Shoot dry weight (g/per plant)	25.40	23.01	11.03	19.50	12.09	26.82	31.24
Root diameter (cm)	6.10	9.30	2.20	6.50	6.75	8.15	56.48
Root length (cm)	11.08	11.80	1.40	6.80	18.72	20.40	48.16
Root weight (gr/per plant)	12.19	21.30	4.10	10.80	320.00	490.40	19.00
Sugar content (%)	12.05	9.96	8.04	5.70	15.22	12.55	35.29
Sugar weight (gr/per plant)	17.26	22.30	9.01	13.40	48.77	61.40	47.19
Proline (mg/g)	29.34	54.02	27.10	47.07	8.19	3.45	17.21
Soluble sugar (mg/g)	25.40	17.70	26.82	10.60	36.50	22.94	40.94
SPAD	7.50	6.68	3.20	4.20	65.23	52.00	13.82
Electrolyte leakage (%)	12.89	17.66	5.90	10.10	70.70	43.09	52.64
F _v /F _m	0.46	1.16	0.10	0.80	0.86	0.86	50.00

ملاحظه‌ای نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد که این نشان از نقش موثر این صفات در حفظ عملکرد چغندر قند در شرایط تنش سرما است. متناسب با پژوهش حاضر، (Campbell & Kern, 1983) با بررسی صفات ریخت‌شناسی در ۳۵ ژنوتیپ چغندر قند همبستگی منفی و معنی‌داری بین عملکرد ریشه و درصد قند (۰/۶۷-) مشاهده کردند. وجود این رابطه منفی بین وزن ریشه و درصد قند مانع از اصلاح همزمان عملکرد و درصد قند چغندر قند می‌شود (Campbell & Kern, 1983). با این وجود، هر دو صفت عملکرد ریشه و درصد قند بایستی در برنامه‌های اصلاحی چغندر قند مد نظر قرار گیرند، زیرا به‌نژادگر دست کم سعی می‌کند سطح یکی از این دو صفت را به هنگام اصلاح صفت دیگر ثابت نگه دارد (Doney, 1988). (Rajabi et al., 2002) نشان دادند همبستگی مثبت و معنی‌داری در چغندر قند بین صفات عملکرد ریشه و عملکرد قند وجود داشت. این پژوهشگران همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن ریشه با قطر ریشه و ارتفاع طوقه گزارش کردند که نشان می‌دهد ریشه‌های بزرگ‌تر دارای

همبستگی‌های ژنوتیپی میان صفات مورد ارزیابی

همبستگی ژنوتیپی وزن ریشه با طول ریشه $r_g=0/98$ ، وزن ریشه با قطر ریشه $r_g=0/97$ ، وزن ریشه با وزن قند $r_g=0/59$ مثبت و معنی‌دار بودند (مشاهدات نشان داده نشده‌اند). همبستگی صفت عیار قند نیز با صفات وزن قند ($r_g=0/88$) مثبت و معنی‌دار بود. همبستگی ژنوتیپی صفت وزن تر اندام هوایی نیز با صفات فیزیولوژیکی پرولین، نشت الکترولیت و قندهای محلول کل (۰/۴۰-) منفی و معنی‌دار بود و همچنین این رابطه منفی و معنی‌دار بین صفت ارتفاع اندام هوایی با نشت الکترولیت و پرولین برقرار بود. همبستگی ژنوتیپی مثبت و معنی‌داری ($r_g=0/49$) بین صفات طول ریشه و عیار قند مشاهده شد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین طول ریشه و عیار قند گزارش شده و علت این امر را به بزرگ‌تر بودن سلول‌ها در حلقه‌های آوندی و در نتیجه تجمع بیشتر قند در ریشه‌های گرد نسبت دادند (Rajabi et al., 2002). در یک مقایسه همبستگی ژنتیکی صفات وزن قند و وزن ریشه با صفات فیزیولوژیکی قندهای محلول، نشت الکترولیت و پرولین در شرایط سرما به‌طور قابل

الکترولیت و عیار قند در جهت مقابل یکدیگر قرار گرفتند. به عبارت دیگر با افزایش این عامل میزان نشت الکترولیت کم و عیار قند زیاد می‌شود. در عامل پنجم که توانایی توجیه ۹/۵ درصد تغییرات را داشت، شاخص کلروفیل در جهت مثبت نقش اصلی را داشت. بنابراین، این عامل را می‌توان مرتبط با فتوسنتز دانست. عامل ششم که در آن کارایی فتوسیستم II در جهت مثبت قرار داشت توانست ۵/۶ درصد از تغییرات را توجیه کند.

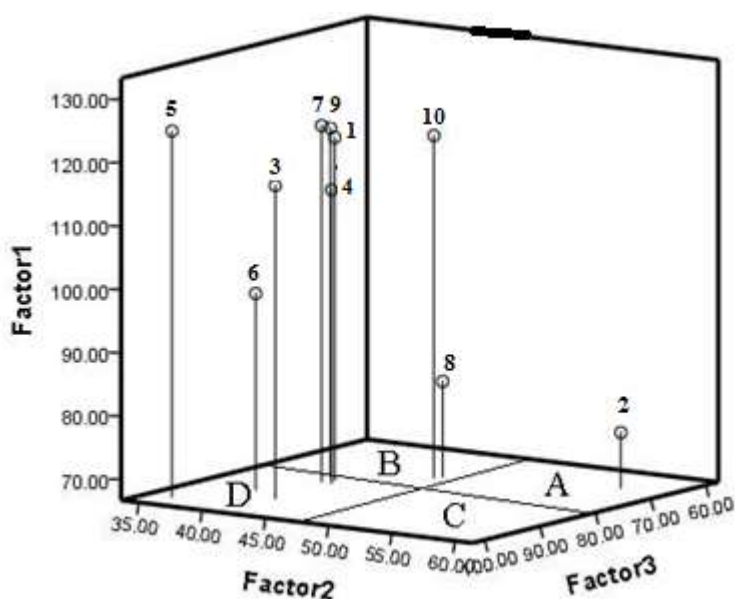
نمودار سه بعدی حاصل از امتیاز ۳ عامل اول برای ۱۰ رقم مورد بررسی در شکل ۱ ارائه شده است. برای شناسایی محل هر یک از ارقام نمودار به چهار ناحیه A، B، C و D تقسیم شد که بر این اساس ناحیه A در صورتی که از نظر عامل اول مقدار بالایی داشته باشد. ناحیه مقاومت، با توجه به کم بودن فاکتور دوم ناحیه B مقاومت متوسط، ناحیه C نیز با توجه به زیاد بودن فاکتور سوم که همان حساسیت است از مقاومت متوسط و ناحیه D نیز حساسیت را نشان می‌دهد. رقم SBSI-005 که در ناحیه A واقع شده از لحاظ عوامل اول مقدار ناچیزی دارد، بنابراین با وجود اینکه از نظر عوامل دوم و سوم در شرایط مطلوبی برخوردار است، نمی‌توان آن را متحمل‌تر از سایر ارقام دانست. دو رقم پرشیا و آنتیک نیز در ناحیه B واقع شدند که می‌توان گفت که این ارقام نسبت به سایر ارقام متحمل‌تر بودند، اما زیرا از نظر عامل سوم مقدار بالایی نداشتند، در مجموع از مقاومت متوسطی برخوردار بودند. سایر ارقام نیز در ناحیه D قرار گرفتند که می‌توان گفت که نسبت به ارقام گفته شده در سایر نواحی از مقاومت کمتری برخوردار بوده و حساس‌تر هستند. در ناحیه C نیز هیچ رقمی واقع نشد. این روش برای گزینش ارقام متحمل به انواع تنش‌ها بکار رفته است (Fernandez, 1992; Bagheri et al., 2020). ژنوتیپ‌های منتخب در این پژوهش، همچنین می‌توانند جهت بررسی دقیق ژنتیکی، فیزیولوژیکی و مولکولی صفات تحمل به سرما توسط نشانگرهای DNA و سایر ابزارهای اومیک و

قطر بزرگ‌تر و ارتفاع طوقه بلندتری هستند. به عبارت دیگر غده‌های دارای ارتفاع طوقه بلندتر، برای گزینش مناسب نیستند. (Mohammadian et al. (2009 در بررسی بر روی چغندر قند، نشان دادند همبستگی قسمت هوایی با صفات ریشه ذخیره‌ای منفی و معنی‌دار بود. یعنی هرچه مقدار نسبت اندام هوایی به ریشه ذخیره‌ای کمتر، میزان تولید شکر افزایش می‌یابد که این مشاهدات با نتایج پژوهش ما هم‌خوانی دارد.

تجزیه به عامل‌ها

نتایج تجزیه به عامل‌ها به روش مؤلفه‌های اصلی روی ۱۱ صفت (در شرایط صفر درجه سانتی‌گراد) در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ۶ عامل اول به ترتیب ۲۹/۱۷، ۱۸/۱۸، ۱۳/۸۲، ۱۰/۸۷، ۹/۵ و ۵/۳ درصد و در مجموع ۸۶ درصد از تغییرات کل را نشان دادند. با مشاهده جدول ۳ مشخص شد در عامل اول صفات وزن تر اندام هوایی و ارتفاع اندام هوایی در مقابل صفات ارتفاع طوقه و نشت الکترولیت در جهت عکس قرار داشتند. از آنجایی که ارتفاع و وزن تر اندام هوایی در مقابل صفات ارتفاع طوقه و نشت الکترولیت قرار گرفتند، بنابراین می‌توان این عامل را مرتبط با تحمل به سرمای ریخت شناسی نامگذاری کرد. این عامل به تنهایی ۲۹/۱ درصد از تنوع کل را توجیه نمود. در عامل دوم، شاخص‌های مقاومتی STI برای صفات وزن ریشه و عملکرد قند به‌طور مثبت و در مقابل صفت قطر ریشه در جهت عکس واقع شدند. بنابراین این عامل را نیز می‌توان مرتبط با تحمل به سرما دانست. ۱۸/۱۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها توسط این عامل توجیه شد. در عامل سوم، دو صفت فیزیولوژیکی نشت الکترولیت و قندهای محلول هر دو در جهت مثبت قرار گرفتند. بنابراین این عامل را که ۱۳/۸۲ درصد تنوع را نشان داد، می‌توان مرتبط با حساسیت به سرما و عامل حساسیت فیزیولوژیکی دانست. در عامل چهارم، ۱۰/۸۷ درصد تغییرات را توجیه کرد که در این عامل نشت

نحوه کنترل ژنتیکی صفت و نواحی ژنومی در گیر در پاسخ به انتخاب، بکار گرفته شوند.



شکل ۱ - پراکنش ژنوتیپ‌ها بر اساس نمودار سه بعدی حاصل از امتیازهای سه عامل اول در دمای صفر درجه سانتی گراد. شماره ها ژنوتیپ‌ها را نشان می دهد. ۱- کرچی، ۲- SBSI- 005، ۳- شیرین، ۴- راستاد، ۵- آناکوندا، ۶- دروتی، ۷- مراک، ۸- آنتیک، ۹- زرقان، ۱۰- پرشیا

Figure 1. Scatter three-dimensional plot of sugar beet genotypes based on the first three factors. Numbers show genotypes as: 1. Karaji, 2. SBSI- 005, 3. Shirin, 4. Rastad, 5. Anaconda, 6. Drothy, 7. Merac, 8. Antic, 9. Zarghan and 10. Persia.

صفات فیزیولوژیکی مثل پرولین، قندهای محلول و نشت الکتروولیتی در هر دو مرحله بیشترین مقدار شدت تنش را نشان دادند. همچنین وزن خشک اندام هوایی در هر دو مرحله و وزن ریشه (غده) در مرحله رسیدگی هم شدت تنش زیادی داشتند. رقم پرشیا که در مرحله رسیدگی تحمل بالایی نسبت به سرما داشت، از نظر صفات ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، قطر ریشه (غده)، طول ریشه (غده) و وزن ریشه (غده) بالاترین مقادیر را داشت. در حالی که در ارقام حساس این صفات مقادیر کمی داشتند. بنابراین می توان آنها را به عنوان معیار انتخاب برای تحمل به سرما در مرحله رسیدگی در نظر گرفت.

در مقایسه با اعمال تنش سرما در مرحله رویشی (Jalilian et al., 2017)، به طور کلی می توان گفت که در این آزمایش ارتباط بین تحمل به سرما در مرحله رویشی و مرحله رسیدگی در بیشتر ارقام وجود دارد، اگر چه در برخی ارقام این رابطه وجود نداشت. به عنوان مثال در مرحله رویشی و نیز در مرحله رسیدگی رقم آنتیک تحمل به سرما نشان داد این تطابق در سایر ارقام بجز مراک و پرشیا مشاهده شدند. این نتیجه به انتخاب ارقام متحمل به سرما در مرحله اولیه رشد کمک می کند. به طور کلی صفات در مرحله رسیدگی در مقایسه با صفات در مرحله رویشی کمتر تحت تاثیر سرما قرار گرفتند. (Jalilian et al., 2017)

جدول ۳- بار عامل‌های دوران‌یافته و واریانس‌های جزء و تجمعی چهار عامل اول برای صفات اندازه‌گیری شده چغندرقد در دمای صفر درجه سانتی‌گراد

Table 3. Load of rotated factors by varimax method, component and cumulative variances for the first fourth factors related to the measured traits on sugar beet at cold stress (0°C) conditions.

	First factor	Second factor	Third factor	Fourth factor	Communality
Crown height (cm)	-0.83	-0.07	0.09	0.05	0.759
Plant height (cm)	0.74	0.24	0.02	-0.20	0.744
Shoot dry weight (g/per plant)	0.87	-0.02	0.21	0.05	0.865
Root diameter(cm)	0.31	-0.67	-0.38	-0.14	0.847
STI root weight	0.17	0.87	-0.20	-0.07	0.927
Sugar content (%)	-0.19	-0.05	0.22	0.86	0.876
STI sugar weight	0.25	0.85	-0.27	-0.03	0.918
Soluble sugar (mg/g)	0.13	-0.23	0.86	0.14	0.879
SPAD	0.05	0.07	0.11	0.03	0.916
Electrolyte leakage (%)	-0.57	-0.08	0.41	-0.58	0.90
F _v /F _M	-0.17	-0.17	-0.06	-0.22	0.93
Component variance	29.17	18.18	13.82	10.87	
Cumulative variance	29.17	47.28	61.10	71.97	

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، تنوع ژنتیکی بالایی برای صفات مربوط به تحمل سرما در چغندرقد مشاهده شد. علاوه بر این، روابط ژنتیکی بین صفات مهم چغندرقد در شرایط سرد نشان می‌دهد که می‌توان از برخی صفات در انتخاب غیرمستقیم برای بهبود تحمل به سرما در چغندرقد استفاده کرد. برخی از صفات بیش از ۵۰ درصد

وراثت‌پذیری داشتند که می‌توان آن را در برنامه‌های اصلاحی چغندرقد در نظر گرفت. برخی از ارقام تحمل به سرمای بالا نشان دادند و بین تحمل به سرما در مرحله رویشی و مرحله بلوغ رابطه وجود داشت. بنابراین می‌توان در مراحل اولیه رشد جهت به‌نژادی در راستای تحمل به سرما اقدام نمود.

References

- Alavilli, H., Yolcu, S., Skorupa, M., Aciksoz, S. B., & Acif, M. (2023). Salt and drought stress-mitigating approaches in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to improve its performance and yield. *Planta*, 258(30), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s00425-023-04189-x>
- Amooghaie, R., & Shariat, E. (2014). Effect of cultivar, cold and paclobutrazol on growth, chlorophyll content and cell membrane injury in *Phaseolus vulgaris* plantlet. *Journal of Plant Biological Sciences*, 6(22), 77-90.
- https://ijpb.ui.ac.ir/article_18944.html?lang=en [In Persian].
- Asadi-Sanam, S., Zavareh, M., Pirdashti, H., Yaghubian, Y., & Hashempour, A. (2014). Studying the effect of low temperature stress on purple coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) medicinal plant using chlorophyll fluorescence technique. 13th Iranian Crop Sciences Congress & 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference, August 24-26, Karaj, Iran. <https://civilica.com/doc/312716/> [In Persian].

- Babaei, B., Abdollahian Noghahi, M., Jahad Akbar, M. R., & Yousef Abadi, V. (2013). The appropriate method for determining of sugar content in sugar beet produced under drought, salinity and normal conditions. *Journal of Sugar Beet*, 29(1), 53-59. <https://doi.org/10.22092/jsb.2013.1298> [In Persian].
- Bagheri, R., Dehdari, M., & Salehi, A. (2020). Effect of cold stress at flowering stage on some important characters of five German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) genotypes in a pot experiment, *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic*, 16, 100228. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2019.100228>
- Barbier, H., Nalin, F., & Guern, J. (1982). Freezing injury in sugar beet root cells: Sucrose leakage and modifications of tonoplast properties. *Plant Science Letters*, 26(1), 75-81. [https://doi.org/10.1016/0304-4211\(82\)90044-X](https://doi.org/10.1016/0304-4211(82)90044-X)
- Barzan, Z., Dehdari, M., & Amiri Fahliani, R. (2018). Evaluation of cold tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes at seedling stage and its association with microsatellite markers. *Journal of Crop Production and Processing*, 8(2), 33-46. <http://dx.doi.org/10.29252/jcpp.8.2.33> [In Persian].
- Basati, J., Kolivand, M., Neamati, A., & Zareii, A. (2003). Study of autumn sowing of sugar beet in the tropical areas of Kermanshah province. *Journal of Sugar Beet*, 18(2), 119-130. <https://doi.org/10.22092/jsb.2003.8279> [In Persian].
- Campbell, L. G., & Kern, J. J. (1983). Relationship among components of yield and quality of sugar beets, *Journal of the American Society of Sugar beet Technologists*, 22(2), 135-145. <https://doi.org/10.5274/JSBR.22.2.135>
- Chen, T. H. H., Uemura, M., & Fujikawa, S. (2006). Cold hardiness in plants. *Cold Hardiness in Plants: Molecular Genetics, Cell Biology and Physiology*. CABI Publishing.
- Cook, D. A., & Scott, R. K. (1993). The sugar beet crop. *Science into practice*, Chapman & Hall. London
- Doney, D. L. (1988). Selection for sucrose yield in stressed sugar beet seedlings. *Crop Science*, 28, 245-247. <https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800020012x>
- Deihimfard, R., Rahimi-Moghaddam, S., & Chenu, K. (2019). Risk assessment of frost damage to sugar beet simulated under cold and semi-arid environments. *International Journal of Biometeorology*, 63, 511-521. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2014.1723>
- Dwivedi, S. L., Scheben, A., Edwards, D., Spillane, C. & Ortiz, R. (2017). Assessing and exploiting functional diversity in germplasm pools to enhance abiotic stress adaptation and yield in cereals and food legumes. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1461. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01461>
- Fernandez, G. C. J., (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In C.G., Kuo (Ed.), *Proceeding of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops to temperature and water stress*, (pp. 257-270). AVRDC Publication, Tainan. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19951607124>
- Ghorbanli, M., & Niakan, M. (2005). The effect of drought stress on soluble sugar, total protein, proline, phenolic compound, chlorophyll content and nitrate reductase activity in soybean (*Glycine max* L. cv Gorgan). *Journal of Science (Kharazmi University)*, 5(1-2), 537-550. <http://jsci.khu.ac.ir/article-1-1177-en.html> [In Persian].
- Habibi, G., Servataian, N., & Abedini, M. (2017). Photoprotection mechanisms in wheat plants under high light and cold temperature conditions. *Journal of Plant Biological Sciences*, 9(1), 59-72. <https://doi.org/10.22108/ijpb.2017.21566> [In Persian].
- Hajmohammadnia Ghalibaf, K., Nezami, A., & Kamandy, A. (2010). Study the possibility

- of using the electrolyte leakage index for evaluation of cold tolerance in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(3), 465-472. <https://doi.org/10.22067/gsc.v8i3.7764> [In Persian].
- Irigoyen, J. J., Emerich D. W., & Sanchez-Diaz. M. (1992). Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants, *Physiology Plants*, 84, 55-60. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>
- Jalilian, A., Mzaheri, D., Tavakkol Afshari, R., Abdollahian-Noghabi, M., Rahimian, M., & Ahmadi, A. (2009). Effect of freezing damage at seedling stage in different sugar beet cultivars. *Iranian Journal of Crop Science*, 10(4), 400-415. <https://agrobreedjournal.ir/article-1-226-fa.html> [In Persian].
- Jalilian, M., Dehdari, M., Amiri Fahliani, R., & Movahedi Dehnovi, M. (2017). Study of cold tolerance of different sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars at seedling growth stage. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(3), 475-490. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.616> [In Persian].
- Johnson, D. E. (1998). Applied multivariate methods for data analysts. Duxbury Press.
- Khayamim, S., & Taleghani, D. (2008). Review of agronomical calendar research on sugar beet in Iran. *Journal of Sugar Beet*, 24(1), 124-121. <https://doi.org/10.22092/jsb.2008.1041> [In Persian].
- Li, X., Guo, T., Mu, Q., Li, X., & Yu, J. (2018). Genomic and environmental determinants and their interplay underlying phenotypic plasticity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(26), 6679-6684. <https://doi.org/10.1073/pnas.1718326115>
- Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *Journal of Experimental of Botany*, 51, 659-668. <https://doi.org/10.1093/jxb/51.345.659>
- Mohammadian, R., Abdollahian-Noghabi, M., Baghani, J., & Haghayeghi, A. (2009). The relationship of morphological traits at early growth stage of three sugar beet genotypes with final root yield and white sugar yield under different drought stress conditions. *Journal of Sugar Beet*, 25(1), 38-23. <https://doi.org/10.22092/jsb.2009.973> [In Persian].
- Morris, D. R., Weaver, R. W., Smith, G. R., & Rouquette, F. M. (1990). Nitrogen transfer from arrow leaf clover to ryegrass in field plantings. *Plant and Soil*, 128, 293-297. <https://doi.org/10.1007/BF00011122>
- Nezami, A., Hajmohammadnia Ghalibaf, K., & Kamandi, A. (2011). Evaluation of freezing tolerance of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars under controlled conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 3(2), 177-187. <https://doi.org/10.22077/escs.2011.93> [In Persian].
- Paquine, F., & Lechasseur, P. (1979). Observations on measurement method of free proline in extracts from plants. *Canadian Journal of Botany*, 57, 1851-1854. <https://doi.org/10.1139/b79-233>
- Rajabi, A., Moghadam, M., Rahimzadeh, F., Mesbah, M., & Ranji, Z. (2002). Evaluation of genetic diversity in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) populations for agronomic traits and crop quality. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 33(3), 553-567. <https://jast.modares.ac.ir/article-23-6906-en.html> [In Persian].
- Reinsdorf, E., Koch, H. J., & Märlander, B. (2013). Phenotype related differences in frost tolerance of winter sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Field Crop Research*, 151, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.07.007>
- Revilla, P., Butrón, A., Rodríguez, V. M., Malvar, R. A., & Ordás, A. (2005). Breeding for cold tolerance. In M. Ashraf & P. J. C. Harris (Eds.), *Abiotic stresses. Plant resistance through breeding and molecular*

- approaches (pp. 301–398). The Haworth Press, Inc, New York.
- Revilla, P., Rodriguez, V. M., Ordas, A., Rincent, R., Charcosset, A., Giauffret, C., Melchinger, A. E., Schon, C. C., Bauer, E., Altmann, T., Brunel, D., Moreno-Gonzalez, J., Campo, L., Ouzunova, M., Alvarez, A., de Galarreta, J. I. R., Laborde, J., & Malvar, R. A. (2016). Association mapping for cold tolerance in two large maize inbred panels. *BMC Plant Biology*, *16*, 127. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0816-2>
- Reynolds, M., & Langridge, P. (2016). Physiological breeding. *Current Opinion in Plant Biology*, *31*, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.04.005>
- Shabala, S. (2012). *Plant Stress Physiology* (2nd ed.). CABI.
- Sharma, J. R., (1998). *Statistical and Biometrical Techniques in Plant Breeding*. New Age International Pvt Limited Publishers, New Delhi
- Siosemardeh, A., Mohammadi, KH. Roohi, E., Aghaalikhani, M., & Mokhtasi Bidgoli, A. (2012). Physiological responses of different wheat genotypes to cold stress, *Journal of Crop Production*, *2(4)*, 93-112. https://ejcp.gau.ac.ir/article_434.html [In Persian].
- Stansfield, W. D. (1991). *Theory and problems of genetics*. McGraw-Hill.
- Takeda, S., & Matsuoka, M. (2008). Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. *Nature Reviews Genetics*, *9(6)*, 444–457. <https://doi.org/10.1038/nrg2342>
- Wani, S.H., & Herath, V. (2018). *Cold tolerance in plants: Physiological, Molecular and Genetic Perspectives*. Springer Nature Switzerland AG.
- Wyse, R. E. (1978). Effect of low and fluctuating temperatures on the storage life of sugar beets, *Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists*, *20(1)*, 33-42. <https://doi.org/10.22092/jsb.1990.117686>