

RYSZARD AMAROWICZ

ZNACZENIE ŻYWIENIOWE OLIGOSACHARYDÓW

NUTRITIONAL IMPORTANCE OF OLIGOSACCHARIDES

Zakład Chemii Żywności, Oddział Nauki o Żywności
 Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności Polskiej Akademii Nauk
 10-718 Olsztyn 5, P.O.Box 55
 Kierownik: prof. dr hab. H. Kostyra

W pracy omówiono budowę chemiczną oligosacharydów i ich antyżywniowy charakter przejawiający się w działaniu gazotwórczym. Podano również fakty świadczące o korzystnym działaniu oligosacharydów w żywieniu człowieka związane z ich działaniem na bifidobakterie w okrężnicy.

STRUKTURA CHEMICZNA OLIGOSACHARYDÓW

Oligosacharydy stanowią grupę krótkołańcuchowych polisacharydów, które przy różnicowanej budowie chemicznej nie są hydrolizowane przez układ trawienny człowieka – ich metabolizm zachodzi dopiero pod wpływem drobnoustrojów w okrężnicy.

Ze względu na strukturę chemiczną (ryc. 1) spośród oligosacharydów wydzielić można [22, 33]:

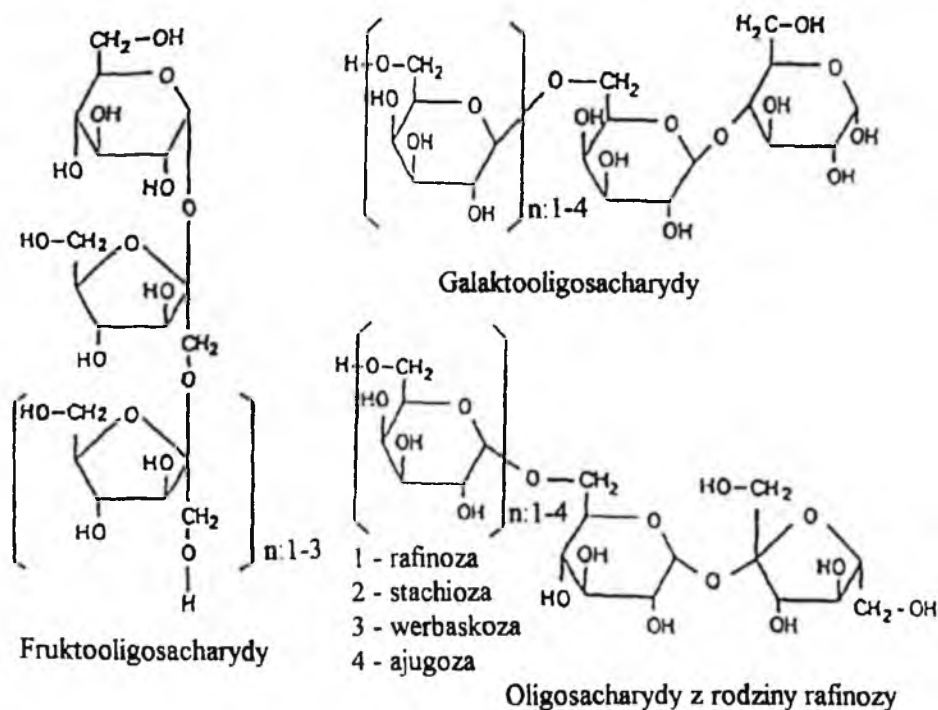
- fruktooligosacharydy,
- galaktooligosacharydy,
- oligosacharydy z rodziny rafinozy.

We fruktooligosacharydach – kestozie, nystozie i fruktofuranozylzie – odpowiednio jedna, dwie lub trzy cząsteczki fruktozy dołączone są przy pomocy wiązania β -2,1-glikozydowego do reszty fruktozowej w cząsteczce sacharozy [22].

Galaktooligosacharydy są biopolimerami, w których 1-4 cząsteczki galaktozy dołączone są do reszty galaktozowej w laktozie. W łańcuchu cząsteczki galaktozy mogą być związane wiązaniem β -1,4-lub α -1,6-glikozydowym.

Z żywieniowego punktu widzenia podstawowe znaczenie dla człowieka mają oligosacharydy z rodziny rafinozy, które w dużych ilościach występują głównie w nasionach roślin strączkowych. Należy zaznaczyć, że ta grupa oligosacharydów w piśmiennictwie anglojęzycznym określana jest jako α -galaktozydy i trzeba ją odróżnić od galaktooligosacharydów.

Oligosacharydy z rodziny rafinozy zbudowane są z łańcucha cukrowego, w którym do cząsteczki sacharozy przyłączone są wiązaniem α -1,6-glikozydowym od 1 do 4 cząsteczek galaktozy. Kolejne cukry noszą nazwy: rafinoza, stachioza, werbaskoza i ajugoza. Ostatni z wymienionych oligosacharydów jest rzadko spotykany w materiale roślinnym; dane literaturowe podają jego obecność w łubinie [5]. Dla przykładu pełna



Ryc. 1. Struktura chemiczna oligosacharydów
Chemical structure of oligosaccharides

nazwa werbaskozy to: α -D-galaktozylo- α -1,6-D-galaktozylo- α -1,6-D-galaktozylo- α -1,6-D-glukozylo- β -1,2-D-fruktozyd.

Pod wpływem β -fruktozydazy od rafinozy odcepią się melibioza, od stachiozy manniotrioza, od werbaskozy werbaskotetroza. W wyniku działania α -galaktozydazy od oligosacharydów odłącza się cząsteczka sacharozy. Tworzy się wtedy ze stachiozy galaktobioza, z werbaskozy galaktotrioza [14].

W nasionach roślin strączkowych obok oligosacharydów z rodziny rafinozy spotyka się również cukrowce zawierające w swej cząsteczce 3-O-metylo-D-*chiro*-inozytol. Wymienić tu można charakterystyczne dla soi galaktopinitole: 1D-2-O-(α -D-galaktopyranozyl)-4-metyloinozytol, 1D-5-O-(α -D-galaktopyranozyl)-4-metylo-*chiro*-inozytol i 1D-2-O-(α -D-galaktopyranozyl)-4-metylo-*chiro*-inozytol [30] oraz typowy dla nasion soczewicy ciceritol O- α -D-galaktopyranozyl-1,6- α -D-galaktopyranozyl-1,2-1D-O-metylo-*chiro*-inozytol [3].

GAZOTWÓRCZE DZIAŁANIE OLIGOSACHARYDÓW

Brak α -galaktozydazy w przewodzie pokarmowym człowieka powoduje, że oligosacharydy z rodziny rafinozy nie są rozkładane do monocukrów i nie ulegają wchłanianiu

w jelicie cienkim. Po przejściu do jelita grubego oligosacharydy ulegają hydrolizie pod wpływem enzymów pochodzenia mikrobiologicznego, a następnie są dalej metabolizowane przez mikroflorę okrężnicy [14]. Towarzyszy temu wytwarzanie znacznych ilości produktów gazowych. W literaturze anglojęzycznej efekt gazotwórczy jest określany jako „Flatus”. Termin ten stosowany będzie w dalszej części niniejszego opracowania.

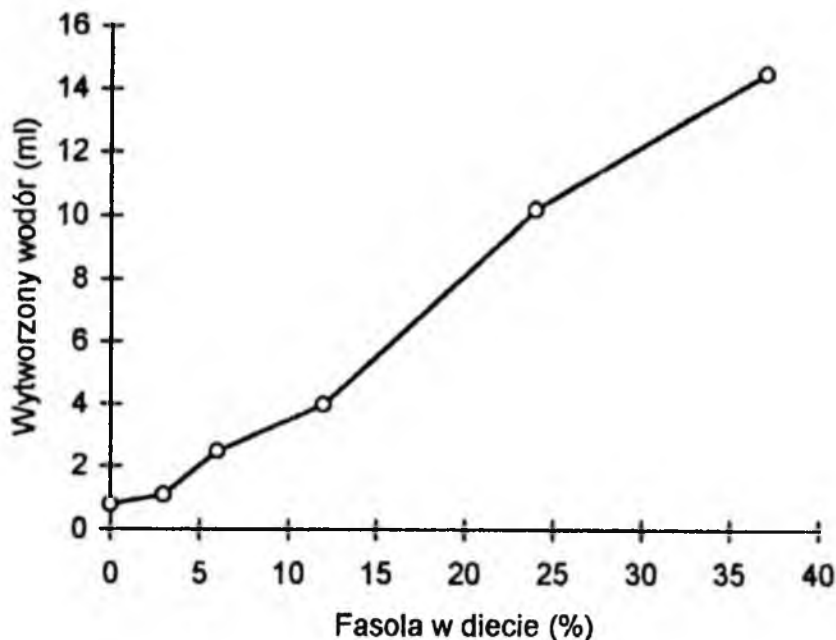
Tabela I. Objętość (ml) gazów zawartych w flatusie przy diecie normalnej i diecie z udziałem fasoli [32]
Volume (ml) of flatulence gases by the control diet and diet including bean [32]

Gazy	Dieta normalna	Dieta zawierająca fasolę
Ogółem	120	1408
Dwutlenek węgla	10	724
Tlen	4	18
Azot	73	269
Wodór	24	155
Metan	9	242

Skład chemiczny flatusu był tematem wielu prac [1, 4, 8, 10, 31, 32]. Na listę podstawowych gazów, jego komponentów, wpisano azot, tlen, dwutlenek węgla, wodór i metan. Składniki te stanowią najczęściej ponad 99% gazów zawartych we flatusie. Do grupy związków występujących w niewielkich ilościach zaliczyć można skatole, indole, siarkowodór, lotne aminy, krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe [24]. W przypadku zdrowego człowieka dobowa objętość flatusu wynosi 400–2000 ml [23]. *Van Ness i Cattau* [34] wymieniają 1600 ml jako górną granicę tej normy. Typowy skład chemiczny flatusu podany jest w tab. I. Tabela ta przedstawia jednocześnie zmiany ilościowe i jakościowe flatusu, jakie zachodzą w przypadku diety zawierającej fasolę. Wpływ zawartości fasoli w diecie na ilość wytworzonego wodoru – badania na szczurach [36] – ilustruje ryc. 2.

Wyniki prac *Steggerda* [32] wskazały, że ilość flatusu oraz jego skład jakościowy zależą od udziału w diecie niektórych produktów spożywczych (np. fasoli) oraz od obecności specyficznych bakterii w dolnych odcinkach przewodu pokarmowego człowieka. W badaniach *in vitro* i *in vivo* zostało wykazane, że pewne przetrwalnikujące bakterie beztlenowe zasiedlające jelito grube i cienkie psa uczestniczą w wytwarzaniu gazów przy obecności fasoli w eksperymentalnej diecie [26]. Specyficzność ta dotyczyła szczególnie rodzaju *Clostridium*. Korelację między ilością flatusu wydzielonego przez zwierzęta doświadczalne, a wytwarzaniem gazu *in vitro* przez *Clostridium perfringens* z zielonych i z suchych nasion fasoli lima oraz fasoli zwyczajnej zanotował *Kurtzman i Halbrook* [17]. Według *Sacksa i Olsons* [27] niektóre szczepy *Cl. perfringens* mają zdolność do szybszego wzrostu pod wpływem cukrów z rodziny rafinozy.

Poszczególne oligosacharydy są zróżnicowane pod względem zdolności gazotwórczych. Większy efekt towarzyszy metabolizmowi stachiozy i rafinozy, mniejszy w przypadku werbaskozy [6, 25]. Tym samym zdolność gazotwórcza odmiennych gatunków roślin jest zróżnicowana (tab. II). Z badań prowadzonych na szczurach przez



Ryc. 2. Zależności między zawartością fasoli w diecie a ilością wytwarzanego wodoru – adaptowana z [36]

Relation between the content of bean in the diet and the volume of produced hydrogen – adapted from [36]

Wagnera i wsp. [35] wynika, że zawartość rafinozy w diecie do 6% zwiększa wytwarzanie wodoru w jelitach szczura. Przy zawartości pojedynczych oligosacharydów w diecie na poziomie 3,3 i 6,7% wskaźnik tworzenia się wodoru był wyższy dla stachiozy niż rafinozy. Zdolność do wytwarzania wodoru w jelitach szczura zwiększała się, gdy do diety dodawany był materiał pozostały po ekstrakcji oligosacharydów z nasion fasoli. Zaobserwowano efekt synergistyczny pomiędzy oligosacharydami i materiałem poekstrakcyjnym.

Tabela II. Wydzielanie wodoru po spożyciu przez szczury diet zawierających ugotowane nasiona roślin strączkowych – adaptacja [23]

Hydrogen production by rats feeding by diets including cooked legume seeds – adapted from [23]

Gatunek	Wydzielony wodór (ml/g)	Uwagi
Fasola (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1,31	Średnia dla pięciu odmian
Groch (<i>Pisum sativus</i>)	1,60	-
Fasola lima (<i>Phaseolus lunatis</i>)	2,43	Średnia dla trzech odmian
Soczewica (<i>Lens esculenta</i>)	1,00	-
Groch gołębi (<i>Cajanus cajan</i>)	1,91	-
Groch krowi (<i>Vigna unguiculata</i>)	1,62	Średnia dla dwóch odmian

W badaniach *in vitro* (*Clostridium perfringens*) zaobserwowano, że właściwości gazotwórcze grochu krowiego i bobu zależą również od obecności w nasionach polisacharydów rozpuszczalnych w wodzie oraz hemicelulozy A i B [2]. Prowadząc badania *in vivo* na szczurach zanotowano efekt gazotwórczy również dla skrobi. Ilość tworzonego flatusu nie zależała natomiast od obecności w diecie celulozy i pektyn. Według niektórych autorów część gazów obecnych we flatusie tworzyć się może w wyniku działania mikroflory jelita grubego na niestrawione białko pokarmowe [14].

Tworzenie się flatusu – wyniki badań na ludziach – osiągało swe maksimum po 5-ciu godzinach od spożycia eksperymentalnej diety zawierającej fasolę [20]. Po tym czasie najwyższe było również wytwarzanie CO₂ i H₂. Najaktywniejsza okazała się frakcja ekstraktu z fasoli zawierająca w swym składzie fruktozę, sacharozę, rafinozę, stachiozę i cztery polipeptydy, w których po hydrolizie stwierdzono obecność 22 aminokwasów. Rafinoza i stachioza, podane w tej samej ilości jak w diecie z nasionami fasoli, nie zwiększały zawartości CO₂ w flatusie.

Wytwarzanie gazów przez *Clostridia* ulega zahamowaniu pod wpływem przypraw [29]. W badaniach *in vitro* ilość gazu wytwarzanego przez *Cl. perfringens*, *Cl. sporogenes* i *Cl. butyricum* była zredukowana o 85% pod wpływem dodatku do gotowanego grochu 1% czosnku i imbiru [7]. Skutecznymi inhibitorami tworzenia się gazów przez *Clostridia* okazały się związki fenolowe, np. obecne w nasionach soi kwasy syrygowy i ferulowy [25].

POZYTYWNE DZIAŁANIE OLIGOSACHARYDÓW

Istotą pozytywnego oddziaływania oligosacharydów na organizm człowieka jest stymulacja rozwoju bifidobakterii w okrężnicy [2, 12]. Wprowadzenie do diety oligosacharydów wyekstrahowanych z soi dwukrotnie zwiększało ilość bifidobakterii w okrężnicy [19]. Jednocześnie obserwowano statystycznie istotną redukcję zawartości bakterii *Clostridium perfringens*.

W badaniach *in vitro* oraz *in vivo* wykazano, że pod wpływem oligosacharydów obniża się w kale zawartość toksycznych metabolitów oraz niebezpiecznych dla zdrowia człowieka enzymów np. azoreduktazy oraz β-glukuronazy [19, 28]. Niska zawartość toksycznych metabolitów wchłanianych z przewodu pokarmowego chroni wątrobę przed koniecznością ich detoksykacji.

Oligosacharydy wpływają na wytwarzanie przez bifidobakterie krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych, a tym samym stymulując perystaltykę jelit oraz podnosząc wilgotność mas kałowych skutecznie działają przeciw zaparciom [34]. Poprzez rozwój bifidobakterii oligosacharydy hamują jelitową absorpcję micelli cholesterolowych i tą drogą obniżają poziom cholesterolu w surowicy krwi [9, 11, 18]. Należy również dodać, że oligosacharydy poprzez bifidobakterie mogą wzbogacać organizm człowieka w witaminę B₁, B₂, B₆, kwas nikotynowy i foliowy [34] oraz korzystnie wpływać na przyswajalność wapnia z diety oraz podnosić tolerancję na laktozę [13].

Podawanie zdrowym mężczyznom oligosacharów soi w ilości 3 g/dzień obniżało ciśnienie krwi. Ponadto w testach na małych zwierzętach wykazano antynowotworowy efekt bifidobakterii [15, 16]. Działanie to wynika prawdopodobnie ze wzmożonej odporności na poziomie komórkowym.

Omawiając prozdrowotne działanie oligosacharydów na organizm człowieka Oku [21] wskazuje, że ich przemiany uwalniają mniej energii niż analogiczne ilości sacha-

rozy, nie wpływają na sekrecję insuliny przez trzustkę, działają ochronnie na uzębienie człowieka.

R. Amarowicz

NUTRITIONAL IMPORTANCE OF OLIGOSACCHARIDES

Summary

Oligosaccharides are widely distributed in higher plants, especially leguminous seeds. This review described the structure of galactooligosaccharides, fructooligosaccharides and raffinose-type oligosaccharides. Flatulence – causes, relation to diet and composition of intestinal gas are discussed. Emphasis is placed upon the fact that ingestion of oligosaccharides increases the bifidobacteria population in the colon, which in turn contributes to human health in many ways.

PIŚMIENICTWO

1. *Askevold K.*: Investigation on the influence of diet on the quality and composition of intestinal gas in humans. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 1956, 8, 87.
2. *Benno Y., Mitsuoka T.*: Development of intestinal microflora in humans and animals. *Bifidobacteria Microflora*, 1986, 5, 13.
3. *Bernabe M., Fenwick R., Frias J., Jiménez-Barbero J., Price K., Valverde S., Vidal-Valverde C.*: Determination, by NMR spectroscopy, of the structure of ciceritol, a pseudotrisaccharide isolated from lentil. *J. Agric., Food Chem.*, 1993, 41, 870.
4. *Calloway D.H., Colasito D.J., Mathews R.D.*: Gases produced by human intestinal microflora. *Nature*, 1966, 212, 1238.
5. *Cerning J., Filiatre A.*: A comparison of the carbohydrate composition of legume seeds: horse beans, peas and lupines. *Cereal Chem.*, 1976, 53, 968.
6. *Fleming S.A.*: Flatulence activity of the smooth-seeded field pea as indicated by hydrogen production in the rat. *J. Food Sci.*, 1982, 47, 12.
7. *Garg S.K., Banerjee A.C., Verma J., Abraham M.J.*: Effect of various treatment of pulse on *in vitro* gas production by selected intestinal *Clostridia*. *J. Food Sci.*, 1980, 45, 1601.
8. *Gumbmann M.R., Williams S.N.*: The quantitative collection and determination of hydrogen gas from the rat and factors affecting its production. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 1971, 137, 1171.
9. *Hata Y., Nakajima K., Hosno Y., Yamamoto M.*: Effect of soybean oligosaccharides on human digestive organs. *J. Japan. Soc. Clin., Nutr.*, 1989, 11, 42.
10. *Hellendorn E.W.*: Intestinal effects following ingestion of beans. *Food Technol.*, 1969, 23, 87.
11. *Hepner G., Fried R., Jeor S., Fussetti L., Morin R.*: Hypocholesterolemic effect of yogurt and milk. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1979, 32, 19.
12. *Hidaka H., Eida T., Takizawa T., Tokunaga T., Tashiro Y.*: Effect of fructooligosaccharides on intestinal flora and human health. *Bifidobacteria Microflora*, 1986, 5, 37.
13. *Hughes J.B., Hoover D.G.*: Bifidobacteria: Their potential for use in American dairy products. *Food Technol.*, 1991, 45, 74.
14. *Jacórzynski B.*: Oligosacharydy nasion roślin strączkowych i ich właściwości fizjologiczne. *Żyw. Czł. Metab.*, 1985, 12, 190.
15. *Kohwi Y., Imai K., Hashimoto J.*: Antitumor of *Bidobacterium infantis* in mice. *Gann (Cancer)*, 1978, 69, 613.
16. *Kohwi Y., Imai K., Hashimoto J.*: Antitumor and immunological adjuvent effect of *Bidobacterium infantis* in mice. *Bifidobacteria Microflora*, 1982, 1, 61.

17. Kurtzman J.R., Halbrook W.U.: Polisaccharide from dry navy beans, *Phaseolus vulgaris*: its isolation and stimulation of *Clostridium perfringens*. Appl. Microbiol., 1970, 20, 715.
18. Mann G.V., Spoerry A.: Studies of a surfactant and cholesterolemia in the Masai. Am. J. Clin. Nutr., 1974, 27, 464.
19. Masai T., Wada K., Hayakawa K., Yoshihaar I., Mitsuoka T.: Effects of soybean oligosaccharides on human intestinal flora and metabolic activities. Japan J. Bacteriol., 1987, 42, 313.
20. Murphy E.L., Horsly H., Burr H.K.: Fractionation of dry bean extracts which increase carbon dioxide egestion in human flatus. J. Agric. Food Chem., 1972, 20, 813.
21. Oku T.: Dietary fiber and new sugars. W: Natural resource and human health. (Ed. Baba S., Akerele O., Kawaguchi Y.). Elsevier, Amsterdam 1992, 159.
22. Oku T.: Special physiological functions of newly developed mono- and oligosaccharides. W: Functional foods – designer foods, pharmafoods, nutraceuticals (Ed. Goldberg I.). Chapman and Hall, New York 1994, 202.
23. Olson A.C., Gray G.M., Gumbmann M.R., Sell C.R., Wagner J.R.: Flatus causing factors in legumes. W: Antinutrient and natural toxicants in foods (Ed. Ory R.L.). Food and Nutrition Press, Westport 1981, 275.
24. Price K.R., Lewis J., Wyatt G.M., Fenwick G.R.: Flatulence – causes, relations to diet and remedies. Nahrung, 1988, 32, 609.
25. Rackis J.J., Sessa D.J., Steggerda F.R.: Soybean factors relating to gas production by intestinal bacteria. J. Food Sci., 1970, 35, 634.
26. Richards E.A., Steggerda F.R., Murata A.: Relationship of bean substrates and certain intestinal bacteria to gas production in the dog. Gastroenter., 1968, 150, 57.
27. Sacks L.E., Olson A.C.: Growth of *Clostridium perfringens* strains on alpha-galactosides. J. Food Sci., 1979, 44, 1756.
28. Saito Y., Takano T., Rowland I.: Effect of soybean oligosaccharides on the human gut microflora *in vitro* culture. Microbial Ecol. Health Dis., 1992, 5, 105.
29. Savitri A., Bhavanishankar T.N., Desikachar H.S.R.: Effect of spices on *in vitro* gas production by *Cl. perfringens*. Food Microbiol., 1986, 3, 261.
30. Schweizer T.F., Horman I., Würsch P.: Low molecular weight carbohydrates from leguminous seeds, a new disaccharide, galactopinitol. J. Sci. Food Agric., 1976, 29, 148.
31. Steggard F.R.: Gastrointestinal gas following food consumption. Ann N.Y. Acad. Sci., 1968, 150, 57.
32. Steggard F.R., Richards E.A., Rackis J.J.: Effects of various soybean products on flatulence in the adult man. Proc. Soc. Exp. Biol. Med., 1966, 121, 1235.
33. Tanaka M., Thananunkul D., Thung-Ching L., Chichester C.O.: A simple method for the quantitative determination of sucrose, raffinose and stachyose in legume seeds. J. Food Sci., 1975, 40, 1087.
34. Tomomatsu H.: Health effects of oligosaccharides. Food Technol., 1994, 48, 61.
35. Van Ness M.M., Cattau E.L.: Flatulence: Pathophysiology and treatment. Am. Family Phys., 1985, 31, 198.
36. Wagner J., Becker R., Gumbmann M.R., Olson A.C.: Hydrogen production in the rat following ingestion of raffinose, stachyose and oligosaccharide-free bean residue. J. Nutr., 1976, 106, 466.
37. Wagner J.R., Carson J.F., Becker R., Gumbmann M.R., Dangof I.E.: Comparative flatulence activity of beans and bean fractions for man and the rat. J. Nutr., 1977, 107, 680.