

BOHDAN ACHREMOWICZ, JAROSŁAW KORUS

WŁAŚCIWOŚCI, PRODUKCJA I ZASTOSOWANIE CYKLODEKSTRYN

Streszczenie

W artykule przedstawiono podstawowe właściwości cyklodekstryn oraz metody ich otrzymywania. Opisano również ich zastosowania w przemyśle spożywczym do stabilizowania związków smakowych i aromatów, w produkcji żywności dietetycznej, do eliminowania nieprzyjemnych zapachów i do konserwowania żywności.

Pierwsze wzmianki na temat cyklodekstryn (CD) pojawiły się w 1891 roku w publikacji Villiersa. Wyizolował on niewielką ilość krystalicznej substancji, o cechach bardzo zbliżonych do właściwości β -cyklodekstryny podanych w 1903 roku przez Schardingera uważanego za twórcę podstaw chemii cyklodekstryn [18, 22].

W następnych latach badania nad cyklodekstrynami prowadzili m.in. Pringsham, który wykrył ich zdolność kompleksującą oraz Freudenberg, który jako pierwszy wydzielił w latach 30. czyste CD i wyjaśnił ich strukturę chemiczną, odkrył również γ -cyklodekstryny. W latach 50. French wykazał istnienie δ i ϵ cyklodekstryn. W 1965 Thoma i Stewart opisali dalsze homologi cyklodekstryn ξ i η [22].

Przez długi czas cyklodekstryn nie wykorzystywano w przemyśle ze względu na wysoki koszt produkcji oraz obawy co do ich toksyczności. W latach 70. osiągnięto tak znaczną poprawę wydajności, że koszt produkcji kilograma CD obniżył się z kilku tysięcy do ok. 10 dolarów [1]. Wykazano również bezspornie ich nietoksyczność [24, 25].

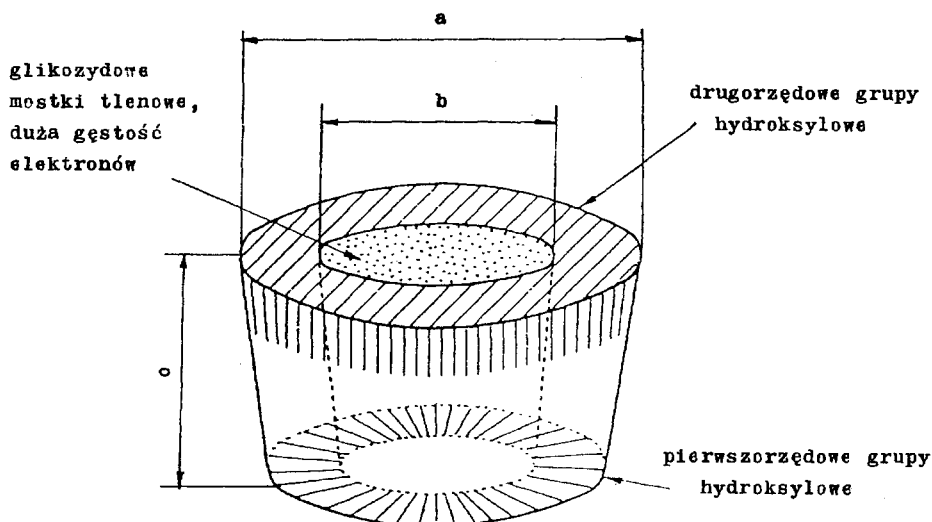
Budowa i właściwości cyklodekstryn

Podstawowe właściwości cyklodekstryn zebrano w tabeli 1. Są one cyklicznymi oligosacharydami złożonymi z różnej ilości jednostek D-glukopiranozowych, połączonych wiązaniami α -1,4-glikozydowymi [6, 8]. Nie wykazują właściwości redukujących. Ze względów sterycznych istnienie CD zawierających mniej niż 6 jednostek glukopiranozowych nie jest możliwe. Jak dotąd odkryto następujące homologi CD: α , β , γ , δ , ϵ , ξ , η składające się odpowiednio z 6 do 12 jednostek. Dobrze poznano właściwości tylko trzech z nich: α , β i γ . Spośród nich największe znaczenie pod względem praktycznego wykorzystania mają β -cyklodekstryny.

Tabela 1

Niektóre właściwości cyklodekstryn [15, 16, 19]

Cecha	α	β	γ
1. masa cząsteczkowa	973	1135	1297
2. średnica wewnętrzna (Å)	5.7	7.8	9.5
3. średnica zewnętrzna (Å)	13.7	15.3	16.9
4. wysokość (Å)	7.0	7.0	7.0
5. $[\alpha]_{D20}$ (H ₂ O, 1%)	+150.5°	+162.5°	+177.4°
6. rozpuszczalność w wodzie (g/100 cm ³ , 25 °C)	14.5	1.85	23.20
7. kolor kompleksu z jodem	niebieski	żółty	brązowy



Rys. 1. Rozmiary cząsteczek cyklodekstryn: α – $a = 1.37$ nm, $b = 0.57$ nm, $c = 0.78$ nm; β – $a = 1.53$ nm, $b = 0.78$ nm, $c = 0.78$ nm; γ – $a = 1.69$ nm, $b = 0.95$ nm, $c = 0.78$ nm [15, 23].

Cyklodekstryny mają kształt doniczki (rys. 1), są hydrofilowe na zewnątrz, a hydrofobowe wewnątrz [26]. Grupy hydroksylowe są zorientowane na zewnątrz pierścienia, dlatego zewnętrzna powierzchnia jest hydrofilowa, co powoduje dobrą rozpuszczalność cyklodekstryn. Górna, szersza strona cząsteczki CD jest utworzona przez drugo- [O(2)H] i trzeciorzędowe [O(3)H] grupy hydroksylowe, podczas gdy pierwszorzędowe grupy [O(6)H] znajdują się na węższym końcu cząsteczki [3, 26]. Grupy niepolarne jednostek glukopiranozowych zorientowane są do wewnątrz torusa, co powoduje, że wnętrze CD jest hydrofobowe [6, 19, 26]. Wnęka torusa pokryta jest atomami wodoru i glikozydowymi mostkami tlenowymi tworząc obszar dużej gęstości elektronów [22]. W tworzeniu kompleksu inkluzyjnego odgrywają rolę wiązania wodorowe oraz oddziaływania Van der Waalsa i siły dyspersyjne. Ciepła tworzenia kompleksów α -, β - i γ -CD z jonem p-nitrofenolanowym wynoszą odpowiednio -37.8, -14.2, -3.3 kJ/mol. W roztworze wodnym słabo polarny otwór cyklodekstryny zajmują cząsteczki wody. Taki układ jest jednak mało trwały ze względu na interakcje polarne-niepolarne. Dlatego cząsteczki wody mogą być łatwo podstawione przez cząsteczki innych, mniej polarnych gości. Kompleksy cyklodekstryn są w miarę stabilne, a ich rozpuszczalność w wodzie jest mniejsza w porównaniu z czystymi CD, dlatego można je łatwo wytrącić z roztworu w formie krystalicznej [23]. Cyklodekstryny tworzą kompleksy w reakcji odwracalnej. Stosując odpowiedni nadmiar rozpuszczalnika (wody) można przesuwać równowagę reakcji w kierunku dysocjacji kompleksu.

Kompleksy, w których cząsteczka gospodarza otacza cząsteczkę gościa są tzw. kompleksami inkluzyjnymi (kompleksy włączeniowe, klatraty) [5, 26]. Cyklodekstryny mogą tworzyć kompleksy inkluzyjne z substancjami i związkami chemicznymi o odpowiednich rozmiarach. Tworzenie kompleksów z cząsteczkami większymi niż średnica otworu wewnętrznego CD jest możliwe tylko wówczas, gdy nie cała cząsteczka gościa, a jedynie niektóre jej grupy funkcyjne penetrują wnętrze cyklodekstryny. Zdolność tworzenia tych kompleksów zależy m.in. od polarności gościa, przy czym wydaje się, że czynnikiem determinującym rodzaj związku, który może penetrować wnękę cyklodekstryny tworząc kompleks inkluzyjny jest raczej geometria niż właściwości chemiczne [22]. Struktura kompleksu inkluzyjnego jest różna w stanie krystalicznym i w roztworze. W roztworze wodnym cząsteczka gościa znajduje się we wnętrzu CD, a cały kompleks jest hydratowany. W stanie krystalicznym lokuje się nie tylko we wnętrzu cyklodekstryny, ale też w kapilarach międzycząsteczkowych, podczas gdy niektóre cząsteczki CD mogą być niezajęte lub zajęte przez cząsteczkę wody.

Cząsteczki wbudowane są zorientowane tak, aby uzyskać maksymalny kontakt między hydrofobową częścią gościa i niepolarnym wnętrzem CD. Część hydrofilowa cząsteczki włączonej pozostaje tak daleko jak to możliwe od zewnętrznej powierzchni

kompleksu, aby zapewnić maksymalny kontakt zarówno z rozpuszczalnikiem jak i grupami hydroksylowymi cyklodekstryn [22].

Jedna, dwie lub trzy czasteczki CD mogą zawierać jedną lub więcej czasteczek kompleksowanego związku [23].

W praktyce kompleksy inkluzyjne cyklodekstryn otrzymuje się 3 metodami poprzez:

- 1) współkrystalizację CD i substancji włączanej. Związek rozpuszczalny w wodzie dozuje się bezpośrednio do nasyconego roztworu CD, związek nierozpuszczalny w wodzie jest najpierw rozpuszczany w minimalnej ilości alkoholu, acetonu itp.. Roztwór miesza się przez kilka godzin w celu wytworzenia kompleksu, chłodzi a wytrącony kompleks sący i suszy,
- 2) mieszanie CD i gościa w postaci pasty przez kilka - kilkanaście godzin w homogenizatorze lub młynku; kompleks przemywa się i suszy,
- 3) przepuszczanie przez roztwór CD gościa w stanie gazowym [15, 16, 19].

Wykorzystanie zdolności do modyfikacji poszerza zakres zastosowania cyklodekstryn. Modyfikacje polegają na substytucji I- i II- rzędowych grup hydroksylowych, co może poprawić ich rozpuszczalność w stosunku do czystych CD. Mogą także powstawać polimery i kopolimery, które znajdują zastosowanie np. do usuwania związków goryczkowych z soków owoców cytrusowych. Proces taki przeprowadza się zwykle na kolumnach wypełnionych polimerem [4, 7, 16, 20, 27]. Niskocząsteczkowe polimery CD są bardzo dobrze rozpuszczalne w wodzie i mogą być stosowane np. w fotochemii, natomiast wysokocząsteczkowe polimery lub kopolimery są bardzo hydrofilowe choć nierozpuszczalne w wodzie. Stosuje się je jako wypełnienie kolumn chromatograficznych [23].

Otrzymywanie cyklodekstryn

Typowy proces otrzymywania cyklodekstryn składa się z 4 etapów:

- namnażania mikroorganizmu wytwarzającego enzym glukozylotransferazę cyklodekstryn (CGT EC 2.4.1.19),
- separacji enzymu, jego zateżania i oczyszczania,
- hydrolizy enzymatycznej skrobi z użyciem amylazy, a następnie jej konwersji do cyklodekstryn przez enzym CGT,
- rozdzielenia poszczególnych homologów, ich oczyszczania i krystalizacji [6, 10].

W praktyce przemysłowej dwa pierwsze etapy pomija się ze względu na dostępność gotowych preparatów enzymatycznych.

Schardinger w swoich badaniach w latach 1903-1904 wyizolował mikroorganizm nazwany przez niego *Bacillus macerans*, który jest obecnie szeroko wykorzystywany do otrzymywania enzymu glukozylotransferazy cyklodekstryn [22]. Oprócz tego

stosuje się również inne mikroorganizmy, np. *B. circulans*, *B. megaterium*, *B. coagulans*, *Klebsiella pneumoniae*, alkalofilne *Bacillus sp.* i inne [2, 3, 6, 8, 12, 17, 21, 23, 29, 30]. Hodowlę mikroorganizmu prowadzi się zwykle na skrobi rozpuszczalnej z dodatkiem związków nieorganicznych takich jak K_2HPO_4 , $MgSO_4$, $CaCl_2$ lub Na_2CO_3 przy pH bliskim 7 (w produkcji enzymu alkalicznego pH wynosi 9–10) w temperaturze 30–37°C dla organizmów mezofilnych i około 50°C dla termofilnych przez 3–14 dni [3, 6, 8, 12, 29, 30].

CGT jest stabilna przy pH 5–6 w 40°C, a optymalną temperaturą działania jest 55°C. W obecności jonów wapniowych, które stabilizują enzym przy ogrzewaniu w 70°C przez 5 minut traci on ok. 20 % aktywności [6]. Niektóre cechy enzymu zebrano w tab. 2. CGT jest enzymem pozakomórkowym stąd łatwość oddzielenia go z płynu pohodowlanego. Po usunięciu komórek drobnoustrojów przez wirowanie i ewentualnym zagęszczeniu supernatantu enzym można wytrącić rozpuszczalnikami organicznymi takimi jak etanol lub aceton albo siarczanem amonu. Większe objętości filtratu zagęszcza się przez destylację pod zmniejszonym ciśnieniem lub przez ultrafiltrację. Enzym oczyszcza się następnie chromatograficznie [3].

Tabela 2

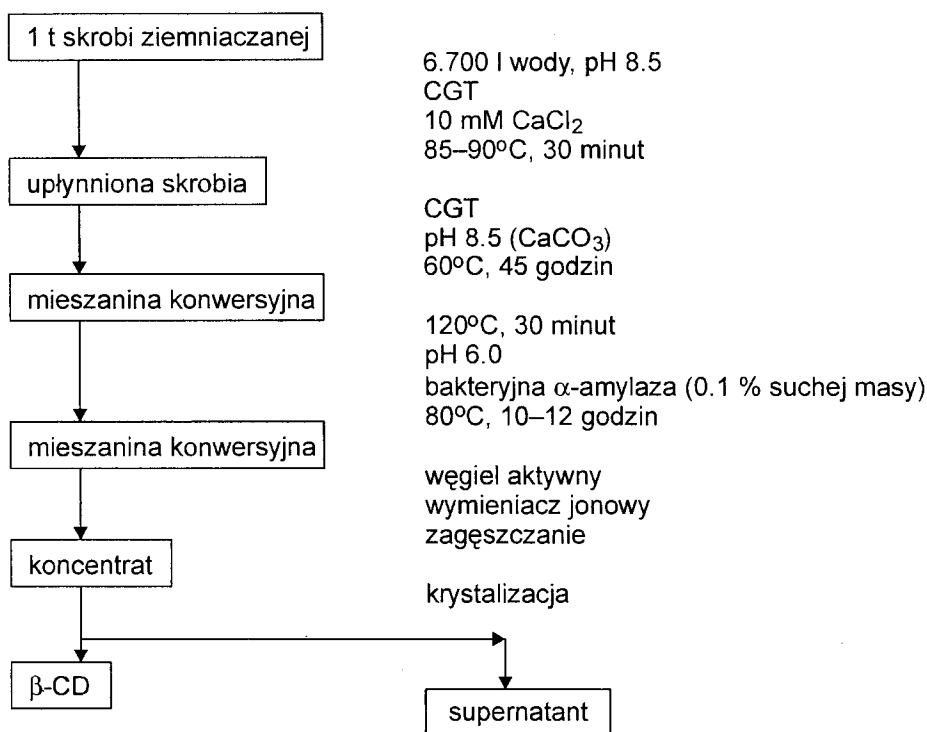
Wybrane cechy glukozylotransferazy cyklodekstryn [2]

Mikroorganizm	Główny produkt	Optymalne pH	Punkt izoelektryczny pI	Masa cząsteczkowa
<i>Bacillus macerans</i>	α -CD	5.5–7.5	bd	145.000
<i>Bacillus macerans</i>	α -CD	5–6	4.50	79.000
<i>Bacillus macerans</i>	α -CD	5.4–5.7	5.40	67.000
<i>Bacillus megaterium</i>	β -CD	5–5.7	6.07	bd
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	α -CD	6	4.50	68.000
alkalofilne <i>Bacillus sp.</i> 38-2	β -CD	I 4.6 II 7.0 III 9.5	5.30	88.000
<i>Micrococcus sp.</i>	β -CD	5–8	4.20	88.000
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	α -CD	6–7.2	4.80	68.000

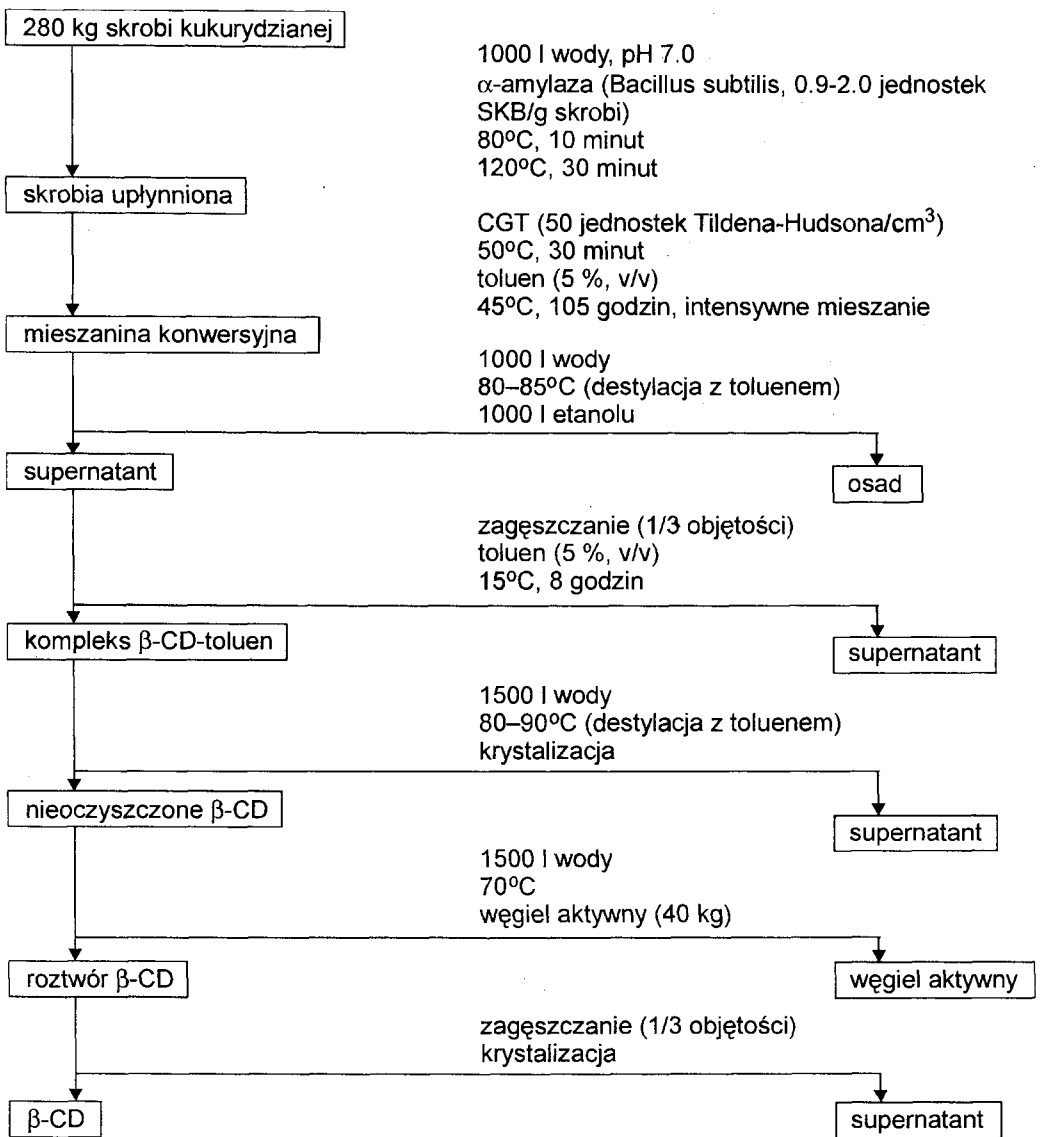
bd – brak danych

CGT jest enzymem działającym bardzo powoli, konwersja skrobi do CD trwa zwykle kilka dni. Inżynieria genetyczna pozwoliła otrzymać enzym bardziej termostabilny i wydajniejszy, który skraca czas trwania procesu cyklizacji z 1–3 dni do 3–6 godzin [18]. Immobilizacja enzymu znacznie poprawia wydajność konwersji i wydłuża

aktywności enzymu tak, że może on być stosowany o wiele dłużej aniżeli enzym wolny [3, 6, 13]. Najkorzystniejszy stosunek enzymu do substratu (w/w) wynosi 1:1000 do 1:5000. Dodatek substancji tworzących kompleksy z CD powoduje przesunięcie równowagi reakcji w kierunku cyklizacji. Jeden ze schematów produkcji β -CD na skalę przemysłową przedstawia rys. 2 i 3. Gotowy produkt usuwa się przez filtrację lub wirowanie [3]. W wyniku działania CGT otrzymuje się mieszaninę, w której w zależności od mikroorganizmu, z którego pochodzi enzym dominują α - lub β -CD [5]. Niecykliczne produkty reakcji rozkłada się działaniem amylazy/glukoamylazy lub usuwa je poprzez wytrącanie z metanolem, etanolem itp. [3]. Do rozdzielenia mieszaniny CD wykorzystuje się np. ich swoistą cechę jaką jest różnica średnicy wnęki, co pozwala tworzyć specyficzne, w miarę trwałe kompleksy ze związkami o różnej wielkości cząsteczek. Kompleksy te rozdziela się, a cząsteczki gościa usuwa się, np. przez ogrzewanie, otrzymując krystaliczne, czyste CD.



Rys. 2. Produkcja β -cyklodekstryn ze skrobi ziemniaczanej przy użyciu CGT z alkalofilnego szczepu *Bacillus* 38-2 [3].



Rys. 3. Produkcja β-cyklodekstryn ze skrobi kukurydzianej przy użyciu CGT z Bacillus macerans i toluenu jako składnika kompleksującego [3].

Zastosowanie

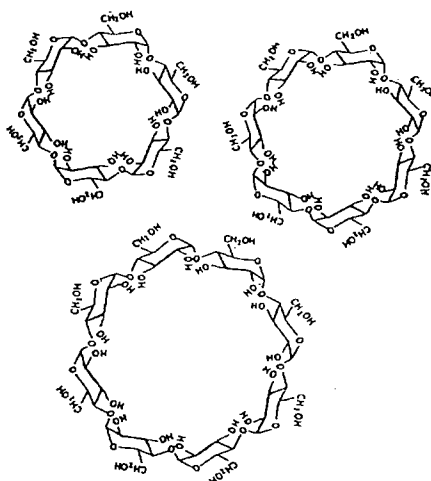
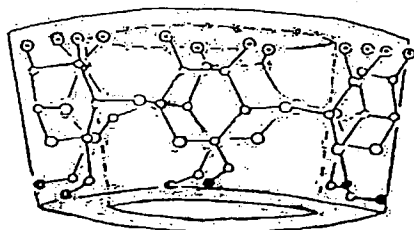
Niektóre z zastosowań cyklodekstryn zebrano w tabeli 3. W przemyśle spożywczym używa się CD głównie do kompleksowania związków aromatycznych i smakowych w celu ochrony przed takimi czynnikami fizycznymi jak światło i temperatura czy stratami na skutek ulatniania się. Dodatek CD może eliminować lub redukować

niepożądany smak i zapach, zmniejszać higroskopijność, chronić przed zakażeniem mikrobiologicznym, poprawiać stabilność emulsji, pozwala również uzyskać płynną substancję w postaci stałej, co ułatwia jej standaryzowanie i dozowanie oraz zmniejsza koszty pakowania i przechowywania, zabezpiecza przed oddziaływaniem z innymi składnikami [9, 23, 24, 26].

Tabela 3

Niektóre zastosowania cyklodekstryn [15, 19, 24]

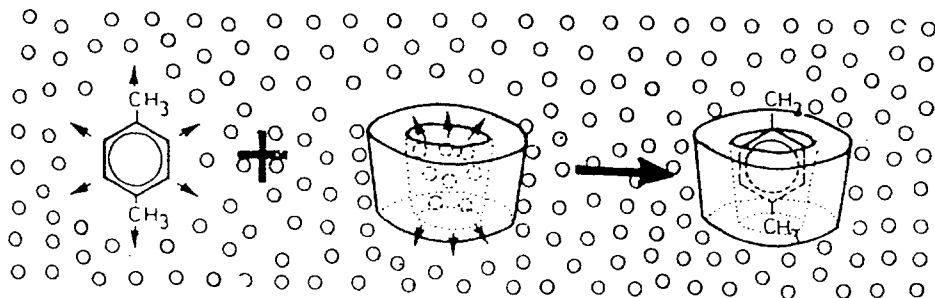
Zywność	<ol style="list-style-type: none"> ochrona przed: wytrącaniem osadów w napojach i sokach, starzeniem makaronów produkcja: emulsji, produktów piekarskich, produktów dla chorych na fenylketonurię, łatwo rozpuszczalnych tabletek słodzących dla diabetyków poprawa jakości: stabilizacja aromatów, stabilizacja kwasu askorbinowego, zwiększanie retencji wody, zwiększenie objętości piany konserwowanie żywności: kompleks z etanolem, kompleks z substancjami konserwującymi
Kosmetyki, artykuły drogerijne	poprawa koloru, stabilizacja aromatów, maskowanie nieprzyjemnych zapachów
Farmaceutyki	maskowanie nieprzyjemnego smaku, otrzymywanie substancji płynnych w stanie stałym, zmniejszenie podrażnień, stabilizacja przed działaniem temperatury, promieni UV
Odczynniki chemiczne	rozdzielanie izomerów i homologów, odczynniki analityczne, ułatwienie rozpuszczania substancji trudno rozpuszczalnych, chromatografia
Przemysł chemiczny	pochodne CD, polimery,
Substancje biologicznie czynne	regulatory wzrostu roślin, modyfikacja syntezy lipidów



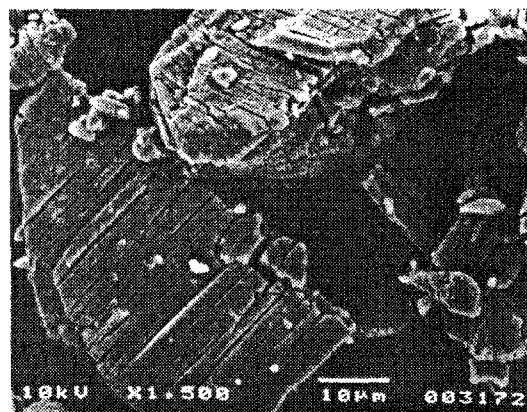
a)

b)

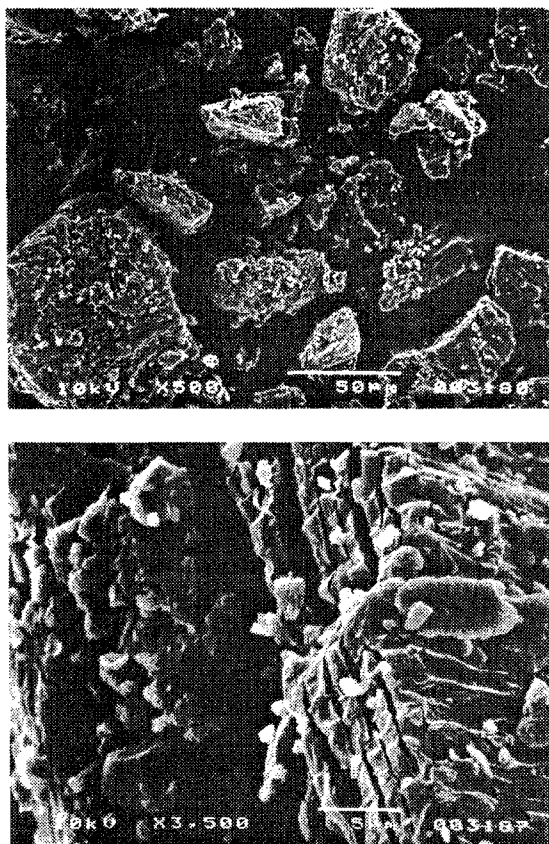
Rys. 4. Struktura chemiczna cyklodekstryn, a) α -CD, b) α -CD, β -CD, γ -CD [14, 15, 16].



Rys. 5. Schemat tworzenia kompleksu inkluzyjnego cyklodekstryn z p-ksylenem. Zewnętrzna powierzchnia CD jest hydratowana. Cząsteczki wody we wnętrzu CD znajdują się w stanie energetycznie nieuprzywilejowanym ze względu na niepolarny charakter wnętrza. Hydrofobowy pierścień aromatyczny gościa odpycha cząsteczki wody. W efekcie kompleksowania niepolarna cząsteczka gościa penetruje niepolarną wnękę CD tworząc stabilny energetycznie układ [22, 23].



Fot. 1. Kryształy α -cyklodekstryn (mikroskop elektronowy Jeol JSM 5200).

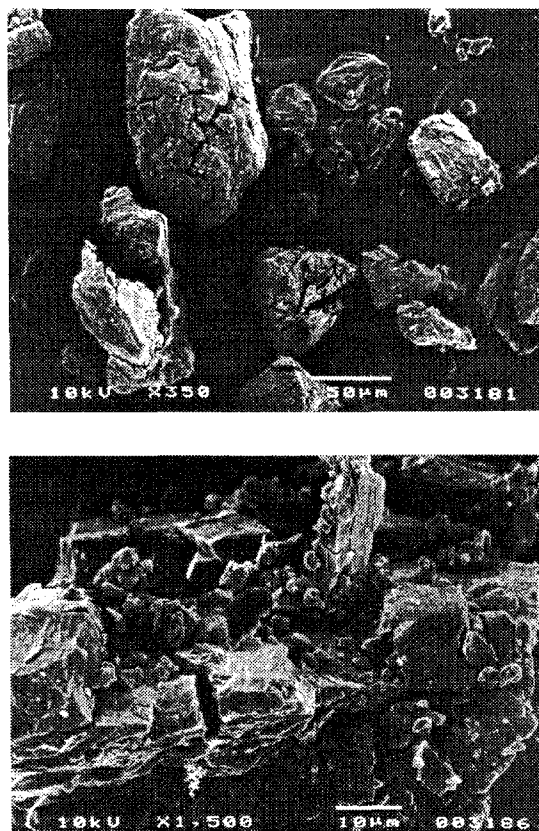


Fot. 2. Kryształy β -cyklodekstryn.

Otrzymywanie kompleksów substancji aromatycznych z CD jest w miarę proste, a zawartość aromatów w takich kompleksach wynosi około 6–15 % (w/w). Są one bardzo stabilne w stanie suchym. Na przykład kompleks β -CD/wanilina przechowywany w powietrzu w temperaturze pokojowej przez 240 dni stracił około 20 % waniliny, podczas gdy z mieszaniny waniliny i glukozy związek aromatyczny ulotnił się całkowicie. Strata 20 % była spowodowana prawdopodobnie tym, że niektóre cząsteczki waniliny były jedynie zaadsorbowane na powierzchni kompleksu, a nie związane wewnątrz CD, ponieważ podczas dalszej obserwacji przez 2 lata nie zanotowano strat waniliny. Takie kompleksy doskonale nadają się do aromatyzowania herbat, kawy i innych napojów oraz gum do żucia, bowiem pozwalają dłużej zachować ich smak i zmniejszyć zużycie olejków aromatycznych o około 50 % [11, 24]. Ponadto związki aromatyczne i smakowe, stabilne w kompleksach w stanie suchym, uwalniają się w trakcie konsumpcji dając wtedy najlepszy efekt. Termostabilność takich kompleksów

wzrasta jeśli zawierają one tłuszcz. Preparaty o bardzo wysokiej stabilności termicznej (np. dla piekarstwa) powstają przez powlekanie kompleksów olejami lub tłuszczami. Na przykład herbatniki z μ -CD zachowały zapach masła przez 2 miesiące przechowywania, podczas gdy próba kontrolna utraciła całkowicie aromat po 2 tygodniach [19].

CD można również używać do usuwania niepożądanego smaku i zapachu, np. posmaku surowizny z produktów sojowych, goryczki z hydrolizatów kazeiny lub soków z owoców cytrusowych, charakterystycznego zapachu baraniny, ryb, czosnku, cebuli itp.. Dodatek β -CD do soku grapefruitowego czy hydrolizatu białkowego powoduje usunięcie gorzkiego posmaku. Ekstrakt drożdżowy z dodatkiem β -CD nie wykazuje charakterystycznego, nieprzyjemnego zapachu, a ponadto ma lepszą barwę niż produkt bez dodatku cyklodekstryn oraz niższą higroskopijność. Lecytyna sojowa z β -CD jest bezzapachowym proszkiem [19].



Fot. 3. Kryształy γ -cyklodekstryn.

Dodatek cyklodekstryn lub ich kompleksów do żywności poprawia szereg jej właściwości fizycznych, np. zwiększa retencję wody, stabilizuje emulsje, poprawia teksturę, przedłuża okres przydatności konsumpcyjnej.

CD stabilizują emulsje wody z olejem, używane do produkcji dietetycznych majonezów i dresingów. Dodatek 0.75 % β -CD zwiększa objętość piany uzyskanej z białka jaja kurzego o około 45 % oraz poprawia jej stabilność. W produktach mięsnych CD zwiększają wiązanie wody [24].

Duże znaczenie mają CD w produkcji żywności specjalnej przeznaczonej dla ludzi chorych na choroby metaboliczne. Wykorzystywano je np. do usuwania fenyloalaniny z produktów dla chorych na fenyloketonurię, z drugiej strony mogą chronić aspartam (dipeptyd zawierający fenyloalaninę, sztuczny słodzik) przed kwasową hydrolizą, której łatwo ulega, w tabletkach słodzących dla diabetyków. W Japonii mieszanka aspartamu z μ -CD jest dostępna w handlu [19]. Wykazują również zdolność usuwania cholesterolu z mleka, masła, jajek. W Belgii sprzedaje się masło o zawartości cholesterolu obniżonej o ok. 85 %, uzyskane dzięki zastosowaniu cyklodekstryn. Witaminy A, B, E i K w kompleksach z β -CD są bardziej odporne na działanie temperatury, tlenu i związków chemicznych oraz są łatwiej przyswajalne. Kompleksowanie z μ -CD poprawia również ich rozpuszczalność [14]. Dodatek μ -CD poprawia jakość makaronu i opóźnia jego starzenie. Kompleksami CD i związków aromatycznych uszlachetnia się herbaty oraz zupy w proszku. β -CD mogą również stabilizować naturalne barwniki takie jak karotenoidy i flawonoidy oraz ułatwiać stosowanie w żywności barwników rozpuszczalnych w olejach [14]. Pozwala to zachować kolor w produktach poddanych obróbce termicznej lub wystawionych na działanie światła. Z powodzeniem stosuje się je do usuwania kofeiny z kawy lub innych napojów [28].

CD mają też zastosowanie w farmaceutyce do stabilizacji i zwiększania przyswajalności lekarstw, wydłużania czasu ich działania przez powolne uwalnianie substancji czynnych, zmniejszania działania ubocznego lekarstw oraz zwiększania rozpuszczalności substancji słabo rozpuszczalnych [23, 24, 26].

Cyklodekstryny są również stosowane w przemyśle tytoniowym do utrzymywania aromatu tytoniu lub mentolu w papierosach mentolowych, ze względu na zdolność tworzenia z nikotyną kompleksu mogą być używane w filtrze do wyłapywania tego składnika z dymu.

Aromaty związane z CD mogą być używane w perfumach, świecach zapachowych i kadzidłach. Ich kompleksy z cząsteczkami detergentów zmniejszają pienienie, np. w proszkach do prania.

CD mają również bardzo szerokie zastosowanie w chemii zarówno analitycznej jak i przemysłowej [23].

LITERATURA

- [1] Anonim: Les cyclodextrines enfin abordables, *La Revue de l'industrie Agroalimentaire*, **512**, 1994, 37-38.
- [2] Bender H., Freiburg i. Br.: Studies on the non-cyclic products of the cyclodextrin glycosyltransferase from *Klebsiella pneumoniae* M 5 al, *Starch/Stärke*, **36(2)**, 1984, 46-50.
- [3] Bender H.: Production, characterization and application of cyclodextrins, *Advances in Biotechnological Processes*, **6**, 1986, 31-71.
- [4] Eastburn S. D., Tao B. Y.: Applications of modified cyclodextrins, *Biotechnology Advances*, **12(2)**, 1994, 325-339.
- [5] Farjon B., Targoński Z.: Cyklodekstryny – otrzymywanie, właściwości i zastosowanie, *Przemysł Chemiczny*, **71(1)**, 1992, 10-12.
- [6] Gottwaldova M., Hrabova H., Kučera J.: Cyclodextriny, jejich výroba a použití, *Prumysl Potravin*, **40(6)**, 1989, 289-291.
- [7] Hedges A. R.: Cyclodextrins in foods, Special Report NY State Agriculture Experimental Station (Geneva), **62**, 1988, 6-9.
- [8] Kaneko T., Yoshida M., Nakamura N., Horikoshi K.: Production of cyclodextrins by simultaneous actions of two CGTases from three strains of *Bacillus*, *Starch/Stärke*, **42(7)**, 1990, 277-281.
- [9] Konno A., Miyawaki M., Misaki M., Yasumatsu K.: Bitterness reduction of citrus fruits by β -cyclodextrin, *Agricultural and Biological Chemistry*, **45(10)**, 1981, 2341-2342.
- [10] Korpela T., Mattsson P., Hellman J., Paavilainen S.: Cyclodextrins: production, properties and applications in food chemistry, *Food Biotechnology*, **2(2)**, 1989, 198-210.
- [11] Lindner K., Szente L., Szejtli J.: Food flavouring with β -cyclodextrin-complexed flavour substances, *Acta Alimentaria*, **10(3)**, 1981, 175-186.
- [12] Matzuzawa M., Kawano M., Nakamura N., Horikoshi K.: An improved method from the preparation of Schardinger β -Dextrin on a industrial scale by cyclodextrin glycosyl transferase of an alkalophilic *Bacillus* Sp. (ATCC 21783), *Die Stärke*, **27(12)**, 1975, 410-413.
- [13] Okada T., Ito M., Hibino K.: Immobilization of cyclodextrin glucanotransferase on capillary membrane, *Journal of Fermentation and Bioengineering*, **77(3)**, 1994, 259-263.
- [14] Patington J. S.: Molecular encapsulation with β -cyclodextrin, *Food Flavourings, Ingredients, Packaging and Processing*, **7(9)**, 1985, 51-52, 55.
- [15] Parrish M. A.: Cyclodextrins - a review, *Speciality Chemicals*, **7(6)**, 1987, 366, 370, 372, 374, 378-380.
- [16] Pszczola D. E.: Production and potential food applications of cyclodextrins, *Food Technology*, **42(1)**, 1988, 96-100.
- [17] Raja K. C. M., Ramakrishna S. V.: Improved reaction conditions for preparation of β -cyclodextrin (β -CD) from cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starch, *Starch/Stärke*, **46(10)**, 1994, 402-403.
- [18] Roller S., Dea I. C. M.: Biotechnology in the production and modification of biopolymers for foods, *Critical Reviews in Biotechnology*, **12(3)**, 1992, 261-277.
- [19] Samant S. K., Pai J. S.: Cyclodextrins: new versatile food additive, *Indian Food Packer*, **45(3)**, 1991, 55-65.
- [20] Shaw P. E., Wilson C. W.: Debittering citrus juices with β -cyclodextrin polymer, *Journal of Food Science*, **48(2)**, 1983, 646-647.
- [21] Shiraishi F., Kawakami K., Marushima H., Kusunoki K.: Effects of aliphatic alcohols on formation of cyclodextrin from soluble starch by *Bacillus macerans* cyclodextrin glucanotransferase, *Starch/Stärke*, **41(11)**, 1989, 417-420.

- [22] Szejtli J.: Cyclodextrins and their inclusion complexes, Akademiai Kiado, Budapest 1982.
- [23] Szejtli J.: Cyclodextrins: A new group of industrial basic materials, *Die Nahrung*, **29**(9), 1985, 911-924.
- [24] Szejtli J.: Cyclodextrins in food, cosmetics and toiletries, *Starch/Stärke*, **34**(11), 1982, 379-385.
- [25] Szejtli J., Sebestyen G.: Resorption, metabolism and toxicity studies on the peroral application of beta-cyclodextrin, *Starch/Stärke*, **31**(11), 1979, 385-389.
- [26] Szejnman A.A.: Ciklodjekstriny, *Žurnal Wsjesojuznowo Chimizskowo Obszczestwa*, **5**, 1985, 514-518.
- [27] Wagner C. J., Wilson C. W., Shaw P. E.: Reduction of grapefruit bitter componenets in a fluidized β -cyclodextrin polymer bed, *Journal of Food Science*, **53**(2), 1988, 516-518.
- [28] Yu E. K. C.: Novel decoffeination process using cyclodextrins, *Applied Microbiology and Biotrchology*, **28**(6), 1988, 546-552.
- [29] Yun-Dong L., Hak-Sung K.: Effect of organic solvents on enzymatic production of cyclodextrins from unliquefied corn starch in an attrition bioreactor, *Biotechnology and Bioengineering*, **39**, 1992, 977-983.
- [30] Yun-Dong L., Hak-Sung K.: Enzymatic production of cyclodextrins from unliquefied corn starch in an attrition bioreactor, *Biotechnology and Bioengineering*, **37**, 1991, 795-801.

CYCLODEXTRIN PROPERTIES, PRODUCTION AND APPLICATION

Summary



Cyclodextrins, their properties, production and application for flavour stabilization, dietetic food-stuffs, unpleasant odour elimination and food preservation are briefly presented. 