

DAMIAN BARANOWSKI, JAROSŁAWA RUTKOWSKA,
AGATA ANTONIEWSKA

KSYLITOL – ROLA TECHNOLOGICZNA I ŻYWIENIOWA

Streszczenie

W pracy przedstawiono aktualny stan wiedzy dotyczącej ksylitolu jako substancji słodzącej, stanowiącej alternatywę dla powszechnie stosowanych syropów fruktozowo-glukozowych i sacharozy w produktach spożywczych.

Ksylitol jest pięciowęglowym alkoholem cukrowym, występującym naturalnie głównie w produktach pochodzenia roślinnego. Na skalę przemysłową otrzymywany jest w procesie uwodornienia ksylozy. Jest najśłodszy z polioli o względnej słodkości porównywalnej z sacharozą. Ksylitol (E 967) został dopuszczony w krajach Unii Europejskiej jako dodatek do żywności na poziomie *quantum satis* w większości produktów spożywczych. Organy ds. bezpieczeństwa żywności, takie jak JECFA (Joint Expert Committee on Food Additives), SCF (Scientific Committee on Food) czy FDA (Food and Drug Administration) uznały ksylitol za bezpieczny środek słodzący.

Ksylitol może być stosowany nie tylko ze względu na kształtowanie słodkości w produktach spożywczych, ale również z uwagi na liczne właściwości prozdrowotne. Zaledwie 25 ÷ 50 % ksylitolu jest absorbowane w jelicie cienkim, a metabolizm ksylitolu zachodzi przy niewielkim udziale insuliny i prowadzi do nieznacznego podwyższenia poziomu glukozy we krwi, dlatego zalecany jest diabetykom, jak również osobom otyłym. Ksylitol jest również ceniony ze względu na udokumentowane właściwości przeciwróchnicze (nie stanowi substratu do procesów energetycznych drobnoustrojów próchnicotwórczych, wpływa korzystnie na remineralizację szkliwa oraz obniża zdolność patogenów do adhezji do powierzchni zęba). Podawany w odpowiedniej dawce może wpływać również na obniżenie ryzyka wystąpienia ostrego zapalenia ucha środkowego u dzieci.

Słowa kluczowe: ksylitol, właściwości fizykochemiczne, zastosowanie w żywności, indeks glikemiczny, właściwości prozdrowotne

Wprowadzenie

Technolodzy żywności zainteresowani są stosowaniem w produktach żywnościowych alternatywnych środków słodzących w odniesieniu do sacharozy i syropów

Mgr inż. D. Baranowski, prof. dr hab. J. Rutkowska, dr inż. A. Antoniewska, Katedra Technologii Gastronomicznej i Higieny Żywności, Instytut Nauk o Żywieniu Człowieka, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa.

Kontakt: damian_baranowski@sggw.edu.pl

fruktozowo-glukozowych, zawierających 42 ÷ 90 % fruktozy. Ze względu na korzystne właściwości funkcjonalne (m.in. wysoki RS, lepkość) syropy fruktozowo-glukozowe są powszechnie stosowane w wielu produktach. Wykazano jednak, że ich spożycie przyczynia się do powstawania niekorzystnych zmian w metabolizmie lipidów oraz do rozwoju otyłości, cukrzycy typu 2, chorób układu sercowo-naczyniowego, nadciśnienia tętniczego, dny moczanowej czy kamicy nerkowej [2, 3, 36].

W ostatnich latach na rynku produktów żywnościowych coraz większą rolę odgrywają alkohole wielowodorotlenowe (cukrowe) zwane polioli. Substancje słodzące stosowane są w celu nadania smaku słodkiego produktom, podczas gdy rola alkoholi wielowodorotlenowych w żywności jest znacznie większa. Związki te wykazują właściwości przeciwbrylające, glazurujące, chłodzące, utrzymujące wilgoć, a także mogą pełnić funkcję substancji wypełniających [9].

W przeciwieństwie do polioli, niektóre substancje intensywnie słodzące stosowane samodzielnie lub w połączeniu z innymi środkami słodzącymi mogą powodować pojawienie się niekorzystnego posmaku [9]. Alkohole wielowodorotlenowe wykazują korzystne oddziaływanie na zdrowie, czego nie wykazano w przypadku syntetycznych substancji słodzących typu aspartam, acesulfam K, sukraloza czy cyklamian sodu.

Jednym z najbardziej rozpowszechnionych polioli obecnym na rynku od lat 60. XX wieku, jako dodatek do żywności i środek słodzący, jest ksylitol. Wśród wszystkich polioli ksylitol charakteryzuje najwyższa słodkość porównywalna z sacharozą [27, 51], dlatego jego spożycie może się przyczyniać do ograniczenia stosowania w produktach cukrów prostych sprzyjających rozwojowi otyłości. Został odkryty w 1891 roku przez niemieckiego chemika Hermanna Emila Fischera. Początkowo ksylitol nie wzbudzał zainteresowania, jednak deficyt cukru podczas II Wojny Światowej skłonił naukowców do podjęcia badań nad jego właściwościami. Komercyjną produkcję ksylitolu rozpoczęto w latach 40. XX wieku. Głównym substratem do produkcji ksylitolu jest ksylan, który pozyskuje się zwykle z brzozy i dlatego nazywany jest „cukrem brzozowym” [46, 51].

W pracy przedstawiono aktualny stan wiedzy dotyczącej wykorzystania ksylitolu jako potencjalnej substancji słodzącej zastępującej w żywności niekorzystne dla zdrowia cukry proste i syropy fruktozo-glukozowe. W pracy przedstawiono również aktualny stan wyników badań dotyczących wpływu ksylitolu na zdrowie oraz jego wykorzystanie w żywieniu człowieka.

Właściwości ksylitolu

Ksylitol jest pięciowęglowym, naturalnie występującym alkoholem cukrowym o wzorze chemicznym $C_5H_{12}O_5$ i masie cząsteczkowej 152,15 g/mol (tab. 1). Nieparzysta liczba atomów węgla sprawia, że struktura ta jest mniej dostępna dla drobnoustrojów jako źródło energii. Ze względu na to, że ksylitol nie zawiera grup aldehydowych

oraz ketonowych, nie ulega reakcjom Maillarda zachodzącym podczas obróbki cieplnej żywności [27].

Tabela 1. Chemiczne i fizyczne właściwości ksylitolu
Table 1. Chemical and physical properties of xylitol

| Właściwości / Properties | Charakterystyka / Characteristics |
|---|---|
| Wzór empiryczny / Empirical formula | $C_5H_{12}O_5$ |
| Synonimy / Synonyms | Uwodorniona ksyoza; ksylit Hydrogenated xylose; xylite |
| Masa cząsteczkowa / Molecular weight | 152,15 g/mol |
| Forma chemiczna / Generic form | Pentitol |
| Wygląd / Appearance | Biały, krystaliczny proszek White, crystalline powder |
| Zapach / Odour | Bezzapachowy / Odourless |
| Względna słodkość / Relative sweetness | Zbliżona do sacharozy / Similar to sucrose |
| pH (w 10-procentowym roztworze wodnym) pH (in aqueous solution 10 %) | 5 ÷ 7 |
| Punkt topnienia / Melting point | 92 ÷ 96 °C |
| Punkt wrzenia / Boiling point | 216 °C |
| Rozpuszczalność w wodzie w 20 °C Solubility in water at 20 °C | 169 g/100 g H ₂ O |
| Ciepło roztworu (endotermiczne) Solution heat (endothermic) | 34,8 cal/g |
| Gęstość roztworu wodnego Density of aqueous solution | 1,03 g/ml (10 %) 1,23 g/ml (60 %) |
| Skręcalność właściwa / Specific rotation | Nieaktywny optycznie / Optically inactive |

Źródło / Source: opracowanie własne na podstawie / the author's own study based on [27, 46]

Odczucie słodkości ksylitolu jest prawie takie samo jak sacharozy, natomiast wartość energetyczna jest niższa o ok. 40 % i wynosi 2,4 kcal/g produktu (sacharoza 4 kcal/g) [8, 27].

Rozpuszczalność ksylitolu w temperaturze pokojowej jest podobna do sacharozy, natomiast wyższa w podwyższonej temperaturze. Ta właściwość stanowi zaletę w przypadku tworzenia stężonych roztworów. Jest on stabilny w wysokich temperaturach i nie podlega procesowi karmelizacji. Ksylitol cechuje także wysokie ciepło endotermiczne roztworu (34,8 cal/g) objawiające się wyczuwalnym efektem chłodzenia. W porównaniu z erytrytolem efekt ten jest jednak znacznie mniejszy [8, 27, 46, 51].

Naturalne źródła ksylitolu w żywieniu człowieka

Ksylitol występuje w wielu owocach i warzywach, jak również w drożdżach, wodorostach czy grzybach, przez co zawsze był obecny w diecie człowieka [27, 51]. Największą zawartością ksylitolu charakteryzują się owoce i warzywa, takie jak śliwki, truskawki, kalafior. Śladowe jego ilości zawierają banany i kasztany jadalne (tab. 2).

Tabela 2. Zawartość ksylitolu w różnych surowcach roślinnych
Table 2. The content of xylitol in various vegetable raw materials

| Produkt / Product | Zawartość ksylitolu [mg/100 g s.m.] Xylitol content [mg/100 g d.m.] |
|---|--|
| Śliwka odm. Renkloda Ulena / Greengage plum | 935 |
| Truskawka / Strawberry | 362 |
| Kalafior / Cauliflower | 300 |
| Roszonka warzywna / Lamb's lettuce | 273 |
| Malina / Raspberry | 268 |
| Cykoria endywia / Endive | 258 |
| Bakłażan / Aubergine | 180 |
| Sałata / Lettuce | 131 |
| Szpinak / Spinach | 107 |
| Dynia / Pumpkin | 96,5 |
| Kalarepa / Kohlrabi | 94 |
| Koper włoski / Fennel | 92 |
| Cebula / Onion | 89 |
| Marchew / Carrot | 86,5 |
| Por / Leek | 53 |
| Banan / Banana | 21 |
| Kasztan jadalny / Sweet chestnut | 14 |

Źródło / Source: [48]

Otrzymywanie ksylitolu

Mimo że ksylitol w formie wolnej występuje w naturze, pozyskiwanie go z owoców, warzyw, wodorostów lub grzybów nie jest opłacalne ze względu na małą jego zawartość, nieprzekraczającą 1 %. Na skalę przemysłową wykorzystuje się surowce bogate w hemicelulozy [30, 51]. Głównym substratem jest ksylan – polisacharyd wchodzący w skład hemiceluloz, będący polimerem ksylozy, pozyskiwany zwykle z brzoź i innych drzew liściastych, jak również z kolb kukurydzy. Podobnie jak inne alkohole cukrowe, ksylitol otrzymywany jest w wyniku procesu uwodorniania odpowiedniego cukru, w tym przypadku D-ksylozy, w obecności metalu jako katalizatora

reakcji [30, 51]. Proces otrzymywania ksylitolu obejmuje cztery etapy i rozpoczyna się hydrolizą materiału roślinnego składającego się z hemiceluloz (19 ÷ 34 %), celulozy (34 ÷ 50 %) i ligniny (11 ÷ 30 %) przy użyciu kwasów nieorganicznych [30, 46]. Produkt będący hydrolizatem zawiera nie tylko ksylozę, lecz także arabinozę, glukozę, galaktozę i mannozę. Drugim etapem jest oczyszczanie otrzymanego hydrolizatu metodą chromatograficzną, w efekcie czego uzyskiwany jest oczyszczony roztwór ksylozy, będący substratem w kolejnym etapie – w chemicznym uwodornieniu. Powstały roztwór poddawany jest procesowi uwodornienia z udziałem katalizatora niklowego w warunkach podwyższonej temperatury (80 ÷ 140 °C) i ciśnienia (do 50 atm). Na tym etapie zachodzi reakcja redukcji ksylozy do ksylitolu [30, 46]. Ostatnim etapem jest poddanie roztworu ksylitolu filtracji, oczyszczaniu, zagęszczaniu w warunkach obniżonego ciśnienia i krystalizacji w celu uzyskania gotowego, czystego produktu. Odzysk ksylitolu z frakcji ksylanowej wynosi ok. 50 ÷ 60 %. Uzyskany produkt charakteryzuje się wysokim kosztem produkcji również ze względu na stosowane procesy separacji i oczyszczania [30, 46].

Wysokie koszty produkcji skłoniły do poszukiwań alternatywnych rozwiązań. Przykładem są badania nad możliwością pozyskiwania ksylitolu z różnych części kukurydzy, odpadów trzciny cukrowej lub słomy ryżowej. Aktualnie opracowywane i optymalizowane są również biotechnologiczne metody produkcji ksylitolu z udziałem drożdży z rodzaju *Candida*, mikroalg, a także izolowanych enzymów [11, 25, 28, 29, 30, 39, 46]. Prowadzi się także badania nad alternatywnymi, tańszymi metodami oczyszczania ksylitolu [16].

Bezpieczeństwo oraz ograniczenia stosowania ksylitolu w żywności i innych produktach

Ksylitol został dopuszczony jako dodatek do żywności i uznany za bezpieczny dla zdrowia i użytku człowieka przez organizacje zajmujące się bezpieczeństwem żywności. W 1983 roku Wspólny Komitet Ekspertów FAO/WHO ds. Dodatków do Żywności (JECFA – Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) zatwierdził dopuszczalną wielkość spożycia ksylitolu na poziomie ADI (*acceptable daily intake*), czyli jako Nielimitowaną, przy braku konieczności wykonywania dodatkowych badań toksykologicznych. Niekorzystne efekty uboczne pojawiają się podczas spożycia wysokich dawek ksylitolu (dyskomfort, ból brzucha, wzdęcia, biegunki) [51]. Komitet Naukowy ds. Żywności (SCF – Scientific Committee on Food) będący przed EFSA (European Food Safety Authority – Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności) gwarantem bezpieczeństwa dodatków do żywności w Europie, w 1984 roku ocenił bezpieczeństwo większości polioli, w tym ksylitolu i zatwierdził ich stosowanie jako dodatków do żywności [26]. W 1986 roku również Agencja Żywności i Leków (FDA – Food and Drug Administration) uznała za bezpieczne stosowanie ksylitolu w żywności [46, 51].

Bezpieczeństwo stosowania ksylitolu potwierdzono zarówno w badaniach *in vitro*, jak i *in vivo* na mutagenność, klastogenność, embriotoksyczność, teratogenność i toksyczność reprodukcyjną [26, 51].

Jako dodatek do żywności (E 967), farmaceutyków i preparatów do higieny jamy ustnej ksylitol został uznany za bezpieczny do stosowania i zarejestrowany w ponad 35 krajach [46]. Stosowanie ksylitolu, jak i innych alkoholi cukrowych (z wyjątkami, np. w napojach), jest dozwolone zgodnie z prawem europejskim, a ich dopuszczalna zawartość w produktach spożywczych nie jest limitowana i obowiązuje zasada *quantum satis* [33]. Ustalając zawartość alkoholi cukrowych w produkcie żywnościowym należy jednak mieć na uwadze efekty niepożądane spowodowane nadmierną ilością ich spożycia [26]. Etykiety towarów, w których ponad 10 % masy produktu stanowią dodane poliole muszą zawierać informację, że spożycie ich w nadmiernych ilościach może spowodować efekt przeczyszczający [34]. Dobowa dawka tolerowana przez osoby dorosłe wynosi 100 g ksylitolu [8]. EFSA zaleca, aby spożycie ksylitolu nie przekraczało 0,5 g/kg m.c./dobę i traktuje to jako dawkę bezpieczną, niewywołującą efektów niepożądanych, przy spożywaniu w odstępach czasowych [4].

Ksylitol spożywany przez osoby zdrowe według zaleceń nie wywołuje negatywnych objawów, jednak nie jest zalecany osobom cierpiącym na zespół jelita drażliwego, u których podaż polioli i innych produktów niewskazanych wiąże się z intensyfikacją objawów, takich jak silne bóle brzucha, wzdęcia i biegunki [6, 38].

Schneider i wsp. [37] wykazali możliwość stosowania ksylitolu w żywieniu pozajelitowym pacjentów oddziałów intensywnej terapii. Oznaczenie u pacjentów poziomu enzymów wątrobowych (aminotransferazy asparaginianowej, aminotransferazy alani-
nowej, γ -glutamylotranspeptydazy) nie wykazało symptomów hepatotoksycznego działania ksylitolu.

Zastosowanie ksylitolu w przemyśle spożywczym

Ksylitol jest substancją słodzącą, która znalazła zastosowanie w wielu działach przemysłu spożywczego [51]. Stosowany jest w składzie produktów żywnościowych samodzielnie lub w połączeniu z innymi zamiennikami cukru w celu polepszenia barwy, smaku, jak również trwałości produktów [46].

Ksylitol stosuje się na skalę światową głównie do produkcji gumy do żucia ze względu na jego właściwości technologiczne, sensoryczne (w tym z powodu efektu chłodzącego) i prozdrowotne. Guma do żucia wyprodukowana z dodatkiem ksylitolu charakteryzuje się większą miękkością i elastycznością niż produkty z zastosowaniem innych alkoholi wielowodorotlenowych [46, 51]. Ksylitolu używa się do wytwarzania bezcukrowych (tzw. sugar-free) wyrobów cukierniczych wysokiej jakości, takich jak landrynki i karmelki, nadając im pożądaną słodkość oraz efekt chłodzący [51]. Może być on również stosowany jako zamiennik sacharozy do produkcji przetworów mlec-

nych i mrożonych deserów, takich jak: jogurty, musy, budynie, lody, sorbety. Powstałe produkty charakteryzują się obniżoną wartością energetyczną, niższym indeksem glikemicznym, a także ułatwiają utrzymanie zdrowia jamy ustnej. Tekstura takich produktów charakteryzuje się większą delikatnością, wobec czego ich porcjowanie jest ułatwione [27, 51].

Szczególne role przypada ksylitolowi w produktach ciastkarskich (ciastkach, ciastach, muffinach). W porównaniu z innymi alkoholami cukrowymi w produktach tych profil i intensywność słodkości ksylitolu zbliżone są do sacharozy. Równocześnie ksylitol jest skutecznym środkiem utrzymującym odpowiedni poziom wilgotności w produktach ciastkarskich, dlatego wpływa korzystnie na teksturę wypieków. Ciastka z ksylitolem charakteryzują się większą delikatnością i miękkością, podczas gdy ciastka z sacharozą są twardsze, bardziej chrupkie i suche. Warto zauważyć, że ciastka z ksylitolem mogą być dłużej przechowywane bez zmian tekstury. Wykazano, że w trakcie 3-miesięcznego przechowywania w temperaturze pokojowej ciastka z sacharozą utraciły chrupkość, podczas gdy ciastka z ksylitolem nie wykazały znaczących zmian tekstury [7, 51]. Ponadto ksylitol znajduje zastosowanie w produkcji bezcukrowych czekolad, nadzienia i dżemów [27].

Metabolizm ksylitolu w organizmie człowieka

Ksylitol, podobnie jak większość polioli, nie jest całkowicie absorbowany z przewodu pokarmowego przede wszystkim przez brak specyficznego systemu transportującego przez śluzówkę jelita. Po spożyciu ksylitolu jedynie 25 ÷ 50 % dawki jest absorbowane w jelicie cienkim. Po wejściu w wątrobowy cykl metaboliczny ksylitol jest wychwytywany przez hepatocyty i metabolizowany w szlaku pentozofosforanowym. Szlak ten zapewnia transformację ksylitolu do półproduktów szlaku glikolitycznego, umożliwiając dalszą degradację lub ostateczne przekształcenie w glikogen. Jedynie znikome ilości ksylitolu są przekształcane w wątrobie w glukozę, dlatego jego spożycie nie ma znaczącego wpływu na stężenie tego związku we krwi i na sekrecję insuliny [51].

Dawka ksylitolu, która nie uległa absorpcji w jelicie cienkim (ok. 50 ÷ 75 %) przekazywana jest do dalszej części jelit, gdzie stanowi substrat do fermentacji dla bytującej w jelicie korzystnej mikroflory, wykazując tym samym efekt prebiotyczny. Produktami tego procesu są przede wszystkim krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe (SCSFA) – np. masłowy, octowy, propionowy – a także niewielkie ilości gazów (wodoru, metanu i dwutlenku węgla). Wytworzone kwasy tłuszczowe są następnie absorbowane z jelita i metabolizowane. Kwasy octowy i masłowy trafiają do wątroby, a produkty ich metabolizmu biorą udział w syntezie acetylo-koenzymu A. Kwas propionowy również jest prawie całkowicie metabolizowany w wątrobie i wykorzystywany do produkcji propionilo-CoA [51].

Ksylitol w profilaktyce i leczeniu chorób

Ksylitol jako prebiotyk

Jak wspomniano wyżej, ksylitol, podobnie jak inne alkohole wielowodorotlenowe, nie jest całkowicie wchłaniany w przewodzie pokarmowym. Pozostała, niewchłonięta część tego związku przedostaje się do jelita grubego i pobudza aktywność oraz wzrost korzystnej mikroflory jelitowej, takiej jak bakterie z rodzaju *Bifidobacterium* i *Lactobacillus*. W efekcie przeprowadzanej przez nie fermentacji powstają SCSFA i wskutek tego pH w jelicie ulega obniżeniu. Następstwem syntezy SCSFA jest zahamowanie wzrostu szkodliwych Gram-ujemnych bakterii z rodzaju *Bacterioides* oraz z grupy *coli* [27, 51].

Utrzymanie w jelicie optymalnego dla rozwoju korzystnej mikroflory pH wpływa na polepszenie funkcjonowania oraz utrzymania zdrowego stanu nabłonka i w efekcie obniża ryzyko chorób jelita. Ponadto obniżone pH w jelicie grubym wspomaga wchłanianie jonów wapnia, jak również ogranicza tworzenie się i wchłanianie szkodliwego amoniaku [27, 32, 51].

Otyłość

Ksylitol znajduje zastosowanie w zapobieganiu i ograniczaniu otyłości jako niskokaloryczny substytut cukrów prostych, stosowany w żywności typu „light” lub „bez cukru”. Ksylitol używany jest do produkcji ciastek, deserów, cukierków i innych słodczy, a także dżemów przeznaczonych dla diabetyków i osób stosujących dietę ograniczającą spożycie cukrów prostych. W efekcie badań przeprowadzonych na zwierzętach stwierdzono, że włączenie ksylitolu do codziennej diety może przyczynić się również do zmniejszenia stężenia triacylogliceroli i cholesterolu we krwi (tab. 3) [8, 12, 27, 46, 50].

Powszechnie wiadomo, że nadwaga i otyłość są ściśle związane z występowaniem dodatniego bilansu energetycznego oraz m.in. z zaburzeniami związanymi z odczuwaniem głodu i sytości. W badaniach klinicznych wykazano, że spożycie ksylitolu wywołuje relatywnie szybkie uczucie sytości i redukuje spożycie energii o 5 ÷ 25 %. Mechanizm ten może być związany z wolniejszym opróżnianiem żołądka w przypadku spożycia żywności z ksylitolem w porównaniu z tradycyjnym cukrowym odpowiednikiem. Przyczynia się to do zachowania optymalnego bilansu energetycznego i zahamowania nadmiernej akumulacji tkanki tłuszczowej [1, 49, 50, 51].

Tabela 3. Podsumowanie wyników badań dotyczących wpływu spożycia ksylitolu na zdrowie

Table 3. Summary of studies investigating xylitol intake in relation to health

| Dawka i sposób podania ksylitolu Xylitol dose and administration method | Czas badania Period of study | Badana grupa The study group | Efekt Effect | Źródło Reference |
|---|--|--|--|---------------------|
| Działanie przeciwcukrzycowe ¹ oraz w kierunku zapobiegania otyłości | | | | |
| 10-procentowy roztwór ksylitolu podany <i>ad libitum</i> | 5 tyg. | Badania na modelu zwierzęcym (3 grupy szczurów): - 1 grupa z cukrzycą ¹ , otrzymująca ksylitol, - 2 grupy kontrolne: zwierzęta zdrowe, zwierzęta z cukrzycą ¹ . Liczba zwierząt: 21 | W grupie z cukrzycą otrzymującej ksylitol – obniżenie poziomu glukozy we krwi z 500 mg/dl na 100 mg/dl. Niższy poziom cholesterolu i frakcji LDL w grupie otrzymującej ksylitol w porównaniu z grupami kontrolnymi po 5 tyg. doświadczenia. | [12] |
| - Grupy doświad. 1 g ksylitolu + 2 g glukozy/kg m.c. jednorazowo - Grupy kontrolne glukoza | 3 tyg. | Badania na modelu zwierzęcym (4 grupy szczurów): - 2 grupy otrzymujące ksylitol + glukozę (zdrowe i z cukrzycą ¹), - 2 grupy kontrolne otrzymujące glukozę (zdrowe i z cukrzycą ¹). Liczba zwierząt: 24 | Spowolnienie opróżniania żołądka oraz zmniejszenie wchłanianie glukozy w grupach otrzymujących ksylitol. | [1] |
| Roztwór ksylitolu o różnym stężeniu: 2,5, 5 oraz 10 % | 4 tyg. | Badania na modelu zwierzęcym - 4 grupy szczurów z cukrzycą ¹ otrzymujących roztwór o różnym stężeniu ksylitolu oraz 1 grupa kontrolna zwierząt zdrowych. Liczba zwierząt: 35 | Zmniejszenie: masy ciała, pobrania pokarmu i płynów, poziomu glukozy we krwi, poziomu enzymów wątrobowych oraz poprawa parametrów lipidowych w grupie zwierząt z cukrzycą ¹ otrzymującej 10-procentowy roztwór ksylitolu w porównaniu z grupą kontrolną z cukrzycą ¹ . | [31] |
| Podanie dożołądkowe przez sondę roztworów: - 50 g ksylitolu/300 ml wody, - 75 g erytrytolu/300 ml wody, - 75 g glukozy/300 ml wody, - 300 ml wody | Jednorazowo podczas 4 niezależnych sesji | 20 osób Wiek: 20 - 48 lat (10 otyłych i 10 z BMI 18 - 25) | Stymulacja wydzielania hormonów jelitowych oraz spowalnianie opróżniania żołądka po podaniu polioli. Efekt uboczny – wystąpienie wzdęć i biegunek u 70 % badanych. | [49] |

c.d. Tab. 3.

| Zmniejszenie częstotliwości występowania zapalenia ucha środkowego | | | | |
|---|----------|--|--|------|
| Guma do żucia 8,4 g/dobę 5 × dziennie | 2 mies. | Dzieci zdrowe Wiek: 5 - 7 lat 336 osób (dwie grupy otrzymujące ksylitol lub sacharozę) | Zmniejszenie częstotliwości u 40 % badanych. | [44] |
| - Guma do żucia (8,4 g) - Roztwór (10 g) - Tabletki do ssania (10 g) 5 × dziennie | 3 mies. | Dzieci zdrowe Wiek: 1 - 6 lat 857 osób | Zmniejszenie częstotliwości: guma do żucia – u 40 % badanych; roztwór – u 30 % badanych; tabletki do ssania – u 20 % badanych. | [45] |
| - Guma do żucia (8,4 g) - Roztwór (10 g) - Tabletki do ssania (8,4 g) 5 × dziennie | 3 tyg. | Dzieci z ostrą infekcją dróg oddechowych. Wiek: 10 mies. - 7 lat 1277 osób | Nieskuteczny w przypadku ostrej infekcji dróg oddechowych. | [41] |
| - Guma do żucia (9,6 g) - Roztwór (9,6 g) 3 × dziennie | 3 mies. | Dzieci zdrowe Wiek: 7 mies. - 7 lat 663 osoby | Nie stwierdzono zmniejszenia częstotliwości występowania zapalenia ucha środkowego. | [10] |
| Zmniejszenie częstotliwości występowania próchnicy | | | | |
| Guma do żucia: - 3,4 g ksylitolu/dobę - 0,8 g ksylitolu i 2,6 g sorbitolu/dobę 3 × dziennie Czas żucia: 5 min | 12 mies. | Dzieci Wiek: 8 - 9 lat 433 osoby | Zmniejszona częstotliwość występowania próchnicy. Brak istotnych różnic między grupami otrzymującymi różne poliole. | [14] |
| Guma do żucia: - 3,44 g ksylitolu/dobę - 6,88 g ksylitolu/dobę - 10,32 g ksylitolu/dobę 4 × dziennie | 6 mies. | Osoby dorosłe Wiek: 18 - 73 lat 4 grupy 132 osoby | Skuteczność w zmniejszaniu populacji <i>S. mutans</i> w płytce nazębnej w grupach stosujących wyższe zawartości ksylitolu (6,88 i 10,32 g/dobę). | [23] |
| Żelki: - 11,7 g ksylitolu/dobę - 15,6 g ksylitolu/dobę 3 × dziennie | 6 tyg. | Dzieci - 154 uczniów klas 1 - 5 szkoły podst. | Zmniejszenie populacji <i>S. mutans</i> w płytce nazębnej. Nieznacznie większy efekt przy wyższej podaży ksylitolu. | [18] |
| Syrop: 8 g ksylitolu/dobę 2 lub 3 × dziennie | 12 mies. | Dzieci Wiek: 9 - 15 mies. 108 osób | Zmniejszenie częstotliwości występowania próchnicy nawet do 70 %. | [24] |
| Cukierki zawierające: ksylitol, erytrytol lub sorbitol - 7,5 g polioli 3 × dziennie ² | 3 lata | Dzieci Wiek: 7 - 8 lat 4 grupy 485 osób | Ograniczanie gromadzenia się płytki nazębnej, jednak nie tak znaczące jak w poprzednich badaniach ² | [35] |

Objaśnienia / Explanatory notes:

¹ – Cukrzyca typu 2; ² – 3 dawki cukierków były spożywane w krótkim czasie do godz. 14:00.

Cukrzyca

Jedną z największych zalet ksylitolu jest możliwość jego spożywania przez diabetyków ze względu na bardzo niską odpowiedź glikemiczną organizmu w porównaniu z sacharozą. Indeks glikemiczny ksylitolu wynosi 13 [8, 12, 17], a sacharozy – 65 [12, 17]. W odróżnieniu od metabolizmu cukrów prostych, powolna i częściowa absorpcja ksylitolu w jelicie cienkim wpływa w niewielkim stopniu na zwiększenie stężenia glukozy we krwi, co czyni go bezpiecznym dla osób z cukrzycą typu 1 i 2 [8, 12, 17, 50, 51].

Mimo że ksylitol jest w stanie dotrzeć do niemal każdej komórki organizmu, hepatocyty są dla niego wyjątkowo przepuszczalne, a dzięki licznym enzymom jest szybko metabolizowany. D-glukoza będąca produktem metabolizmu ksylitolu, jest najpierw magazynowana w wątrobie jako glikogen, a następnie stopniowo uwalniana, nie wywołując gwałtownej sekrecji insuliny [27]. Właśnie dlatego ksylitol uważa się za substancję słodzącą odpowiednią dla diabetyków, niewywołującą efektu znacznego wzrostu stężenia glukozy we krwi. Ta cecha pozwala na stosowanie ksylitolu w produktach przeznaczonych dla osób z cukrzycą. W badaniach na modelu zwierzęcym stwierdzono, że spożycie ksylitolu może przyczyniać się do obniżania poziomu glukozy we krwi pacjentów chorych na cukrzycę typu 2 (tab. 3) [12, 27, 51].

Próchnica

Próchnica zębów jest efektem rozwoju bakterii bytujących na płycie nazębnej. Wśród czynników rozwoju próchnicy kluczowym jest częste spożycie cukrów prostych, niewystarczająca higiena jamy ustnej, ale również niska sekrecja śliny. Drobnoustrojami odpowiedzialnymi za ten proces są głównie *Streptococcus mutans*, które wytwarzają kwas mlekowy z cukrów prostych. Kwas mlekowy na płycie nazębnej powoduje demineralizację szkliwa, a następnie zębiny. Dodatkowo drobnoustroje syntetyzują polisacharydy, co powoduje zwiększenie adhezji płytki do powierzchni zęba. Im szybciej bakterie skolonizują powierzchnię zęba i im większa jest ich ilość, tym większe ryzyko rozwoju próchnicy [5, 13, 27, 43].

Właściwości przeciwpróchnicze są jedną z najcenniejszych cech ksylitolu i wynikają między innymi z tego, że bakterie rodzaju *Streptococcus* nie są w stanie go fermentować [19, 22]. Istnieje kilka mechanizmów hamujących rozwój próchnicy związanych z ksylitolem. Ksylitol nie jest substratem w procesach energetycznych drobnoustrojów jamy ustnej, dzięki czemu bakterie odpowiedzialne za powstawanie próchnicy nie mogą przekształcić go w kwasy, co ogranicza rozwój płytki nazębnej przez brak optymalnego pH dla drobnoustrojów [5, 8, 17, 19].

Innym przeciwpróchnicznym efektem spożywania ksylitolu jest wpływ na zwiększenie produkcji śliny. Obecność ksylitolu stabilizuje również jony wapnia i fosforu, częściowo naśladując funkcje peptydów regulujących poziom tych jonów w ślinie. Ich

właściwy poziom wspiera proces remineralizacji zębów, co w konsekwencji prowadzi do cofnięcia próchnicy w początkowym jej stadium [5, 21, 22, 27].

Ponadto ksylitol ogranicza zdolność przylegania niektórych szczepów *Streptococcus mutans* do szkliwa zębów, co wiąże się z tym, że ten alkohol cukrowy nie jest substratem w syntezie polisacharydów. Zmniejszenie ilości nierozpuszczalnych polisacharydów płytki nazębnej wytwarzanych przez te bakterie powoduje, że płytka nazębna wykazuje mniejszą adhezję do szkliwa i łatwiej ją usunąć. Dlatego też tworzenie się biofilmu jest hamowane, co zmniejsza ryzyko wystąpienia próchnicy [5, 51].

Przeciwpróchniczy mechanizm działania ksylitolu wiąże się z jego włączeniem do systemu fosfotransferazy fruktozowej w komórce *Streptococcus mutans*, w którym następuje jego fosforylacja do fosforanu-5-ksylitolu. Wskutek kumulacji tego związku następuje degradacja ścian komórkowych drobnoustrojów, co prowadzi do osłabienia struktury komórkowej i obumarcia drobnoustrojów. Toksyczny dla *Streptococcus mutans* fosforan-5-ksylitolu ulega defosforylacji i jest usuwany z komórki z wydzieleniem energii. W efekcie tzw. „bezcelowy cykl ksylitolowy” (ang. „*futile xylitol cycle*”) charakteryzuje się ujemnym bilansem energetycznym, skutkując inhibicją wzrostu bakterii [5, 13, 20, 51].

W celu profilaktyki próchnicy zalecane jest żucie gumy z dodatkiem ksylitolu po posiłkach zasobnych w cukier [8]. Skuteczność takich zabiegów potwierdzają również wyniki badań z udziałem ludzi (tab. 3).

Zapalenie ucha środkowego

Zapalenie ucha środkowego to druga najbardziej powszechna infekcja wśród dzieci występująca najczęściej do 3. roku życia. Stan zapalny powodowany jest przez bakterie infekujące jamę nosowo-gardłową przedostające się do ucha środkowego przez trąbkę Eustachiusza [27, 51].

Antybiotykowe leczenie ostrego zapalenia ucha środkowego jest bardzo kosztowne i budzi obawy związane z rozwojem opornych na antybiotyki szczepów bakterii. Leczenie chirurgiczne jest zarówno inwazyjne, jak również kosztowne. Alternatywą może być profilaktyczne podawanie ksylitolu [41, 47].

Ksylitol aktywnie przeciwdziała stanom zapalnym, gdyż hamuje rozwój przede wszystkim bakterii *Streptococcus pneumoniae*, ale także *Haemophilus influenzae* i *Moraxella catarrhalis*. Jednym z produktów metabolizmu tego poliolu jest fosforan-5-ksylitolu. Bakterie te nie metabolizują wymienionego związku, dlatego kumuluje się on w komórkach. W efekcie nadmiar fosforanu-5-ksylitolu staje się toksyczny dla bakterii, zmniejsza ich zdolność do adhezji oraz do wzrostu, rozwoju i funkcjonowania. Jednakże warto zaznaczyć, że efekt ten jest eliminowany, jeżeli wraz z ksylitolem występuje podaż fruktozy [15, 40, 42].

Uhari i wsp. [44, 45] wykazali, że regularne spożywanie ksylitolu (pięć razy dziennie w dawce $8,4 \div 10$ g/dobę) w postaci roztworu, tabletek do ssania lub gumy do żucia, może obniżyć występowanie zapalenia ucha środkowego u dzieci nawet o 40 % (tab. 3). Inni autorzy podają, że ostra infekcja dróg oddechowych obniża korzystny efekt działania ksylitolu [41]. Również niższa częstotliwość podaży ksylitolu (3 razy dziennie) przy zachowaniu dobowej dawki $8,4 \div 10$ g bądź jej zwiększeniu do 15 g nie skutkuje istotnym efektem zmniejszenia częstotliwości zachorowań [10, 47]. Spożycie ksylitolu może wpływać na zmniejszenie ryzyka zachorowania na zapalenie ucha środkowego, jednak przy zapewnieniu odpowiedniej częstotliwości spożycia.

Podsumowanie

Ksylitol jako niskoenergetyczna substancja słodząca może z powodzeniem zastępować w produktach spożywczych niekorzystne dla zdrowia syropy fruktozowo-glukozowe i sacharozę. Występuje naturalnie w wielu surowcach pochodzenia roślinnego, a jego największą zawartość stwierdzono w śliwkach, truskawkach oraz kalafiorach. Warto zauważyć, że zaledwie $25 \div 50$ % ksylitolu jest absorbowane w jelicie cienkim, a metabolizm ksylitolu zachodzi przy niewielkim udziale insuliny i prowadzi do nieznacznego podwyższenia poziomu glukozy we krwi. Z tego powodu ksylitol może być zalecany diabetykom. Ponadto polioli ten wykazuje działanie przeciwróżnicze, jak również może wpływać na zmniejszenie ryzyka wystąpienia ostrego zapalenia ucha środkowego u dzieci. Jednakże w piśmiennictwie brakuje prac badawczych dokumentujących przemiany ksylitolu zachodzące podczas procesów technologicznych (pieczenie, prażenie, smażenie). W opinii autorów niniejszego opracowania konieczne jest przeprowadzenie takich badań, które pozwoliłyby wyjaśnić, jakim przemianom ulegają alkohole cukrowe podczas procesów technologicznych.

Literatura

- [1] Chukwuma C.I., Islam M.S.: Effects of xylitol on carbohydrate digesting enzymes activity, intestinal glucose absorption and muscle glucose uptake: A multi-mode study. *Food Funct.*, 2015, 6, 955-962.
- [2] Cozma A.I., Sievenpiper J.L.: The role of fructose, sucrose and high-fructose corn syrup in diabetes. *Eur. Endocrinol.*, 2014, 10 (1), 51-60.
- [3] Dhingra R., Sullivan L., Jacques P.F., Wang T.J., Fox C.S., Meigs J.B., D'agostino R.B., Gaziano J.M., Vasan R.S.: Soft drink consumption and risk of developing cardiometabolic risk factors and the metabolic syndrome in middle-aged adults in the community. *Circulation*, 2007, 116, 480-488.
- [4] EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA): Scientific opinion on the substantiation of health claims related to the sugar replacers xylitol, sorbitol, mannitol, maltitol, lactitol,

- isomalt, erythritol, D-tagatose, isomaltulose, sucralose and polydextrose and maintenance of tooth mineralisation by decreasing tooth demineralisation (ID 463, 464, 563, 618, 647, 1182, 1591, 2907, 2921, 4300), and reduction of post-prandial glycaemic responses (ID 617, 619, 669, 1590, 1762, 2903, 2908, 2920) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA J., 2011, 9 (4), #2076.
- [5] El-Marakby A.M., Al-Sabri F.A., Mohamed S.G., Labib L.M.: Anti-cariogenic effect of five-carbon sugar. *J. Dent. Oral Health*, 2017, 3 (6), 1-5.
- [6] Farmer A.D., Ruffle J.K.: Irritable bowel syndrome. *Medicine*, 2019, 467 (6), 350-353.
- [7] Ghosh S., Sudha M.L.: A review on polyols: New frontiers for health-based bakery products. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 2012, 63 (3), 372-379.
- [8] Grembecka M.: Ksylitol – rola w diecie oraz profilaktyce i terapii chorób człowieka. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2015, 3, 340-343.
- [9] Grembecka M.: Sugar alcohols-their role in the modern world of sweeteners: A review. *Eur. Food Res. Technol.*, 2015, 241, 1-14.
- [10] Hautalahti O., Renko M., Tapiainen T., Kontiokari T., Pokka T., Uhari M.: Failure of xylitol given three times a day for preventing acute otitis media. *Pediatr. Infect. Dis. J.*, 2007, 26 (5), 423-427.
- [11] Irmak S., Canisag H., Vokoun C., Meryemoglu B.: Xylitol production from lignocellulosics: Are corn biomass residues good candidates? *Biocatal. Agricultural Biotechnol.*, 2017, 11, 220-223.
- [12] Islam M.S., Indrajit M.: Effects of xylitol on blood glucose, glucose tolerance, serum insulin and lipid profile in a type 2 diabetes model of rats. *Ann. Nutr. Metab.*, 2012, 61, 57-64.
- [13] Janakiram C., Deepan Kumar C., Joseph J.: Xylitol in preventing dental caries: A systematic review and meta-analyses. *J. Nat. Sci. Biol. Med.*, 2017, 8 (1), 16-21.
- [14] Kandelman D., Gagnon G.: Clinical results after 12 months from a study of the incidence and progression of dental caries in relation to consumption of chewing-gum containing xylitol in school preventive programs. *J. Dent. Res.*, 1987, 66 (8), 1407-1411.
- [15] Kontiokari T., Uhari M., Koskela M.: Antiadhesive effects of xylitol on otopathogenic bacteria. *J. Antimicrob. Chemother.*, 1998, 41, 563-565.
- [16] Kresnowati M.T.A.P., Regina D., Bella C., Wardani A.K., Wenten I.G.: Combined ultrafiltration and electrodeionization techniques for microbial xylitol purification. *Food Bioprod. Process.*, 2019, 114, 245-252.
- [17] Livesey G.: Health potential of polyols as sugar replacers, with emphasis on low glycaemic properties. *Nutr. Res. Rev.*, 2003, 16, 163-191.
- [18] Ly K.A., Riedy C.A., Milgrom P., Rothen M., Roberts M.C., Zhou L.: Xylitol gummy bear snacks: A school-based randomized clinical trial. *BMC Oral Health*, 2008, 8 (20), 1-11.
- [19] Marghalani A.A., Guinto E., Phan M., Dhar V., Tinanoff N.: Effectiveness of xylitol in reducing dental caries in children. *Pediatr. Dent.*, 2017, 39 (2), 103-110.
- [20] Marttinen A.M., Ruas-Madiedo P., Hidalgo-Cantabrana C., Saari M.A., Ihalin R.A., Söderling E.M.: Effects of xylitol on xylitol-sensitive versus xylitol-resistant *Streptococcus mutans* strains in a three-species *in vitro* biofilm. *Curr. Microbiol.*, 2012, 65, 237-243.
- [21] Mäkinen K.K.: Sugar alcohols, caries incidence, and remineralization of caries lesions: A literature review. *Int. J. Dent.*, 2010, 1-23.
- [22] Mäkinen K.K.: Sugar alcohol sweeteners as alternatives to sugar with special consideration of xylitol. *Med. Princ. Pract.*, 2011, 20, 303-320.
- [23] Milgrom P., Ly K.A., Roberts M.C., Rothen M., Mueller G., Yamaguchi D.K.: Mutans Streptococci dose response to xylitol chewing gum. *J. Dent. Res.*, 2006, 85 (2), 177-181.
- [24] Milgrom P., Ly K.A., Tut O.K., Mancl L., Roberts M.C., Briand K., Gancio M.J.: Xylitol pediatric topical oral syrup to prevent dental caries: A double-blind randomized clinical trial of efficacy. *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.*, 2009, 163 (7), 601-607.

- [25] Morais Junior W.G., Pacheco T.F., Trichez D., Almeida J.R.M., Gonçalves S.B.: Xylitol production on sugarcane biomass hydrolysate by newly identified *Candida tropicalis* JA2 strain. *Yeast*, 2019, 36, 349-361.
- [26] Mortensen A.: Sweeteners permitted in the European Union: Safety aspects. *Scand. J. Food Nutr.*, 2006, 50 (3), 104-116.
- [27] Mussatto S.I.: Application of xylitol in food formulations and benefits for health. In: *D-Xylitol. Fermentative Production, Application and Commercialization*. Eds. S.S. da Silva, A.K. Chandel. Springer-Verlag, Berlin 2012, pp. 309-323.
- [28] Pal S., Mondal A.K., Sahoo D.K.: Molecular strategies for enhancing microbial production of xylitol. *Process Biochem.*, 2016, 51, 809-819.
- [29] Pourmir A., Noor-Mohammadi S., Johannes T.W.: Production of xylitol by recombinant microalgae. *J. Biotechnol.*, 2013, 165, 178-183.
- [30] Rafiqul I.S.M., Mimi Sakinah A.M.: Processes for the production of xylitol – A review. *Food Rev. Int.*, 2013, 29, 127-156.
- [31] Rahman M.A., Islam M.S.: Xylitol improves pancreatic islets morphology to ameliorate type 2 diabetes in rats: A dose response study. *J. Food Sci.*, 2014, 79 (7), H1436-H1442.
- [32] Richardson A.J., McKain N., Wallace R.J.: Ammonia production by human faecal bacteria, and the enumeration, isolation and characterization of bacteria capable of growth on peptides and amino acids. *BMC Microbiol.*, 2013, 13, 1-8.
- [33] Rozporządzenie Komisji (UE) NR 1129/2011 z dnia 11 listopada 2011 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 poprzez ustanowienie unijnego wykazu dodatków do żywności. *Dz. U. L 295*, ss. 1-177, z 12.11.2011.
- [34] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1169/2011 z dnia 25 października 2011 r. w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat żywności, zmiany rozporządzeń Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1924/2006 i (WE) nr 1925/2006 oraz uchylecia dyrektywy Komisji 87/250/EWG, dyrektywy Rady 90/496/EWG, dyrektywy Komisji 1999/10/WE, dyrektywy 2000/13/WE Parlamentu Europejskiego i Rady, dyrektyw Komisji 2002/67/WE i 2008/5/WE oraz rozporządzenia Komisji (WE) nr 608/2004. *Dz. U. L 304*, ss. 18-63, z 22.11.2011.
- [35] Runnel R., Mäkinen K.K., Honkala S., Olak J., Mäkinen P.L., Nömmela R., Vahlberg T., Honkala E., Saag M.: Effect of three-year consumption of erythritol, xylitol and sorbitol candies on various plaque and salivary caries-related variables. *J. Dent.*, 2013, 41 (12), 1236-1244.
- [36] Sadowska J., Rygielska M.: Technologiczne i zdrowotne aspekty stosowania syropu wysokofruktozowego do produkcji żywności. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2014, 3 (94), 14-26.
- [37] Schneider A.S., Schettler A., Markowski A., Luettig B., Momma M., Seipt C., Hadem J., Wilhelmi M.: Assessment of xylitol serum levels during the course of parenteral nutrition including xylitol in intensive care patients: A case control study. *Clin. Nutr.*, 2014, 33 (3), 483-488.
- [38] Schumann D., Klose P., Lauche R., Dobos G., Langhorts J., Cramer H.: Low fermentable, oligo-, di-, mono-saccharides and polyol diet in the treatment of irritable bowel syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Nutrition*, 2018, 45, 24-31.
- [39] Swain M.R., Krishnan C.: Improved conversion of rice straw to ethanol and xylitol by combination of moderate temperature ammonia pretreatment and sequential fermentation using *Candida tropicalis*. *Ind. Crops Prod.*, 2015, 77, 1039-1046.
- [40] Tapiainen T., Kontiokari T., Sammalkivi L., Ikähiemio I., Koskela M., Uhari M.: Effect of xylitol on growth of *Streptococcus pneumoniae* in the presence of fructose and sorbitol. *Antimicrob. Agents Chemother.*, 2001, 45 (1), 166-169.
- [41] Tapiainen T., Luotonen L., Kontiokari T., Renko M., Uhari M.: Xylitol administered only during respiratory infections failed to prevent acute otitis media. *Pediatrics*, 2002, 109 (2), 1-5.

- [42] Tapiainen T., Sormunen R., Kaijalainen T., Kontiokari T., Ikäheimo I., Uhari, M.: Ultrastructure of *Streptococcus pneumoniae* after exposure to xylitol. *J. Antimicrob. Chemother.*, 2004, 54 (1), 225-228.
- [43] Tinanoff N.: Dental caries. In: *Pediatric Dentistry: Infancy through Adolescence*. 6th ed. Eds. A.J. Nowak, J.R. Christensen, T.R. Mabry, J.A. Townsend, M.H. Wells. Elsevier-Saunders, Philadelphia 2019, pp. 169-179.
- [44] Uhari M., Kontiokari T., Koskela M., Niemelä M.: Xylitol chewing gum in prevention of acute otitis media: Double blind randomised trial. *BMJ Clinical Research*, 1996, 313, 1180-1184.
- [45] Uhari M., Kontiokari T., Niemelä M.: A novel use of xylitol sugar in preventing acute otitis media. *Pediatrics*, 1998, 102 (4), 879-884.
- [46] Ur-Rehman S., Mushtaq Z., Zahoor T., Jamil M., Murtaza M.A.: Xylitol: A review on bioproduction, application, health benefits, and related safety issues. *Crit. Rev. Food Sci.*, 2015, 55, 1514-1528.
- [47] Vernacchio L., Corwin M.J., Vezina R.M., Pelton S.I., Feldman H.A., Coyne-Beasley T., Mitchell A.A.: Xylitol syrup for the prevention of acute otitis media. *Pediatrics*, 2014, 133 (2), 289-295.
- [48] Washüttl J., Riederer P., Bancher E.: A qualitative and quantitative study of sugar-alcohols in several foods. *J. Food Sci.*, 1973, 38, 1262-1263.
- [49] Wölnerhanssen B.K., Cajacob L., Keller N., Doody A., Rehfeld J.F., Drewe J., Peterli R., Berlinger C., Meyer-Gerspach A.C.: Gut hormone secretion, gastric emptying, and glycemic responses to erythritol and xylitol in lean and obese subjects. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 2016, 310, E1053-E1061.
- [50] Wölnerhanssen B.K., Meyer-Gerspach A.C., Beglinger C., Islam M.S.: Metabolic effects of the natural sweeteners xylitol and erythritol: A comprehensive review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2019, 1-13.
- [51] Zacharis C.: Xylitol. In: *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*. 2nd ed. Eds. K. O'Donnell, M.W. Kearsley. Wiley-Blackwell, West Sussex 2012, pp. 347-382.

XYLITOL – TECHNOLOGICAL AND NUTRITIONAL ASPECTS

S u m m a r y

The study systematizes the current knowledge on the characteristics of xylitol as an alternative to commonly used high-fructose-glucose syrups and sucrose in food products.

Xylitol is a five-carbon sugar alcohol, which is naturally present mainly in plant-based products. On an industrial scale it is obtained in the process of xylose hydrogenation. It is the sweetest of polyols, with relative sweetness comparable to sucrose. Xylitol (E 967) has been approved in the European Union as a food additive at *quantum satis* in most food applications. Food safety authorities such as: JECFA (Joint Expert Committee on Food Additives); SCF (Scientific Committee on Food) and FDA (Food and Drug Administration) have considered xylitol as a safe sweetener.

Xylitol can be used not only for food products sweetening, but also because of its numerous health benefits. Only 25 ÷ 50 % of xylitol is absorbed in the small intestine, and xylitol metabolism occurs with a small contribution of insulin and leads to a slight blood glucose level increase. Therefore, it is recommended for diabetics as well as for obese people. Xylitol is also appreciated because of its well-documented anticaries properties (it is not a substrate for energy processes of cariogenic bacteria, has a positive effect on the enamel remineralisation and reduces the adherence of pathogens to the tooth

surface). Xylitol may also reduce the risk of acute otitis media in children when administered in a suitable dose.

Key words: xylitol, physico-chemical properties, food applications, glycaemic index, health properties 