

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Přírodní a umělá sladidla a jejich metabolismus v lidském
organismu**

Bakalářská práce

Alice Kemrová

Výživa a potraviny

Ing. Barbora Burešová, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Přírodní a umělá sladidla a jejich metabolismus v lidském organismu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 24. 4. 2024

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí mé bakalářské práce Ing. Barboře Burešové, Ph.D. za její vstřícný přístup, za upozornění na úskalí při psaní závěrečné práce, za podnětné komentáře, kontrolu exaktnosti uváděných informací a trpělivost při finalizaci.

Přírodní a umělá sladidla a jejich metabolismus v lidském organismu

Souhrn

Termín „sladidla“ zahrnuje heterogenní skupinu přírodních i syntetických látek, které při příjmu potravou vyvolávají sladkou chuť. Nejvýznamnějšími přírodními sladidly jsou cukry, které náleží mezi sacharidy. Sacharidy hrají důležitou roli v lidské stravě, jsou zdrojem energie (4 kcal/g), determinují sensorické vlastnosti potravin (chuť, textura, přijatelnost) a mají vliv na fyziologii, neboť zvyšují hladinu krevní glukosy, čímž působí na uvolňování insulinu. Centrální roli v metabolismu sacharidů hraje glukosa, která díky své relativně bohaté potenciální snadno štěpitelné energii slouží jako rychlý zdroj energie pro rostliny, živočichy i mikroorganismy. Prvním krokem využití glukosy jako energetického substrátu je centrální dráha katabolismu glukosy, zvaná glykolýza – dvoufázový proces deseti na sebe navazujících chemických reakcí vedoucích k rozštěpení molekuly glukosy na 2 molekuly pyruvátu za uvolnění energie. K maximálnímu výtěžku energie je třeba dále oxidovat tyto 2 vzniklé molekuly pyruvátu v rámci navazujících drah aerobního metabolismu.

FAO (Organizace pro výživu a zemědělství) a WHO (Světová zdravotnická organizace) společně pravidelně přezkoumávají vědecké studie zabývající se různými aspekty významu sacharidů v lidské výživě. WHO potvrdila, že konzumace volných cukrů má spojitost s rostoucím výskytem nadváhy a obezity, jakož i s rozvojem neinfekčních onemocnění souvisejících se stravou, včetně zubního kazu, diabetu 2. typu, kardiovaskulárních onemocnění a nádorového bujení. Tento trend se nadnárodní organizace snaží zvrátit svými doporučeními podloženými vědeckými studiemi. Doporučený příjem sacharidů by měl tvořit 55-75 % celkového denního energetického příjmu, a to především v minimálně zpracované formě. Příjem volných cukrů je doporučeno omezit pod 10 % přijaté energie a s ohledem na riziko kazivosti zubů až na méně než 5 %.

Alternativní sladidla jsou v potravinářství používaná a povolená alternativy klasických kalorických sladidel. Lze je rozdělit na intenzivní, objemová a vzácné cukry. Intenzivními jsou nazývána ta, jež dosahují vysoké intenzity sladivosti již při použití velmi malých koncentrací těchto různorodých látek (acesulfam K, aspartam, cyklamát, sacharin, sukralosa, neohesperidin DC a thaumatococcus) a jsou pro ně stanoveny akceptovatelné denní dávky. Naopak objemová sladivost příliš nevynikají, ale slouží především jako plniva (erythritol, isomalt, laktitol, maltitol, mannitol, sorbitol, xylitol). Mezi vzácné cukry jsou řazeny monosacharidy a jejich deriváty, které se v přírodě nacházejí v malých množstvích a v současné době se pracuje na zlevnění jejich laboratorní výroby (psikosa, tagatosa, allosa).

Mnoho současných studií se zabývá otázkou vhodnosti zařazení náhradních sladidel do každodenního stravování s důrazem na zdravotní aspekty. Většina studií na lidech naznačuje, že umělá sladidla mohou mít neutrální účinek na tělesnou hmotnost a kontrolu

glykémie, nebo mohou mít příznivý vliv na dlouhodobou regulaci tělesné hmotnosti. Aktuální zjištění uvedená v práci Basson et al. (2021) naznačují, že umělá sladidla interagují se střevem a periferními tkáněmi prostřednictvím bakteriální produkce mastných kyselin s krátkým řetězcem (SCFA). K tomu, zda mohou tato sladidla modulovat kontrolu tělesné hmotnosti ovlivňováním energetického výdeje prostřednictvím změněné produkce SCFA ve střevě, jsou však zapotřebí další studie (Pang et al. 2021).

Studie na zvířatech ukazují, že umělé náhražky cukru mohou vyvolat kompoziční i funkční změny ve střevní mikrobiotě. Avšak určit, jak ovlivňují umělá sladidla střevní mikrobiotu u lidí zůstává náročné vzhledem k mnoha proměnným. Prozatímní výsledky připouští, že dlouhodobá konzumace některých sladidel by mohla měnit diverzitu lidské střevní mikrobioty (sukralosa, acesulfam-k), a také zvyšovat schopnost bakterií tvořit biofilm a měnit mikrobiální rovnováhu (sukralosa, sacharin a aspartam) (Wąsik et al. 2023). Nicméně žádný jasný důkaz, že konzumace umělých sladidel ve schváleném množství nepříznivě ovlivňuje střevní mikrobiotu u lidí neexistuje (Hughes et al. 2021).

Je zřejmé, že k učinění závěrů týkajících se vhodnosti zařazení umělých sladidel do běžné stravy, jsou opodstatněné další dobře kontrolované dlouhodobé studie na lidech zkoumající účinky různých umělých sladidel a jejich dopad na střevní mikroflóru, regulaci tělesné hmotnosti a homeostázu glukosy, stejně jako základní mechanismy jejich působení (Pang et al. 2021).

Klíčová slova: sacharosa, glukosa, cukr, umělé sladidlo, aspartam, metabolismus, střevní bakterie

Natural and artificial sweeteners and their metabolism in the human body

Summary

The term “sweeteners” includes a heterogeneous group of natural and synthetic substances that produce a sweet taste when ingested. The most significant natural sweeteners are sugars, which belong to carbohydrates. Carbohydrates play an important role in the human diet, they are a source of energy (4 kcal/g), determine the sensory properties of food (taste, texture, acceptability) and have an effect on physiology, as they increase the level of blood glucose, thereby influencing insulin release. A central role in the metabolism of carbohydrates is played by glucose, which, thanks to its relatively abundant potential easily split energy, serves as a quick source of energy for plants, animals and microorganisms. The first step in the utilisation of glucose as an energy substrate is the central pathway of glucose catabolism, called glycolysis – a two-phase process of ten successive chemical reactions leading to the splitting of a glucose molecule into two pyruvate molecules, releasing energy. For maximum energy yield, these two formed pyruvate molecules must be further oxidized within the following pathways of aerobic metabolism.

The FAO (Food and Agriculture Organization) and WHO (World Health Organization) jointly regularly review scientific studies dealing with various aspects of the importance of carbohydrates in human nutrition. The WHO has confirmed that the consumption of free sugars is linked to increasing rates of overweight and obesity, as well as the development of diet-related non-communicable diseases, including tooth decay, type 2 diabetes, cardiovascular disease and cancer. Multinational organizations are trying to reverse this trend with their recommendations supported by scientific studies. The recommended intake of carbohydrates should be 55-75 % of the total daily energy intake, especially in a minimally processed form. The intake of free sugars is recommended to be limited to less than 10 % of the energy intake and, considering the risk of tooth decay, to less than 5 %.

Alternative sweeteners are used and permitted alternatives to classic caloric sweeteners in the food industry. They can be divided into intense, bulk and rare sugars. Those that reach a high intensity of sweetness even when using very low concentrations of these various substances (acesulfame K, aspartame, cyclamate, saccharin, sucralose, neohesperidin DC and thaumatin) are called intense, and acceptable daily doses are set for them. On the contrary, bulk sweeteners do not excel in sweetness, but serve mainly as fillers (erythritol, isomalt, lactitol, maltitol, mannitol, sorbitol, xylitol). Rare sugars include monosaccharides and their derivatives, which are found in small quantities in nature and are currently being worked on to make their laboratory production cheaper (psicose, tagatose, allose).

Many current studies deal with the question of the appropriateness of including substitute sweeteners in the daily diet with an emphasis on health aspects. Most human studies suggest that artificial sweeteners may have a neutral effect on body weight and glycemic control, or may have a beneficial effect on long-term weight management. The current findings reported in Basson et al. (2021) suggest that artificial sweeteners interact with the gut and peripheral tissues through bacterial production of short-chain fatty acids (SCFA). However, further studies are needed to determine whether these sweeteners may modulate body weight control by affecting energy expenditure through altered intestinal SCFA production (Pang et al. 2021).

Animal studies show that artificial sugar substitutes can induce both compositional and functional changes in the gut microbiota. However, determining how artificial sweeteners affect the gut microbiota in humans remains challenging due to many variables. Interim results admit that long-term consumption of some sweeteners could change the diversity of the human gut microbiota (sucralose, acesulfame-k), as well as increase the ability of bacteria to form a biofilm and change the microbial balance (sucralose, saccharin and aspartame) (Wąsik et al. 2023). However, there is no clear evidence that consumption of artificial sweeteners in approved amounts adversely affects the gut microbiota in humans (Hughes et al. 2021).

Clearly, further well-controlled long-term human studies investigating the effects of different artificial sweeteners and their impact on gut microbiota, weight management and glucose homeostasis, as well as their underlying mechanisms of action, are warranted to draw conclusions regarding the appropriateness of including artificial sweeteners in the regular diet (Pang et al. 2021).

Keywords: sucrose, glucose, sugar, artificial sweetener, aspartame, metabolism, intestinal bacteria

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Cíl práce.....	10
3 Literární rešerše.....	11
3.1 Sladidla.....	11
3.1.1 Cukry.....	11
3.1.1.1 Sacharosa.....	15
3.1.1.2 Glukosa.....	16
3.1.1.3 Fruktosa.....	16
3.1.1.4 Galaktosa.....	17
3.1.1.5 Laktosa.....	17
3.1.2 Metabolismus sacharidů a cukrů.....	18
3.1.3 Význam ve výživě.....	21
3.1.4 Posuzování cukrů.....	22
3.1.5 Alternativní přírodní sladidla.....	23
3.1.5.1 Med.....	23
3.1.5.2 Stévie.....	23
3.1.6 Alternativní syntetická sladidla.....	24
3.1.6.1 Intenzivní sladidla.....	26
3.1.6.2 Objemová sladidla.....	31
3.1.6.3 Vzácné cukry.....	34
3.1.7 Působení alternativních syntetických sladidel.....	36
3.1.7.1 Střevní mikrobiota.....	36
3.1.7.2 Regulace tělesné hmotnosti.....	36
3.1.7.3 Homeostáza glukosy.....	38
4 Závěr.....	39
5 Literatura.....	41

1 Úvod

Výživa a potraviny se nepochybně odráží v kvalitě života, kvantitativně i kvalitativně. Co se týče určení kvantity, je základním principem porovnání příjmu a výdeje, ovšem u kvality se to zdá být složitější. I když víme, které živiny jsou pro nás esenciální a nezbytné a které látky naopak škodlivé, umíme určit vhodný trojpoměr makroživin s přihlédnutím k individualitě, stále se v naší stravě objevují látky, které ani naší moderní vyspělou technologií nejsme schopni zcela jednoznačně vyhodnotit.

V současné době společností velmi rezonuje téma umělých sladidel a jejich nepříznivých zdravotních účinků. Většina palcových titulků demonizuje tyto schválené a hojně používané přídatné látky v potravinách. Internetem koluje mnoho mýtů, zkreslených a z kontextu vytržených informací. Vzhledem k tomu, že v dnešní době může na internet přidávat informace/dezinformace v podstatě kdokoli, je nutné vyhledávat fundované zdroje, zapojit kritické myšlení a vybírat relevantní informace a fakta, abychom získali komplexní a objektivní pohled na danou problematiku, než učiníme jakýkoliv závěr.

Exemplárním příkladem je aktuální zařazení aspartamu mezi možné karcinogeny pro člověka (Possibly carcinogenic to humans). Při černobílém vnímání světa, by takováto zpráva mohla vyvolat hysterii vedoucí k zpětnému nahrazení umělých sladidel cukrem, které by pro rizikové skupiny mohlo mít velmi nepříznivý dopad. Přičemž k zařazení aspartamu do této kategorie, mezi látky jako jsou například *Aloe vera*, nakládaná asijská zelenina, kávová kyselina, extrakt z *Ginkgo biloba*, vedly omezené důkazy v souvislosti s jeho karcinogenním působením na člověka. Momentálně se tedy jedná pouze o hypotézu, která nebyla doposud ani potvrzena, ani vyvrácena. Pro porovnání, do skupiny pravděpodobných karcinogenů pro člověka (Probably carcinogenic to humans) spadá například pití velmi horkých nápojů a mezi skutečně prokázané karcinogeny (Carcinogenic to humans) patří například kouření tabáku a konzumace alkoholu (IARC 2023), tedy činnosti běžně vykonávané dnešní moderní společností.

Konzumace potravin se sladidly, či obecně s aditivy, doporučována rozhodně není, ale zároveň je v přijatelných denních dávkách považována za bezpečnou. Jak již říkal Paracelsus v 16. století, jed od léku odlišuje pouze podávané množství. Označení „syntetické“ nemusí nutně znamenat „škodlivé“, moderní medicína využívá převážně syntetické léky, které zachraňují životy, a vlastně i tyto uměle připravené látky musí splňovat jakousi tělu přirozenou formu, aby byly rozpoznány a měly fyziologický efekt. A platí to i naopak, „přírodní“ neznamená automaticky „bezpečné“. Mnoho přírodních látek vykazuje negativní, až letální účinky již při požití nepatrných dávek (botulotoxin, amatoxin).

Proč jsou vlastně ale kontroverzní umělá sladidla tak vyhledávanou a hojně nabízenou alternativou cukru, ačkoli některé vědecké studie poukazují na potenciální nepříznivé účinky při jejich konzumaci? Pokud pomineme ekonomické zájmy výrobců těchto substituentů a atraktivní marketing moderních „sugar free“ produktů, hlavním důvodem bude jistě potřeba snížení energetického příjmu z cukrů a zároveň neochota vzdát se sladké chuti.

Evolučně jsme nastaveni na pozitivní vnímání sladké chuti, která signalizovala vysokou energetickou hodnotu a bezpečnost poměrně vzácné potravy (jako bylo např. ovoce nebo

med). Co se postupem času změnilo, je dostupnost cukru. Člověk ho byl schopný izolovat z přírodních zdrojů, koncentrovat a přidávat v podstatě do všeho nejen kvůli oslazení a vylepšení chuti, ale i kvůli jeho technologickým vlastnostem. Tím došlo ke zvýšení kalorického příjmu nad potřebnou hodnotu, objevila se závislost na sladké chuti a pokud k tomu přičteme efekt současného sedavého životního stylu, ve vyspělých zemích, je logické, že se začal zvyšovat počet jedinců s nadváhou vedoucí ke zdravotním komplikacím.

Ačkoli jediným viníkem energetického surplusu není jen cukr, ale celkově nesprávné stravovací návyky a nedostatek pohybu, obecně by omezení konzumace cukru mělo řadu pozitivních efektů, neboť cukr obsahuje mnoho kalorií v malém objemu, vyvolává výkyvy glykémie, nemá dostatečný sytící efekt a je považován za návykový. Lidé si tedy vytvořili nízkokalorické/bezkalorické alternativy. Tyto ovšem mnohdy nejsou plně schopny suplovat technologické vlastnosti cukru, a ač jsou aditiva jednou z nejvíce zkoumaných skupin látek, vědecké studie se v závěrech týkajících se působení na zdraví konzumentů často různí.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je shrnout dosavadní ověřené poznatky o cukrech, jiných přírodních sladidlech a jejich syntetických alternativách. V rešerši dále popsat chemismus těchto látek, jejich sensorické vlastnosti a biochemické působení v organismu.

3 Literární rešerše

3.1 Sladidla

Termín sladidla zahrnuje látky vyvolávající při příjmu potravou sladkou chuť. Chemicky se jedná o heterogenní skupinu látek přírodních i syntetických, do které jsou mimo jiné řazeny některé sacharidy (cukry) a jejich deriváty (polyoly), látky bílkovinné povahy (aspartam, thaumatin), glykosidy (steviolglykosidy), či různé soli (acesulfam K) (Varzakas et al. 2012). Sladidla mohou být obecně dělena na přírodní a syntetická, přičemž přírodní jsou dále kategorizována na sladidla na bázi sacharidů a sladidla nesacharidová (Das & Chakraborty 2018). Dalším přístupem je dělení sladidel na výživná a intenzivní (Carocho et al. 2017) nebo dle kalorické hodnoty na kalorická, bezkalorická, nízkokalorická (Varzakas et al. 2012). Ta bezkalorická a nízkokalorická necukerná jsou WHO specifikována jako umělá a přírodní sladidla, přesněji synteticky odvozené chemické látky a přírodní extrakty, které mohou, ale nemusí být chemicky upraveny, která byla vyvinuta jako alternativa k cukrům, díky jejich schopnosti dodávat sladkou chuť bez kalorií. Toto tvrzení se stalo předpokladem pro jejich použití při předcházení nadváhy a obezity a také snížení rizika zubního kazu. Všechna komerčně používaná bezkalorická a nízkokalorická sladidla jsou před uvedením na trh testována na toxicitu a jsou pro ně stanoveny hodnoty přijatelného denního příjmu (ADI) (Rios-Leyvraz & Montez 2022).

Náhradní sladidla, ve smyslu přídatných látek v potravinách, jsou definována jako látky, které udělují potravinám sladkou chuť, nejsou řazeny mezi monosacharidy či disacharidy a jsou používány k nahrazení přírodních sladidel a medu (Babička 2012). Tato skupina alternativních sladidel zahrnující jak sladidla přírodní, tak i syntetická, je podle sladivosti dělena na intenzivní a objemová (Tabulka 1) (Mortensen 2006).

3.1.1 Cukry

Nejvýznamnějšími přírodními sladidly jsou cukry, které náleží mezi sacharidy, tedy z chemického hlediska mezi polyhydroxyaldehydy, či polyhydroxyketony. Nejjednoduššími sacharidy jsou triosy (se třemi uhlíky), a to konkrétně glyceraldehyd – aldotriosa a dihydroxy-aceton – ketotriosa (Obrázek 1), nejnámějšími pak hexosy (se šesti uhlíky) například glukosa – aldohexosa a fruktosa – ketohexosa. Dle počtu monomerních jednotek jsou běžně děleny na mono- (1), oligo- (2-9) a polysacharidy (10 a více) (Nelson & Cox 2008), ovšem ale, například dle autorů Cummings & Stephen (2007) a Witek et al. (2022), zabývajících se problematikou sladidel, na 4 základní podskupiny: mono-, di- (2), oligo- (3-9) a polysacharidy (10 a více jednotek). Sacharidy jsou nejrozšířenější biomolekuly na Zemi, schopné tvořit dlouhé makromolekulární struktury, jako jsou z řady homopolysacharidů (ze stejných monosacharidových jednotek) například rostlinný škrob, či živočišný glykogen a z řady heteropolysacharidů (obsahujících dvě či více různých druhů monomerních jednotek nebo jejich derivátů) například bakteriální peptidoglykan (Nelson & Cox 2008).

Tabulka 1: Sladidla. Sladivost posuzována vzhledem k referenčnímu sladidlu – sacharose, která má hodnotu sladivosti 1. ADI (akceptovatelná denní dávka) udávaná v mg/kg tělesné hmotnosti za den (upraveno dle Mortensen 2006; Chattopadhyay et al. 2014; Goldfein & Slavin 2015; Edwards et al. 2016; Basson et al. 2021; Mora & Dando 2021).

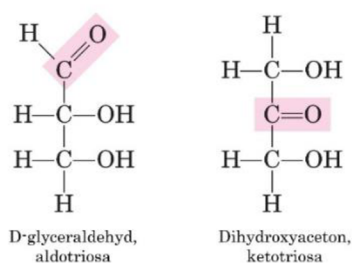
SLADIDLA	název	typ	prům. sladivost	kalorie [kcal/g]	ADI [mg/kg]
CUKRY	Glukosa	Monosacharid	0,6	4	
	Fruktosa	Monosacharid	1,7	4	
	Galaktosa	Monosacharid	0,4	4	
	Sacharosa	Disacharid	1	4	
	Laktosa	Disacharid	0,2	4	
ALTERNATIVNÍ PŘÍRODNÍ	Med		1,1	3	
	Stevie	Steviol glykoside	250	0	4
ALTERNATIVNÍ SYNTETICKÁ					
intenzivní	Acesulfam K	N-sulfonyl amid	200	0	50
	Aspartam	Aspartyl-phenylalanin methyl ester	190	4	40
	Cyklamát	Sulfamová kyselina (s Na/Ca)	30	0	7
	Neohesperidin DC	Dihydrochalkon	1500	0	5
	Sacharin	N-sulfonyl amid	450	0	5
	Sukralosa	Trichlorovaný derivat sacharosy	550	0	5
	Thaumatococin	Bílkovina	2500	4	—
	objemová (polyoly)	Erythritol	Alkoholový cukr	0,8	0,3
	Isomalt	Alkoholový cukr	0,5	2	
	Lactitol	Alkoholový cukr	0,3	2	
	Maltitol	Alkoholový cukr	0,9	2	
	Mannitol	Alkoholový cukr	0,5	1,5	
	Sorbitol	Alkoholový cukr	0,6	2,5	
	Xylitol	Alkoholový cukr	1	2,4	
vzácné cukry	D-psikosa	Monosacharidy	0,7	0,2	
	Tagatosa	Monosacharidy	0,9	2	
	D-allosa	Monosacharidy	0,8	0,2	

Díky přítomnosti chirálních (asymetrických, stereogenních) center jsou rozlišovány D- a L-stereoizomery molekul sacharidů (enantiomery), vzájemně zrcadlově převrácené, kdy u D-izomerů směřuje ve Fischerově projekci hydroxylová skupina (-OH) na posledním chirálním uhlíku doprava a u L-izomerů doleva (Obrázek 2). S polohou -OH skupiny má dále souvislost schopnost molekuly stáčet rovinu polarizovaného světla doprava – dextrosy (+) a doleva – levulosy (-). Sacharidy se mohou vyskytovat v lineární, vysoce reaktivní, nebo cyklické, prakticky inertní, formě. U cyklických forem jsou ještě rozlišovány α - a β -anomery dle polohy -OH skupiny na anomerním uhlíku (Obrázek 3). Pokud tato -OH skupina není zapojena do vazby s další jednotkou, zůstává tedy volná pro případné další reakce, jedná se o redukující sacharid schopný se oxidovat, v opačném případě o neredukující. Dle počtu atomů tvořících řetězec jsou rozeznávány jako pyranosy (název odvozen od pyranu), které mají šestičlenný kruh obsahující pět uhlíkových atomů a jeden atom kyslíku, a furanosy (od furanu), jejichž struktura je tvořena pětičlenným cyklem se čtyřmi uhlíkovými atomy a jedním atomem kyslíku (Obrázek 4) (Nelson & Cox 2008).

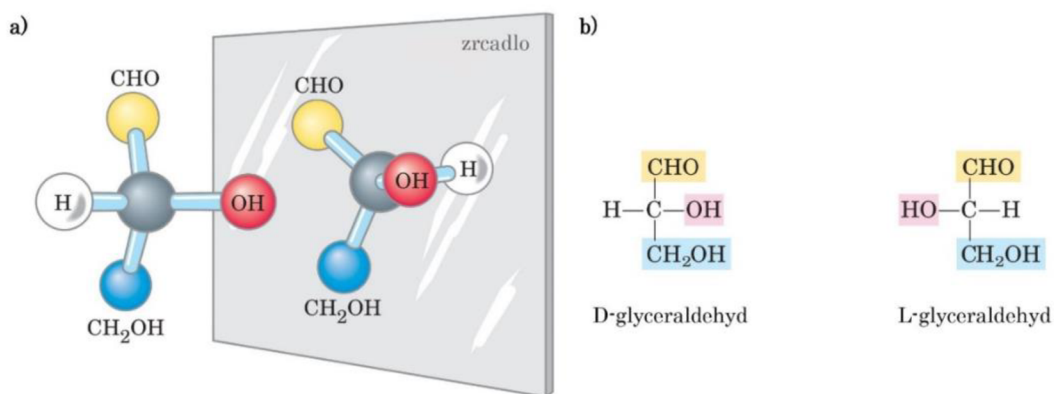
Z chemického hlediska jsou jako „cukry“ označovány mono- a disacharidy, jejichž společnými vlastnostmi je rozpustnost ve vodě a sladká chuť (Cummings & Stephen 2007). Pojem „volné cukry“ se vztahuje na všechny monosacharidy a disacharidy přidané do potravin výrobcem, kuchařem nebo spotřebitelem a na cukry přirozeně obsažené v medu, ovocných šťávách a sirupech (WHO 2002).

Monosacharidy jsou základními stavebními jednotkami složitějších sacharidů. V přírodě se monosacharidy vyskytují ve formě D-izomerů (s výjimkou L-arabiny). Pokud by byla přijata například L-glukosa, nebyla by tělem rozpoznána, a tedy ani metabolizována (Clemens et al. 2016). Z hlediska výživy jsou důležité aldohexosy a ketohexosy s obecným sumárním vzorcem $C_6H_{12}O_6$, které slouží jako energetický substrát pro fyziologické pochody v organismu. Stěžejním zástupcem je bezpochyby glukosa, dále pak fruktosa a galaktosa (McMurry 2016).

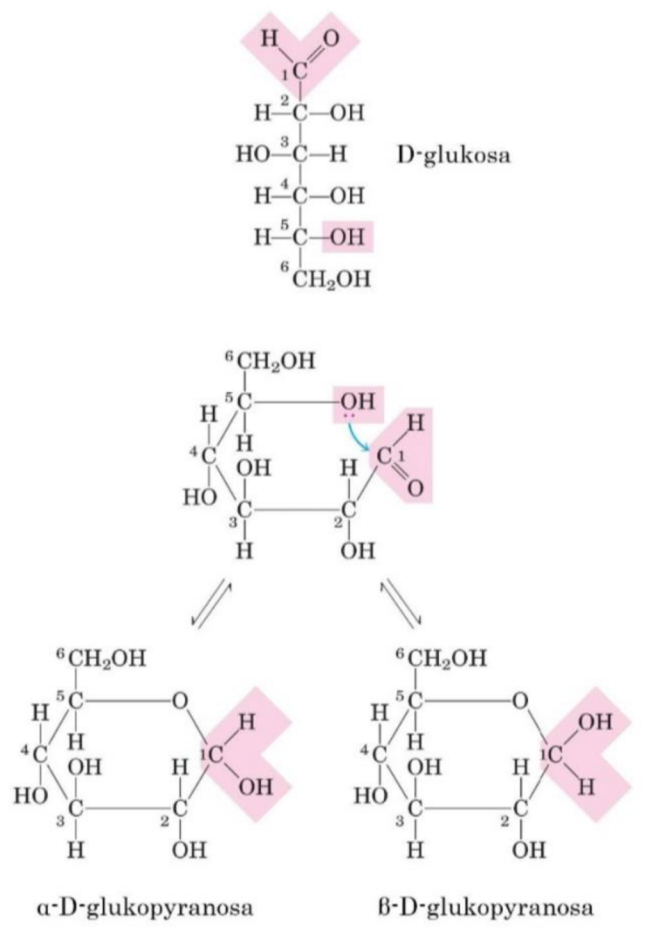
Disacharidy obsahují 2 jednotky kovalentně spojené O-glykosidickou vazbou. Pokud jsou do této vazby zapojeny obě -OH skupiny anomerních uhlíků monosacharidů, vznikají neredukující disacharidy, pokud pouze jedna, redukující (McMurry 2016). Toto se projevuje na jejich reaktivitě, kdy právě redukující sacharidy jsou díky volné -OH skupině reaktivní a zapojují se například do z potravinářského hlediska podstatné Maillardově reakce. Jedná se o jejich interakci s aminokyselinami za vzniku sensoricky aktivních sloučenin dodávajících hnědé zbarvení, chuť a vůni výrobkům, typicky pekařským, ale i nechtěných mutagenních a karcinogenních sloučenin (akrylamid) (Bezpečnost potravin 2024). Mezi nejznámější disacharidy patří sacharosa a laktosa (Nelson & Cox 2008).



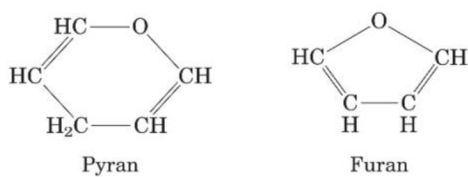
Obrázek 1: Triosy, aldosa a ketosa (upraveno dle Nelson & Cox 2008).



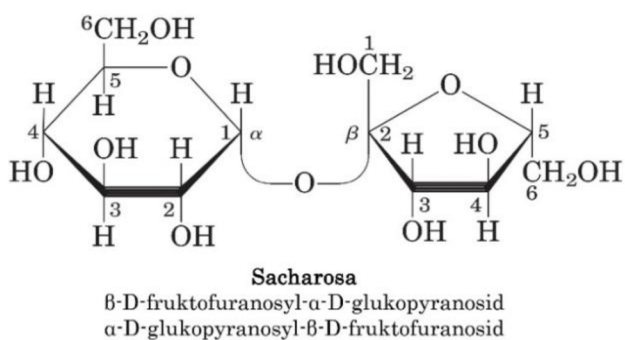
Obrázek 2: Zobrazení enantiomerů glycerinaldehydu: a) kuličkový model, b) Fischerova projekce (upraveno dle Nelson & Cox 2008).



Obrázek 3: Tvorba dvou cyklických forem D-glukosy. Reakce mezi aldehydovou skupinou na C-1 a hydroxylovou skupinou na C-5 tvoří poloacetalovou vazbu za vzniku jednoho ze dvou stereoizomerů, anomerů α a β, které se liší pouze ve stereochemii kolem poloacetalového uhlíku. Vzájemná konverze anomerů se nazývá mutarotace (upraveno dle Nelson & Cox 2008).



Obrázek 4: Heterocyklické sloučeniny pyran a furan (upraveno dle Nelson & Cox 2008).



Obrázek 5: Sacharosa, disacharid. Haworthova projekce (upraveno dle Nelson & Cox 2008).

3.1.1.1 Sacharosa

Výraz „cukr“ je obecně vnímán jako synonymum pro sacharosu, jelikož její chuť a sladivost je považována za typickou, cukrovou (Carocho et al. 2017). Sacharosa, neredukující disacharid složený z α -D-glukosy a β -D-fruktosy (Obrázek 5), tvořený výhradně rostlinami, je pravděpodobně nejrozšířenější čistou organickou chemikálií na světě (McMurry 2016). Pro své běžné využití bývá označována jako „stolní cukr“, nebo také „řepný“ či „třtinový“ vzhledem k tomu, že právě cukrová třtina a cukrová řepa jsou hlavním zdrojem, ze kterého je sacharosa získávána rafinací v podobě bílého krystalického konečného produktu. Díky své chuti a sladivosti je sacharosa považována za zlatý standard mezi cukry a hodnota její sladivosti slouží jako referenční pro stanovení relativních sladivostí všech dalších sladidel. Za fyziologických teplot (32-38 °C) je vnímána jako nejsladší a s její stoupající koncentrací, překvapivě, sladivost klesá. Ačkoliv je chuť sacharosy obecně popisována jako čistě sladká, objevují se sensorické odlišnosti v závislosti na zdroji, ze kterého je získávána. U cukrové třtiny například karamelové a ovocné aroma, u cukrové řepy syrové, zemité, ořechové. Pokud sacharosu skombinujeme s jiným sladidlem, například s fruktosou, glukosou, xylitolem a dalšími intenzivními sladidly, můžeme její sladivost zvýšit. Dalším způsobem, jak obohatit/změnit chuť (od karamelové po spálenou) a i barvu (od světle hnědé až po černou) sacharosy, je karamelizace (tepelný rozklad) (Clemens et al. 2016).

Historie cukru

Po dlouhou dobu v historii lidstva byl cukr ceněn jako lék a kvůli své vysoké ceně považován za symbol společenského postavení. Cukrářský průmysl, jako jeden z nejstarších, měl silný vliv na ekonomický, politický a společenský vývoj po celém světě. Prvními uživateli cukru, byli již pravděpodobně naši prehistoričtí předci, kteří objevili, že žvýkání cukrové třtiny přináší sladkou chuť. Ovšem prvními zpracovateli cukrové třtiny byli kolem roku 9000 př.n.l. Polynésané. Pěstování cukrové třtiny a zpracování třtinového cukru se světově rozšířilo na přelomu milénia (Indie, Persie, Středomoří, východní a severní Afrika) a kolem roku 600 n.l. se dostalo do Španělska (Clemens et al. 2016).

Expanze „nového koření“ v Evropě nastala ve 13. století. Komericializaci třtinového cukru přispěly i Portugalské kolonizace v 15. století na Americký kontinent. Britští kolonizátoři dokonce založili v 17. století na Barbadosu monopol na obchod s cukrovku třtinou pro Evropu. Za Napoleonských válek (1803-1815) došlo k zastavení veškerého vývozu do Evropy, což vedlo k hledání náhradního zdroje cukru a byl objeven řepný cukr. První cukrovar vznikl ve Francii v roce 1812. Poté co evropský trh zaplavilo levné ruské obilí, museli farmáři přejít k výnosnějším plodinám, jako byla právě cukrová řepa. Konkurenceschopnost Evropy vůči Británii byla podpořena evropskými vládami zavedením dotací. Británie byla tedy donucena odstranit v 70. letech 19. století vysokou daň na cukr. Takové zlevnění cukru vedlo ke zvýšení jeho spotřeby v podobě sladkých zavařenin a sušenek, a dokonce částečně nahradil i plodiny

jako brambory a různé druhy zeleniny. Rapidní nárůst konzumace cukru je dobře patrný z vývoje v Anglii, který byl od 2 kg na jedince za rok v 18. století, přes 5 kg na začátku 19. století, až po 21 kg v 70. letech 19. století. Celková roční spotřeba cukru řepného a třtinového v Evropě vzrostla ve 20. století přibližně na 45 kg per capita, nicméně tento trend se v posledních letech obrací (Clemens et al. 2016).

3.1.1.2 Glukosa

Glukosa, ve starší literatuře označována jako dextrosa, patří mezi aldosa, je šestiuhlíkatý nejrozšířenější monosacharid. U rostlin je glukosa syntetizována z oxidu uhličitého a vody v procesu fotosyntézy a skladována ve formě škrobu. Živočichy je přijímána potravou, případně syntetizována glukoneogenezí a skladována formou glykogenu (Nelson & Cox 2008). Glukosa hraje centrální roli v metabolismu sacharidů. Díky své relativně bohaté potenciální snadno štěpitelné energii slouží jako rychlý zdroj energie pro rostliny, živočichy i mikroorganismy (Nelson & Cox 2008). V těle hraje nepostradatelnou fyziologickou roli, neboť je výhradním energetickým substrátem pro červené krvinky, z čehož vyplývá i její další označení „krevní cukr“, a také hlavním zdrojem energie pro mozkové buňky (Nelson & Cox 2008; Britannica 2024). Z tohoto důvodu je zásadní v organismu udržovat fyziologickou hladinu glukosy v krvi (glykemii), která se u dospělého člověka pohybuje v rozmezí 3,9-5,9 mmol/l. Postprandiální zvýšení glykémie je hodnoceno glykemickým indexem (GI), což je systém, klasifikace potravin obsahujících sacharidy podle jejich schopnosti zvyšovat hladinu glukosy v krvi. S GI glukosy, který má hodnotu 100, se porovnávají ostatní sacharidové zdroje potravy (Sieri & Krogh 2017). Platí zásada, že čím pomalejší je rychlost vstřebávání sacharidů, tím nižší je vzestup hladiny glukosy v krvi a tím nižší je hodnota glykemického indexu (Qi & Tester 2019).

Její název pochází z řeckého slova *glykys* (= sladký) (Britannica 2024), z čehož vyplývá její hlavní sensorická vlastnost. Je přírodním sladidlem například v ovoci – bývá proto také pojmenována jako „hroznový cukr“, či v medu (Nelson & Cox 2008). Dosahuje 50-70% sladivosti sacharosy, kdy α -D-glukosa byla shledána jako sladší než její β -anomer. Se zvyšující se koncentrací glukosy sladivost sice roste, ale také se objevuje hořká pachůť (Clemens et al. 2016).

3.1.1.3 Fruktosa

Fruktosa, ketohexosa, nejsladší ze všech sacharidů (Witek et al. 2022), je označována jako „ovocný cukr“ vzhledem k jejímu přirozenému výskytu v mnoha druzích ovoce (Nelson & Cox 2008). Může být buďto vázaná ve struktuře sacharosy, nebo volná ve formě monosacharidu. Používá se jako komponenta do kukuřičného sirupu s vysokým obsahem fruktosy a glukoso-fruktosového sirupu. Její sladkost je čistá s mírně ovocnou příchutí a intenzita závisí na pH a teplotě, kdy při nižší teplotě jejího roztoku převazuje sladší α -fruktosa než její β -anomer (Clemens et al. 2016), standardně se uvádí, že je až 1,7krát sladší

než sacharosa (Goldfein & Slavin 2015). Nástup a odeznění sladké chuti je ve srovnání se sacharosou rychlý. Fruktosa vykazuje synergii v mixech se sacharosou i intenzivními sladidly jako je sukralosa, aspartam, sacharin, cyklamát, xylitol a acesulfam K. Zlepšuje chuť a texturu potravinových systémů, kdy například v pečivu ovlivňuje texturu snižováním teploty želatinizace škrobu a také barvu a chuť, jelikož patří mezi redukující sacharidy, tak jako všechny monosacharidy a podléhá tedy Maillardově reakci (Clemens et al. 2016).

Ač je toto hojně využívané sladidlo považováno za „zdravější“, vzhledem k velmi nízkému glykemickému indexu, neznamená to, že by jeho konzumace neměla být regulována. Pokud je fruktosa přijímána v přílišném množství, její nadbytek se hromadí, a jelikož je metabolizována téměř výhradně v játrech (Varzakas et al. 2012), podporuje jaterní lipogenezi (Edwards et al. 2016), především viscerálního tuku, který může mít negativní vliv na lidské zdraví (Witek et al. 2022), ve smyslu zvyšování rizika kardiovaskulárních chorob (Varzakas et al. 2012). Dalším negativem požití velkého množství fruktosy může být, že tenké střevo nebude schopno fruktosu plně absorbovat a dojde k jejímu průchodu do tlustého střeva, kde bude fermentována střevním mikrobiomem, a tedy působit střevní obtíže (Elia & Cummings 2007).

Ačkoliv má fruktosa stále stejnou molekulární strukturu, ať už bude uvažovaná ta v čištěném sladidle či přirozeně se nacházející v ovoci, její vliv na lidský organismus bude přeci jen odlišný. Ovoce obsahuje mnoho prospěšných látek (např. vlákninu, minerály, vitamíny, antioxidanty atd.), o které jsou sladidla ochuzena. Sladidla jsou tedy potenciálně snadněji absorbována ze střeva, a dále jsou zdrojem mnohem koncentrovanější energie vzhledem k tomu, že ovoce obsahuje velké množství vody (~90 %) na rozdíl od sladidel. Z objemových důvodů je tedy méně pravděpodobné překročení příjmu doporučeného denního množství cukrů obecně ovocem než sladidlem (Qi & Tester 2019).

3.1.1.4 Galaktosa

Galaktosa, aldohexosa, se přirozeně vyskytuje převážně ve spojení s glukosou v disacharidu laktose. Má jemnou sladkou rychle odeznívající chuť s relativní sladivostí 32-54% v závislosti na koncentraci. A opět je její α -anomer sladší než β . U roztoků galaktosy se objevují příchutě jako například dřevitá nebo olovnatá (Clemens et al. 2016).

3.1.1.5 Laktosa

Laktosa je pro svůj výskyt známá také jako „mléčný cukr“ skládající se z β -D-galaktosy a α - či β -D-glukosy. Patří mezi redukující cukry (McMurry 2016). Laktosa je jemně sladká bez výrazných pachutí. Dosahuje pouze 15-40% sladivosti, která narůstá s koncentrací. Na rozdíl od většiny cukrů, u laktosy shledáváme sladší její β -formu. Pro své skvělé funkční vlastnosti, je laktosa ideální ingrediencí, která zlepšuje texturu, viskozitu, nese a zvýrazňuje příchutě (mléčné výrobky) a přispívá k hnědnutí (pečivo), aniž by produkt přesladila (Clemens et al. 2016).

3.1.2 Metabolismus sacharidů a cukrů

Metabolismus sacharidů začíná jejich trávením, které je již v malé míře započato v ústech za pomoci slinné α -amylasy (neboli ptyalinu; EC 3.2.1.1). Činností tohoto enzymu dochází k hydrolytickému štěpení alfa-1,4-glykosidové vazby polysacharidů na jednodušší sacharidy, co se týče přímo cukrů, ty jsou štěpeny až v tenkém střevě epiteliálními enzymy (Dashty 2013). Některé nevstřebané/nevstřebatelné složky potravy jsou posouvány trávicím traktem dále až do tlustého střeva, kde mohou následně podléhat fermentaci střevní mikrobiotou za vzniku plynů vedoucí ke střevním obtížím jako je nadýmání a k podpoře mikrobiálního přerůstání (Pang et al. 2021).

Stěžejním místem trávení sacharidů je duodenum (dvanáctník), do kterého jsou nervově a humorálně sekretovány pankreatické trávicí šťávy včetně pankreatické α -amylasy, katalyzující další rozklad polysacharidů, které nebyly zcela rozštěpeny ptyalinem, vzhledem ke krátké době setrvání potravy v dutině ústní. Enterocyty (střevní epitelové buňky) kartáčového lemu produkují specifické enzymy disacharidasy (např. sacharasa, maltasa, laktasa), jejichž činnost je klíčová pro závěrečnou fázi trávení sacharidů, neboť štěpí disacharidy na jednotlivé monosacharidy, které mohou být následně absorbovány stěnou tenkého střeva do krevního řečiště. Tato absorpce, zprostředkovaná specifickými přenašeči monosacharidů obsaženými v tenkém střevě, může a nemusí vyžadovat dodání energie ve formě adenosintrifosfátu (ATP) (Nakrani et al. 2023). Mechanismus přenosu je tedy dvojitý, jednak aktivním transportem pomocí sodíkem řízených kotransportérů monosacharidů (SGLT) závislých na dodání energie, ale také prostřednictvím gradientových koncentračně závislých transportérů glukosy (GLUT). Pro glukosu a galaktosu to je společný transport se sodíkovými ionty přes SGLT1 a usnadněná difuze přes GLUT2, pro fruktosu usnadněná difuze přes GLUT2 a GLUT5 (Qi & Tester 2019). Glukosa, galaktosa a fruktosa jsou poté z enterocytů prostřednictvím pasivní difuze transportovány do krevního oběhu (Nakrani et al. 2023) a portální žilou až do jater, kde dochází k jejich fosforylaci a následné metabolizaci vedoucí k tvorbě energie ve formě ATP (Sigman-Grant & Morita 2003).

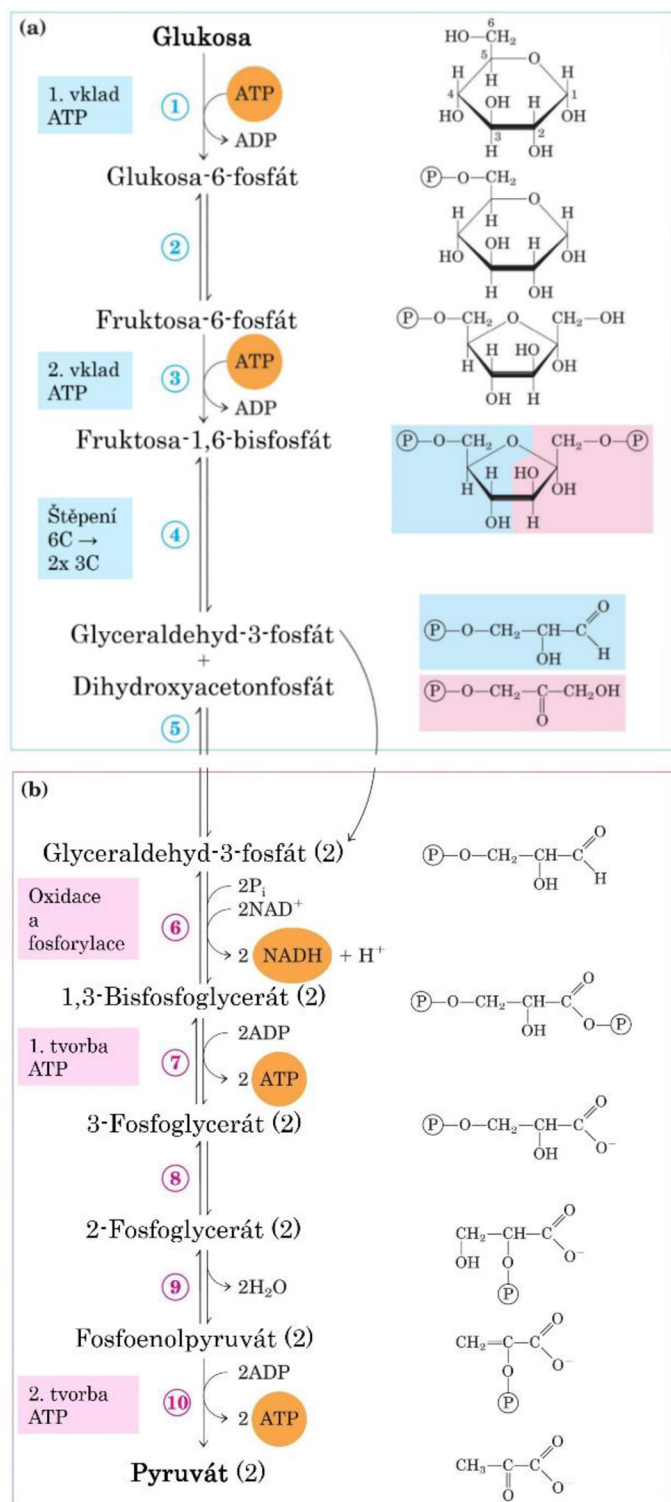
Galaktosa a fruktosa mohou být v játrech přeměněny na glukosu (Sigman-Grant & Morita 2003). V případě galaktosy dochází k fosforylaci enzymem galaktokinasou (EC 2.7.1.6.) za spotřeby molekuly ATP na galaktosa-1-fosfát, který je pak řadou reakcí za pomoci uridindifosfátu (přenašeče hexosových skupin) přeměněna na glukosu-1-fosfát (Nelson & Cox 2008). Převážná část fruktosy je metabolizována v játrech enzymem fruktokinasou (EC 2.7.1.4) katalyzující fosforylaci fruktosy převážně na C-1 (Edwards et al. 2016). Vzniklý fruktosa-1-fosfát je následně rozštěpen na glyceraldehyd a dihydroxyacetonfosfát pomocí fruktosa-1-fosfátaldolasy (EC 2.1.2.13). Oba produkty po následné úpravě vstupují do glykolytické dráhy jako glyceraldehyd-3-fosfát (Nelson & Cox 2008). Zbývající část fruktosy vstupuje do glykolýzy ve svalech a ledvinách po fosforylaci hexokinasou (EC 2.7.1.1) jako fruktosa-6-fosfát (Nelson & Cox 2008).

Glukosa je tedy do jater buďto transportována krví nebo zde vzniká přeměnou fruktosy a galaktosy. Vzhledem k tomu, že je glukosa zdrojem energie pro buňky, zůstává její část v krvi, či je uvolňována zpět do krve z jater (Sigman-Grant & Morita 2003). Její koncentrace v krvi je přísně hormonálně regulována, a to především insulinem, který snižuje hladinu glukosy v krvi zvyšováním propustnosti buněčných membrán pro glukosu, a jeho antagonistou glukagonem (Nakrani et al. 2023). Z krve je glukosa vychytávána a spotřebovávána buňkami periferních tkání a její případný přebytek uložen ve formě vysoce rozvětveného řetězce glukosových jednotek – glykogenu, zejména ve svalové tkáni. Glukosa, která nebyla uvolněna zpět do krevního oběhu může být uložena ve formě glykogenu přímo v játrech, která jsou klíčovým místem metabolismu glukosy (Sigman-Grant & Morita 2003).

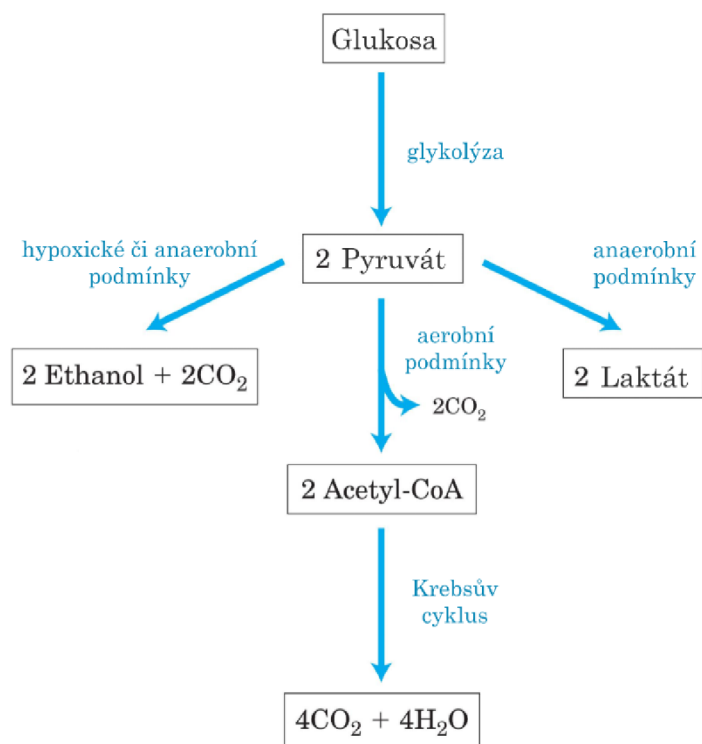
Prvním krokem využití glukosy jako energetického substrátu je centrální dráha katabolismu glukosy, zvaná glykolýza (Nelson & Cox 2008), která byla objasněna v letech 1913-1938 (Lenzen 2014). Jedná se o dvoufázový proces (vkladu a výtěžku energie) deseti na sebe navazujících chemických reakcí (Obrázek 6) vedoucích k rozštěpení molekuly glukosy na 2 molekuly pyruvátu za uvolnění energie. Nejdříve je potřeba plazmatickou membránou snadno procházející glukosu zachytit v buňce, což je zprostředkováno připojením záporně nabitého fosfátu, pocházejícího z molekuly ATP. Tedy v přípravné fázi glykolýzy je ATP investováno, čímž se zvýší obsah volné energie meziproduktů a uhlíkové řetězce všech metabolizovaných hexos se přemění na společný produkt glyceralddehyd-3-fosfát. Energetický zisk přichází ve druhé fázi, kdy vznikají dvě molekuly pyruvátu. Čistý výtěžek z jedné molekuly glukosy jsou dvě molekuly ATP, přičemž tato první část odbourávání glukosy není závislá na přítomnosti kyslíku (Nelson & Cox 2008).

Gykolýzou je uvolněna pouze část celkové potenciální energie molekuly glukosy, k maximálnímu výtěžku je třeba dále rozštěpit 2 vzniklé molekuly pyruvátu, vztahující stěžejní množství energie (Nelson & Cox 2008). Pro osud pyruvátu jsou rozhodující aerobní či anaerobní podmínky (Obrázek 7). Za přístupu kyslíku je pyruvát oxidován na acetát, jenž vstupuje do Krebsova cyklu, kde je dále oxidován na konečný produkt CO_2 (Nelson & Cox 2008). Ze dvou molekul pyruvátu je následně vyprodukováno 30 molekul ATP v procesu aerobní respirace (Chaudhry & Varacallo 2023), ve kterém kyslík plní roli příjemce elektronů při reoxidaci redukovaných kofaktorů NADH a FADH_2 (Nelson & Cox 2008).

V anaerobních podmínkách musí roli kyslíku zastoupit jiný akceptor, aby došlo k regeneraci glykolýzou generovaného NADH na NAD^+ . V lidském organismu je proto bez přístupu kyslíku pyruvát převeden mléčnou fermentací na laktát za vzniku 2 molekul ATP (Chaudhry & Varacallo 2023). Některé druhy kvasinek a bakterií jsou schopné provádět fermentaci alkoholovou, při které je pyruvát přeměněn na ethanol a oxid uhličitý (Obrázek 7) (Nelson & Cox 2008).



Obrázek 6: Schéma glykolýzy – (a) přípravná fáze (fosforylace glukosy a její konverze na glyceraldehyd-3-fosfát), (b) fáze zisku energie (oxidativní konverze glyceraldehyd-3-fosfátu na pyruvát a spřažená tvorba ATP a NADH), ① hexokinasa (EC 2.7.1.1), ② hexosafosfátisomerasa (EC 5.3.1.9), ③ fosfofruktokinasa (EC 2.7.1.11), ④ aldolasa (EC 4.1.2.13), ⑤ triosafosfátisomerasa (EC 5.3.1.1), ⑥ glyceraldehyd-3-fosfát-dehydrogenasa (EC 1.2.1.12), ⑦ fosfoglycerátkinasa (EC 2.7.2.3), ⑧ fosfoglycerátmutasa (EC 5.4.2.11), ⑨ enolasa (EC 4.2.1.11), ⑩ pyruvát-kinasa (EC 2.7.1.40) (upraveno dle Nelson & Cox 2008).



Obrázek 7: Aerobní a anaerobní přeměna pyruvátu (upraveno dle Nelson & Cox 2008).

3.1.3 Význam ve výživě

Sacharidy hrají důležitou roli v lidské stravě, spolu s bílkovinami a tuky patří mezi 3 základní makronutrienty. Jsou zdrojem energie (4 kcal/g), determinují sensorické vlastnosti potravin (chuť, textura, přijatelnost) a mají vliv na fyziologii, neboť zvyšují hladinu krevní glukosy, čímž působí na uvolňování insulínu (Nishida & Martinez Nocito 2007). Mohou přinášet zdravotní benefity, jelikož potravní zdroje sacharidů často obsahují také vlákninu (WHO 2002). Ta není pro člověka stravitelná (enzymaticky štěpitelná), zvyšuje ale pocit nasycení svým objemem, poutá na sebe složky potravy, čímž zpomaluje proces trávení v tenkém střevě, a naopak v tlustém střevě urychluje průchod zbytků potravy, a také může působit prebioticky, tedy sloužit jako hlavní substrát pro fermentaci střevními bakteriemi. Je považována jako vhodná prevence proti kolorektálnímu karcinomu (Institute of Medicine 2005).

Na druhou stranu mohou sacharidy potencovat zdravotní problémy. Zvýšený příjem cukrů podporuje množení jejich metabolizátorů v dutině ústní, jež je přeměňují na kyseliny, které demineralizují zubní sklovinu, což přispívá k progresi zubního kazu (Angarita-Díaz et al. 2022). Takovýto vztah mezi vysokou konzumací sladkých potravin a prevalencí zubního kazu potvrzuje například studie u dětí od Manzoor et al. (2021). Dále může nadbytek sacharidů, respektive cukrů, vést, mimo jiné, k obezitě, kardiovaskulárním chorobám a diabetu 2. typu (Nishida & Martinez Nocito 2007). Právě s rostoucím výskytem nadváhy a obezity, které jsou spojovány s mnoha zdravotními komplikacemi, je čím dál tím více kladen důraz na regulaci

nadměrné konzumace stravy a energie. Jedou ze strategií, jak snížit energetický příjem, je omezení cukrů, potažmo i kalorických sladidel, ve stravě na doporučené hodnoty a z nutričního hlediska je vhodné nahradit jednoduché cukry komplexními sacharidy (WHO 2002).

FAO (Organizace pro výživu a zemědělství) a WHO (Světová zdravotnická organizace) společně pravidelně přezkoumávají vědecké studie zabývající se úlohou sacharidů jako živiny (Nishida & Martinez Nocito 2007). WHO (2015) doporučila, v rámci celosvětového úsilí o zastavení vlny obezity a neinfekčních onemocnění souvisejících se stravou, jejich příjem udržovat v rozmezí 55-75 % celkového energetického příjmu, a to především v minimálně zpracované formě (preferovanými zdroji jsou celozrnné obiloviny, ovoce a zelenina), přičemž příjem volných cukrů doporučila omezit pod 10 % přijaté energie (WHO 2023), a s ohledem na vztah příjmu volných cukrů a kazivosti zubů až na méně než 5 % (WHO 2015). Naopak příjem vlákniny by měl být navýšen alespoň na 25 g denně (WHO 2023).

Teoreticky jednoduché řešení ovšem v praxi znamená především sensorickou změnu konzumovaných potravin a z výsledků WHO vyplývá, že určitá část populace se odmítá vzdát sladké chuti a nadále překračuje doporučená množství (Rios-Leyvraz & Montez 2022). Nasadě je tedy varianta, kdy budou kalorické cukry, jež jsou podstatou nebo majoritní složkou přírodních sladidel, nahrazeny sladkou látkou bez kalorií. Za takovéto bezpečné nekalorické náhrady cukrů jsou považovány chemicky různorodé látky, které poskytují sladkou chuť bez kalorií nebo glykemického efektu – bezkalorická alternativní syntetická sladidla (Pepino 2015).

3.1.4 Posuzování cukrů

Základním sensorickým parametrem pro posuzování cukrů pro konkrétní použití je jednoznačně sladká chuť. Ta se ale i v rámci jednotlivých cukrů různí především v závislosti na koncentraci a stereochemické konformaci. Některé cukry zvyšují svoji sladivost se zvyšující se koncentrací (např. glukosa, laktosa) a u některých pozorujeme opačný trend, tedy snižování sladivosti (fruktosa, sacharosa). Co se týče vlivu stereoizomerie na sladivost, tak u fruktosy, glukosy a galaktosy jsou jako sladší hodnoceny α -anomery, zatímco u laktosy je to právě β -anomer. Dalšími vlivy na sladivost jsou pH, teplota, matrice a synergické působení sladidel. Také zdroj cukru ovlivňuje chuť, například cukr pocházející z cukrové třtiny má spíše ovocné aroma, kdežto ten řepný spíše zemité (Clemens et al. 2016).

O vhodnosti použití cukrů nerozhodují pouze chuťové vlastnosti, ale i ty technologické. Cukry se totiž nepoužívají jen jako sladidla, ale také jako konzervanty a dále poskytují funkční vlastnosti potravinám: viskozitu, texturu, objem, barvu, vlhkost (Cummings & Stephen 2007).

3.1.5 Alternativní přírodní sladidla

3.1.5.1 Med

Med, tradiční přírodní sladidlo i v našich zemích, byl dokonce vůbec první dostupné sladidlo, kdy již pro *Homo sapiens* plnil důležitou energetickou složkou potravy. Ve většině starověkých kultur se pak med používal jak pro nutriční účely, tak pro lékařství (Bogdanov 2016).

Med je tvořen mnoha složkami od monosacharidů (převážně fruktosa a glukosa) a oligosacharidů (např. sacharosa, maltosa, trehalosa, raffinosa) až po různé bioaktivní látky, jako jsou polyfenoly, flavonoidy, organické kyseliny, vitaminy nebo enzymy (Bogdanov 2016). Právě díky těmto bioaktivním látkám není med jen sladidlem s nízkou glykemickou zátěží, ale je považován za zdravotně přínosný (kardioprotektivní, hypoglykemický, protizánětlivý), ačkoli tato zjištění jsou omezena na potkany a modelové buněčné linie (Erejuwa et al. 2012). Studie od Kajiwara (2002) u lidí naznačuje pozitivní prebiotický efekt především na Bifidobakterie. Je třeba podotknout, že studie hodnotí účinky jednotlivých složek, ne medu jako takového (Mora & Dando 2021), a také základní mechanismy, kterými tak mohou činit, zůstávají nejasné (Edwards et al. 2016).

Protože je med produkován včelami z nektarů různých květů, jeho složení, chuť, aroma a barva se různí. Obecně je med s vyšším obsahem fruktosy (např. akáciový) sladší než ten s vyšší koncentrací glukosy (např. řepný) (Bogdanov 2016). Podrobněji by chuť medu mohla být popsána jako sladká, intenzivní, hořká, svíravá, bylinná, květinová, ovocná, vosková, jaggerovitá (chuť nerafinovaného hnědého cukru vyrobeného z palmové mízy), chemická a karamelizovaná (Mora & Dando 2021).

Tento přírodní sladký produkt poskytuje 3 kcal/g. Med by tak mohl sloužit jako efektivní náhrada cukrů vzhledem k nižšímu kalorickému příspěvku, také díky možným zdravotním přínosům (Mora & Dando 2021) a pravděpodobnosti, že nemá žádný vliv, nebo má jen slabý vliv na obezitu ve srovnání s čistou fruktosou. K potvrzení takových předpokladů bude však potřeba provést další testy se studiemi lidské výživy, prováděnými s různými medy, jak uvádí Bogdanov (2016).

3.1.5.2 Stévie

Ač je stévie přírodní sladidlo izolované z listů jihoamerické rostliny *Stevia Rebaudiana Bertoni* (Shankar et al. 2013) a má v Jižní Americe dlouhou tradici používání jak ve formě rostliny, tak extraktu (Mortensen 2006), mohlo by být také považováno za semi-syntetické, a to z důvodu, že v EU není povoleno užívání listů, ale pouze purifikovaných steviol glykosidů. Nejvýznamnějšími jsou steviosid a rebaudiosid, které jsou z rostliny extrahovány horkou vodou a poté rekrystalizovány v hydroalkoholovém roztoku (Carocho et al. 2017). Právě tyto glykosidy jsou zodpovědné za intenzivní sladkou chuť (Kasti et al. 2022), která je 200-300krát sladší než sacharosy (Mortensen 2006).

Jedná se o bezkalorické sladidlo, jelikož steviol glykosidy nejsou v lidském gastrointestinálním traktu (GIT) hydrolyzovatelné pomocí enzymů a kyselin. Jediným činitelem hydrolyzy jsou bakterie rodu *Bacteroides* v tlustém střevě, které jsou schopné ze steviol glykosidů vytvořit steviol, jež je již rezistentní bakteriální degradaci (Basson et al. 2021). Některá data indikují potenciální genotoxicitu tohoto metabolitu (Mortensen 2006). Nicméně z převážné části je tento steviol absorbován a konjugován s glukuronovou kyselinou v játrech a vyloučen močí, zbylé malé množství steviolu je eliminováno stolicí (Basson et al. 2021).

Někteří zastánci stévie tvrdí, že bezpečnost tohoto sladidla byla dostatečně prokázána jeho historií zjevně bezpečného používání v Jižní Americe a v poslední době také v Japonsku, kde se používala ke slazení nakládané zeleniny a dalších potravin. Kromě toho tvrdí, že přírodní rostlinný produkt, jako je stévie, nemusí podléhat stejnému typu vědeckého hodnocení, jaký je vyžadován u syntetických potravinářských přídatných látek. Pouhá skutečnost, že látka je „přírodní“, však neprokazuje, že je bezpečná. Mnoho přírodních rostlinných komponentů je toxických (Kroger et al. 2006).

Stévie je proto podrobována zkoumání ve spojitosti se zdravotními benefity. Pozitivní efekt přímo na lidský organismus byl pozorován u pacientů s hypertenzí. Co se týče dalších jejich sledovaných parametrů – zvýšení insulinové senzitivity a glukosové tolerance, byly účinky stévie testovány na hlodavcích, ovšem k učinění závěrů ohledně její bezpečnosti a účinnosti u lidí jsou potřeba data vycházející z hodnocení na lidech (Shankar et al. 2013). Autoři Kasti et al. (2022) uvádí, že byly u stévie prokázány *in vitro* a *in vivo* příznivé účinky na lidské zdraví, konkrétně antivirové, protizánětlivé a imunomodulační. Celkově hodnotí stévii jako nadřazenou, léty používání ověřenou variantu, nad sacharosou a umělými sladidly. Nespornou výhodou stévie je její vhodnost jako náhrady cukru pro diabetiky. Dále stabilita při ohřevu, což z ní činí excelentní sladidlo pro vaření a pečení (Chattopadhyay et al. 2014). A také se nemění její vlastnosti v rozmezí pH 2-10. Sladivost stévie je čistá, i když některé její komponenty mají hořkou chuť (Carocho et al. 2017).

Popularita sladidel získávaných z přírody roste, stévii nevyjímaje, a tak ji nalezneme v širokém sortimentu produktů jako jsou zmrzliny, jogurty, koláče, omáčky, nápoje, chléb, pečivo, ochucené mléko, koření a samozřejmě se používá jako stolní sladidlo (Carocho et al. 2017).

3.1.6 Alternativní syntetická sladidla

Jak již název napovídá, jedná se o alternativy klasických kalorických sladidel, a to především sacharosy. V EU smějí být v potravinářství používána pouze povolená sladidla (Evropská komise 2011), jejichž bezpečnost byla vyhodnocena orgány jako je Vědecký výbor pro potraviny při Evropské komisi (Scientific Committee on Food – SCF) a Společný výbor expertů FAO/WHO pro potravinářská aditiva (Joint Food and Agriculture Organization/World Health Organization Expert Committee on Food Additives – JECFA) (Mortensen 2006). Evropský úřad pro bezpečnost potravin (European Food Safety Authority – EFSA), nebo Úřad

pro kontrolu potravin a léčiv (Food and Drug Administration – FDA) v USA, nerozlišuje sladidla na syntetická, přírodní, intenzivní apod. Všechna alternativní (náhradní) sladidla jsou v Evropské unii regulována normou EU 1129/2011 (Tabulka 2) (Evropská komise 2011).

Tabulka 2: Náhradní sladidla (upraveno dle Evropské komise 2011).

Číslo označení E	Název
E 420	Sorbitol
E 421	Mannitol
E 950	Acesulfam K
E 951	Aspartam
E 952	Kyselina cyklamová a její sodná a vápenatá sůl
E 953	Isomalt
E 954	Sacharin a jeho sodná, draselná a vápenatá sůl
E 955	Sukralosa
E 957	Thaumatococcus
E 959	Neohesperidin DC
E 961	Neotam
E 962	Sůl aspartamu-acesulfamu
E 965	Maltitol
E 966	Laktitol
E 967	Xylitol
E 968	Erythritol

Část odborné literatury, například již zmíněný Carocho et al. (2017), či Mortensen (2006), se však shoduje v rozdělení alternativních sladidel na základě jejich různé relativní sladivosti na 2 podkategorie – intenzivní a objemová. Pro přehlednost bylo pro účely této práce zvoleno právě toho členění.

Pro každé povolené sladilo byla určena akceptovatelná denní dávka (ADI). Jedná se o množství potravinového aditiva, které může být přijímáno denně po celý život bez jakéhokoliv znatelného zdravotního rizika, vyjádřeno v mg/kg tělesné váhy. Výjimku tvoří objemová sladidla, u nichž se udává množství nezbytné k dosažení požadovaného efektu (*quantum satis*) (Mortensen 2006; Evropská komise 2011).

Souhrnně jsou umělá sladidla přidávána do potravin nejen pro oslazení a vylepšení chuti, ale také pro zvětšení objemu a další své výhodné technologické vlastnosti. Nejnověji stoupá jejich komerční využití jakožto substituentů cukrů ke snížení příjmu kalorií a samozřejmě pro diabetiky (Mortensen 2006; Basson et al. 2021).

3.1.6.1 Intenzivní sladidla

Pojmenování této skupiny sladidel vychází z vysoké intenzity sladivosti dosahované již při použití velmi malých koncentrací těchto různorodých látek. Z tohoto důvodu je jejich energetická hodnota zanedbatelná a jsou označována jako intenzivní sladidla nízkokalorická. Většina intenzivních sladidel dokonce kalorie neobsahuje vůbec, respektive nejsou v organismu rozpoznána a štěpena, díky čemuž procházejí relativně nezměněna (Mortensen 2006). Obecně tak nevykazují například efekt na glykémii, nestimulují uvolňování insulínu, neinteragují s mikrobiotou střevní ani orální (Shankar et al. 2013), tato jsou nazývána jako bezkalorická. U některých zástupců (sacharin, sukralosa, aspartam) je pozorován a vysvětlován antikavitační účinek nejen tím, že tyto sloučeniny jsou odolné vůči fermentaci orálními bakteriemi produkujícími kyseliny, které mohou poškozovat zubní sklovinu, ale také díky jejich prokázaným bakteriostatickým účinkům (Pepino 2015).

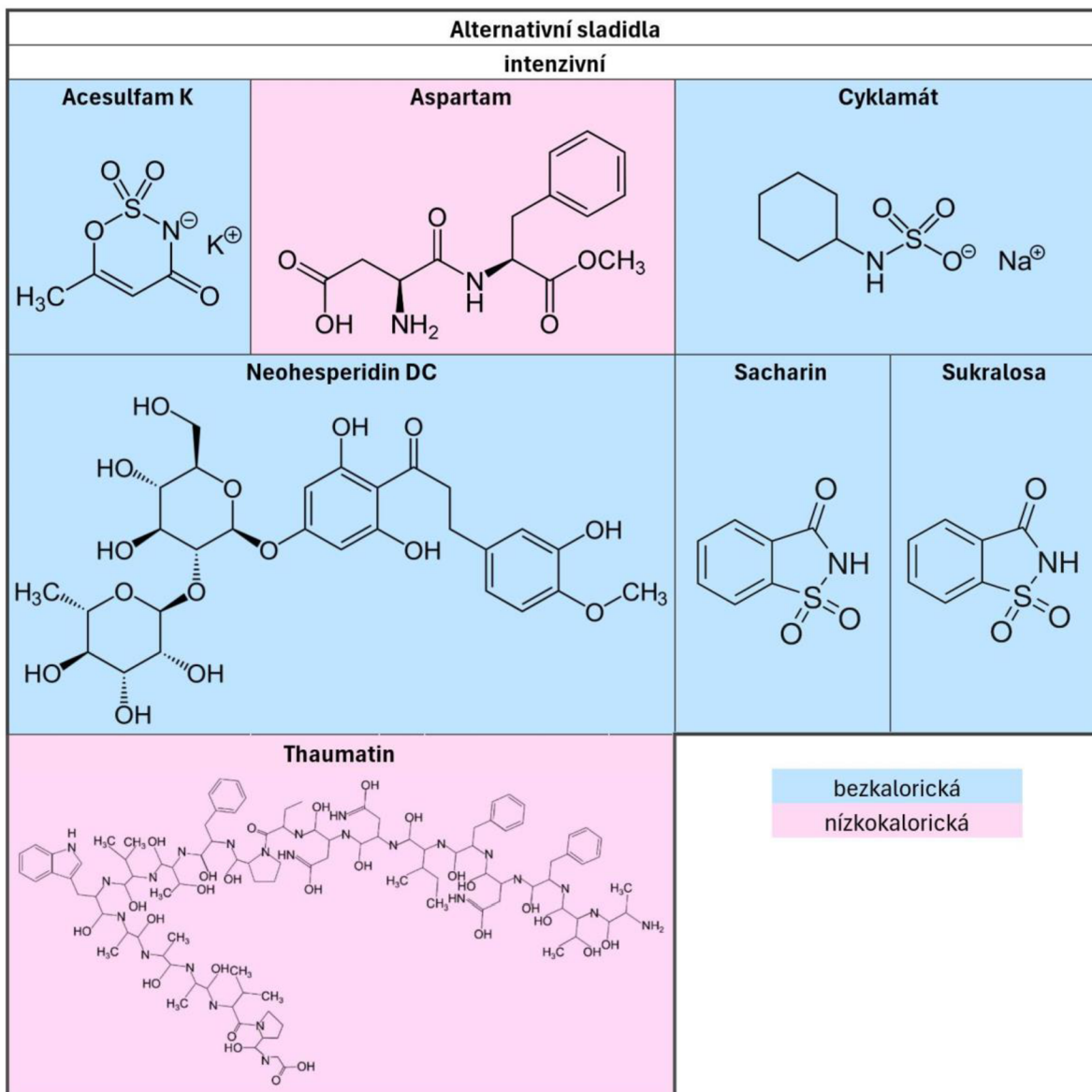
Ve spojení s intenzivními sladidly bývá často užíváno označení „umělá“, jelikož je většina z nich produkována chemickými syntézami (Mortensen 2006). Umělá sladidla poprvé vstoupila do potravinářského průmyslu v 19. století (Basson et al. 2021). Tato skupina látek, jako jsou například acesulfam K; aspartam; cyklamová kyselina a její sodné a vápenaté soli; sacharin a jeho sodné, draselné a vápenaté soli; sukralosa; neohesperidin DC a thaumatín; se liší svým chemickým složením (Obrázek 8) (EFSA NDA 2011), z čehož vyplývají i jejich další odlišnosti, jako například síla sladivosti, pachut', metabolismus, použití atd. (Pang et al. 2021).

Acesulfam K

Acesulfam K (ace-K) neboli draselná sůl acesulfamu, byla náhodně objevená v roce 1967 (Basson et al. 2021). Chemicky náleží do třídy sulfonamidů, které jsou známy svými bakteriostatickými účinky (Wąsik et al. 2023). Nepodporuje vznik zubního kazu (Kroger et al. 2006), podobně jako antimikrobiálně působící sacharin a cyklamát (Basson et al. 2021). Ace-K je dobře rozpustný ve vodě, tepelně i časově stabilní a stejně tak je i stabilní v širokém rozsahu hodnot pH (Mortensen 2006).

Sladivost ace-K je 200krát větší, než má sacharosa. Ačkoli patří mezi jedno z nejpoužívanějších umělých sladidel, není jeho chuťový profil optimální, a proto se typicky kombinuje s ostatními umělými sladidly k dosažení „cukrovější“ chuti. Je bezkalorický, tělem prochází nezměněn a je vylučován ledvinami (Shankar et al. 2013). Což i znamená, že navzdory jeho obsahu draslíku, neovlivňuje hladinu draslíku v těle (Kroger et al. 2006).

Bezpečnost ace-K byla několikrát přezkoumávána a nadále je povolen pro široké spektrum potravinářských produktů a nápojů (Mortensen 2006). Ačkoli odolává záhřevu a je vhodný na vaření a pečení, nejvíce je používán v bonbónech, nápojích a mražených dezertech (Basson et al. 2021).



Obrázek 8: Chemické struktury alternativních sladidel intenzivních (upraveno dle Mortensen 2006; Carcho et al. 2017; Bilal et al. 2022).

Aspartam

Aspartam je methyl ester dipeptidu asparagové kyseliny a L-fenylalaninu (Basson et al. 2021). Sladkou chuť aspartamu objevil náhodně v roce 1965 chemik James Schlatter, který si olízl prst potřísněný touto chemikálií, při vývoji léku proti vředům (Wąsik et al. 2023). Jeho výroba spočívá ve vytvoření methyl esterové vazby mezi L-fenylalaninem a asparagovou kyselinou (Carcho et al. 2017). Tato vazba je ve střevě hydrolyzovatelná enzymy z řady esterasy, které štěpí estery na kyseliny a alkoholy, a peptidas, ty štěpí bílkoviny na menší bílkoviny, peptidy či až na aminokyseliny. Činností těchto enzymů může být aspartam rozložen na aspartát, fenylalanin a methanol, které pak dále podléhají obvyklým metabolickým

procesům. V případě aminokyselin může podle potřeb organismu docházet k dekarboxylaci, deaminaci, transaminaci, či syntéze peptidů a bílkovin. Methanol je odbouráván alkoholdehydrogenasou (EC 1.1.1.1) v játrech na formaldehyd a následně aldehyddehydrogenasou (EC 1.2.1.3) na mravenčí kyselinu, která je pak rozkládána na CO₂ a H₂O, stejně tak, jako by to bylo po požití ovoce, zeleniny, masa a mléčných výrobků (Basson et al. 2021). Ač je methanol ve velkém množství pro organismus toxický, zde ho vzniká výrazně méně než třeba po požití ovocných džusů (Kroger et al. 2006). Kvůli uvolňování fenylalaninu, musí být produkty obsahující toto nízkokalorické sladidlo označeny upozorněním o obsahu fenylalaninu, který je nebezpečný pro fenylketonuriky, vzhledem k dědičnému nedostatku jaterního enzymu fenylalaninhydroxylasy (EC 1.14.16.1) způsobujícího hromadění fenylalaninu v krvi a tkáních lidského těla u těchto osob.

Aspartam poskytuje 4 kilokalorie na gram, stejně jako proteiny nebo sacharidy, ale protože je cca 180krát sladší než cukr, používá se v tak malém množství, že je jeho kalorický přínos zanedbatelný (Kroger et al. 2006). Další jeho výhoda oproti cukrům tkví v tom, že po požití nevyvolává stejné odpovědi v mozku nebo slinivce jako cukry, tedy neovlivňuje hladinu insulinu, na druhou stranu může způsobovat vedlejší efekty, jako jsou závratě, bolesti hlavy, zažívací potíže a změny nálad (Shankar et al. 2013).

Kvůli nahořklé pachuti je aspartam často kombinován s dalšími sladidly (ace-K, cyklamát, sukralosa). Není vhodný pro použití při tepelných úpravách potravin, jelikož není termostabilní, rozpadá se na výchozí složky a ztrácí tak svoji sladivou vlastnost. Při hodnotách pH vyšších než 6 se může transformovat na karcinogenní diketopiperazin, jež je také v těle rozkládán na aspartát a fenylalanin, ale mnohem pomaleji (Basson et al. 2021).

Již v letech 1984 a 1988 byl aspartam z důvodů zdravotní bezpečnosti důkladně hodnocen SCF a byl povolen několika členskými státy pro použití v potravinách a jako stolní sladidlo. Evropskou legislativou bylo následně v roce 1994 harmonizováno jeho použití v potravinách (EFSA 2011). Nejaktuálnější informací týkající se bezpečnosti aspartamu, je zařazení tohoto sladidla na seznam potenciálních karcinogenů Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny (International Agency for Research on Cancer – IARC), která působí při WHO. Tato zpráva silně zarezovala společnosti. Kontext je ovšem takový, že na tomto seznamu je zhruba 300 položek jako jsou například *Aloe vera*, nakládaná asijská zelenina, kávová kyselina, extrakt z *Ginkgo biloba* a důvodem pro zařazení je nedostatečnost dosavadních vědeckých výzkumů ohledně vlivu aspartamu na vznik rakoviny (IARC 2023; Riboli et al. 2023).

Přes všechny kontroverzní informace, představuje aspartam stále jedno z nej-používanějších sladidel v potravinářství a je hojně přidáván do dezertů, jogurtů, zmrzlin, sladkostí, marmelád, nebo omáček (Mortensen 2006).

Cyklamát

Cyklamát je sodnou nebo vápenatou solí cyklamové kyseliny (cyklohexylsulfamové kyseliny), který byl objeven v roce 1937 a původně byl používán k maskování hořké chuti určitých léků, až později jako sladidlo do potravin. Má sice 30krát větší sladivost než sacharosa

(Chattopadhyay et al. 2014), ale z intenzivních sladidel je to nejnižší hodnota (Mortensen 2006). Pro tuto svojí nízkou sladivost a hořkou pachutí je používán v synergii nejčastěji se sacharinem. Výhodou jeho použití v potravinách a nápojích je dobrá rozpustnost ve vodě, stabilita v teple i chladu a skladovatelnost (Mortensen 2006; Chattopadhyay et al. 2014).

Cyklamát není u většiny lidí metabolizován a absorbovaná část je vyloučena močí nezměněná. Velmi individuálně může být neabsorbovaná část přeměněna střevní mikrobiotou na cyklohexylamin, což je toxická sloučenina pravděpodobně způsobující záněty močového měchýře u laboratorních krys (Mortensen 2006).

Cyklamáty jsou velmi dobrým příkladem legislativních rozporů mezi EU a USA. V Evropské unii se v potravinách používat smí, zatímco ve Spojených státech padl roku 1970 úplný zákaz kvůli případné metabolizaci cyklamátů na cyklohexylamin. Přestože pozdější studie poukázala na to, že k této metabolizaci dochází pouze u malého množství populace, k odstranění zákazu to nestačilo a stále se čeká na další údaje (Carocho et al. 2017) a cyklamáty zůstávají schváleny ve více než 50 zemích světa (Basson et al. 2021).

Neohesperidin DC

Neohesperidin DC (neohesperidin dihydrochalcon) je flavonový glykosid, chemicky připravovaný analog přírodních látek mnoha rostlin (například citrusů) (Mortensen 2006). Z tohoto důvodu ho pravděpodobně Carocho et al. (2017) označuje jako semi-naturalní intenzivní sladidlo (intense semi-natural sweetener).

Absorbován není v těle téměř vůbec, je ovšem metabolizován střevní mikrobiotou (Mortensen 2006).

Je přirozeně hygroskopický, stabilní za vysokých teplot (např. při pasteraci) a v horké vodě dobře rozpustný. Sladivost má 1500krát silnější než glukosa, s pomalým nástupem a mentolovou pachutí (Carocho et al. 2017). Používá se nejen pro své sladící, ochucovací a zahušťovací vlastnosti v mnoha výrobcích, jako jsou dezerty, jogurty, zmrzliny, džemy, omáčky, žvýkačky, ale jeho další funkcí je maskování nechtěných pachutí jiných sladidel. Jako sladidlo byl EU schválen v roce 1994 (EFSA NDA 2011). V USA smí být použit pouze jako zvýrazňovač chuti (Carocho et al. 2017).

Sacharin

Sacharin (1,2-benzisothiazol-3-on-1,1-dioxid) byl objeven v roce 1879. Původní výroba oxidací o-toluensulfonamidu nebo anhydridu ftalové kyseliny, byla v roce 1950 vylepšená na metodu syntézy spočívající v diazotaci anthranilové kyseliny (Basson et al. 2021).

Sacharin je nejstarší syntetické sladilo (Mora & Dando 2021). Velmi populární náhražkou cukru ve stravě lidí s cukrovkou a jinými zdravotními potížemi se stal již v 1. polovině 20. století. Dalším faktorem vzrůstu jeho používání byla situace za obou světových válek, kdy byl cukr v Evropě striktně přidělový a byla potřeba ho něčím nahradit. Ve Spojených státech byl mezi lety 1970 a 1981 jediným dostupným nízkokalorickým sladidlem. Sacharin je

nejlevnějším bezkalorickým sladidlem, a proto je i dnes široce používán, i když je jeho sladká chuť doprovázena hořkostí (Kroger et al. 2006).

Toto nejstarší nevyhledávanější bezkalorické sladidlo není v GIT metabolizováno, neovlivňuje tedy hladinu insulinu v krvi, díky čemuž je použitelnou alternativou cukru pro diabetiky (Shankar et al. 2013). Těhotným a kojícím ženám ale není doporučován, protože ač je z těla vylučován močí, může přejít přes placentu a do mateřského mléka (Carocho et al. 2017).

Sacharin jako takový je velmi málo rozpustný ve vodě, a tak jsou zpravidla používány jeho vysoce rozpustné sodné nebo vápenaté soli (Chattopadhyay et al. 2014). Je 200-700krát sladší než cukr a tato hodnota při zahřívání neklesá (Shankar et al. 2013). Se zvyšující se koncentrací sacharinu se zvyšuje nejen sladkost ale i hořkost. Ke zmírnění této hořkosti se často mísí s cyklamátem (Mora & Dando 2021). Sacharin je znám především ve formě stolního sladidla, ale kromě toho je využíván v různých potravinářských výrobcích, jako jsou cukrovinky, nápoje, pečivo, dresinky, žvýkačky, ale také v léčivech, vitamínech, zubní pastě, ústní vodě nebo kosmetických přípravcích (Shankar et al. 2013).

V současné době je sacharin v potravinářství schválen pro vaření nebo stolní použití a pro zpracované potraviny. (Basson et al. 2021). Ovšem co se jeho bezpečnosti týče, má za sebou poměrně kontroverzní historii. Dle National Cancer Institute (2023) byl na základě studií na krysách v 70. a 80. letech 20. století od Tisdell et al. (1974), Arnold et al. (1980), Taylor et al. (1980) Schoenig et al. (1985) na několik let zařazen mezi potenciální karcinogeny a produkty obsahující sacharin musely být označeny varováním o jeho potenciální karcinogenitě pro člověka, ačkoliv žádná asociace mezi užíváním sacharinu a rakovinou u lidí nebyla neprokázána.

Sukralosa

Sukralosa, neboli z chemického hlediska 1,6-dichloro-1,6-dideoxy- β -D-fruktofuranosyl-4-chloro-4-deoxy- α -D-galaktopyranosid, byla objevena v roce 1976. Pravděpodobně právě z důvodu, že je vyráběná ze sacharosy náhradou tří hydroxylových skupin třemi atomy chloru, je její chuťový profil velmi podobný cukru, a navíc je 450-650krát sladší než samotná sacharosa. Je rozpustná ve vodě, tepelně stabilní a odolná v širokém rozsahu pH (Chattopadhyay et al. 2014).

Na druhé straně, ač je odvozena od sacharosy, v těle není rozpoznána jako sacharid a díky tomu projde relativně nezměněná. Navíc výzkumy prokázaly bezpečnost jejího používání napříč populací, těhotné a kojící ženy nevyjímaje (Shankar et al. 2013).

Toto bezkalorické sladidlo je schváleno v široké škále potravin a nápojů, jako jsou nealkoholické nápoje, dezerty, zmrzliny, cukrovinky, zavařeniny a pomazánky (Mortensen 2006).

Thaumatín

Thaumatín je proteinové sladidlo rostlinného původu, jehož hlavní složkou jsou dva proteiny thaumatín I a II s téměř totožným aminokyselinovým spektrem s několika záměnami v pozicích aminokyselin (Joseph et al. 2019). Získává se vodnou extrakcí z plodů africké rostliny *Thaumatococcus daniellii* (Benth.) (Mortensen 2006).

V organismu je metabolizován obdobným způsobem jako jiné proteiny a poskytuje tedy i srovnatelné množství energie (4 kcal/g) (Mortensen 2006). Jeho kalorický přínos je ovšem zanedbatelný, jelikož je používán v extrémně malých dávkách vzhledem k extrémní sladivosti (2000-3000krát sladší než sacharosa). Má zbytkovou lékořicovou chuť a většinou je kombinován s dalšími sladidly. Také je používán pro zlepšení chuti například v polévkách, omáčkách, zpracované zelenině a produktech získaných z vajec. Odolává záhřevu i kyselému pH (Carocho et al. 2017). S některými barvivy ale interaguje, čímž ztrácí svoji sladivost a z tohoto důvodu se nepoužívá v nápojích (Mora & Dando 2021).

Thaumatín, jakožto přírodní nízkokalorická alternativa cukru, by se mohl stát sladidlem budoucnosti, pokud se podaří zefektivnit a zlevnit jeho produkci (Mora & Dando 2021). V současné době jsou zkoumány metody biochemické produkce pomocí technologie rekombinantní DNA, konkrétně na kvasinkách *Pichia pastoris* (Carocho et al. 2017; Joseph et al. 2019).

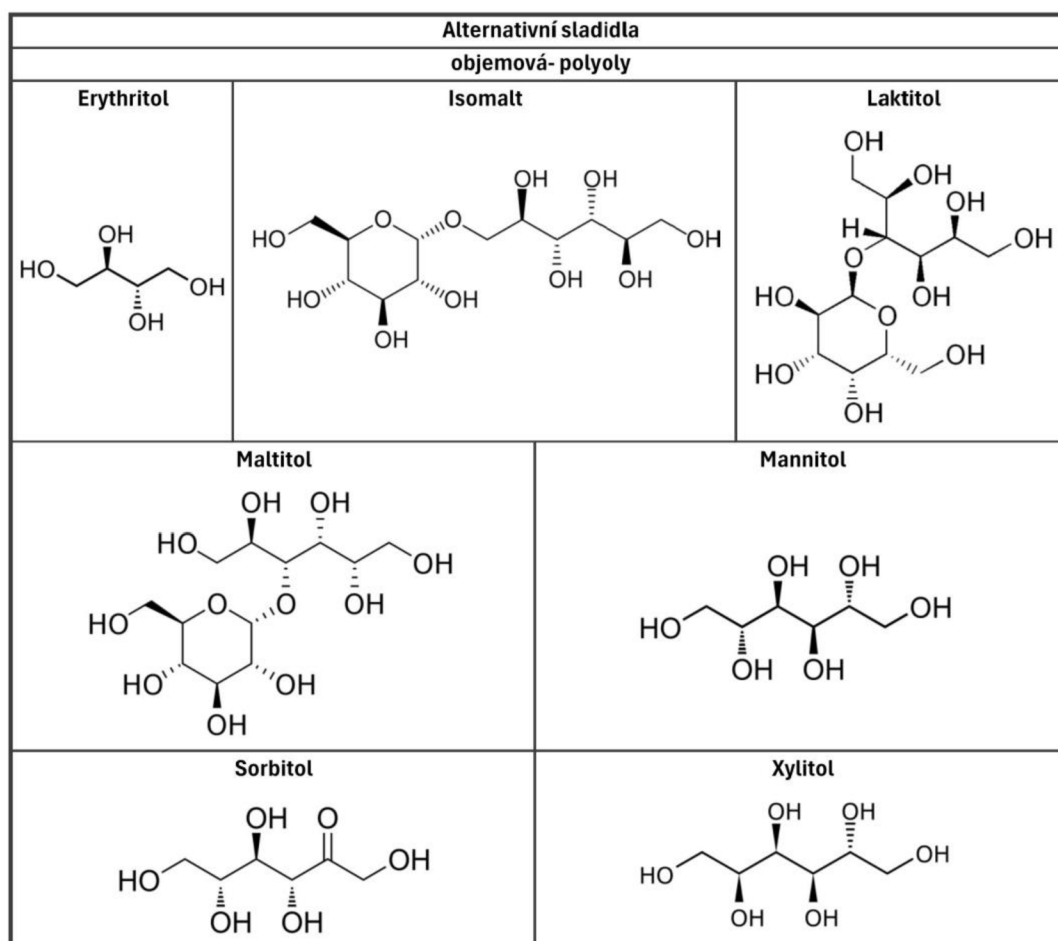
3.1.6.2 Objemová sladidla

Oproti předešlé skupině nevykávají přílišnou sladivostí (ta je nižší nebo srovnatelná se sacharosou) a na druhou stranu obsahují vyšší energetickou hodnotou, která je v průměru 2,4 kcal/g, nepřinášejí tedy významné snížení energetického obsahu v potravinách. Jejich role je dvojitá, neboť jsou povolena k použití jako sladidla a také jako plniva zajišťující a zlepšující konzistenci různých potravinářských výrobků (zmrzlina, džemy, omáčky). Mezi jejich hlavní funkční výhody patří potravinářsko-technologické vlastnosti a funkce dietetické (Mortensen 2006). Při použití pro potravinářské účely jsou přidávány v množství *quantum satis* (latinsky „množství, které je dostatečné“) (Carocho et al. 2017), což značí „...skutečnost, že není stanovena žádná maximální číselná hodnota a látky se používají v souladu se správnou výrobní praxí v množství nikoli větším, než je nezbytné pro dosažení zamýšleného účelu, a za předpokladu, že spotřebitel není uveden v omyl.“ (Evropský parlament a Rada EU 2008).

Do objemových sladidel jsou řazeny polyoly (erythritol, isomalt, laktitol, maltitol, mannitol, sorbitol, xylitol) (Obrázek 9), neboli alkoholové cukry, což jsou deriváty sacharidů, nejčastěji glukosy. V přírodě jsou k nalezení v některém ovoci, ale pro komerční účely jsou využívány ty synteticky připravené užitím aldosa reduktasy (EC 1.1.1.21), která katalyzuje přeměnu aldehydové skupiny molekuly glukosy na alkohol (Cummings & Stephen 2007).

Staly se z nich primárně používané složky přidávané do potravin ke snížení obsahu cukru a energie díky tomu, že jsou v organismu tráveny a vstřebávány jen omezeně a poskytují tak méně energie než glukosa. Část polyolů se dostává do tlustého střeva, kde je fermentována

za vzniku vodíku, methanu, oxidu uhličitého a malého množství mastných kyselin s krátkým řetězcem (short chain fatty acids – SCFA), které mohou být zdrojem energie. I tak je ale energetický zisk polyolů nižší o 15-25 % ve srovnání s glukosou (Shankar et al. 2013). Nevýhodou jejich průchodu do tlustého střeva je, že mají laxativní efekt, a proto není jejich konzumace doporučována dětem do 1 roku (Carocho et al. 2017). Naopak jejich obrovská výhoda spočívá v tom, že neovlivňují hladinu krevního cukru, jsou tudíž vhodné pro lidi s cukrovkou (Varzakas et al. 2012), kdy například sorbitol je hojně používán jako náhrada sacharosu ve stravě diabetiků (Cummings & Stephen 2007). Další výhodou polyolů je, že nepřispívají ke vzniku zubního kazu (Varzakas et al. 2012), zvyšují totiž produkci slin (Carocho et al. 2017), které mají antibakteriální a pufruční vlastnosti. Tato sladidla jsou tedy využívána třeba právě i do zubní pasty, ústní vody apod. Mají i řadu vhodných technologických vlastností, jako jsou stabilita při vysoké teplotě a změnách pH, inertnost vůči Maillardovým reakcím, redukce vodní aktivity, zvlhčení, úprava struktury a krystalizace cukru. Díky těmto svým výhodným fyziologickým a technologickým vlastnostem jsou polyoly využívány v řadě různých, nejen potravinářských produktů (Varzakas et al. 2012).



Obrázek 9: Chemické struktury alternativních sladidel objemových (upraveno dle Carocho et al. 2017).

Erythritol

Erythritol se přirozeně vyskytuje v některém ovoci, zelenině, houbách, medu a mořských řasách, ovšem pro průmyslové účely je vyráběn laboratorně fermentací glukosy a sacharosy pomocí kvasinek či kvasinkám podobných hub (Mortensen 2006; Carocho et al. 2017). Ve srovnání se sacharosou je jeho sladivost 60-80%. Používán je především v pečivu, na polevy a glazury, do bonbónů a čokolád (Carocho et al. 2017). Přijatý erythritol je z 60-90 % rychle vstřebán v tenkém střevě a nezměněný vyloučen močí. Neabsorbovaný podíl je v tlustém střevě mikrobiálně fermentován na SCFA, nebo vyloučen ve stolici. Ve vyšších dávkách působí laxativně. Jeho vliv na metabolismus není, na rozdíl od cukrů, signifikantní (Mortensen 2006). Z tohoto důvodu je považován za bezpečný pro diabetiky a přináší jen 0,3 kcal/g (Carocho et al. 2017).

Laktitol

Laktitol sestává z galaktosy a glucitolu a je získáván katalytickou hydrogenací laktosy. Protože je jeho sladivost pouze 30-40 % sacharosy, je často kombinován s intenzivními sladidly, jako je ace-K, aspartam, sukralosa. Produktům poskytuje nejen sladkou chuť téměř bez kalorií (2 kcal/g), ale i svěží dochuť (zmrzlínám), dále objem (pečivu) a zároveň není kariogenní (žvýkačky) (Carocho et al. 2017). V tenkém střevě hydrolyzován není, ale v tlustém střevě je fermentován mikrobiotou. Při dávkách okolo 50 g/den může vyvolat průjem. Pro tyto účinky je ve farmacii používán i jako laxativum (Mortensen 2006).

Maltitol

Maltitol je vyráběn ze škrobu hydrolyzací, redukcí a hydrogenací. Je velmi podobný sacharose nejen chutí a sladivostí (90 %), ale i rozpustností a hygroskopicitou. Z těchto důvodů je preferován pro použití do čokolád označených „bez přidaného cukru“. Mimo to je k nalezení v mléčných výrobcích, pečivu, žvýkačkách, džemech (Carocho et al. 2017). Je stabilní, nekariogenní, a jelikož je rychlost jeho trávení velmi pomalá, je bezpečný pro diabetiky. V tlustém střevě je fermentován (Carocho et al. 2017) a jeho kalorická hodnota je okolo 2 kcal/g (Mora & Dando 2021).

Mannitol

Mannitol může být vyráběn buď katalytickou hydrogenací glukosy a fruktosy vyrobené z invertního cukru nebo škrobu, anebo diskontinuální fermentací za aerobních podmínek konvenčním kmenem kvasinek (Mortensen 2006). Jelikož sladivostí příliš nevyniká, je používán spíše jako protispékavá látka. Co se týče jeho metabolismu, je pouze z 25 % absorbován před vyloučením močí a je prakticky inertní k reakcím s aktivními komponenty léků, tudíž je i široce farmaceuticky využíván (jako náplň léků, či např. pro dentální hygienu) (Carocho et al. 2017). Nevýhodou mannitolu jsou možné laxativní účinky již při malých dávkách (10-20 g/den) (Mortensen 2006).

Sorbitol

Sorbitol byl pojmenován podle *Sorbus aucuparia* (jeřáb ptačí), ze kterého byl poprvé izolován. Je to izomer mannitolu, může být ovšem také získáván katalytickou hydrogenací glukosy, ale je o 50-60 % sladší než mannitol, a proto je využíván především jako sladidlo v různých druzích pečiva, sladkostech nebo nápojích (Carocho et al. 2017). Laxativní účinky vykazuje při dávkách nad 50 g/den (Mortensen 2006).

Isomalt

Isomalt je ekvimolární směsí mannitolu a sorbitolu (Mortensen 2006). Sladivost má průměrnou (45-60 % sacharosy) a kalorický příspěvek nízký (2 kcal/g). Používán je například v jogurtech, žvýkačkách, želatině, pečivu. Je stabilní za vysokých teplot (Carocho et al. 2017) a rozpustný ve vodě (Mortensen 2006). V tenkém střevě absorbován není, ale následně v tlustém střevě snadno fermentován bakteriemi (Carocho et al. 2017). Při nízkých dávkách (10-20 g/den) nemá laxativní efekt, a dokonce se po několika dnech lze adaptovat na dávky až 50 g/den (Mortensen 2006).

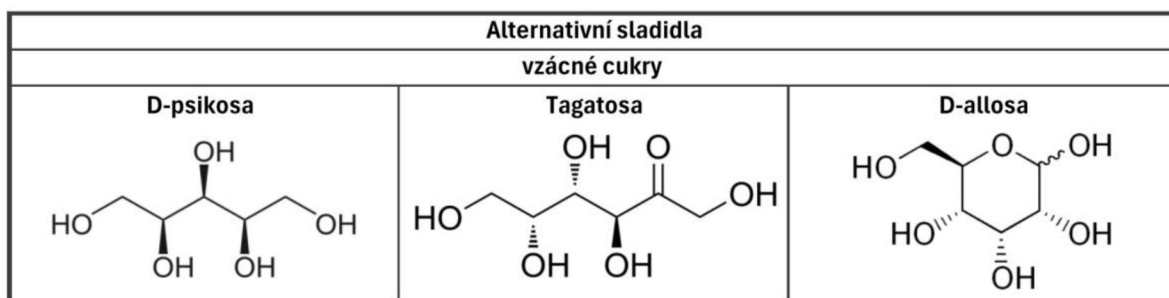
Xylitol

Xylitol je opět obsažen v některém ovoci a zelenině, získává se ale extrakcí z březového a jiného dřeva, mandlových slupek, kukuřičných klasů a přebytků z výroby slámy a papíru (Carocho et al. 2017), bývá proto nazýván „dřevným“ nebo „březovým cukrem“ (Mortensen 2006). Poprvé byl syntetizován v roce 1891 hydrogenací xylosy. Má největší sladivost ze všech polyolů (okolo 95 % sacharosy), obsahuje 2,4 kcal/g (Carocho et al. 2017) a ovlivňuje střevní mikrobiotu, alespoň u zvířecích modelů. Potravinářským produktům xylitol prodlužuje trvanlivost, zlepšuje barvu a chuť, a kromě toho poskytuje chladivý efekt (Mora & Dando 2021). Používán je především do žvýkaček, jelikož je známo, že zvyšuje slinění, čímž přispívá k čištění zubů a snižuje bakteriální zátěž v ústech, a tím i snižuje tvorbu zubního kazu (Carocho et al. 2017).

3.1.6.3 Vzácné cukry

Chattopadhyay et al. (2014) a také například Mora a Dando (2021) mezi sladidla řadí také skupinu tzv. vzácných cukrů. Ačkoli jsou v přírodě vzácné a jejich příprava je drahá, poptávka po nich narůstá, jelikož jsou díky svému nedostatku kalorií tolerované diabetiky. Mezi vzácné cukry jsou řazeny monosacharidy a jejich deriváty, které se v přírodě nacházejí v malých množstvích. V těle nejsou metabolizovány buďto vůbec, nebo v menší míře než klasické cukry, což z nich dělá výbornou alternativu kalorických sladidel i pro diabetiky. A navíc by mohly být skvělou nedávno objevenou alternativou přímo sacharosy i díky podobné chuti (Mora & Dando 2021) a absenci pachutí (Chattopadhyay et al. 2014; Mora & Dando 2021). Pozornost se teď spíše zaměřuje na zlevnění jejich výroby než na jejich senzorycké vlastnosti,

v tomto ohledu bude potřeba dalších studií (Mora & Dando 2021). Významnými zástupci této skupiny jsou D-psikosa, tagatosa, D-allosa (Obrázek 10).



Obrázek 10: Chemické struktury alternativních sladidel – vzácných cukrů (upraveno dle Caroch et al. 2017).

Psikosa

D-psikosa (D-allulosa/D-ribo-2-hexulosa), je získávána hydrolýzou sacharosy, nebo izomerací D-glukosy. Poskytuje produktům nejen příjemnou sladivost (70 % sacharosy), ale i lepší želírující schopnosti a antioxidační stabilitu (Chattopadhyay et al. 2014). V poměru 1:1 se sacharosou je její sladivý profil téměř identický se sacharosou samotnou, mohla by tedy sacharosu částečně nahradit (Mora & Dando 2021).

Tagatosa

D-tagatosa patří mezi ketohexosy a strukturálně se podobá D-fruktose, se kterou má identický metabolismus, ovšem není kompletně absorbována a její značná část je fermentovaná mikrobiotou v tlustém střevě za vzniku SCFA, které jsou potom absorbovány a kompletně metabolizovány (Chattopadhyay et al. 2014). Přirozeně se tento izomer fruktosy vyskytuje v některých mléčných výrobcích (Kroger et al. 2006), produkován je však hydrolýzou laktosy na glukosu a galaktosu, kdy po přidání hydroxidu vápenatého je posléze galaktosa izomerována na D-tagatosu (Chattopadhyay et al. 2014). Ve srovnání se sacharosou obsahuje polovinu kalorií (2 kcal/g), má ale 92% sladivost sacharosy s rychlejším nástupem podobným fruktose (Mora & Dando 2021) a vyvolává nižší glykemickou odezvu (Shankar et al. 2013).

Allosa

D-allosa (cis-aldohexosa) je nekalorické sladidlo a plnidlo s antioxidačními vlastnostmi, vyráběné především z D-psikosy (Chattopadhyay et al. 2014). Sladivost je 80%, nicméně k jejímu přesnějšímu popisu existuje prozatím jen málo výzkumů a pro účely určení kalorické hodnoty nebyly doposud prováděny žádné testy na lidech (Mora & Dando 2021).

3.1.7 Působení alternativních syntetických sladidel

Hlavní aspekty pro posouzení vhodnosti či výhodnosti náhrady přírodních sladidel těmi synteticky připravenými nejsou jen ty sensorické a technologické, ale především ty zdravotní. Nejnovější studie, zabývající se zdravotním dopadem umělých sladidel na organismus (Suez et al. 2014; Tucker & Tan 2017; Basson et al. 2021; Hughes et al. 2021; Pang et al. 2021; Wąsik et al. 2023), hodnotí především efekt na střevní mikrobiotu, regulaci tělesné hmotnosti a homeostázu glukosy.

3.1.7.1 Střevní mikrobiota

Střevní mikrobiota hraje důležitou roli v metabolismu, energetické bilanci a imunitním systému. Je schopná fermentovat nestravitelné složky potravy čímž produkuje látky klíčové v mnoha aspektech lidského zdraví, jako jsou SCFA (Pang et al. 2021), a to především acetát, propionát, butyrát, jež mohou vykazovat protizánětlivé účinky ve střevě a sloužit jako zdroj energie pro kolonocyty a buňky střevního epitelu (Basson et al. 2021; Pang et al. 2021). Její složení, především poměr rodů *Firmicutes:Bacteroidetes*, je výrazně ovlivněno přijímanou stravou. Umělá sladidla by mohla tento poměr měnit ve prospěch rodu *Firmicutes*, jež je spojován s obezitou. Prozatímni výsledky studií například připouští, že dlouhodobá konzumace sukralosy by mohla posunout složení lidské mikrobioty, stejně tak i ace-K může měnit její diverzitu. Sukralosa, sacharin a aspartam mohou zvyšovat schopnost bakterií tvořit biofilm a měnit mikrobiální rovnováhu inhibicí *quorum sensing* („informační kanál“ bakterií) (Wąsik et al. 2023). Nejvíce citovanou studií zmiňující efekty umělých sladidel na mikrobiotu je ta od Suez et al. z roku 2014, ovšem výzkum byl prováděn především na hlodavcích, a proto jej nelze extrapolovat na člověka a nemohou být tedy ani učiněny jednoznačné závěry (Pang et al. 2021). Hughes et al. (2021) dokonce tvrdí, že neexistuje žádný jasný důkaz, že konzumace umělých sladidel ve schváleném množství nepříznivě ovlivňuje střevní mikrobiotu u lidí.

3.1.7.2 Regulace tělesné hmotnosti

Sladidla bezkalorická stejně tak jako kalorická ovlivňují chuť jídla. Otázkou však je, zda také stejně ovlivňují chuť k jídlu, hlad a chování při jídle, celkově tedy regulaci příjmu potravy a energie zásadní pro regulaci tělesné hmotnosti. Mechanismus působení na chuťové receptory je u obou skupin látek stejný a dal by se připodobnit principu “zámek a klíč”. V roce 1999 byl učiněn zásadní objev receptorů (T1R) a o 2 roky později dimeru dvou z nich (T1R2+T1R3), který byl identifikován jako receptor sladké chuti. Bylo zjištěno, že určité molekuly mohou reagovat s různými místy tohoto T1R2+T1R3 receptoru, i když se zjevně jedná o různé struktury, ať už cukry, sacharin, i dokonce některé proteiny (thaumatin) (Beauchamp 2016). Beauchamp (2016) dále naznačuje, že detekce sladkých látek bude přeci jen složitější a bude potřeba pokračovat ve výzkumu a objasňování dalších mechanismů.

Jakmile dojde k navázání molekuly vhodné struktury na protein příslušného receptoru sladké chuti, nacházejícího se na povrchu chuťových pohárků v ústní sliznici, vzniká chemický

stimul ke spuštění kaskády biochemických dějů vedoucích k rozpoznání sladké chuti. Neurologický signál přenáší intenzitu a kvalitu sladkého pocitu až do chuťové kůry mozku, kde dojde k vyhodnocení (Clemens et al. 2016).

Odpověď mozku ovšem neovlivňuje jen sladký pocit detekovaný na chuťových receptorech, ale i hladina glukosy v krvi. Konzumace glukosy má obecně významný vliv na mozek, např. na oblasti spojené s odměnou a pocitem nasycenosti. Mozek hraje důležitou roli v udržování homeostázy a stravovacího chování. Sám potřebuje pro svoji činnost primárně glukosu, a to v množství 20 % z celkové energie vytěžené z glukosy v lidském těle (Van Opstal et al. 2021). Homeostatická kontrola příjmu potravy se řídí energetickou a metabolickou rovnováhou a aktivuje se při deficitu kalorického příjmu nebo energetických zásob. Hedonická dráha odměny však není závislá na nutričních potřebách a převažuje nad homeostatickou dráhou, což může vést ke konzumaci i ve stavu sytosti. Tato dráha závisí na mozkové dráze odměny a je zodpovědná za to, že potraviny s vysokým obsahem tuku a cukru „chutnají lépe“ (Blanco-Gandia et al. 2021). Díky neurovizuálním metodám můžeme *in vivo* v mozku sledovat, jak stimuluje příjem potravin s vysokým obsahem cukru nebo tuku naše obvody odměny, konkrétně uvolňování dopaminu. Tyto často výrazně chutnající ultraprocesované potraviny jsou sice velmi příjemné pro naše chuťové buňky, ale pro zdraví prospěšné nejsou. Nadměrné požívání chutného (mnohdy vysoce kalorického) jídla vede nejen k nadváze nebo obezitě a souvisejícím onemocněním (cukrovka, arterioskleróza, hypertenze atd.), ale také takovato opakovaná stimulace našeho systému odměny vlnami dopaminu modifikuje fungování našeho mozku podobně jako působení drog, kdy zneužívání drog a konzumace ultraprocesovaných potravin působí na stejné mozkové mechanismy, a dokonce to může vést až k bažení a abstinenčním příznakům po určitých složkách, jako je cukr (Blanco-Gandia et al. 2021).

Systém odměn hraje v regulaci příjmu potravy velkou roli. Vzhledem k tomu, že umělá sladidla poskytují na rozdíl od klasických cukrů sladkou chuť bez/téměř bez kalorií, lze předpokládat, že neaktivují cesty odměny stejným způsobem jako přírodní cukry a nabízejí menší odměnu. Vystalá hypotéza, zda neuspokojení povede k dalšímu příjmu potravy, a tedy i vyššímu příjmu kalorií, než by bylo v původní uspokojující kalorické variantě, nebyla potvrzena. Kalorický příjem snížený nahrazením přírodních cukrů umělými sladidly není zpravidla zcela kompenzován a v důsledku toho je příjem energie po použití umělých sladidel stále nižší ve srovnání s přírodními cukry, a to i po domnělém kompenzačním příjmu energie (Pang et al. 2021). Kromě toho se zdá, že sladká chuť bez kalorického obsahu, nevyvolává trvalou odezvu v oblastech mozku spojených s homeostatickou a hedonickou reakcí (Van Opstal et al. 2021).

Rios-Leyvraz a Montez (2022) sumarizují provedené randomizované kontrolní studie zabývající se porovnáním účinků cukrů a bezkalorických sladidel následovně: při náhradě cukrů bezkalorickými sladidly, tedy snížením celkového energetického příjmu, mohou být bezkalorická sladidla při krátkodobém snižování hmotnosti účinná. V krátkodobém horizontu nahrazení cukrů bezkalorickými sladidly vede ke snížení tělesné hmotnosti s malým dopadem

na ostatní kardiometabolické rizikové faktory, ale v dlouhodobém horizontu je spojeno se zvýšeným rizikem diabetu 2. typu, kardiovaskulárních onemocnění a úmrtnosti, přičemž potenciální dlouhodobé účinky na zdraví nejsou tak dobře charakterizovány a je zapotřebí dalšího výzkumu, aby se zjistilo, zda jsou pozorované souvislosti skutečné, nebo zda jsou výsledkem obrácené příčinné souvislosti a/nebo zbytkového zmatení.

Jelikož jsou receptory sladké chuti exprimovány i v tukové tkáni, bylo by lákavé spekulovat o tom, zda sladidla jako sacharin, ace-K a sukralosa, která byla absorbována a dostala se do systémového oběhu, mohou potenciálně stimulovat adipogenezi. K této spekulaci ale prozatím nejsou k dispozici konzistentní data (Pang et al. 2021).

3.1.7.3 Homeostáza glukosy

Nejen mozek, ale i GIT dokáže vnímat živiny pomocí podobných receptorů a signálních mechanismů a trávicí reakce jsou také zahájeny v ústech, žaludku a slinivce břišní. Postingestivní reakce našeho těla na příjem zahrnují insulinovou odpověď cefalické fáze, exokrinní pankreatické sekrece a změny cirkulujících gastrointestinálních hormonů. Pro představu, glukosa se rychle dostává do krve (zvyšuje se hodnota glykémie) a způsobuje glykemickou a insulinovou odpověď, která stimuluje buňky k jejímu příjmu, a tedy i snížení její koncentrace v krvi (Mora & Dando 2021). Pokud se ale organismus nachází ve stavu, kdy existuje snížený biologický účinek dané koncentrace insulinu (silně souvisí především s abdominální obezitou), vzniká insulinová rezistence, při níž dochází ke zhoršené glukosové toleranci (označované jako prediabetes), neboli neschopnosti správně metabolizovat glukosu vedoucí k hyperglykémii (Melvin & Stears 2017).

Vliv bezkalorických sladidel na odpověď organismu je ovšem jiný. Účinky bezkalorických sladidel na širokou škálu faktorů souvisejících s regulací krevní glukosy, jako je insulin, glukagon, inkretiny (GLP-1 a GIP), rychlost vyprazdňování žaludku a rychlost absorpce glukosy, byly zvažovány, aby poskytly úplnější obrázek o tom, jak bezkalorická sladidla ovlivňují homeostázu glukosy (Tucker & Tan 2017). Ke zhoršené homeostáze glukosy by mohlo dojít, pokud by umělá sladidla působila změny ve střevním transportu a absorpci glukosy, v insulinové rezistenci a snížené kapacitě sekrece insulinu, což nebylo doposud významně zaznamenáno (Pang et al. 2021). Tucker a Tan (2017) dospěli k závěru, že za akutních stavů, při podávání bezsacharidového roztoku, se bezkalorická sladidla svými účinky na glykémii spolehlivě neliší od vody. Když jsou bezkalorická sladidla srovnávána s výživnými sladidly, snížená hladina glukosy v krvi je připisována spíše nižší zátěži sacharidů než aktivaci receptorů sladké chuti (Tucker & Tan 2017).

4 Závěr

Kvantitativní a kvalitativní změny ve stravování spolu se změnami životního stylu charakterizovatelnými snížením fyzické aktivity nepříznivě působí na lidský organismus. V rozvinutých zemích zaznamenala WHO narůst příjmu stravy s vyšší energetickou hodnotou, větším podílem tuků a přidaných cukrů, a naopak pokles příjmu komplexních sacharidů, vlákniny a také ovoce a zeleniny. Potvrdila, že konzumace volných cukrů má spojitost s rostoucím výskytem nadváhy a obezity, jakož i s rozvojem neinfekčních onemocnění souvisejících se stravou, včetně zubního kazu, diabetu 2. typu, kardiovaskulárních onemocnění a nádorového bujení. Tento trend se nadnárodní organizace snaží zvrátit svými doporučeními podloženými vědeckými studiemi, přičemž příjem cukrů doporučuje výrazně snížit. Z tohoto důvodu narůstá popularita komerčně využívaných substituentů cukrů bezkalorických i nízkokalorických.

Kromě alternativních přírodních sladidel je v potravinářství povoleno substituovat cukry i sladidly syntetickými, které lze rozdělit na intenzivní, objemová a vzácné cukry. Intenzivní dosahují vysoké intenzity sladivosti již při použití velmi malých koncentrací (acesulfam K, aspartam, cyklamát, sacharin, sukralosa, neohesperidin DC a thaumatin), zatímco objemová slouží především jako plniva v množství *quantum satis* (erythritol, isomalt, laktitol, maltitol, mannitol, sorbitol, xylitol). V současné době se pracuje na zlevnění laboratorní výroby tzv. vzácných cukrů, mezi které jsou řazeny monosacharidy a jejich deriváty, které se v přírodě nacházejí v malých množstvích (psikosa, tagatosa, allosa). Používání syntetických „umělých“ sladidel vyvolává diskuze napříč celou společností. Autoři vědeckých studií se různí v jejich definicích, členění i působení v organismu. Výsledky některých studií naznačují, že konzumace umělých sladidel může mít pozitivní vliv na regulaci tělesné hmotnosti, ale může také ovlivňovat střevní mikrobiom, s nejasným efektem na lidské zdraví. Vzhledem k nejednoznačným závěrům, nelze obecně náhradní sladidla, ve smyslu přídatných látek, ke konzumaci doporučit, na druhé straně ani zakázat. Je na každém z nás posoudit vlastní preference, stravovací návyky, vzít v potaz zdravotní stav, životní styl, a především zda cukr v našich životech plní prapůvodní roli zdroje rychlé energie potřebné k výkonu, nebo jím kompenzujeme nedostatek potřebných živin ve stravě, anebo jsme spíše závislí na sladké chuti, kterou poskytuje.

Aby bylo možné racionálně posoudit vhodnost zařazení náhradních sladidel do každodenního stravování, především ze zdravotního hlediska, bude důležité provést nové, lépe designované vědecké studie, eliminovat mnoho proměnných, které zkreslují výsledky, vyřešit složitost testování na lidech, jelikož člověka nelze podrobovat testování v laboratorních přesně definovaných podmínkách, a v neposlední řadě provést výzkum vzájemné interakce jednotlivých sladidel.

Zdraví, vycházející z fyziologicky náročného udržování homeostázy, jež je jistě primárním hlediskem kvality života, bychom neměli lehkovážně narušovat látkami, které nepatří mezi základní a nezbytné živiny a jejich používání vychází spíše z požitkářství.

5 Literatura

- Angarita-Díaz MDP, Fong C, Bedoya-Correa CM, Cabrera-Arango CL. 2022. Does high sugar intake really alter the oral microbiota?: A systematic review. *Clinical and Experimental Dental Research* **8**:1376-1390.
- Babička L. 2012. Přídavné látky v potravinách: publikace České technologické platformy pro potraviny. Potravinářská komora České republiky, Česká technologická platforma pro potraviny, Praha.
- Basson AR, Rodriguez-Palacios A, Cominelli F. 2021. Artificial Sweeteners: History and New Concepts on Inflammation. *Frontiers in Nutrition* **8** (e746247) DOI: 10.3389/fnut.2021.746247.
- Beauchamp GK. 2016. Why do we like sweet taste: A bitter tale? *Physiology & Behavior* **164**:432-437.
- Bezpečnost potravin. 2024. Maillardova reakce. Ministerstvo zemědělství, Praha. Available from <https://bezpecnostpotravin.cz/termin/maillardova-reakce/> (accessed April 2024).
- Bilal M, Ji L, Xu S, Zhang Y, Iqbal HMN, Cheng H. 2022. Bioprospecting and biotechnological insights into sweet-tasting proteins by microbial hosts—a review. *Bioengineered* **13**:9816-9829.
- Blanco-Gandia MC, Gonzalez-Portilla M, Rodriguez-Arias M. 2021. Diet, drugs, and the brain: Are ultra-processed foods a gateway to addiction? *Metode Science Studies Journal* **11**:139-145.
- Bogdanov S. 2016. Honey as Nutrient and Functional Food. Available from https://www.researchgate.net/publication/304011789_Honey_as_Nutrient_and_Functional_Food#fullTextFileContent (accessed January 2016).
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. 2024. Glucose. Available from <https://www.britannica.com/science/glucose> (accessed February 2024).
- Carocho M, Morales P, Ferreira ICFR. 2017. Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come. *Food and Chemical Toxicology* **107**:302-317.
- Clemens RA, Jones JM, Kern M, Lee SY, Mayhew EJ, Slavin JL, Zivanovic S. 2016. Functionality of Sugars in Foods and Health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **15**:433-470.
- Cummings JH, Stephen AM. 2007. Carbohydrate terminology and classification. *European Journal of Clinical Nutrition* **61**:S5-S18.

- Das A, Chakraborty R. 2018. An introduction to sweeteners. Pages 1-13 in Merillon JM, Ramawat KG, editors. Sweeteners: Pharmacology, Biotechnology, and Applications. Springer International Publishing AG, Cham.
- Dashty M. 2013. A quick look at biochemistry: Carbohydrate metabolism. *Clinical Biochemistry* **46**:1339-1352.
- Edwards CH, Rossi M, Corpe CP, Butterworth PJ, Ellis PR. 2016. The role of sugars and sweeteners in food, diet and health: Alternatives for the future. *Trends in Food Science & Technology* **56**:158–166.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). 2011. Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to intense sweeteners and contribution to the maintenance or achievement of a normal body weight (ID 1136, 1444, 4299), reduction of post-prandial glycaemic responses (ID 4298), maintenance of normal blood glucose concentrations (ID 1221, 4298), and maintenance of tooth mineralisation by decreasing tooth demineralisation (ID 1134, 1167, 1283) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal* 9 (e2229) DOI: 10.2903/j.efsa.2011.2229.
- EFSA. 2011. EFSA Statement on the scientific evaluation of two studies related to the safety of artificial sweeteners. *EFSA Journal* 9 (e2089) DOI: 10.2903/j.efsa.2011.2089.
- Elia M, Cummings JH. 2007. Physiological aspects of energy metabolism and gastrointestinal effects of carbohydrates. *European Journal of Clinical Nutrition* **61**:S40-S74.
- Erejuwa OO, Sulaiman SA, Ab Wahab MS. 2012. Honey: a novel antioxidant. *Molecules* **17**(4):4400-4423.
- Evropská komise. 2011. NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1129/2011 ze dne 11. listopadu 2011, kterým se mění příloha II nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008 vytvořením seznamu potravinářských přídatných látek Unie (Text s významem pro EHP). Pages 1-177 in *Úřední věstník Evropské unie* L 295/1. Štrasburk.
- Evropský parlament a Rada EU. 2008. NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1333/2008 ze dne 16. prosince 2008 o potravinářských přídatných látkách (Text s významem pro EHP). Pages 16-33 in *Úřední věstník Evropské unie* L 354. Štrasburk.
- Goldfein KR, Slavin JL. 2015. Why Sugar Is Added to Food: Food Science 101. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **14**:644-656.
- Hughes RL, Davis CD, Lobach A, Holscher HD. 2021. An Overview of Current Knowledge of the Gut Microbiota and Low-Calorie Sweeteners. *Nutrition Today* **56**:105-113.
- Chattopadhyay S, Raychaudhuri U, Chakraborty R. 2014. Artificial sweeteners – a review. *Journal of Food Science and Technology* **51**:611-621.

- Chaudhry R, Varacallo M. 2023. Biochemistry, Glycolysis. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482303/> (accessed January 2023).
- IARC. 2023. MONOGRAPHS ON THE IDENTIFICATION OF CARCINOGENIC HAZARDS TO HUMANS: Agents Classified by the IARC Monographs. IARC. Available from <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iacr/> (accessed December 2023).
- Institute of Medicine. 2005. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. The National Academies Press, Washington, DC. <https://doi.org/10.17226/10490>.
- Joseph JA, Akkermans S, Nimmegeers P, Van Impe JFM. 2019. Bioproduction of the Recombinant Sweet Protein Thaumatin: Current State of the Art and Perspectives. *Frontiers in Microbiology* 10 (e695) DOI: 10.3389/fmicb.2019.00695.
- Kajiwara S, Gandhi H, Ustunol Z. 2002. Effect of honey on the growth of and acid production by human intestinal Bifidobacterium spp.: an in vitro comparison with commercial oligosaccharides and inulin. *Journal of Food Protection* **65**: 214–218.
- Kasti AN, Nikolaki MD, Synodinou KD, Katsas KN, Petsis K, Lambrinou S, Pyrousis IA, Triantafyllou K. 2022. The Effects of Stevia Consumption on Gut Bacteria: Friend or Foe? *Microorganisms* 10 (e744) DOI: 10.3390/microorganisms10040744.
- Kroger M, Meister K, Kava R. 2006. Low-calorie Sweeteners and Other Sugar Substitutes: A Review of the Safety Issues. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **5**:35-47.
- Lenzen S. 2014. A Fresh View of Glycolysis and Glucokinase Regulation: History and Current Status. *The Journal of Biological Chemistry* **289**:12189-12194.
- Manzoor M, Lommi S, Furuholm J, Sarkkola C, Engberg E, Raju S, Viljakainen H. 2021. High abundance of sugar metabolisers in saliva of children with caries. *Scientific Reports* **11**:4424.
- McMurry J. 2016. Organic Chemistry, Ninth Edition. Cengage Learning, USA.
- Melvin A, Stears A. 2017. Severe insulin resistance: pathologies. *Practical Diabetes* **34**:189-194.
- Mora MR, Dando R. 2021. The sensory properties and metabolic impact of natural and synthetic sweeteners. *Comprehensive reviews in food science and food safety* **20**:1554-1583.
- Mortensen A. 2006. Sweeteners permitted in the European Union: safety aspects. *Scandinavian Journal of Food and Nutrition* **50**:104-116.

- Nakrani MN, Wineland RH, Anjum F. 2023. Physiology, Glucose Metabolism. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560599/> (accessed January 2023).
- National Cancer Institute. 2023. Artificial Sweeteners and Cancer. National Cancer Institute. Available from <https://www.cancer.gov/about-cancer/causes-prevention/risk/diet/artificial-sweeteners-fact-sheet> (accessed August 2023).
- Nelson DL, Cox MM. 2008. Lehninger principles of biochemistry Fifth Edition. Pages 235-270, 527-568. W.H. Freeman and Company, New York.
- Nishida C, Martinez Nocito F. 2007. FAO/WHO scientific update on carbohydrates in human nutrition: introduction. *European Journal of Clinical Nutrition* **61**:S1-S4.
- Pang MD, Goossens GH, Blaak EE. 2021. The Impact of Artificial Sweeteners on Body Weight Control and Glucose Homeostasis. *Frontiers in Nutrition* 7 (e598340) DOI: 10.3389/fnut.2020.598340.
- Pepino MY. 2015. Metabolic effects of non-nutritive sweeteners. *Physiology & Behavior* **152**:450–455.
- Qi X, Tester RF. 2019. Fructose, galactose and glucose – In health and disease. *Clinical Nutrition ESPEN* **33**:18-28.
- Riboli E, et al. 2023. Carcinogenicity of aspartame, methyleugenol, and isoeugenol. *The Lancet Oncology* **24**:848-850.
- Rios-Leyvraz M, Montez J. 2022. Health effects of the use of non-sugar sweeteners: a systematic review and meta-analysis. World Health Organization, Geneva.
- Shankar P, Ahuja S, Sriram K. 2013. Non-nutritive sweeteners: Review and update. *Nutrition* **29**:1293-1299.
- Sieri S, Krogh V. 2017. Dietary glycemic index, glycemic load and cancer: An overview of the literature. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* **27**:18-31.
- Sigman-Grant M, Morita J. 2003. Defining and interpreting intakes of sugars. *The American Journal of Clinical Nutrition* **78**:815S–826S.
- Suez J, Korem T, Zeevi D. et al. 2014. Artificial sweeteners induce glucose intolerance by altering the gut microbiota. *Nature* **514**:181–186.
- Tucker RM, Tan SY. 2017. Do non-nutritive sweeteners influence acute glucose homeostasis in humans? A systematic review. *Physiology & Behavior* **182**:17-26.
- Van Opstal AM, Hafkemeijer A, van den Berg-Huysmans AA, Hoeksma M, Mulder TPJ, Pijl H, Rombouts SARB, van der Grond J. 2021. Brain activity and connectivity changes in

- response to nutritive natural sugars, non-nutritive natural sugar replacements and artificial sweeteners. *Nutritional Neuroscience* **24**:395-405.
- Varzakas T, Labropoulos A, Anestis S. 2012. Sweeteners in General. Pages 1-9 in Varzakas T, Labropoulos A, Anestis S, editors. *Sweeteners: Nutritional Aspects, Applications, and Production Technology*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA.
- Wąsik K, Tomaszuk S, Wojtuś M. 2023. Synthetic sweeteners and their impact on the gut microbiota – current state of knowledge. *Journal of Education, Health and Sport* **13**:31–37.
- WHO. 2002. *Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation*. WHO Technical Report Series No. 916. World Health Organization, Geneva.
- WHO. 2015. *Guideline: Sugars intake for adults and children*. World Health Organization, Geneva.
- WHO. 2023. *Healthy diet metrics: a suitability assessment of indicators for global and national monitoring purposes/ Verger EO et al*. World Health Organization, Geneva.
- Witek K, Wydra K, Filip M. 2022. A High-Sugar Diet Consumption, Metabolism and Health Impacts with a Focus on the Development of Substance Use Disorder: A Narrative Review. *Nutrients* 14 (e2940) DOI: 10.3390/nu14142940.