

KATARZYNA ŚLIŻEWSKA, ADRIANA NOWAK, RENATA BARCZYŃSKA,
ZDZISŁAWA LIBUDZISZ

PREBIOTYKI – DEFINICJA, WŁAŚCIWOŚCI I ZASTOSOWANIE W PRZEMYŚLE

Streszczenie

Prebiotyki są definiowane jako nietrawione składniki żywności, które korzystnie działają na organizm gospodarza przez selektywną stymulację wzrostu i/lub aktywności jednego rodzaju lub ograniczonej liczby bakterii bytujących w okrężnicy. Istnieje 5 podstawowych kryteriów klasyfikacji składników żywności jako prebiotyków: oporność na trawienie w górnych odcinkach przewodu pokarmowego, fermentacja prowadzona przez microbiotę jelitową, korzystny wpływ na zdrowie gospodarza, selektywna stymulacja wzrostu probiotyków oraz stabilność w różnych warunkach przetwarzania żywności. Dzięki cennym właściwościom technologicznym prebiotyki są stosowane w wielu produktach spożywczych jako zamiennik tłuszczu i cukru lub jako środek teksturotwórczy i żelujący.

W artykule omówiono definicje prebiotyków, kryteria klasyfikacji i charakterystykę substancji prebiotycznych oraz ich przemysłowe zastosowanie.

Słowa kluczowe: prebiotyki, definicja, właściwości, zastosowanie

Wprowadzenie

Zespół mikroorganizmów jelitowych człowieka liczy około 10^{14} komórek i stanowi jeden z najbogatszych gatunkowo ekosystemów, w skład którego wchodzi 17 rodzin, 45 rodzajów i ponad 1500 gatunków [41, 43]. Układ jakościowy i ilościowy mikroorganizmów jelitowych człowieka może ulec zmianie pod wpływem wielu czynników, a zwłaszcza pod wpływem diety [36]. Modyfikacja (wzbogacenie) tego zespołu w kierunku bakterii korzystnie oddziałujących na organizm człowieka powinna być prowadzona przez stosowanie odpowiednich preparatów lub produktów żywnościowych (prebiotyków), stymulujących wzrost korzystnych dla gospodarza mikroorganizmów. Zaletą stosowania prebiotyków jest zmiana składu mikroorganizmów w jelitach

Dr inż. K. Śliżewska, dr A. Nowak, prof. dr hab. Z. Libudzisz, Instytut Technologii Fermentacji i Mikrobiologii, Wydz. Biotechnologii i Nauk o Żywności, Politechnika Łódzka, ul. Wólczańska 171/173, 90-924 Łódź, dr R. Barczyńska, Instytut Chemii, Ochrony Środowiska i Biotechnologii, Akademia im. J. Długo-sza w Częstochowie, ul. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa

człowieka, prowadząca do zmniejszenia liczby bakterii szkodliwych i zwiększenia - pożytecznych dla gospodarza [30].

Koncepcja prebiotyku

Historia i definicje

Termin prebiotyk został wprowadzony przez Gibsona i Roberfroida w 1995 roku. Prebiotyki zdefiniowane zostały jako nietrawione składniki żywności, które korzystnie działają na gospodarza przez selektywną stymulację wzrostu i/lub aktywności jednego rodzaju lub ograniczonej liczby bakterii bytujących w okrężnicy [11]. Definicja została zaktualizowana w 2004 roku i określa prebiotyk jako selektywnie fermentowany składnik umożliwiający swoiste zmiany w składzie i/lub aktywności mikroorganizmów przewodu pokarmowego o działaniu korzystnym na stan zdrowia i samopoczucie gospodarza [10]. Ostatecznie w 2007 roku eksperci FAO/WHO określili prebiotyki jako niezdolne do życia składniki pokarmowe, które wywierają korzystny wpływ na zdrowie gospodarza w związku z modulacją zespołu mikroorganizmów jelitowych [9].

Wymagania stawiane prebiotykom

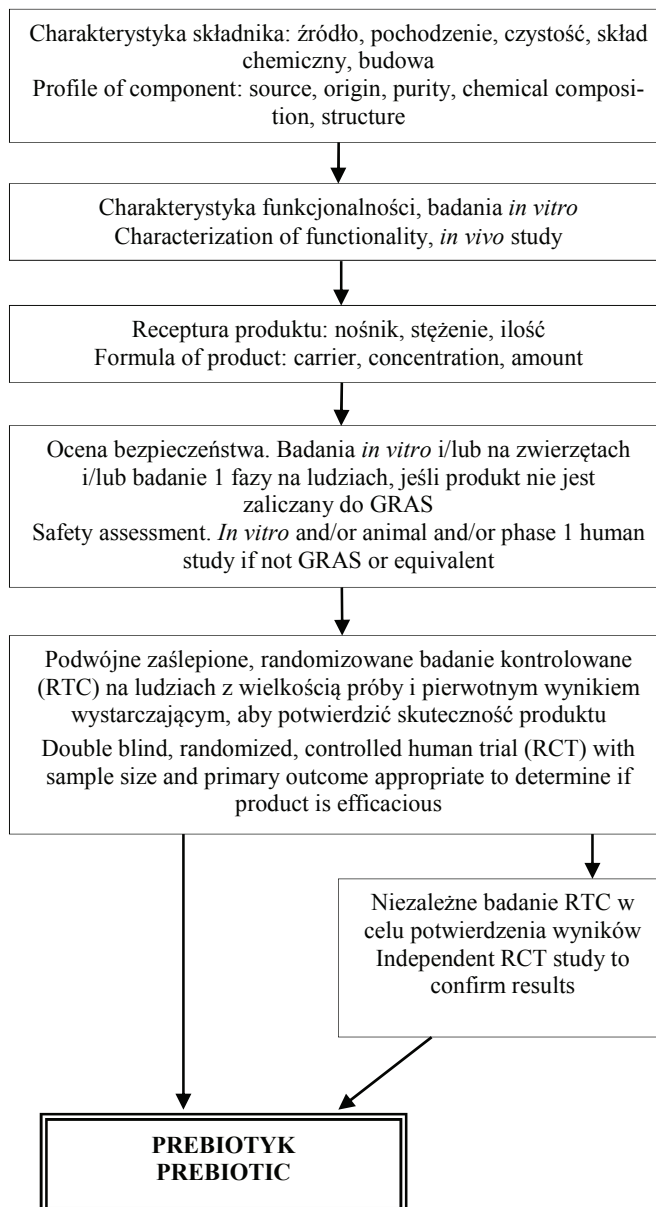
Substancje o właściwościach prebiotycznych muszą wykazywać następujące właściwości [5, 40]:

- selektywnie stymulować wzrost i aktywność wybranych szczepów bakterii mających korzystny wpływ na zdrowie,
- obniżać pH treści jelitowej,
- wykazywać korzystne dla człowieka działanie miejscowe w przewodzie pokarmowym,
- być odporne na hydrolizę i działanie enzymów przewodu pokarmowego,
- nie ulegać wchłanianiu w górnym odcinku przewodu pokarmowego,
- stanowić selektywny substrat dla jednego lub określonej liczby pożytecznych gatunków mikroorganizmów w okrężnicy,
- być stabilne w procesie przetwórstwa spożywczego.

Aby ocenić i uzasadnić, czy dany produkt jest prebiotykiem, należy podać źródło i pochodzenie substancji, czystość, skład chemiczny oraz strukturę. Bardzo ważne jest podanie nośnika, stężenia i ilości, w jakiej ma zostać dostarczony gospodarzowi. Odwołując się do najnowszej definicji prebiotyku, postanowiono wytypować trzy najważniejsze kryteria, jakie muszą spełniać substancje, aby mogły być zaliczone do prebiotyków [9]:

1. Składnik (komponent) – nie jest to ani organizm, ani lek; substancja, która może być scharakteryzowana chemicznie; w większości przypadków jest to składnik żywności.

2. Korzyści zdrowotne – wymierne, przewyższające jakiegokolwiek działania niepożądane.
3. Modulacja – obecność składnika i preparat, w jakim jest dostarczany; zmienia skład lub aktywność mikrobioty u docelowego gospodarza.



Rys. 1. Wytyczne do oceny i udowodnienia działania prebiotyków.

Fig. 1. Guidelines to the assessment and proof of action of prebiotics.

Źródło: / Source: opracowanie własne na podstawie [9] / the authors' own study on the basis of [9].

Prebiotyki, podobnie jak inne składniki żywności, muszą spełniać określone wymagania bezpieczeństwa ustalone w danym państwie. W ocenie bezpieczeństwa końcowego produktu należy uwzględnić (rys. 1) [9]:

1. Czy, zgodnie z krajowymi przepisami prawa, znane są dokumenty bezpiecznego stosowania produktu u gospodarza (jak GRAS lub jego odpowiednik). Jeśli tak, to przeprowadzenie dalszych badań toksykologicznych na zwierzętach i ludziach może nie być konieczne.
2. Bezpieczne, dopuszczalne normy spożycia z minimalnymi objawami oraz działaniami niepożądanymi.
3. Stan czystości produktu (produkt nie może zawierać zanieczyszczeń).
4. Mikrobiotę (prebiotyk nie może zmieniać mikrobioty tak, aby spowodowało to długotrwały, szkodliwy wpływ na gospodarza).

Związki prebiotyczne

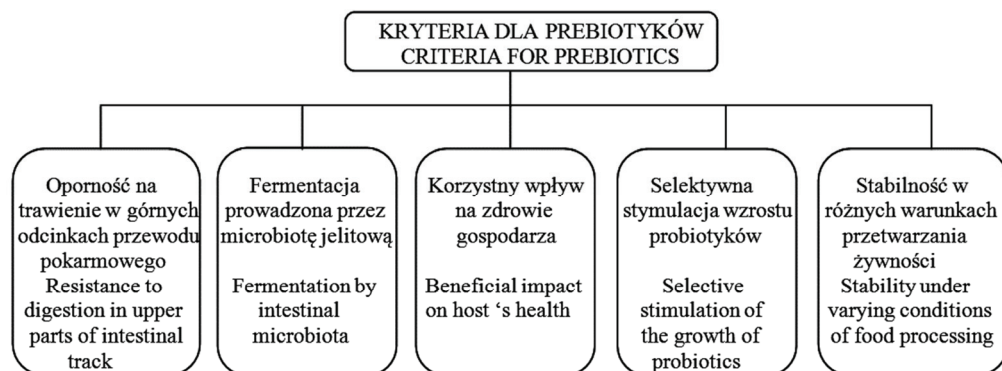
Według Wang [40], istnieje 5 podstawowych kryteriów klasyfikacji składników żywności jako prebiotyków (rys. 2). Pierwsze kryterium zakłada, że prebiotyki są nietrawione (lub tylko częściowo trawione) w górnych odcinkach przewodu pokarmowego, dzięki czemu docierają do jelita grubego, gdzie są selektywnie fermentowane przez potencjalnie korzystne bakterie (wymóg drugiego kryterium) [18]. Fermentacja ta może prowadzić do zwiększenia ekspresji lub zmiany w składzie krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych, zwiększenia masy kałowej, umiarkowanej redukcji pH jelita grubego, zmniejszenia azotowych produktów końcowych i enzymów fekalnych oraz do poprawy systemu immunologicznego [6, 7], co jest korzystne dla zdrowia gospodarza (wymóg trzeciego kryterium). Selektywna stymulacja wzrostu i/lub aktywności bakterii jelitowych potencjalnie związanych z ochroną zdrowia i dobrego samopoczucia jest uważana za kolejne z kryteriów [10]. W celu oceny zdolności prebiotyku do selektywnej stymulacji bakterii *Bifidobacterium* i *Lactobacillus* wprowadzono tzw. indeks prebiotyczny (PI), który można obliczyć z równania [27]:

$$PI = (Bif/Total) - (Bac/Total) + (Lac/Total) - (Clos/Total).$$

Indeks prebiotyczny pozwala określić zmiany liczby populacji (Bif – *Bifidobacterium*, Bac – *Bacteroides*, Lac – *Lactobacillus*, Clos – *Clostridium*, Total – suma bakterii) w danym czasie w warunkach *in vitro*.

Ostatnie kryterium klasyfikacji (rys. 2) zakłada, że prebiotyk musi wytrzymać warunki przetwarzania żywności tak, aby pozostać nienaruszonym, niezdegradowanym lub chemicznie zmienionym i dostępnym do metabolizmu bakterii w jelitach [40]. Huebner i wsp. [13] przebadali kilka komercyjnych prebiotyków w różnych warunkach

przetwarzania. Nie stwierdzili istotnych zmian aktywności prebiotycznej badanych substancji w różnych warunkach przetwarzania [13].



Rys. 2. Kryteria klasyfikacji składników żywności jako prebiotyków.

Fig. 2. Criteria for classifying food ingredients as prebiotics.

Źródło: / Source: opracowanie własne na podstawie [40] / the authors' own study on the basis of [40].

Tabela 1

Główne sposoby produkcji prebiotyków.

Major production methods of prebiotics.

Metoda Method	Proces Process	Przykłady prebiotyków Examples of prebiotics
Bezpośrednia ekstrakcja Direct extraction	Ekstrakcja z nieprzetworzonych surowców roślinnych	Oligosacharydy sojowe otrzymywane z soi, inulina z cykorii, oporna skrobia z kukurydzy
Kontrolowana hydroliza Monitored hydrolysis	Kontrolowana enzymatyczna hydroliza polisacharydów	Fruktooligosacharydy otrzymywane z inuliny, ksylooligosacharydy z arabinoksyłanu
Transglikozylacja Transglycosylation	Proces enzymatyczny mający na celu otrzymanie oligosacharydów z disacharydów	Galaktooligosacharydy otrzymywane z laktozy, fruktooligosacharydy z sacharozy
Procesy chemiczne Chemical processes	Katalityczna konwersja sacharydów	Oporne dekstryny otrzymywane w wyniku pirokonwersji, która obejmuje trzy etapy: termolizę, transglukozylację i repolimeryzację. Laktuloza otrzymywana w wyniku alkalicznej izomeryzacji laktozy, laktitol w wyniku uwodornienia laktozy

Źródło: / Source: opracowanie własne na podstawie [4, 23] / the authors' own study on the basis of [4, 23].

Część prebiotyków otrzymywana jest przez ekstrakcję z roślin lub owoców. Większość jest jednak syntetyzowana przemysłowo za pomocą metod chemicznych i enzymatycznych. W tab. 1. przedstawiono najważniejsze metody otrzymywania prebiotyków.

Prebiotyki w produktach spożywczych funkcjonują jako błonnik pokarmowy. Każdy z tych terminów dotyczy składnika pokarmowego niepodlegającego strawieniu w przewodzie pokarmowym, z tą różnicą że prebiotyki są fermentowane przez ściśle określone mikroorganizmy, zaś błonnik pokarmowy wykorzystywany jest przez większość grup mikroorganizmów bytujących w okrężnicy [26]. Stąd też prebiotyki mogą być błonnikami, jednak błonnik niekoniecznie jest prebiotykiem. Do błonnika pokarmowego zalicza się wielocukry nieskrobiowe: celulozę, hemicelulozę, pektyny, gumy, czy substancje otrzymywane z glonów morskich, jak również fruktooligosacharydy, galaktooligosacharydy, ksyloligosacharydy, izomaltooligosacharydy, laktulozę, oligosacharydy sojowe, skrobie odporne, inuliny oraz pektyny.

Oligosacharydy

Oligosacharydy to grupa polimerycznych sacharydów składających się z dwóch lub więcej połączonych ze sobą monomerów – cukrów prostych o stopniu polimeryzacji (DP) do 10 (tab. 2). Do tej pory przedstawiono wiele dowodów, że oligosacharydy podawane ludziom, dzięki konfiguracji swych wiązań, są odporne na działanie endogennych enzymów przewodu pokarmowego, dzięki czemu mogą być wykorzystywane tylko przez określoną liczbę mikroorganizmów, w tym *Bifidobacterium* i *Lactobacillus*, a efektem fermentacji oligosacharydów przez bakterie jelitowe jest powstanie poza kwasem mlekowym również krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych (masłowy, propionowy, octowy) [21, 35]. Oligosacharydy te określane są jako czynniki bifidogenne. W badaniach *in vitro* oraz *in vivo* potwierdzono właściwości prebiotyczne takich oligosacharydów, jak: fruktooligosacharydy (FOS), galaktooligosacharydy (GOS), izomaltooligosacharydy (IMO), ksyloligosacharydy (XOS), laktuloza oraz oligosacharydy sojowe (SBOS) [1, 22].

Fruktooligosacharydy (FOS) są krótkołańcuchowymi fruktanami zbudowanymi z 2-10 reszt fruktofuranozowych połączonych wiązaniem β -(1 \rightarrow 2). FOS występują jako oligosacharydy homogenne, złożone wyłącznie z fruktozy oraz jako oligosacharydy heterogenne zbudowane z jednej cząsteczki sacharozy i 1 - 8 reszt fruktozy przyłączonych wg wzoru: $1^F(1-\beta\text{-D-fruktofuranozyl})_n\text{-sacharoza}$, w którym $n = 1 - 8$ [9, 16]. Naturalnym źródłem FOS są m.in. cebula, szparagi, pszenica, banany, ziemniaki oraz miód. Fruktooligosacharydy otrzymywane są dwiema metodami. W pierwszej metodzie otrzymuje się je z sacharozy w reakcji transfruktozylacji, katalizowanej przez β -fruktofuranosylazę. W wyniku tej reakcji otrzymuje się fruktooligosacharydy zawierające 2 - 4 jednostki fruktozylowe β -(1 \rightarrow 2) połączone z końcową resztą

α -D-glukozy. Jednostki te nazywa się 1-kestożą (GF_2), 1-nystozyną (GF_3) i 1^F-fruktozylonystozą (GF_4) [28, 38]. Półproduktami tej reakcji są: glukoza i niewielkie ilości fruktozy. W wyniku reakcji transfruktozylacji z katalizatorem (β -fruktofuranozydaza) otrzymuje się fruktooligosacharydy o wzorze: α -D-Glu-(1 \rightarrow 2)-[β -D-Fru-(1 \rightarrow 2)-]_n, gdzie n = 2 - 4 [19]. W drugiej metodzie wykorzystuje się kontrolowaną reakcję enzymatycznej hydrolizy polisacharydu inuliny. Otrzymaną w tym procesie mieszaninę fruktooligosacharydów można opisać wzorami: β -D-Fru-(1 \rightarrow 2)-[β -D-Fru-(1 \rightarrow 2)-]_n, gdzie n = 1 - 9 oraz α -D-Glu-(1 \rightarrow 2)-[β -D-Fru-(1 \rightarrow 2)-]_n, gdzie n = 2 - 9 [37].

Tabela 2

Prebiotyczne oligosacharydy.
Prebiotic oligosaccharides.

Rodzaj Type	Monosacharydy Mono-saccharides	Stopień polimeryzacji (DP) Degree of polymerisation	Rodzaj wiązania Type of bond
FOS - fruktooligosacharydy fructooligosaccharides	fruktoza, glukoza	2-10	α -1,2; β -1,2
Glukooligosacharydy Glucooligosaccharides	glukoza	2-10	α -1,2; β -1,3; β -1,6
GOS - galaktooligosacharydy galactooligosaccharides	galaktoza	2-5	α -1,4; β -1,6
IMO – izomaltooligosacharydy isomaltooligosaccharides	glukoza	2-8	α -1,6
Laktuloza / Lactulose	galaktoza, fruktoza	2	β -1,4
Maltooligosacharydy maltooligosaccharides	glukoza	2-8	α -1,2
MOS - maltooligosacharydy maltooligosaccharides	glukoza	2-10	α -1,2; α -1,4
Rafinoza / Raffinose	galaktoza, fruktoza, glukoza	3	α -1,4; β -1,2
SBOS - oligosacharydy sojowe soybean oligosaccharides	fruktoza, galaktoza, glukoza	1-4	α -1,2; α -1,6
Stachioza / Stachyose	galaktoza, fruktoza, glukoza	4	α -1, 4
XOS - ksylooligosacharydy xylooligosaccharides	ksyloza	2-9	α -1, 4

Źródło: / Source: opracowanie własne na podstawie [40, 42] / the authors' own study on the basis of [40, 42].

Galaktooligosacharydy (GOS) składają się z szeregu jednostek galaktopiranozylowych β -(1 \rightarrow 6) połączonych z końcową resztą glukopiranozylową poprzez wiązanie glikozydowe α -(1 \rightarrow 4). Są polimerami o wzorze α -D-Glu-(1 \rightarrow 4)-[β -D-Gal-(1 \rightarrow 6)-]_n, gdzie n = 2 - 5 [20]. GOS otrzymywane są z laktozy w reakcji β -galaktozylowego przeniesienia, w wyniku czego powstaje cała grupa di- i heksasacharydów. GOS można otrzymywać metodami chemicznymi i enzymatycznymi. Podstawą metody

chemicznej jest hydroliza wiązań glikozydowych w laktozie z zastosowaniem kwasu hydrochlorowego. W metodzie enzymatycznej galaktooligosacharydy mogą być syntetyzowane przez zastosowanie glikozylotransferaz szlaku Leloir'a. Na skalę przemysłową GOS otrzymywane są z laktozy po jej enzymatycznej transgalaktozylacji. Najczęściej jest to mieszanina cukrów różniących się składem monomerów, stopniem polimeryzacji oraz sekwencją wiązań glikozydowych [33].

Izomaltooligosacharydy (IMO) zbudowane są z reszt α -D-glukozy powiązanych wiązaniami glikozydowymi α -(1 \rightarrow 6) o wzorze $[\alpha$ -D-Glu-(1 \rightarrow 6)]_n, gdzie $n = 2 - 8$ [10]. IMO otrzymywane są przede wszystkim ze skrobi w dwustopniowej reakcji enzymatycznej. W pierwszym etapie pod wpływem hydrolitycznego działania α -amylazy następuje upłynnienie skrobi. W drugim upłynniona skrobia jest poddawana działaniu zarówno β -amylazy, jak i α -glukozydazy. Pod wpływem działania β -amylazy skrobia zostaje przekształcona w maltozę. Następnie, pod wpływem α -glukozydazy, maltoza ulega przemianie w mieszaninę izomaltooligosacharydów [24].

Ksylooligosacharydy (XOS) są polimerami D-ksylanów, strukturalnych składników ziarna zbóż i traw. Pod wpływem działania endo-1,4- β -ksylanazy, ksylan ulega hydrolizie do ksylooligosacharydów o wzorze $[\beta$ -Xyl-(1 \rightarrow 4)]_n, gdzie $n = 2 - 9$ [14, 15].

Laktuloza jest syntetycznym disacharydem o wzorze: β -D-Gal-(1 \rightarrow 4)- β -D-Fru [9]. Laktulozę otrzymuje się z laktozy. W wyniku przemiany reszty glukozowej w cząsteczce laktozy we fruktozę powstaje disacharyd – laktuloza. W tej technologii wykorzystuje się chemiczny proces izomeryzacji w środowisku zasadowym [14].

Oligosacharydy sojowe (SBOS), w przeciwieństwie do innych oligosacharydów, ekstrahuje się bezpośrednio z surowca, a więc nie jest wymagana obróbka enzymatyczna. Ogólny wzór oligosacharydów sojowych jest następujący: $[\alpha$ -D-Gal-(1 \rightarrow 6)]_n- α -D-Glu-(1 \rightarrow 2)- β -D-Fru, gdzie $n = 1 - 4$. Serwatka sojowa, produkt uboczny przy otrzymywaniu białka sojowego, zawiera oligosacharydy, rafinozę, stachiozę, glukozę i fruktozę. Rafinoza i stachioza nie ulegają hydrolizie w żołądku i jelicie cienkim i nienaruszone docierają do okrężnicy. Tam działają jako czynniki bifidogenne, stymulujące wzrost bifidobakterii [4].

Polisacharydy

Polisacharydy są to wielkocząsteczkowe biopolimery o wzorze ogólnym $(C_6H_{10}O_5)_n$, zbudowane z monosacharydów, o łańcuchach prostych lub rozgałęzionych. Polisacharydy zbudowane z jednego rodzaju monosacharydu to homopolisacharydy, np. glikogen lub z różnych monosacharydów czy ich pochodnych – to heteropolisacharydy, np. heparyna, kwas hialuronowy [2].

Inulina jest naturalnym biopolimerem roślinnym występującym np. w: cykorii, cebuli, czosnku, topinamburze, pomidorach, bananach, pszenicy. Inulina to zdysper-

gowana mieszanina liniowych cząsteczek o takiej samej podstawowej strukturze chemicznej, oznaczanej jako $G-F_n$ (gdzie: G to reszta glukozowa, F – reszta fruktozowa i n – liczba cząsteczek fruktozy połączonych wiązaniem β -(2→1) [10]. Stopień polimeryzacji inuliny oraz charakter wiązań zależy od źródła jej pochodzenia. Ogólnie DP tego wysokocząsteczkowego polimeru wynosi więcej niż 30 [39].

Skrobia jest polimerycznym sacharydem złożonym z reszt α -D-glukopiranozy połączonych ze sobą wiązaniami α -D-(1→4) i (1→6) glikozydowymi [17]. Cząsteczka skrobi składa się z amylozy i amylopektyny. Udział tych frakcji zależy od botanicznego pochodzenia skrobi. W cząsteczce skrobi najczęściej występuje 20 - 30 % amylozy i 70 - 80 % amylopektyny. Zdarza się tak, że niektóre skrobie zawierają ponad 70 % amylozy (skrobia wysokoamylozowa), a inne blisko 100 % amylopektyny (skrobie woskowe). Skrobia z reguły jest traktowana jako związek łatwo trawiony przez enzymy pokarmowe człowieka i absorbowany w jelicie cienkim w postaci glukozy (głównego produktu hydrolizy enzymatycznej). Odnosi się to jednak do skrobi poddanej wstępnej obróbce termicznej w odpowiedniej ilości wody (tzw. skrobia skleikowana) i spożytej bezpośrednio po przygotowaniu. Także skrobia ziarnista (nieskleikowana) niektórych gatunków roślin (szczególnie zbóż) może ulegać całkowitej, aczkolwiek powolnej, hydrolizie enzymatycznej [17]. Biorąc pod uwagę trawienie skrobi w jelicie cienkim człowieka, można ją podzielić na skrobię szybko trawioną (RDS, *rapidly digestible starch*) i skrobię wolno trawioną (SDS, *slowly digestible starch*). Okazuje się, że część skrobi nie ulega trawieniu i przechodzi przez jelito cienkie, docierając do jelita grubego. Tę frakcję skrobi nazwano skrobią oporną (RS, *resistant starch*) [32].

Skrobia oporna to suma skrobi i produktów jej rozkładu, które nie ulegają trawieniu i wchłanianiu w jelicie cienkim zdrowego człowieka. Stanowi ona różnicę między ilością skrobi poddanej działaniu kompleksu enzymów amylolitycznych a ilością skrobi rozłożonej do glukozy w wyniku hydrolizy przez te enzymy [8]. Skrobia oporna otrzymywana metodą modyfikacji chemicznej lub fizycznej wzbudza szerokie zainteresowanie, zarówno ze względu na specyficzne właściwości fizyczne, jak i korzyści zdrowotne [34]. W wyniku chemicznej modyfikacji następuje wprowadzenie grup funkcyjnych do cząsteczki skrobi, co w końcowym efekcie prowadzi do zmiany właściwości fizycznych i chemicznych otrzymanego produktu, jak również zmniejsza dostępność skrobi dla enzymów amylolitycznych, ponieważ nowe grupy funkcyjne uniemożliwiają tworzenie kompleksu enzym-substrat [25].

Tabela 3

Wybrane polisacharydy nieskrobiowe jako prebiotyki.
Selected non-starch polysaccharides as prebiotics.

Związek Compound	Budowa chemiczna Chemical structure	Charakterystyka Profile	Źródło występowania Source	Znaczenia dla zdrowia Benefits for health
Celuloza Cellulose	Nierozgałęziony, liniowy polisacharyd o cząsteczkach zbudowany z jednostek glukozowych połączonych wiązaniami β -1,4-glikozydowymi oraz β -1,6-glikozydowymi, które nie są rozkładane przez enzymy trawienne człowieka.	Nierozpuszczalna w wodzie, bez smaku i zapachu. W warunkach tlenowych rozkładana jest przez wiele gatunków grzybów oraz bakterie celuloliczne: beztlenowy rozkład celulozy przeprowadzają bakterie <i>Clostridium</i> , znajdujące się w żwacu przeżuwaczy, z wytworzeniem SCFA i metanu.	Warzywa, owoce, ziarna zbóż. Niemal czystą celulozę zawierają: len, bawełna i konopie; występuje ona w komórkach roślinnych, grzybów, bakterii i zwierząt.	Przeciwdziała: zaparciom, powstaniu raka jelita grubego i wzrostowi masy ciała, normalizuje poziom glukozy we krwi, zwiększa sorpcję wody oraz ilość usuwanych odpadów, usuwa toksyny i inne niebezpieczne dla zdrowia metabolity.
Hemicelulozy Hemicellulose	Niejednorodna grupa polimerów cukrów prostych i ich pochodnych, połączonych wiązaniami β -glikozydowymi i tworzących rozgałęzione łańcuchy.	Częściowo rozpuszczalna w wodzie. W zależności od funkcji spełnianych w ścianie komórki roślin wyróżnia się: <ul style="list-style-type: none"> • materiał wypełniający ścianę. • Zbudowane z reszt kwasu glukuronowego ($C_6H_{10}O_7$) lub metylowanej pochodnej tego kwasu i arabinozy oraz ksylozy; • materiał zapasowych występujący w ścianach. Polimery heksoz (np. mannozy, glukozy, galaktozy), pentoz (np. ksylozy). 	Drewno, słoma, nasiona i otręby.	Przeciwdziała zaparciom oraz wzrostowi masy ciała. Obniża ryzyko raka okrężnicy.

<p>Pektyny Pectins</p>	<p>Polisacharydy o strukturze liniowej utworzonej z połączonych cząsteczek kwasu galakturonowego</p>	<p>Rozpuszczalne w wodzie, wykazują zdolność do tworzenia żeli w środowisku kwaśnym (pH 3,2-3,5), Pektyny składają się z trzech głównych rodzajów węglowodanów:</p> <ul style="list-style-type: none"> • homogalakturonan – polisacharyd zbudowany z merów kwasu galakturonowego, • ramnogalakturonan I - polisacharyd złożony z dimerów (ramnoza + kwas galakturonowy), • ramnogalakturonan II – rozgałęziony polisacharyd. 	<p>Owoce i warzywa.</p>	<p>Reguluje gospodarkę kwasów żółciowych, zmniejsza ryzyko raka okrężnicy i powstaniu kamieni żółciowych, Obniża poziom cholesterolu.</p>
----------------------------	--	---	-------------------------	---

Źródło: / Source: opracowanie własne na podstawie [3, 31] / the authors' own study on the basis of [3, 31].

Do pozostałych polisacharydów naturalnych o największym znaczeniu żywieniowym zalicza się: celulozę, hemicelulozy, pektyny (tab. 3).

Zastosowanie prebiotyków w przemyśle

Prebiotyki najczęściej tworzą z wodą bezbarwne roztwory i są w niej dobrze rozpuszczalne, a zatem można je doskonale łączyć z żywnością. Substancje te nie tylko wpływają na jakość zdrowia człowieka, ale również wykazują szereg korzystnych cech technologicznych. W tab. 4. przedstawiono przykłady zastosowania oligosacharydów w przemyśle.

Tabela 4

Zastosowania oligosacharydów.
Applications of oligosaccharides

Zastosowanie Application	Rodzaj oligosacharydów Type of oligosaccharide
Do żywności / As food: <ul style="list-style-type: none"> • słodziki / sweeteners • napoje owocowe / fruit beverages • galaretki / jellies • żywność dietetyczna / dietetic food • mieszanki spożywcze dla dzieci / food mixtures for children • chleb / bread • napoje przeciwzaparciowe / anti-constipation drinks 	<ul style="list-style-type: none"> • oligosacharydy wielofunkcyjne • izomaltooligosacharydy • fruktooligosacharydy • oligosacharydy błonnikowe • galaktooligosacharydy • galaktooligosacharydy • galaktooligosacharydy •
Zastosowania medyczne / In medicine: <ul style="list-style-type: none"> • leki / drugs • kosmetyki / cosmetics • stymulatory układu immunologicznego immune system stimulants • środki wspomagające wchłanianie wapnia w przewodzie pokarmowym agents to support absorption in alimentary track • środki przeciwpróchnicze / anti-caries agents 	<ul style="list-style-type: none"> • cykloinulooligosacharydy • estry kwasów tłuszczowych z oligosacharydami • fruktooligosacharydy, chitooligosacharydy • izomaltooligosacharydy • galaktooligosacharydy • • większość oligosacharydów, trehaloza, centoza
Dla zwierząt / For animals: <ul style="list-style-type: none"> • pasza dla drobiu / poultry feeds • pasza dla innych zwierząt / feeds for other animals • inhibitory bakterii <i>Salmonella</i> <i>Salmonella</i> inhibitors 	<ul style="list-style-type: none"> • izomaltooligosacharydy • fruktooligosacharydy • fruktooligosacharydy
Inne zastosowanie / Other applications: <ul style="list-style-type: none"> • stymulator wzrostu roślin / plant growth stimulants 	<ul style="list-style-type: none"> • alginooligosacharydy, inulooligosacharydy

Źródło: / Source: opracowanie własne / the authors' own study.

Dzięki cennym właściwościom technologicznym oligosacharydy są stosowane w wielu produktach spożywczych jako zamiennik tłuszczu i cukru lub jako środek teksturotwórczy i żelujący (tab. 5). Obecnie oligosacharydy są szeroko stosowane w przemyśle mleczarskim. W jogurtach oligosacharydy powodują poprawę konsystencji i smaku oraz zwiększają stabilność produktu. W innych produktach mleczarskich oligosacharydy mogą być stosowane jako substancje zastępujące tłuszcz, umożliwiające zachowanie tekstury, stabilności i dobrej smakowitości, nawet w produktach o znacznie zredukowanej kaloryczności. Prebiotyczne oligosacharydy stosowane są również w produkcji niskotłuszczowych serków twarogowych, deserów mlecznych oraz śmietany [12].

Tabela 5

Zastosowanie prebiotyków w żywności.
Application of prebiotics in foods.

Zastosowanie Application	Właściwości funkcjonalne Functional properties
Jogurty i desery / Yogurts and desserts	zastąpienie cukru, lepsza konsystencja i smak
Napoje / Beverages	zastąpienie cukru, lepszy smak, stabilizacja piany
Pieczyno / Bakery products	zastąpienie tłuszczu lub cukru, lepsza tekstura
Produkty mięsne / Meat products	zastąpienie tłuszczu, lepsza tekstura i trwałość
Produkty dietetyczne / Dietetic products	zastąpienie tłuszczu lub cukru
Ciasta i ciastka / Cakes and pastries	zastąpienie cukru, zatrzymywanie wilgoci
Czekolada / Chocolate	zastąpienie cukru, odporność termiczna
Wyroby cukiernicze Confectionary products	zastąpienie cukru
Zupy i sosy / Soups, sauces and gravies	zastąpienie cukru
Żywność dla niemowląt / Infant and baby foods	lepsza tekstura, smak i stabilność

Źródło: / Source: opracowanie własne na podstawie [35, 40] / the authors' own study on the basis of [35, 40].

Polisacharydy prebiotyczne są stosowane w żywności o obniżonej wartości kalorycznej oraz w produktach dla diabetyków. Są one bezzapachowe i dlatego możliwe jest ich zastosowanie w wielu produktach typu soft/light, jak np. wyroby czekoladowe, mrożone desery, ciasta, cukierki i kremy. Inulina dobrze zastępuje białą mąkę w zupach i sosach, pełniąc rolę zagęszczacza. Używana jest również jako dodatek do wyrobów cukierniczych oraz deserów typu budyni, kisiel, ponieważ gotowana z wodą inulina przyjmuje postać galaretki. Jest też dobrym stabilizatorem emulsji oraz piany białkowej.

Podsumowanie

Nie ma wątpliwości, że niektóre sacharydy, przez stymulację wzrostu bakterii probiotycznych, mogą odgrywać istotną rolę w funkcjonowaniu przewodu pokarmowego, a szczególnie jelita grubego. Spożywanie żywności prebiotycznej może, przynajmniej częściowo, chronić człowieka przed niektórymi tzw. chorobami cywilizacyjnymi oraz może poprawić kondycję ludzi w różnym wieku. W zachowaniu konsumentów zauważa się wyraźny trend spożywania produktów, które są korzystne dla zdrowia. Stąd też obserwuje się znaczący rozwój rynku żywności z udziałem prebiotyków. W Europie Zachodniej prebiotyki występują najczęściej w: produktach mleczarskich, płatkach, batonach, snackach, słodyczach i napojach. Rynek żywności zawierającej prebiotyki (UE, USA, Azja) szacuje się na około 25 tys. ton. W 2002 roku tylko 15 produktów zawierało inulinę i oligofruktozę, dziś jest to 181 produktów na rynku globalnym. Według raportu Frost & Sullivan ocenia się, że rynek dodatków prebiotycznych w 2008 roku wart był 180 mln euro, obecnie wynosi 295 mln euro (92 tys. ton), a w 2015 roku ma osiągnąć 767 mln euro [31]. Ten gwałtowny rozwój można po części przypisać wzrostowi różnorodności produktów, do których prebiotyki są i będą dodawane [36].

Literatura

- [1] Annison G., Illman R., Topping D.: Acetylated, propionylated or butyrylated starches raise large bowel short-chain fatty acids preferentially when fed to rats. *J. Nutr.*, 2003, **133**, 3523-3528.
- [2] Berg J.M., Tymoczko J.L., Stryer L.: *Biochemia*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2007.
- [3] Chen Y.C., Nakthong C., Chen T.C.: Improvement of laying hen performance by dietary prebiotic chicory oligofructose and inulin. *Int. J. Poultry Sci.*, 2005, **4**, 103-108.
- [4] Crittenden R., Playne M.J.: Prebiotics. In: Lee Y.K., Salminen S., eds. *Handbook of Probiotics and Prebiotics*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2009, pp. 535-561.
- [5] Douglas L.C., Sanders M.E.: Probiotics and prebiotics in dietetics practice. *J. Am. Diet. Assoc.*, 2008, **108**, 510-521.
- [6] Eckburg P.B., Bik E.M., Bernstein C.N.: Diversity of the human intestinal microbial flora. *Science*, 2005, **308**, 1635-1638.
- [7] Egert M., de Graaf A.A., Smidt H.: Beyond diversity: functional microbiomics of the human colon. *Trends Microbiol.*, 2006, **14**, 86-91.
- [8] Englyst H.N., Kingman S.M., Cummings J.H.: Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. Clin. Nutr.*, 1992, **46**, 33-50.
- [9] FAO Technical Meeting on Prebiotics.: Food Quality and Standards Service (AGNS), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAO Technical meeting Report, 15-16.09.2007.
- [10] Gibson G.R., Probert H.M., van Loo J., Rastall R.A., Roberfroid M.: Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of the prebiotics. *Nutr. Res. Rev.*, 2004, **17**, 259-275.
- [11] Gibson R., Roberfroid M.: Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J. Nutr.*, 1995, **125**, 140-1412.

- [12] Gray, J.: Dietary Fibre. Definition, analysis, physiology and health. In ILSI Europe Concise Monograph Series. Brussels, ILSI Europe, 2006, pp. 1-44.
- [13] Huebner J., Wehling R.L., Parkhurst A., Hutkins R.W.: Effect of processing conditions on the prebiotic activity of commercial prebiotics. *Int. Dairy J.*, 2008, **18**, 287-293.
- [14] Kolinda S., Gibson G.R.: Prebiotic capacity of inulin-type fructans. *J. Nutr.*, 2007, **137**, 2503-2506.
- [15] Król B., Klewicki R.: Wytwarzanie koncentratów fruktooligosacharydów (FOS) o zróżnicowanym składzie oligomerycznym z wykorzystaniem enzymatycznej biokonwersji sacharozы. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005, **2(43)**, 5-22.
- [16] Laurentin A., Edwards Ch.A.: Differential fermentation of glucose-based carbohydrates *in vitro* by human faecal bacteria. *Eur. Nutr.*, 2004, **42**, 183-189.
- [17] Leszczyński W.: Resistant Starch – classification, structure, production. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2004, **13**, 37-50.
- [18] Maccfarlane G.T., Steed H., Maccfarlane S.: Bacterial metabolism and health-related effects of galacto-oligosaccharides and other prebiotics. *J. Appl. Microbiol.*, 2008, **104**, 305-344.
- [19] Meyer P.D.: Nondigestible oligosaccharides as dietary fiber. *J. AOAC Int.*, 2004, **87**, 718-726.
- [20] Mussatto S.I., Mancilha I.M.: Non-digestible oligosaccharides: a review. *Carbohydr. Res.*, 2007, **68**, 587-597.
- [21] Nakakuki T.: Present status and future prospects of functional oligosaccharide development in Japan. *Jap. Soc. Appl. Glycosci.*, 2005, **52**, 267-271.
- [22] O'Sullivan M.G.: Metabolism of bifidogenic factors by gut flora-an overview. *Bull. Int. Dairy Fed.*, 1996, **289**, 27-30.
- [23] Ohkuma K., Matsuda I., Katta Y., Hanno Y.: Pyrolysis of starch and its digestibility by enzymes – Characterization of indegestible dextrin. *Denpun Kagaku*, 1999, **37**, 107-114.
- [24] Olano-Martin E., Gibson G.R., Rastall R.A.: Comparison of the *in vitro* bifidogenic properties of pectins and pectic-oligosaccharides. *J. Appl. Microbiol.*, 2002, **93**, 505-511.
- [25] Onyango C., Bley T., Jacob A.: Influence of incubation temperature and time on resistant starch type III formation from autoclaved and acid-hydrolysed cassava starch. *Carbohydr. Polym.*, 2006, **66**, 497-499.
- [26] Ouwehand A., Derrien M., de Vos W., Tiihonen K., Rautonen N.: Prebiotics and other microbial substrates for gut functionality. *Current Biology*, 2005, **16**, 212-217.
- [27] Palframan R., Gibson G.R., Rastall R.A.: Development of a quantitative tool for comparison of the prebiotic effect of dietary oligosaccharides. *Lett. Appl. Microbiol.*, 2003, **37**, 281-284.
- [28] Playne M.J., Crittenden R.: Commercially available oligosaccharides. *Bull. Int. Dairy Fed.*, 1996, **313**, 10-22.
- [29] Raport Frost & Sullivan, www.frost.com/prod/servlet/frost-home.pag. [dostęp 2.06.2008].
- [30] Rastall R.A., Gibson G.R.: Modulation of the microbial ecology of the human colon by probiotics, prebiotics and synbiotics to enhance human health: An overview of enabling science and potential applications. *FEMS Microbiol. Ecology*, 2005, **25**, 145-152.
- [31] Report of the Dietary Fiber Definition Committee to the Board of Directors of the American Association Of Cereal Chemists, www.food-info.net. [dostęp: 12.02.2013].
- [32] Sang Y., Seib P.A.: Resistant starches from amylose mutants of corn by simultaneous heat-moisture treatment and phosphorylation. *Carbohydr. Polym.*, 2006, **63**, 167-175.
- [33] Schwab C., Lee V., Sørensen K.I., Gänzle M.G.: Production of galactooligosaccharides and heterooligosaccharides with disrupted cell extracts and whole cells of lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Int. Dairy J.*, 2011, **21**, 748-754.
- [34] Singha J., Kaurb L.: Review factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications - A review. *Food Hydrocoll.*, 2007, **21**, 1-22.

- [35] Śliżewska K., Libudisz Z.: Wykorzystywanie oligosacharydów jako prebiotyków. *Przem. Spoż.*, 2002, **56**, 10-12.
- [36] Starling S.: Prebiotics: Misunderstood but not missing in action. *Breaking News on Supplements & Nutrition*, www.nutraingredients-usa.com [dostęp: 20.05.2011].
- [37] Swennen K., Courtin Ch.M., Delcour J.A.: Non-digestible oligosaccharides with prebiotic properties. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2006, **46**, 459-471.
- [38] Tokunaga T.: Novel physiological function of fructooligosaccharides. *BioFactors*, 2004, **21**, 89-94.
- [39] Trabs K., Kasprick N., Henle T.: Isolation and identification of Di-D-fructose dianhydrides resulting from heat-induced degradation of inulin. *Eur. Food Res. Technol.*, 2011, **233**, 151-158.
- [40] Wang Y.: Prebiotics: present and future in food science and technology. *Food Res. Int.*, 2009, **42**, 8-12.
- [41] Wu G.D., Chen J., Hoffmann C., Bittinger K., Chen Y.-Y., Keilbaugh S.A., Bewtra M., Knights D., Walters W.A., Knight R., Sinha R., Gilroy E., Gupta K., Baldassano R., Nessel L., Li H., Bushman F.D., Lewis J.D.: Linking long-term dietary patterns with gut microbial enterotypes. *Science*, 2011, **334**, 105-108.
- [42] Xu Q., Chao Y.L., Wan Q.B.: Health benefit application of functional oligosaccharides. *Carbohydr. Polymers*, 2009, **77**, 435-441.
- [43] Zoetendal E.G., Vaughn E.E., de Vos W.M.: A microbial world within us. *Mol. Microbiol.*, 2006, **59**, 1639-1650.

PREBIOTICS – DEFINITION, PROPERTIES, AND APPLICATIONS IN INDUSTRY

Summary

Prebiotics are defined as non-digestible food ingredients, which beneficially impact the organism of a host by means of selectively stimulating the growth and/or activity of one type or of a limited number of colonic microbiota. There are 5 basic criteria for classifying food ingredients as prebiotics: resistance to digestion in upper gastrointestinal tracts; fermentation by intestinal microbiota; beneficial impact on health of host; selective stimulation of the growth of probiotics; stability under varying food processing conditions. Owing to their valuable technological properties, the prebiotics are applied in many food products as fat and sugar substitutes or as a texture- and gel-forming agent.

In the paper discussed are the definitions, criteria of classification, profile of prebiotic substances, and their industrial applications.

Key words: prebiotics, definition, properties, application ☒