

Stýkání a potýkání cukru a škrobu

Referát přednesený na Cukrovarnicko-lichovarnické konferenci 2019 v Harrachově

SUGAR AND STARCH – KEEPING IN TOUCH AND STRUGGLING

Evžen Šárka – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

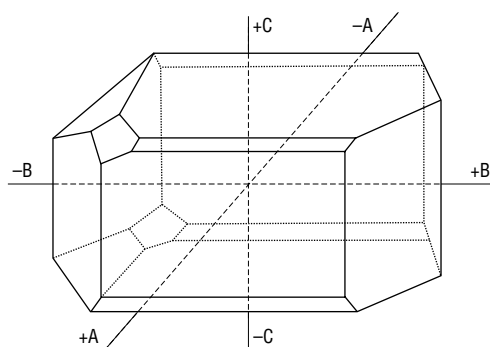
Kombinace slov „stýkání a potýkání“ pochází od Františka Palackého, který tak charakterizoval v historickém kontextu vzájemné postoje českého a německého živlu v českých zemích (1). Jako příklad těchto vztahů lze uvést situaci Karlovy univerzity: existovala etapa s jednou společnou Karlo-Ferdinandovou univerzitou (po roce 1620), po roce 1770 vyučující pouze jazykem německým, v roce 1882 došlo k rozdělení na dvě univerzity – českou a německou – vzájemně příliš nespolutracující, tento stav přetrvával i přes první republiku. V roce 1939 byla česká Karlova univerzita uzavřena a po 2. světové válce znovu obnovena, když byla naopak zrušena presidentským dekretem univerzita německá.

Chemické složení cukru a škrobu

Že jsou si sacharosa a škrob chemicky podobné, se předpokládalo již v 18. století. Údajně francouzský fyzik Laplace řekl Napoleonovi: „Jsou tři látky o téměř základním principu: arabská guma, škrob a cukr; rozeznávají se od sebe jen jistými náležitostmi, které jsou nám dosud neznámý“ (2).

Sacharosa se řadí mezi významné oligosacharidy, po chemické stránce jde o α -D-glukopyranosyl- β -D-fruktofranosid. Škrob je rostlinný vysokomolekulární polymer, v němž jsou jednotky anhydro-D-glukosy spojeny glykosidovými vazbami. Skládá se z téměř nevětvené amylosy s vazbami α -D-(1 \rightarrow 4) a rozvětveného amylopektinu, který kromě vazeb α -D-(1 \rightarrow 4) obsahuje i vazby α -D-(1 \rightarrow 6). Škrob se v nativním stavu vyskytuje v podobě škrobových zrn, ve kterých jsou molekuly amylosy a amylopektinu propojeny vodíkovými vazbami. Poměr amylosy a amylopektinu závisí na řadě faktorů, lze jej ovlivnit šlechtěním či genovou manipulací; tento poměr významně ovlivňuje funkční vlastnosti škrobu, a tím i jeho použití (3, 4).

Obr. 1. Krystal cukru, podle (6)



Krystalinita cukru a škrobu

Sacharosa vytváří bezbarvé, lesklé a málo symetrické krystaly v jednodílné soustavě s jedinou osou symetrie. Správně vyvinutý krystal má 12 ploch (obr. 1.). Detailní údaje lze nalézt např. v publikacích (5, 6, 7).

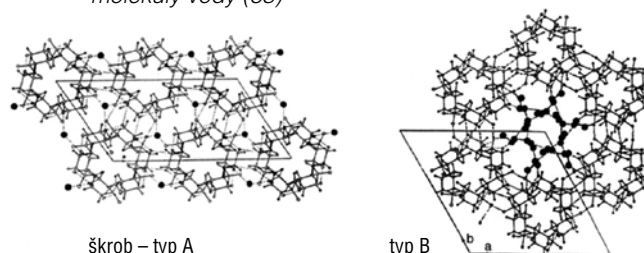
Oproti tomu nativní škrob je semikrystalický, obsahuje amorfní a krystalické vrstvy. Uspořádání krystalových vrstev odpovídá více organizované části amylopektinu, tedy téměř částem, kde jednotlivé řetězce vytvářejí díky vodíkovým vazbám paralelní dvojšroubovice. Krystalová mřížka se liší pro cereální a hlízové škroby (obr. 2.). Typ A (cereální škroby) se řadí podobně jako sacharosa do jednodílné soustavy (jednotková buňka krystalu má podobný poměr kratších os jako u sacharosy, ale protáhlejší delší osu), naproti tomu typ B (hlízové škroby) patří do šesterečné soustavy, je „vzdušnější“ s vyšším množstvím inkorporované vody (8).

Biosyntéza cukru a škrobu

Sacharosa i škrob se ukládají v zásobních částech rostlin, ve kterých existují jako potenciální zdroj energie. Během světelné fáze fotosyntézy se škrob složitým enzymovým postupem ukládá v chloroplastech v podobě tzv. tranzitního škrobu (obr. 3.). Důvodem je zamezení vzniku nadměrného osmotického tlaku, který by tvorbou monosacharidů a disacharidů při fotosyntéze mohl nastat, s důsledkem potrhání tkáně buněk.

V noci (temná fáze) je tento tranzitní škrob hydrolyzován a transportován do zásobních částí rostliny, kde se ukládá opět jako škrob do tzv. amyloplastů, nebo se jako sacharosa ukládá ve vakuolách zásobních buněk. Sacharosa při tomto přesunu slouží jako transportní rozpustný sacharid. Celý systém je rovněž poměrně složitý, řízený celou řadou enzymů, navíc je u různých rostlin individuální (na obr. 4 zakreslen pro dvouděložné rostliny) (9, 10).

Obr. 2. Schematické uspořádání dvou typů škrobů, šestiúhelníky znázorňují anhydroglukosové jednotky, černé tečky jsou molekuly vody (53)



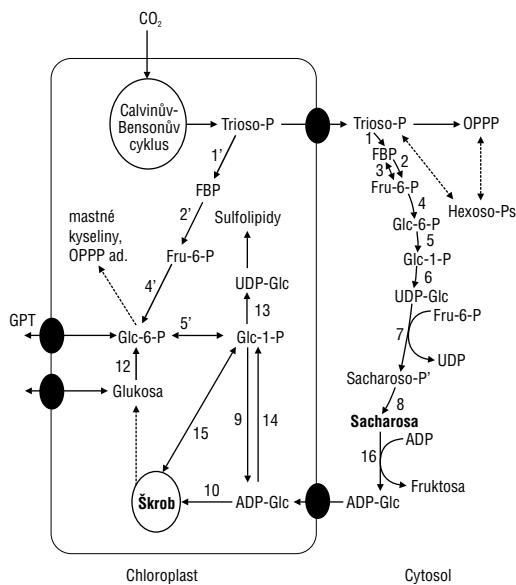
Hydrolyza tranzitního škrobu může být narušena některými chorobami. U cukrové třtiny jde o tzv. syndrom žlutého baldachýnu (Yellow canopy syndrome, YCS) – současný problém, který působí na australské cukrovárnictví. Byl zaznamenán v roce 2012, první zprávy pochází ze Severního Queenslandu a jeho výskyt se rozšířil jižně od Mackay. Příčina je dosud neznámá, snad jde o působení viru, byly již provedeny různé fyziologické studie zaměřené na akumulaci škrobu v listech cukrové třtiny (11, 12).

Obrácený proces temné fáze můžeme sledovat při zmrznutí brambor, přesněji při uskladnění za nízké teploty. Vzniká nepříjemná sladká chuť, na níž mají hlavní podíl sacharosa, maltosa a nízkomolekulární dextriny (obr. 5.) (13). V tomto biochemickém procesu kromě částečně obráceného procesu oproti biosyntéze škrobu působí ještě i další enzymy.

Genetické modifikace cukernatých a škrobnatých plodin k výrobě fruktanů

Genetickou modifikací lze ovlivnit jednotlivé biochemické cesty biosyntézy sacharosy a škrobu, výsledným produktem pak není sacharosa nebo škrob, ale fruktany. Rostlinné fruktany jsou využívány pro řadu potravinářských i nepotravinářských aplikací v závislosti na stupni polymerace. Inulin s krátkými řetězci může být využit k výrobě fruktosových sirupů. Inulin s dlouhými řetězci (DP ≥ 25) se využívá jako náhražka tuku, prebiotikum a stabilizátor pěny v potravinách. Tab. I. ukazuje, které základní suroviny byly k tomuto účelu zkoušeny (14).

Obr. 3. Schéma biosyntézy tranzitního škrobu v listech podle BAHAJI ET AL. (10)



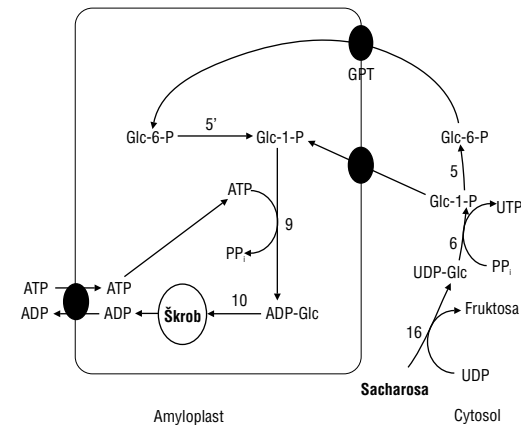
ADP-Glc – adenosin difosfoglukosa; ATP – adenosin trifosfát; Fru-6-P – fruktoso-6-fosfát; FBP – fruktoso- bifosfát; Glc-1-P – glukoso-1-fosfát; Glc-6-P – glukoso-6-fosfát; GPT – Glc-6-P/Pi translokátor; OPPP – pentosofosfátový cyklus; Trioso-P – triosofosfát; UDP-Glc – uridin difosfoglukosa; enzymy: 1, 1' – fruktoso-1,6-bifosfát-aldolasa, 2, 2' – fruktoso-1,6-bisfosfataza, 3 – PPI: fruktoso-6-P 1-fosfotransferasa, 4, 4' – fosfoglukoso isomerasa, 5, 5' – fosfoglukomotasa, 6 – UDP-Glc pyrofosforylaza, 7 – sacharoso-fosfát-syntasa, 8 – sacharoso-fosfát-fosfatasa, 9 – adenosin difosfoglukoso pyrofosforylaza, 10 – škrobová syntasa, 12 – plastidová hexokinasa, 13 – plastidová UDP-Glc pyrofosforylaza, 14 – plastidová ADP-Glc pyrofosforylaza, 15 – plastidová škrobová fosforylaza, 16 – sacharosová syntasa

Počátek výroby cukru a škrobu v českých zemích

Pokud jde o cukr a škrob, v počáteční historii výroby velké potýkání nenacházíme. Jde o dvě oddělené komodity, z nichž ta první sloužila především k ochucení nápojů a pokrmů. Nejprve byl dovážen cukr vyrobený z cukrové třtiny, v Čechách vznikla první rafinerie třtinového cukru na Zbraslavi v roce 1787 a první řepný cukrovar v Kostelním Vydří u Dačic v roce 1829 (7). Vládní časopis Wiener Zeitung uvádí již v roce 1830 cukrovar v Dačicích jako cukrovárnickou školu nebo jako pokusnou stanici. Další cukrovary byly založeny v tomtéž roce v Chudeňicích, Bezděkově a Pradle, v roce 1831 v Dobrovici a v Chuchli u Prahy (2).

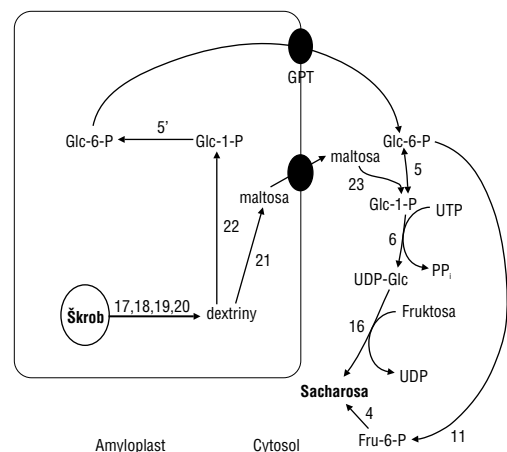
Škrobárenství bylo původně výrobou „domácí“ – vznikaly malé zemědělské škrobárny, které produkovaly vlhký škrob. Na Moravě se již v 18. století vyráběl pšeničný škrob, ze kterého se od roku 1751 platila zvláštní daň. Rolník si jej mohl připravit jen pro vlastní potřebu, jinak to bylo zakázáno (15). Větší

Obr. 4. Proces syntézy škrobu v heterotrofních orgánech dvou-děložných rostlin (např. brambor) podle BAHAJI ET AL. (10)



Význam symbolů je stejný jako v obr. 3.

Obr. 5. Hydrolyza škrobu v bramborech podléhajících chladu podle ŽHANGA ET AL. (13)



Význam symbolů je jako v obr. 3., mimo to: 11 – glukoso-6-fosfát-isomerasa, 17 – glukán-H₂O-dikinasa, 18 – α-amylasa, 19 – odvětvující enzym, 20 – iso-amylasa, 21 – β-amylasa, 22 – α-glukán-fosforylaza, 23 – α-glukán-transferasa

Tab. 1. Produkce fruktanů v geneticky modifikovaných plodinách, které původně netvoří fruktany (14)

Modifikovaná plodina	Zavedený gen	Původ genu	Cíl enzymu	Analyzovaná tkáň
Kukuřice	<i>sacB</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	vakuola	semena
Kukuřice	<i>sacB</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	cytoplasma	semena
Brambor	<i>sacB</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	vakuola	listy
Brambor	<i>sacB</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	vakuola	mikrohlízy
Brambor (nedostatečně škrobnatý)	<i>lsc</i>	<i>Erwinta amylovora</i>	vakuola	hlízy
Brambor (nedostatečně škrobnatý)	<i>lsc</i>	<i>Erwinta amylovora</i>	apoplasma	hlízy
Rýže	<i>1-sst</i>	<i>Tricum spp.</i>	vakuola	listy
Cukrovka	<i>1-sst</i>	<i>Allium cepa</i>	vakuola	kořeny
Cukrová třtina	<i>lscA</i>	<i>Acetobacter diazotrophicus</i>	vakuola	není uvedeno
Cukrová třtina	<i>1-sst</i>	<i>Cynara scolymus</i>	vakuola	vnitřní kolínka

závod na bramborový škrob byl vystaven v roce 1813 v Českém Rudolci (2). Prof. ZELENKA ET AL. (16) uvádí, že v Čechách byla založena první bramborová škrobárna Bedřichem Krupičkou již v roce 1810, místo ale neudává. V roce 1829 bylo na Moravě a ve Slezsku již 39 větších výrobců škrobu. Škrob od počátku průmyslové výroby nacházel využití nejen v potravinářství, ale i v textilním průmyslu.

Významnější konkurence cukru a škrobu nastala až po zavedení výroby glukoso-fruktosových sirupů (viz dále).

Cukrovarnická a škrobárenská technologie

Sacharosa ani škrob se nevyrábějí, jak již bylo uvedeno, vznikají v rostlinách, ze kterých jsou průmyslově izolovány. Technologické postupy jsou odlišné, v případě izolace sacharosy zvýšená teplota nad 70–75 °C umožní transport cukru z buněk

Obr. 6. Aparáty, které se využívají jak v cukrovarnické, tak i ve škrobárenské technologii

CUKR	ŠKROB
lapače kamene (Sokolov), lapače org. balastu	lapače kamene (Sokolov), lapače org. balastu
filtry (kalosy)	filtry (rotační)
hydrocyklony (MZ-proces)	hydrocyklony (rafinace)
sušárny (bubnové, fluidní)	sušárny (pneumatické)
kontinuální síťové odstředivky (B- a C-cukrovina)	kontinuální síťové odstředivky (vypírače škrobu, rafinační)
dekantační odstředivky*	dekantační odstředivky
třasadla	žejbra

* Dekantační odstředivky sice nenašly dosud v cukrovarnictví příliš velké uplatnění, ale dlouhodobě se uvažuje o jejich využití pro oddělení předčerňovací sraženiny (54, 55), byly plnoprovozně odzkoušeny v loňské kampani v Moldávii firmou Südzucker (56).

řepných bulev do roztoku. Následuje epurace a odpaření přebytečné vody, rafinace cukru spočívá v jeho opakované krystalizaci za varu při sníženém tlaku nad cukrovinou; konečnými produkty jsou bílý cukr a melasa.

U škrobu z brambor je nutné buněčné stěny v hlízách rozbít mechanicky, nesmí být překročena teplota kolem 60 °C, kdy škrob mazovává. U pšenice se v první fázi z moučného těsta odděluje lepek. Vzhledem k různému tvaru a velikosti škrobových zrn a při respektování charakteru základní suroviny existuje celá řada technologických postupů výroby. Pojem rafinace škrobu se chápe fyzikální oddělení škrobových zrn od dalšího balastního materiálu, především na základě rozdílné velikosti částic a různé hustoty, procesy probíhají za nízké teploty. Používají se např. hydrocyklony, dekantační a filtrační odstředivky, lavéry, žejbra ad. zařízení.

Celá řada inženýrských procesů a aparátů se objevuje jak v cukrovarnické, tak ve škrobárenské technologii (obr. 6.). Žejbra a třasadla pracují na bázi podobného výkyvného pohybu, rozdíl je v tom, že cukr se na třasadlech třídí jako suchý materiál, kdežto síta – žejbra rozdělují suspenze škrobových zrn různé velikosti. Technické názvy zařízení v obou technologiích se často liší: např. ve škrobárenské technologii dekantační označuje dekantační odstředivku, lavér nádrž na propírání škrobových částic od lehčích nečistot. Vzhledem k tomu, že výsledkem cukrovarnické i škrobárenské technologie je suchý produkt, závěrečnou technologickou operací je sušení, obvykle v proudě vzduchu.

Při rafinaci třtinového cukru hraje škrob negativní úlohu – ovlivňuje viskozitu a brzdí krystalizaci, proto je mu věnována velká pozornost (17). Negativní působení škrobu na kvalitu krystalického cukru může být navíc ovlivněno obsahem dextranu nebo způsobem krystalizace (odpařovací či chladicí) (18). Zvýšený obsah škrobu ve šťávách se řeší dávkováním amylas. EGGLESTON ET AL. (19) uvádějí, že při provozních zkouškách termostabilní amylasy v dávce 1 ppm hydrolyzovalo 15,8–55,5 % zmazovatelného škrobu a 31,6–67,2 % nerozpuštěného škrobu v čerňené šťávě (96 °C). Tyto amylasy však mohou způsobit neočekávaný přesun aktivity reziduální amylasy až do krystalového cukru, což způsobuje problémy např. při jejich použití v pudincích (20). Hledají se proto nové způsoby dávkování a jiné vhodnější amylasy.

Konkurence cukru a škrobových sirupů

S převedením škrobu do hydrolyzované podoby uspěl už Kirchoff v roce 1811 návrhem výroby glukosového sirupu chemickou cestou (16). Nevýhodou tohoto produktu je však to, že sladkost glukosy činí jen asi dvě třetiny sladkosti sacharosy (21) a po neutralizaci roztok obsahuje určitou koncentraci vznikající soli, která ovlivňuje negativně chuťový vjem.

K revolučnímu vývoji došlo zvláště po roce 1960. Byly vyvinuty enzymy, které umožňují provést hydrolýzu škrobu (pomocí termostabilní α -amylasy a glukosidasy) na glukosu, a tu následně částečně isomerizovat na fruktosu. Vzniklý produkt označovaný jako isoglukosa či glukoso-fruktosový sirup, označovaný též jako HFC či HFCS, má sladkost prakticky stejnou jako sacharosa. Nárůst výroby škrobu v USA v souvislosti s výrobou hydrolyzovaných produktů zobrazuje obr. 3.

V Evropské unii resp. v Evropském společenství dlouho tomuto vývoji bránil systém kvótování. V současnosti brzdí další rozvoj výroby isoglukosy v Evropě nízká cena cukru a zprávy o negativních zdravotních účincích volné fruktosy (např. 22, 23). Stávající roční produkce sacharosy v EU (včetně Velké Británie) je asi 18,3 mil. t oproti isoglukose s 0,6 mil. t (24). Celosvětově se odhaduje produkce cukru asi 185 mil. t, u isoglukosy je to asi 17 mil. t (25), vzhledem k její vysoké produkci zvláště v USA je tedy poměr jejich produkce ve světě rozdílný.

Společné aplikace škrobu a sacharosy v potravinářství a domácí kuchyni

V suchém stavu se škrob přidává jako protihrudkující látka do moučkového cukru, v sypké podobě se společně dále potkávají v řadě instantních výrobků.

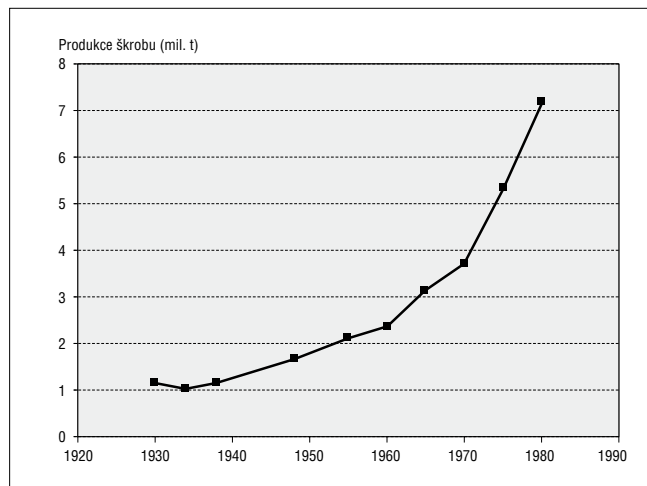
Běžně známou kombinací jsou také produkty označované jako sladké pečivo, připravované z pšeničné mouky, jejíž hlavní součástí je škrob. Cukr má význam pro dosažení sladké chuti a chuťové plnosti výrobků. Uplatňuje se ve fázi pečení, kde např. v případě sušenek karamelizuje, čímž příznivě ovlivňuje barvu a senzorické vlastnosti. Mezi trvanlivé pečivo patří také plněné oplatky, kde korpus obsahuje minimálně cukru, ten je naopak významnou součástí náplně. Podobně se setkávají cukr se škrobem také při výrobě dětských piškotů a pasiáns (26).

Mimo to existuje celá řada sladkých pokrmů z brambor nebo pšeničné či rýžové mouky, jako jsou např. škrubánky s mákem, rýžová kaše se skořicí či krupicová kaše. U moučnicků může (modifikovaný) škrob nahrazovat tuky (27) nebo vaječné bílky (28).

Také v některých nesladkých pokrmech se setkáváme s kombinací škrobu a cukru. Např. sushi se připravuje ze speciální sushi rýže, která je po uvaření zpracována se směsí octa, cukru a kuchyňské soli (29).

V řadě nečokoládových cukrovinek se používá kombinace cukru a škrobového sirupu – např. u lékořicových cukrovinek, karamel typu „toffee“ a kandytů (30). Konzistence ovocných želé obsahujících cukr je při mražení, pečení a skladování regulována přidávkou škrobu (31). Vysoká koncentrace cukru v gumovitých cukrovinkách může vést k významnému zpomalení uvolňování těkavých látek, tedy snižuje vůni výrobku (32). Další vliv sacharosy spočívá ve zvýšení pevnosti škrobového gelu (33). Přítomnost cukru navíc zpomaluje retrogradaci, tedy stárnutí gelu (34).

Obr. 7. Výroba kukuřičného škrobu v USA v letech 1930–1980 (57)



Další zajímavou skupinou potravinářských produktů jsou napufované cereální extrudáty, jejichž hlavními složkami jsou obvykle škrob a vláknina. Přídavek cukrů, zvláště sacharosy, významně ovlivňuje strukturu a texturu těchto produktů (35). KRAUS ET AL. (36) pracovali s vlhčenou směsí kukuřičného škrobu a cukru, kterou zpracovávali ve dvoušnekovém extrudátu; vyšší přídavek cukru vedl ke změkčení matrice, byl pozorován větší počet nukleačních míst – zvětšoval se počet bublin, ale počet pórů se zmenšoval, expanzní index (objem) extrudátů narůstal.

Při výrobě knäckebrotu extruzí se zpracovává pšeničná mouka, sušené mléko, kukuřičný škrob, cukr a voda (37).

Společné průmyslové aplikace

Mezi biodegradabilní plasty patří termoplastický škrob vyrobený pomocí vhodných plastifikátorů, např. KIM ET AL. (38) referují o pevnosti fólií na bázi kukuřičného škrobu obsahujícího glycerol a 2 % sacharosy.

SARAIVA ET AL. (39) testovali použití plastu na bázi bramborového škrobu, cukru, invertního cukru a dalších aditiv jako jedlé fólie pro italské sladké moučnický panettony. Výhodou bylo prodloužení trvanlivosti až na 40–48 dnů.

Klasickým krmivem pro přikrmování včel je koncentrovaný roztok cukru, který si chovatel připravuje čerstvý. V současnosti jsou k dispozici komerční přípravky, které lze přímo vložit do úlu, jde o tekutý invertní cukr nebo škrobové sirupy s přidáním fruktosou, která zabraňuje krystalizaci a zajišťuje delší trvanlivost (40).

Enkapsulace je metoda pro ochranu látek, které jsou nestabilní a náchylné k tepelnému poškození či k oxidaci. Např. KUANG ET AL. (41) testovali enkapsulaci luteinu pomocí směsi sacharosy a maltodextrinu (hydrolyzát škrobu).

Při kokrytalizaci se krystalická struktura sacharosy modifikuje z perfektních na nepravidelné aglomerované krystaly, čímž se získá porézní matrice, ve které může být začleněna druhá účinná látka. Vzhledem k aglomerované struktuře kokrytalizované výrobky nabízejí výhodné tabletovací charakteristiky, které lze využít v cukrovinkářském a farmaceutickém průmyslu. LOPEZ-CORDOBA ET AL. (42) se např. zabývali vývojem komprimovaných tablet na bázi kokrytalizace cukru společně s komplexem Zn-škrob a vodným extraktem z yerba maté.

Vybrané chemické modifikace

Průmyslové využití sacharosy jako unikátní chemikálie je v současné době vzdálené, zejména z ekonomických důvodů a proto, že zatím není po žádném produktu enormní poptávka (43).

Jako příklad syntéz uvádím acetát sacharosy a estery mastných kyselin. 6-O-acetát sacharosy se připravuje pomocí trimethylortoacetátu, N,N-dimethylformamidu a toluen-*p*-sulfonové kyseliny s následnou kyselou hydrolyzou (44). Jinou možností je přímá acetylace cukru sacharosy v zásaditém prostředí pyridinu při teplotě $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (45). Acetylace sacharosy je jednou z řady reakcí pro výrobu nízkenergetického sladidla Sucralose (46). Polyacetát sacharosy může být použit jako efektivní prostředek k bělení (47).

Estery mastných kyselin sacharosy mají emulgační vlastnost nebo jde o povrchově aktivní látky či inhibitory krystalizace (47). Procter & Gamble vyvinul polyestery mastných kyselin (Olestra), sloužící jako nízkenergetický tuk – není štěpena lipasami (49).

Chemická modifikace škrobů je velmi rozšířená metoda, která umožňuje měnit funkční vlastnosti škrobu a škrobových disperzí. Již v 19. století se objevují první práce týkající se chemických modifikací škrobů – šlo např. o oxidaci (Liebig, 1829) nebo zesílení (Claasen, 1898) (16).

V průmyslové výrobě škrobů mají největší význam acetáty a fosfáty škrobu. Acetáty škrobu s nízkým stupněm substituce (DS) vznikají reakcí s acetanhydridem v alkalickém prostředí nebo reakcí s vinylacetátem. Cílem použití acetylovaného škrobu (E 1420) je zvýšit disperzní stabilitu roztoků v oblasti nízkých teplot (např. zahušňovač pro mrazená jídla), dále se používá při výrobě grilovaných kuřat, uzených mas a masných specialit. Průmyslové užití je v oblasti výroby lepidel či jako papírenského pojiva (26). Při výrobě biodegradabilních plastů se používá derivát s vysokým stupněm substituce zajišťující hydrofobní chování polymeru.

Navázání středně dlouhých (C_6-C_{12}) a velmi dlouhých řetězců ($C_{13}-C_{21}$) mastných kyselin způsobí lepší zpracovatelnost a mechanické vlastnosti biodegradabilních polymerů na bázi termoplastického škrobu. Prodlužování řetězců polymerního škrobu však může mít za důsledek omezený výtěžek (nízký stupeň substituce) vzhledem ke sterickému bránění a nežádoucím vedlejším reakcím. OJOGBO ET AL. (50) k přípravě esteru kyseliny laurové využili metodu WINKLERA ET AL. (51). Škrobový prášek byl nejprve ponořen do pyridinu. Reakce s laurylchloridem byla prováděna 1 h při $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, po ochlazení byl vzniklý produkt srážen ethanolem a čištěn opakovaným rozpouštěním a srážením horkým chloroformem, tetrahydrofuranem, ethanolem a acetonem. Polymer škrob – mastná kyselina může být využit pro různé průmyslové a pokročilé materiály bez použití dalších plastifikátorů nebo modifikátorů.

Kromě esterů mastných kyselin mají významnou roli také komplexy škrob – mastná kyselina, kde mastná kyselina inkorporuje do šroubovice amylosy. Tyto komplexy mají význam jako tzv. rezistentní škrob, tedy škrob odolávající trávení v našem zažívacím traktu, což má příznivé zdravotní účinky (52).

Konkurence škrobu a cukru v chemických technologiích a biotechnologiích

Obě látky mohou sloužit jako surovina pro různé fermentační a chemické výroby, např. pro výrobu sorbitolu, kyselin askorbové, citronové, mléčné a polymléčné (biodegradabilní plasty), kyselina glukonové, 5-hydroxymethylfurfuralu ad. (26).

Pro výrobu etanolu slouží některé vedlejší produkty jako je melasa, černý sirob, pšeničný B-škrob ad.

Souhrn

Tranzitní škrob a sacharosa jsou důležité sacharidické meziproducty složité biosyntézy zásobního škrobu a cukru. Tato syntéza může mít různé poruchy nebo může být geneticky upravená. Existuje onemocnění cukrové třtiny, které hromadí tranzitní škrob v listech na úkor sacharosy. Testuje se produkce GMO na bázi základních cukrovarnických a škrobářenských surovin s cílem ovlivnit tuto biosyntézu k produkci fruktanů.

Další část článku se stručně zabývá technologiemi obou sacharidů. Zahájení výroby cukru a škrobu v českých zemích se datuje do první čtvrtiny 19. století. Tyto technologie zahrnují různě uspořádané potravinářské procesy. Vyšší koncentrace škrobu ve štávkách komplikuje výrobu cukru ze třtiny.

Glukoso-fruktosové sirupy (isoglukosa) jako enzymový produkt vyrobený ze škrobu jsou potenciálním konkurentem sacharosy. V současné době rozvoji výroby isoglukosy ze škrobu v EU brání především nízká cena cukru a spotřebitelské vnímání negativních dopadů fruktosy na zdraví.

Existuje celá řada potravin a pochutin, ve kterých se současně vyskytují škrob i cukr. Obě látky se společně používají také k produkci biodegradabilních plastů či k enkapsulaci citlivých látek. Chemické deriváty jsou častěji vyráběny u škrobu, ty jsou běžně využívány v potravinářském průmyslu. Sacharosa a glukosa mohou být konkurenty při výrobě čistých chemikálií.

Klíčová slova: biosyntéza, technologie, použití, modifikace.

Literatura

- KUTNAR, F.; MAREK, J.: *Přebledné dějiny českého a slovenského dějepisectví. Od počátku národní kultury až do sklonku třicátých let 20. století.* Praha: Nakladatelství Lidové noviny, 1997, 1087 s.
- VILIKOVSKÝ, V.: *Dějiny zemědělské průmyslu v Československu od nejstarších dob až do vypuknutí světové krize hospodářské.* Praha: Ministerstvo zemědělství republiky Československé, 1936, 948 s.
- ŠÁRKA, E.; DVOŘÁČEK, V.: Waxy starch as a perspective raw material (a review). *Food Hydrocoll.*, 69, 2017, s. 402–409.
- ŠÁRKA, E.; DVOŘÁČEK, V.: New processing and applications of waxy starch (a review). *J. Food Eng.*, 206, 2017, s. 77–87.
- BRETSCHNEIDER, R. ET AL.: *Cukrovarnické tabulky.* Praha: SNTL, 1975.
- BUBNIK, Z. ET AL.: *Úvod do cukrovarnické technologie.* Praha: VŠCHT Praha/VUC Praha, 2006.
- BRETSCHNEIDER, R.: *Technologie cukru (surovárna a rafinérie).* Praha: SNTL, 1980.
- HIZUKURI, S.: Starch: Analytical Aspects. In *Carbohydrates in Food* (FENNEMA, O. R. ET AL., ed.), New York: Marcel Dekker, 1996.
- ŠÁRKA, E.; DVOŘÁČEK, V.: Biosynthesis of waxy starch – a review. *Plant Soil Environ.*, 63, 2017, s. 335–341.
- BAHAJI, A. ET AL.: Starch biosynthesis, its regulation and biotechnological approaches to improve crop yields. *Biotech. Advances*, 2013, 20 s., [online] <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.06.006>.
- JOYCE, P. ET AL.: Starch accumulation in sugarcane in response to stress. *Int. Sugar J.*, 118, 2016, s. 852–857.
- Do I have Yellow Canopy Syndrome (YCS)?* [online] https://sugar-research.com.au/wp-content/uploads/2017/03/Do_I_have_YCS.pdf.
- ZHANG, H. ET AL.: The roles of starch metabolic pathways in the cold-induced sweetening process in potatoes. *Starch-Stärke*, 2017, 69, Article No. 1600194.
- VAN ARARKEL, J. ET AL.: Fructan Biosynthesis Regulation and the Production of Tailor-Made Fructan in Plants. In BENKEBLIA, N. (ed.): *Polysaccharides: Natural Fibers in Food and Nutrition.* Boca Raton: CRC Press, 2014.
- VILIKOVSKÝ, V.: *Zemědělská technologie – průmysl okopanin, obilovin a rostlin obchodně průmyslových. Výroba škrobu bramborového.* Praha: Ministerstvo zemědělství ČSR, 1947.
- ZELEŇKA, S. ET AL.: *Technologie krmiv u škrobu.* Praha: SNTL, 1983.

17. COLE, M. R. ET AL.: How the physical forms of starch affect filterability at a carbonatation refinery: Part II. Simulated carbonatation filtration. *Int. Sugar J.*, 118, 2016, s. 662–670.
18. MERHEB, G. A.: Combine effect of starch and dextran in sucrose crystallization. *Zuckerind. / Sugar Ind.*, 141, 2016, s. 697–704.
19. EGGLESTON, G. ET AL.: Problems, control, and opportunity of starch in the large scale processing of sugarcane and sweet sorghum. *Int. Sugar J.*, 119, 2017 (1425), s. 698–707.
20. ACTON, Q. A. (ed.): *Glycoside Hydrolases - Advances in Research and Application*. Atlanta: Scholarly Edition, 2013.
21. RYMON LIPINSKI, G.-W. VON; SCHWIECK, H.: *Handbuch Süßmittel. Eigenschaften und Anwendung*. Hamburg: Behr's, 1991, 527 s.
22. *Glukózo-fruktózový sirup a jeho vliv na zdraví – jak nám škodí?* Rehabilitace.info, [online] <https://www.rehabilitace.info/zdravotni/glukozo-fruktozovy-sirup-a-jeho-uviv-na-zdravi-jak-nam-skodi/>.
23. KAZDOVÁ, L. ET AL.: Fruktosa a metabolický syndrom – nové poznatky a otázky. *Symposium ATHEROSKLEROSA*, Praha, 2013.
24. *Sugar Market situation*. AGRI G 4, COMAGRI extraordinary meeting, Strasbourg, 11 November 2018, [online] <http://www.europarl.europa.eu/cmsdata/156662/Pt%208%20-%20Sugar.pdf>.
25. WHITE, J. S.: Sucrose, HFCS, and Fructose: History, Manufacture, Composition, Applications, and Production. In RIPPE, J. M. (ed.): *Fructose, High Fructose Corn Syrup, Sucrose and Health*. New York: Springer Science+Business Media, 2014.
26. KADLEC, P. ET AL.: *Technologie potravin. Přehled tradičních potravinářských výrobníků*. Ostrava: Key Publishing, 2012.
27. ŠÁRKA, E.; BUBNÍK, Z.: Using image analysis to identify acetylated distarch adipate in a mixture. *Starch-Stärke*, 61, 2009, s. 457–462.
28. GARCIA, V. ET AL.: Development and characterization of a new sweet egg-based dessert formulation. *Int. J. Gastr. Food Sci.*, 2, 2015, s. 72–82.
29. KULAWIK, P. ET AL.: Developing novel sushi products with meat from traditional Polish animal breeds. *Proc. 14th Int. Conf. on Polysaccharides-Glycoscience*, Praha: ČSCH, 2018.
30. ŠÁRKA, E. ET AL.: Extruzní proces v cereální a cukrovinkářské technologii. *Listy cukrov. řepář.*, 129, 2013 (11), s. 350–354.
31. PAJAK, P. ET AL.: Characteristics of sour cherries gels prepared with chemically modified waxy maize starches. In *Proc. 14th Int. Conf. on Polysaccharides-Glycoscience*, Praha: ČSCH, 2018.
32. ZHANG, Y.; BARRINGER, S.: Effect of hydrocolloids, sugar, and citric acid on strawberry volatiles in a gummy candy. *J. Food Process. Preserv.*, 42, 2018 (1), article No. e13327.
33. XING, Q. ET AL.: Comparative study on the physicochemical properties of pea, chickpea, and wheat starch gels in the presence of sweeteners. *Starch-Stärke*, 69, 2017 (9–10), Article No. 1600287.
34. WANG, L. ET AL.: Effect of disaccharides of different composition and linkage on corn and waxy corn starch retrogradation. *Food Hydrocoll.*, 61, 2016, s. 531–536.
35. ORTIZ, J. A. R. ET AL.: Effect of sugar and water contents on non expanded cassava flour extrudates. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 30, 2010, s. 205–212.
36. KRAUS S. ET AL.: Influence of sucrose content on expansion of extruded, starch-based pellets during microwave vacuum processing. *J. Food Process Eng.*, 37, 2014, s. 628–634.
37. FELLOWS, P. J.: *Food Processing Technology – Principles and Practice*. Boca Raton, Boston, New York, Washington, Cambridge: Woodhead Publishing – CRC Press, 2000.
38. KIM, J. K. ET AL.: Effect of gamma irradiation on the physicochemical properties of a starch-based film. *Food Hydrocoll.*, 22, 2008, s. 248–254.
39. SARAIVA, L. E. F. ET AL.: Development and application of edible film of active potato starch to extend mini panettone shelf life. *LWT-Food Sci. Technol.*, 73, 2016, s. 311–319.
40. KOZIANOWSKI, G.: 5-hydroxymethylfurfural in bee feed. *Sugar Ind. / Zuckerind.*, 141, 2016, s. 575–583.
41. KUANG, P. ET AL.: Physicochemical properties and storage stability of lutein microcapsules prepared with maltodextrins and sucrose by spray drying. *J. Food Sci.*, 80, 2015 (2), s. E359–E369.
42. LOPEZ-CORDOBA, A. ET AL.: Compressed tablets based on mineral-functionalized starch and co-crystallized sucrose with natural antioxidants. *J. Food Eng.*, 146, 2015, s. 234–242.
43. BUBNÍK, Z. ET AL.: Zaměření výzkumu pro využití sacharosu k nepotravinářským účelům v ČR. *Listy cukrov. řepář.*, 125, 2009 (1), s. 28–33.
44. SIMPSON, P. J.: *4,6-Ortboesters of sucrose and their use in the formation of sucrose-6-acetate*. UK Patent 2 195 632 A, 1987.
45. JAMES, C. E. ET AL.: Sucrose and its derivatives. In HERZ, W. ET AL. (ed.): *Fortschritte der Chemie organischer Naturstoffe*. Wien: Springer, 1986.
46. KHAN, R.: Sucrose: Its potential as a raw material for food ingredients and for chemicals. In MATHLOUTHI, M.; REISER P. (ed.): *Sucrose. Properties and Applications*. London, Galsgow, Weinheim: Blackie Academic & Professional, 1995.
47. MENTECH, J. ET AL.: Sucrose derivatives as bleaching boosters for the detergent industry. In DESCOTES, G. (ed.): *Carbohydrates as Organic Raw Materials II*. Weinheim, Germany: VCH, 1993.
48. PARKER, K. J. ET AL.: *Sucrose esters*. US Patent 3 996 206, 1976.
49. MATTSON, F. H.; VOLPENHEIM, R. A.: *Low calorie fat containing food compositions*. US Patent 3 600 186, 1968.
50. OJOGBO, E. ET AL.: Hydrophobic and melt processable starch-laurate esters: synthesis, structure-property correlations. *J. Polym. Sci. Part A-Polym. Chem.*, 56, 2018, s. 2611–2622.
51. WINKLER, H. ET AL.: Synthesis and properties of fatty acid starch esters. *Carbohydr. Polym.*, 98, 2013, s. 208–216.
52. LU, X. ET AL.: Structure of starch-fatty acid complexes produced via hydrothermal treatment. *Food Hydrocoll.*, 88, 2019, s. 58–67.
53. PÉREZ, S. ET AL.: Structural features of starch granules I. In BEMILLER, J.; WHISTLER, R. (ed.): *Starch: Chemistry and Technology*. New York et al.: Academic Press, 2009.
54. ČEPELÁK, J.: *Studie o epuraci*. Kand. diz. práce, Praha: VŠCHT, 1982.
55. SHOPF, M.; JÄCKEL, G.: *Verfahren zur Abtrennung von Koagulat aus extrakten pflanzlicher Produkte, insbesondere aus Vorkalkungstrübe*. DDR Patent 131180, 1977/1978.
56. RAD, M. A.: SZ/RT – Systém čištění cukerné šťávy. In *23. Cukrovarnicko-libovarská konference vHarrachově*, 2019.
57. FARRIS, P. L.: Economics and future of the starch industry. In WHISTLER, R. L. ET AL. (ed.): *Starch: Chemistry and technology*. Orlando, Florida: Academic Press, 1984.

Šárka E.: Sugar and Starch – Keeping in Touch and Struggling

Transit starch and sucrose are the most important saccharide intermediates of the complex biosynthesis of storage starch and sucrose. This synthesis can involve some defects or can be genetically modified. There is a disease of sugar cane by which the transit starch accumulates in the leaves at the expense of sugar. The production of fructans based on genetically modified raw materials normally used for sugar or starch production is tested.

The follow-up part of the paper is devoted to the technologies of both carbohydrates. Starch and sucrose production in the Czech lands started in the first quarter of the 19th century. These technologies involve differently organized food processes. As to the cane sugar production – higher concentration of starch complicates the technology. Glucose-fructose syrups (isoglucose) as a products made from starch by enzymes are a potential competitor of sucrose. The growth of the isoglucose production is nowadays impeded in the EU primarily by low sugar prices and by consumer perception of the negative effects of fructose on health.

There are many foods and snacks, in which sucrose and starch appears together. They are both also used for the production of biodegradable plastics or for the encapsulation of sensitive materials. Chemical derivatives are produced more often in starch and are commonly used in the food industry. Sucrose and glucose are competitors for the production of clean chemicals.

Key words: biosynthesis, technology, use, modification.

Kontaktní adresa – Contact address:

doc. Ing. Evžen Šárka, CSc., VŠCHT Praha, Ústav sacharidů a cereálií, Technická 5, 166 28 Praha 6, Česká republika, e-mail: evzen.sarka@vscht.cz