



SBSI



انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

Effect of root size on the mechanical and chemical properties of sugar beet

Babak Babae¹ Valiallah Yosefabadi¹, Mohammad Reza Mirzaei¹, Parviz Fasahat¹

(Received: 8 August. 2025 ; Accepted: 11 Nov. 2025)

How to cite this article:

Babae B, Yosefabadi V, Mirzaei MR, Fasahat P. Effect of root size on the mechanical and chemical properties of sugar beet. 2025; (41)2. 153-166. (In Persian with English abstract). DOI: 10.22092/jsb.2025.370186.1391

Extended Abstract

Introduction

The economic value of sugar derived from sugar beet primarily depends on the technological quality of the root and the efficiency of sugar extraction methods. Technological quality is defined as a combination of chemical, biological, and physical characteristics that determine the recoverable sucrose yield and consequently influence sugar production costs. Among the physical traits, root elasticity and resistance to cutting are of particular importance as they directly affect root handling and processing efficiency. Root elasticity influences the extent of mechanical damage and breakage during harvesting, storage, transportation, and washing. resistance to cutting plays a crucial role during the slicing stage of processing, determining the ease of cossette formation and sucrose diffusion. A woody root texture increases blade wear, causes irregular cossette thickness, and ultimately reduces sucrose diffusion efficiency in the diffusion process.

Materials and Methods

This study was conducted from 2018 to 2020 at the experimental farm of the Sugar Beet Seed Institute, Kamalshahr, Karaj, Iran, to evaluate the physical and chemical characteristics of four commercial sugar beet cultivars. Each year, sowing was performed in May in a 5×150 m² plot with a row spacing of 50 cm and a plant density of 100,000 plants per cultivar. The experiment was arranged as a factorial (B $\times$ A) based on a randomized complete block design with ten replications. Factor A included four cultivars: IR1 (a₁), IR2 (a₂), IR3 (a₃), and IR4 (a₄), while factor B represented root size, classified into three weight categories: small (<0.5 kg, S), medium (0.5–1.0 kg, M), and large (>1.0 kg, L). In November of each year, after reaching technological maturity, ten random samples were collected from each cultivar, each consisting of 50 individual roots. After weighing, roots were grouped by size, and ten roots per

size group were randomly selected for mechanical property assessment (resistance to cutting and elasticity). The remaining roots were analyzed for chemical properties with ten replications. Chemical traits included total sugar content, sodium, potassium, harmful nitrogen, extractable sugar, and molasses sugar. Mechanical tests were performed using an INSTRON HOUNSFIELD universal testing machine. Rectangular specimens ($2 \times 2.5 \times 2.7$ cm³) were cut from the crown, middle, and tip sections of the roots. A 5 cm diameter compression cylinder was used for elasticity measurement, while a blade measuring $0.15 \times 5.5 \times 8$ cm³ was used for resistance to cutting testing.

Results and Discussion

The average relative distribution of small, medium, and large roots across the three years was as follows: IR1 (49, 39, and 12%), IR2 (55, 34, and 11%), IR3 (32, 43, and 25%), and IR4 (47, 37, and 16%). Analysis of variance revealed significant effects of cultivar, year, and root size on the chemical properties of sugar beet. Extractable sugar content was significantly lower in large roots (>1 kg) than in medium (0.5–1 kg) and small (<0.5 kg) roots ($P < 0.05$). No significant linear correlation was found between root weight and the elasticity of the central section. Increasing root size resulted in a significant reduction in extractable sugar, confirming that larger roots are less desirable for processing efficiency ($P < 0.05$). A weak but significant negative correlation was observed between root size and resistance to cutting, described by the regression equation $y = -0.0036x + 11.121$ with a coefficient of determination $R^2 = 0.18$ ($P < 0.01$). Overall, medium-sized roots (up to 1 kg) were identified as optimal for industrial processing, combining higher sugar content with lower resistance to cutting compared with small and large roots. It is therefore recommended that crop management practices should aim to achieve an average single-root weight of approximately 1 kg.

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

*Corresponding author: babak_babae@yahoo.com



Conclusion

It is recommended that crop management practices should aim to achieve an average single-root weight of approximately 1 kg. Roots of this size not only contain higher sugar content compared with larger sugar beet roots but also offer lower resistance to cutting than smaller roots. This combination ensures better slicing and enhances sucrose extraction efficiency during the diffusion process in sugar factory

Keywords: Extractable sucrose, Shear strength, Elasticity

References

Campbell LG. Sugar beet quality improvement, Journal of Crop Production, 2002; 5:1/2, 395-413.
Doi:http://doi.org/10.1300/J144v05n01_16

Schäfer J, Hale J, Hoffmann CM, Bunzel M. Mechanical properties and compositional characteristics of beet (*Beta vulgaris* L.) varieties and their response to nitrogen application. European Food Research and Technology 2020; 246:2135–2146.
Doi:<http://doi.org/10.1007/s00217-020-03562-4>

Roggo Y, Duponchel L and Huvenne JP. Quality evaluation of Sugar Beet (*Beta vulgaris*) by Near-Infrared Spectroscopy. Journal of agricultural food chemistry, 2004; 52, 1055–1061.
Doi:<http://doi.org/10.1021/jf0347214>



SBSI



انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

تأثیر اندازه‌ی ریشه بر خصوصیات مکانیکی و شیمیایی چغندر قند

بابک بابایی^{۱*}، ولی‌اله یوسف‌آبادی^۱، محمدرضا میرزایی^۲، پرویز فصاحت^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۲۰

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/jsb.2025.370186.1391

ب. بابایی، و. یوسف‌آبادی، م. میرزایی و پ. فصاحت، ۱۴۰۴. تأثیر اندازه ریشه بر خصوصیات مکانیکی و شیمیایی چغندر قند. چغندر قند ۴۱ (۲): ۱۵۳-۱۶۶

چکیده

ساکارز قابل استخراج چغندر قند تحت تأثیر خصوصیات شیمیایی و مکانیکی ریشه قرار دارد. هدف این پژوهش بررسی تأثیر اندازه ریشه بر ویژگی‌های مکانیکی (شامل مقاومت به برش و خاصیت ارتجاعی) و ساکارز قابل استحصال چغندر قند طی سه سال زراعی (۱۳۹۷-۹۹) بود که در یک آزمایش فاکتوریل ($A \times B$) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تکرار در مزرعه ایستگاه تحقیقاتی کمال‌شهر کرج اجرا شد. چهار رقم تجارتي چغندر قند (فاکتور A) شامل IR_2 ، IR_3 و IR_4 در سه گروه وزنی (فاکتور B) شامل: ریز (کمتر از نیم کیلوگرم (S))، متوسط (بین نیم تا یک کیلوگرم (M))، و درشت (بزرگتر از یک کیلوگرم (L)) بودند. هر رقم در قطعه زمینی به ابعاد 5×150 مترمربع کشت و برداشت ریشه چغندر قند در آبان‌ماه انجام شد. از هر رقم، ۱۰ نمونه تصادفی شامل ۵۰ ریشه برداشت و به سه گروه ریز، متوسط و درشت تقسیم شدند. از میان هر گروه ۱۰ ریشه تصادفی جهت تعیین خصوصیات مکانیکی و مابقی ریشه‌های هر گروه در ۱۰ تکرار، تعیین کیفیت شدند. مقاومت به برش و وضعیت ارتجاعی ریشه در سه بخش طوقه، ریشه و دم با استفاده از دستگاه اینسترون اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میانگین فراوانی نسبی ریشه‌ها در گروه‌های وزنی مختلف طی سه سال، برای اندازه ریز، متوسط و درشت به ترتیب در رقم IR_1 ۴۹٪ (ریز)، ۳۹٪ (متوسط) و ۱۲٪ (درشت)، رقم IR_2 ۵۵٪، ۳۴٪ و ۱۱٪، رقم IR_3 ۳۲٪، ۴۳٪ و ۲۵٪ و رقم IR_4 ۴۷٪، ۳۷٪ و ۱۶٪ بود. قند قابل استحصال برای ریشه‌های درشت ($12/07\%$) به طور معنی‌داری از قند قابل استحصال ریشه‌های با گروه وزنی متوسط ($12/93\%$) و ریز ($13/37\%$) کمتر بود ($p < 0.01$). بین وزن ریشه با صفات مقاومت به برش ($R^2 = 0.18$) و درصد قند قابل استحصال ($R^2 = 0.12$) همبستگی منفی و معنی‌دار ضعیفی مشاهده شد ($P < 0.01$). اما رابطه معنی‌داری میان وزن ریشه با وضعیت ارتجاعی ریشه مشاهده نشد ($R^2 = 0.07$). از نظر مقاومت به برش، ترتیب ارقام بصورت $IR_3 < IR_2 < IR_1 < IR_4$ بود به طوری که رقم IR_3 کمترین مقاومت به برش را نشان داد. ریشه‌های متوسط بهترین اندازه ریشه با درصد قند بیشتر نسبت به ریشه‌های درشت و مقاومت به برش کمتر نسبت به ریشه‌های ریز برخوردار بودند که موجب خلال پذیری و انتشار بهتر ساکارز در فرآیند دیفوزیون می‌شود. بنابراین توصیه می‌شود مدیریت کاشت و داشت مزرعه به نحوی باشد که میانگین وزن تک ریشه چغندر قند حدود یک کیلوگرم باشد.

واژه‌های کلیدی: قند قابل استحصال، مقاومت به برش، وضعیت ارتجاعی

۱. استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

* نویسنده مسئول: babak_babaei@yahoo.com

۲. دانشیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.



مقدمه

هدف کارخانه‌های قند در دنیا تولید شکر از چغندر قند (*Beta vulgaris*) با کمترین هزینه و بیشترین راندمان است. راندمان استحصال مهمترین عامل در قیمت شکر تولیدی است که به کیفیت تکنولوژیکی چغندر قند و روش‌های استحصال بستگی دارد (Cooke and Scott 1993). به طور کلی کیفیت تکنولوژیکی چغندر قند را مجموعه‌ای از خصوصیات شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی تعریف می‌کنند که بر روی مقدار ساکارز استحصالی در کارخانه مؤثر بوده و موجب کاهش بهای تمام شده شکر استخراجی می‌شود (Hoffmann 2010).

مراحل استحصال ساکارز در کارخانه‌های قند چغندری به طور خلاصه شامل شستشو و تهیه خلال از ریشه‌های چغندر قند، استخراج ساکارز و سایر مواد غیرقندی محلول از خلال با آب گرم در اثر عمل انتشار در دستگاه دیفوزیون، خالص‌سازی شربت خام، حذف بخشی از مواد غیرقندی به وسیله‌ی اضافه کردن آهک و CO_2 ، تولید شربت غلیظ و تبلور ساکارز تحت خلاء است (Van der poel *et al.* 1998). در تمامی این مراحل هدف استخراج مواد جامد محلول در آب یعنی ساکارز و ترکیبات غیرقندی از بافت‌های ریشه به شربت خام و به دنبال آن جداسازی بخش عمده ترکیبات غیر قندی محلول برای افزایش درجه خلوص شربت خام است. با وجود انجام عملیات تصفیه در کارخانه تمامی ساکارز موجود در ریشه چغندر قند قابل استحصال نیست، دلیل آن وجود بعضی از ترکیبات شامل نمک‌های همراه با سدیم، پتاسیم، اسیدهای آمینه، بتائین، قندهای گلوکز و فروکتوز، رافینوز، نیترات و غیره هستند که موجب می‌شوند تا حلالیت ساکارز در شربت غلیظ افزایش و تبلور آن کاهش پیدا کند و در خاتمه بخشی از ساکارز به شکل ملاس در می‌آید که به آن ترکیبات ملاس‌زا (Melassigenic) گویند. در کل محاسبه قند قابل استحصال کارخانه از رابطه $m_{SP} = m_S - (m_{SM} + m_{PP})$ به دست می‌آید. به طوری که m_{SP} ساکارز قابل استحصال، m_S ساکارز موجود در ریشه چغندر قند، m_{SM} ساکارز موجود در ملاس و m_{PP} ضایعات قندی ناپیدا کارخانه است (Roggo *et al.* 2004). بنابراین در کارخانه‌های قند چغندری از ۱۶۰ کیلوگرم

شکر موجود در یک تن چغندر قند با عیار ۱۶ درصد ۱۳۳ کیلوگرم شکر استخراج می‌شود (راندمان ۸۳ درصد)، ۲۰ کیلوگرم شکر وارد ملاس و ۷ کیلوگرم در اثر ضایعات ناپیدا کارخانه از بین می‌رود (Campbell 2002).

در مقابل خصوصیات شیمیایی، خصوصیات مکانیکی ریشه چون وزن، وضعیت ارتجاعی (Module of elasticity) و مقاومت به برش (Resistance to cutting) در کیفیت چغندر قند نقش دارند (Draycott 2006). ویژگی ارتجاعی ریشه‌ی چغندر قند نه تنها برای کشاورزان، بلکه برای کارخانه‌های قند نیز حائز اهمیت است چرا که این خصوصیت بر میزان شکستگی و آسیب دیدگی ریشه در مراحل برداشت، انبارداری، حمل و نقل و شستشو تأثیر گذار است (Kenter *et al.* 2006; Huijbregts *et al.* 2013; Kleuker and Hoffmann 2021). وضعیت ارتجاعی ریشه به چهار گروه خیلی نرم (کمتر از ۱/۸ مگانیوتون بر متر مربع)، نرم (۱/۸-۴/۰ مگانیوتون بر متر مربع)، ارتجاعی (۴/۲-۷/۰ مگانیوتون بر متر مربع) و ترد و شکننده (۷/۰-۱۴/۰ مگانیوتون بر متر مربع) تقسیم بندی می‌شود (Cooke and Scott 1993; Amaduci *et al.* 1982).

مقاومت در مقابل برش، یکی دیگر از خواص مکانیکی و مهم در فرآیند آسیاب خلال ریشه‌ی چغندر قند است. انتشار یا نفوذ آسان شکر از خلال، همبستگی مثبت با ضخامت خلال دارد. چوبی بودن بافت ریشه موجب کند شدن تیغه‌های آسیاب خلال، نایکنواختی در ضخامت خلال و نقصان در انتشار ساکارز در فرآیند دیفوزیون می‌شود. درجه بندی چغندر قند بر پایه مقاومت به برش به پنج گروه نرم (کمتر از ۸ نیوتون بر سانتیمتر)، معمولی (۸-۱۴ نیوتون بر سانتیمتر)، کمی خشبی (۱۴-۱۸ نیوتون بر سانتیمتر)، چوبی (۱۸-۳۰ نیوتون بر سانتیمتر) و خیلی چوبی (از ۳۰ نیوتون بر سانتیمتر) تقسیم بندی می‌شود (Vukov 1977). نقل از (Cooke and Scott 1993).

شفر و همکاران (Schäfer *et al.* 2020) ارتباط بین ویژگی‌های مکانیکی و ویژگی‌های ساختاری پلیمرهای دیواره سلولی، چهار رقم مختلف چغندر قند تحت تأثیر کود نیتروژن را ارزیابی و گزارش کردند که مصرف کود نیتروژن اضافی تنها تأثیر

مواد و روش‌ها

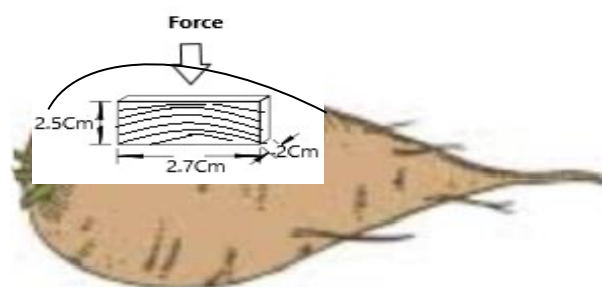
این تحقیق از سال ۱۳۹۷ به مدت سه سال در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات چغندر قند واقع در کمال شهر کرج اجرا شد. عملیات کشت در اردیبهشت ماه هر سال برای چهار رقم تجارتي مقاوم به بیماری ریزومانیا انجام گرفت. هر رقم در قطعه زمینی به ابعاد 150×5 متر مربع، با فاصله ردیف ۵۰ سانتیمتر و تراکم بوته صد هزار بوته در هکتار کشت و کلیه عملیات داشت بر اساس روش‌های متداول مؤسسه انجام گرفت. الگوی آماری این تحقیق در یک آزمایش فاکتوریل ($A \times B$) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تکرار طراحی و اجرا شد. فاکتور A نوع رقم در چهار تیمار شامل $IR_1(a_1)$ ، $IR_2(a_2)$ ، $IR_3(a_3)$ و $IR_4(a_4)$ و فاکتور B اندازه ریشه در سه گروه وزنی (b_1) ریز (کمتر از نیم کیلوگرم (S))، b_2) متوسط (بین نیم تا یک کیلوگرم (M))، و b_3) درشت (بزرگتر از یک کیلوگرم (L)) بودند. آبان ماه هر سال پس از رسیدگی تکنولوژیکی ارقام، اقدام به برداشت ۱۰ نمونه تصادفی از هر رقم گردید. هر نمونه شامل ۵۰ عدد تک ریشه بود. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه تک تک وزن و به سه گروه ریز، متوسط و درشت تقسیم گردیدند. سپس از بین هر گروه ۱۰ ریشه به طور تصادفی جهت تعیین خصوصیات مکانیکی (شامل مقاومت به برش و وضعیت ارتجاعی) انتخاب و مابقی ریشه‌های هر گروه به طور مجزا در ۱۰ تکرار خمیرگیری شد.

جهت تعیین خصوصیات مکانیکی، ابتدا تک ریشه‌های انتخابی را به آزمایشگاه تکنولوژی چغندر قند منتقل و پس از حذف اندام هوایی به طور عرضی عمود بر محور اصلی برش داده تا نمونه‌هایی به شکل مکعب مستطیل به ابعاد $2 \times 2/5 \times 2/7$ سانتیمتر مکعب تهیه شدند. مقاومت به برش و وضعیت ارتجاعی هر نمونه با استفاده از دستگاه اینسترون (INSTRON HOUNSFIELD) اندازه‌گیری شد و سیلندر انتخابی جهت اندازه‌گیری وضعیت ارتجاعی دارای قطر ۵ سانتیمتر و تیغه مورد استفاده جهت اندازه‌گیری مقاومت به برش دارای ابعاد $15 \times 0/15 \times 8/5$ سانتیمتر مکعب بود (Mohsenin 1986).

اندکی بر ویژگی‌های مکانیکی و ترکیب دیواره سلولی دارد. در ارقام مورد بررسی میزان ترکیبات فنولی متصل به دیواره سلولی و به‌ویژه در میزان ماده خشک ریشه تفاوت داشتند. تجزیه و تحلیل ویژگی‌های مکانیکی این ارقام بیانگر تفاوت در سفتی بافت و مقاومت به فشار بود.

ریشه ذخیره‌ای چغندر قند از لحاظ فنی دارای چهار بخش سر (Scalp)، طوقه (Crown)، ریشه (Root) و دم (Tail) است که از لحاظ کیفیت تکنولوژیکی با هم تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای دارند (Jaggard et al. 1999). سر چغندر قند محل اتصال دمبرگ‌های زنده و سبز است. طوقه بخش پایین‌تر از سر و حد فاصل با پایین‌ترین قسمتی که علایم و آثار دمبرگ‌های اولیه در آن وجود دارد است. بخش پایین‌تر از طوقه تا قسمتی که قطر ریشه حداکثر سه سانتیمتر است ریشه را تشکیل می‌دهد. بخشی از انتهای ریشه که حداکثر سه سانتیمتر قطر داشته باشد، دم گفته می‌شود (Draycott 2006). قسمت سر و طوقه به ترتیب حدود ۳ و ۵ درصد وزن کل ریشه چغندر قند را تشکیل داده که عیار آنها نیز به ترتیب حدود ۶ و ۱۰ درصد است. به دلیل وجود ناخالصی‌های فراوان در قسمت سر، ضریب استحصال شکر در آن حدود ۲۵ درصد و به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سایر قسمت‌های ریشه است (Abdollahian Nogabi and Babae 2015).

با توجه به این که خصوصیات مکانیکی ریشه چغندر قند بسته به ویژگی‌های بافتی آن بین ارقام مختلف متفاوت است (Kleuker and Hoffmann 2019, 2021). انجام این تحقیق با هدف ۱- تعیین دامنه تغییرات مقاومت به برش و وضعیت ارتجاعی بافت ریشه در ارقام تجاری چغندر قند، ۲- تعیین اثر اندازه ریشه روی خصوصیات مکانیکی بخش‌های مختلف ریشه ذخیره‌ای (شامل طوقه، ریشه و دم) و ۳- بررسی وجود رابطه احتمالی بین اندازه ریشه با برش‌پذیری و ساکارز چغندر قند طراحی و اجرا شد.



شکل ۱ نحوه نمونه‌برداری از ریشه چغندر قند برای اندازه‌گیری مقاومت به فشار و مقاومت به برش

Fig 1 Schematic representation of sugar beet root sampling for measuring elasticity and resistance to cutting.

بخش‌های طوقه و بخش مرکزی ریشه در سطح احتمال یک درصد و بر صفات وزن و مقاومت به برش بخش دم ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر رقم بر صفت مقاومت به برش بخش مرکزی و بخش دم ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر اندازه ریشه چغندر قند بر صفات وزن، مقاومت به برش بخش مرکزی ریشه و قند قابل استحصال در سطح احتمال یک درصد (و بر صفات وضعیت ارتجاعی و مقاومت به برش بخش دم ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود.

اثر متقابل سال × رقم بر صفات وزن، وضعیت ارتجاعی بخش طوقه و بخش دم، مقاومت به برش بخش طوقه و بخش مرکز ریشه و قند قابل استحصال در سطح احتمال یک درصد و بر وضعیت ارتجاعی بخش دم ریشه در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد. اثر متقابل سال × اندازه ریشه بر وضعیت ارتجاعی بخش طوقه در سطح احتمال یک درصد و بر صفات وزن و مقاومت به برش بخش طوقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل رقم × اندازه ریشه بر هیچ یک از صفات بررسی شده معنی‌دار نبود.

اثر متقابل سال × رقم × اندازه ریشه بر وضعیت ارتجاعی بخش دم ریشه در سطح احتمال یک درصد و بر صفات وزن، وضعیت ارتجاعی و مقاومت به برش بخش طوقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود.

اندازه‌گیری درصد قند به روش پلاریمتری که معمولترین روش اندازه‌گیری قند (ساکارز) در کارخانه‌های قند است تعیین گردید (Sheikh al-Islami 1998). تعیین سدیم و پتاسیم که از عوامل مهم ملاس‌زا هستند به روش طیف‌سنجی نشر شعله انجام شد (Martin 2006). برای تعیین آلفا آمین نیتروژن (نیتروژن مضره) رنگ‌سنجی بر اساس روش استانک و پاولاس که به روش عدد آبی معروف است انجام گرفت (Kunz 1998). تمام این اندازه‌گیری‌ها با دستگاه بتالایزر که درصد قند، میزان سدیم، پتاسیم و آلفا آمین نیتروژن را هم‌زمان اندازه‌گیری می‌کند در بخش تحقیقات تکنولوژی چغندر قند مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند انجام گرفت. پیش‌بینی قند ملاس نمونه‌های مورد بررسی از فرمول راینفلد (Reinefeld et al. 1974) انجام گرفت. درصد قند قابل استحصال از تفاوت درصد ساکارز از درصد قند ملاس تعیین شد (Hoffmann, 2010). ارزیابی آماری نتایج با نرم‌افزار SAS، بررسی سطح معنی‌داری ارتباط بین وزن با مقاومت به برش و وزن با قند قابل استحصال با آزمون پی‌رسون و اسپیرمن و مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

اثر سال بر وضعیت ارتجاعی و بخش‌های ریشه شامل: طوقه، ریشه و دم، قند قابل استحصال و مقاومت به برش

جدول ۱ تجزیه واریانس مرکب اثر سال، رقم و اندازه ریشه برای میانگین مربعات صفات وزن، وضعیت ارتجاعی طوقه، ریشه و دم، مقاومت برش طوقه، ریشه و دم و قند قابل استحصال.

Table 1 Combined analysis of variance for the effects of year, cultivar, and root size on mean squares of weight, crown, root and tail elasticity, resistance to cutting of crown, root and tail, and extractable sugar percentage.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (Mean squares)							قند قابل استحصال Extractable sugar
		وزن Weight	وضعیت ارتجاعی (Elasticity)			مقاومت به برش (Resistance to cutting)			
			طوقه Crown	مرکز Root	دم Tail	طوقه Crown	مرکز Root	دم Tail	
سال Year	2	663641*	175 **	69.4 **	98.7 **	232 **	307 **	136 *	188 **
سال/تکرار Year/rep	27	163893	0.57	0.54	0.67	11.1	18.6	21.83	11.04
رقم Cultivar	3	52099	1.84	1.94	6.04	106	181 *	206 *	14.88
اندازه ریشه Root size	2	25547713**	3.74	6.52	4.26 *	118	215 **	151 *	53 **
سال × رقم Year×Cultivar	6	78233**	14.12**	2.37*	4.90**	27 **	33 **	29.35	16.46 **
سال × اندازه ریشه Year * Root size	4	45515*	7.23**	2.10	0.38	17.1 *	5.94	16.45	2.10
رقم × اندازه ریشه Cultivar × Root size	6	14206	1.05	0.64	3.87	3.28	6.07	28.6*	5.88
سال × اندازه ریشه × رقم Year×Root size×Cultivar	12	26877*	1.43*	1.10	2.24**	8.23	19 *	8.35	2.56
خطا Error	297	13210	0.77	0.88	0.41	6.76	9.24	14.81	3.41

** و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

**and*: significant at 1 and 5% probability levels, respectively

بررسی اثر سال در جدول ۲ نشان داد که مقدار مقاومت به برش بخش دم ریشه در سال سوم به طور معنی داری کمتر از سال های اول و دوم بود ($p < 0.05$).

جدول ۲ اثر سال بر مقاومت به برش بخش دم ریشه چغندر قند طی سه سال مورد بررسی

Table 2 Effect of year on resistance to cutting of the sugar beet tail over three consecutive years.

سال Year	مقاومت به برش بخش دم ریشه Resistance to cutting of tail (N/Cm)
2018	10.33 a
2019	10.04 a
2020	8.36 b

میانگین های دارای حروف یکسان از لحاظ آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ معنی دار نیستند.

Means followed by the same letter in each column are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 0.05 probability level.

جدول ۳ تأثیر اندازه ریشه بر مقدار قند قابل استحصال چغندر قند را نشان می دهد. نتایج بیانگر آن است که افزایش اندازه ریشه موجب

کاهش معنی دار قند قابل استحصال در مقایسه با ریشه های با اندازه متوسط و ریز شده است ($P < 0.05$).

جدول ۳ اثر اندازه ریشه چغندر قند بر صفت قند قابل استحصال
Table 3 Effect of sugar beet root size on extractable sugar

اندازه ریشه Root size	قند قابل استحصال Extractable sugar (%)
ریز Small	13.37 a
متوسط Medium	12.93 a
درشت Large	12.07 b

میانگین‌های دارای حروف یکسان از لحاظ آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letter in each column are not significantly different according to Duncan's multiple range test at the 0.05 probability level..

نتایج جدول ۴ اثر متقابل سال و رقم بر وضعیت ارتجاعی بخش مرکزی ریشه را نشان می‌دهد. این صفت شاخصی از تازگی و سلامت بافت ریشه بوده و دامنه نتایج به‌دست آمده از ۷/۲۵ تا ۹/۲۰ مگانیوتن بر متر مربع متغیر بودند. در سال اول، رقم IR₄ با مقدار ۷/۲۵ مگانیوتن بر متر مربع پایین‌ترین مقدار و در سال سوم رقم IR₂ با ۹/۲۰ مگانیوتن بر متر مربع بالاترین مقدار وضعیت ارتجاعی بخش مرکزی دارا بود. در مجموع، رقم IR₂ در سال دوم نیز از نظر علمی، وضعیت ارتجاعی ریشه را به چهار گروه تازه (۷-۱۴)، ارتجاعی (۴/۲-۷)، نرم (۱/۸-۴) و خیلی نرم (کمتر از ۱/۸ مگانیوتن بر مترمربع) تقسیم بندی می‌شود و مقادیر نتایج بین ۷ تا ۱۴ مگانیوتن بر متر مربع نشان‌دهنده‌ی ریشه تازه است (Vukov 1977 به نقل از Cooke and Scott 1993). بنابراین همه ارقام در دامنه ریشه‌های تازه قرار داشتند، با این حال تفاوت آماری میان ارقام، معنادار بودند.

جدول ۴ اثر متقابل سال × رقم بر مقدار میانگین صفات وضعیت ارتجاعی بخش مرکز ریشه، مقاومت به برش طوقه و قند قابل استحصال چغندر قند.

Table 4 Interaction effect of year × variety on the mean values of the following traits: root center elasticity, resistance to cutting of crown, resistance to cutting of tail, and extractable sugar..

ارقام تجاری Commercial cultivars	وضعیت ارتجاعی بخش مرکز ریشه Root center elasticity (MN/m2)			مقاومت به برش بخش طوقه ریشه Resistance to cutting of crown (N/Cm)			قند قابل استحصال (درصد) Extractable sugar (%)		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
IR ₁	7.85 de	7.90 d	8.77 ab	7.40 d-g	10.47 b	8.80 cd	13.61 a	13.61 a	11.50 cd
IR ₂	7.35 ef	8.03 cd	9.20 a	9.00 c	12.67 a	8.24 c-f	14.10 a	14.47 a	10.98 d
IR ₃	7.37 ef	7.68 d-f	8.73 ab	6.94 fg	8.48 c-e	6.57 g	13.71 a	12.62 b	12.20 bc
IR ₄	7.25 f	8.40 bc	9.15 a	9.08 c	9.61 bc	7.31 e-g	13.79 a	12.01 bc	10.87 d

میانگین‌های دارای حروف یکسان در سه ستون سال و ۴ ردیف ارقام مورد بررسی از لحاظ آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letters in the three-year columns and among the four tested cultivars are not significantly different at the 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

مقاومت به برش یکی از ویژگی‌های مکانیکی و مهم چغندر قند در فرآیند آسیاب خلال محسوب می‌شود که بر اساس شرایط اقلیمی، تغذیه، برنامه آبیاری و رشد ساقه، در پنج گروه نرم، معمولی، کمی خشبی، چوبی و خیلی چوبی طبقه‌بندی می‌گردد. نتایج به‌دست آمده نشان داد در سال اول و سوم، رقم IR₃ به ترتیب با ۶/۹۴ و ۶/۵۷ نیوتن بر سانتیمتر کمترین و در سال دوم رقم IR₂ با ۱۲/۶۷ نیوتن بر سانتیمتر بیشترین مقاومت به برش را دارا بود. در کل مقاومت به برش در ناحیه طوقه ریشه برای تمامی ارقام مورد بررسی، در گروه چغندر قند معمولی قرار گرفت (Vukov 1977 به نقل از Cooke and Scott 1993).

قند قابل استحصال مهم‌ترین ویژگی اقتصادی چغندر قند محسوب می‌شود. در سال اول، رقم IR₂ با ۱۴/۱۰ درصد و IR₃ با ۱۳/۷۱ درصد بالاترین میزان قند قابل استحصال را نشان دادند. در سال سوم، اختلاف میانگین قند قابل استحصال

بین ارقام کمتر شده و مقدار قند ارقام کاهش یافت و رقم IR₄ با ۱۰/۸۷ درصد کمترین مقدار قند قابل استحصال را نشان داد. تفاوت بین سال‌ها و ارقام معنادار بوده که می‌تواند ناشی از شرایط اقلیمی، نگهداری و ژنتیک ارقام باشد. جدول ۵ بررسی اثر اندازه‌ی ریشه (ریز، متوسط، درشت) و سال‌های مختلف بر مقاومت به برش بخش طوقه چغندر قند پرداخته است که یک شاخص مکانیکی مهم در فرایند مکانیزه برداشت و فراوری چغندر قند محسوب می‌شود. بیشترین مقاومت به برش بخش طوقه با ۱۲/۶۷ نیوتن بر سانتی‌متر مربوط به ریشه‌های متوسط و کمترین مقدار مقاومت به برش بخش طوقه در ریشه‌های درشت ۶/۹۴ نیوتن بر سانتی‌متر مشاهده شد. کاهش مقاومت به برش ریشه می‌تواند مزیتی در کاهش مصرف انرژی باشد. مقاومت برش بخش طوقه در همه اندازه‌ها در سال دوم نسبت به سال اول و سوم افزایش نشان داد.

جدول ۵ اثر متقابل سال در اندازه ریشه بر مقدار میانگین صفت مقاومت به برش طوقه

Table 5 Interaction effect of year × root size on the mean values of resistance to cutting of crown.

اندازه ریشه Root size	مقاومت به برش بخش طوقه ریشه Resistance to cutting of crown (N/Cm)		
	2018	2019	2020
ریز Small	7.40 d-g	10.47 b	8.80 cd
متوسط Medium	9.00 c	12.67 a	8.24 c-f
درشت Large	6.94 fg	8.48 c-e	6.57 g

میانگین‌های دارای حروف یکسان در سه ستون سال و ۳ ردیف اندازه ریشه (ریز، متوسط و درشت)، از لحاظ آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار نیستند.

Means with the same letters in the three year columns and among the three root size categories (small, medium, and large) are not significantly different at the 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

است. بیشترین مقاومت به برش بخش دم با مقدار ۹/۰ نیوتن بر سانتیمتر مربوط برای ریشه‌های متوسط به رقم IR₂ و کمترین مقاومت به برش بخش دم با مقدار ۶/۵۷ نیوتن بر سانتیمتر مربوط به ریشه‌های درشت رقم IR₃ بودند. بنابراین اندازه ریشه یک عامل مهم در فیزیکیال بخش دم ریشه محسوب می‌شود.

جدول ۶ اثر متقابل رقم و اندازه‌ی ریشه بر مقاومت به برش بخش دم ریشه چغندر قند برای چهار رقم تجارتي چغندر قند (IR₁ تا IR₄) در سه اندازه‌ی ریشه‌ی (ریز، متوسط و درشت) را نشان می‌دهد. این ویژگی یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفیت مکانیکی ریشه برای فرآیند برداشت و فراوری صنعتی چغندر قند

جدول ۶ اثر متقابل رقم $\times$ اندازه ریشه بر مقدار میانگین صفت مقاومت به برش بخش دم چغندر قند.

Table 6 Interaction effect of variety $\times$ root size on the mean values of resistance to cutting of tail resistance.

ارقام تجاری	مقاومت به برش بخش دم ریشه Resistance to cutting of tail (N/Cm)		
	اندازه ریشه Root size		
	ریز Small	متوسط Medium	درشت Large
Commercial cultivars			
IR ₁	7.40 d-g	10.47 b	8.80 cd
IR ₂	9.00 c	12.67 a	8.24 c-f
IR ₃	6.94 fg	8.48 c-e	6.57 g
IR ₄	9.08 c	9.61 bc	7.31 e-g

میانگین های دارای حروف یکسان در سه ستون (ریز، متوسط و درشت) و ۴ ردیف، از لحاظ آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ معنی دار نیستند.

Means with the same letters (small, medium, and large) across the three columns and 4 rows are not significantly different at the 5% probability level based on Duncan's multiple range test.

ریشه بود. بین ارقام مورد بررسی رقم IR₃ بهترین وضعیت
ارتجاعی بخش دم ریشه را نشان داد (مشابه وضعیت ارتجاعی
بخش طوقه).

بررسی اثر متقابل سال $\times$ رقم $\times$ اندازه ریشه بر مقاومت به
برش مرکز ریشه نشان داد که تفاوت معنی داری بین اندازه ها
مشاهده نمی شود، به ویژه در ارقام مانند IR₃ و IR₁ اما در IR₂
و IR₄، مقاومت به برش در ریشه های بزرگتر اندکی کمتر بود.
در سال سوم مقاومت به برش بافت مرکزی ریشه ها در اغلب
ارقام ساختار مستحکم تری نشان داد.

جدول ۷ اثر متقابل سال $\times$ رقم $\times$ اندازه ریشه بر مقدار میانگین
صفات وزن ریشه، وضعیت ارتجاعی بخش طوقه، وضعیت
ارتجاعی بخش دم و مقاومت به برش مرکز ریشه چغندر قند نشان
می دهد. افزایش اندازه ریشه با افزایش معنی دار در وزن ریشه
همراه بود. رقم IR₃ بیشترین و رقم IR₂ کمترین میانگین وزن
ریشه را در سه اندازه ریز، متوسط و درشت نشان داد. بیشترین
عملکرد وزنی ارقام مربوط به سال سوم بود که می تواند ناشی از
شرایط محیطی بهتر یا سازگاری بیشتر ارقام باشد. بهترین
عملکرد وزنی را رقم IR₃ در هر سه اندازه ریشه نشان داد.

بررسی اثر متقابل سال $\times$ رقم $\times$ اندازه ریشه بر صفت
وضعیت ارتجاعی بخش طوقه نشان داد که با افزایش اندازه
ریشه، خاصیت ارتجاعی بخش طوقه کاهش یافت. بزرگتر
شدن طوقه موجب افزایش اندازه سلولی، آب و ترکیبات غیر
قندی ریشه می شود (Hoffmann 2010) که می تواند علت
کاهش وضعیت ارتجاعی بخش طوقه باشد. بین ارقام، رقم IR₃
از نظر خاصیت ارتجاعی طوقه مناسب نشان داد. احتمالاً ساختار
مکانیکی طوقه این رقم انعطاف پذیرتر و مقاوم تر است.

اثر متقابل سال $\times$ رقم $\times$ اندازه ریشه بر وضعیت ارتجاعی
بخش دم ریشه نشان داد که با بزرگتر شدن ریشه، خاصیت
ارتجاعی بخش دم کاهش یافت. شرایط فیزیولوژیکی یا
محیطی در سال دوم به نفع افزایش خاصیت ارتجاعی بخش دم

جدول ۷ اثر متقابل سال در رقم در اندازه ریشه بر میانگین مقدار صفات وزن، وضعیت ارتجاعی بخش طوقه، وضعیت ارتجاعی بخش دم و مقاومت به برش مرکز ریشه چغندر قند.

Table 7 Interaction effect of year $\times$ cultivar $\times$ root size on the mean values of sugar beet traits: weight, crown elasticity, tail elasticity, and resistance to cutting of root center.

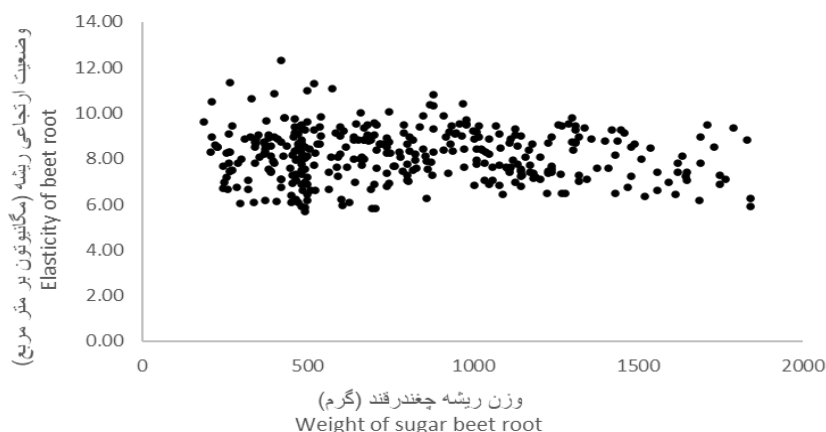
سال-ارقام تجارتي Year- commercial cultivars	وزن Weight) (Kg)			وضعيت ارتجاعى بخش Crown elasticity (MN/m2)			وضعيت ارتجاعى بخش دم Tail elasticity (MN/m2)			مقاومت به برش بخش ريشه Resistance to cutting of root (N/Cm)		
	اندازه ريشه Root size											
	ريز S.	متوسط M.	درشت L.	ريز S.	متوسط M.	درشت L.	ريز S.	متوسط M.	درشت L.	ريز S.	متوسط M.	درشت L.
Y ₁ .IR ₁	415 k-n	726 h-j	1329 b-e	8.2 f-l	8.9 d-g	7.9 h-m	8.0 j-m	8.2 i-l	7.6 l-p	7.4 d-k	7.5 d-k	5.0 j-l
Y ₁ .IR ₂	476 kl	738 h-j	1343 bc	7.6 i-n	7.9 h-m	7.5 k-n	7.3 m-p	7.6 l-p	6.6 q	9.9 b-f	5.3 i-l	6.4 g-l
Y ₁ .IR ₃	486 k	857 g	1488 a	7.1 mn	7.4 k-n	7.4 k-n	7.7 k-o	7.3 n-p	6.9 pq	5.7 h-l	4.6 kl	3.9 l
Y ₁ .IR ₄	364 l-o	716 h-j	1438 ab	6.9 n	7.6 j-n	7.1 mn	7.1 o-q	7.1 o-q	7.7 k-o	8.3 d-i	8.0 d-j	6.7 f-l
Y ₂ .IR ₁	334 m-o	692 ij	11 88f	8.1 g-l	8.5 d-i	8.6 d-h	8.3 h-k	7.9 j-n	8.4 f-j	8.8 c-h	10.2 b-d	10.1 b-d
Y ₂ .IR ₂	269 o	516 k	1139 f	8.2 f-l	7.3 l-n	7.4 k-n	7.6 k-o	7.8 j-n	7.2 o-q	13.5 a	11.9 a-c	11.6 a-c
Y ₂ .IR ₃	302 no	667 j	1316 c-e	8.3 e-k	8.2 f-l	8.9 d-g	9.5 a-d	7.4 m-p	7.5 m-p	8.3 d-j	6.9 d-l	6.3 g-l
Y ₂ .IR ₄	330 m-o	754 g-j	1220 ef	8.7 d-h	7.3 l-n	7.5 k-n	8.2 i-l	9.4 a-e	8.2 i-l	12.4 ab	10.1 b-e	6.3 g-l
Y ₃ .IR ₁	401 k-n	763 g-j	1333 b-e	8.5 d-j	9.2 c-e	9.9 bc	9.2 b-e	8.8 d-h	8.3 g-k	13.4 a	9.8 b-f	7.8 d-k
Y ₃ .IR ₂	456 kl	830 gh	1324 b-e	9.3 b-d	10.1 b	9.8 bc	8.9 c-g	9.5 a-c	9.1 c-e	10.2 b-d	9.1 c-g	11.6 a-c
Y ₃ .IR ₃	451 kl	776 g-j	1227 d-f	9.1 c-f	10.2 b	9.9 bc	9.3 a-e	8.7 e-i	9.0 c-f	8.3 d-i	6.8 e-l	5.4 i-l
Y ₃ .IR ₄	438 k-m	807 g-i	1340 b-d	10.1 b	11.5 a	11.3 a	9.8 ab	9.9 a	9.9 a	10.1 b-e	8.8 c-h	8.0 d-j

میانگین‌های دارای حروف یکسان برای هر صفت شامل سه ستون (ریز، متوسط و درشت) و ۱۲ ردیف، از لحاظ آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار نیستند.

Means with the same letters within each trait across the three root size categories (small, medium, and large) and twelve rows are not significantly different at the 0.05 probability level according to Duncan's multiple range test.

چغندرقد تازه با ضایعات وزنی ۴-۰ درصد گروه‌بندی می‌شود. دامنه تغییرات وضعیت ارتجاعی ارقام مورد بررسی از ۱۲-۶ مگانیوتن بر متر مربع بود که نشان از تازگی نمونه‌های مورد بررسی دارد.

شکل ۲ پراکنش و دامنه تغییرات وضعیت ارتجاعی بخش مرکزی ریشه چغندرقد ارقام مورد بررسی را در سه گروه وزنی ریز، متوسط و درشت نشان می‌دهد. طبق گزارش و کوکوف و هانگیال (Vukov and Hangyal 1985) وضعیت ارتجاعی ریشه چغندرقد از ۷/۰-۱۴/۰ مگانیوتن بر متر مربع در گروه

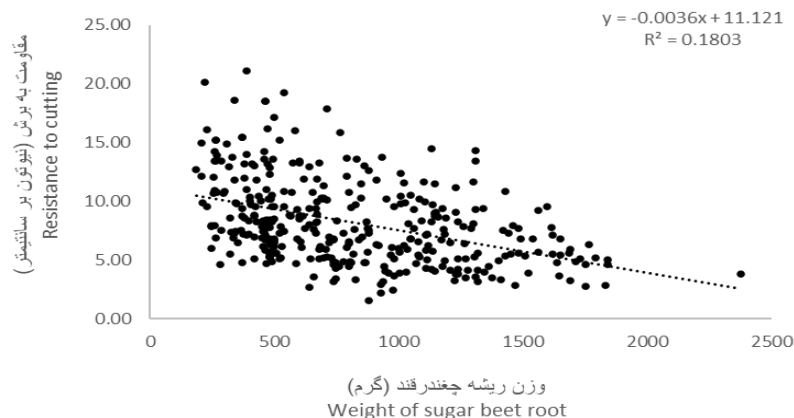


شکل ۲ رابطه بین وزن با وضعیت ارتجاعی ریشه چغندرقد.

Fig 2 Relationship between root weight and root elasticity in sugar beet.

نشان از وجود رابطه معکوس و نسبتاً ضعیف معنی‌دار - $Y = 0.0036X + 11.121$ با ضریب تعیین $R^2 = 0.1803$ دارد ($P < 0.01$). به‌طور کلی، ریشه‌های چغندرقد با وزن بالاتر، تمایل به داشتن مقاومت به برش کمتری دارند. علت آن می‌تواند افزایش حجم سلول‌های پارانشیمی در ریشه‌های درشت چغندرقد باشد که مقدار بیشتری آب در مقایسه با سلول‌های کوچک ذخیره می‌کنند (Hoffmann 2010; Hoffmann and Kenter 2018).

پراکنش و دامنه تغییرات مقاومت به برش بخش مرکزی ریشه چغندرقد در سه گروه وزنی ریز، متوسط و درشت در شکل ۳ نشان می‌دهد که مقدار مقاومت به برش از ۲۱/۰-۲/۰ نیوتون بر سانتیمتر است. این دامنه تغییرات مقاومت به برش ریشه بر اساس تقسیم‌بندی ووکوف (Vukov 1977) در چهار گروه نرم (کمتر از ۸ نیوتون بر سانتیمتر)، معمولی (۸-۱۴ نیوتون بر سانتیمتر)، کمی خشبی (۱۴-۱۸ نیوتون بر سانتیمتر) و چوبی (۱۸-۳۰ نیوتون بر سانتیمتر) گروه‌بندی می‌شود. ارتباط بین تغییرات وزن ریشه (ریز، متوسط و درشت) با مقاومت به برش

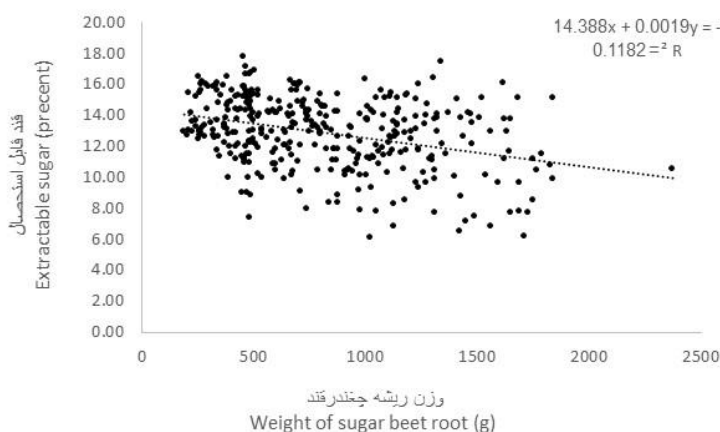


شکل ۳ ارتباط وزن با مقاومت به برش ریشه چغندرقد.

Fig 3 Relationship between root weight and root cutting resistance in sugar beet.

تحقیقات قبلی در خصوص این که در ارقام مختلف چغندر قند یک ارتباط منفی بین محصول ریشه و غلظت قند مطابقت دارد (Hoffmann 2010; Hoffmann and Kenter 2018).

شکل ۴ ارتباط منفی و معنی دار بین وزن ریشه چغندر قند و درصد قند قابل استحصال $Y = -0.0019X + 14.388$ با ضریب تعیین $R^2 = 0.1182$ را نشان می دهد ($P < 0.01$) که با نتایج



شکل ۴ ارتباط وزن با قند قابل استحصال چغندر قند.

Fig 4 Relationship between root weight and extractable sugar in sugar beet.

اثر رقم بر صفات مقاومت به برش بخش ریشه و بخش دم چغندر قند معنی دار بود این یافته نشان می دهد که پتانسیل ژنتیکی ارقام مختلف، تفاوت هایی را در ویژگی های مکانیکی ریشه ایجاد می کند. در چغندرهایی که دارای مقدار قند بالا و ناخالصی های پایینی هستند چنانچه مقاومت به برش ریشه زیاد باشد در هنگام تهیه خلال، ذرات ریز مزاحم زیادی ایجاد می شود که علاوه بر غیر یکنواختی در اندازه و ابعاد خلال ها موجب می شود تا حرکت صحیح سیال بین توده خلال با مشکل مواجه شود و در نتیجه انتشار ساکارز به درون سیال (آب) به طور ناقص صورت گیرد و ضایعات قند بالا رود. وجود رابطه منفی بین اندازه ریشه (وزن) با مقاومت به برش ($R^2 = 0.1803$) و رابطه منفی بین اندازه ریشه با قند قابل استحصال ($R^2 = 0.12$) می توان نتیجه گرفت بهترین اندازه ریشه چغندر قند، ریشه های متوسط تا وزن یک کیلوگرم است که علاوه بر درصد قند بیشتر نسبت به ریشه های درشت چغندر قند از مقاومت به برش کمتر نسبت به ریشه های ریز برخوردار هستند که موجب خلال پذیری بهتر و همچنین انتشار بهتر ساکارز در فرایند دیفوزیون در کارخانه قند می شود. رسیدن به این هدف با تغییر در شیوه های

نتیجه گیری

در جمع بندی از لحاظ فراوانی نسبی ریشه های ریز، متوسط و درشت به طور میانگین طی سه سال بررسی به ترتیب در رقم IR₁ ۴۹٪ (ریز)، ۳۹٪ (متوسط) و ۱۲٪ (درشت)، رقم IR₂ ۵۵٪، ۳۴٪ و ۱۱٪، رقم IR₃ ۳۲٪، ۴۳٪ و ۲۵٪ و رقم IR₄ ۴۷٪، ۳۷٪ و ۱۶٪ بودند. تأثیر عوامل مختلف زراعی و ژنتیکی (سال، رقم و اندازه ریشه) بر خصوصیات شیمیایی چغندر قند نشان داد که قند قابل استحصال برای ریشه های بزرگتر از یک کیلوگرم به طور معنی داری از قند قابل استحصال ریشه های با گروه وزنی نیم تا یک کیلوگرم و ریشه های کمتر از نیم کیلوگرم کمتر است. بررسی رابطه بین تغییر وزن و وضعیت ارتجاعی بخش مرکزی ریشه های چغندر قند نشان دهنده وجود ارتباط خطی معنی دار نبود ($R^2 = 0.0074$) دامنه تغییرات وضعیت ارتجاعی در این بخش بین ۱۲/۳۰-۶ نیوتن بر متر مربع بود که بیانگر تازگی و سلامت ریشه های مورد ارزیابی است. همچنین، ارزیابی سالانه وضعیت ارتجاعی بخش مرکزی ریشه در ارقام مختلف اختلاف معنی داری نشان نداد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مدیریت موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و کلیه همکاران و عزیزانی که در اجرای آزمایش و نگارش این مقاله من را یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

زراعی از قبیل تراکم بوته، مقدار آب آبیاری و میزان کود نیتروژن قابل دستیابی است.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References

منابع مورد استفاده

- Abdollahian Nogabi M, Babaee B. Proper method for topping sugar beet roots. Agricultural research education organization Publication, 2015; Registration No. 46611.
- Amaduci MT, Benati R, Biancardi E and Venturi G. Losses from breakage of beet tops in relation of root size. Industria Saccarifieria Italiana, 1982; 75 (2): 41-51, 54-56.
- Campbell LG. Sugar beet quality improvement, Journal of Crop Production, 2002; 5:1/2, 395-413. Doi: http://doi.org/10.1300/J144v05n01_16
- Cooke DA, Scott RK. The sugar beet crop science in to practice. Chapman and Hall London, 1993; pp.683
- Draycott AP. Sugar beet, Blackwell publishing Ltd, 2006; pp. 514.
- Harvey C.W Dutton J.V. Root quality and processing. pp. 581-627. In: Cooke D.A, Scott RK. (Eds.) The Sugar Beet Crop Science in to Practice. Chapman and Hall London, 1993. Doi: <http://doi.org/10.1002/9780470751114.ch16>
- Hoffmann CM. Root quality of sugar beet. Sugar tech, 2010; 12:3-4, 276-287. Doi: <http://doi.org/10.1007/s12355-010-0040-6>
- Hoffmann CM, Kenter C. Yeild potential of sugar beet-have we hit the ceiling? Frontiers in plant science, 2018, 9, 1-6. Doi: 10.3389/fpls.2018.00289.
- Huijbregts T, Legrand G, Hoffmann C, Olsson R, Olsson Å. Long-term storage of sugar beet in North-West Europe. COBRI, 2013; (Report No. 1 – 2013).
- Jaggard KW, Clark CJA and Draycott AP. The weight and processing quality of components of the storage roots of sugar beet. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1999; 79 11, 1389 –1398. Doi: [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199908\)79:11<1389::AID-JSFA377>3.0.CO;2-B](http://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199908)79:11<1389::AID-JSFA377>3.0.CO;2-B)
- Kenter C, Hoffmann CM, Märlander B. Sugarbeet as raw material – advanced storage management to gain good pro-cessing quality. Zuckerindustr Sugar Ind. 2006; 131:706-720.
- Kleuker G, Hoffmann CM. Method development for the determination of textural properties of sugar beet roots. Zuckerindustr Sugar Ind. 2019 144:392-400. Doi: <http://doi.org/10.36961/si23306>.
- Kleuker G, Hoffmann CM. Tissue strength of sugar beet roots – genotypic variation and environmental impact. Crop Sci. 2021; 61:2478-2488. Doi: <http://doi.org/10.1002/csc2.20523>.
- Kunz M. Beet. pp.110-117. Sugar Analysis. International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA), General subject 6, 1998.
- Martin D. Sugar analysis. Beet. International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA), 2006; General subject 6, 63-69.
- Mohsenin NN. Physical properties of agricultural materials and food products. Gordon and breach science publisher New York, 1986; Third edition, pp. 910.
- Reinefeld E, Emmerich A, Baumgarten G, Winner C and Beib U. Zur Voraussage des Melassezuckers aus Ru benanalysen. Zucker, 1974; 27, 2-15.
- Roggo Y, Duponchel L and Huvenne JP. Quality evaluation of Sugar Beet (*Beta vulgaris*) by Near-Infrared Spectroscopy. Journal of agricultural food chemistry, 2004; 52, 1055-1061. Doi: <http://doi.org/10.1021/jf0347214>
- Schäfer J, Hale J, Hoffmann CM, Bunzel M. Mechanical properties and compositional characteristics of beet (*Beta vulgaris* L.) varieties and their response to nitrogen application. European Food Research and Technology 2020; 246:2135-2146. Doi: <http://doi.org/10.1007/s00217-020-03562-4>
- Sheikh al-Islami r. Laboratory methods and their application in food industry process control (sugar). Mersa Publications, 1998; 342 pages.
- Van der poel PW, Schiweck H and Schwartz T. Sugar technology beet and cane sugar manufacture. Berlin, Dr. Albert Bartens KG, 1998; 1125 pp.
- Vukov K, and Hangyal K. Sugar beet storage. Sugar technology reviews, 1985; 12, 143-265.
- Vukov K. Physics and chemistry of sugar beet in sugar manufacture. Elsevier, 1977; 595 pp.