

NÁHRADNÍ SLADIDLA

JANA ČOPÍKOVÁ^a, JITKA MORAVCOVÁ^b,
ZDENĚK WIMMER^{b,c}, LUBOMÍR OPLETAL^d,
OLDŘICH LAPČÍK^b a PAVEL DRAŠAR^b

^a Ústav sacharidů a cereálií, ^b Ústav chemie přírodních látek, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6, ^c Ústav experimentální botaniky AV ČR, Izotopová laboratoř, Vídeňská 1083, 142 20 Praha 4, ^d Katedra farmaceutické botaniky a ekologie, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové, Univerzita Karlova v Praze, Heyrovského 1203, 500 05 Hradec Králové
pavel.drasar@vscht.cz

Došlo 7.8.13, přijato 1.10.13.

Klíčová slova: intenzivní sladidlo, potravní doplněk, bezpečnost potravin, toxikologie

Obsah

1. Úvod
2. Náhradní sladidla povolená v EU a ostatní
3. Cukr a zdraví
4. Nízkokalorická sladidla a zdraví
5. Závěr

1. Úvod

V naší sérii článků^{1–10} o přírodních látkách rozmanitých vlastností jsme se již několikrát zabývali látkami sladkými^{11–13}. Zajímali jsme se o ně víceméně z akademického hlediska, které dnes doplňujeme o obrázek náhradních sladidel z pohledu chemie potravinářské a bezpečnosti potravin tak, jak se sluší na naše mateřské pracoviště.

Potraviny a nápoje se sníženým obsahem cukru jsou celosvětově velmi populární a jejich konzumace je považována za důležitou v boji proti obezitě a cukrovce. Lidé si je také často vybírají, protože si chtějí užívat sladkou chuť, aniž by byli ohroženi tvorbou zubního kazu. Současně s tím ale vzrůstá zájem veřejnosti o jejich možné negativní vlivy na lidské zdraví, kde internet bohužel plní roli bohatého zdroje poplašných a falešných zpráv. K těmto zprávám někdy přispívají nechtěně i odborné články. Příkladem z poslední doby je kauza „kukuřičný sirup s vysokým obsahem fruktosy“ (HFSC)¹⁴. V roce 2004 byla publikována práce, ve které autoři uvádějí¹⁵, že může existovat časová závislost mezi spotřebou HFSC a epidemií obezity v USA v letech 1985 až 2000. I když sami definovali tuto

závislost jako časovou a nikoliv kauzální, tuto informaci okamžitě uchvátila média a internet, stala se předmětem debat laické veřejnosti a výrobci potravin dokonce přestali přidávat HFSC a vraceli se k sacharose s odůvodněním, že tak jsou jejich výrobky zdravější. Ačkoliv se vědci snažili usměrnit hysterii kolem HFSC logickými argumenty, že obezita roste i v zemích, kde se běžně HFSC nepoužívá, že obezita roste v USA, i když spotřeba HFSC klesla nebo že základními složkami HFSC je sacharosa a fruktosa v poměru zhruba 1:1, a tak je energetický obsah nižší než u samotné sacharosy, škoda už byla vykonána. Tento příklad ještě názorně ukazuje, že vědecké diskuse se neodehrávají ve vakuu, ale že mají velký potenciál mást a znepokojovat laickou veřejnost, čehož by si vědci měli být vědomi¹⁶.

Jednu skupinu náhradních sladidel tvoří sloučeniny velmi intenzivně sladké, jejichž malé množství nahradí velké množství cukru. Mezi odborníky se nazývají intenzivní nebo nízkokalorická sladidla a laická veřejnost je někdy označuje jako alternativní sladidla. Druhá skupina sladidel zahrnuje látky podobné sladivosti jako má sacharosa, proto se přidávají do potravin a nápojů prakticky v totožném množství; ty jsou označovány obvykle jako objemová sladidla. Tato skupina sladidel obvykle zvyšuje glykémii a zahrnuje spíše přírodní látky a jejich deriváty.

Při hodnocení nezávadnosti náhradních sladidel se často používá termín „přijatelná denní dávka“ (ADI, acceptable daily intake), která je definována jako odhadované množství vyjádřené v mg na kg hmotnosti, které lze bezpečně konzumovat každý den po celou dobu života. Tato hodnota představuje jednu setinu maximální dávky, která neměla žádné prokázané účinky při pokusech na zvířatech (NOAEL, non observable adverse effect level).

Cílem tohoto přehledu je podat současný pohled zejména na skupinu nízkokalorických náhradních sladidel.

2. Náhradní sladidla povolená v zemích EU a ostatní

Celosvětová spotřeba náhradních sladidel stoupá (tab. I). Evropská unie povoluje a reguluje obsah náhradních sladidel v potravinách; v současné době je mezi přídatnými látkami registrováno 16 náhradních sladidel (tab. II a III). Řada sladidel jinde běžně používaných doposud není pro evropské trhy povolená, což může být způsobeno silnou cukrovarnickou lobby, která by mohla blokovat uvedení sladidel na trh, může jít jen o liknavost úředního molocha, ale i o snahu výrobců současných sladidel chránit svoje obchodní zájmy. Tak zatím nenajdeme rebaudiosid A, tagatosu (Naturlose), trehalosu, alitam, brazzein, glycyrrhizin nebo mogrosidy (Luo Han Guo; Ne-

Tabulka I
Celosvětová spotřeba nízkokalorických sladidel¹⁷

Sladidlo	Spotřeba vyjádřená jako náhrada sacharosy [mil. t]		
	1985	1995	2005
Sacharin	5,3	8,1	11
Aspartam	1,2	2,2	4,1
Cyklamát	0,5	0,5	1,3
Ostatní	0,005	0,3	0,5

ctresse). Existují i sladidla, která mají místní historický význam, jako je med, javorový (javor cukrový – *Acer saccharum* a některé další druhy javorů), čirokový (amer.: sorghum; čirok cukrový – *Sorghum vulgare* var. *saccharatum*), palmový (arenga cukrodárná – *Arenga saccharifera*, lontar vějířový – *Borassus flabellifer*, palma olejná – *Elaeis guineensis*, nypa křovitá – *Nipa fruticans* a některé další), rýžový (rýže setá – *Oryza sativa*) a kokosový sirup (kokosovník ořechoplodý – *Cocos nucifera*), ztuhlá míza rostlin – mana (jasan manový – *Fraxinus ornus*), melasa a další, která se používají bez ohledu na názor úřední autority (tab. IV).

Pro zvědavé čtenáře je k dispozici řada užitečných zdrojů, z nichž poukážeme na recentní příručky^{18–23}.

Tabulka II
Nízkokalorická sladidla povolená v EU^{24,25}

Sladidlo	Obchodní název	Symbol E	Sladivost ve srovnání se sacharosou ^a	ADI ^b	Maximální dávka ^b
Acesulfam-K	Sunett, Sweet One	E950	200	9	250–2000
Aspartam	Nutrasweet, Equal	E951	180–200	40	25–6000
Cyklamát	Clio, Kandisin,	E952	30	7	250–2500
Sacharin	Dukaril, Spolarin, Sweet'n low, Sweet Twin	E954	300–500	5	80–3000
Sukralosa	Splenda	E955	600	15	50–3000
Thaumatococin	Talin	E957	2000–3000	nestanoveno	50–400
Neohesperidin dihydrochalcon	NHDC Neo-DHC	E959	1900	5	10–400
Steviol-glykosid		E960	200–300	4	
Neotam		E961	7000–13000	2	
Aspartam-acesulfam	Twinsweet	E962	350	9	25–2500

^a Relativní sladivost může být různá podle druhu nápoje nebo potraviny; ^b mg/den.kg tělesné hmotnosti

Tabulka III
Objemová sladidla povolená v EU

Sladidlo	Obchodní název	Symbol E	Sladivost ve srovnání se sacharosou ^a
Sorbitol a sorbitolový sirup	Glucitol, Dulcin	E420	0,5–1
Mannitol		E421	0,5–0,7
Isomalt	Palatinit	E953	0,5
Maltitol a maltitolový sirup		E965	0,9–1
Laktitol	Galaktosyl-glucitol	E966	0,5
Xylitol	Birch sugar	E967	1
Erythritol		E968	0,6–0,8
Kukuřičný sirup s vysokým obsahem fruktosy	HFSC	---	1

^a Relativní sladivost může být různá podle druhu nápoje nebo potraviny

Tabulka IV
Charakteristické hodnoty sladidel

Sladidlo	Sladivost ⁱ	Glykemický index	cal/lžička ^j	Sladidlo	Sladivost ⁱ	Glykemický index	cal/lžička ^j
Acesulfam-K	200	0	0	LuoHanGuo	300	0	0
Agavový sirup ^a	1,5	15	10	Maltitol	0,9	35	11
Aspartam	180	0	0	Maltosa	0,3	105	53
Brazzein	1	0	0	Mannitol	0,5	2	13
Cyklamát	40	0	0	Med	1,1	50	14
Čirokový sirup ^b	1	50	15	Monellin	1,5	0	0
Dextrosa	0,75	100	21	Neotam	8	0	0
Erythritol	0,65	1	1	Pentadin	500	0	0
Fruktosa	1,7	23	9	Sacharin	300	0	0
Galaktosa	0,3	23	53	Sacharosa	1	65	16
Glukosa	0,75	100	21	Sirup z hnědé rýže ^f	0,5	25	32
HFCS-42	1,1	68	14	Sirup z ječmenného sladu ^g	0,5	42	32
HFCS-55	1,2	58	13	Sorbitol	0,55	4	19
HFCS-90	1,6	31	10	Stevia	300	0	0
HSH ^c	0,4	36	30	Sukralosa	600	0	0
Isomalt	0,5	2	17	Tagatosa	0,92	0	7
Javorový sirup ^d	1	54	15	Thaumatococcus	2	0	0
Kokosový cukr ^e	1	35	15	Trehalosa	0,45	70	36
Laktitol	0,4	3	20	Xylitol	1	12	10
Laktosa	0,15	45	107	Zlatý sirup ^h	1,1	60	15

^a Agavový sirup po hydrolyze složitějších cukrů ve šťávě agave (*Agave tequilana*, *A. salmiana*, piña) obsahuje hlavně 56 až 92 % D-fruktosy a 8–20 % D-glukosy. ^b Čirokový sirup obvykle obsahuje kolem 46 % sacharosy, 16 % D-glukosy a 13 % D-fruktosy, ale i kolem 3 % tuků a 10 % proteinů a 2,5 % minerálů. ^c HSH je hydrogenovaný škrobový hydrolyzát (Hydrogenated Starch Hydrolyzate) s vysokým obsahem sorbitolu a maltitolu. ^d Javorový sirup z javorové mízy obsahuje převážně sacharosu. ^e Kokosový cukr z mízy kokosové palmy obsahuje převážně sacharosu s příměsí D-fruktosy a D-glukosy. ^f Sirup z hnědé rýže je fermentovaný a zahuštěný produkt z vařené rýže obsahující 45 % maltosy, 3 % D-glukosy a 52 % maltotriosy. ^g Sirup z ječmenného sladu se vyrábí z naklíčeného ječmene (sladu) a obsahuje 65 % maltosy, 30 % složitějších sacharidů a 3 % bílkovin. ^h Zlatý sirup je obchodní název pro zahuštěný produkt po hydrolyze sacharosy, tzv. umělý med. ⁱ U sirupů je sladivost přepočtena na sušinu. ^j Vztaženo na obsah zarovnané čajové lžičky (cca 4 g); jsou použity běžné potravinářské jednotky; přibližný převod na jednotky SI je 1 [cal/lžička] ~ 1 [J/g].

3. Cukr a zdraví

Cukr je složkou lidské potravy od nepaměti. Podezření, že právě cukr má negativní vliv na lidské zdraví, se po desetiletí stále vrací a v souvislosti s vysokým výskytem civilizačních chorob je právě teď zase na vzestupu. Objevují se názory odborníků, že vysoký příjem cukrů může být odpovědný za tak různé choroby, jako je zubní kaz, obezita a adiposita, kardiovaskulární onemocnění, diabetes, ztuhnutí jater, některé druhy nádorových onemocnění a hyperaktivita. Bohužel situaci nahrává i to, že epidemiologické a nepočtené klinické studie mají mnohdy ne-

správný design, liší se způsobem zjišťování denního příjmu a dokonce ani termín „cukr“ nemá jednotný význam. To vše vede k nekonzistentním výsledkům, které neumožňují nezpochybnitelné závěry. Přehledový článek z roku 2012 se snaží²⁶ vnést pořádek do toho, co se skrývá pod termínem cukr, a upozorňuje na další možné nedorozumění pramenící z pojmu „přidaný cukr“. Uvádí také obsahy cukrů v základních potravinách a nápojích a výživová doporučení různých zdravotnických organizací. Tak např. Světová zdravotnická organizace (WHO, World Health Organisation) doporučuje, že volné cukry (mono- a disacharidy v potravinách, ovocných džusech a v medu) by

měly poskytovat méně než 10 % z energetického příjmu, a pro Českou republiku platí doporučení konzumovat 1–3 čajové lžičky (<15 g) cukru denně.

Není proto divu, že se začaly objevovat tzv. meta-analýzy, které pomocí sofistikovaných statistických metod srovnávají výsledky jednotlivých studií publikovaných v odborné literatuře. První z nich zveřejněná²⁷ v roce 2011 analyzovala 3666 studií, z nichž pouhých 53 randomizovaných studií s 1126 účastníky splňovalo definované podmínky výstupů (kontrola hmotnosti, energetického příjmu, hladiny lipidů, glykosylovaného hemoglobinu, markerů insulinové rezistence a glykemické odezvy), věku účastníků nad 16 let a podávání alespoň dvou sladidel po dobu nejméně jednoho týdne. Zásadním nálezem bylo, že náhrada cukrů nízkokalorickými sladidly zejména v nápojích a moučnicích může signifikantně zlepšit zdraví. Dále doporučují snížit obsah cukrů ve sladkém pečivu a sušenkách na nejmenší možnou míru a konstatují, že v žádné studii nenalezli negativní účinek HFSC na hladinu cholesterolu.

Zřejmě i jako reakci na kauzu HFSC zahájila WHO v lednu 2009 i systematický výzkum literatury s cílem nalézt odpověď na otázku, jaký vliv má zvýšená či snížená konzumace volných cukrů u dospělých a dětí. Jedním z výsledků je rozsáhlá meta-analýza²⁸ z roku 2012, která podle nastavených kritérií vybrala 30 ze 7895 sledování dospělých, kde nebyla striktní kontrola konzumovaných potravin, a 38 z 9445 studií, kde byli účastníci rozděleni podle věku. Vyhodnocovanými parametry byl BMI (Body Mass Index), hmotnost, obsah tělního a podkožního tuku. Z nalezených závislostí je zajímavé, že ve shodě s předchozími přehledy^{29–32} zjistili, že vysoká konzumace fruktosy je spojena s přírůstkem hmotnosti díky vyššímu příjmu energie a ne s jakýmkoliv metabolickým účinkem tohoto sacharidu. Ve skupině osob s dietou bez omezení zjistili, že snížení příjmu volných cukrů způsobilo snížení hmotnosti v průměru o 0,8 kg za týden a naopak vyšší konzumace způsobila přírůstek hmotnosti 0,75 kg. Tento vliv nebyl ve skupině dětí významný. Konečně, isoenergetická náhrada sacharosy jiným cukrem byla bez vlivu na tělesnou hmotnost.

Podobné otázky si kladou autority i v USA a v roce 2010 byla poradní komisí pro výživová doporučení (DGAC, Dietary Guidelines Advisory Committee) aktualizována i doporučení pro konzumaci cukrů. Velice zajímavé a poučné je shrnutí zkušeností DGAC s tím, jak je riskantní vyhodnocovat vztah mezi expozicí a ovlivněním zdraví³³. Na příkladu slazených a ochucených nápojů jsou diskutovány otázky přidaného cukru, nekalorických sladidel, typu přijímané potravy (pevná-tekutá) *versus* změny hmotnosti či vyvolání pocitu nasycenosti. Asi nejčernější je komentář, jak některá dobře míněná doporučení ve skutečnosti zapůsobil opačně, neboť se projevily nezamýšlené důsledky. Jedním příkladem jsou snídaňové cereálie, kde výrobci svědomitě zareagovali na doporučení a částečně nahradili cukr upraveným škrobem. Ve skutečnosti ale energetická vydatnost zůstala stejná, a proto nebyl nalezen žádný pozitivní vliv na redukci hmotnosti³⁴. Jiným příkladem je chování škol, které přestaly pro děti objednávat

čokoládové mléko, aby nebyla zvýšena konzumace tuku; výsledkem bylo, že děti, než by pily neochucené mléko, přestaly ho ve škole pit vůbec³⁴.

4. Nízkokalorická sladidla a zdraví

Globální trh s nízkokalorickými sladidly představoval v roce 2010 finanční objem 1146 miliard US\$, přičemž 27,9 % zaujímal aspartam, 27,9 % sukralosa, 15,7 % cyklamat, 13,1 % sacharin, 8,7 % stevia-glykosidy, 5,2 % acesulfam K a 1,4 % neotam³⁵.

Aspartam

Aspartam (methyl ester L- α -aspartyl-L-fenylalaninu) objevený v roce 1965 je unikátní mezi ostatními intenzivními sladidly, protože je v těle metabolizován na dvě aminokyseliny, aspartát a fenylalanin, a methanol. Tyto metabolické produkty zpracovává tělo stejným způsobem, jako když jsou jejich zdrojem maso, mléko, zelenina a ovoce. Tak např. sklenice odtučněného mléka obsahuje 6krát více fenylalaninu a 13krát více aspartátu a sklenice rajčatového džusu 6krát více methanolu než stejný objem nápoje oslazeného aspartamem. Lidé trpící fenylketonurií, metabolickým onemocněním, které postihuje zhruba jednoho člověka z 15 000, nemohou toto sladidlo používat. Protože jsou u všech novorozenců v posledních 50 letech dělány testy na toto onemocnění, ani tady nehrozí žádné nebezpečí. Je přidáván do žvýkaček, limonád ale i jako balené nekalorické sladidlo „do kávy a čaje“. Roční produkce aspartamu na světě je kolem 30 tisíc tun. V závislosti na pH, zvýšenou teplotou a dlouhodobým skladováním cyklizuje na cykloaspartylfenylalanin diketopiperazin (DKP), který není sladký a z těla je vylučován. Běžným zdrojem DKP je kakao, sýr, proteinové hydrolyzáty nebo pražený slad (roasted malt). Aspartam se proto nehodí na slazení surovin pro potravinářskou výrobu, ani na výrobu produktů s prodlouženou trvanlivostí.

Velice obsažný a podrobný přehledový článek³⁶ shrnující výsledky studia bezpečnosti aspartamu byl publikován v roce 2002. V závěru autoři konstatují, že bezpečnost aspartamu za dobu 20 let jeho používání byla prokázána, nicméně že je stále potřeba se tímto tématem zabývat, aby se v co možná největší míře omezil vliv „zaručených zpráv“ na názor laické veřejnosti. Jedním z mnoha příkladů, jak jsou takové zprávy záměrně konstruovány, je text dostupný na URL³⁷, který uvádí, že „Při 40 °C se za pomoci trávicích enzymů v lidském těle methanol v aspartamu změnil ve formaldehyd a následně v kyselinu mravenčí, která způsobí metabolické překyselení. Formaldehyd je roztok, určený k balzamování mrtvých těl, jeho klasifikace je třídy A – karcinogen – život ohrožující neurotoxin. Kyselina mravenčí je jed, který se vyskytuje v kusadlech červených mravenců, kterým zabíjejí své oběti“. Výše citovaný článek³⁶ uvádí: „je třeba se dále zabývat aspekty bezpečnosti použití aspartamu, zejména jako důsledek teoretické toxicity jeho metabolitů – aminokyselin kyseliny

asparagové a fenylalaninu a methanolu – i když je jejich příjem v ostatní potravě (často) mnohem větší než ze samotného aspartamu“. Většinu poplašných zpráv je proto nutno považovat za „hoax“.

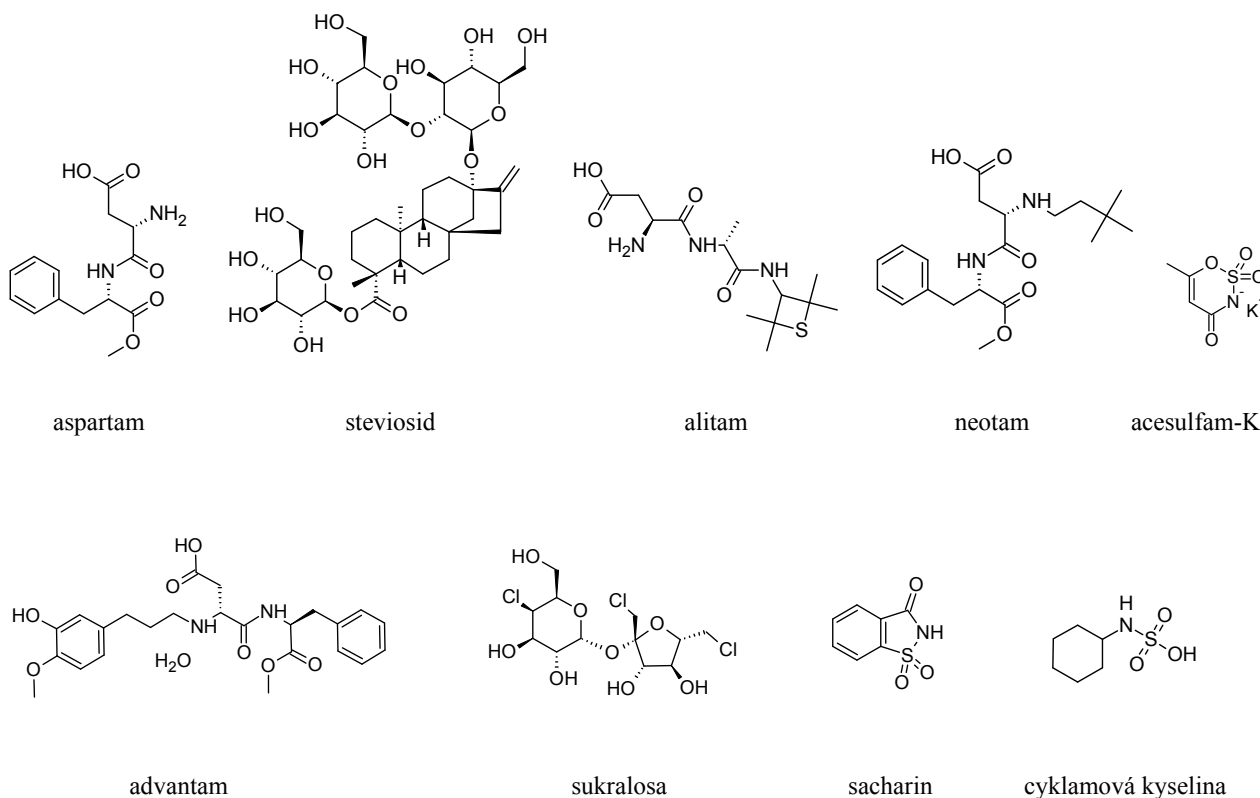
Sukralosa

Sukralosa (1,6-dichlor-1,6-dideoxy- β -D-fruktofuranosyl-4-chlor-4-deoxy- α -D-galakto-pyranosid) byla objevena náhodou v roce 1976 při hledání nových insekticidů. Vyrábí se přímou chlorací chráněné sacharosu a její chuť je přirozeně sladká, bez velkých příchutí a dochutí. Je stabilní i za vysokých teplot a nepodléhá ani kyselé ani enzymové hydrolyze. Vysoká stabilita předurčuje sukralosu jako vhodné sladidlo pro široké spektrum potravin a nápojů; přidává se i do některých léků. Sukralosa není karyogenní a lidské tělo ji nerozpoznává, proto ji nemetabolizuje a vylučuje ji močí v nezměněné podobě. Americký úřad pro potraviny a léčiva (USFDA, U.S. Food and Drug Administration) povolil sukralosu v roce 1998 a Evropská komise pro bezpečnost potravin³⁸ (EFSA, European Food Safety Authority) v roce 2000. Mezi objevením sladké chuti sukralosu a povolením používat ji jako sladidlo uplynulo více než 20 let a za tuto dobu bylo publikováno více než 100 odborných studií zabývajících se bezpečností tohoto sladidla a na jejich základě byla sukralosa označena jako bezpečná. Práce z nedávné doby dokumentují, že sukralosa není genotoxická³⁹ a že je inertním sladidlem z pohledu homeostáze glukosy a podněcování apetitu⁴⁰.

I poslední přehledový článek⁴¹ neuvádí žádné negativní nálezy o vlivu sukralosu na lidské zdraví kromě jedné práce, ve které autoři publikovali, že Splenda ovlivňovala střevní mikroflóru, zvyšovala obsah transportního P-glykoproteinu a cytochromu P450 u samců krys⁴². Všechny tyto účinky byly autory připsány právě sukralose. Tato publikace byla posouzena panelem expertů⁴³, kteří zpochybnili výsledky této studie zejména proto, že byl použit preparát Splenda obsahující 1 % sukralosu a 99 % maltodextrinu bez toho, že by byl současně kontrolní skupině podáván maltodextrin samotný. Poté následovala čilá korespondence na stránkách časopisu *Regulatory Toxicology and Pharmacology* ještě v roce 2012, kdy jak autoři, tak oponenti stáli na svých stanoviscích. Nicméně v poslední době se na internetu objevují poplašné zprávy, které dávají na stejnou úroveň sukralosu a chlorované pesticidy, což u nepoučeného konzumenta může vyvolat asociaci, že i sukralosa je zdraví nebezpečná. Na druhou stranu se lze setkat i s reklamními triky označujícími sukralosu jako derivát cukru, tedy vlastně přírodní látku. Ani tento přístup není správný.

Cyklamát

Cyklamát (sodná nebo vápenatá sůl kyseliny cyklamové) byl objeven v USA v roce 1937 při vývoji protihorečnatých látek. Má sladivost cca 30–50krát vyšší než sacharosa, proto se musí přidávat do potravin v relativně větším množství. Velmi často se používají ve směsi 10:1



se sacharinem, protože tato směs má lepší chuť než každá složka sama. V roce 1975 bylo publikováno, že cyklamát může způsobovat rakovinu močového měchýře krys⁴⁴ a americký úřad USFDA okamžitě zakázal jeho používání. Mnoho následujících studií na myších, krysách, psech a opicích tuto domněnku nepotvrdilo, nicméně cyklamát není v USA povolen doposud. Dokonce i studie trvající 24 let, kdy byly opicím od narození podávány dávky 100 a 500 mg cyklamátu 5krát týdně, nenalezla žádný vztah ke vzniku nádorového onemocnění⁴⁵. Ovšem diskuse kolem bezpečnosti cyklamátu nekončí, protože je bohužel metabolizován různě. Většina lidí vylučuje cyklamát nezměněný, ale někteří ho metabolizují až z 85 % na cyklohexylamin, který je toxičtější než cyklamát. V současné době je právě proto věnována pozornost hlavně osudu cyklamátu v lidském těle. Poslední studie dokládají, že ani u osob konvertujících cyklamát na cyklohexylamin⁴⁶ nebyla prokázána souvislost mezi dlouhodobou konzumací cyklamátu a neplodností mužů⁴⁷.

Neotam

Neotam je 30krát sladší derivát aspartamu (methyl ester *N*-(3,3-dimethyl)butyl-*L*- α -aspartyl-*L*-fenylalaninu), je stabilní i za vyšších teplot, proto se hodí na vaření i pečení. Poprvé byl připraven v roce 1991 ve Francii. Přibližně 20 až 30 % neotamu je absorbováno po požití z trávicího traktu. Jak absorbovaný, tak neabsorbovaný neotam je degradován deesterifikací na methanol a *N*-(3,3-dimethyl)butyl-*L*- α -aspartyl-*L*-fenylalanin a oba jsou rychle vylučovány močí a stolicí⁴⁸. Expozice methanolem z neotamu je toxikologicky nevýznamná v porovnání s dávkami přijímanými běžně v ovoci, zelenině a fermentovaných nápojích. Na rozdíl od aspartamu není metabolizován na derivát diketopiperazinu. Díky výsledkům desítek studií je neotam považován za bezpečné sladidlo pro všechny, dokonce i pro ty, kteří trpí fenylketonurií. Zatím se proti neotamu nezvedl odpor laické veřejnosti jako proti aspartamu pravděpodobně i díky tomu, že ještě není na trhu mnoho potravin a nápojů slazených tímto intenzivním sladidlem.

Alitam

Alitam (*L*- α -aspartyl-*N*-(2,2,4,4-tetramethyl-3-thietanyl)-*D*-alaninamid) je dipeptidové sladidlo druhé generace, je 10krát sladší než aspartam a nemá žádnou nepříjemnou dochuť. Ve srovnání se sacharosou je asi 2000krát sladší. Je stálejší než aspartam, a tudíž pravděpodobně nalezne v potravinářství více použití. Alitam je v těle hydrolyzován na asparagovou kyselinu, která je normálně metabolizována, a na *D*-alaninamidovou část molekuly, která je z těla vylučována beze změny⁴⁸. V současné době je povolen v Mexiku, Kolumbii, Číně, Austrálii a na Novém Zélandu. Hodnota ADI byla stanovena na 1 mg/kg, ale z dávek konzumovaných v Austrálii a Novém Zélandu se zdá být pravděpodobné, že může být překračována. Takže je jasné, že výzkum bezpečnosti alitamu bude nadá-

le pokračovat, i když prozatím je věnována hlavní pozornost vědců analytickým metodám.

Advantam

Advantam (methyl ester *N*-[*N*-[3-(3-hydroxy-4-methoxyfenyl)propyl]-*L*- α -aspartyl]-*L*-fenylalaninu) je další sladký derivát aspartamu 20 000krát sladší než sacharosa a má statut GRAS. Má chuť podobnou aspartamu, s delší resistencí sladkého vjemu. Podle předpokládané spotřeby v USA je odhadován průměrný denní příjem advantamu na 1,2 mg/den (cit.⁴⁹). Advantam je v těle omezeně ze 4–23 % absorbován po hydrolyze esterové vazby v gastrointestinálním traktu. Po orálním podání je asi 80 % advantamu vylučováno stolicí. Toxicita byla studována u myši, krys, králíků a psů a jediným pozorováním bylo snížení hmotnosti a/nebo snížení kalorického využití potravin u skupiny zvířat s vysokými dávkami advantamu. Snížení příjmu potravin není obvykle považováno za toxikologicky významné, bylo nalezeno i u jiných sladidel⁴⁹. Biologickým studiím tohoto nového nízkokalorického sladidla bylo v roce 2011 věnováno celé číslo 49/S1 časopisu *Food and Chemical Technology*, proto laskavého čtenáře odkazujeme pro další podrobnosti na tento zdroj.

Steviol-glykosidy

Listy keřku *Stevia rebaudiana* zvaném též „the sweet herb of Paraguay“ obsahují více než 100 různých sloučenin⁵⁰, z nichž nejzajímavější jsou sladké látky steviosid, steviolbiosid a rebaudiosidy (Rebiana) obsažené v koncentraci 4–20 % hmotnosti suchých listů⁵¹. Pro účely tohoto článku je budeme uvádět pod společným názvem steviol-glykosidy. Steviol-glykosidy jsou komplexní molekuly, které obsahují 13-hydroxykaur-16-en-18-onovou kyselinu (steviol), na které je navázán různý počet glukosových jednotek. Steviol-glykosidy jsou hydrolyzovány střevní mikroflórou na steviol, který je v játrech konjugován s glukuronidem a poté vylučován zejména močí⁵². Hlavním světovým producentem je dnes Čína, která vyrábí ročně přes 12 tisíc tun. Hlavní komponenta, steviosid, je 300krát sladší než sacharosa. K uživatelským přednostem steviosidu patří jeho stabilita, dále fakt, že není upotřebitelný jako zdroj energie organismu, není karyogenní, mutagenní nebo teratogenní⁵³, ale i to, že může být používán diabetiky a pacienty s fenylketonurií.

Sacharin a jeho Na, K a Ca soli

Při studiu *o*-sulfabenzamidů objevili Konstantin Fahlberg a Ira Remsen náhodně sladkou chuť sacharinu (2,3-dihydro-3-oxobenzisosulfonazol) v roce 1878. Dnes se už nedovíme, kdo byl tím prvním ochutnávčem. Pravdou zůstává, že Fahlberg dal látce název sacharin a razantně se pustil do komercializace, aniž by uvedl Remsena jako spoluautora patentu⁵⁴. Sacharin se vyrábí od roku 1901 a čas od času se vyskytují diskuse o jeho zdravotní zavadlosti⁵⁵. Sacharin není lidským organismem metabolizován

a beze změny je vylučován hlavně močí, méně pak stolicí. Diskusi vyvolaly články dokládající vliv velkých dávek sodné soli sacharinu na vznik nádorů močového měchýře sameců kryš⁵⁶. Velké dávky způsobily vznik sraženiny fosforečnanu vápenatého v močových cestách a při dlouhodobém podávání pak zřejmě podnítily vznik nádorů. Ovšem tento vliv není vlastní pouze sacharinu, ale byl pozorován i u jiných sodných solí, např. kyseliny askorbové. Krysy jsou zvláště citlivé ke vzniku nádorů močového měchýře, ale u lidské populace nikdy podobný vliv nebyl zaznamenán. Sacharin je extrémně stabilní a představuje tak sladidlo univerzálně použitelné v mnoha potravinářských výrobcích i pro přímou konzumaci. Je výhodné konzumovat sacharin ve směsi s jinými sladidly, protože sám má poněkud nepřijemnou kovovou dochuť.

Acesulfam K

Náhodný objev sladké chuti 5,6-dimethyl-1,2,3-oxathiazin-4(3H)-on-2,2-dioxidu v roce 1967 vedl k syntéze řady derivátů, z nichž právě draselná sůl 6-methyl-1,2,3-oxathiazin-4(3H)-on-2,2-dioxidu se stala průmyslově vyráběným sladidlem. Acesulfam K je stabilní i za vyšších teplot, proto se hodí i na vaření a pečení. Má rychlý náběh sladké chuti, která přetrvává jen po dobu konzumace jídla. Ve vodných roztocích a vyšších koncentracích má hořkou příchut'. V lidském těle není metabolizován a je rychle vylučován zejména močí. Je prokazatelně netoxický, není mutagenní ani karyogenní. Tak jako u ostatních sladidel i pro acesulfam K jsou čas od času analyzovány výsledky vědeckých studií a žádné nepříznivé vlivy nebyly identifikovány ani v posledním přehledu z roku 2000. Oficiální autority tak znovu potvrdily nezávadnost tohoto sladidla.

5. Závěr

V dnešní době si jak konzument, tak potravinář i technolog může vybrat z široké palety sladidel a přídavných látek ať již z hlediska chuti, intenzity sladivosti, výživného a glykemického potenciálu, vedlejších účinků atd., protože nabídka je zde více než široká. Ekonomický tlak na straně jedné a dietní výhrady vůči sladidlům s vyšším glykemickým indexem na straně druhé tlačí výrobce potravin k tomu, že nahrazují klasický cukr čímkoliv, co je lacinější, nebo dietnější. Když si k tomu přičteme laické názory na zdravou výživu zdatně podporované informacemi z Internetu, je jasné, že diskuse o tak nápadné položce potravních aditiv, jakými jsou intenzivní sladidla, bude i v budoucnosti pokračovat měrou neztenčenou.

I pro sladidla, podobně jako pro další složky potravin, bude ale stále platit základní výživové doporučení „všeho s mírou“.

Autoři tímto děkují MŠMT za podporu v rámci výzkumného záměru č. MSM6046137305.

LITERATURA

1. Čopíková J., Uher M., Lapčík O., Moravcová J., Drašar P.: Chem. Listy 99, 802 (2005).
2. Moravcová J.: Chem. Listy 95, 202 (2001).
3. Jambal I., Kefurt K., Moravcová J.: Chem. Listy 106, 283 (2012).
4. Opletal L., Čopíková J., Uher M., Lapčík O., Moravcová J., Drašar P.: Chem. Listy 101, 895 (2007).
5. Hampl F., Moravcová J., Čopíková J., Opletal L., Lapčík O., Drašar P.: Chem. Listy 103, 15 (2009).
6. Lapčík O., Opletal L., Moravcová J., Čopíková J., Drašar P.: Chem. Listy 105, 452 (2011).
7. Opletal L., Wimmer Z., Čopíková J., Lapčík O., Moravcová J., Cahlíková L., Drašar P.: Chem. Listy 105, 761 (2011).
8. Čopíková J., Moravcová J., Lapčík O., Opletal L., Drašar P.: Chem. Listy 105, 938 (2011).
9. Kolečkář V., Řeháková Z., Brojerová E., Kuča K., Jun D., Macáková K., Opletal L., Drašar P., Jahodář L., Chlebek J., Cahlíková L.: Chem. Listy 106, 113 (2012).
10. Wimmer Z., Opletal L., Čopíková J., Moravcová J., Abdulmanea K. S. O., Lapčík O., Drašar P.: Chem. Listy 106, 926 (2012).
11. Čopíková J., Lapčík O., Uher M., Moravcová J., Drašar P.: Chem. Listy 100, 778 (2006).
12. Moravcová J., Opletal L., Lapčík O., Čopíková J., Uher M., Drašar P.: Chem. Listy 101, 1002 (2007).
13. Lapčík O., Čopíková J., Uher M., Moravcová J., Drašar P.: Chem. Listy 101, 44 (2007).
14. Rippe J. M., Angelopoulos T. J.: Adv. Nutr. 4, 236 (2013).
15. Bray G. A., Nielsen S. J., Popkin B. M.: Am. J. Clin. Nutr. 79, 537 (2004).
16. Cohen R.: Nat. Geogr. 8, 82 (2013).
17. Walters D. E.: The Sweetener Book, D. Eric Walters 2013, North Chicago, IL; <http://www.sweetenerbook.com/index.html> (staženo 25/2 2013).
18. Carbohydrates in human nutrition. (FAO Food and Nutrition Paper - 66), Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation, Rome 1997 (Reprinted 1998); <http://www.fao.org/docrep/W8079E/w8079e00.htm#Contents>; (staženo 26/2 2013).
19. Sugar and Sweetener Guide; <http://www.sugar-and-sweetener-guide.com/> (staženo 27/2 2013).
20. O'Donnell K., Kearsley M. W.: *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*, Wiley-Blackwell, Oxford 1012.
21. Codex Alimentarius, International Food Standards, <http://www.codexalimentarius.org/codex-home/en/> (staženo 5/8 2013).
22. Zákon ČR 110/1997 Sb.
23. Hess J., Latulippe M. E., Ayoob K., Slavin J.: Food Funct. 3, 477 (2012).
24. Wiebe N., Padwal R., Field C., Marks S., Jacobs R.,

- Tonelli M.: *BMC Medicine* 9, 123 (2011); <http://www.biomedcentral.com/1741-7015/9/123>. (staženo 5.8.2013).
25. Te Morenga L., Mallard S., Mann J.: *Brit. Med. J. Open* 345, 7492 (2012).
 26. DiMeglio D. P., Mattes R. D.: *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 24, 794 (2000).
 27. van Baak M. A., Astrup A.: *Obes. Rev.* 10, 9 (2009).
 28. Dolan L. C., Potter S. M., Burdock G. A.: *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 50, 53 (2010).
 29. Sievenpiper J. L., de Souza R. J., Mirrahimi A., Yu M. E., Carleton A. J., Beyene J., Chiavaroli L., Di Buono M., Jenkins A. L., Leiter L. A., Wolever T. M. S., Kendall C. W. C., Jenkins D. J. A.: *Ann. Intern. Med.* 156, 291 (2012).
 30. Slavin J.: *Nutr. Rev.* 70 (Suppl. 2), S111 (2012).
 31. Hess J., Latulippe M. E., Ayooob K., Slavin J.: *Food&Funct.* 3, 477 (2012).
 32. Freeman L.: *Leatherhead Food Trends, 2011 Food and drink trends*, <http://www.leatherheadfood.com/2011-food-and-drink-trends> (staženo 5/8 2013).
 33. Butchko H. H., Stargel W. W., Comer C. P., Mayhew D. A., Benninger C., Blackburn G. L., de Sonneville L. M. J., Geha R. S., Hertelendy Z., Koestner A., Leon A. S., Liepa G. U., McMartin K. E., Mendenhall C. L., Munro I. C., Novotny E. J., Renwick A. G., Schiffman S. S., Schomer D. L., Shaywitz B. A., Spiers P. A., Tephly T. R., Thomas J. A., Trefz F. K.: *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 35, S1 (2002).
 34. <http://www.sladkypolibek.com/sladkypolibek/Jed%20zvany%20aspartam.htm> (staženo 5/8 2013).
 35. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out68_en.pdf (staženo 1.6.2013).
 36. Brusick D., Grotz V. L., Slesinski R., Kruger C. L., Hayes A. W.: *Food Chem. Toxicol.* 48, 3067 (2010).
 37. Brown A. W., Bohan Brown M. M., Onken K. L., Beitz D. C.: *Nutr. Res.* 31, 882 (2011).
 38. Grotz V. L., Munro I. C.: *Regul. Tox. Pharm.* 55, 1 (2009).
 39. Abou-Donia M. B., El-Masry E. M., Abdel-Rahman A. A., McLendon R. E., Schiffman S. S.: *J. Toxicol. Environ. Health* 71, 1415 (2008).
 40. Brusick D., Borzelleca J. F., Gallo M., Williams G., Kille J., Hayes A. W., Pi-Sunyer F. X., Williams C., Burks W.: *Regul. Tox. Pharm.* 55, 6 (2009).
 41. Oser B. L., Carson S., Cox G. E., Vogin E. E., Sternberg S. S.: *Toxicology* 4, 315 (1975).
 42. Takayama S., Renwick A. G., Johansson S. L., Thorgeirsson U. P., Tsutsumi M., Dalgard D. W., Sieber S. M.: *Toxicol. Sci.* 53, 33 (2000).
 43. Renwick A. G., Thompson J. P., O'Shaughnessy M., Walter E. J.: *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 196, 367 (2004).
 44. Serra-Majem L., Bassas L., Garcia-Glossas R., Ribas L., Ingles C., Casals I., Saavedra P., Renwick A. G.: *Food Addit. Contam.* 20, 1097 (2003).
 45. Kroger M., Meister K., Kava R.: *Comp. Rev. Food Sci. Food Safety* 5, 35 (2006).
 46. Otabe A., Fujieda T., Masuyama T., Ubukata K., Lee C.: *Food Chem. Toxicol.* 49, 52 (2011).
 47. Wölwer-Rieck U.: *J. Agric. Food Chem.* 60, 886 (2012).
 48. Geuns J. M. C.: *Phytochemistry* 64, 913 (2003).
 49. Urban J. D., Carakostats M. C., Brusik D. J.: *Food Chem. Toxicol.* 51, 386 (2013).
 50. Lemus-Mondaca R., Vega-Gálvez A., Zura-Bravo L., Ah-Hen K.: *Food Chem.* 132, 1132 (2012).
 51. Pearson R. L.: *Saccharin. V knize: Alternative Sweeteners*, (Nabors L.O., ed.), str. 147. Marcel Dekker, New York 2001.
 52. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 73, Lyon 1999. <http://www.crcnetbase.com/doi/book/10.1201/b11242m> (staženo 5.8.2013).
 53. Arnold D. L., Moodie C. A., Grice H. C., Charbonneau S. M., Stavric B., Collins B. T., Mcguire P. F., Zawadzka Z. Z., Munro I. C.: *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 52, 113 (1980).
- J. Čopíková^a, J. Moravcová^b, Z. Wimmer^{b,c}, L. Opletal^d, O. Lapčík^b, and P. Drašar^b** (^aDepartment of Carbohydrates and Cereals, ^bDepartment of Chemistry of Natural Compounds, Institute of Chemical Technology, Prague; ^cInstitute of Experimental Botany AS CR, Prague; ^dDepartment of Pharmaceutical Botany and Ecology, Charles University in Prague): **Artificial Sweeteners**
- A brief survey of the artificial sweeteners and their properties and use aims to show the importance of this group of mainly renewable materials, to contribute to the knowledge of the practical chemistry that can be utilized, among others, in food and pharmaceutical industry. The article is also aimed as a teaching tool for teachers and students.