

Słodkie dylematy. Charakterystyka wybranych cukrów i słodzików

Aleksandra Kujalowicz
Uniwersytet Gdański, Wydział Biologii
e-mail: a.kujalowicz.809@studms.ug.edu.pl

Tutorka: dr hab. Agnieszka Kowalkowska, prof. UG
Uniwersytet Gdański, Wydział Biologii, Katedra Cytologii i Embriologii Roślin

Słowa kluczowe – sacharoza, insulinooporność, poliole, słodziki syntetyczne

Wprowadzenie

Zmysł smaku wciąż jest pewną zagadką dla współczesnej nauki. Wiadomo, że pełni ważną rolę, inaczej zanikłby w toku ewolucji. Jednak jego funkcja nadal nie jest w pełni określona. Uważa się, że smak może być wskaźnikiem wartości odżywczych i energetycznych zawartych w pożywieniu. Słodki smak prawdopodobnie informuje o obecności prostych węglowodanów, umami (*mięsny*) – białek, a słony – elektrolitów. Smak może również służyć jako ostrzeżenie i zniechęcać do spożycia produktów zawierających substancje niebezpieczne – taką funkcję przypisuje się doznaniu goryczy. Odczuwanie kwaśności przypuszczalnie odgrywa podwójną rolę – wiąże się z obecnością witamin, ale również niskiego, potencjalnie niebezpiecznego pH (Tucker i Mattes, 2012).

Smak nie ma jednak wyłącznie funkcji informacyjnej czy ostrzegawczej. Wciąż odkrywane są nowe, intrygujące fakty. Według badań, preferencja słodkiego smaku jest wrodzona. Już w pierwszych godzinach życia noworodki wykazują pozytywną reakcję na podanie słodzonych roztworów w porównaniu do czystej wody. Co więcej, podczas ssania słodkich produktów, dzieci wykazywały większą tolerancję na ból czy dyskomfort. Stymulacja receptorów słodkiego smaku powoduje przekazanie sygnału i pobudza ośrodkowy w mózgu, odpowiedzialny za odczuwanie przyjemności. Uwolniona zostaje dopamina (Beecher i in., 2021; Mennella i in., 2016; i literatura tam cytowana). W warunkach laboratoryjnych, podanie słodkich roztworów sacharozy lub sacharynianu może być wykorzystywane jako sposób nagradzania szczurów w procesach uczenia (Fonseca i in., 2018; Wandres i in., 2021).

Według niektórych hipotez, odczuwanie słodkiego smaku i preferencja słodkich produktów mogły być cechami przystosowawczymi ewolucyjnie. Pomagały identyfikować źródła łatwo przyswajalnych (tzn. nie wymagających kosztownego energetycznie metabolizowania) mono- i disacharydów, zwłaszcza glukozy, będącej jednym z głównych źródeł energii u większości organizmów (Beauchamp, 2016). Mogło to być istotne, gdy trudno było zdobyć wystarczające ilości pokarmu. We współczesnym świecie, w krajach uprzemysłowionych, problem jest odwrotny. Szacuje się, że w ponad 60 krajach codzienne spożycie wolnych cukrów (100 g/osoba/dzień) czterokrotnie przekracza normy zalecane przez WHO (25 g/osoba/dzień) (Beecher i in., 2021). Wolne cukry rozumiane są jako mono- i disacharydy dodawane na etapie produkcji lub przyrządzania żywności i napojów, w tym również te obecne w miódzie, syropach, sokach i koncentratkach soków owocowych. Nie zaliczają się do nich cukry naturalnie występujące w całych owocach, warzywach i mleku (WHO, 2015). Wysokie spożycie wolnych cukrów wiąże się z hiperaktywnością u dzieci oraz nieuwagą czy impulsywnością u dorosłych. Sugeruje się także jego udział w etiologii innych chorób, m.in. nadciśnienia czy ADHD (Beecher i in., 2021). W dłuższej perspektywie, jest wskazywane jako jedna z przyczyn chorób metabolicznych: cukrzycy typu II, choroby sercowo-naczyniowej czy stłuszczeniowej choroby wątroby (Stanhope, 2016). Poza tym, sacharoza jest fermentowana przez bakterie mikrobiomu jamy ustnej, co prowadzi do próchnicy i sprzyja tworzeniu płytki nazębnej (Chorzewska i in., 2015).

Nawet nieznaczny wzrost poziomu glukozy we krwi powyżej normy powoduje wzrost wydzielania insuliny. U zdrowych osób i przy zbilansowanej diecie mechanizm ten pozwala utrzymać prawidłowe stężenie glukozy we krwi.

Problem pojawia się w przypadku długotrwałego narażenia na zbyt dużą ilość spożywanego i wchłanianego cukru. Insulina jest wydzielana w coraz większych ilościach, co może prowadzić do wykształcenia oporności receptorów. System kontroli stężenia glukozy we krwi może zostać rozregulowany. Kolejnym krokiem jest wystąpienie cukrzycy typu drugiego i innych chorób metabolicznych (Leahy, 2005). Większą świadomość i monitorowanie tego systemu regulacji ułatwiło wprowadzenie *indeksu glikemicznego*. Jest to wskaźnik opisujący wpływ spożycia danego produktu na poziom glukozy we krwi po dwóch godzinach od posiłku. Jako punkt odniesienia służy czysta glukoza o wartości IG = 100. Indeks glikemiczny wprowadził podział produktów na te o niskiej (<55), średniej (56-70) i wysokiej (>70) wartości IG (Augustin i in., 2015).

W świetle przedstawionych danych można wyciągnąć wniosek, że sacharoza przyjmowana w nadmiernych, a w obecnych czasach „standardowych”, ilościach wywołuje szereg negatywnych konsekwencji. Zaleca się, by ograniczyć jej spożycie. W odpowiedzi na zapotrzebowanie konsumentów na produkty o obniżonej wartości energetycznej, a jednak zachowujące słodki smak, producenci proponują rozmaite zamienniki białego cukru, zarówno naturalne, jak i syntetyczne. Różnią się one między sobą właściwościami, poziomem słodkości i są w różnym stopniu metabolizowane.

Celem pracy jest przedstawienie wybranych substancji słodzących dostępnych na polskim rynku, wskazanie ich pochodzenia oraz omówienie wybranych właściwości, wpływu na ludzki organizm i możliwych zastosowań. Opisywane substancje zilustrowano na fotografiach, wykonanych przez autorkę przy użyciu mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w Katedrze Cytologii i Embriologii Roślin Wydziału Biologii, Uniwersytetu Gdańskiego.

Sacharoza

Sacharoza ($C_{12}H_{22}O_{11}$) to powszechnie znany i stosowany cukier stołowy. Jej nazwa pochodzi od słowa *śarkarā*, które w sanskrycie (dawny język indyjski) oznacza *ziarno piasku*, zapewne ze względu na występowanie w postaci kryształów (Ryc. 1 i 2). Przemysłowo pozyskiwana jest z buraków cukrowych i trzciny cukrowej. Jest główną formą transportową węglowodanów w roślinach. Z tego względu jej naturalnym źródłem w diecie są owoce, warzywa i soki. Obecnie jednak znaczna część przyjmowanej sacharozy pochodzi ze słodzonych w procesie wytwórczym produktów, półproduktów, napojów gazowanych czy słodzczy (Jarosz, 2012). Pod względem chemicznym sacharoza jest disacharydem zbudowanym z D-glukozy i D-fruktozy, połączonych wiązaniem O-glikozydowym typu $\alpha(1\rightarrow2)\beta$. W układzie pokarmowym hydrolizowana jest przez sacharazę do wyżej wymienionych cukrów prostych. Jej wartość energetyczna wynosi 4 kcal/g, a indeks glikemiczny – ok. 61-65. 10% roztwór sacharozy uznaje się za wartość = 1 w skali słodkości (Chattopadhyay i in., 2014).

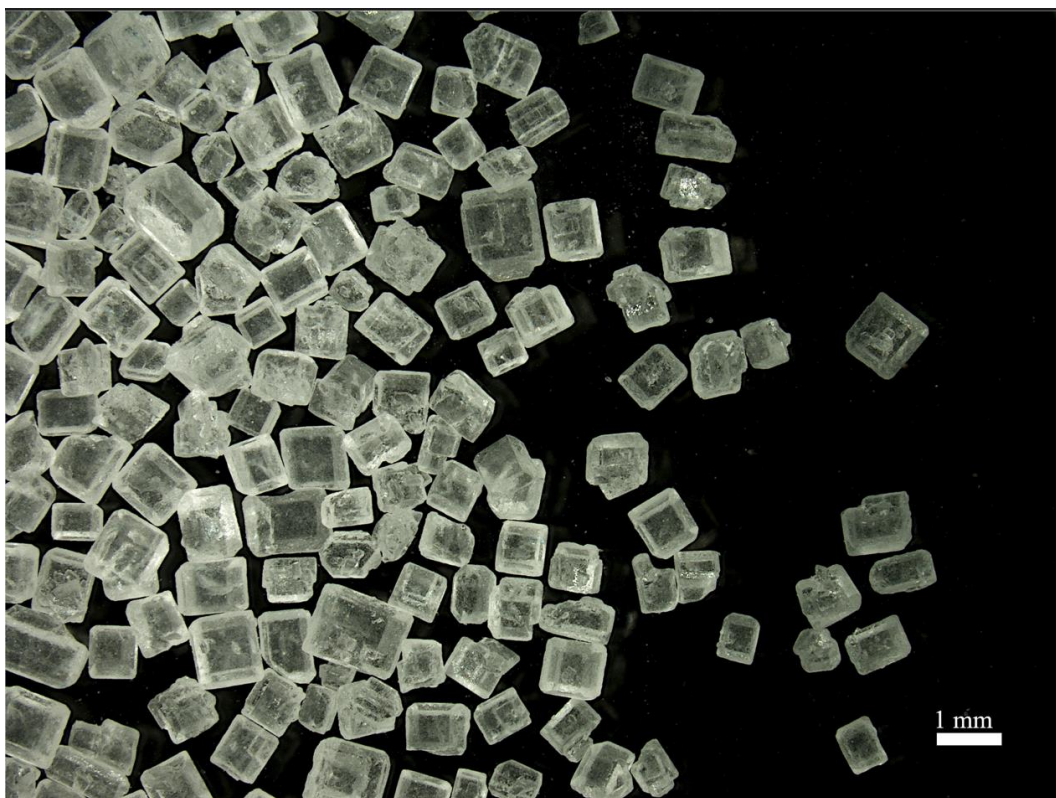
Glukoza

Glukoza ($C_6H_{12}O_6$) (Ryc. 3 i 4) występuje w formie dwóch enancjomerów (struktur będących w stosunku do siebie odbiciami lustrzanymi): L-glukozy i D-glukozy. L-glukoza nie występuje naturalnie w organizmach wyższych. Może być syntetyzowana chemicznie i stosowana jako słodzik. Wykazuje się nieznacznie niższą słodkością i zerową kalorycznością (Dubovski i in., 2022).

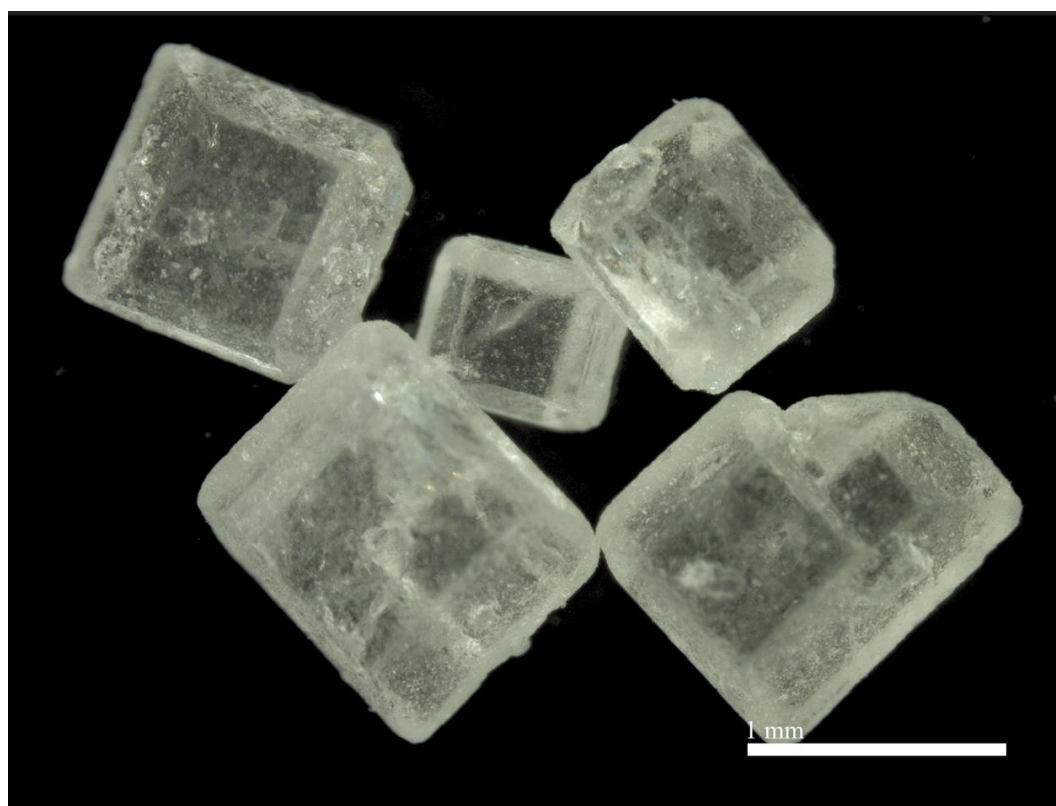
Natomiast D-glukoza jest jednym z monosacharydów tworzących sacharozę. W związku z tym jest pozyskiwana przez organizm ze wszystkich produktów zawierających cukier, a także z jego form zastępczych, np. syropu glukozowo-fruktozowego, obecnego w wielu słodczych, wyrobach cukierniczych i napojach. D-glukoza powstaje w procesie fotosyntezy, występuje więc w stanie wolnym w owocach i innych organach roślinnych. Również skrobia, zawarta w produktach pochodzenia roślinnego, jest rozkładana przez ludzkie enzymy trawienne do D-glukozy (Jarosz, 2012).

D-glukoza cechuje się równie wysoką wartością energetyczną, co sacharoza (4 kcal/g). Posiada najwyższy indeks glikemiczny spośród omawianych w tej pracy substancji: IG = 100. Jej słodkość porównywana jest do połowy słodkości sacharozy (Chattopadhyay i in., 2014).

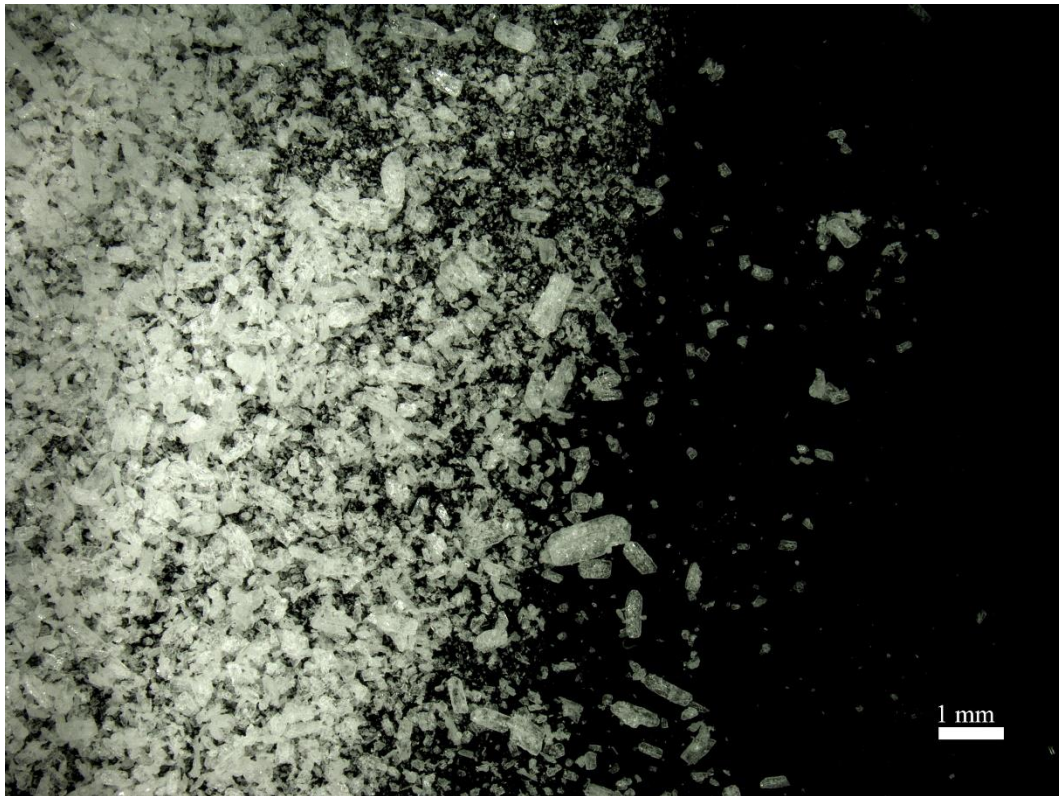
D-glukoza jest aldoheksozą, łatwo rozpuszczalną w wodzie. Jest transportowana ze światła jelita do krwi przez specjalne transportery (Renwick i Molinary, 2010). Z krwią trafia do komórek ciała, w tym do mięśni i mózgu, jako źródło energii w procesie oddychania komórkowego. Wzrost stężenia glukozy we krwi wywołuje zwiększenie wydzielania insuliny i kierowanie glukozy do wątroby, gdzie magazynowana jest w formie glikogenu. Zbyt duże lub zbyt częste przyjmowanie D-glukozy może doprowadzić do zaburzenia balansu tej regulacji i np. wykształcenia insulinooporności czy otyłości (Leahy, 2005).



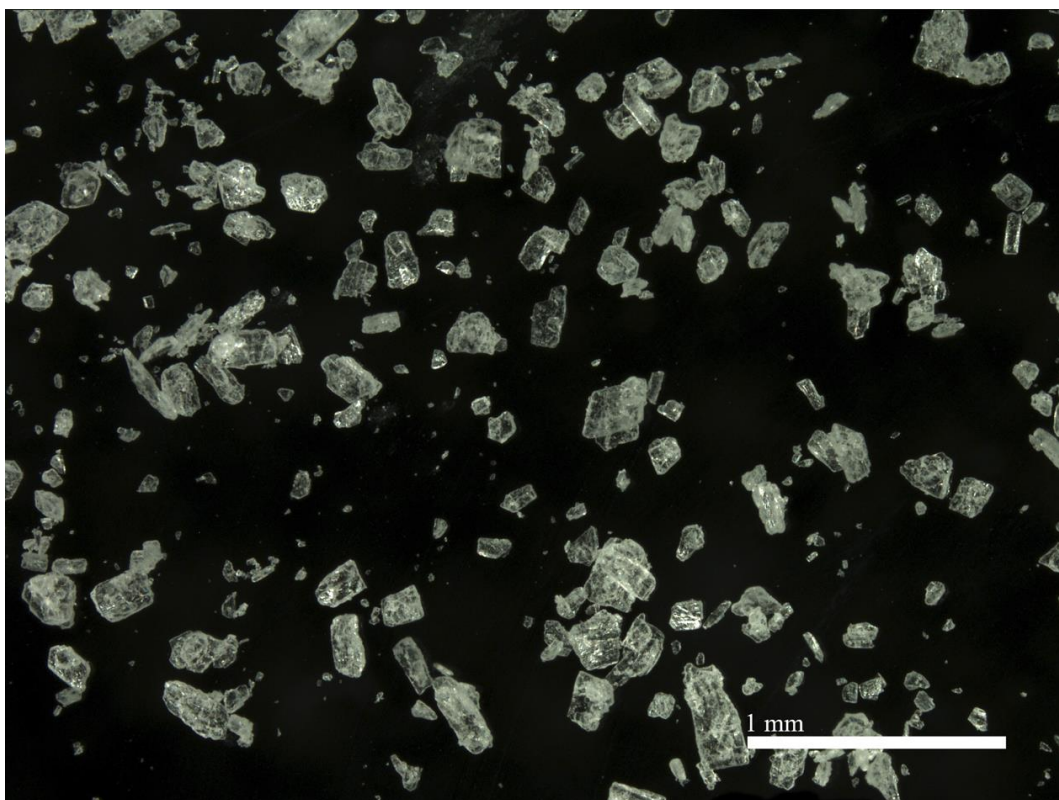
Ryc. 1. Zdjęcie kryształów sacharozy - powszechnie stosowanego białego cukru, wykonane z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w przybliżeniu 7,5x



Ryc. 2. Zdjęcie kryształów sacharozy wykonane z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w powiększeniu 30x



Ryc. 3. Zdjęcie kryształów glukozy wykonane z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w powiększeniu 7,5x



Ryc. 4. Zdjęcie kryształów glukozy wykonane z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w powiększeniu 30x

Fruktoza

Fruktoza ($C_6H_{12}O_6$) (Ryc. 5 i 6) stanowi drugi monosacharyd budujący cząsteczkę sacharozy. Jest ketoheksosą, w roztworach wodnych funkcjonuje jako mieszanina fruktofuranozy (pięciowęglowy pierścień) i fruktopiranozy (sześciowęglowy pierścień), z niewielką ilością formy łańcuchowej. Jej wartość energetyczna to 4 kcal/g. Indeks glikemiczny jest jednak znacznie niższy niż w przypadku glukozy. Wynosi, w zależności od źródła, od 19 do 23, plasując fruktozę w grupie produktów o niskim IG. Jednocześnie jest ona 1,5-1,8 razy słodsza od sacharozy sacharozy (Godshall, 2007, za: Chattopadhyay i in., 2014). Jest również łatwa do pozyskania – występuje naturalnie w owocach, warzywach i miodzie. Z tego względu jest chętnie wykorzystywana w przemyśle. Stosowana jest przede wszystkim w formie wysoko fruktozowego syropu kukurydzianego (HFCS), używanego jako składnik wielu produktów spożywczych. W Stanach Zjednoczonych fruktoza stanowi nawet 10% dziennie przyjmowanych kalorii (Rizkalla, 2010; i literatura tam cytowana).

Fruktoza jest wchłaniana z jelit do krwi, a następnie przyswajana na ścieżkach niezależnych od insuliny i leptyny. Z tego powodu jej przyjmowanie nie jest kontrolowane przez te hormony. Fruktoza jest również konwertowana na glukozę produkty jej metabolizmu. Pojawiają się coraz liczniejsze hipotezy i badania sugerujące, że nadmierne spożycie fruktozy jest powiązane z otyłością, chorobami krążeniowymi, a także może być jednym z czynników odpowiedzialnych za insulinooporność, hiperinsulinemię, hipertriglicydemię czy nadciśnienie (Rizkalla, 2010; i literatura tam cytowana).

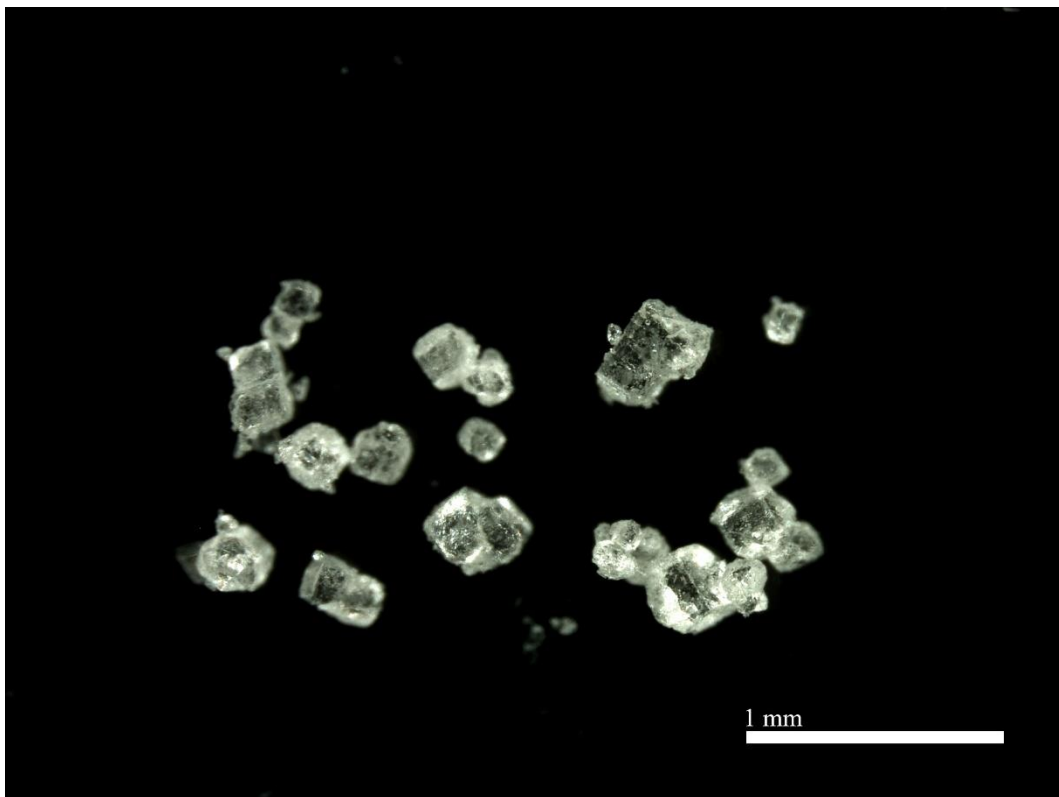
Ksylitol

Alternatywnym podejściem dla stosowania sacharozy lub budujących ją monosacharydów jest wykorzystanie alkoholi polihydroksylowych (polioli), takich jak ksylitol ($C_5H_{12}O_5$) (Ryc. 7 i 8). Jest to substancja naturalnie występująca w soku brzożowym (stąd powszechna nazwa *cukier brzożowy*), ale także w małych ilościach w owocach i warzywach, takich jak śliwki, truskawki, dynia czy kalafior, oraz w grzybach. Może być syntetyzowany chemicznie lub biotechnologicznie z biomasy, m.in. z odpadów rolniczych – ten ostatni najczęściej można spotkać na rynku. Jest równie słodki, jak sacharoza. Ma o 25% niższą wartość energetyczną (3 kcal/g), a jego indeks glikemiczny mieści się w zakresie 7-13. Jest pobierany przez komórki niezależnie od insuliny. Metabolizm ksylitolu zachodzi głównie w wątrobie, gdzie jest on przetwarzany do dwutlenku węgla i wody. Około 2/3 spożytej ilości pozostaje niewchłonięta i podlega fermentacji przez bakterie mikrobiomu jelitowego. Działa probiotycznie, ale nadmierne spożycie może wywołać biegunki. Regularnie przyjmowany może przyczynić się do obniżenia poziomu glukozy, a także triglicerydów czy cholesterolu we krwi (Chattopadhyay i in., 2014; Ur-Rehman i in., 2015).

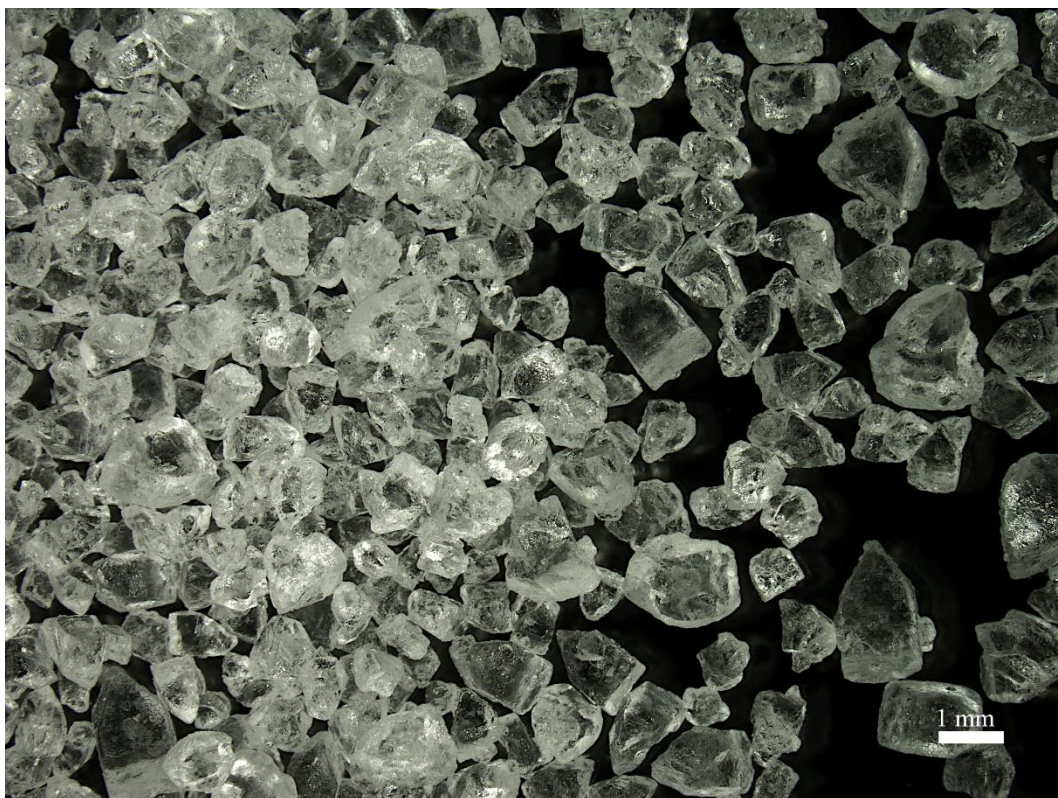
Poleca się go jako zamiennik cukru dla diabetyków. Dodatkowo, ksylitol posiada właściwości antybakteryjne i przeciwpróchnicze. Z tego względu jest częstym dodatkiem do gum do żucia oraz past do zębów. Znajduje zastosowanie w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym i stomatologii. Ksylitol jest bezpieczny dla kotów, jednak wykazuje toksyczne działanie na psy (Peterson, 2013; Ur-Rehman i in., 2015).



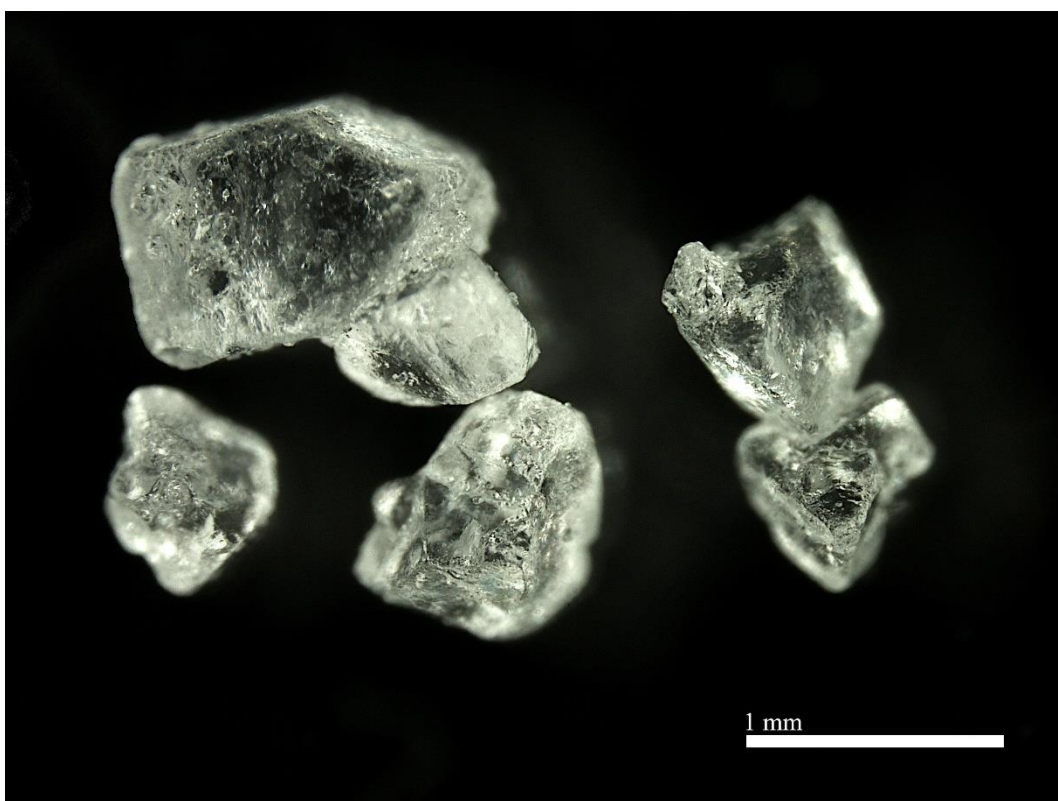
Ryc. 5. Zdjęcie kryształów fruktozy wykonane z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w powiększeniu 7,5x



Ryc. 6. Zdjęcie kryształów fruktozy wykonane z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w powiększeniu 30x



Ryc. 7. Zdjęcie kryształów ksylitolu – cukru brzozonego wykonane z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w powiększeniu 7,5x



Ryc. 8. Zdjęcie kryształów ksylitolu wykonane z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w powiększeniu 30x

Erytrytol

Innym poliolem, używanym jako zamiennik cukru jest erytrytol ($C_4H_{10}O_4$), czterowęglowy alkohol polihydroksylowy (Ryc. 9 i 10). Występuje w naturze w śladowych ilościach w owocach, grzybach i produktach fermentowanych. Produkcja chemiczna tego związku jest mało opłacalna ze względu na szereg wymagań, takich jak utrzymanie wysokich temperatur podczas procesu produkcji czy obecność niklowego katalizatora. Mimo otrzymania erytrytolu tą drogą, nadal produkcja ma niską efektywność. Na skalę przemysłową syntetyzowany jest biotechnologicznie, poprzez fermentację glukozy przez drożdżopodobne grzyby. Wykazuje niską wartość energetyczną (ok. 0,2 kcal/g), a przy tym jego indeks glikemiczny wynosi 0. Jest mniej słodki od sacharozy (ok. 60-80% słodkości sacharozy). Nie posiada charakterystycznego posmaku, a wręcz maskuje inne posmaki, może więc być mieszany z innymi, bardziej intensywnymi słodzikami. Rozpuszczony w wodzie wykazuje efekt chłodzący (Chattopadhyay i in., 2014; Regnat i in., 2018; i literatura tam cytowana).

Większość spożywanego erytrytolu nie jest metabolizowana przez ludzki organizm. Jest on słabo absorbowany z jelita. Jego poziom nie jest regulowany przez insulinę. Ta część, która dostała się do krwi, jest usuwana z moczem w niezmienionej formie.

Erytrytol posiada właściwości przeciwutleniające, więc podczas krążenia w krwioobiegu może chronić organizm przed wolnymi rodnikami. Podobnie jak ksylitol, zapobiega nadmiernemu rozwojowi płytki nazębnej. Ze względu na zerowy indeks glikemiczny i niską wartość energetyczną, erytrytol znajduje zastosowanie jako zamiennik cukru w diecie diabetyków i osób otyłych.

Jest wykorzystywany do produkcji artykułów spożywczych bezcukrowych (*sugar-free*) lub o obniżonej zawartości cukru. Używa się go także w przemyśle kosmetycznym, np. w pastach do zębów, kremach czy dezodorantach. Cechy, takie jak stabilność w szerokim zakresie temperatur i pH, brak właściwości redukujących i higroskopijnych, sprawiają, że może być wykorzystywany w przemyśle farmaceutycznym, np. jako nośnik substancji aktywnych w tabletkach, zamiast laktozy (Regnat i in., 2018; i literatura tam cytowana).

Mannitol

Ostatnim z omawianych w pracy polioli jest mannitol ($C_6H_{14}O_6$) (Ryc. 11 i 12). Po raz pierwszy został pozyskany z soku jesionu mannowego (*Fraxinus ornus*). Występuje naturalnie w roślinach, od wodorostów morskich po soki drzew. Komercyjnie jest izolowany z alg, syntetyzowany poprzez katalityczne uwodornienie fruktozy lub wytwarzany w procesie fermentacji. Jest mniej kaloryczny (2,4 kcal/g) oraz o połowę mniej słodki niż sacharoza. Ma zerowy indeks glikemiczny (Deis i Kearsley, 2012).

Mannitol nie jest aktywnie absorbowany z jelita. Część dostaje się do krwi w sposób bierny. Reszta przemieszcza się wraz z treścią pokarmową do jelita grubego, gdzie może zaburzyć balans osmotyczny lub być fermentowana przez bakterie jelitowe z wydzieleniem gazu. Może to prowadzić do biegunek i innych problemów gastrycznych. Z tego względu mannitol uważa się za najslabiej tolerowany polioli. Dopuszczalna dzienna dawka wynosi około 20 g, przy czym nie należy przekraczać 10 g w jednej porcji. Produkty zawierające mannitol powinny zawierać ostrzeżenie o możliwym działaniu przeczyszczającym przy nadmiernym spożyciu (Deis i Kearsley, 2012).

Mannitol nie jest fermentowany przez bakterie jamy ustnej, dzięki czemu jest bezpieczny dla zębów. Dodatkowo, nie jest on higroskopijny, a jego rozpuszczalność w wodzie (22 g/100 g wody) jest znacznie niższa niż innych słodzików (przykładowo, rozpuszczalność sorbitolu wynosi 235 g/100 g wody). Dzięki temu znajduje zastosowanie w produkcji gum do żucia, przede wszystkim jako środek zabezpieczający przed sklejeniem się sąsiadujących porcji gumy lub gumy i papierka. Wykorzystuje się go również do wyrobu niektórych tabletek i syropów (Deis i Kearsley, 2012).

Stewia

Rośliny z rodzaju stewia (głównie *Stevia rebaudiana*) są wykorzystywane jako słodzik i lek od czasów starożytnych. Pochodzą z terenów subtropikalnych i są łatwe w uprawie. *S. rebaudiana* dorastają do 65–80 cm wysokości. Ich liście zawierają kilkanaście procent glikozydów diterpenowych, m.in. stewiozyd i rebaudiozyd A. Wyizolowany i oczyszczony stewiozyd występuje w drobnokrystalicznej postaci (Ryc. 11 i 12). Nie ma wartości energetycznej (0 kcal/g) i jest 200–300 razy słodszy od sacharozy. Dzięki temu już niewielka ilość wystarczy, by zmienić smak przyprawianego produktu. Stewia posiada gorzki posmak, dlatego wskazane jest mieszanie jej z innymi słodzikami. Ekstrakt i glikozydy stewiowe są mocno higroskopijne (Goyal i in., 2010). Nie są metabolizowane przez ludzki organizm (Kumar i in., 2007; za: Goyal i in., 2010).

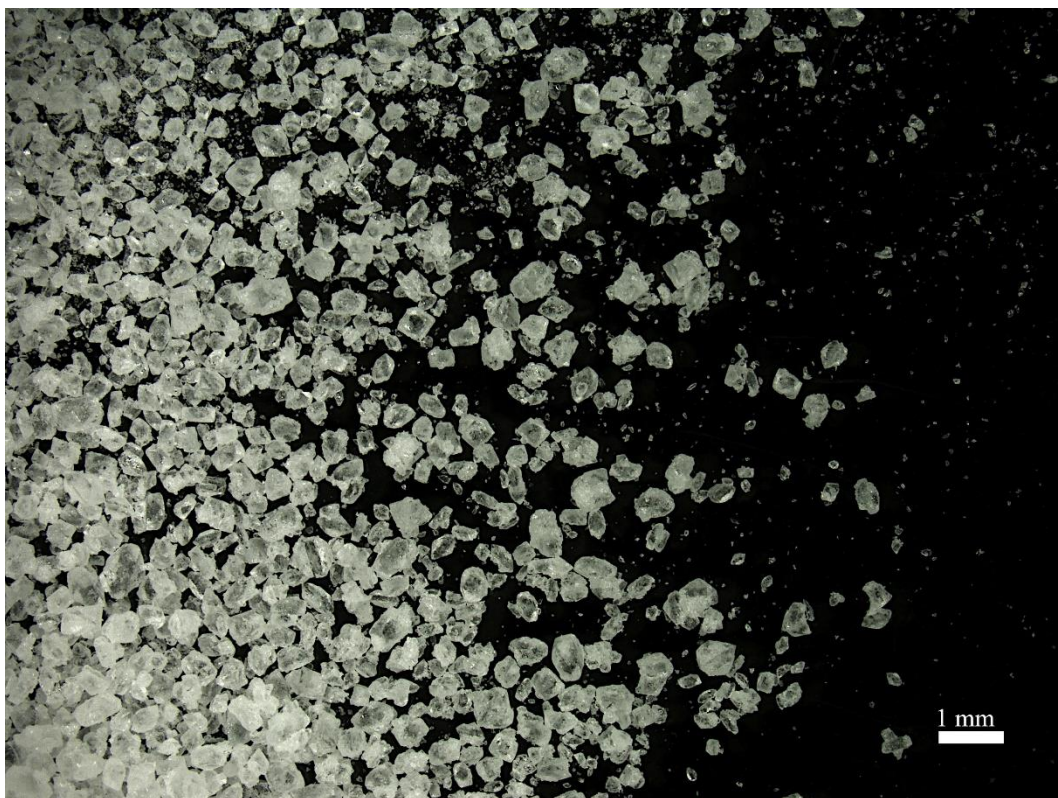
Badania wykonane na zdrowych ochotnikach wykazały, że spożycie stewii obniża poziom cukru we krwi. Sugerują również, że stewiozyd i stewiol (stewiol to aglikon stewiozydu bez przyłączonych reszt cukrowych do grup hydroksylowych znajdującej się przy C13) oddziałują z komórkami β trzustki zwiększając wydzielanie insuliny.

Ta właściwość może zostać wykorzystana w leczeniu cukrzycy typu drugiego i zmniejszeniu hiperglikemii (Jeppesen i in., 2000). Dodatkowo, udokumentowano jej właściwości antybakteryjne, antygrzybiczne, antywirusowe, antyzapalne, diuretyczne i obniżające ciśnienie (Sharma i Mogre, 2007; za: Goyal i in., 2010).

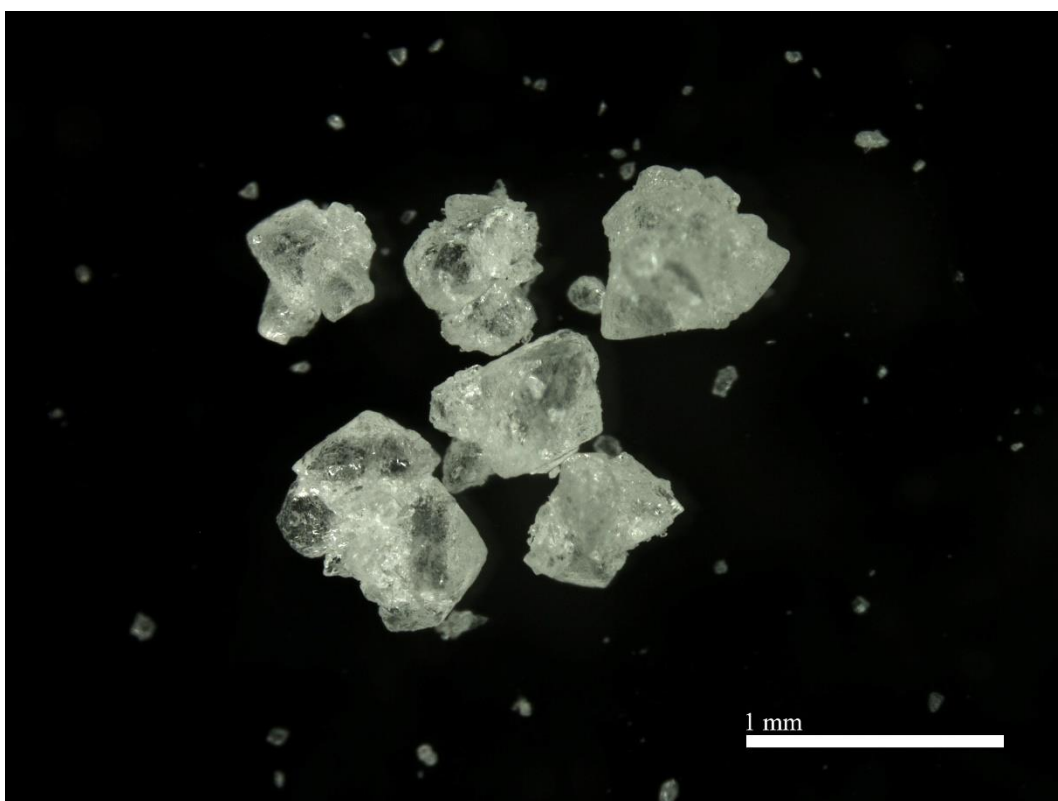
Stewia znajduje zastosowanie jako słodzik w formie sproszkowanych liści, ekstraktu lub izolowanych glikozydów. Może być składnikiem mieszanek słodzików. Dzięki stabilności w wysokich temperaturach jest dobrym słodzikiem do ciast i wyrobów piekarniczych. Wykorzystuje się ją przy produkcji m.in. niektórych napojów, ciastek, lodów czy herbaty (Goyal i in., 2010; i literatura tam cytowana).

Cyklaminian sodu

W przemyśle spożywczym wykorzystuje się również całkowicie syntetyczne słodziki o zerowej wartości odżywczej i wysokim poziomie słodkości. Jednym z nich jest cyklaminian sodu (sól kwasu cykloheksasulfaminowego, $C_6H_{12}NNaO_3S$), odkryty w 1937 roku. Jest około 30 razy słodszy od sacharozy. Charakteryzuje się gorzkim posmakiem, ale dobrze współdziała smakowo z sacharynianem, dlatego często jest z nim łączony (Ryc. 13 i 14). Sam w sobie wykazuje niską toksyczność. Kilkanaście procent przyjmowanego cyklaminianu może być metabolizowane do bardziej toksycznej cykloheksyloaminy przez bakterie mikrobiomu jelitowego. Dostępny jest również w formie soli wapniowej, odpowiedniej dla diety ubogiej w sód (Bopp i in., 1986; i literatura tam cytowana).



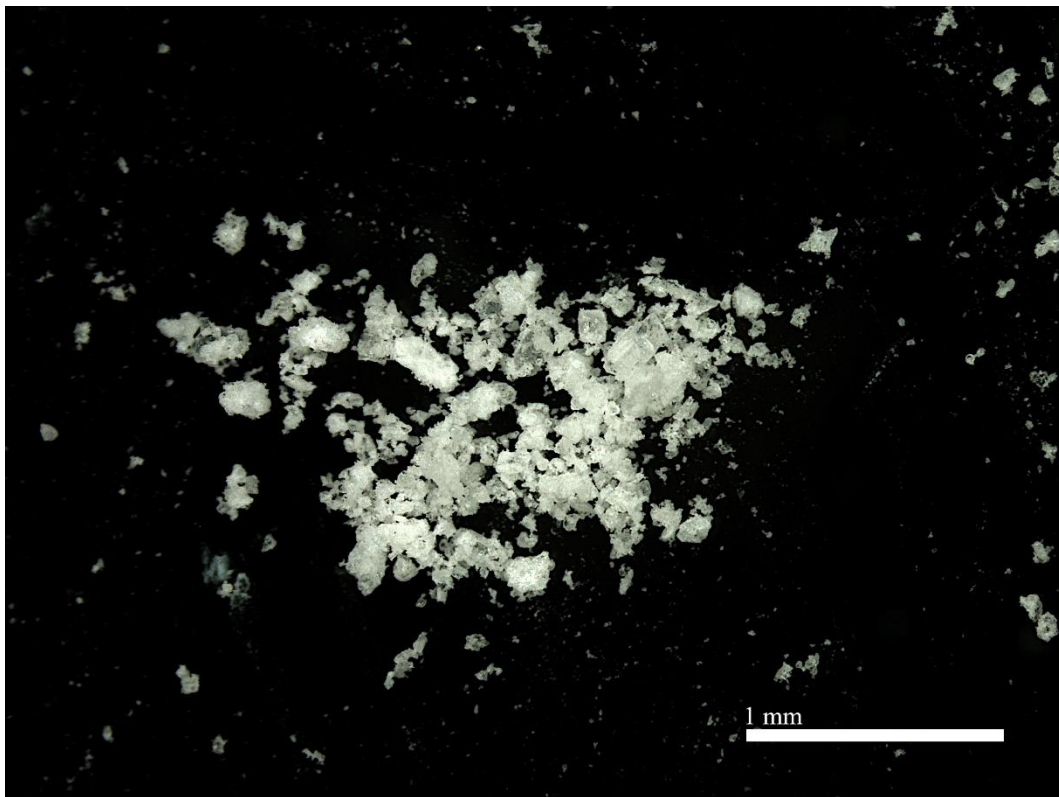
Ryc. 9. Zdjęcie kryształów erytrytolu wykonane z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w powiększeniu 7,5x



Ryc. 10. Zdjęcie kryształów erytrytolu wykonane z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w powiększeniu 30x



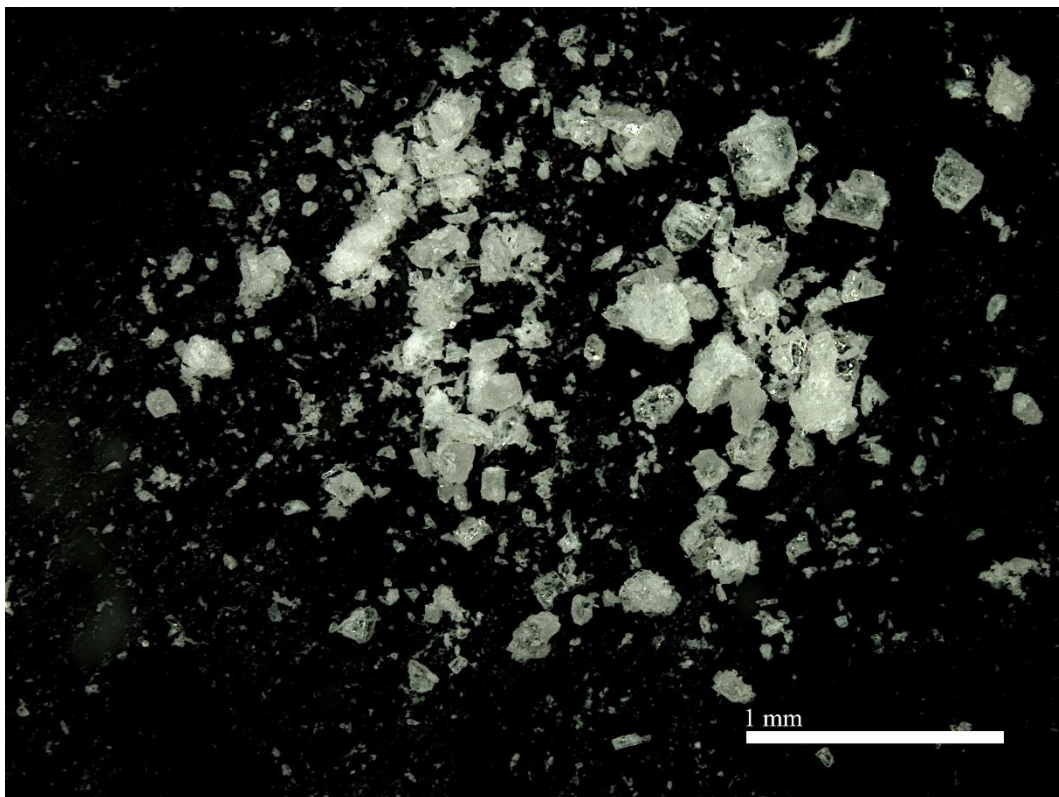
Ryc. 11. Mannitol ma postać drobnego proszku, łatwo ulegającego kompresji. W fotografowanym produkcie został wzbogacony stewią i uformowany w postać tabletek. Zdjęcie wykonano z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w powiększeniu 7,5x



Ryc. 12. Zdjęcie sproszkowanej tabletki składającej się z mannitolu i stewii, wykonane z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w powiększeniu 30x



Ryc. 13. Zdjęcie tabletek - mieszaniny cyklamianianu sodu i sacharynianu sodu, wykonane z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w powiększeniu 7,5x



Ryc. 14. Zdjęcie sproszkowanej tabletki - mieszaniny cyklamianianu sodu i sacharynianu sodu, wykonane z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Nikon SMZ1500 w powiększeniu 30x

Sacharynian sodu

Innym syntetycznym słodzikiem jest sacharyna (imid kwasu o-sulfobenzoesowego, $C_7H_5NO_3S$), odkryta w 1878 roku. Jako słodzik nie-odżywczy (*non-nutritive*), nie jest metabolizowana, ma zerową wartość energetyczną. Jej poziom słodkości jest ok. 300 razy wyższy niż w przypadku sacharozy. Przy tym ma nieprzyjemnie gorzki, metaliczny smak. Wykorzystuje się ją w mieszaninach z innymi słodzikami np. cyklaminianem (Ryc. 13 i 14). Sacharyna jest słabo rozpuszczalna w wodzie, dlatego zwykle jest używana w postaci soli, np. sodowej (Chattopadhyay i in., 2014; i literatura tam cytowana).

Poprzez badania u szczurów (Kelly i in., 1970) sacharynian był kojarzony z występowaniem nowotworu pęcherza moczowego. W świetle późniejszych badań został uznany za stosunkowo bezpieczny i jest obecnie dostępny na rynku. Wymaga się umieszczania go na liście składników wraz z wskazaniem ilości, w jakiej występuje w produkcie (Kroger i in., 2006).

Podsumowanie

Nadmierne spożycie mono- i disacharydów jest jedną z przyczyn chorób cywilizacyjnych, co od lat jest badane. Dotyczy to przede wszystkim cukrzycy i otyłości, ale również chorób układu krążenia, problemów z koncentracją i innych schorzeń. Dietetycy zalecają ograniczenie spożywanego cukru. Notabene, odczuwanie słodkiego smaku pobudza ośrodki odpowiedzialne za odczuwanie przyjemności i jest postrzegana przez mózg jako naturalna nagroda. Wielu ludzi nie chce rezygnować ze słodkiego „co nieco”.

W tej sytuacji naprzeciw wychodzą producenci żywności, oferując dużą różnorodność dostępnych słodzików, m.in. prezentowane w pracy: ksylitol, erytrytol, mannitol, stewię, cyklaminian czy sacharynian sodu.

W zależności od potrzeb, konsumenci mogą wybrać substancje o obniżonej wartości energetycznej, niewpływające na poziom insuliny, cechujące się podobną lub znacznie większą słodkością w porównaniu do sacharozy. Bogata oferta pozwala zachować pożądany słodki smak produktów, bez martwienia się o zbyt liczne kalorie.

Z drugiej strony, niska lub zerowa kaloryczność niektórych słodzików wynika z faktu, iż nie są one metabolizowane przez ludzki organizm. Są zwykle wydalane w niezmienionej formie. Brak metabolizmu nie dotyczy jednak wyłącznie człowieka. W naturze nie występują wystarczające mechanizmy rozkładania substancji używanych jako słodziki, co prowadzi do ich akumulacji w środowisku. Słodziki przed dopuszczeniem do użytku są badane pod względem bezpieczeństwa dla ludzkiego organizmu, ale nie są prowadzone badania ich wpływu na środowisko naturalne. Przykładowo, sukraloza może potencjalnie ingerować w proces fotosyntezy, co może wpływać na algi i prowadzić do zaburzeń obiegu CO_2 w przyrodzie (Lubick, 2008). Potrzebne są systemowe analizy wpływu stosowanych dodatków do żywności, takich jak słodziki, na ekosystemy.

Opisywane w pracy negatywne efekty na ogół dotyczą nadmiernego spożycia danej substancji. Organizm ludzki na drodze ewolucji wypracował mechanizmy regulacji poziomu glukozy oraz radzi sobie z innymi, dostarczanymi w niewielkich ilościach, związkami. Każda substancja ma ograniczoną zalecaną wartość dziennego spożycia, a najzdrowszą opcją jest świadome redukcowanie poziomu przyjmowanych cukrów i słodzików.

Literatura

- Augustin, L.S.A., Kendall, C.W.C., Jenkins, D.J.A., Willett, W.C., Astrup, A., Barclay, A.W., Björck, I., Brand-Miller, J.C., Brighenti, F., Buyken, A.E., Ceriello, A., la Vecchia, C., Livesey, G., Liu, S., Riccardi, G., Rizkalla, S.W., Sievenpiper, J.L., Trichopoulou, A., Wolever, T.M.S., Baer-Sinnott, S., Poli, A., 2015. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: An International Scientific Consensus Summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC). *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2 (9), 795-815.
- Beauchamp, G.K., 2016. Why do we like sweet taste: A bitter tale? *Physiology & Behavior*, 164(Pt B), 432-437.
- Beecher, K., Alvarez Cooper, I., Wang, J., Walters, S.B., Chehrehasa, F., Bartlett, S.E., Belmer, A., 2021. Long-Term Overconsumption of Sugar Starting at Adolescence Produces Persistent Hyperactivity and Neurocognitive Deficits in Adulthood. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 670430.
- Bopp, B.A., Sonders, R.C., Kesterson, J.W., Renwick, A.G., 1986. Toxicological aspects of cyclamate and cyclohexylamine. *Critical Reviews in Toxicology*, 16(3), 213-306.
- Chattopadhyay, S., Raychaudhuri, U., Chakraborty, R., 2014. Artificial sweeteners - A review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(4), 611-621.
- Chorzewska, E., Wasilczuk, U., Marczuk-Kolada, G., Obidzińska, M., Łuczaj-Cepowicz, E., Kuźmiuk, A., 2015. Wpływ nawyków żywieniowych i wykształcenia rodziców na intensywność próchnicy u dzieci w wieku przedszkolnym. *Nowa Stomatologia*, 20(4), 142-148.
- Deis, R.C., Kearsley, M.W., 2012. Sorbitol and Mannitol. In: *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*, 331-346. Wiley-Blackwell.
- Fonseca, E., de Lafuente, V., Simon, S.A., Gutierrez, R., 2018. Sucrose intensity coding and decision-making in rat gustatory cortices. *ELife*, 7.
- Goyal, S.K., Samsher, Goyal, R.K., 2010. Stevia (*Stevia rebaudiana*) a bio-sweetener: A review. *International Journal of Food Sciences & Nutrition*, 61(1), 1-10.
- Jarosz, M., 2012. Normy żywienia dla populacji polskiej nowelizacja. Instytut Żywności i Żywienia.
- Jeppesen, P.B., Gregersen, S., Poulsen, C.R., Hermansen, K., 2000. Stevioside Acts Directly on Pancreatic 13 Cells to Secrete Insulin: Actions Independent of Cyclic Adenosine Monophosphate and Adenosine Triphosphate-Sensitive K⁺-Channel Activity. *Metabolism*, 149(2), 208-214.
- Kelly, T.K., Lindqvist, W.F., Muir, M.D., 1970. Bladder Tumors in Rats Fed Cyclohexylamine or High Doses of a Mixture of Cyclamate and Saccharin. *Science*, 167(3921), 1131-1132.
- 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.
- Leahy, J.L. 2005. Pathogenesis of type 2 diabetes mellitus. *Archives of Medical Research*, 36(3), 197-209.
- Lubick, N., 2008. Artificial sweetener persists in the environment. *Environmental Science and Technology*, 42(9), 3125.
- Mennella, J.A., Bobowski, N.K., Reed, D.R., 2016. The development of sweet taste: From biology to hedonics. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*, 17 (2), 171-178.
- Peterson, M.E., 2013. Xylitol. *Topics in Companion Animal Medicine*, 28(1), 18-20.
- Regnat, K., Mach, R.L., Mach-Aigner, A.R., 2018. Erythritol as sweetener - wherefrom and where to? *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(2), 587-595).
- Renwick, A.G., Molinary, S.V., 2010. Sweet-taste receptors, low-energy sweeteners, glucose absorption and insulin release. *British Journal of Nutrition*, 104(10), 1415-1420.
- Rizkalla, S.W., 2010. Health implications of fructose consumption: A review of recent data. *Nutrition and Metabolism*, 7, 82.
- Stanhope, K.L. 2016. Sugar consumption, metabolic disease and obesity: The state of the controversy. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 53(1), 52-67.
- Tucker, R.M., Mattes, R.D., 2012. Are Free Fatty Acids Effective Taste Stimuli in Humans?: Presented at the Symposium "The Taste for Fat: New Discoveries on the Role of Fat in Sensory Perception, Metabolism, Sensory Pleasure and Beyond" Held at the Institute of Food Technologists 2011 Annual Meeting, New Orleans, La., June 12, 2011. *Journal of Food Science*, 77(3), 148-151.
- Ur-Rehman, S., Mushtaq, Z., Zahoor, T., Jamil, A., Murtaza, M.A., 2015. Xylitol: A Review on Bioproduction, Application, Health Benefits, and Related Safety Issues. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55 (11), 1514-1528.

Wandres, M., Pfarr, S., Molnár, B., Schöllkopf, U., Ercsey-Ravasz, M., Sommer, W.H., Körber, C., 2021. Alcohol and sweet reward are encoded by distinct meta-ensembles. *Neuropharmacology*, 195.

World Health Organization, 2015. Guideline: Sugars intake for adults and children. Geneva.

Notka o Autorce

Absolwentka kierunku Genetyka i Biologia Eksperymentalna (studia I stopnia, Uniwersytet Gdański, Wydział Biologii) w 2022 roku. Kontynuuje naukę na Wydziale Biologii. Esej powstał podczas udziału w projekcie „Mistrzowie Dydaktyki – wdrożenie modelu tutoringowego do praktyki uczelnianej” pod opieką tutorki dr hab. Agnieszki Kowalkowskiej, prof. UG.