

URSZULA ŚWIERCZEK, ALICJA BOROWIECKA, JOANNA FEDER-KUBIS

## STRUKTURA, WŁAŚCIWOŚCI I PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ SYNTETYCZNYCH SUBSTANCJI SŁODZĄCYCH

### Streszczenie

Substancje słodzące w przeciwieństwie do tradycyjnego cukru zasadniczo nie mają wartości odżywczej. Dzięki odpowiednim właściwościom smakowym i fizykochemicznym, m.in. odporności na wysokie temperatury, stabilności chemicznej oraz rozpuszczalności w wodzie i innych mediach są stosowane w przemyśle spożywczym. Związki te pozyskuje się z surowców roślinnych lub otrzymuje w wyniku reakcji chemicznych, a ich produkcja sięga tysięcy ton rocznie. Substancje intensywnie słodzące można podzielić ze względu na rodzaj elementu strukturalnego występującego w cząsteczce na: aromatyczne, cykliczne oraz heterocykliczne. Możliwa jest również klasyfikacja ze względu na obecność grup funkcyjnych: sulfonamidy (np. cyklaminian i sacharyna), dipeptydy (np. aspartam, alitam, neotam), pochodne sacharozy (np. sukraloza) czy też mniej znane pochodne guanidynowe (*Carrelame*, *Sucrononatei Lugduname*).

Substancje intensywnie słodzące charakteryzują się różną intensywnością odczucia smaku słodkiego. Najbardziej intensywne odczucie smaku słodkiego wywołuje neotam, następnie alitam i taumatyna, najłagodniejsze natomiast – cyklaminian oraz jego sole: sodu, potasu czy wapnia. Poza silnymi walorami smakowymi substancje słodzące wykazują właściwości wspomagające żelowanie, nadają produktom odpowiednią trwałość, teksturę, pozwalają niwelować nieprzyjemne, gorzkie posmaki pozostałych dodatków do żywności lub wzmacniać w nich pożądany aromat.

Syntetyczne substancje słodzące są również stosowane w syntezie organicznej jako substraty do otrzymywania związków o interesujących właściwościach, np. antybakteryjnych cieczy jonowych oraz leków przeciwnowotworowych.

**Słowa kluczowe:** substancje intensywnie słodzące, dozwolone dodatki do żywności, ciecz jonowa, aktywność przeciwnowotworowa

### Wprowadzenie

Słodki smak wielu produktów spożywczych warunkowany jest zawartością w nich cukrów, w tym sacharozy. Poza walorami smakowymi sacharoza pełni funkcję

---

*Mgr inż. U. Świerczek, Zakład Chemii Bioorganicznej, inż. A. Borowiecka, dr J. Feder-Kubis, Zakład Inżynierii Chemicznej, Wydz. Chemiczny, Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Norwida 4/6, 50-373 Wrocław. Kontakt: urszula.swierczek@pwr.edu.pl*

wypełniacza nadającego strukturę produktom spożywczym, m.in. kształtuje odpowiednią lepkość, uczestniczy w procesie żelowania, a dodatkowo może konserwować produkt [3]. Jej powszechność w diecie wiąże się jednak z nadmiernym spożyciem cukrów, co przyczynia się do wzrostu zagrożenia chorobami układu sercowo-naczyniowego i sprzyja otyłości [14, 22]. Poszukuje się więc bezpiecznych zamienników sacharozy [3, 22].

Substancje słodzące, potocznie nazywane słodzikami, odgrywają w przemyśle spożywczym coraz większą rolę. W przeciwieństwie do tradycyjnych cukrów, takich jak glukoza, fruktoza czy sacharoza, należą do związków, które zasadniczo nie mają właściwości odżywczej (*ang. Nonnutrive Sweeteners – NNS*) [16, 25]. Słodki smak jest bez wątpienia największym walorem substancji słodzących, dlatego też pełnią funkcję dodatków do żywności [4, 12]. Na szeroką skalę stosowane są w przemyśle piekarniczym i cukierniczym do wyrobu pieczywa, ciast i ciastek [8, 10, 21], w przemyśle mleczarskim [25] oraz do produkcji napojów [1, 2, 4]. Stosuje się je także jako substancje słodzące w produktach specjalnego przeznaczenia, tj. w suplementach diety dla diabetyków i sportowców [18] oraz w lekarstwach [10].

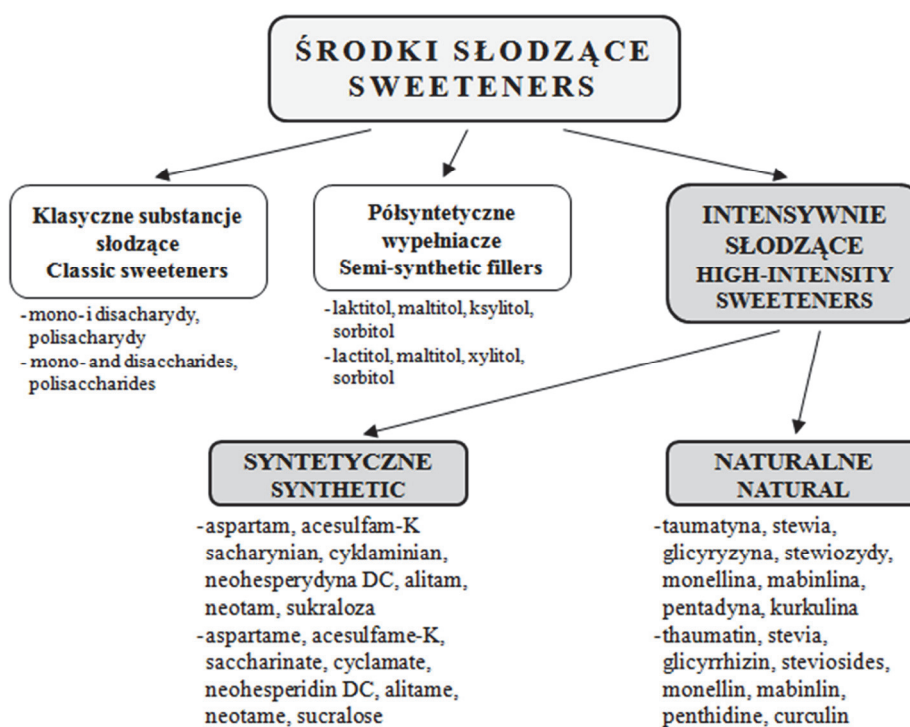
Do powszechnie stosowanych substancji słodzących należą: sole acesulfamowe, aspartamowe, cyklaminy, sacharyniany i sukraloza, czyli związki otrzymywane syntetycznie [3, 8, 23], oraz ksylitol [26], taumatyna [10] i stewia – substancje pochodzenia naturalnego [23].

Główne kryteria wyboru konkretnego preparatu słodzącego stanowią: intensywność odczucia smaku słodkiego, brak negatywnego wpływu na zdrowie, rozpuszczalność w środowisku wodnym, dostępność [10, 11, 23], stabilność termiczna i chemiczna, jak również koszty wytworzenia [4]. Istotnym czynnikiem wpływającym na wybór związków jest różnorodność ich struktury chemicznej. Obecność różnych grup funkcyjnych zawartych w cząsteczkach substancji intensywnie słodzących wpływa na możliwość syntezy związków o nowych właściwościach i zastosowaniu. Na uwagę zasługują słodkie ciecze jonowe (*ang. Sweet Ionic Liquids – SILs*) – organiczne sole wykazujące m.in. aktywność przeciwdrobnoustrojową [9]. Interesującym przykładem są ponadto związki będące prototypem przeciwnowotworowych leków nowej generacji, np. związki kompleksowe typu sacharynian-pallad(II) [24] oraz liczne „słodkie” pochodne stanowiące inhibitory działania enzymów [17].

### **Podział i właściwości substancji słodzących**

Ze względu na intensywność odczucia smaku słodkiego wyróżnia się: substancje klasyczne, jak cukry, w tym sacharoza [2, 26], półsyntetyczne wypełniacze (*ang. semi-synthetic fillers*) – mniej słodkie od cukru buraczanego [2, 8] oraz intensywne środki słodzące (*ang. high-intensity sweeteners*), występujące w naturze oraz pozyskiwane drogą syntezy chemicznej, znacznie przewyższające (od kilkudziesięciu do kilku tysięcy

cy razy) intensywnością odczucia słodkiego smaku pozostałe grupy [10, 23, 26] – rys. 1.



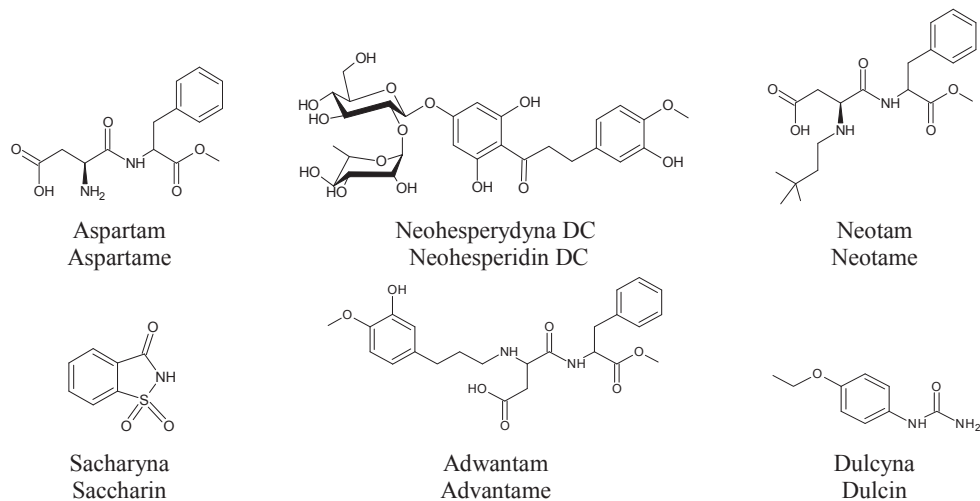
Rys. 1. Klasyfikacja substancji słodzących  
Fig. 1. Classification of the sweeteners

Pod względem strukturalnym wyróżnia się związki:

- 1) zawierające pierścienie aromatyczne: aspartam, neohesperydyna DC, neotam, sacharyna, adwantam, dulcyna (rys. 2);
- 2) cykliczne (w tym także heterocykliczne): cyklaminian sodu, alitam, sukraloza, acesulfam-K (rys. 3).

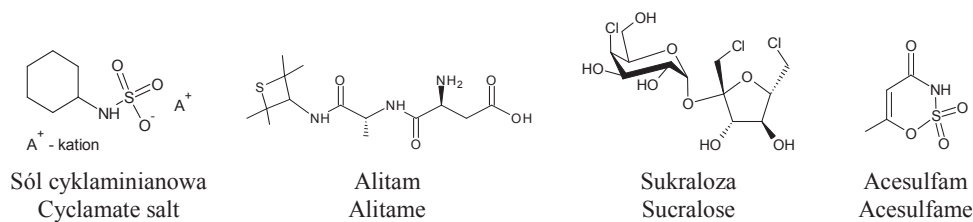
Ze względu na obecność grup funkcyjnych rozróżnia się:

- 1) sulfonamidy: sacharyna, sole cyklaminianowe, acesulfam-K [5];
- 2) dipeptydy: neotam, aspartam, alitam, [5];
- 3) pochodne sacharozy: sukraloza [5];
- 4) pochodne guanidyny: *Carrelame*, *Sucrononate* i *Lugduname* [11, 20] (rys. 4).



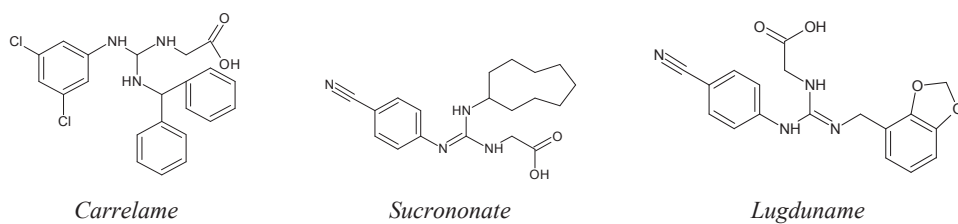
Rys. 2. Syntetyczne substancje słodzące zawierające pierścień aromatyczny

Fig. 2. Synthetic sweeteners containing aromatic ring



Rys. 3. Substancje słodzące cykliczne/heterocykliczne

Fig. 3. Cyclic/heterocyclic sweeteners



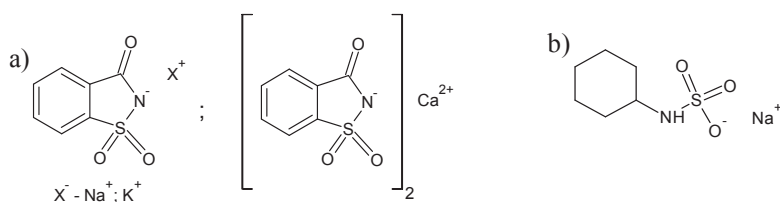
Rys. 4. Słodkie pochodne guanidyny

Fig. 4. Sweet derivatives of guanidine

W zależności od budowy środki intensywnie słodzące wykazują odmienne właściwości fizykochemiczne (tab. 1). Pierwszym związkiem stosowanym na skalę prze-

mysłową była sacharyna [11] (rys. 2). Jako jedna z lepiej przebadanych substancji intensywnie słodzących po wielu latach została uznana za nieszkodliwą dla człowieka w ponad 90 krajach świata [4, 5, 6, 16], w tym w Unii Europejskiej i w Polsce [19]. Jak podają źródła [7], sacharyna odznacza się intensywnością odczucia smaku słodkiego od 250 do nawet 500 razy większą od sacharozy, dzięki czemu możliwe jest obniżenie dawki substancji słodzącej wymaganej do osiągnięcia efektu smakowego. Jest wydalana z moczem w niezmienionej postaci. Dobrze nadaje się więc do maskowania niepożądanych smaków w produkcie spożywczym lub leku, nie zwiększając jego wartości energetycznej (0 kcal/g) [7, 18]. Związek ten występuje w stałej, termicznie stabilnej postaci, jest słabo rozpuszczalny w wodzie, dlatego częściej wykorzystuje się jego sole: sodu, potasu i wapnia (0,67 g/ml) [4, 12] – rys. 5. Wadą sacharyny jest nieprzyjemny, metaliczno-gorzki posmak. Wykazuje ona jednak dobrą synergii z solami cyklamianowymi i dlatego stosowana jest głównie w ich mieszaninie [7] w stosunku 1 : 10 [15, 18]. Dopuszczalna dzienna dawka (ADI – *ang. Acceptable Daily Intake*) sacharyny dla osoby dorosłej wynosi 5 mg/kg masy ciała [12, 16].

Kolejną substancją intensywnie słodzącą jest cyklaminian sodu. Wśród syntetycznych substancji słodzących charakteryzuje się on jednak najniższą intensywnością odczucia smaku słodkiego. Wykazuje tylko 30 ÷ 40/50 [4, 7, 13, 18] razy intensywniejsze odczucie słodkiego smaku niż sacharoza. Warto jednak podkreślić wysoką termostabilność tego cyklaminianu przewyższającą pozostałe substancje słodzące [13, 15]. Dobrze maskuje goryczkowy posmak sacharyny, jednak w przeciwieństwie do niej jest częściowo wchłaniany przez organizm (ok. 40 %) i przypuszcza się, że jego metabolity mogą wykazywać działanie rakotwórcze [23]. Dlatego też w wielu krajach jego stosowanie było zakazane. Bezzapachowy cyklaminian sodu oraz pozostałe jego sole: potasu oraz wapnia (rys. 5) bardzo dobrze rozpuszczają się w wodzie [26], alkoholu i glikolu propylenowym [15]. ADI omawianej substancji intensywnie słodzącej wynosi 7 mg/kg m. c. [19, 23].

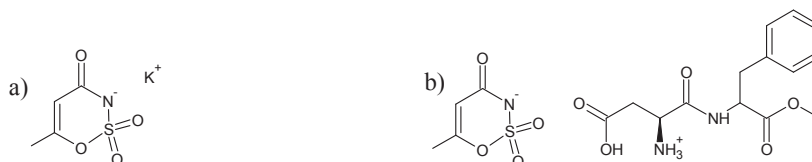


Rys. 5. Substancje intensywnie słodzące zawierające grupę sulfonamidową: a) sole sacharynianowe, b) cyklaminian sodu

Fig. 5. Sweeteners containing sulfonamide group: a) saccharinate salts, b) sodium cyclamate

Do grupy słodkich sulfonamidów należy acesulfam-K, stosowany przemysłowo w postaci soli potasu [6] – rys. 6. Intensywność odczucia smaku słodkiego określa się na poziomie 150 - 200 w stosunku do sacharozy, dla której wartość ta wynosi 1 [1, 7, 23, 25]. Acesulfam-K jest substancją krystaliczną [4] o niskiej wartości energetycznej – 4 kcal/g [23, 26], stabilną termicznie i bardzo dobrze rozpuszczalną w środowisku wodnym [13]. Wywołuje on szybkie odczucie smaku słodkiego, które utrzymuje się nawet w środowisku kwaśnym, występującym w napojach [21]. Jego właściwości słodzące maleją ze wzrostem stężenia w produkcie [26], dlatego też najczęściej sprzedawany jest w postaci mieszanki z aspartamem [19], solami cyklaminyowymi lub sacharynianowymi i klasyfikuje się na drugim miejscu spożycia substancji intensywnie słodzących w Stanach Zjednoczonych [18].

Najpowszechniej stosowaną substancją słodzącą jest dipeptyd kwasu asparaginyowego i fenyloalaniny – aspartam [6, 11, 13] – rys. 2. Wykazuje on około 200 razy intensywniejszy smak słodki niż sacharoza [7, 18, 23, 26], a produkcja roczna wynosi około 16 tys. ton [21]. Aspartam odznacza się najczystszy smakiem i nie pozostawia gorzkawego posmaku [1]. Mimo niskiej wartości energetycznej – 4 kcal/g [4, 23, 26] oraz zdolności do wzmacniania innych smaków i aromatów cytrusowych brakuje mu cech idealnej substancji intensywnie słodzącej, m.in. dobrej rozpuszczalności w wodzie, trwałości termicznej i chemicznej [4]. Z upływem czasu traci intensywność słodzenia, stąd jego trwałość wynosi do 6 miesięcy [6, 23, 26]. Nie przeszkadza to jednak w jego stosowaniu w ponad 6000 różnego rodzaju produktach, także w formie soli z acesulfamem [18] – rys. 6.



Rys. 6. Struktura soli acesulfamowych: a) acesulfam-K, b) sól aspartamowo-acesulfamowa

Fig. 6. Structure of acesulfame salt: a) K-acesulfame, b) aspartame-acesulfame salt

Związkiem otrzymywanym w wyniku chemicznej syntezy jest neohesperydyna (rys. 2), występująca w postaci dihydrochalkonu (DC) [26]. Dopuszczona do spożycia przez kraje Unii Europejskiej [10], w tym także Polskę [18], wykazuje bardzo dużą intensywność smaku słodkiego: 1000 ÷ 2000/3000 razy wyższą od sacharozy [10, 18].

Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne oraz przykłady zastosowań syntetycznych substancji słodzących  
 Table 1. Physical-chemical properties and examples of applying synthetic sweeteners

Substancja intensywnie słodząca High-intensity sweetener	Rok i wyznalazca; źródło / Year and inventor; source	Masa molowa M. weight [g/mol]	Postać Form	Temp. top. Melting point [°C]	Zastosowanie Application
Sacharyna 1,1-dioekso 1,2-benzotiazol-3-on (C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>3</sub> S)	1879 r. Remsen, Fahlberg [1, 2, 4, 18]	183,18	białe, krystaliczne ciało stałe	229,0	pasty do zębów, napoje, produkty dietetyczne, farmaceutyki [1]
Aspartam ester metylowy N-(L- $\alpha$ -aspartyl)-L-fenylalaniny (C <sub>14</sub> H <sub>18</sub> N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1965 r. Schlatter, Searle [2, 16, 18]	294,30	białe, krystaliczne ciało stałe	246,5	gumy do żucia [21], napoje [26], płatki śniadaniowe [4]
Acesulfam-K 6-metylo-2,2-dioksooksatiazyn-4-olan potasu (C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> KNO <sub>4</sub> S)	1967 r. Claus, Jansen [2, 6, 16, 21]	201,24	białe ciało stałe lub bezbabarne kryształy	210,0	wyroby cukiernicze [8], pasty, płyny [6], mię- tówki, desery [21]
N-cykloheksylosulfamian sodu (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> NNaO <sub>3</sub> S)	1937 r. Svena [2]	201,22	białe ciało stałe lub bezbabarne kryształy	265,0	napoje [4], gumy, lody, desery [18]
Alitam L-aspartyl-D-alanylotetrametylotetanyloamid (C <sub>14</sub> H <sub>25</sub> N <sub>3</sub> O <sub>4</sub> S)	Lata 80. XX w. [11]	331,43	białe ciało stałe	136 ÷ 147	niedopuszczony w Unii Europejskiej [23]
Sukraloza 1,6-dichloro-1,6-dideokso- $\beta$ -D-fruktofuranozyl 4- chloro-4-deoksy- $\alpha$ -D-galactoza (C <sub>12</sub> H <sub>19</sub> Cl <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	1976 r. [4, 16]	397,63	białe ciało stałe	180 ÷ 190	napoje orzeźwiające [18]
Neotam ester 1-metylowy N-(N-(3,3-dimetylobutylo)-L- $\alpha$ - aspartyl)-L-fenylalaniny (C <sub>20</sub> H <sub>30</sub> N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1965 r. [16]	378,46	białe lub biało-szare ciało stałe	81 ÷ 84	napoje bezalkoholowe, produkty suche [4]
Neohesperydyna DC dihydrochalkon 2-O- $\alpha$ -L-ramnopiranozyl-4'- $\beta$ - D-glukopiranozylu hesperityny (C <sub>28</sub> H <sub>36</sub> O <sub>15</sub> )	1969 r. Horowitz, Gentili [2, 11]	612,58	ciało stałe	156 ÷ 158	gumy, cukierki, napoje mleczne, słodziki sto- lowe [18]



Neohesperydyna DC jest substancją o niskiej wartości energetycznej [23, 26], niwelującą gorzkawy posmak innych związków [23], a także odporną na wysoką temperaturę [26], dzięki czemu nadaje się do zastosowań, w których wykorzystuje się procesy wysokotemperaturowe, np. w piekarnictwie [18].

Do NNS (*ang. Nonnutrive Sweeteners*) o praktycznie zerowej wartości energetycznej należą także: neotam (0 kcal/g) [7, 23], alitam (1,4 kcal/g) [23] oraz sukraloza (0 kcal/g) [7, 18] – rys. 3. Dwa pierwsze to dipeptydy będące trwalszą wersją aspartamu [4, 11]. Wszystkie natomiast charakteryzują się wysoką odpornością termiczną i dużym stopniem czystości słodkiego smaku [11]. Najbardziej intensywny smak słodki wykazuje neotam: 13 000 razy większy niż sacharoza [11, 23], następnie alitam – 3 000 razy [25] oraz sukraloza będąca pochodną cukru buraczanego – do 800 razy [7, 12].

### Zastosowanie substancji intensywnie słodzących

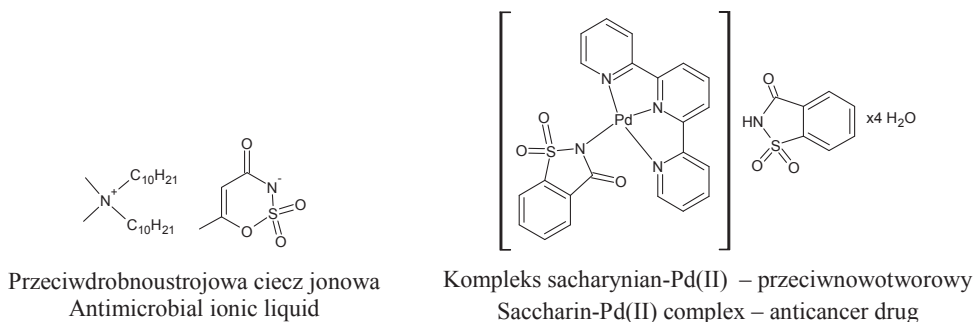
W większości przypadków stosowanie środków intensywnie słodzących ma na celu wywołanie odczucia słodkiego smaku. Ze względu na obniżoną wartość energetyczną substancje intensywnie słodzące stosowane są przez osoby cierpiące na choroby powodowane upośledzeniem metabolizmu związków cukrowych, np. na cukrzycę [10] czy otyłość, jak również przez konsumentów dbających o zdrowie i ograniczających spożycie cukrów (głównie sacharozy) w diecie [25].

Do powszechnego stosowania dopuszczono większość opisywanych syntetycznych substancji słodzących [10, 16]. Wiele z nich występuje pod nazwą handlową, np. Nutrasweet i Aminosweet w odniesieniu do aspartamu [11, 20], Splenda w odniesieniu do sukralozy [18, 20], Sun-Net – soli potasowej acesulfamu-K [26]. O ich zawartości w produktach spożywczych informuje trzycyfrowy numer identyfikacyjny „E” na etykiecie [26] np. neotam to E961, cyklamian sodu – E 952 [23]. Największy udział w światowym rynku syntetycznych substancji intensywnie słodzących mają: sacharyna, sole cyklamianowe oraz aspartam, łącznie około 60 ÷ 80 tys. ton rocznie [8].

Dostępność oraz opatentowane metody syntezy sprawiły, że opisywane związki o wysokiej intensywności smaku słodkiego znalazły szerokie zastosowanie (tab. 1). Zawierają je produkty spożywcze, m.in. orzeźwiające napoje bezalkoholowe oznaczone jako „light”, „dietetic” lub „sugar-free” [22], przetwory mleczne (jogurty, lody, zimne desery [1, 2], puddingi), dżemy i marmolady, słodycze [21], słodziki do kawy i herbaty, majonezy [23], sałatki mięsne oraz rybne [2], płatki śniadaniowe [4] oraz gumy do żucia (słodka otoczka utrzymująca smak) [22]. NNS mogą pełnić także rolę dodatków do żywności dietetycznej i lekarstw, np. syropów, bezcukrowych kropli na kaszel czy tabletek [6, 25]. Używane są także w pastach do zębów i płynach do płukania jamy ustnej [23].



Syntetyczne substancje słodzące stały się również substratem w syntezie nowych związków o interesujących właściwościach cieczy jonowych (np. o aktywności antybakteryjnej), inhibitorów aktywności enzymów oraz kompleksów z jonami metali, badanych w kierunku zastosowań medycznych do leczenia nowotworów [9, 17, 24] – rys. 7.



Rys. 7. Związki otrzymane na bazie syntetycznych substancji słodzących.

Fig. 7. Compounds produced on the basis of synthetic sweeteners.

## Podsumowanie

Dieta współczesnego człowieka bogata jest w różnego rodzaju substancje słodzące. Najpowszechniej stosowanym związkiem jest sacharoza, dostępna na rynku polskim jako cukier buraczany. Problemy z niezakaźnymi chorobami przewlekłymi, w tym z cukrzycą i otyłością, nasiliły badania w kierunku pozyskania bezpieczniejszych i zarazem wydajniejszych zamienników.

Substancje intensywnie słodzące pochodzenia naturalnego, takie jak: taumatyna i glicyryzyna oraz otrzymane w wyniku procesów chemicznych: neotam, alitam, związki cyklamianowe i sacharynianowe, acesulfam-K, aspartam, jak również ich sole, przewyższają intensywnością smaku słodkiego cukier. W przeciwieństwie do sacharozy nie mają wartości odżywczej, ale są związkami o niskiej wartości energetycznej. Jest to szczególnie ważne dla diabetyków i osób dbających o zdrowy styl życia. Opisane substancje intensywnie słodzące są bardzo wydajne. Już niewielka ich ilość w produkcji wywołuje odczucie intensywnego słodkiego smaku, co zostało wykorzystane przy produkcji napojów orzeźwiających, słodzików stołowych, słodczy, dżemów, majonezów, przetworów mlecznych, gum do żucia, kosmetyków do higieny jamy ustnej oraz lekarstw. Odporność na wysokie temperatury i zmienne pH pozwoliły na zastosowanie tych substancji także w piekarnictwie.

Substancje intensywnie słodzące są również atrakcyjne w syntezie organicznej nowych związków. Stanowią komponent strukturalny m.in. słodkich cieczy jonowych o aktywności antybakteryjnej oraz prototypu leków przeciwrakowych.

*Praca finansowana z dotacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego na działalność statutową Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej.*

### Literatura

- [1] Ansari A., Mulla S., Pramod G.: Artificial sweeteners used in formulation of sugar free syrups. *World J. Pharm.Res.*, 2015, **4** (7), 2203-2211.
- [2] Bogacz A., Lewczuk A.: Intensywne substancje słodzące – szansa dla polskiego producenta i konsumenta (1). *Przem. Ferm. Owoc. Warz.*, 2004, **4**, 15-16.
- [3] Bortkun O.: Sacharydy i substancje słodzące w produkcji żywności (1). *Przem. Ferm. Owoc. Warz.*, 2002, **3**, 41.
- [4] Chattopadhyay S., Raychaudhuri U., Chakraborty R.: Artificial sweeteners – a review. *J. Food Sci. Technol.*, 2014, **51** (4), 611-621.
- [5] Fernandes V., Fernandes L., Vasconcellos J., Jager A., Tonin F., Oliviera M.: Simultaneous analysis of aspartame, cyclamate, saccharin and acesulfame-K by CZE under UV detection. *Anal. Methods-UK*, 2013, **5**, 1524-1532.
- [6] Głowacki J.: Słodczyce a dieta. Czy cukier to „biała śmierć”? *Niedziałki*, 1999, **4** (32), 65-73.
- [7] Goldfein K., Slavin J.: Why sugar is added to food: *Food Science 101. Compr. Rev. Food Sci. F.*, 2015, **14** (5), 644-656.
- [8] Górecka D., Korczak J., Borowska-Parus A.: Zastosowanie substancji słodzących w wyrobach ciastkarskich. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **6** (55), 210-218.
- [9] Hough-Troutman W., Śmiglak M., Griffin S., Matthew W., Mirska I., Jodynis-Libert J., Adamska T., Nawrot J., Stasiewicz M., Rogers R., Pernak J.: Ionic liquids with dual biological function: Sweet and anti-microbial, hydrophobic quaternary ammonium-based salts. *New J. Chem.*, 2009, **33** (1), 26-33.
- [10] Kolanowski W., Waszkiewicz-Robak B.: Taumatyna – środek intensywnie słodzący pochodzenia naturalnego. *Żywność, Żywnienie a Zdrowie*, 1998, **1**, 1-6.
- [11] Kołodziejczyk A.: *Naturalne związki organiczne*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2013.
- [12] Koszowska A., Dittfeld A., Nowak J., Brończyk-Puzoń A., Gwizdek K., Bucior J., Zubelewicz-Szkodzińska B.: Cukier – czy warto go zastąpić substancjami słodzącymi? *Nowa Medycyna*, 2014, **1**, 36-41.
- [13] Liu T., Jiang Z-T., Tan J.: Simultaneous Determination of Cyclamate Acesulfame and Aspartame in Beverages by Titania-Based RP-HPLC. *Food Anal. Methods*, 2014, **7** (7), 1400-1406.
- [14] Lowndes J., Sinnett S., Pardo S., Nguyen V., Melanson K., Yu Z., Lowther B., Rippe J.: The Effect of normally consumed amounts of sucrose or high fructose corn syrup in lipid profiles, body composition and related parameters in overweight/obese subject. *Nutrients*, 2014, **6** (3), 1128-1144.
- [15] Martins A., Azoubel R., Lopes R., Matteo M., Arruda J.: Effect of sodium cyclamate on the rat fetal liver: A karyometric and stereological study. *Int. J. Morphol.*, 2005, **23** (3), 221-226.
- [16] Mattes R., Popkin B.: Nonnutrive sweetener consumption in humans: effects on appetite and food intake and their putative mechanisms. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2009, **89** (1), 1-14.
- [17] Monte C., Carradori S., Secci D., D'Ascenzio M., Vullo D., Ceruso M., Supuran C.: Cyclic tertiary sulfamates: Selective inhibition of the tumor-associated carbonic anhydrases IX and XII by N- and O-substitued acesulfame derivatives. *Eur. J. Med. Chem.*, 2014, **84**, 240-246.
- [18] Myszowska-Ryciak J., Harton A., Gajewska D., Bawa S.: Środki słodzące w profilaktyce i leczeniu otyłości. *Kosmos*, 2010, **59** (3-4), 365-374.

- [19] Olszanecka-Glinianowicz M., Czupryniak L.: Stanowisko Polskiego Towarzystwa Badań nad Otyłością i Polskiego Towarzystwa Diabetologicznego w sprawie stosowania niskokalorycznych substancji słodzących. *Diab. Klin. Aneks* 5., 2013, **2**, 63-64.
- [20] Ritter S.: The case against sugar. *Chem. Eng. News*, 2014, **92 (31)**, 11-17.
- [21] Saad A., Khan F., Hayee A., Nazir M.: A Review on potential toxicity of artificial sweeteners vs. safety of stevia: A natural bio-sweetener. *J. Biol. Agric. Healthc.*, 2014, **4 (15)**, 137-148.
- [22] Świąder K., Waszkiewicz-Robak B.: Intensywność słodzących wybranych substancji słodzących. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2006, **1 (46)**, 138-191.
- [23] Świąder K., Waszkiewicz-Robak B., Świdorski F.: Substancje intensywnie słodzące – korzyści i zagrożenia. *Probl. Hig. Epidemiol.*, 2011, **92 (3)**, 392-396.
- [24] Ulukaya E., Ari F., Dimas K., Ikitimur E., Guney E., Yilmaz V.: Anti-cancer activity of a novel palladium(II) complex on human breast cancer cells in vitro and in vivo. *Eur. J. Med. Chem.*, 2011, **46 (10)**, 4957-4963.
- [25] Waszkiewicz-Robak B., Świdorski F.: Wybrane właściwości funkcjonalne substancji intensywnie słodzących. *Przem. Spoż.*, 2000, **4**, 24-35.
- [26] Waszkiewicz-Robak B.: Słodzyc pod kontrolą. *Przegl. Gastr.*, 2002, **1**, 10-11.

## STRUCTURE, PROPERTIES, AND EXAMPLES OF APPLYING SYNTHETIC SWEETENERS

### Summary

Contrary to traditional sugar, synthetic sweeteners provide essentially no nutritional value. Owing to their appropriate taste and physical-chemical properties, *inter alia*: resistance to high temperatures, chemical stability, and solubility in water and in other media, they are applied in the food industry. Those compounds are produced from plant materials or obtained in chemical reactions; the production thereof amounts to thousands of tons per annum. High-intensity sweeteners can be divided by the type of structural element present in the molecule into: aromatic, cyclic, and heterocyclic sweeteners. It is also possible to divide them by the presence of functional groups therein into: sulfonamides (*e.g.*: cyclamate and saccharin), dipeptides (*e.g.*: aspartame, alitame, neotame), sucrose derivatives (*e.g.*: sucralose), or guanidine derivatives that are less known (*Carrelame*, *Sucrononate* and *Lugduname*).

High-intensity sweeteners are characterized by varying intensity of their sweet taste. The strongest sweetener is neotame, next, alitame and thaumatin, while the weakest one is cyclamate and its salts: sodium, potassium, and calcium. In addition to their strong taste qualities, sweeteners exhibit gelling properties, they give the products suitable durability and texture; they help reduce unpleasant, bitter aftertastes caused by other food additives or reinforce the desired aroma.

Synthetic sweeteners are also used in the organic synthesis as starting materials to produce compounds with interesting features, for example antimicrobial ionic liquids or anticancer drugs.

**Key words:** high-intensity sweeteners, permitted food additive, ionic liquid, anticancer activity ☒