

# Substancje słodzące – charakterystyka, metabolizm oraz metody oznaczania w środowisku wodnym (cz. I)

*Iwona Krzyżewska, Aleksandra Kozarska*

Substancje słodzące dzielą się na syntetyczne oraz półsyntetyczne. Najczęściej stosowanymi substancjami słodzącymi w przemyśle spożywczym, medycznym oraz kosmetycznym są: aspartam, acesulfam, stewia oraz ksylitol. Mogą one jednak powodować wiele negatywnych objawów oraz występowanie różnych chorób. Metabolizm substancji słodzących w niektórych przypadkach polega na powstawaniu związków chemicznych, charakteryzujących się większą toksycznością niż pierwotne formy tych substancji.

Najczęściej stosowanymi technikami oznaczania substancji słodzących w środowisku wodnym jest cieczowa chromatografia sprzężona ze spektrometrem mas typu potrójny kwadrupol (LC-MS/MS). Natomiast przy przygotowaniu próbki powszechnie wykorzystuje się ekstrakcję do fazy stałej (SPE). Powyższe metody charakteryzują się satysfakcjonującą liniowością, dokładnością i precyzją.

## Wstęp

Na zmysł smaku składają się cztery podstawowe receptory wykrywające smaki: gorzki, słony, kwaśny i słodki. Słodki smak od dzieciństwa jest kojarzony z różnymi słodyczami: cukierkami, czekoladą, lizakami, lodami i innymi słodkimi przekąskami oraz deserami. Przez wieki stosowano różnorodne substancje słodzące, ale podstawową był cukier rafinowany w składzie zawierający sacharozę. Od niedawna wzrosło zainteresowanie zdrowym stylem życia i zdrowym odżywianiem. Cukier zostaje zastępowany innymi substancjami, ponieważ zauważono jego negatywny wpływ na przyrost wagi, a nawet rozwój otyłości u dzieci i dorosłych. Po wielu badaniach uznano, iż cukier powoduje rozwój próchnicy, rozwój takich chorób jak: cu-

krzyca typu II, insulinooporność, hipercholesterolemia oraz nadciśnienie tętnicze. Obawa przed utratą zdrowia oraz chęć zapobiegania rozwojowi chorób, przyczyniły się do stosowania zamienników cukru, które nie wpływają niekorzystnie na organizm, a ich smak jest bardziej słodki niż słodycz cukru [1, 2, 3, 4].

Zamiennikami cukru są substancje słodzące, które wykazują słodki smak, muszą również posiadać szereg właściwości, dzięki którym zastosowanie ich w żywności będzie możliwe, np. odporność na wysokie temperatury, odporność w szerokim zakresie pH, rozpuszczalność w wodzie itp. Do najczęściej stosowanych substancji słodzących należą substancje syntetyczne np. aspartam, acesulfam, sorbitol, oraz substancje półsyn-

tetyczne np. stewia, ksylitol. Charakteryzują się one odmiennym metabolizmem niż metabolizm sacharozy, obniżoną kalorycznością oraz słodkim smakiem prawie 200 razy intensywniejszym niż smak cukru [1, 5].

Substancje słodzące, stosowane jako zamienniki cukru posiadają zastosowanie w żywności i napojach słodzonych gazowanych i niegazowanych, napojach bezalkoholowych, produktach i przetworach mlecznych, ale również w przemyśle farmaceutycznym w preparatach i suplementach diety, a także w kosmetykach [1, 2, 6].

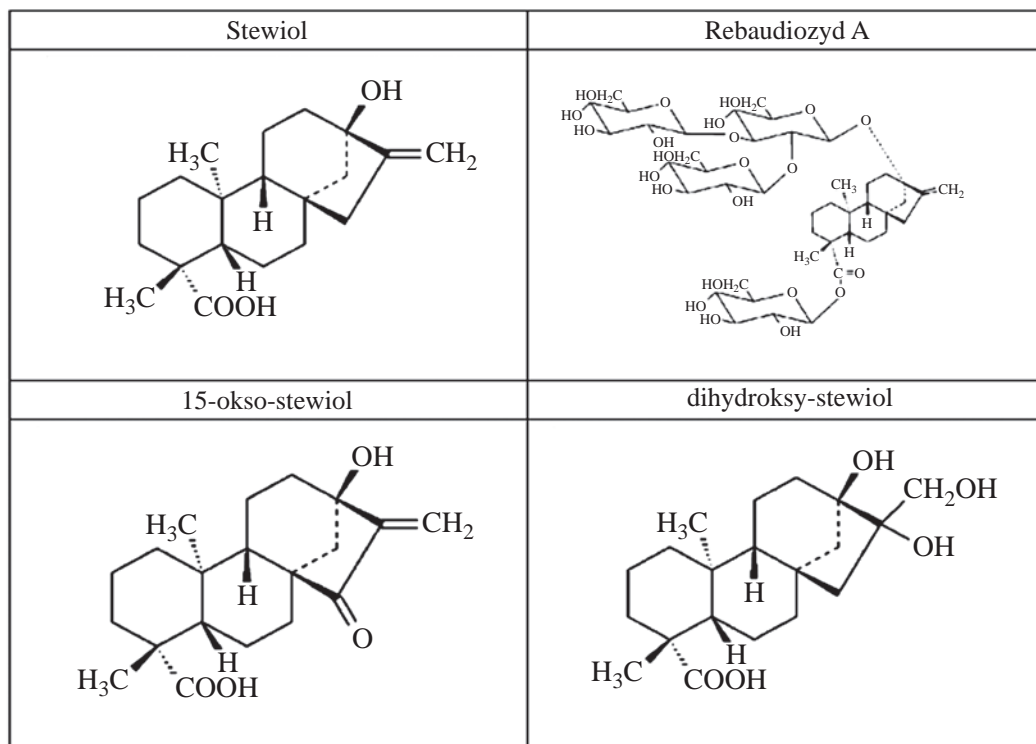
Celem artykułu jest charakterystyka wybranych substancji słodzących, porównanie ich metabolizmu w organizmach żywych oraz metody oznaczania tych substancji w śro-

dowisku wodnym za pomocą cieczowej chromatografii (LC) oraz chromatografii gazowej (GC).

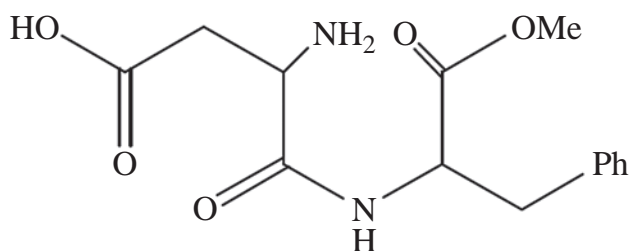
## Charakterystyka i metabolizm substancji słodzących

### Stewia

Stewia to roślina pochodząca z Paragwaju i Brazylii, uważana jest obecnie za alternatywną substancję słodzącą. Glikozydy stewiolowe, takie jak: stewiozyd i rebaudiozyd A (Rys. 1), są obecne w stewii i odpowiadają za jej słodki smak. Stewia ma 300 razy bardziej słodki smak od sacharozy. Oprócz jej słodkiego smaku, posiada właściwości lecznicze. Jest polecana dla osób cierpiących na cukrzycę typu II, ponieważ hamuje wchłanianie glukozy w jelitach. Glukoza ta jest wykorzystywana przez bakterie bytujące w układzie pokarmowym



Rys. 1. Wzory strukturalne stewiolu, rebaudiozydu A oraz pochodnych stewiolu [8]



Rys. 2. Wzór strukturalny aspartamu [10]

do rozkładu glikozydów stewiolowych. Najczęściej stewiolowych do stewiolu, którego niewielka część następnie jest wchłaniana, a pozostała część jest przekształcana w wątrobie w formie glukuronidu. Glukuronid natomiast jest wydalany wraz z moczem lub kałem [5-7]. Dzięki tej właściwości stewii, uznaje się ją za niekaloryczny słodzik, używany w żywności, lekach, winach, oraz kosmetykach. W badaniach nad metabolizmem stewii w organizmach żywych, zaobserwowano obecność utlenionych form

stewiolowych. Najczęściej występującymi metabolitami były okso- i dihydroksy-pochodne stewiolu (Rys. 1). Badania te wskazują na udział cytochromu P450, który powoduje oksydację stewiolu w komórkach wątroby [2, 6, 8].

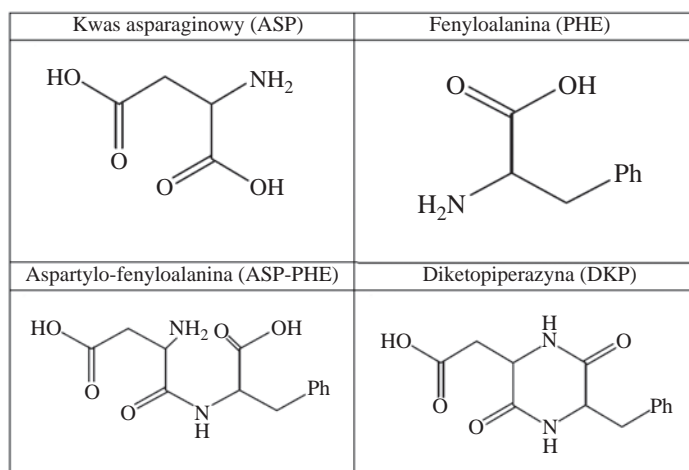
**Aspartam**

Aspartam, czyli ester metylowy L-asparagino-L-fenylalaniny (Rys. 2) – popularny słodzik, został odkryty w 1965 roku, jest 200 razy słodszy od sacharozy [5]. Jego metabolitami są kwas asparaginowy,

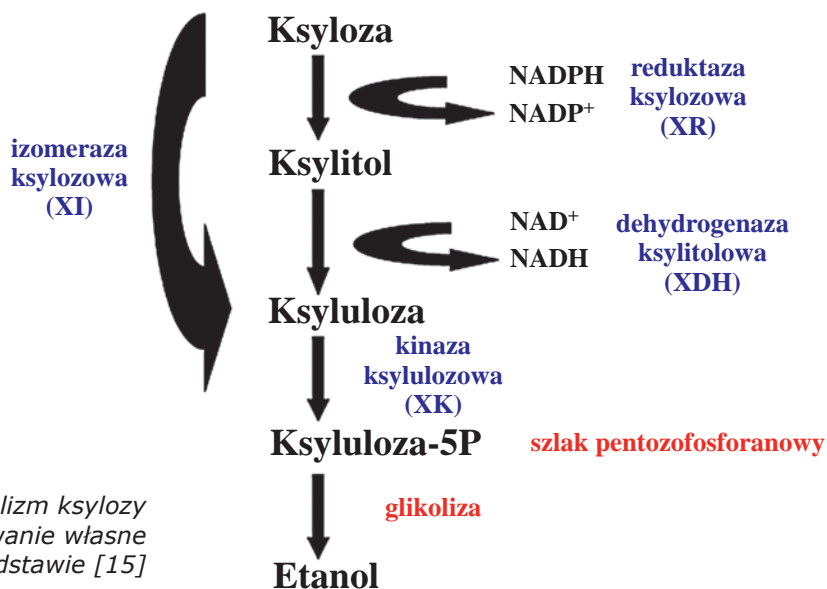
fenylalanina i metanol. Metanol w kolejnych etapach rozkładany jest do formaldehydu i kwasu mrówkowego. Długotrwałe ogrzewanie aspartamu, w temperaturze 140-160°C, prowadzi do powstawania toksycznej substancji – diketopiperazyny [9]. Metabolizm aspartamu prowadzi do powstania kwasu asparaginowego (ASP), fenylalaniny (PHE),

aspartylo-fenylalaniny (ASP-PHE) oraz diketopiperazyny (DKP) (Rys. 3). Wszystkie metabolity powstają w silnie kwaśnym lub silnie zasadowym środowisku. Zarówno aspartam, jak i jego metabolity są obecne w produktach o obniżonej kaloryczności oraz obniżonej zawartości tłuszczu, w produktach typu „light”, jak np. soki owocowe, mleko odtłuszczone lub przetwory niskosłodzone [10, 11].

Metabolity aspartamu powodują wiele różnych chorób i zaburzeń ze strony układu nerwowego. Fenylalanina jest prekursorem m.in. tyrozyny i dopaminy. Wpływa ona na regulację neuroprzekaźników, np. na zmniejszanie wydzielania serotoniny, co prowadzi do zaburzeń emocjonalnych. Zaobserwowano również jej negatywny wpływ na rozwój płodu. Kwas asparaginowy jest wolnym aminokwasem, który w organizmie powoduje niszczenie komórek nerwowych. Dzieje się tak dlatego, że kwas asparaginowy zwiększa stężenie asparaginianu we krwi. Ten natomiast zachowuje się jak neuroprzekaźnik,



Rys. 3. Metabolity aspartamu [10]



Rys. 4. Metabolizm ksylozy – opracowanie własne na podstawie [15]

umożliwia kontakt pomiędzy neuronami, powodując napływ wapnia do komórek. Nadmiar wapnia powoduje natomiast wzrost liczby wolnych rodników, co przyczynia się do śmierci komórek nerwowych. Diketopiperazyna powoduje również negatywny wpływ na układ nerwowy, nawet poprzez rozwój komórek nowotworowych mózgu [12, 13].

**Ksylitol**

Ksylitol to pięciowęglowy polialkohol, który należy do półsyntetycznych substancji słodzących. Jest on stosowany jako substytut cukru w żywności, napojach słodzonych, środkach medycznych oraz kosmetyce. Charakteryzuje się niską kalorycznością, nie powoduje próchnicy zębów oraz nie wpływa na insulinooporność. Metabolizm ksylitolu jest podobny do metabolizmu sacharozy, bowiem polega na przekształcaniu w glukozę i glikogen. Dzięki temu może być stosowany jako źródło energii po wyczerpujących

ćwiczeniach fizycznych. Dodatkowo, ksylitol uważany jest jako ekologiczny substytut cukru, ponieważ produkowany jest z biomasy [5, 8, 14]. Synteza ksylitolu odbywa się w czasie metabolizmu D-ksylozy w obecności mikroorganizmów, np. grzybów. Produktem pośrednim w pierwszym etapie rozkładu D-ksylozy jest D-ksylitol, powstały w obecności enzymu reduktazy ksylozowej (XR). Enzym ten powoduje redukcję NADPH do NADP<sup>+</sup>. W kolejnym etapie, inny enzym, dehydrogenaza ksylitolowa (XDH) powoduje powstanie D-ksylulozy (przy jednoczesnym utworzeniu

NADH z NAD<sup>+</sup>). W tym samym czasie następuje również izomeryzacja D-ksylozy do D-ksylulozy pod działaniem enzymu izomerazy ksylozowej (XI). D-ksyluloza pod działaniem enzymu kinazy ksylozowej (XK) zostaje przekształcona w D-ksylulozę-5P, która bierze udział w szlaku pentozofosforanowym, a później w wyniku glikolizy, końcowym produktem tego etapu jest etanol [15] (Rys. 4).

**Acesulfam**

Acesulfam (ACE) stosowany jest jako substytut cukru, ze względu na jego smakowe właściwości. Jest on bowiem

około 200 razy słodszy od cukru (Rys. 5). Można go stosować w wysokich temperaturach, dlatego używany jest w produktach piekarniczych. W organizmach żywych nie podlega metabolizmowi, zostaje wydalany z organizmu w niezmienionej formie. Badania nad wpływem acesulfamu na organizmy żywe wskazują na interakcje acesulfamu z DNA, co może powodować zmiany cytotoksyczne w komórkach [5, 16]. W dodatku ze względu na jego właściwości chemiczne, nie jest on zdolny do rozkładu oraz do biodegradacji, w wyniku czego jest obecny na oczyszczalniach ścieków jako substancja oporna działaniu mikroorganizmów. Nieliczne jak dotąd badania pokazują, że ACE jest zdolny do degradacji pod działaniem promieniowania UV [4, 17]. Jednak produkty rozkładu acesulfamu-K charakteryzują się większą toksycznością niż sam acesulfam-K. Podczas działania promieniowania UV produktami rozkładu acesulfamu-K mogą być takie substancje jak: kwas amidosulfonowy, hydroksyacesulfam, izoacesulfam oraz siarczany [18] (Rys. 5).

| Acesulfam                                | Izoacesulfam                           | Hydroksyacesulfam                         |
|--|--|---|
| <chem>CC1=CC(=O)N(S(=O)(=O)O)C1=O</chem> | <chem>C=C1C(=O)N(S(=O)(=O)O)CO1</chem> | <chem>CC1(O)C(=O)N(S(=O)(=O)O)C1=O</chem> |

Rys. 5. Wzory strukturalne acesulfamu oraz jego pochodnych [18]