Vplyv agroklimatických faktorov a genetickej variability na vybrané ukazovatele kvality repy cukrovej

INFLUENCE OF AGROCLIMATIC FACTORS AND GENETIC VARIABILITY ON SELECTED INDICATORS OF SUGAR BEET QUALITY

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

Repa cukrová je charakterizovaná ako významná priemyselná plodina mierneho klimatického pásma s dominantnou funkciou v štruktúre osevných postupov. Z globálneho hľadiska má viac než 30 % podiel na svetovej produkcii sacharózy so zastúpením vo viacerých krajinách sveta (1, 2). Táto plodina sa vyznačuje vysokou fotosyntetickou efektivitou a schopnosťou akumulácie sacharózy. Produkčný potenciál a široká využiteľnosť vedľajších produktov nachádza uplatnenie v poľnohospodárskom a priemyselnom odvetví (3, 4).

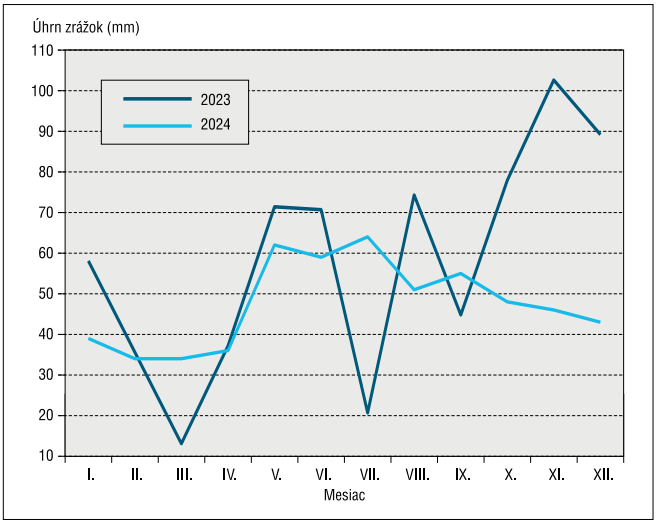
Produkčný potenciál repy cukrovej je determinovaný komplexnou interakciou genetickej predispozície s environmentálnymi faktormi prostredia (5). V posledných desaťročiach je efektivita produkcie limitovaná v dôsledku klimatickej variability, ktorá sa prejavuje výskytom vodného stresu, nerovnomernou distribúciou zrážok, rozšírením netypických chorôb a škodcov a iných biotických a abiotických faktorov (6).

Klimatická variabilita významne ovplyvňuje fyziologické procesy akumulácie biomasy, transportu a syntézy asimilátov. Klimatická fluktuácia determinuje rozdiely v úrode buliev, obsahu sacharózy a celkovej technologickej výťažnosti (7). V niektorých prípadoch môžu nepriaznivé klimatické podmienky redukovať celkovú úrodu biomasy, paradoxne však môžu zvýšiť koncentráciu cukru v buľvách, čo poukazuje na potrebu paralelného hodnotenia kvantitatívnych aj kvalitatívnych ukazovateľov (8, 9).

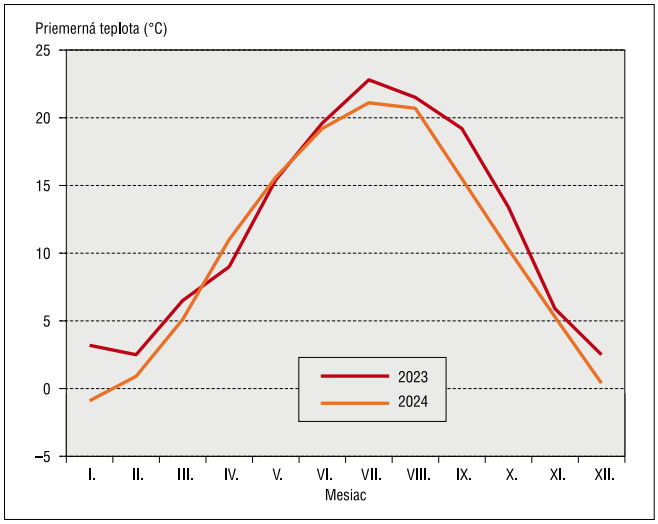
Jedným z kľúčových faktorov agronomickej úspešnosti súčasného pestovania je genetická diverzifikácia. V posledných rokoch sú relevantné tzv. „Smart“ odrody, moderné hybridy s vylepšenými genetickými vlastnosťami. Vyznačujú sa zvýšenou odolnosťou voči chorobám a škodcom, umožňujú flexibilnejšie využívanie rôznych herbicídov a disponujú vyšším produkčným potenciálom. Súčasne sa očakáva nižšia spotreba vody, dusíkatých hnojív a prípravkov na ochranu rastlín, čím podporujú princípy moderného a inteligentného poľnohospodárstva (Smart farming) (10, 11).

Diferenciácia genotypových reakcií na sezónnu klimatickú variabilitu reflektuje ich heterogénnu fenotypovú plasticitu, ktorá predstavuje schopnosť adaptácie na dynamické zmeny abiotických podmienok. Tento parameter zohráva zásadnú úlohu pri selekcii vhodných odrôd pre konkrétne pestovateľské oblasti, najmä v kontexte zvýšenej frekvencie extrémnych meteorologických udalostí (12, 13). V tomto kontexte predstavujú moderné Smart odrody technologicky pokročilý typ hybridov, ktorých genetická tolerancia k herbicídom zo skupiny ALS inhibítorov umožňuje efektívnu reguláciu burín a flexibilitu aplikácie herbicídov. Táto vlastnosť môže prispievať k stabilite porastu v menej priaznivých rokoch, zatiaľ čo v optimálnych agroklimatických podmienkach umožňuje lepšie využitie úrodového potenciálu bez rizika fytotoxického stresu, ktorý môže byť spojený s aplikáciou niektorých konvenčných herbicídnych systémov (14, 15).

Obr. 1. Úhrn zrážok v rokoch 2023 a 2024 (PD Devio Nové Sady)



Obr. 2. Teploty vzduchu 2023 a 2024 (PD Devio Nové Sady)



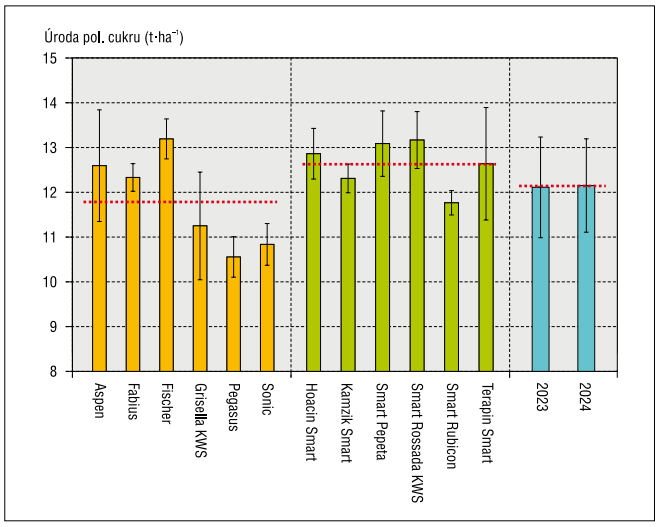
Tab. I. Výsledky analýzy rozptylu (p-hodnoty) sledovaných faktorov na vybrané technologické a kvalitatívne ukazovatele repy cukrovej

Faktor	Úroda polarizačného cukru (t·ha^{-1})	Výťažnosť bieleho cukruy (%)	Na^+	K^+	α-amino N
			(mmol·1 000 g^{-1})		
	p hodnota				
Odroda	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**
Typ odrody	0,001**	0,001**	0,000**	0,784	0,173*
Ročník	0,610	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**

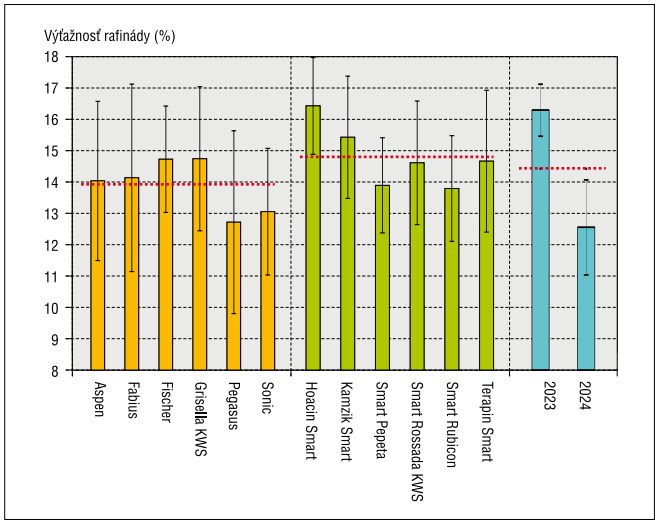
** štatisticky preukazný efekt pri 95 % intervale spoľahlivosti, ** štatisticky preukazný efekt pri 99 % intervale spoľahlivosti*

Cieľom príspevku je porovnať vybrané parametre technologickej kvality (úroda polarizačného cukru, výťažnosť bieleho cukru a obsah melasotvorných látok) repy cukrovej pri „klasických“ a „Smart“ odrodách, v kontexte variabilných poveternostných podmienok.

Obr. 3. Prehľad úrod polarizačného cukru konvenčných a Smart odrôd v porovnaní s priemerom jednotlivých typov odrôd, efekt ročníka na úrodu polarizačného cukru



Obr. 4. Komparatívna analýza výťažnosti rafinády konvenčných a Smart odrôd v porovnaní s priemerom jednotlivých typov odrôd, efekt ročníka na výťažnosť rafinády



Materiál a metódy

Poľné experimenty s repou cukrovou boli realizované v rokoch 2023 – 2024 na pokusných pozemkoch Poľnohospodárskeho družstva DEVIO Nové Sady (okres Nitra, Slovenská republika). Územie družstva sa nachádza v rozhraní kukuričnej a repárskej výrobnej oblasti v nadmorskej výške 150 – 250 m n. m.

Klimaticky patrí lokalita do suchej teplej oblasti, charakteristickej dlhým trvaním slnečného svitu a výskytom vysokých teplôt počas vegetačného obdobia, najmä v mesiacoch máj – august. Dynamiku úhrnu zrážok a priemerných teplôt vzduchu počas experimentálneho obdobia reflektuje obr. 1. a obr. 2.

Z geologického hľadiska patrí experimentálne územie do Nitrianskej sprašovej pahorkatiny, tvorenej pieskami, ílmi a pieskovcami prekrytými sprašou. Pokusné parcely sa nachádzajú na hlinitom pôdnom druhu, pôdneho typu hnedozem. Pôdy sú stredne hlboké vododržné s priaznivou štruktúrou pre pestovanie hlboko koreniacich plodín.

V rámci systému rotácie plodín bola repa cukrová v osevnom postupe zaradená po pšenici letnej forme ozimnej (*Triticum aestivum* L.). Po zbere predplodiny bola realizovaná podmietka do hĺbky 0,12 m, nasledovala stredne hlboká orba (0,24 m), pri ktorej boli do pôdy zapracované fosforečné a draselné hnojivá a maštaľný hnoj v dávke 35 t·ha^{-1}. Povrch pôdy bol následne urovnaný. Dusíkaté hnojivá boli aplikované na jar pri predsejbovej príprave pôdy, ktorá pozostávala z plytkého spracovania a prípravy osivového lôžka. Sejba sa uskutočnila na konečnú vzdialenosť pomocou 12-radového sejacieho stroja Monosem NG, s medziriadkovou vzdialenosťou 0,45 m, vzdialenosťou v riadku 0,18 m a hĺbkou sejby 38 mm. V priebehu vegetačného obdobia bola regulácia zaburinenosti a ochrana proti chorobám a škodcom realizovaná v závislosti od ich aktuálneho výskytu v poraste.

Zber buliev bol vykonaný vo fáze technologickej zrelosti (BBCH 47) repným vyorávačom Holmer Terra Dos T3. Následne bola úroda prepočítaná na 1 ha. Odobraté vzorky boli analyzované na stanovenie technologickej kvality v laboratóriu spoločnosti Považský cukor, a. s., Trenčianska Teplá. Cukornatosť buliev bola stanovená laboratórnymi testami pomocou betalyzéra VENEMA 3G.

Pokus bol založený metódou kolmo delených blokov s náhodným usporiadaním pokusných variantov, v troch opakovaniach (16). Do experimentu bolo zaradených 12 genotypov

repy cukrovej, rozdelených do skupiny „Klasických odrôd“ (Aspen, Fabius, Fischer, Pegasus, Sonic, Grisella KWS) a „Smart odrôd“ (Hoacin Smart, Kamzik Smart, Smart Pepeta, Smart Rossada KWS, Smart Rubicon, Terapin Smart) (17).

Získané údaje boli spracované v programe TIBCO Statistica (18). Na hodnotenie vplyvu hlavných faktorov a ich interakcií na sledované parametre bola použitá viacfaktorová analýza rozptylu (ANOVA). Na testovanie významnosti rozdielov medzi priemermi bola aplikovaná post-hoc analýza Tukey HSD pri hladine významnosti $\alpha = 0,05$. Grafická prezentácia výsledkov bola spracovaná v programe Microsoft Excel (verzia 16.51).

Výsledky a diskusia

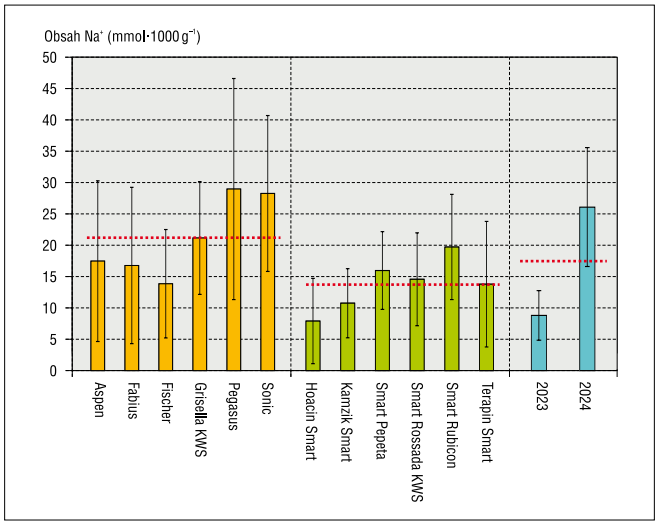
Experimentálne výsledky poľného polyfaktorového pokusu s repou cukrovou indikujú významný vplyv odrody na úrodu polarizačného cukru, pričom signifikantný vplyv bol zaznamenaný aj v ostatných parametroch technologickej kvality ($p < 0,05$; tab. I.). Analýza dát potvrdila štatisticky vysoko preukazné rozdiely medzi jednotlivými genotypmi v rámci skupín konvenčných a Smart hybridov. ($p < 0,05$; tab. I.). Vplyv ročníka na úrodu polarizačného cukru bol štatisticky nepreukazný ($p > 0,05$), avšak pri ostatných sledovaných parametroch bol indikovaný signifikantný vplyv sledovaného faktora. Tieto výsledky potvrdzujú komplexnú interakciu genotypu a prostredia, ktorá je rozhodujúcim faktorom produkčného a technologického potenciálu v meniacich sa klimatických podmienkach.

Smart hybridy dosiahli v priemere o 0,85 t·ha^{-1}; rel. 7 % vyššie hodnoty úrody polarizačného cukru (12,64 t·ha^{-1}) v porovnaní s konvenčnými odrodami (11,79 t·ha^{-1}) (obr. 3.). Podobný trend bol konzistentne evidovaný aj pri jednotlivých genotypov. Medzi vysoko efektívne odrody patrili Smart Rossada KWS (13,17 t·ha^{-1}) a Smart Peppeta (13,09 t·ha^{-1}). Najnižšie hodnoty boli indikované pri dvoch konvenčných odrodách Sonic (10,84 t·ha^{-1}) a Pegasus (10,55 t·ha^{-1}). Analýza rozptylu potvrdila vysoko preukazný vplyv odrody a typu odrody ($p < 0,01$) na úrodu polarizačného cukru (tab. I.). Podobné trendy potvrdzujú aj výsledky zo Srbska, kde moderné hybridy vykazovali vysoký úrodový aj technologický potenciál (19).

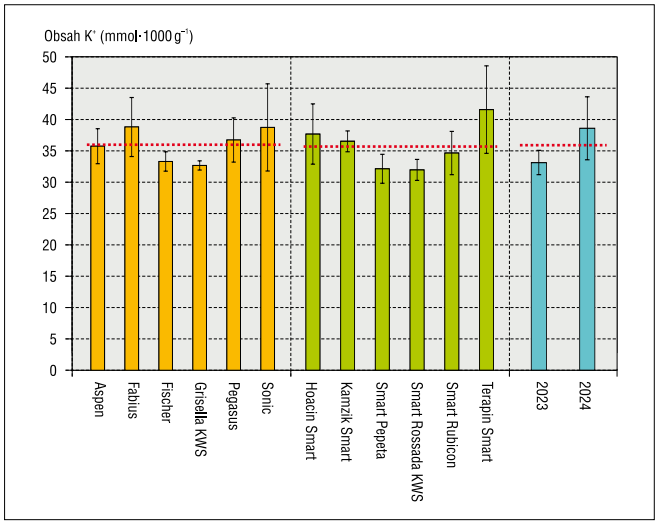
Naopak, environmentálne podmienky ročníka sa v úrode polarizačného cukru neprejavili ako štatisticky preukazný faktor ($p > 0,05$; tab I.). Hoci sa priebeh počasia medzi rokmi mierne líšil, rozdiely neboli natoľko výrazné, aby ovplyvnili konečnú produkciu sacharózy. Rok 2023 sa vyznačoval suchším jarným obdobím a nižšími zrážkami v marci a začiatkom leta, zatiaľ čo v roku 2024 bola distribúcia zrážok rovnomernejšia a zásoba pôdnej vlahy stabilnejšia (obr. 1.). Napriek zaznamenanej medziročnej variabilite sa jej efekt neukázal ako signifikantný vo vzťahu k celkovej produkcii, a hodnoty úrody polarizačného cukru zostali stabilné. (obr. 4.), čo naznačuje, že oba ročníky poskytli podmienky umožňujúce plné uplatnenie genetického potenciálu hodnotených genotypov. Tieto zistenia sú v súlade so štúdiou (20), ktorá poukazuje na vyššiu stabilitu úrodových parametrov v porovnaní s technologickou kvalitou pri miernej medziročnej variabilite poveternostných podmienok.

V cukrovarníckom procese je technologická kvalita repy značne determinovaná výťažnosťou sacharózy a efektívnosťou jej extrakcie. Kľúčovým ukazovateľom je výťažnosť bieleho cukru (rafinády), ktorá zohľadňuje vplyv všetkých melasotvorných látok na kryštalizáciu cukru (21, 22). Výsledky experimentu preukázali,

Obr. 5. Komparatívna analýza obsahu Na^+ konvenčných a Smart odrôd v porovnaní s priemerom jednotlivých typov odrôd, efekt ročníka na obsah Na^+



Obr. 6. Komparatívna analýza obsahu K^+ konvenčných a Smart odrôd v porovnaní s priemerom jednotlivých typov odrôd, efekt ročníka na obsah K^+



že Smart hybridy dosiahli priemernú výťažnosť 14,80 %, čo predstavuje o 0,9 %; rel.6,5 % lepší výsledok než konvenčné odrody (13,90 %) (obr. 4.). Najvyššie hodnoty výťažnosti rafinády boli zaznamenané pri Smart odrodách, najmä Hoacin Smart (16,43 %) a Kamzik Smart (15,43 %).

Významný rozdiel bol preukázaný aj medzi ročníkmi, pričom rok 2023 (16,20 %) dosahoval výrazne vyššiu výťažnosť rafinády než rok 2024 (12,50 %) (obr. 5.). Tento efekt ročníka bol štatisticky vysoko preukazný ($p < 0,000$) (tab. I.) a poukazuje na vysokú citlivosť technologických parametrov na priebeh podmienok počas vegetácie. Pokles výťažnosti rafinády v roku 2024 je možné vysvetliť zvýšenou koncentráciou melasotvorných látok, ktoré limitujú kryštalizáciu sacharózy a zvyšujú straty cukru v melase.

Z technologického hľadiska zohrával v hodnotenom súbore odrôd rozhodujúcu úlohu obsah sodíka, ktorý sa ukázal ako kľúčový iónový faktor ovplyvňujúci spracovateľskú kvalitu

Tab. II. Korelačná analýza vzťahov medzi obsahom iónov a technologickými ukazovateľmi repy cukrovej

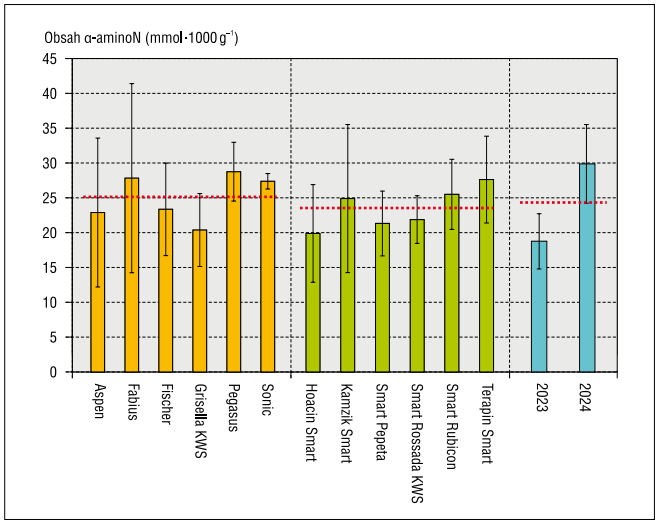
	K^+ (mmol·1000 g^{-1})	Na^+ (mmol·1000 g^{-1})	α-amino N (mmol·1000 g^{-1})	Polarizačný cukor (t·ha^{-1})	Výťažnost rafinády (%)
K^+ (mmol·1000 g^{-1})	1				
Na^+ (mmol·1000 g^{-1})	0,561	1			
α-aminoN (mmol·1000 g^{-1})	0,666	0,747	1		
Polarizačný cukor (t·ha^{-1})	−0,246	−0,433	−0,284	1	
Výťažnost rafinády (%)	−0,573	−0,946	−0,838	0,252	1

Sila korelácie na hladine významnosti < 0,05: slabá korelácia (–0,3 až +0,3); stredná korelácia (–0,5 až –0,3 alebo 0,3 až 0,5); silná korelácia (–0,9 až –0,5 alebo 0,5 až 0,9); veľmi silná korelácia (–1,0 až –0,9 alebo 0,9 až 1,0).

repy cukrovej. Analýza rozptylu preukázala štatisticky vysoko významný vplyv ročníka, genotypu aj typu odrody na jeho koncentráciu ($p < 0,01$; tab. I.). V roku 2024 bol indikovaný výrazný nárast obsahu Na^+ 26,06 mmol.1000 g-1 (+17,26 mmol·1000 g^{-1}; rel. 296,14 %) (obr. 5.). Tento nárast úzko koreluje so zhoršenou technologickou kvalitou v roku 2024, keďže sodík patrí medzi komponenty, ktoré znižujú čistotu difúznej šťavy, narúšajú kryštalizáciu sacharózy a zvyšujú straty cukru v melase (22, 23). Významná genotypová diferenciácia sa prejavila aj medzi skupinami odrôd (obr. 5.), pričom konvenčné genotypy dosiahli vyšší priemerný obsah Na^+ (21,0 mmol·1000 g^{-1}) než Smart hybridy (13,78 mmol·1000 g^{-1}), pričom vplyv typu odrody bol štatisticky preukazný ($p < 0,01$) (tab. I.). Vyššie hodnoty sodíka boli zaznamenané najmä pri konvenčných odrodách Sonic (28,26 mmol·1000 g^{-1}) a Pegasus (28,97 mmol.1000 g-1), zatiaľ čo Smart genotypy, predovšetkým Hoacin Smart (7,91 mmol·1000 g^{-1}) a Kamzik Smart (10,75 mmol·1000 g^{-1}), vykazovali výrazne nižšiu akumuláciu Na^+, čo je relevantné pre moderné šľachtiteľské stratégie zamerané na redukciu technologicky rizikových iónov (24, 25).

Pri draslíku bol indikovaný podobný trend, avšak s miernejším medziročným rozdielom. Priemerný obsah K^+ v roku 2024 vzrástol na 38,61 mmol·1000 g^{-1} (+5,44 mmol·1000 g^{-1}; rel. 16,40 %) (obr. 6.), pričom vplyv ročníka bol štatisticky vysoko významný ($p < 0,01$) (tab. I.). Zvýšená akumulácia K^+ súvisí predovšetkým s jeho fyziologickou funkciou hlavného osmoticky aktívneho prvku, pričom nárast jeho koncentrácie je typickou reakciou repy cukrovej na vodný stres a kolísanie pôdnej vlhkosti (26). Z technologického hľadiska však vyšší obsah draslíka zvyšuje viskozitu difúznej šťavy a znižuje jej čistotu, čo zvyšuje straty sacharózy (23). Efekt genotypu bol štatisticky preukazný ($p < 0,05$) (tab. I.), avšak rozdiely medzi typmi odrôd neboli významné, keďže Smart aj konvenčné genotypy dosahovali podobné priemerné hodnoty. Najnižší obsah draslíka v celom spektre odrôd (obr. 6.) bol zaznamenaný pri odrodách Smart Rossada KWS (31,94 mmol·1000 g^{-1}) a Peppeta Smart (32,13 mmol·1000 g^{-1}), čo prispieva k ich priaznivému technologickému profilu.

Obr. 7. Komparatívna analýza obsahu α-aminoN konvenčných a Smart odrôd v porovnaní s priemerom jednotlivých typov odrôd, efekt ročníka na obsah α-aminoN



Z pohľadu chemického zloženia koreňa sa ako mimoriadne citlivý ukazovateľ technologickej kvality prejavil α-aminodusík. Jeho obsah vzrástol z 18,75 mmol·1000 g^{-1} v roku 2023 na 29,86 mmol·1000 g^{-1} v roku 2024 (obr. 7.), čo predstavuje nárast o 11,11 mmol·1000 g^{-1}; rel. 67,0 %, pričom vplyv ročníka aj genotypu bol štatisticky vysoko významný ($p < 0,01$) (tab. I.). Zo všetkých melasotvorných látok má α-aminoN najvýraznejší negatívny dopad na extrahovateľnosť sacharózy, pretože vstupuje do Maillardových reakcií, tvorí melanoidíny a významne znižuje čistotu difúznej šťavy (27, 28). Genotypová variabilita bola výrazná, keď najvyššie koncentrácie α-aminoN dosahovali konvenčné odrody, najmä Fabius a Pegasus, zatiaľ čo Smart hybridy, predovšetkým Hoacin Smart a Peppeta Smart, vykazovali stabilne nižšie hodnoty (obr. 7.). Tento trend sa potvrdil aj na úrovni skupín odrôd, kde konvenčné genotypy dosiahli priemer 25,09 mmol·1000 g^{-1}, zatiaľ čo Smart hybridy dosiahli priemer 23,52 mmol·1000 g^{-1}.

Nižšia koncentrácia Na^+, K^+ a α-aminoN predstavuje hlavný faktor, ktorý prispel k vyššiemu technologickému potenciálu Smart odrôd v hodnotenom súbore. Korelačná analýza ďalej potvrdila významný technologický dopad melasotvorných prvkov. Medzi Na^+ a výťažnosťou rafinády sa preukázal veľmi silný negatívny korelačný vzťah ($r = –0,946$), ktorý poukazuje na to, že sodík predstavuje najvýraznejší limitujúci faktor extrakcie sacharózy. Vysoká negatívna korelácia bola zaznamenaná aj medzi α-aminoN a výťažnosťou rafinády ($r = –0,838$), čo potvrdzuje popísaný mechanizmus (22). Pozitívny korelačný vzťah medzi Na^+ a K^+ ($r = 0,672$) naznačuje spoločnú reguláciu pod stresom, typickú pre iontovú a osmotickú rovnováhu rastlín v období sucha alebo teplotnej záťaže.

Záver

V podmienkach narastajúcej klimatickej variability, ktorá prináša častejšie obdobia sucha, vysokých teplôt a nerovnomernej distribúcie zrážok, sa udržanie vysokej úrody aj technologickej kvality repy cukrovej stáva významnou výzvou pre pestovateľov. Výsledky dvojročného pokusu (2023 – 2024) ukázali, že úroda polarizačného cukru bola relatívne stabilná a determinovaná najmä genetickým potenciálom odrôd, zatiaľ čo kvalitatívne parametre (výťažnosť rafinády, obsah Na^+, K^+ a α-aminoN) boli výrazne modulované poveternostnými podmienkami v priebehu vegetácie, pričom v roku 2024 bolo indikované výrazné zhoršenie kvality.

Moderné Smart hybridy sa v takomto prostredí preukázali ako výrazne výhodnejšie – dosiahli priemerný nárast úrody polarizačného cukru o 7 % a výťažnosti bieleho cukru o 6,5 % oproti konvenčným odrodám. Kľúčovým faktorom ich úspechu bola nižšia akumulácia melasotvorných látok, najmä sodíka a α-aminodusíka, čo zvyšuje efektivitu spracovania a znižuje straty cukru v melase.

Z hodnotených genotypov sa ako najperspektívnejšie javia Kamzik Smart, Peppeta Smart a Hoacin Smart. Tieto hybridy dosiahli najlepšiu kombináciu vysokej a stabilnej úrody cukru s najpriaznivejším technologickým profilom, čím poskytujú najväčšiu istotu ekonomickej rentability pestovania aj v rokoch s výrazným abiotickým stresom. V súčasných klimatických podmienkach sú moderné odrody s vylepšenou kvalitou najefektívnejšou stratégiou, ako zmierniť dopady nepriaznivého počasia a zabezpečiť spoľahlivú produkciu kvalitnej suroviny pre cukrovarnícky priemysel.

Súhrn

Repa cukrová (*Beta vulgaris* L.) je považovaná za majoritnú poľnohospodársku plodinu mierneho pásma s širokou implementáciou v rôznych odvetviach priemyslu. Z hľadiska technologickej kvality je finálna produkcia modulovaná interakciou genetickej predispozície a agroekologických faktorov prostredia. Poľný polyfaktorový pokus bol realizovaný v rokoch 2023–2024, pričom bolo implementovaných 12 genotypov repy cukrovej (6 konvenčných odrôd a 6 „Smart" hybridov) na hlinitých hnedozemných pôdach Poľnohospodárskeho družstva DEVIO Nové Sady v suchej a teplej kukuričnо-repárskej výrobnej oblasti. Experiment bol usporiadaný metódou kolmo delených blokov s tromi opakovaniami. Výsledky experimentu deklarujú, že „Smart hybridy" dosiahli v priemere o 0,85 % (rel. 7,0 %) vyššiu úrodu polarizačného cukru a o 0,9 % (rel.6,5 %) vyššiu výťažnosť bieleho cukru v kontraste s „Konvenčnými odrodami repy. Najvyššiu úrodu polarizačného cukru dosiahli hybridy Smart Rossada KWS a Smart Peppeta, zatiaľ čo najvyššiu výťažnosť rafinády vykázali Hoacin Smart a Kamzík Smart. V rámci jednotlivých rokov nebol indikovaný štatisticky preukazný vplyv na úrodu polarizačného cukru (P>0,05), avšak technologická kvalita sa v roku 2024 výrazne zhoršila, najmä v vyššej koncentrácie melasotvorných látok. V roku 2024 bol indikovaný výrazný nárast obsahu Na^+ o 17,26 mmol.1000 g^{-1} (rel. 296,14 %) a priemerný obsah K+ vzrástol o 5,44 mmol.1000 g^{-1} (rel. 16,40 %). Obsah α-aminodusíka v roku 2024 vzrástol o 11,11 mmol.1000 g^{-1}. Korelačná matica manifestuje negatívny vplyv sodíka (r = –0,946) a α-aminodusík (r = –0,838) na výťažnosť rafinády. „Smart hybridy" vykazovali v priemere nižšiu akumuláciu Na^+ v porovnaní s „Konvenčnými odrodami" (–7,3 mmol.1000 g^{-1}) a taktiež bol indikovaný pokles obsahu α-aminoN (–1,57 mmol.1000 g^{-1}), čo sa prejavilo vyššou výťažnosťou a technologickou kvalitou cukru. Pozitívny profil technologických parametrov dosiahli odrody Kamzík Smart, Peppeta Smart a Hoacin Smart. Získané výsledky naznačujú, že moderné „Smart hybridy" predstavujú perspektívnu voľbu pre pestovateľské oblasti strednej Európy vystavené zvyšujúcej sa klimatickej variabilite, vďaka ich schopnosti udržať vyššiu kvalitu suroviny aj v rokoch s nepriaznivým priebehom počasia.

Kľúčové slová: repa cukrová, odrody, polarizačný cukor, výťažnosť bieleho cukru, sodík, draslík, α-aminodusík.

Literatúra

1. Singh, D. et al.: Assessment of coefficient of variation, correlations between yield and yield attributes in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Plant Archives*, 18 (Special Issue), s. 15–18.
2. Misra, V. et al.: *Sugar Beet Cultivation, Management and Processing*. Springer, https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0.
3. Hoffmann, C. H. M. et al.: Impact of different environments in Europe on yield and quality of sugar beet genotypes. *European Journal of Agronomy*, 2009, s. 17–26, doi/org/10.1016/j.eja.2008.06.004.
4. Bhadra, T.; Mahapatra, Ch. K.; Swapan Kumar, P.: Weed management in sugar beet: A review. *Fundamental and Applied Agriculture*, 2020, s. 147–156, doi/org/10.5455/faa.83758.
5. Lebedeva, M. G. et al.: Sugar beet harvests under modern climatic conditions in the Belgorod region (Russia). *Climate*, 8, 2020 (3), 46, doi.org/10.3390/cli8030046.
6. Lamichhane, J. R. et al.: Will climate change affect sugar beet establishment? *Field Crops Research*, 243, 107617, doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107617.
7. 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.
8. 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.
9. Odagiu, A. et al.: Innovative smart systems in sugar beet weed management and productivity improvement. *Journal of Agricultural Innovations*, 74, s. 587–595.
10. Abou-Elwafa, S. F. et al.: Genetic diversity of sugar beet under heat stress and deficit irrigation. *Agronomy Journal*, 112, 2020 (5), s. 3579–3590, doi.org/10.1002/agj2.20356.
11. Jursík, M. et al.: Sugar beet varieties tolerant to ALS-inhibiting herbicides: A novel tool in weed management. *Crop Protection*, 137, 2020, 105294, doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105294.



12. Balgheim, N.; Wegener, M.; Mumme, H.: CONVISO Smart – Erste Erfahrungen zum Einsatz. 28. In *Deutsche Arbeitsbesprechung uberFragen der Unkrautbiologie und -bekampfung*, 27. 2. – 1. 3. 2018 in Braunschweig, 2018, s. 509–514.
13. Oroian, C. et al.: AMMI analysis of genotype × environment interaction on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield and sugar content. *Agronomy*, 13, 2023 (10), 2549, doi.org/10.3390/agronomy13102549.
14. 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. 459–467, doi.org/10.24425/jppr.2023.146878
15. Oroian, C. et al.: Innovative solution destined to control sugar beet production, sugar production and sugar yiled. *Scientific Papers; Series A. Agronomy*, 67, 2024 (1), s. 587–593.

Černý I., Ravza I., Ernst D., Vician T., Zapletalová A., Rašovský M.: Influence of Agroclimatic Factors and Genetic Variability on Selected Indicators of Sugar Beet Quality

Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) is considered a major agricultural crop of the temperate zone with broad use across various industrial sectors. From the perspective of technological quality, the final yield is modulated by the interaction between genetic predisposition and agro-ecological environmental factors. A field polyfactorial experiment was conducted in 2023 – 2024, involving 12 sugar beet genotypes (6 conventional varieties and 6 "Smart" hybrids) cultivated on loamy Haplic Luvisol soils of the DEVIO Nové Sady Agricultural Cooperative, located in a dry and warm maize–sugar beet production region. The experiment was conducted using a split-block design with three replications. The experimental results indicate that "Smart hybrids" achieved, on average, a 0.85% (rel. 7.0%) higher yield of polarised sugar and a 0.9% (rel. 6.5%) higher white sugar yield compared with conventional sugar beet varieties. The highest polarised sugar yield was obtained by the Smart Rossada KWS and Smart Peppeta hybrids, while the highest refined sugar yield was recorded for Hoacin Smart and Kamzik Smart. Within individual years, no statistically significant effect on the polarised sugar yield was detected ($P > 0.05$); however, technological quality deteriorated significantly in 2024, particularly due to a higher concentration of molasses-forming substances. In 2024, a pronounced increase in Na^+ content of 17.26 mmol·1000 g^{-1} (rel. 296.14%) was observed, and the average K^+ content increased by 5.44 mmol·1000 g^{-1} (rel. 16.40%). The content of α-amino nitrogen increased by 11.11 mmol·1000 g^{-1} in 2024. The correlation matrix demonstrated a negative effect of sodium ($r = –0.946$) and α-amino nitrogen ($r = –0.838$) on refined sugar yield. "Smart hybrids" showed, on average, lower Na^+ accumulation compared with conventional varieties (–7.3 mmol·1000 g^{-1}), and a decrease in α-amino nitrogen content (–1.57 mmol·1000 g^{-1}) was also recorded, which resulted in higher sugar yield and improved technological quality. The Kamzik Smart, Peppeta Smart, and Hoacin Smart varieties achieved a favourable technological parameter profile. The obtained results suggest that modern "Smart hybrids" represent a promising option for cultivation areas in Central Europe exposed to increasing climatic variability, due to their ability to maintain higher raw material quality even in years with unfavourable weather conditions.

Key words: sugar beet, varieties, polarised sugar, white sugar yield, sodium, potassium, α-amino nitrogen.

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