

Vplyv genetickej predispozície repy cukrovej na tvorbu produkčných parametrov

EFFECT OF SUGAR BEET GENETIC PREDISPOSITION ON FORMATION OF PRODUCTION PARAMETERS

Ivan Černý, Ivan Ravza, Dávid Ernst, Tomáš Vician, Alexandra Zapletalová, Marek Rašovský, Vladimír Pačuta
Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

V súčasných agroekologických podmienkach nadobúda pestovanie repy cukrovej strategický význam nielen z hľadiska ekonomickej rentability, ale aj z pohľadu adaptability na meniace sa environmentálne faktory. Extrémne poveternostné javy a klimatická zmena, ako aj vplyv sucha, nerovnomerné rozloženie zrážok či náhle ochladenie v jarnom období interagujú s rastovými zmenami a limitujú stabilitu produkcie. Z toho dôvodu výskum a selekcia genotypov s vyššou toleranciou voči abiotickému stresu, ako aj optimalizácia agrotechnických zásahov môžu zabezpečiť udržateľnosť pestovania tejto významnej vysoko energetickej plodiny (1).

V dynamicky meniacich sa podmienkach nie je pri hodnotení genotypov repy cukrovej postačujúcim kritériom samotná úroda za optimálnych podmienok. Pre efektívnu selekciu je nevyhnutné zohľadňovať aj genetickú predispozíciu a vplyv prostredia, ktoré vo vzájomnej interakcii formujú fenotypové znaky, na základe ktorých možno identifikovať vysoko stabilné a produkčné genotypy (2).

Repa cukrová je tradične klasifikovaná ako stabilná plodina mierneho klimatického pásma. V kontexte týchto zmien nadobúda odrodová diverzita zásadný význam, pričom jednotlivé genotypy vykazujú rozdielnu mieru adaptability na špecifické stresové situácie, čím predstavujú potenciálny nástroj cieľového manažmentu pestovania (3, 4).



V rámci inovatívnych strategických zásahov došlo v poslednej dobe k transformácii genetických vlastností a boli vyšľachtené tolerantné odrody voči inhibítorom ALS enzýmu označované ako Conviso Smart technológia. Smart línie boli selektované na báze špecifickej mutácie umožňujúcej aplikáciu postemergentných účinných látok na reguláciu burín a zároveň so zvýšenou toleranciou voči abiotickým stresom a vyššou stabilitou úrody v divergentných agroklimatických podmienkach. Zavedenie Smart technológie tvorí synergiu medzi šľachtením a precíznymi agronomickými prístupmi, pričom jej hlavný prínos spočíva v racionalizácii agronomických zásahov. Problematika produkčnej stability v podmienkach klimatickej variability nie je jasne definovaná, preto je potrebné túto tému bližšie špecifikovať (5, 6).

Doterajšie výsledky výskumu nie sú konzistentné. Viaceré štúdie poukazujú na vyššiu cukrnatosť pri niektorých Smart genotypoch, avšak tento efekt nie je stabilný v rôznych pestovateľských podmienkach a často sa nezhoduje s produkčným potenciálom konvenčných odrôd v identických agroekologických lokalitách (7). Variabilita ročníka totiž nezasahuje všetky genotypy rovnako (2).

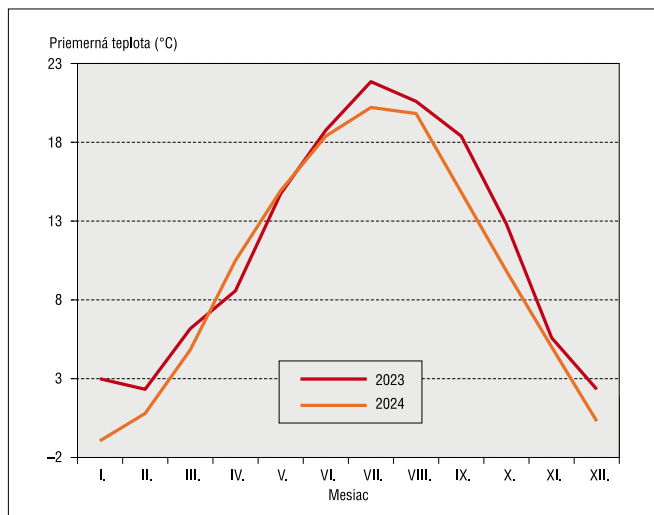
Rozdiely medzi genotypmi v reakcii na sezónne klimatické podmienky poukazujú na ich rôznu plasticitu, teda schopnosť adaptácie na meniace sa vonkajšie podmienky. Tento faktor zohráva kľúčovú úlohu pri výbere vhodných odrôd do konkrétnych pestovateľských podmienok, obzvlášť v kontexte narastajúcej frekvencie extrémnych meteorologických udalostí (8).

Cieľom príspevku je porovnanie dosiahnutých úrod a cukrnatosti repy cukrovej na úrovni klasických a Smart odrôd, v kontexte priebehu poveternostných podmienok a dlhodobej udržateľnosti jej pestovania.

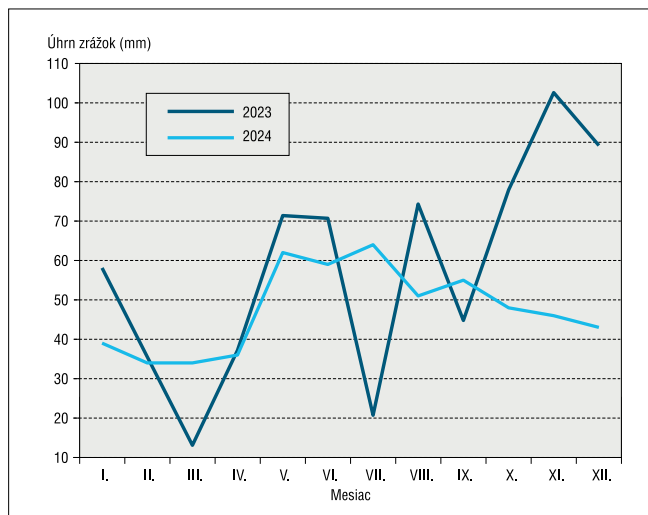
Materiál a metódy

Poľné experimenty s repou cukrovou boli založené v rokoch 2023–2024 na pokusných pozemkoch PD DEVIO Nové Sady. Územie poľnohospodárskeho družstva sa nachádza na rozhraní kukuričnej a repárskej výrobnjej oblasti. Nadmorská výška dosahuje 150–250 m n. m. Pozemky sa nachádzajú v suchej klimatickej oblasti, s dlhším slnečným svitom, v posledných rokoch sa vyskytujú vysoké teploty v mesiacoch máj–august. Poveternostné podmienky na danom území významne ovplyvňujú pestovanie všetkých druhov plodín, sú premenlivého charakteru a ich priebeh počas experimentálneho obdobia uvádza obr. 1. a obr. 2.

Obr. 1. Priemerné teploty za obdobie rokov 2023 a 2024



Obr. 2. Úhrn zrážok za obdobie rokov 2023 a 2024



Z geologického hľadiska patrí územie do Nitrianskej sprašovej pahorkatiny, ktorá je vytvorená pieskami, ílmi a pieskovcami pokrytými sprašou. Experiment sa konkrétne realizoval na hlinitom pôdnom druhu a pôdnom type hnedozem.

V systéme rotácie plodín bola repa cukrová zaradená po pšenici letnej formy ozimnej (*Triticum aestivum* L.). Po predplodine sa realizovala podmiatka (0,12 m), nasledovala stredne hlboká orba (0,24 m) so súčasným zapracovaním fosforečných a draselných hnojív a maštalného hnoja ($35 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) a následným urovnaním povrchu pôdy. Aplikácia dusíkatých hnojív sa uskutočnila na jar, pri predsejbovej príprave pôdy. Pred sejbou bolo vykonané plytké spracovanie pôdy. Sejba bola realizovaná v súlade s výsevom na konečnú vzdialenosť pomocou 12-radového sejacieho stroja Monosem NG, s medziriadkovou vzdialenosťou 0,45 m, vzdialenosťou v riadku 0,18 m a do hĺbky 38 mm. Regulácia zaburinenosti a ochrana proti chorobám a škodcom sa realizovala v súlade s ich reálnym výskytom. Zber, kombajnom Holmer T3, bol realizovaný v technologickej zrelosti (BBCH 47). Analýza vzoriek pre stanovenie technologickej kvality bola vykonaná v cukrovare Trenčianska Teplá (Považský cukor). Cukornatosť bola stanovená pomocou laboratórnych testov s využitím betalyzéra VENEMA 3G. V pokusoch boli zaradené nasledovné genotypy odrôd (12):

- klasické (Aspen, Fabius, Fischer, Pegasus, Sonic, Grisella KWS),
- Smart (Hoacin Smart, Kamzik Smart, Smart Pepeta, Smart Rossada KWS, Smart Rubicon, Terapin Smart).

Pokus bol založený metódou kolmo delených blokov s náhodným usporiadaním pokusných členov, v troch opakovaniach (11). Výsledky pokusu boli spracované v programe TIBCO

Tab. I. Výsledky analýzy rozptylu pre úrodu a cukornatosť

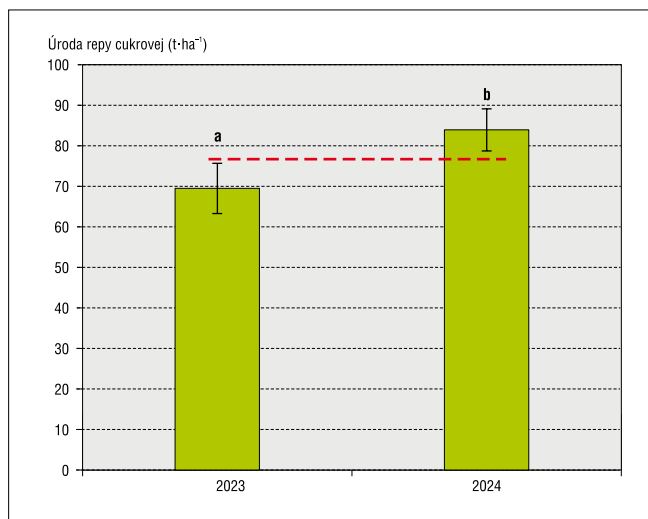
Faktor	Úroda	Cukornatosť
	p hodnota	
Odroda	0,0000	0,0000
Typ hybridu	0,2212	0,0007
Ročník	0,0000	0,0000

Statistica, verzia 14.0 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA) (13). Vplyv hlavných faktorov a ich interakcií na sledované parametre repy cukrovej bol analyzovaný prostredníctvom viac-faktorovej analýzy rozptylu (ANOVA). Na určenie významnosti rozdielov vo vnútri faktorov bola použitá post-hoc analýza (LSD Tukey test) s hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. Grafické spracovanie výsledkov bolo realizované v programe Microsoft Excel (ver. 16.51).

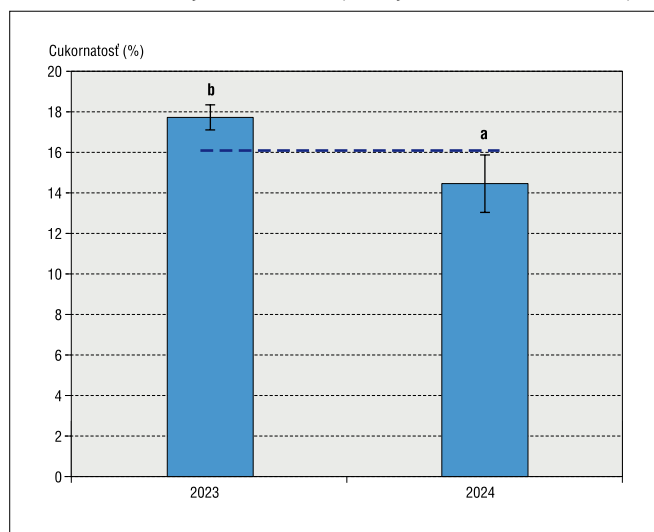
Výsledky a diskusia

Výsledky našich poľných pokusov uskutočnených v rokoch 2023–2024 potvrdili, že produkčné a kvalitatívne parametre repy cukrovej boli výrazne ovplyvnené priebehom poveternostných podmienok a genetickou predispozíciou pestovaných hybridov. Analýza rozptylu (tab. I.) potvrdila, že faktor ročníka mal štatisticky vysoko preukazný vplyv na úrodu buliev aj cukornatosť ($p < 0,000$). Štatisticky vysoko preukazný vplyv odrody

Obr. 3. Porovnanie úrody repy cukrovej medzi rokmi 2023 a 2024; malé písmená (a, b) označujú štatisticky významné rozdiely medzi rokmi (Tukeyho HSD test, $\alpha = 0,05$)



Obr. 4. Porovnanie cukrnatosti repy cukrovej medzi rokmi 2023 a 2024; malé písmená (a, b) označujú štatisticky významné rozdiely medzi rokmi (Tukeyho HSD test, $\alpha = 0,05$)



bol indikovaný pri oboch sledovaných znakoch ($p < 0,000$), čo poukazuje na výraznú genetickú variabilitu medzi testovanými genotypmi. Naopak, samotný typ hybridu (konvenčný vs. Smart) neovplyvnil štatisticky významne úrodu buliev ($p = 0,221$), avšak pri cukrnatosti sa prejavil ako významný faktor ($p < 0,000$).

V rámci sledovaného obdobia boli potvrdené výrazné rozdiely v teplote a úhrne zrážok (obr. 1. a obr. 2.), ktoré sa priamo premietli do produkcie repy cukrovej. Priemerná úroda (obr. 3.) v roku 2023 bola $69,48 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, zatiaľ čo v roku 2024 bola výrazne vyššia ($83,92 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), čo predstavuje nárast úrody rel. o 20,8 %. V roku 2024 boli zrážky rovnomernejšie rozdelené s miernejšími teplotami počas vegetácie, čo umožnilo intenzívnejší rast listovej plochy a efektívnejšiu akumuláciu biomasy. Naopak, v roku 2023 zrážkový deficit a vyššie teploty v mesiacoch marec a jún spôsobili skrátenie obdobia intenzívneho rastu a nižšiu tvorbu buliev. Mechanizmus tohto javu dobre vystihujú výsledky (9), ktoré preukázali, že optimálna priemerná denná teplota pre rast buliev je približne 18°C a jej prekročenie

v kombinácii s nedostatkom pôdnej vlhky významne redukuje prírastok hmotnosti počas rozhodujúceho letného obdobia. Podobné závery prinášajú aj (10), ktorí kvantifikovali, že vodný deficit predstavuje najvýznamnejší limitujúci faktor úrodového potenciálu repy cukrovej.

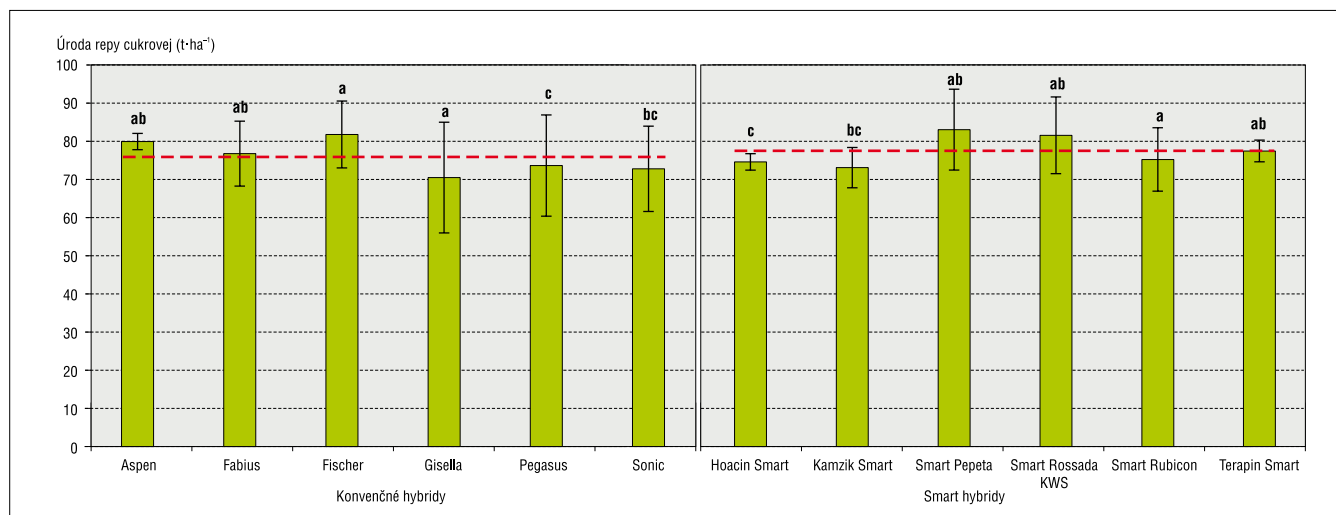
Cukrnatosť vykazovala odlišný trend ako úroda buliev. Vyššie hodnoty boli zaznamenané v suchšom a teplejšom roku 2023, keď priemerná cukrnatosť dosiahla 17,73 %. V roku 2024 priemerná hodnota cukrnatosti klesla na 14,45 % (rel. –18,5 %) (obr. 4.). V suchších rokoch rast a vývoj buliev prebiehajú pomalšie, čo vedie k vyššej koncentrácii sacharózy v pletivách. Tento jav je v súlade s výsledkami (8), ktorí potvrdili, že medzi úrodou buliev a cukrnatosťou existuje inverzný vzťah. Vyššia hmotnosť buliev býva často sprevádzaná nižším obsahom cukru.

Uvedený jav je známy ako agronomický paradox kvantity a kvality. Priaznivé podmienky podporujú akumuláciu biomasy, ale znižujú koncentráciu sacharózy. Naopak, stresové podmienky obmedzujú rast, no môžu zvyšovať cukrnatosť (14). Z technologického hľadiska je preto potrebné hodnotiť úrodu buliev a cukrnatosť komplexne, nakoľko vyššia úroda nemusí automaticky predikovať vyššiu úrodu cukru.

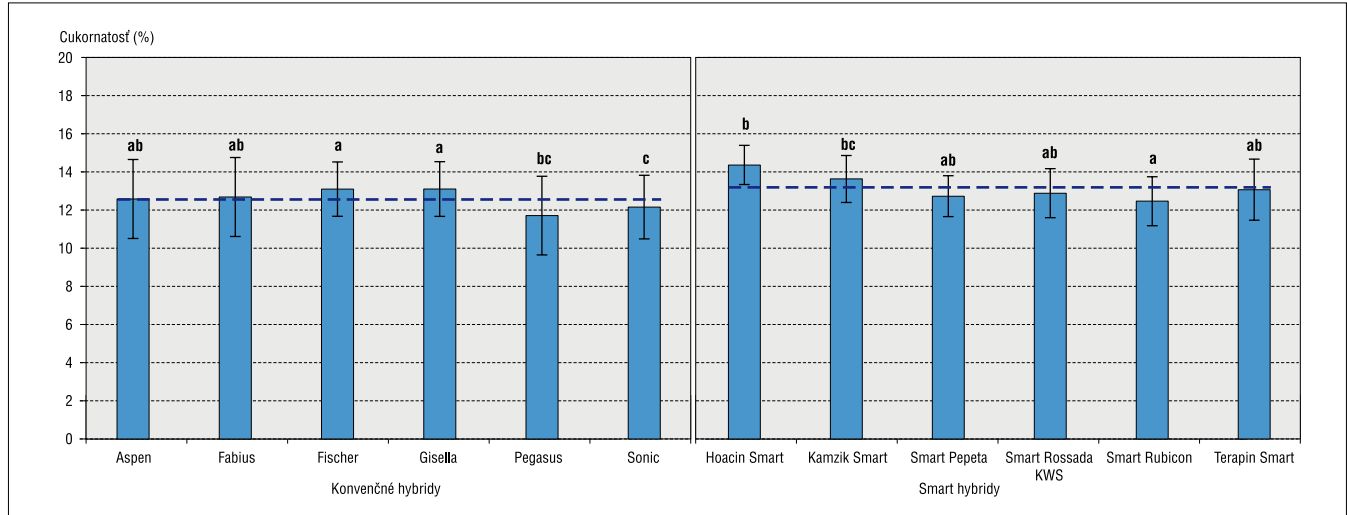
Komparácia konvenčných a Smart odrôd v úrode buliev neprekázala štatisticky významné rozdiely (obr. 5.). Priemerná úroda konvenčných odrôd bola $75,90 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a Smart odrôd $77,50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, (rel. +2,1 %) v prospech Smart odrôd, avšak bez štatistickej významnosti ($p = 0,221$). Výraznejšie rozdiely sa prejavili pri cukrnatosti. Smart odrody dosiahli v priemere 16,49 % (rel. +5,1 %) v porovnaní s klasickými odrodami 15,69 % (obr. 6.). Na základe viacročných pokusov v Českej republike (5, 15) potvrdili, že Smart odrody dosahujú porovnateľnú alebo mierne nižšiu úrodu ako klasické, ale vďaka nižšiemu herbicíd-nemu stresu a stabilnej technologickej kvalite vykazujú konzistentnejšie parametre spracovateľskej kvality. Smart technológia je preto významná najmä z hľadiska stabilizácie pestovateľského systému prostredníctvom účinnej regulácie burín.

Výsledky zároveň potvrdili výrazné medziodrodové rozdiely v stabilite úrody a kvalitatívnych parametrov (obr. 7. a obr. 8.). Klasické odrody, ako Aspen a Fabius, dosahovali v oboch hodnotených rokoch pomerne stabilné úrody aj cukrnatosť, čo naznačuje ich lepšiu adaptabilitu na kolísanie poveternostných

Obr. 5. Priemerná úroda konvenčných a Smart odrôd repy cukrovej v porovnaní s ročným priemerom pre jednotlivé technológie; malé písmená (a, b, c) označujú štatisticky významný rozdiel (Tukeyho HSD test, $\alpha = 0,05$) medzi hybridmi a úrodou



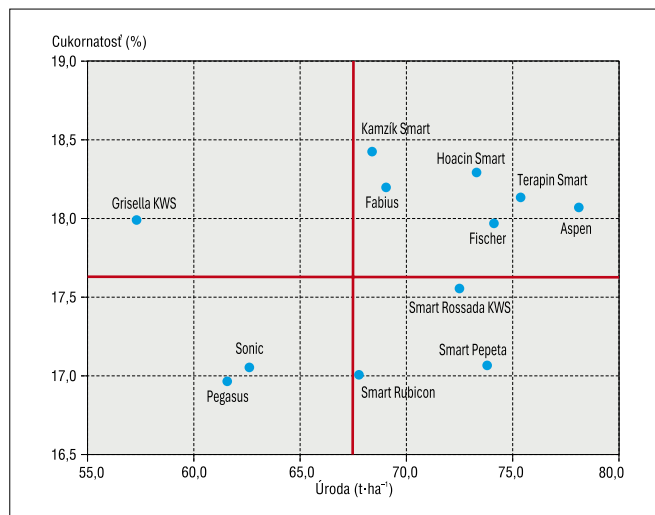
Obr. 6. Priemerná cukornatosť konvenčných a Smart odrôd repy cukrovej v porovnaní s ročným priemerom pre jednotlivé technológie; malé písmená (a, b, c) označujú štatisticky významný rozdiel (Tukeyho HSD test, $\alpha = 0,05$) medzi hybridmi a úrodou



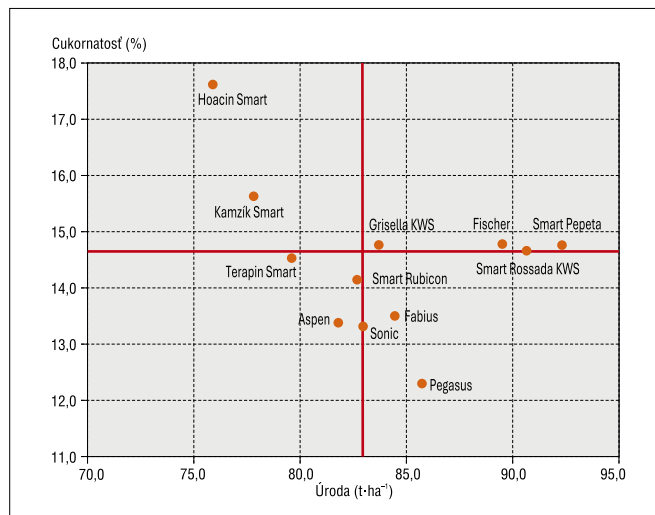
podmienok. Naopak, niektoré Smart odrody, napríklad Kamzík Smart alebo Smart Rubicon, vykázali nadpriemerné výsledky v priaznivom roku 2024, no v suchšom roku 2023 bol ich výkon citeľne nižší. Tento rozdiel v reakciách genotypov na priebeh počasia zodpovedá pozorovaniam (16), ktorí poukazujú na vysokú variabilitu reakcie odrôd repy cukrovej na

environmentálne podmienky. Niektorí autori (1, 2) zároveň zdôrazňujú, že žiadny genotyp nie je univerzálne najvýkonnejší vo všetkých pestovateľských rokoch a lokalitách. Preto je diverzifikácia odrodovej skladby kľúčovou stratégiou, ktorá umožňuje znižovať produkčné riziko a zlepšovať stabilitu pestovania v podmienkach klimatickej variability.

Obr. 7. Grafické zobrazenie produkčného potenciálu testovaných odrôd repy cukrovej v roku 2023



Obr. 8. Grafické zobrazenie produkčného potenciálu testovaných odrôd repy cukrovej v roku 2024



Záver

Výsledky poľných pokusov potvrdili výrazný vplyv poveternostných podmienok ročníka na produkčné aj kvalitatívne ukazovatele repy cukrovej. Klimatické rozdiely medzi rokmi sa prejavili nerovnakým charakterom v úrodových a kvalitatívnych parametroch. Priaznivejšie poveternostné podmienky podporili vyššie úrody buliev, zatiaľ čo suchší a teplejší rok bol spätý s vyššou cukrnatosťou.

Porovnanie konvenčných a Smart odrôd ukázalo, že technológia Smart nie je zárukou vyšších úrod, avšak odrody tejto skupiny dosahovali vyššiu a stabilnejšiu cukrnatosť. Odrody reagovali na priebeh počasia rozdielne, čo poukazuje na ich nestálu adaptabilitu a význam vhodného výberu genotypov podľa pestovateľských podmienok.

Získané výsledky zdôrazňujú potrebu diverzifikácie odrodového portfólia ako nástroja na zníženie pestovateľského rizika a stabilizáciu úrod aj kvality v podmienkach klimatickej zmeny. Kľúčovým predpokladom úspešného pestovania bude vhodná

kombinácia odrôd prispôbená špecifickým pestovateľským a klimatickým podmienkam.

Súhrn

Repa cukrová patrí medzi plodiny, ktorých úroda aj kvalita výrazne závisia od priebehu počasia a vlastností pestovaných odrôd. V rámci poľných pokusov uskutočnených v rokoch 2023–2024 na pozemkoch PD DEVIO Nové Sady boli z hľadiska úrod buliev a ich cukrnatosti porovnané klasické a Smart odrody. Výsledky boli spracované viacfaktorovou analýzou rozptylu ANOVA. Vplyv ročníka sa preukázal štatisticky vysoko preukazne pri faktore úroda aj cukrnatosť. V roku 2024 bola zaznamenaná vyššia priemerná úroda buliev $83,92 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ v porovnaní s rokom 2023, keď dosiahnutá úroda bola $69,48 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, čo súviselo s priaznivejším priebehom zrážok a miernejšími teplotami počas vegetácie. Naopak, cukrnatosť bola vyššia v suchšom roku 2023 (17,73 %) ako v roku 2024 (14,45 %), čo potvrdzuje inverzný vzťah medzi množstvom biomasy a koncentráciou cukru. Faktor odrody preukázal štatisticky významné rozdiely medzi hodnotenými genotypmi a potvrdil ich odlišné reakcie na priebeh poveternostných podmienok. Typ odrody neovplyvnil štatisticky významne úrodu, avšak mal vplyv na cukrnatosť. Smart odrody dosiahli v priemere vyššie hodnoty 16,49 % ako klasické odrody 15,69 %. Výsledky potvrdzujú význam kombinácie genetických vlastností a priebehu počasia pri formovaní úrody aj kvality repy cukrovej a zároveň poukazujú, že vhodná voľba odrôd predstavuje účinný spôsob, ako zmierniť negatívne vplyvy premenlivých pestovateľských podmienok a udržať stabilnú produkciu.

Kľúčové slová: repa cukrová, poveternostné podmienky, odroda, úroda buliev, cukrnatosť.

Literatúra

1. FASAHA, P. ET AL.: A meta-analysis of genotype $\times$ environment interaction on sugar beet performance. *Biometrical Letters*, 57, 2020 (2), s. 221–236, doi.org/10.2478/bile-2020-0014.
2. HASSANI, M. ET AL.: Genotype by environment and genotype by yield trait interactions in sugar beet: analyzing yield stability and determining key traits association. *Scientific Reports*, 2023, 13:23111, doi.org/10.1038/s41598-023-51061-9.
3. ŻARSKI, J. ET AL.: Impact of irrigation and fertigation on the yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in a moderate climate. *Agronomy*, 10, 2020 (2), s. 166, doi.org/10.3390/agronomy10020166.
4. VARGA, I. ET AL.: Efficiency and Management of Nitrogen Fertilization in Sugar Beet as Spring Crop: A Review. *Nitrogen*, 3, 2022 (2), s. 170–185, doi.org/10.3390/nitrogen3020013.
5. JURSIK, M. ET AL.: Sugar beet varieties tolerant to ALS-inhibiting herbicides: A novel tool in weed management. *Crop Protection*, 2020, 137, 105294, doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105294.
6. OROIAN, C. ET AL.: Innovative solution destined to control sugar beet production, sugar production and sugar yield. *Scientific Papers, Series A, Agronomy*, 67, 2024 (1), ISSN 2285-5785.
7. GRZANKA, M. ET AL.: Impact of chemical weed management in sugar beet (*Beta vulgaris*) on productivity, quality and economics. *Journal of Plant Protection Research*, 63, 2023 (4), s. 459–466, doi.org/10.24425/jppr.2023.146878.
8. TAYYAB, M. ET AL.: Sugar Beet Cultivation in the Tropics and Subtropics: Challenges and Opportunities. *Agronomy*, 13, 2023 (5), s. 1213, doi.org/10.3390/agronomy13051213.
9. KENTER, C.; HOFFMANN, C. M.; MÄRLÄNDER, B.: Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, 24, 2006 (1), s. 62–69, doi.org/10.1016/j.eja.2005.05.001.
10. MOHAMMADI-AHMADMAHMOUDI, M. ET AL.: Yield gap analysis simulated for sugar beet-growing areas in water-limited environments. *European Journal of Agronomy*, 115, 2020, 125988, doi.org/10.1016/j.eja.2019.125988.

11. EHRENBARGEROVÁ, J.: *Zakládání a hodnocení pokusů*. Brno: MZLU, 1995, 109 s., ISBN 80-7157-153-9.
12. *Listina registrovaných odrůd 2024*. Vestník MPRV SR, 56, 2024, č. 33, [online] <http://www.uksup.sk/oos-listina-registrovanych-odrod>.
13. *STATISTICA* (data analysis software system), version 14. STATSOFT, Inc., 2020, www.statsoft.com.
14. ALOTAIBI, F. ET AL.: Application of beet sugar byproducts improves sugar beet biofortification in saline soils and reduces sugar losses in beet sugar processing. *Environmental Sci. and Pollution Research*, 28, 2021, s. 30303–30311, doi.org/10.1007/s11356-021-12935-5.
15. CHOCHOLA, J.; PAVLŮ, K.: Technologie Conviso Smart – šance a rizika pro české řepářství. *Listy cukrov. řepář.*, 135, 2019 (4), s. 131–137.
16. VOGEL, J. ET AL.: New generation of resistant sugar beet varieties for advanced integrated management of Cercospora leaf spot in Central Europe. *Frontiers in Plant Science*, 9, 2018, s. 222, <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00222>.

Černý I., Ravza I., Ernst D., Vician T., Zapletalová A., Rašovský M., Pačuta V.: Effect of Sugar Beet Genetic Predisposition on Formation of Production Parameters

Sugar beet is one of the crops whose yield and quality depend significantly on weather conditions and the characteristics of its varieties. The study compared the yield and sugar content of conventional and Smart sugar beet varieties under changing weather conditions in field experiments conducted in 2023–2024 at the DEVIO Nové Sady experimental site in Slovakia. The data were processed using multivariate analysis of variance (ANOVA). The results confirmed a highly significant impact of the growing

season on both yield and sugar content ($p < 0.0001$). A higher average root yield of $83.92 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (+20.8%) was recorded in 2024 compared to the previous year 2023 (yield $69.48 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), mainly due to more favorable precipitation and milder temperatures. Conversely, higher sugar content was recorded in the drier year 2023 (17.73%) compared to 2024 (14.45%), representing a relative decrease of 18.5%, thus demonstrating the inverse relationship between biomass accumulation and sucrose concentration. The variety factor showed statistically significant differences between the evaluated genotypes and confirmed their different responses to weather conditions. The variety had no significant effect on yield but significantly influenced sugar content ($p = 0.0007$); Smart varieties achieved on average 16.49% sugar compared to 15.69% in conventional ones, corresponding to a relative increase of 5.1%. The results confirm the importance of the combination of genetic traits and weather conditions in shaping the yield and quality of sugar beet, while also pointing out that the appropriate choice of varieties is an effective way to mitigate the negative effects of variable growing conditions and maintain stable production.

Key words: sugar beet, weather conditions, variety, root yield, sugar content.

Kontaktná adresa – Contact address

doc. Ing. Ivan Černý, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov, Ústav agronomických vied, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, e-mail: ivan.cerny@uniag.sk