

*Jan Michniewicz, Henryk Gąsiorowski*

*Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego, AR w Poznaniu*

## **$\beta$ -glukany zbóż — ich rola w przemyśle i żywieniu człowieka**

Przed około czterdziestu laty zostały zapoczątkowane badania nad wysokocząsteczkowymi niestrawnymi substancjami roślinnymi występującymi w pożywieniu, zwanymi błonnikiem pokarmowym, błonnikiem lub włóknem roślinnym. W wyniku wieloletnich badań odkryto, że substancje te, zwane też czasem substancjami balastowymi, są niezbędne dla zdrowia człowieka i spełniają bardzo ważną rolę w żywieniu człowieka.

Błonnikiem pokarmowym nazywa się dużą grupę związków różniących się budową chemiczną oraz rolą w fizjologii przewodu pokarmowego. Uważa się, że pożywienie przeznaczone dla dorosłego człowieka powinno być bogate w błonnik. Głównym jego źródłem są produkty zbożowe wyprodukowane z całego ziarna (ciemne pieczywo, kasze i płatki) oraz owoce i warzywa.

Błonnik zwiększa objętość pożywienia, nie podwyższając jego wartości energetycznej, spełnia rolę wypełniacza przewodu pokarmowego, zaspokaja uczucie łaknienia (uczucie głodu zależy nie od wartości energetycznej pożywienia, lecz od wypełnienia treści żołądka i pierwszych odcinków jelita cienkiego). Wypełnienie przewodu pokarmowego zależy nie tylko od ilości błonnika pokarmowego, lecz także od jego wódochłonności, która jest niejednakowa, zależy bowiem od jego pochodzenia i struktury. Błonnik pokarmowy, a szczególnie  $\beta$ -glukany wpływają na przemianę lipidową. Wpływają bezpośrednio, jak i pośrednio, poprzez oddziaływanie na rozwój mikroflory jelitowej, dzięki której nie następuje wchłanianie zwrotne kwasów żółciowych. Poza tym błonnik absorbuje z żywności i zapobiega przyswajaniu przez organizm różnych substancji szkodliwych dla zdrowia, takich jak metale ciężkie (ołów, rtęć, kadm), środki ochrony roślin i ich metabolity; wiąże też cholesterol, zapobiegając w ten sposób jego przyswajaniu z przewodu pokarmowego, przez co pośrednio przyczynia się do obniżania poziomu cholesterolu we krwi. Działanie błonnika na gospodarkę mineralną w organizmie bywa nie tylko pozytywne, bowiem również obniża on wchłanianie jonów dwuwartościowych Ca, Zn, Mg oraz może zwiększać wydalanie sodu z organizmu.

Błonnik przyspiesza ruchy robaczkowe i perystaltyczne jelit oraz skraca czas pasażu treści przez przewód pokarmowy, zapobiegając zaparciom [13]. Zapotrzebowanie na błonnik szacuje się nawet na 30–40 g dziennie.

W skład błonnika wchodzi: celuloza, hemicelulozy, ligniny i pektyny oraz tzw. węglowodany nieskrobiowe NSP (non-starch polysaccharides). Składniki te nie są trawione przez enzymy przewodu pokarmowego. Największe ilości błonnika pokarmowego znajdują się w zewnętrznych częściach anatomicznych ziarniaków zbóż [14], będącymi często produktami odpadowymi podczas procesu przemiału ziarna na mąkę. Mąki razowe (ciemne) są najbogatszym źródłem błonnika, mąki jasne zaś zawierają znacznie mniejsze jego ilości. Wśród nieskrobiowych węglowodanów ziarna zbóż główne miejsce zajmują celuloza,  $\beta$ -glukany i pentozany.

Celem tego opracowania jest przedstawienie informacji na temat jednego z trzech głównych składników nieskrobiowych węglowodanów ziarna zbóż, opisywanego w literaturze pod nazwą  $\beta$ -glukany. Są one składnikami ścian komórkowych warstwy aleuronowej i bielma ziarna roślin zbożowych. W odróżnieniu od nierozpuszczalnej celulozy, w której cząsteczki glukozy połączone są w liniowe łańcuchy wiązaniami  $\beta$ -D-1 $\rightarrow$ 4, rozpuszczalne  $\beta$ -glukany są mieszaniną nierozgałęzionych łańcuchów  $\beta$ -D glukozy połączonych wiązaniami  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3 i  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 4 glukozydowymi. Badania związane z tymi substancjami zapoczątkowane zostały w latach sześćdziesiątych, głównie w odniesieniu do ich budowy chemicznej i znaczenia w przemyśle piwowarskim i słodowniczym. Badania substancji  $\beta$ -glukanowych w ostatnich latach dotyczą szczególnie ich roli w przemianie lipidowej, możliwości wiązania cholesterolu w przewodzie pokarmowym, zmniejszania jego przyswajalności przez organizm, a tym samym obniżania poziomu cholesterolu we krwi [27].

## Występowanie $\beta$ -glukanów w ziarniakach roślin zbożowych

Substancje  $\beta$ -glukanowe, jako składnik ścian komórkowych ziarna, występują we wszystkich roślinach, w tym także i w ziarniakach roślin zbożowych [11, 14, 15]. Wśród zbóż największe ich ilości obserwuje się w ziarnie owsa i jęczmienia. W przypadku owsa  $\beta$ -glukany występują głównie w zewnętrznych warstwach ziarniaka, natomiast w ziarnie jęczmienia substancje te rozmieszczone są znacznie bardziej równomiernie w całym ziarnie [12, 36, 39]. W tabeli 1 przedstawiono średnią zawartość  $\beta$ -glukanów w ziarniakach różnych roślin zbożowych [14, 15, 24].

Średnia zawartość  $\beta$ -glukanów w obłuszczonej ziarnie jęczmienia wynosi 3–7% [5, 8, 28, 30]. Około 54%  $\beta$ -glukanów ziarna jęczmienia to substancje rozpuszczalne w wodzie [1]. Stwierdzono, że zawartość  $\beta$ -glukanów w ziarnie jęczmienia zależna jest zarówno od odmiany, jak i agrotechnicznych warunków uprawy, jednak czynnik genetyczny wydaje się mieć w tym przypadku większe znaczenie [5, 33]. Ziarno jęczmienia odmian sześciorzędowych zawiera mniej  $\beta$ -glukanów niż odmiany dwu-

Tabela 1. Zawartość  $\beta$ -glukanów w ziarnie niektórych zbóż

Materiał	Zawartość $\beta$ -glukanów [%]			
	żyto	pszenica	jęczmień	owies
Ziarno [44]			1,2–2,8	
Ziarno [15]	2,3–2,6	0,6–0,7	3,9–4,5	3,8–4,0
Ziarno [24]			5,1–5,3 <sup>a</sup>	
Ziarno [24]			6,9–7,2 <sup>b</sup>	
Ziarno [24]				4,7
Ziarno [14]	1,9–2,9	1,4	4,5–8,2 <sup>c</sup>	4,8–6,6
Bielmo [15]	1,5–2,0	0,2–0,4	3,7–4,5	1,4–2,3
Otręby [24]				9,6

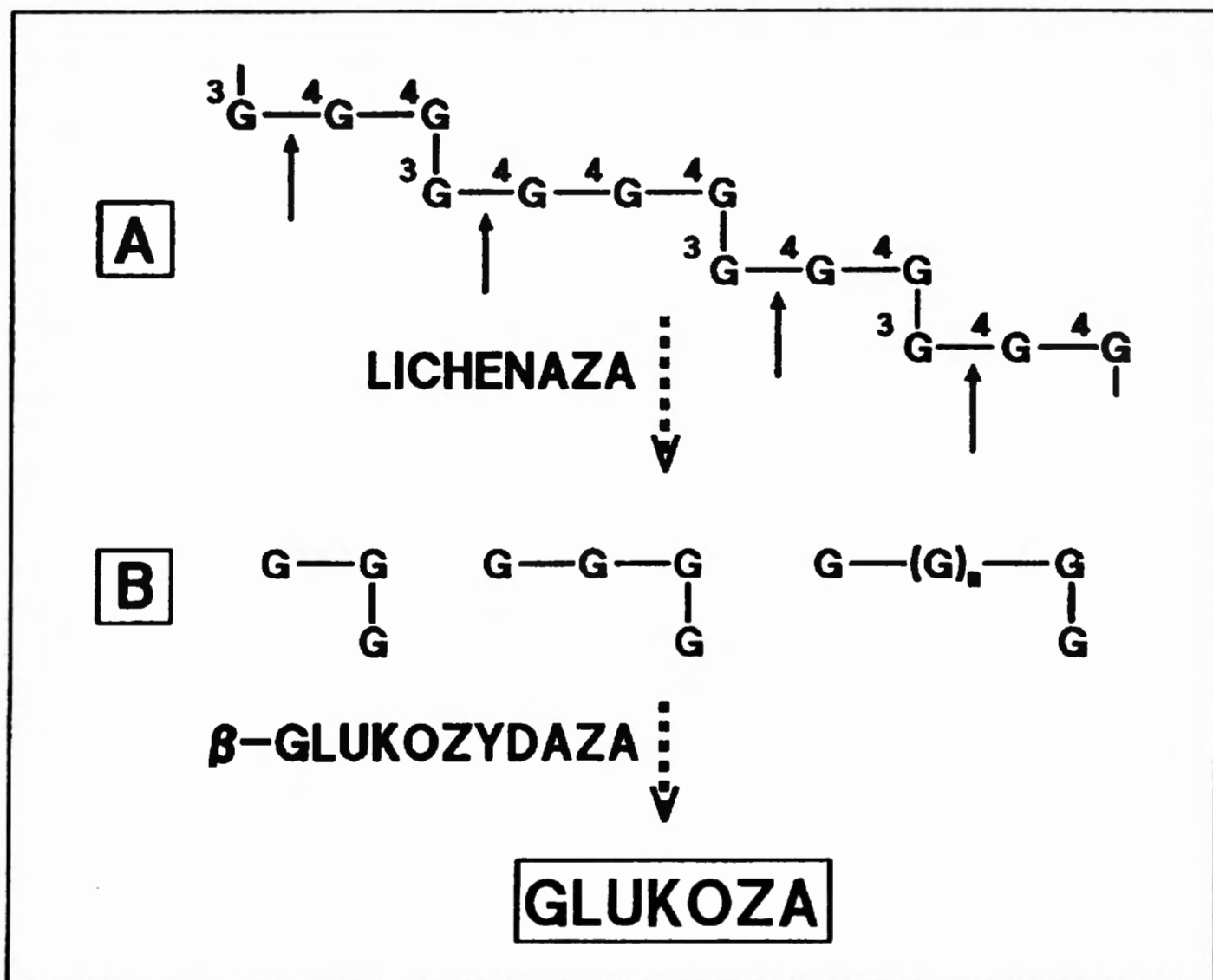
<sup>a</sup> — bez łuski<sup>b</sup> — odmiana "naga"<sup>c</sup> — jęczmień browarny

rzędowe [16]; odmiany tzw. woskowe i/lub "nagie" ogólnie charakteryzują się wyższą zawartością  $\beta$ -glukanów [24]. Odmiany "nagie" mogą zawierać nawet do 16% substancji  $\beta$ -glukanowych [30].

Zawartość  $\beta$ -glukanów w owsie wynosi 4–7% w całym ziarnie i 6–9% w otrębach [37]. W przeciwieństwie do jęczmienia — aż około 80%  $\beta$ -glukanów owsa stanowią substancje rozpuszczalne w wodzie [1]. Podobnie jak w przypadku jęczmienia, zawartość  $\beta$ -glukanów w ziarnie owsa jest głównie uzależniona od czynnika genetycznego [34].

## Budowa chemiczna i właściwości fizykochemiczne $\beta$ -glukanów

Jak już wspomniano,  $\beta$ -glukany są mieszaninami łańcuchów  $\beta$ -D-głukozy połączonej wiązaniami  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3 i  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 4 glukozydowymi. Obecność wiązań  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3 glukozydowych w łańcuchu powoduje zmniejszenie symetryczności, a tym samym — stopnia krystalizacji cząsteczek  $\beta$ -glukanów. W konsekwencji prowadzi to do znacznego wzrostu rozpuszczalności  $\beta$ -glukanów i zwiększenia ich podatności na hydrolizę w porównaniu z celulozą. Do dokładnego określania budowy chemicznej  $\beta$ -glukanów używa się bardzo specyficznego w działaniu enzymu lichenazy [32, 40]. Jest to (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glukano-4-glukanohydrolaza — enzym izolowany z *Bacillus subtilis*, powodujący fragmentację cząsteczki  $\beta$ -glukanów do oligocukrów, np. celotriozy i celotetraozy (rys. 1). Preparaty lichenazy produkowane są już na skalę przemysłową [28].



**Rysunek 1.** Schemat enzymatycznej hydrolizy (1→3, 1→4)-β-D-glukanów ziarna zbóż przy wykorzystaniu lichenazy ((1→3, 1→4)-β-D-glukano-4-glukanohydrolaza) i β-glukanazy [8, 28]; A — β-glukan, B — β-glukooligosacharydy

Ilość powstałych w wyniku trawienia enzymatycznego oligocukrów, a szczególnie stosunek zawartości trój- do czterocukrów jest stosunkowo prostym testem charakteryzującym różnice w budowie chemicznej preparatów β-glukanów izolowanych z różnego materiału zbożowego. Preparaty izolowane z ziarna owsa zawierają większe ilości czterocukrów po hydrolizie niż β-glukany z jęczmienia; budowa chemiczna β-glukanów ziarna żyta i pszenicy jest bardziej zbliżona do tych związków izolowanych z jęczmienia niż z owsa [8, 35].

Przedstawiane w literaturze [11] wyniki określania mas cząsteczkowych β-glukanów są w dużym stopniu zależne od metody stosowanej do ich izolacji. Porównując masy cząsteczkowe β-glukanów otrzymanych z ziarna różnych roślin zbożowych, stwierdzono, że największymi masami cząsteczkowymi charakteryzują się β-glukany owsa (3000 kDa) i jęczmienia (2140 kDa); β-glukany żyta mają znacznie niższą masę cząsteczkową (1130 kDa) [38].

## Znaczenie β-glukanów w przemyśle piwowarsko-słodowniczym

---

Obecność związków β-glukanowych w ziarnie jęczmienia ma istotne znaczenie przy przemysłowym wykorzystaniu ziarna w przemyśle piwowarskim i słodowniczym.

W środowisku wodnym β-glukany tworzą roztwory o bardzo dużej lepkości, zmniejszając wydajność brzezki, skuteczność filtrowania, a także powodując powstawanie zmętnienia i/lub wytworzenie osadów w piwie przechowywanym w niskich temperaturach [8, 42]. Problemy te można znacznie zmniejszyć lub całkowicie wykluczyć przez utrzymywanie właściwych parametrów procesów słodowania i ekstrakcji brzezki, zapewniających depolimeryzację β-glukanów przez obecne w ziarnie β-glukanazy. Inną możliwością zmniejszenia skutków obecności β-glukanów przy produkcji piwa jest dodatek do brzezki lub piwa odpowiedniej ilości (1→3) (1→4)-β-D-glukanazy, tzw. lichenazy [28].

Oprócz niekorzystnego wpływu na klarowność piwa, obecność β-glukanów w odpowiednio małych ilościach jest prawdopodobnie także czynnikiem warunkującym uzyskanie takich cech gotowego wyrobu, jak właściwa lepkość, odpowiedni bukiet smakowo-zapachowy oraz stabilność piany [28].

## Fizjologiczne znaczenie β-glukanów

---

Jednym z roślinnych lekarstw Hipokratesa był wodny wyciąg z mąki lub ziarna jęczmienia. Uważano, że daje on człowiekowi zdrowie i siłę. W średniowiecznej Anglii chleb wypiekany z mąki jęczmiennej traktowany był jako lekarstwo przeciwko artretyzmowi (dnie moczanowej) [29]. Jałowiecki [19] w popularnej broszurze dla rolników podaje, że z jęczmienia zwykło się przygotowywać wyciąg używany jako środek wzmacniający dla dzieci i rekonwalescentów.

Podane przykłady świadczą, że już od dawna zwracano uwagę na zdrowotne właściwości ziarna roślin zbożowych. Wyniki badań naukowych przeprowadzonych w ostatnich kilkunastu latach potwierdziły i rozszerzyły dawne spostrzeżenia oraz dały wyraźne podstawy do stwierdzenia, że za zdrowotne właściwości ziarna jęczmienia lub owsa odpowiedzialne są między innymi substancje β-glukanowe. Jak już wcześniej wspomniano, występują one w tych zbożach w stosunkowo dużych ilościach. Obecność tych związków bardzo wyraźnie wpływa na strukturę błonnika pokarmowego. Relatywnie zwiększa się ilość frakcji rozpuszczalnej w wodzie, przez co zmieniają się właściwości fizykochemiczne błonnika pokarmowego. W przeciwieństwie do nierozpuszczalnego błonnika otrąb pszennych — błonnik pokarmowy pochodzący z przetworów owsa, składających się w dużej części z frakcji rozpusz-

czalnej w wodzie, zwiększa lepkość treści przewodu pokarmowego. Przedłużeniu ulega czas przebywania pokarmu w przewodzie pokarmowym oraz zmniejsza się stopień wchłaniania składników odżywczych z jelita cienkiego [17, 25]. Zmiany te prawdopodobnie znajdują swoje odzwierciedlenie w przemianach metabolicznych, jakim ulegają substancje węglowodanowe i tłuszczowe [23, 29, 35].

Wykazano, że  $\beta$ -glukany występujące w otrębach owsianych i jęczmiennych dają wyraźny efekt zmniejszenia poziomu cholesterolu we krwi [7, 22, 29, 30]. Niedawno opublikowane wyniki doświadczeń [9] wykazują bardzo wyraźne obniżenie zawartości zarówno całkowitego, jak i frakcji LDL cholesterolu u ludzi poddanych leczeniu dietą zawierającą 56 do 84 g otrąb lub płatków owsianych dziennie. Pozytywny efekt tej kuracji przypisywany wysokiej zawartości  $\beta$ -glukanów obserwowano po sześciu tygodniach leczenia.

Efekt obniżania poziomu cholesterolu przez rozpuszczalne frakcje błonnika pokarmowego nie jest jak dotąd ostatecznie wyjaśniony pomimo wielu różnych interpretacji teoretycznych [31]. Na temat pozytywnej roli  $\beta$ -glukanów w żywieniu istnieją dwie teorie próbujące wyjaśnić to zjawisko [4, 23]. Według jednej z nich [18, 21] lepki roztwór  $\beta$ -glukanów może zmniejszyć wchłanianie cholesterolu lub kwasów żółciowych z przewodu pokarmowego. Druga teoria [6] głosi, że w wyniku działania bakterii znajdujących się w jelicie grubym  $\beta$ -glukany w wyniku kwaśnej fermentacji ulegają przekształceniu do kwasów tłuszczowych o krótkich łańcuchach węglowych, np. kwasów: masłowego, propionowego i octowego. Niektóre z nich mają zdolność do hamowania syntezy cholesterolu. Zwiększona zawartość krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych, zwłaszcza masłowego, może także być czynnikiem ochronnym przeciw rakowi okrężnicy [10].

Oprócz właściwości zmniejszania poziomu cholesterolu we krwi, produkty zbożowe o dużej zawartości  $\beta$ -glukanów, np. otręby owsiane, mogą także być stosowane jako środek pomocniczy przy leczeniu cukrzycy [3]. Zarówno badania prowadzone na zwierzętach doświadczalnych [41], jak i badania kliniczne na ludziach [3, 20, 22], żywionych dietą węglowodanową z dodatkiem otrąb owsianych, wykazały zmniejszenie zapotrzebowania organizmu na insulinę przy zachowaniu bezpiecznego poziomu glukozy we krwi [25]. Podobne właściwości, jak  $\beta$ -glukany otrąb owsianych, wykazują także guma guarowa i karboksymetyloceluloza (CMC) [41]. Uważa się, że główną przyczyną powodującą przedstawione obserwacje jest duża lepkość wodnych roztworów  $\beta$ -glukanów i innych substancji stosowanych w doświadczeniach [20, 21]. Bezpieczne stosowanie terapii  $\beta$ -glukanowej w odniesieniu do diabetyków winno być jednak przedmiotem bardziej gruntownych studiów, ponieważ może stwarzać ryzyko pogorszenia i tak już zmniejszonego stopnia przyswajania wapnia przez ich organizm [26].

Pomimo udokumentowanych doświadczalnie pozytywnych efektów żywieniowych, obserwowanych przy stosowaniu wysokobłonnikowej diety bogatej w  $\beta$ -glukany, obserwuje się jednak także i niekorzystne jej oddziaływanie na organizm.

Ubocznym efektem stosowania takiej diety jest zmniejszenie stopnia przyswajalności składników mineralnych i witamin rozpuszczalnych w tłuszczach.  $\beta$ -glukany obecne w ścianach komórkowych bielma, głównie w przypadku ziarna jęczmienia, ograniczają strawność, a tym samym przyswajalność substancji białkowych i skrobi. Ostateczne wyjaśnienie i rozwiązanie tego typu wątpliwości jest obecnie przedmiotem intensywnych prac badawczych prowadzonych w wielu ośrodkach naukowych.

## Literatura

- [1] Aman P., Graham H. 1987. Analysis of total and insoluble mixedlinked (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans in barley and oats. *J. Agric. Food Chem.* **35**: 704–709.
- [2] Anderson J.W. 1980. Cholesterol lowering properties of oat products. W: *Oats: Chemistry and Technology*. F.H. Webster (red.), AACC, ST. Paul, Minnesota.
- [3] Anderson J.W. 1986. Dietary fiber and diabetes. W: *Medical Aspects of Dietary Fiber*. G.A. Spiller, R.M. Kay (red.), Plenum Medical Book Co., New York.
- [4] Bengtsson S., Aman P., Graham H., Newman C.W., Newman R.K. 1990. Chemical studies on mixed linked  $\beta$ -glucan in hull-less barley cultivars giving different hypocholesterolemic responses in chickens. *J. Sci. Food Agric.* **52**: 435–445.
- [5] Bhatti R.S., MacGregor A.W., Rosnagel B.G. 1991. Total and acidsoluble  $\beta$ -glucan content of hulless barley and its relationship to acid-extract viscosity. *Cereal Chem.* **68**: 221–227
- [6] Chen W.J.L., Anderson J.W., Jennings D. 1984. Propionate may mediate the hypocholesterolemic effects of certain soluble plant fibers in cholesterol-fed rats. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* **175**: 215.
- [7] Chen W.J.L., Anderson J.W. 1986. Hypocholesterolemic effects of soluble fibers. W: *Dietary Fiber Basic and Clinical Aspects*. G.V. Vahouny i D. Kritchewsky (red.), Plenum Press, New York.
- [8] D'Appolonia B.L., Schwarz P.B. 1992. Importance of cereal nonstarchy polysaccharides in end-products. Proc. 9-th Int. Cereal and Bread Congress, Paris. 43–55.
- [9] Davidson M.H., Dugan L.D., Burns J.H., Bova J., Sorty K., Drennan K.B. 1991. The hypocholesterolemic effects of  $\beta$ -glucan in oatmeal and oat bran. A dose controlled study. *JAMA* **265**(14): 1833–1839.
- [10] Eastwood M. 1987. Dietary fiber and the risk of cancer. *Nutr. Rev.* **45**: 193.
- [11] Fincher G.B., Stone B.A. 1986. Cell wall and their components in cereal grain technology. W: *Advances in Cereal Technology*. Vol. VIII. Y. Pomeranz (red.), AACC, St. Paul, Minnesota.
- [12] Fulcher R.G., Wood P.J. 1983. Identification of cereal carbohydrates by fluorescence microscopy. W: *New Frontiers in Food Microstructure*. D.B. Bechtel (red.), AACC, St. Paul, Minnesota.
- [13] Gąsiorowski H., Urbanowicz M. 1993. Chleb w żywieniu zdrowego i chorego człowieka. PTNŻ, Poznań.
- [14] Grzesiuk S., Kulka K. 1988. *Biologia ziarniaków zbóż*. PWN, Warszawa.
- [15] Henry R.J. 1987. Pentosan and (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucan concentrations in endosperm and whole grain of wheat, barley, oats and rye. *J. Cereal Sci.* **6**: 253–258.
- [16] Hockett E.A., McGuire C.F., Newman C.W., Prentice N. 1987. The relationship of barley beta-glucan content to agronomic and quality characteristics. *Barley Genetics V*: 851–860.
- [17] Holt S., Heading R.C., Carter D.C., Prescott L.F., Tothill P. 1979. Effect of gel fibre on gastric emptying and absorption of glucose and paracetamol. *Lancet* **1**: 636–640.
- [18] Illman R.J., Topping D.I. 1985. Effects of dietary oat bran on faecal excretion, plasma volatile fatty acids, and lipid synthesis in rats. *Nutr. Res.* **5**: 839.
- [19] Jałowicki M. 1946. *Uprawa szczegółowa roślin gospodarskich*. Geo Barber & Son Ltd., Londyn.

- [20] Jenkins D.J.A., Wolever T.M.S., Leeds A.R., Gassull M.A., Haisman P., Dilawari J., Goff D.V., Metz G.L., Alberti K.G.M.M. 1978. Dietary fibers, fiber analogues, and glucose tolerance: Importance of viscosity. *Brit. Med. J.* **1**: 1392–1396.
- [21] Johnson I.T., Gee J.M. 1982. Influence of viscous incubation media on the resistance to diffusion of the intestinal unstirred water layer in vitro. *Pflugers Archiv.* **393**: 139.
- [22] Kirby B.W., Anderson J.W., Sieling B., Rees E.D., Chen W.J.L., Miller R.E., Kay R.M. 1981. Oat-bran intake selectively lowers serum low-density lipoprotein cholesterol concentration of hypercholesterolemic men. *Am. J. Clin. Nutr.* **34**: 824–831.
- [23] Klopfenstein C.W. 1988. The role of cereal  $\beta$ -glucans in nutrition and health. *Cereal Foods World* **10**: 865–868.
- [24] Knuckles B.E., Chiu M.M., Betschart A.A. 1992.  $\beta$ -glucan-enriched fractions from laboratory-scale dry milling and sieving of barley and oats. *Cereal Chem.* **69**: 198–202.
- [25] Knudsen K.E.B., Hansen I., Jensen B.B., Ostergard K. 1990. Physiological implications of wheat and oat dietary fiber. W: *New Developments in dietary fiber*. I. Furda, C.J. Brine (red.), Plenum Press, New York: 135–150.
- [26] Kolata G. 1987. Diabetics should lose weight, avoid fat diets. *Science* **235**: 163.
- [27] Lupton J.R., Yung K.-Y. 1991. Interactive effects of oat bran and wheat bran on serum and liver lipids and colonic physiology. *Cereal Foods World* **36**: 827–831.
- [28] McCleary B.V. 1986. Enzymatic modification of plant polysaccharides. *Int. J. Macromol.* **8**: 349–354.
- [29] McIntosh G.H., Oakenful D. 1990. Possible health benefits from barley grain. *Chemistry in Australia* **9**: 294–296.
- [30] Newman R.K., Newman C.W., Graham H. 1989. The hypocholesterolemic function of barley  $\beta$ -glucan. *Cereal Food World* **34**: 883–886.
- [31] Read N.W. 1990. Pharmaceutical aspects of dietary fibre. W: *Dietary Fibre: Chemical and Biological Aspects*. D.A.T. Southgate, Waldron K., Johnson I.T., Fenwick G.R. (red.), The Royal Society of Chemistry, Cambridge: 340–349.
- [32] Staudte R.G., Woodward J.R., Fincher G.B., Stone B.A. 1983. Water-soluble (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm. III. Distribution of cellotriosyl and allottetraosyl residues. *Carbohydr. Polym.* **3**: 299–312.
- [33] Stuart I.M., Loi L., Fincher G.B. 1988. Varietal and environmental variations in (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucanase potential in barley: Relationships to malting quality. *J. Cereal Sci.* **7**: 61–71.
- [34] Welch R.W., Leggett J.M., Lloyd J.D. 1991. Variation in the kernel (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan content of oat cultivars and wild *Avena* species and its relationship to other characteristics. *J. Cereal Sci.* **13**: 173–178.
- [35] Wood P.J., Anderson J.W., Braaten J.T., Cave N.A., Scott F.W., Vachon C. 1989. Physiological effect of  $\beta$ -D-glucan rich fractions from oats. *Cereal Foods World* **10**: 878–882.
- [36] Wood P.J., Fulcher R.G. 1978. Interaction of some dyes with cereal  $\beta$ -glucans. *Cereal Chem.* **55**: 952–956.
- [37] Wood P.J., Weisz J., Fedec P. 1991a. Potential for  $\beta$ -glucan enrichment in brans derived from oat (*Avena sativa* L.) cultivars of different (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan concentration. *Cereal Chem.* **68**: 48–51.
- [38] Wood P.J., Weisz J., Fedec P., Burrows V. 1989. Large scale preparation and properties of oat fractions enriched in (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan. *Cereal Chem.* **68**: 97–103.
- [39] Wood P.J., Weisz J., Mahn W. 1991b. Molecular characterization of cereal  $\beta$ -glucan. II. Size-exclusion chromatography for comparison of molecular weight. *Cereal Chem.* **68**: 530–536.
- [40] Woodward J.R., Phillips D.R., Fincher G.B. 1988. Water-soluble (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm. IV. Comparison of 40°C and 65°C soluble fractions. *Carbohydr. Polym.* **3**: 207–225.
- [41] Vachon C., Jones J.D., Wood P.J., Savoie L. 1988. Concentration effect of soluble dietary fibers on postprandial glucose, and insulin in the rat. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* **66**: 801–805.



- [42] Yamashita H., Hirono T., Hayase F., Kato H. 1986. Precipitate forming reaction of  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucanase (II) in malt. *Agr. Biol. Chem.* 50: 733–740.
- [43] Rek-Ciepty B., Rakowska M. 1992. Beta-glukan jako czynnik antyodżywczy jęczmienia. Cz. I. Przegląd piśmiennictwa. *Biuletyn IHAR* 183/1992: 141–147.
- [44] Rek-Ciepty B., Rakowska M. 1993. Beta-glukan jako czynnik antyodżywczy jęczmienia. Cz. II. Odmianowe zróżnicowanie zawartości Beta-glukanu w jęczmieniu i jego efekty żywieniowe. *Biuletyn IHAR* 185/1993: 33–38.