

Prof. dr hab. inż. Bożena WASZKIEWICZ-ROBAK¹Mgr inż. Klaudia KULIK²¹ Wydział Informatyki i Nauk o Żywności, Państwowa Wyższa Szkoła Informatyki i Przedsiębiorczości w Łomży² Instytut Nauk o Żywieniu Człowieka, SGGW w Warszawie¹ Faculty of Computer Science and Food Science, Lomza State University of Applied Sciences² Faculty of Human Nutrition, Warsaw University of Life Sciences – SGGW

POCHODZENIE I WŁAŚCIWOŚCI PROZDROWOTNE BETA GLUKANÓW®

Origin and health benefits of beta glucans®

Słowa kluczowe: składniki żywności, beta glukany, właściwości fizykochemiczne, oddziaływanie prozdrowotne.

Celem artykułu jest przegląd dostępnej literatury dotyczącej beta glukanów, znanych składników żywności, o różnorodnym działaniu prozdrowotnym. Przedstawiono główne źródła pozyskiwania beta glukanów, zróznicowano strukturę chemiczną beta glukanów w zależności od pochodzenia oraz omówiono ich oddziaływanie prozdrowotne. Wskazano, że poza strukturą chemiczną za kierunek oddziaływania prozdrowotnego beta glukanów odpowiadają także właściwości fizyczne, np. rozpuszczalność, lepkość czy zdolność do tworzenia żeli. Za właściwości przeciwnowotworowe odpowiadają przede wszystkim formy (1→3)/(1→6), za właściwości pozytywnie wpływające na gospodarkę lipidową krwi formy (1→3)/(1→4), natomiast za regulację układu odpornościowego odpowiadają głównie rozpuszczalne β-glukany zawierające wiązania (1→3)/(1→6) z przewagą wiązań typu (1→6).

Key words: food ingredients, beta glucans, physicochemical properties, health promoting effects.

The purpose of this article was to review the available literature on beta glucans, known food ingredients with various pro-health effects. The main sources of beta glucans production were presented, the chemical structure of beta glucans was diversified depending on origin and their health effects were discussed. It was pointed out that, apart from the chemical structure, the physical properties, e.g. solubility, viscosity and ability to form gels, are also responsible for the direction of the beta glucans' health impact. Forms 1→3/1→6 are primarily responsible for antitumor properties, forms 1→3/1→4 for blood lipid metabolism, whereas soluble β-glucans containing 1→3/1→6 bonds with a predominance of 1→6 bonds.

WSTĘP

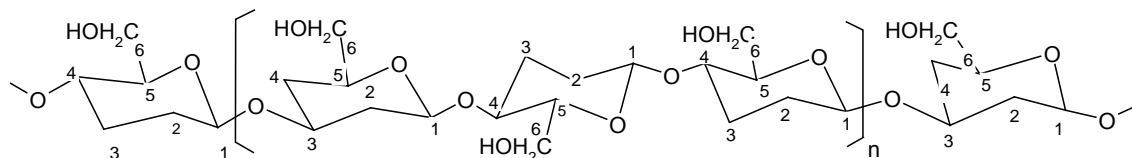
β-glukany są składnikami strukturalnymi ścian komórek roślinnych (głównie zbóż – owsa i jęczmienia), drożdży (m.in. *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces fragilis*, *Candida tropicalis*, *Candida utilis*), a także tzw. chińskich lub japońskich grzybów [38]. Znane są również beta glukany stanowiące składnik ścian komórkowych, bądź też będące wydzieliną różnych bakterii (np. *Alcaligenes faecalis* var. *Myxogenes*, *Cellulomonas flavigena* *Bacillus* czy *Micromonospora*) [24]. β-glukany znajdują zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym jako substancje wzmacniające układ odpornościowy, działające przeciwwirusowo, przeciwbakteryjnie oraz jako naturalne adiuwanty, przez co nazwane są „modyfikatorami odporności biologicznej” (biological response modifiers – BRMs). Przyjmuje się, że tego typu substancje nie mogą wywrzeć szkody, pomagają organizmowi przystosować się do różnych stresów środowiskowych i biologicznych oraz wywierają regulujące, wielokierunkowe działanie na organizm, przede wszystkim wspierające układ odpornościowy, ale również wykazujące inne, pozytywne oddziaływanie na pewne funkcje organizmu, np. korygujące gospodarkę lipidową [57],

korygujące indeks glikemiczny u osób z cukrzycą typu 2 [27], wykazujące właściwości przeciwnowotworowe [59] i przeciwgrzybiczne [9].

UWARUNKOWANIA PROZDROWOTNEGO ODDZIAŁYWANIA B–GLUKANÓW

β-glukany to długołańcuchowe, wielowymiarowe polimery glukozy, w których poszczególne cząsteczki glukopiranozy połączone są wiązaniami glikozydowymi typu β [37], w sposób liniowy w układzie (1→3) i/lub (1→4) lub w sposób rozgałęziony, tj. z łańcuchami bocznymi o różnej długości, przyłączonymi do rdzenia głównego wiązaniami glikozydowymi typu β-(1→6) [39].

Badania nad prozdrowotnym oddziaływaniem β-glukanów prowadzono na wielu modelach zwierzęcych [15, 60 Kawagishi i wsp. 1989, 1990; Mizuno i wsp. 1990, 1998; Itoh i wsp. 1994; Ebina i Fujimiya 1998; Fujimiya i wsp. 1998a, 1998b, 2000], z wykorzystaniem dżdżownic [Beschlin i wsp. 1998], krewetek [Duvic i Söderhäll 1990], ryb [Anderson 1992], królików, świnek morskich [Ferencik i wsp. 1986], owiec,



Rys. 1. Struktura chemiczna (1-3)/(1-4)-β-glukanu z jęczmienia [21, 60].

Fig. 1. Chemical structure of (1-3) / (1-4) -β-glucan from barley [21, 60].

świń [Benkova i wsp. 1991], bydła [Buddle i wsp. 1988] oraz w największym odsetku na myszach i szczurach [Feletti i wsp. 1992]. Nieliczne badania prowadzone są także z udziałem wolonariuszy. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że zarówno u ludzi [Lowman i wsp. 1998, Babineau i wsp. 1994], jak i zwierząt [Williams i wsp. 1996], beta glukanu wywierają dość zróżnicowany, ale korzystny wpływ na organizm.

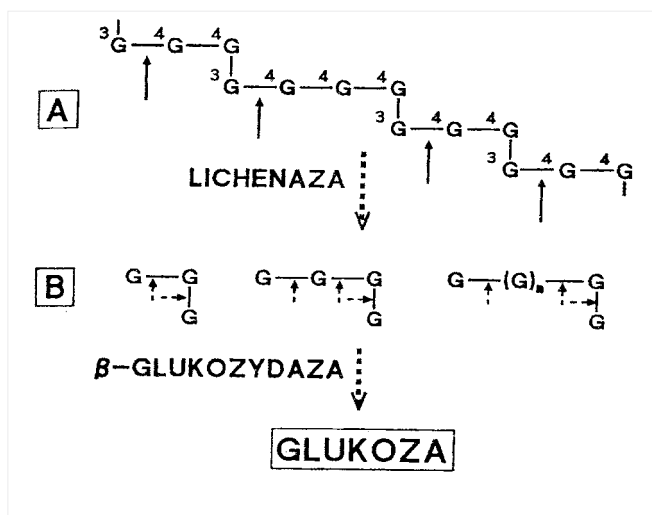
β-GLUKANY POZYSKIWANE ZE ZBÓŻ

Spośród zbóż, najwięcej β-glukanu, w odniesieniu do suchej masy, zawierają ziarna jęczmienia (3 – 11%) oraz owsa (3 – 7%). Niewielkie ilości β-glukanu zawiera także ryż (ok. 2%), pszenica (ok. 1%) oraz sorgo (0,2 – 0,5%). Obecność β-glukanów potwierdzono także w ścianach komórkowych niektórych warzyw (marchwi, rzodkiewki, soi) i owoców (banany) [47]. Strukturę chemiczną β-glukanu pochodzącego z jęczmienia przedstawiono na rys. 1.

W przypadku owsa β-glukanu występują głównie w zewnętrznych warstwach ziarniaka, natomiast w ziarnie jęczmienia substancje te rozmieszczone są równomiernie w całym ziarnie. Zawartość β-glukanów w ziarnach zbóż zależy od klimatu i warunków zbioru. Na przykładzie jęczmienia wykazano, że w latach o małej ilości opadów obserwowana jest zwiększona koncentracja β-glukanów, co jest związane z ich wzmożoną syntezą, natomiast wilgotne i deszczowe lata są powodem zmniejszenia koncentracji tego składnika w ziarnie [29]. Zawartość β-glukanu w ziarnie jęczmienia jest najwyższa w okresie dojrzałości mleczej (tj. w czasie, gdy ziarna osiągną końcowy kształt, lecz wypełnione są jeszcze mlecznym sokiem) i obniża się w miarę dojrzewania i uzyskiwania pełnej dojrzałości zbiorczej. Nie jest to w pełni wytłumaczone, ale przypuszcza się, że następuje enzymatyczna hydroliza β-glukanu w końcowym procesie dojrzewania. Wyniki badań właściwości fizyko-chemicznych β-glukanów zbożowych wskazują na dość zróżnicowaną ich masę cząsteczkową. Największymi cząsteczkami charakteryzują się β-glukany z owsa (3×10^3 kDa) i jęczmienia ($2,14 \times 10^3$ kDa), natomiast najmniejszymi – β-glukany żyta ($1,13 \times 10^3$ kDa) [40]. Obserwuje się jednak dość duże zróżnicowanie w tym zakresie. W przypadku β-glukanów pozyskiwanych z owsa zakres ten wahać się może od $0,065 \times 10^6$ do 3×10^6 g/mol [2], natomiast jęczmienia – od $0,15 \times 10^6$ do $2,5 \times 10^6$ g/mol [2]. Przeciętna masa cząsteczkowa β-glukanów zbożowych waha się od $0,49 \times 10^4$ do 3×10^6 g/mol, ale może osiągać wartości nawet do 4×10^7 g/mol. Wartości te zależą od stosowanych metod technologicznych ich izolowania (rodzaj rozpuszczalnika, temperatura ekstrakcji), sposobu określania masy cząsteczkowej (wykrywalność, czułość metody, standardy) i źródła (mąka, otręby) [61].

W odróżnieniu od nierozpuszczalnej celulozy, w której cząsteczki glukozy połączone są w liniowe łańcuchy wiązaniami β-D-(1→4), β-glukany zawarte w białmie ziarniaków zbożowych są mieszaniną nierozgałęzionych łańcuchów β-D-glukozy połączonych wiązaniami glikozydowymi β-(1→3) oraz β-(1→4) [1], chociaż w β-glukanie izolowanym z sorgo stwierdzono wszystkie trzy typy wiązań, tj. zarówno β-(1→3)– β-(1→4)–, jak i β-(1→6) [45]. W β-glukanach pozyskiwanych ze zbóż, wiązania typu β-(1→3) stanowią ok. 30%, a wiązania typu β-(1→4) – ok. 70% wszystkich wiązań, z niewielkimi odchyleniami charakterystycznymi dla poszczególnych zbóż [8].

Obecność wiązań β-(1→3)-glikozydowych w łańcuchu powoduje zmniejszenie symetryczności, a tym samym stopnia krystalizacji cząsteczek β-glukanów. W konsekwencji prowadzi to do znacznego wzrostu ich rozpuszczalności i zwiększenia podatności na hydrolizę w porównaniu z celulozą. Do dokładnego określenia budowy chemicznej β-glukanów używa się lichenazy tj. enzymu, powodującego fragmentację cząsteczki β-glukanów do oligocukrów: celotriozy (DP3) i celotetraozy (DP4) – rys. 2.



Rys. 2. Schemat enzymatycznej hydrolizy (1→3/1→4)-β-D-glukanów ziarna zbóż przy wykorzystaniu lichenazy (1→3),(1→4)-β-D-glukano-4-glukanohydrolazy i β-glukozydazy [60].

Fig. 2. Scheme of enzymatic hydrolysis (1→3/1→4)-β-D-glucans of cereal grains using lichenase (1→3/1→4)-β-D-glucan-4-glucanohydrolase and β-glucosidases [60].

Wartość proporcji trój- do czterocukrów (DP3:DP4) może być wskaźnikiem użytecznym w identyfikacji struktury β-glukanów zbożowych. W preparatach rozpuszczalnego

β -glukanu owsa wynosi ona przeciętnie 2,1 – 2,4, natomiast jęczmienia 2,8 – 3,3. Izydorczyk i wsp. [23] podają wartości 1,76 – 2,13 charakterystyczne dla rozpuszczalnego β -glukanu z jęczmienia i 2,07 – 2,43 dla β -glukanu nierozpuszczalnego. Wskaźnik DP3:DP4 dla β -glukanu zawartego w pszenicy wynosi przeciętnie 3,1 – 4,5 [35], natomiast żyta 3,0 – 3,2 [61] lub 1,94 – 2,31 [52]. Różnice te są wynikiem różnych metod pozyskiwania β -glukanów.

Preparaty β -glukanów owsa i jęczmienia mogą zawierać w swym składzie także cząsteczki innych związków chemicznych. W preparatach β -glukanu otrzymywanych z warstwy aleuronowej ziarna owsa, wykryto bliżej niezidentyfikowane grupy funkcyjne obdarzone ładunkiem elektrycznym. Obecność związanych kowalencyjnie peptydów stwierdzono także w łańcuchu β -glukanów bielma ziarna jęczmienia. Udowodniono także wpływ genetycznych i środowiskowych czynników na lepkość ekstraktu z ziarna jęczmienia. Wzrasta ona znacznie w przypadku suchej i gorącej pogody w okresie wegetacji roślin. β -glukany z owsa wykazują porównywalne działanie prozdrowotne do β -glukanów z jęczmienia [54], szczególnie w zakresie zdolności do obniżania stężenia glukozy [48], cholesterolu całkowitego i triacylogliceroli we krwi [31].

β -GLUKANY POZYSKIWANE Z GRZYBÓW

Znanymi grzybami „leczniczymi”, stosowanymi w tradycyjnej medycynie krajów Wschodu [38] są chińskie Reishi (Lakownica żółtawa – *Ganoderma lucidum*, czy japońskie Shiitake (*Twardziak japoński* – *Lentinula edodes*) i Maitake (*Żagwica listkowata* – *Grifola frondosa*), grzyby nadrzewne: Chaga (błyskoporek podkorowy – włóknouszek ukośny – *Inonotus obliquus*), Turkey Tail (Wośniak różnobarwny – *Trametes versicolor*), Split gill (Rozszczepka pospolita – *Schizophyllum commune*), Mulberry yellow polypore (Pniarek

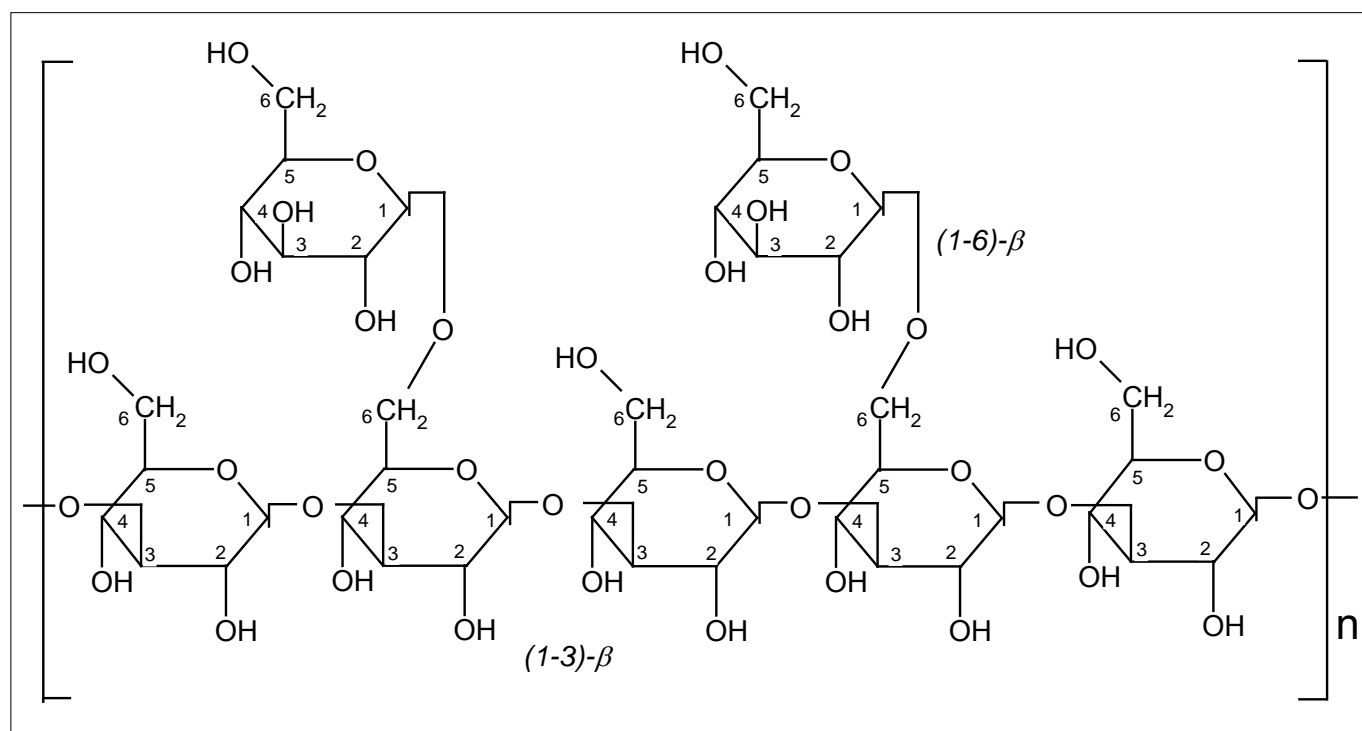
morwy – *Phellinus linteus*) i hodowlane, np. Hiratake (pospolite boczniki – *Pleurotus Ostreatus*, *Oyster mushroom*). Koncentracja β -glukanu w grzybach z klasy podstawczaków jest stosunkowo niska i kształtuje się na poziomie od 0,21 do 0,53 g/100 g suchej masy. β -glukany z grzybów są heteroglukanami zawierającymi zarówno wiązania (1 \rightarrow 3)/(1 \rightarrow 4)- β jak i (1 \rightarrow 3)/(1 \rightarrow 6)- β [49]. Stanowią one zwykle mieszaninę frakcji nierozpuszczalnych (ok. 53–83% udziału) i rozpuszczalnych (ok. 16–46%) [39].

β -glukany izolowane z grzybów znane są jako czynniki stymulujące układ odpornościowy, wykazujące działanie przeciwwirusowe, przeciwbakteryjne i przeciwalergiczne [22]. Posiadają również zdolność obniżania wysokiego ciśnienia krwi, hamowania nadmiernej syntezy cholesterolu oraz obniżania stężenia glukozy we krwi [12], wykazują także właściwości przeciwutleniające [57]. β -glukany z grzybów znane są także jako składniki o właściwościach antynowotworowych, stosowane zarówno jako suplementy diety, jak i aktywne substancje lecznicze [7].

Dobrze rozpoznane pod względem struktury i aktywności biologicznej β -glukany, identyfikowane są wg nazw własnych, np.: lentinan, schizophyllan, skleroglukan, grifolan, czy krestin.

Lentinan – β -glukan odkryty w 1970 roku, izolowany z grzyba *Lentinus edodes*, jest polisacharydem o strukturze łańcucha liniowego z bocznymi rozgałęzieniami, o wzorze molekularnym – $(C_6H_{10}O_5)_n$. Na każde 5 cząsteczek glukozy połączonych w głównym łańcuchu lentinanu wiązaniami typu (1 \rightarrow 3) β , przypadają dwie cząsteczki glukozy przyłączone wiązaniami (1 \rightarrow 6)- β (rys. 3). Lentinan charakteryzuje się zróżnicowaną masą cząsteczkową, wynoszącą od ok. 4–5 $\times 10^5$ Da [25] do ok. 1 $\times 10^6$ Da [11].

Lentinan znany jest jako preparat farmaceutyczny, który ze względu na ograniczone wykorzystanie z przewodu



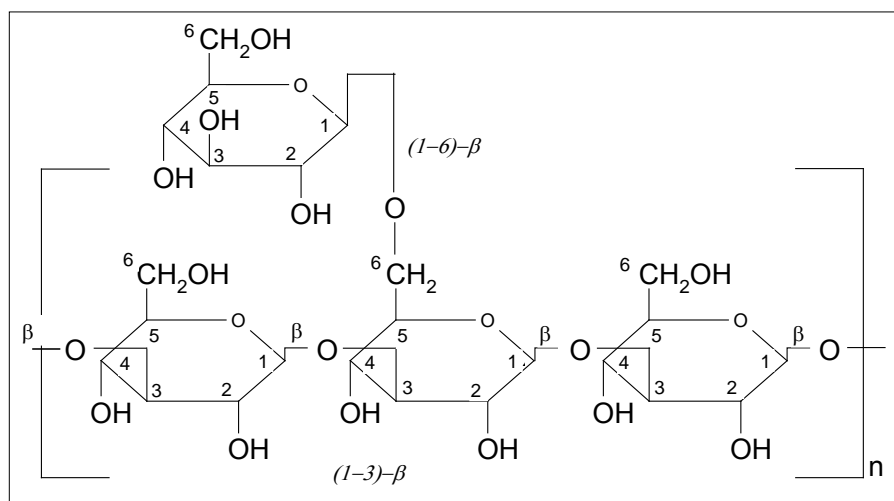
Rys. 3. Chemiczna struktura lentinanu [60].

Fig. 3. Chemical structure of lentinan [60].

pokarmowego, podawany jest dożylnie jako substancja o działaniu przeciwnowotworowym [43]. Lentinan wykazuje właściwości przeciwwirusowe i wzmacniające układ odpornościowy organizmu oraz obniżające poziom cholesterolu we krwi. Zalecany jest jako lek w celu wspomagania funkcji wątroby, szczególnie w wirusowym zapaleniu wątroby typu B [18].

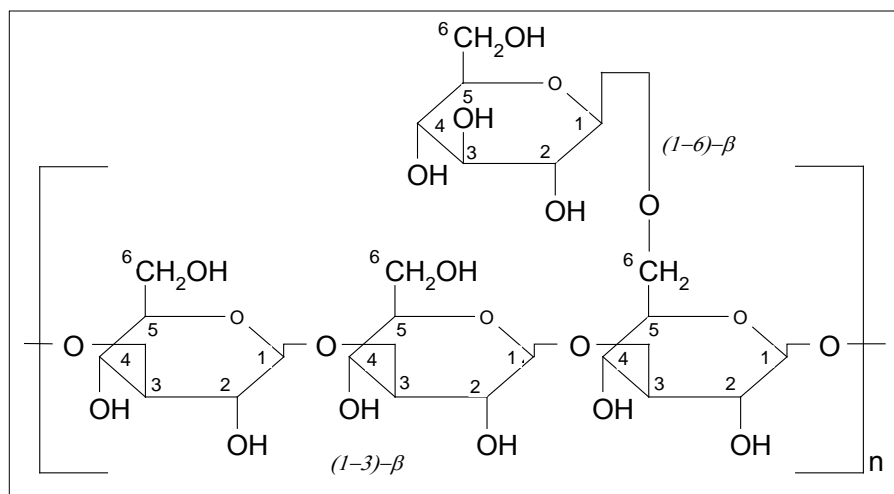
Lentinan hamuje wzrost *Candida albicans* i *Staphylococcus*, wykazuje także aktywność przeciw *Bacillus subtilis*, *Micrococcus*, *Saccharomyces cerevisiae* oraz aktywność przeciwwirusową (np. *Vesicular stomatitis*, *Schistosoma japonicum*, itp.). Także Hirasawa i wsp. [18] wykazali antymikrobiologiczną aktywność lentinanu, szczególnie wobec *Streptococcus spp.*, *Actinomyces spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Prevotella spp.* i *Porphyrromonas spp.*

Schizofilan – pozyskiwany z grzyba *Schizophyllum commune* jest β -glukanem o przeciętnej masie cząsteczkowej ok. $4,5 \times 10^5$ Da. Schizofilan ma bardzo podobną strukturę do lentinanu, przy czym w powtarzającym się fragmencie łańcucha głównego (rdzenia), na każde 3 cząsteczki glukozy połączone wiązaniami (1 \rightarrow 3)- β , przypada jedna cząsteczka glukozy przyłączona wiązaniem (1 \rightarrow 6)- β (rys. 4). Schizofilan nazywany jest różnie, m.in. jako: β -glukan SPG, Sonifilan,



Rys. 4. Chemiczna struktura schizofilanu [60].

Fig. 4. Chemical structure of schizophyllan [60].



Rys. 5. Chemiczna struktura skleroglukanu [10, 60].

Fig. 5. Chemical structure of scleroglucan [10, 60].

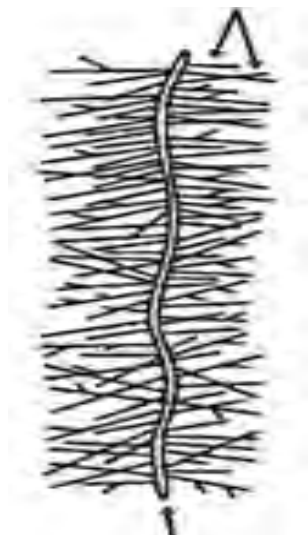
Sizofiran czy Sizofilan. Stosowany jest jako preparat farmaceutyczny o właściwościach przeciwnowotworowych [41]. Wykazuje szczególną skuteczność po wstrzyknięciu bezpośrednio do masy guza nowotworowego, hamując jego dalszy rozrost [42]. Stosowany jest także w leczeniu jako immunostymulator układu odpornościowego, stymulujący fagocytotę i produkcję ważniejszych cytokin, m.in.: IL-6, IL-8 oraz czynnika martwicy nowotworu TNF- α [34].

Scleroglucan jest polisacharydem produkowanym przez grzyby z rodzaju *Sclerotium*. Ma podobną strukturę do schizofilanu, tj. na każde 3 cząsteczki glukozy w głównym, liniowym łańcuchu z wiązaniami typu (1 \rightarrow 3)- β , przypada jedna cząsteczka glukopiranozy, przyłączona wiązaniem (1 \rightarrow 6)- β – rys. 5 [10].

Masa cząsteczkowa skleroglukanu wynosi przeciętnie od ok. $1,56 \times 10^6$ Da [46] do ok. 4×10^6 Da [14]. Jest β -glukanem rozpuszczalnym w wodzie w obecności polialkoholi (w mieszaninach zawierających do 50% alkoholi wielowodorotlenowych, np. sorbitolu). Znany i stosowany jako lek o właściwościach przeciwnowotworowych, antibakteryjnych, wzmacniających odporność [32] oraz antyoksydacyjnych [17]. Poza prozdrowotnym działaniem skleroglukanu, znane są jego właściwości funkcjonalne (zagęszczające i żelujące), dzięki którym stosowany jest w technologii żywności jako substancja dodatkowa [14].

Grifolan – β -glukan GRN (rys. 6), pozyskiwany z grzyba Maitake (*Grifola frondosa*) charakteryzuje się przeciętną masą cząsteczkową ok. $4,5 \times 10^5$ Da. Zawiera w cząsteczce wiązania (1 \rightarrow 3) β . Na uwagę zasługuje także β -glukan nazywany **krestin** lub **PSK**, **PSP**, **proteoglukan**, wyizolowany z *Coriolus versicolor* (*Trametes versicolor*, *Polyporus versicolor*). Jest to glukan o bardzo zróżnicowanym ciężarze cząsteczkowym wynoszącym od ok. $0,1 \times 10^5$ Da do ok. 2×10^6 Da [56], stanowiący liniowe polimery glukozy z wiązaniami (1 \rightarrow 3) β , przyłączone do szkieletu polipeptydowego, nazywanego rdzeniem białkowym.

PSK (krestin) wykazuje aktywność antymikrobiologiczną przeciw *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* i *Candida albicans* [4] oraz wysoką skuteczność antynowotworową [13], praktycznie niezależną od masy cząsteczkowej. Proteoglukany o masie cząsteczkowej 380 kDa, zawierające w cząsteczce co najmniej 90% glukozy, połączonej wiązaniami typu α -(1 \rightarrow 4)- z bocznymi wiązaniami β -(1 \rightarrow 6) w proporcji około 4:1, wykazują porównywalną aktywność przeciwnowotworową do proteoglukanu o masie cząsteczkowej 20 kDa [15].



Rdzeń białkowy (szkielet polipeptydowy)

Rys. 6. Struktura proteoglikanu – Krestinu [60].

Fig. 6. Structure of the proteoglycan – Krestin [60].

Pleuran – wyizolowany z *Pleurotus Ostreatus*. Strukturę liniową rdzenia tworzy łańcuch zbudowany z cząsteczek glukozy połączonych wiązaniami β -(1→3). Na każde 4 cząsteczki glukozy połączone w łańcuchu głównym przypada od 0 do 6 cząsteczek glukopiranozy przyłączonych w formie łańcuchów bocznych. Ok. 7% cząsteczek glukozy zawartej w łańcuchach bocznych przyłączona jest do rdzenia wiązaniami β -(1→4) i β -(1→6) [20].

Pleuran wykazuje właściwości przeciwnowotworowe [59], przeciwrzybiczne [9], obniża stężenie lipidów we krwi i reguluje gospodarkę węglowodanową [19]. Wpływa także korzystnie na potencjał antyoksydacyjny organizmu [5]. Karboksymetylowany pleuran, jest nowym, modyfikowanym chemicznie, rozpuszczalnym w wodzie glukanem o masie cząsteczkowej od 1×10^4 do ok. 42×10^4 , wykazującym właściwości antynowotworowe, co potwierdzono zarówno w badaniach *in vivo*, jak i *in vitro* [26].

β -GLUKANY POCHODZENIA BAKTERYJNEGO

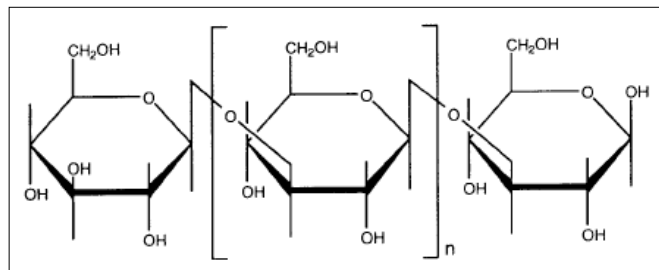
Polisacharydy pochodzenia bakteryjnego znane są i szeroko stosowane w przemyśle spożywczym głównie jako substancje dodatkowe. Są one nazywane często egzopolisacharydami bakteryjnymi i stanowią składnik ściany komórkowej, bądź też mogą być wydzieliną różnych drobnoustrojów, takich jak: *Cellulomonas flavigena* szczepu KU [30], *Bacillus curdolanolyticus* i *Bacillus kobensis* [28], *Bacillus* i *Micromonospora* [44], *Agrobacterium* sp. ATCC31749 [55], *Bradyrhizobium*, *Rhizobium* spp. *Sarcina ventriculi* [51].

Pośród nich na szeroką skalę produkowane i wykorzystywane są: ksantan, dekstran, pullulan czy też gellan. β -glukany pochodzenia bakteryjnego mają podobną strukturę do mannánów, ale ich podstawową jednostką budulcową jest glukoza. Wiele zastosowań znajdują śluzы zwane ksantanami, produkowane przez patogenną dla roślin bakterię *Xanthomonas campestris*. Znanymi z punktu widzenia technologicznego są beta glukany wytwarzane wskutek mikrobiologicznej fermentacji o nazwach kurdlan i laminarin. Dekstran jest glukanem

syntetyzowanym z sacharozy przez *Leuconostoc mesenteroides* i *Streptococcus*, zawierającym w strukturze cząsteczki glukozy połączone najczęściej wiązaniami (1→6), typu α [16].

Bogatym źródłem egzopolisacharydów są mikroorganizmy wykorzystywane w przemyśle spożywczym, w większości są to bakterie kwasu mlekowego (LAB – Lactic Acid Bacteria) izolowane z jogurtów, fermentowanego mleka, kefirów, serów, sfermentowanego mięsa i warzyw [6]. Wykazano, że egzopolisacharydy mogą poza funkcjami technologicznymi pełnić również rolę składników o działaniu prozdrowotnym.

Kurdlan – hydrokoloid wytwarzany wskutek fermentacji mikrobiologicznej przez bakterie *Alcaligenes faecalis* var. *Myxogenes*. Klasyfikowany najczęściej jako β -glukan o nierozgałęzionej strukturze (rys. 7), stanowiący liniowy polimer glukozy połączonej wiązaniami (1→3) β , o ustalonym wzorze sumarycznym $(C_6H_{10}O_5)_n$. Struktura kurdlanu może być zróżnicowana w zależności od metody jego pozyskiwania.



Rys. 7. Struktura chemiczna kurdlanu [60].

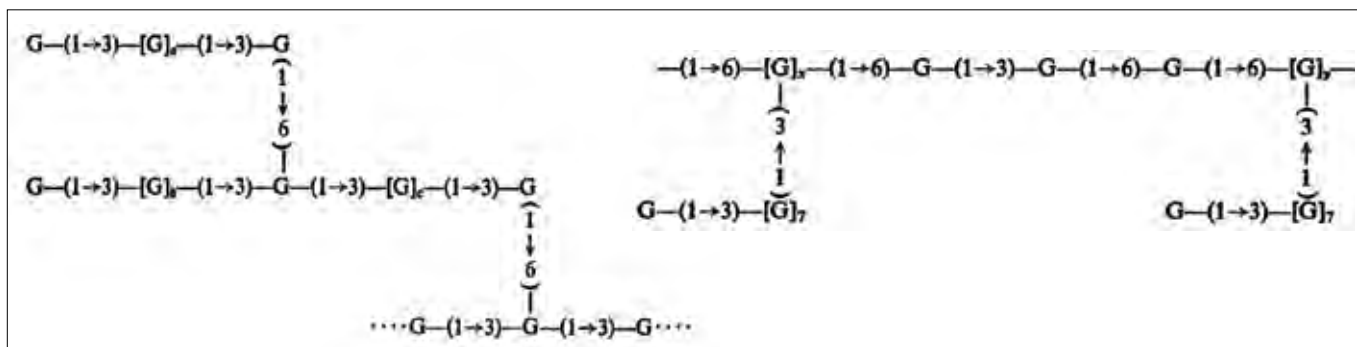
Fig. 7. Chemical structure of curdlan [60].

Curdlan może mieć zarówno strukturę liniową, jak i rozbudowaną, a jego stopień polimeryzacji jest umiarkowany, szacowany na ok. DP 450. W zależności od metody otrzymywania kurdlanu, jego masa cząsteczkowa może wynosić od $5,3 \times 10^4$ do $2,0 \times 10^6$ Da [50].

β -GLUKANY POZYSKIWANE Z DROŻDŻY

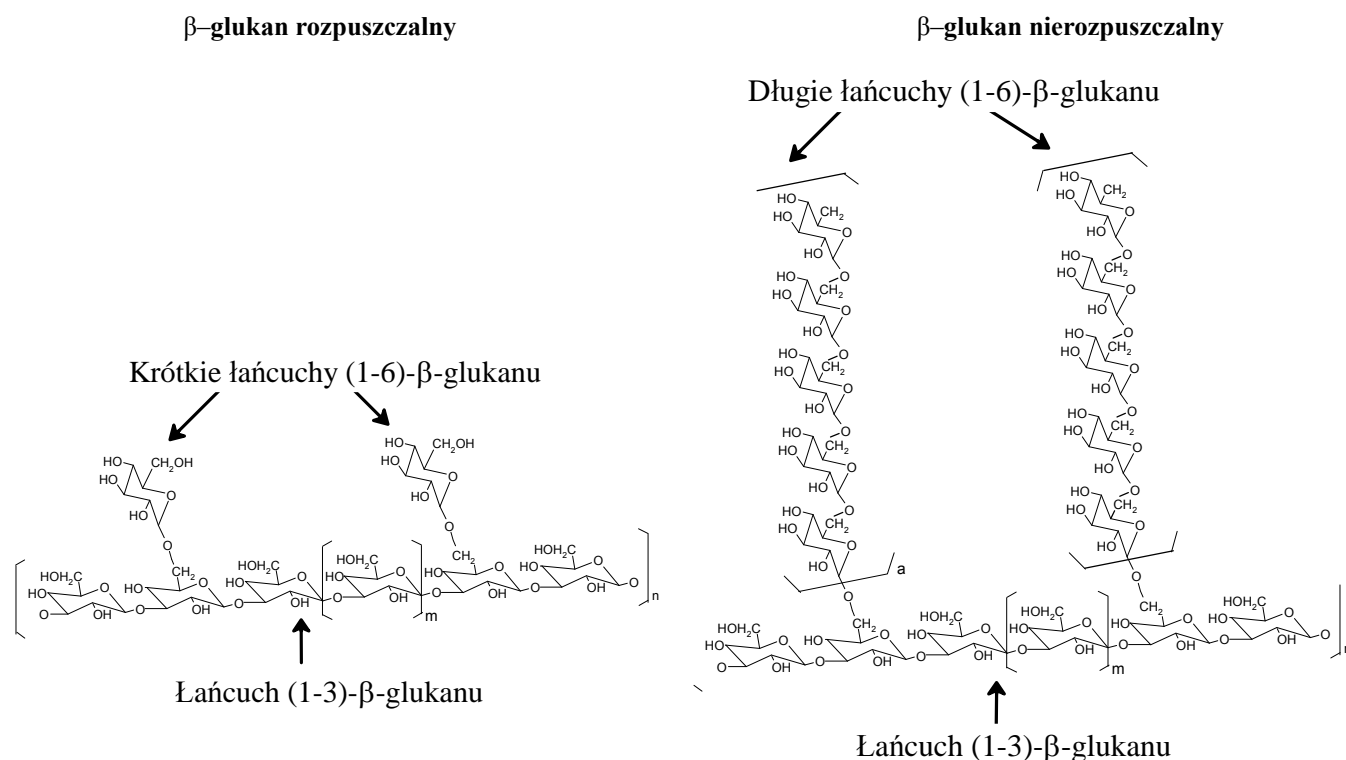
Polisacharydy wyizolowane ze ścian komórkowych drożdży składają się z liniowych form glukanu i mannanu o wiązaniach (1→3)/(1→6)- β , przy czym prawie 85% β -glukanu zawartego w ścianie komórkowej drożdży (tj. ok. 50% masy ściany komórkowej) stanowią łańcuchy liniowe o wiązaniach (1→3)- β (rys. 8). Pozostałe 15% β -glukanu (tj. ok. 10% masy ściany komórkowej), to łańcuchy rozgałęzione, przyłączone wiązaniami (1→6) β [36].

β -glukany izolowane z drożdży są nierozpuszczalne w wodzie, a główną przyczyną ich nierozpuszczalności jest chityna, polisacharyd składający się z reszt N-acetyloglukozaminy, powiązanych wiązaniami (1→4)- β -glikozydowymi (chityna stanowi ok. 1% masy ściany komórkowej). Kompleks chityna (1→3)- β -glukan (ok. 3–9% masy ściany komórkowej), skupiony jest od wewnętrznej strony ściany komórkowej. Rozgałęzienia (1→6)- β β -glukanu, wiążą poszczególne komponenty ściany komórkowej za pośrednictwem mannoprotein oraz wiązań kowalencyjnych [33]. Na wewnętrznej powierzchni ściany komórkowej drożdży skupione są mannoproteiny. Dzięki zawartym cząsteczkom azotu i tlenu oraz istniejącym wiązaniom kowalencyjnym, ograniczają przepuszczalność ściany komórkowej [36].



G – glukopiranoza, $a+b+c \approx 60$ cząstek glukozy G – glukopiranoza, $x+y =$ od 40 do 50

Rys. 8. Prawdopodobne struktury β -glukanów pozyskiwanych z drożdży piekarskich *Saccharomyces cerevisiae* [60].
Fig. 8. Probable structures of β -glucans obtained from baker's yeast *Saccharomyces cerevisiae* [60].



Rys. 9. Porównanie struktury chemicznej rozpuszczalnego i nierozpuszczalnego β -glukanu z drożdży [60].
Fig. 9. Comparison of the chemical structure of soluble and insoluble β -glucan from yeast [60].

Wiadomo, że można uzyskać zmiany rozpuszczalności β -glukanów poprzez ich chemiczną modyfikację (rys. 9). Lepszą rozpuszczalnością charakteryzują się zwykle β -glukany o mniejszym stopniu rozgałęzienia, a układ poszczególnych łańcuchów z wiązaniami (1 \rightarrow 3) β i (1 \rightarrow 6) β może być zróżnicowany w zależności od stosowanej technologii ich pozyskiwania.

β -glukany zawarte w drożdżach wykazują porównywalne efekty zdrowotne do efektów wynikających ze spożycia beta glukanów ze zbóż czy grzybów [3]. Spośród rozpoznanych beta glukanów pozyskiwanych z drożdży piekarskich *Saccharomyces cerevisiae*, uwagę zwraca β -glukan nazwany **zymozan** – nierozpuszczalny, długołańcuchowy polimer glukozy, wykazujący właściwości przeciwbakteryjne, wzmac-

niające odporność, m.in. poprzez aktywowanie makrofagów (pobudzając w ten sposób ich fagocytozę) oraz wydzielanie cytokin takich jak: IL-1 IL-6 IL-8 [58]. Zymozan stymuluje wydzielanie czynnika martwicy nowotworu TNF- α , wykazuje ponadto właściwości przeciwutleniające [53].

Nieliczne badania nad β -glukanami otrzymywanymi laboratoryjnie ze ścian komórek drożdży piekarskich *Saccharomyces cerevisiae*, wskazują, że wykazują one aktywność biologiczną różnego stopnia, w zależności od zastosowanej technologii ich pozyskiwania. Zastosowane w dostatecznej ilości wzmacniają pracę układu odpornościowego, pobudzając odpowiedź komórkową skóry do „wygaszenia” wolnych rodników i obrony przed zanieczyszczeniami ze strony środowiska, opóźniają także proces starzenia się komórek [57].

PODSUMOWANIE

1. W zależności od pochodzenia β -glukanów oraz stosowanej technologii ich pozyskiwania, zróżnicowana jest ich struktura i stopień polimeryzacji oraz masa cząsteczkowa β -glukanów. Czynniki te odpowiadają za zróżnicowane właściwości fizykochemiczne β -glukanów, takie jak: rozpuszczalność, lepkość czy zdolność do tworzenia żeli, które z kolei warunkują kierunek ich działania prozdrowotnego.
2. Najkorzystniejsze, tj. o najszerszym spektrum działania prozdrowotnego, wydają się być β -glukany pozyskiwane z grzybów. Dość dobrze rozpoznane są β -glukany pochodzące ze zbóż, a zainteresowania pozyskiwaniem β -glukanów z drożdży związane są z lepszym pod względem ekonomicznym źródłem niż zboża czy grzyby.
3. Działanie β -glukanów jako czynnika przeciwnowotworowego dotyczy głównie form (1 \rightarrow 3)/(1 \rightarrow 6) i jest związane ze zdolnością do wygaszania wolnych rodników, które uważane są za jedną z przyczyn powstawania nowotworu.
4. Działanie β -glukanów jako czynnika pozytywnie wpływającego szczególnie na gospodarkę lipidową krwi dotyczy głównie β -glukanów nierozpuszczalnych, zawierających wiązania (1 \rightarrow 3)/(1 \rightarrow 4).
5. Za regulację układu odpornościowego odpowiadają rozpuszczalne β -glukany zawierające wiązania (1 \rightarrow 3)/(1 \rightarrow 6), ale przede wszystkim te z przewagą wiązań typu (1 \rightarrow 6).

LITERATURA

- [1] **BEDNARSKI W., A. REPS (red). 2001.** Biotechnologia żywności. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [2] **BEER M.U., P.J. WOOD, J. WEIS. 1997.** „Molecular weight distribution and (1,3)-(1,4)- β -glucans content of consecutive extracts of various oat and barley cultivars”. *Cereal Chem.* 74(4):476–480.
- [3] **BELLS., V.M. GOLDMAN, B.R. BISTRAN, A.H. ARNOLD, G. OSTROFF, R.A. FORSE. 1999.** „Effect of beta-glucan from oats and yeast on serum lipids”. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 39(2):189–202.
- [4] **BLONDEL M. 2001.** „Mushrooms – magical gift of the forest”. *J. Cereal Science*, 47:23–26.
- [5] **BOBEK P., S. GALBAVY. 2001.** „Effect of pleuran (beta-glucan from *Pleurotus ostreatus*) on the antioxidant status of the organism and on dimethylhydrazine-induced precancerous lesions in rat colon”. *Br. J. Biomed. Sci.* 58(3):164–168.
- [6] **CERNING J. 1990.** „Exocellular polysaccharides produced by lactic acid bacteria”. *FEMS Microbiol. Rev.* 7(1–2):113–130.
- [7] **CHANG R. 2002.** „Bioactive Polysaccharides from Traditional Chinese Medicine Herbs as Anticancer Adjuvants”. *J. Altern. Complem. Med.* 8(5):559–565.
- [8] **CHARLES S., C.S. BRENNAN, L.J. CLEARY. 2005.** „The potential use of cereal (1/3,1/4)- β -D-glucans as functional food ingredients”. *J. Cereal Sci.* 42(1):1–13.
- [9] **CHU K.T., L. XIA, T.B. NG. 2005.** „Pleurostrin, an antifungal peptide from the oyster mushroom”. *J. Pept. Res.* 26(11):2098–2103.
- [10] **COVIELLO T., A. PALLESCHI, M. GRASSI, P. MATRICARDI, G. BOCCHINFUSO, F. AL-HAIQUE. 2005.** „Scleroglucan: A Versatile Polysaccharide for Modified Drug Delivery”. *Molecules* 10:6–33.
- [11] **DABA A.S., O.U. EZERONYE. 2003.** „Anti-cancer effect of polysaccharides isolated from higher basidiomycetes mushrooms”. *Afr. J. Biotechnol.* 2(12):672–678.

LITERATURA

- [1] **BEDNARSKI W., A. REPS (red). 2001.** Biotechnologia żywności. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [2] **BEER M.U., P.J. WOOD, J. WEIS. 1997.** „Molecular weight distribution and (1,3)-(1,4)- β -glucans content of consecutive extracts of various oat and barley cultivars”. *Cereal Chem.* 74(4):476–480.
- [3] **BELLS., V.M. GOLDMAN, B.R. BISTRAN, A.H. ARNOLD, G. OSTROFF, R.A. FORSE. 1999.** „Effect of beta-glucan from oats and yeast on serum lipids”. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 39(2):189–202.
- [4] **BLONDEL M. 2001.** „Mushrooms – magical gift of the forest”. *J. Cereal Science*, 47:23–26.
- [5] **BOBEK P., S. GALBAVY. 2001.** „Effect of pleuran (beta-glucan from *Pleurotus ostreatus*) on the antioxidant status of the organism and on dimethylhydrazine-induced precancerous lesions in rat colon”. *Br. J. Biomed. Sci.* 58(3):164–168.
- [6] **CERNING J. 1990.** „Exocellular polysaccharides produced by lactic acid bacteria”. *FEMS Microbiol. Rev.* 7(1–2):113–130.
- [7] **CHANG R. 2002.** „Bioactive Polysaccharides from Traditional Chinese Medicine Herbs as Anticancer Adjuvants”. *J. Altern. Complem. Med.* 8(5):559–565.
- [8] **CHARLES S., C.S. BRENNAN, L.J. CLEARY. 2005.** „The potential use of cereal (1/3,1/4)- β -D-glucans as functional food ingredients”. *J. Cereal Sci.* 42(1):1–13.
- [9] **CHU K.T., L. XIA, T.B. NG. 2005.** „Pleurostrin, an antifungal peptide from the oyster mushroom”. *J. Pept. Res.* 26(11):2098–2103.
- [10] **COVIELLO T., A. PALLESCHI, M. GRASSI, P. MATRICARDI, G. BOCCHINFUSO, F. AL-HAIQUE. 2005.** „Scleroglucan: A Versatile Polysaccharide for Modified Drug Delivery”. *Molecules* 10:6–33.
- [11] **DABA A.S., O.U. EZERONYE. 2003.** „Anti-cancer effect of polysaccharides isolated from higher basidiomycetes mushrooms”. *Afr. J. Biotechnol.* 2(12):672–678.

- [12] **DING X., J. HANG, P. JIANG, X. XU, Z. LIU. 2004.** „Structural features and hypoglycaemic activity of an exopolysaccharide produced by *Sorangium cellulosum*”. *Lett. Appl. Microbiol.* 38(3):223–228.
- [13] **FISHER M., L.X. YANG. 2002.** „Anticancer effects and mechanisms of polysaccharide-K (PSK): implications of cancer immunotherapy”. *Anticancer Res.* 22(3):1737–1754.
- [14] **FRANÇOIS N.J., A.M. ROJAS, M.E. DARAIO, D.L. BERNIK. 2003.** „Dynamic rheological measurements and drug release kinetics in swollen scleroglucan matrices”. *J. Control. Release* 90(3):355–362.
- [15] **FUJIMIYA Y., Y. SUZUKI, R. KATAKURA, T. EBINA. 1999.** „Tumor-specific cytotoxic and immunopotentiating effects of relatively low molecular weight products derived from the basidiomycete, *Agaricus blazei* Murrill”. *Anticancer Res.* 19:113–118.
- [16] **FUNANE K., T. ISHII, M. MATSUSHITA, K. HORI, K. MIZUNO, H. TAKAHARA, Y. KITAMURA, M. KOBAYASHI. 2001.** „Water-soluble and water-insoluble glucans produced by *Escherichia coli* recombinant dextranases from *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-512F”. *Carbohydr. Res.* 334(1):19–25.
- [17] **HETLAND G., N. OHNO, L.S. AABERGE, M. LOVIK. 2000.** „Protective effect of beta-glucan against systematic *Streptococcus pneumoniae* infection in mice”. *FEMS Immunol. Med. Mic.* 27:111–116.
- [18] **HIRASAWA M., N. SHOUJI, T. NETA, K. FUKUSHIMA, K. TAKADA. 1999.** „Three kinds of antibacterial substances from *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. (Shiitake, an edible mushroom)”. *Int. J. Antimicrob. Ag.* 11:151–157.
- [19] **HOSSAIN S., M. HASHIMOTO, E.K. CHOUDHURY, N. ALAM, S. HUSSAIN, M. HASAN, S.K. CHOUDHURY, I. MAHMUD. 2003.** „Dietary mushroom (*Pleurotus ostreatus*) ameliorates atherogenic lipid in hypercholesterolaemic rats”. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 30(7):470–475.
- [20] **HOZOVÁ B., L. KUNIAK, B. KELEMENOVÁ. 2004.** „Application of β -D-Glucans Isolated from Mushrooms *Pleurotus ostreatus* (Pleuran) and *Lentinus edodes* (Lentinan) for Increasing the Bioactivity of Yoghurts”. *Czech. J. Food Sci.* 22(6): 204–214.
- [21] **IRAKLI M., C.G. BILIADERIS, M.S. IZYDORCZYK, I.N. PAPADOYANNIS. 2004.** „Isolation, structural features and rheological properties of water-extractable beta-glucans from different Greek barley cultivars”. *J. Sci. Food Agr.* 84:1170–1178.
- [22] **ISHIBASHI K.I., N.N. MIURA, Y. ADACHI, H. TAMURA, S. TANAKA, N. OHNO. 2004.** „The solubilization and biological activities of *Aspergillus* β -(1/3)-D-glucan”. *FEMS Immunol. Med. Mic.* 42:155–166.
- [12] **DING X., J. HANG, P. JIANG, X. XU, Z. LIU. 2004.** „Structural features and hypoglycaemic activity of an exopolysaccharide produced by *Sorangium cellulosum*”. *Lett. Appl. Microbiol.* 38(3):223–228.
- [13] **FISHER M., L.X. YANG. 2002.** „Anticancer effects and mechanisms of polysaccharide-K (PSK): implications of cancer immunotherapy”. *Anticancer Res.* 22(3):1737–1754.
- [14] **FRANCOIS N.J., A.M. ROJAS, M.E. DARAIO, D.L. BERNIK. 2003.** „Dynamic rheological measurements and drug release kinetics in swollen scleroglucan matrices”. *J. Control. Release* 90(3):355–362.
- [15] **FUJIMIYA Y., Y. SUZUKI, R. KATAKURA, T. EBINA. 1999.** „Tumor-specific cytotoxic and immunopotentiating effects of relatively low molecular weight products derived from the basidiomycete, *Agaricus blazei* Murrill”. *Anticancer Res.* 19:113–118.
- [16] **FUNANE K., T. ISHII, M. MATSUSHITA, K. HORI, K. MIZUNO, H. TAKAHARA, Y. KITAMURA, M. KOBAYASHI. 2001.** „Water-soluble and water-insoluble glucans produced by *Escherichia coli* recombinant dextranases from *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-512F”. *Carbohydr. Res.* 334(1):19–25.
- [17] **HETLAND G., N. OHNO, L.S. AABERGE, M. LOVIK. 2000.** „Protective effect of beta-glucan against systematic *Streptococcus pneumoniae* infection in mice”. *FEMS Immunol. Med. Mic.* 27:111–116.
- [18] **HIRASAWA M., N. SHOUJI, T. NETA, K. FUKUSHIMA, K. TAKADA. 1999.** „Three kinds of antibacterial substances from *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. (Shiitake, an edible mushroom)”. *Int. J. Antimicrob. Ag.* 11:151–157.
- [19] **HOSSAIN S., M. HASHIMOTO, E.K. CHOUDHURY, N. ALAM, S. HUSSAIN, M. HASAN, S.K. CHOUDHURY, I. MAHMUD. 2003.** „Dietary mushroom (*Pleurotus ostreatus*) ameliorates atherogenic lipid in hypercholesterolaemic rats”. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 30(7):470–475.
- [20] **HOZOVA B., L. KUNIAK, B. KELEMENOVA. 2004.** „Application of β -D-Glucans Isolated from Mushrooms *Pleurotus ostreatus* (Pleuran) and *Lentinus edodes* (Lentinan) for Increasing the Bioactivity of Yoghurts”. *Czech. J. Food Sci.* 22(6): 204–214.
- [21] **IRAKLI M., C.G. BILIADERIS, M.S. IZYDORCZYK, I.N. PAPADOYANNIS. 2004.** „Isolation, structural features and rheological properties of water-extractable beta-glucans from different Greek barley cultivars”. *J. Sci. Food Agr.* 84:1170–1178.
- [22] **ISHIBASHI K.I., N.N. MIURA, Y. ADACHI, H. TAMURA, S. TANAKA, N. OHNO. 2004.** „The solubilization and biological activities of *Aspergillus* β -(1/3)-D-glucan”. *FEMS Immunol. Med. Mic.* 42:155–166.

- [23] **IZYDORCZYK M.S., L.J. MACRI, A.W. MACGREGOR. 1998.** „Structure and physicochemical properties of barley non-starch polysaccharides – I. Water-extractable β -glucans and arabinoxylans”. Carbohyd. Polym. 35(3-4):249–258; II. „Alkali-extractable β -glucans and arabinoxylans”. Carbohyd. Polym. 35(3-4):259–269.
- [24] **JOINT FAO/WHO 1999.** „Expert Committee on Food Additives 53rd session, Rome, 1–10 June. Compendium of food additive specifications”. Addendum 7.
- [25] **JONG S.C, J.M. BIRMINGHAM. 1993.** „Medicinal and Therapeutic Value of the Shiitake Mushroom”. Adv. Appl. Microbiol. 39:153–184.
- [26] **JOSE N., T.A. AJITH, K.K. JANANRDHANAN. 2002.** „Antioxidant, anti-inflammatory, and antitumor activities of culinary-medicinal mushroom *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél. (Agaricomycetidae)”. Int. J. Med. Mushrooms 4:329–335.
- [27] **KABIR M., J.M. H. OPPERT, H. VIDAL, F. BRUZZO, C. FIQUET, P. WURSCHE, G. SLARNA, S.W. RIZKALLA. 2002.** „Four-Week Low-Glycemic Index Breakfast with a Modest Amount of Soluble Fibers in type 2 Diabetic Men”. Metabolis. 51(7):819–826.
- [28] **KANZAWA Y., A. HARADA, M. TAKEUCHI, A. YOKOTA, T. HARADA. 1995.** „*Bacillus curd-lanolyticus* sp. nov. and *Bacillus kobensis* sp. nov., which hydrolyze resistant curdlan”. Int. J. Syst. Bacteriol. 45(3):515–521.
- [29] **KAWKA A. 2004.** „Jęczmień i jego produkty. Charakterystyka, otrzymywanie i wykorzystanie w żywieniu człowieka”. Rozprawy Naukowe. Zeszyt 344, Rocznik Akademii Rolniczej w Poznaniu.
- [30] **KENYON W.J., S.W. ESCH, C.S. BULLER. 2005.** „The curdlan-type exopolysaccharide produced by *Cellulomonas flavigena* KU forms part of an extracellular glycocalyx involved in cellulose degradation”. Anton. Leeuw. 87(2):143–148.
- [31] **KERCKHOFFS D.A., G. HORNSTRA, R.P. MENSINK. 2003.** „Cholesterol lowering effect of β -glucan from oat bran in mildly hypercholesterolemic subjects may decrease when β -glucan is incorporated into bread and cookies”. Am. J. Clin. Nutr. 78:221–227.
- [32] **KIKUCHI A., T. OKANO. 2002.** „Pulsatile drug release control using hydrogels”. Adv. Drug Deliv. Rev. 43:53.
- [33] **KOLLAR R., B.B. REINHOLD, E. PETRAKOVA, H.J. YEH, G. ASHWELL, J. DRGONOVA, J.C. KAPTEYN, F.M. KLIS, E. CABIB. 1997.** „Architecture of the yeast cell wall. β -(1→6)-glucan interconnects mannoprotein, β -(1→3)-glucan, and chitin”. J. Biol. Chem. 272(28):17762–17775.
- [34] **KUBALA L., J. RUZICKOVA, K. NICKOVA, J. SANDULA, M. CIZ, A. LOJEK. 2003.** „The effect of (1→3)-beta-D-glucans, carboxymethylglucan and schizophyllan on human leukocytes in vitro”. Carbohyd. Res. 338(24):2835–2840.
- [23] **IZYDORCZYK M.S., L.J. MACRI, A.W. MACGREGOR. 1998.** „Structure and physicochemical properties of barley non-starch polysaccharides – I. Water-extractable β -glucans and arabinoxylans”. Carbohyd. Polym. 35(3-4):249–258; II. „Alkali-extractable β -glucans and arabinoxylans”. Carbohyd. Polym. 35(3-4):259–269.
- [24] **JOINT FAO/WHO 1999.** „Expert Committee on Food Additives 53rd session, Rome, 1–10 June. Compendium of food additive specifications”. Addendum 7.
- [25] **JONG S.C, J.M. BIRMINGHAM. 1993.** „Medicinal and Therapeutic Value of the Shiitake Mushroom”. Adv. Appl. Microbiol. 39:153–184.
- [26] **JOSE N., T.A. AJITH, K.K. JANANRDHANAN. 2002.** „Antioxidant, anti-inflammatory, and antitumor activities of culinary-medicinal mushroom *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél. (Agaricomycetidae)”. Int. J. Med. Mushrooms 4:329–335.
- [27] **KABIR M., J.M. H. OPPERT, H. VIDAL, F. BRUZZO, C. FIQUET, P. WURSCHE, G. SLARNA, S.W. RIZKALLA. 2002.** „Four-Week Low-Glycemic Index Breakfast with a Modest Amount of Soluble Fibers in type 2 Diabetic Men”. Metabolis. 51(7):819–826.
- [28] **KANZAWA Y., A. HARADA, M. TAKEUCHI, A. YOKOTA, T. HARADA. 1995.** „*Bacillus curd-lanolyticus* sp. nov. and *Bacillus kobensis* sp. nov., which hydrolyze resistant curdlan”. Int. J. Syst. Bacteriol. 45(3):515–521.
- [29] **KAWKA A. 2004.** „Jęczmień i jego produkty. Charakterystyka, otrzymywanie i wykorzystanie w żywieniu człowieka”. Rozprawy Naukowe. Zeszyt 344, Rocznik Akademii Rolniczej w Poznaniu.
- [30] **KENYON W.J., S.W. ESCH, C.S. BULLER. 2005.** „The curdlan-type exopolysaccharide produced by *Cellulomonas flavigena* KU forms part of an extracellular glycocalyx involved in cellulose degradation”. Anton. Leeuw. 87(2):143–148.
- [31] **KERCKHOFFS D.A., G. HORNSTRA, R.P. MENSINK. 2003.** „Cholesterol lowering effect of β -glucan from oat bran in mildly hypercholesterolemic subjects may decrease when β -glucan is incorporated into bread and cookies”. Am. J. Clin. Nutr. 78:221–227.
- [32] **KIKUCHI A., T. OKANO. 2002.** „Pulsatile drug release control using hydrogels”. Adv. Drug Deliv. Rev. 43:53.
- [33] **KOLLAR R., B.B. REINHOLD, E. PETRAKOVA, H.J. YEH, G. ASHWELL, J. DRGONOVA, J.C. KAPTEYN, F.M. KLIS, E. CABIB. 1997.** „Architecture of the yeast cell wall. β -(1→6)-glucan interconnects mannoprotein, β -(1→3)-glucan, and chitin”. J. Biol. Chem. 272(28):17762–17775.
- [34] **KUBALA L., J. RUZICKOVA, K. NICKOVA, J. SANDULA, M. CIZ, A. LOJEK. 2003.** „The effect of (1→3)-beta-D-glucans, carboxymethylglucan and schizophyllan on human leukocytes in vitro”. Carbohyd. Res. 338(24):2835–2840.

- [35] LAZARIDOU A., C.G. BILIADERIS, M. MICHA-SCRETTAS, B.R. STEELE. 2004. „A comparative study on structure–function relations of mixed-linkage (1→3),(1→4) linear beta–D–glucans”. *Food Hydrocolloid* 18:837–855.
- [36] LIPKE P.N., R. OVALLE. 1998. „Cell Wall Architecture in Yeast: New Structure and New Challenges”. *J. Bacteriol.* 180(15):3735–3740.
- [37] LOWMAN D., H. ENSLEY, D. WILLIAMS. 1998. „Identification of phosphate substitution sites by NMR spectroscopy in a water-soluble phosphorylated (1–3)–β–D–glucan”. *Carbohydr. Res.* 306(4):559–562.
- [38] LULL C., H.J. WICHERS, H.F.J. SAVELKOUL. 2005. „Antiinflammatory and Immunomodulating Properties of Fungal Metabolites”. *Mediat. Inflamm.* 2:63–80.
- [39] MANZI P., L. PIZZOFRERATO. 2000. „Beta glucans in edible mushrooms”. *Food Chem.* 68:315–318.
- [40] MICHNIEWICZ J. 1994. „Węglowodany nieskrobiowe”. W: *Żyto: Chemia i technologia*. Gąsiorowski H. (red.). Poznań: Państwowe Wydawnictwa Rolnicze i Leśne.
- [41] MIYAZAKI K., H. MIZUTANI, H. KATABUCHI. 1995. „Activated (HLA–DR+) T–lymphocyte subsets in cervical carcinoma and effects of radiotherapy and immunotherapy with sizofiran on cell-mediated immunity and survival”. *Gynecol. Oncol.* 56:412–420.
- [42] NAKANO T., K. OKA, K. HANBA, S. MORITA. 1996. „Intratumoral administration of sizofiran activates langerhans cell and T-cell infiltration in cervical cancer”. *Clin. Immunol. Immunopathol.* 79(1):79–86.
- [43] NG M.L., A.T. YAP. 2002. „Inhibition of human colon carcinoma development by lentinan from shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*)”. *J. Altern. Complement. Med.* 8:581–589.
- [44] OBST M., A. SALLAM, H. LUFTMANN, A. STEINBUCHER. 2004. „Isolation and characterization of gram-positive cyanophycin-degrading bacteria-kinetic studies on cyanophycin depolymerase activity in aerobic bacteria”. *Biomacromolecules* 5(1):153–161.
- [45] ONWURAH I.N.E. 2001. „Crystallinity and polysaccharide chains of β–glucan in white sorghum, SK5912”. *Int. J. Biol. Macromol.* 29:281–286.
- [46] PETRUS H.A., H.E. ENSLEY, R.B. MCNAMEE, E.L. JONES, I.W. BROWDER, D.L. WILLIAMS. 1991. „Isolation, physicochemical characterization and preclinical efficacy evaluation of soluble scleroglucan”. *Am. Society for Pharma. and Experim. Ther.* 257(1):500–510.
- [47] PEUMANS W.J., A. BARRE, V. DERYCKE, P. ROUGÉ, W. ZHANG, G.D. MAY, J.A. DELCOUR, F. LEUVEN, J.M. VAN DAMME. 2000. „Purification, characterization and structural analysis of an abundant β–(1,3)–glucanase from banana fruit”. *Eur. J. Biochem.* 267(4):1188–1195.
- [35] LAZARIDOU A., C.G. BILIADERIS, M. MICHA-SCRETTAS, B.R. STEELE. 2004. „A comparative study on structure–function relations of mixed-linkage (1→3),(1→4) linear beta–D–glucans”. *Food Hydrocolloid* 18:837–855.
- [36] LIPKE P.N., R. OVALLE. 1998. „Cell Wall Architecture in Yeast: New Structure and New Challenges”. *J. Bacteriol.* 180(15):3735–3740.
- [37] LOWMAN D., H. ENSLEY, D. WILLIAMS. 1998. „Identification of phosphate substitution sites by NMR spectroscopy in a water-soluble phosphorylated (1–3)–β–D–glucan”. *Carbohydr. Res.* 306(4):559–562.
- [38] LULL C., H.J. WICHERS, H.F.J. SAVELKOUL. 2005. „Antiinflammatory and Immunomodulating Properties of Fungal Metabolites”. *Mediat. Inflamm.* 2:63–80.
- [39] MANZI P., L. PIZZOFRERATO. 2000. „Beta glucans in edible mushrooms”. *Food Chem.* 68:315–318.
- [40] MICHNIEWICZ J. 1994. „Węglowodany nieskrobiowe”. W: *Żyto: Chemia i technologia*. Gąsiorowski H. (red.). Poznań: Państwowe Wydawnictwa Rolnicze i Leśne.
- [41] MIYAZAKI K., H. MIZUTANI, H. KATABUCHI. 1995. „Activated (HLA–DR+) T–lymphocyte subsets in cervical carcinoma and effects of radiotherapy and immunotherapy with sizofiran on cell-mediated immunity and survival”. *Gynecol. Oncol.* 56:412–420.
- [42] NAKANO T., K. OKA, K. HANBA, S. MORITA. 1996. „Intratumoral administration of sizofiran activates langerhans cell and T-cell infiltration in cervical cancer”. *Clin. Immunol. Immunopathol.* 79(1):79–86.
- [43] NG M.L., A.T. YAP. 2002. „Inhibition of human colon carcinoma development by lentinan from shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*)”. *J. Altern. Complement. Med.* 8:581–589.
- [44] OBST M., A. SALLAM, H. LUFTMANN, A. STEINBUCHER. 2004. „Isolation and characterization of gram-positive cyanophycin-degrading bacteria-kinetic studies on cyanophycin depolymerase activity in aerobic bacteria”. *Biomacromolecules* 5(1):153–161.
- [45] ONWURAH I.N.E. 2001. „Crystallinity and polysaccharide chains of β–glucan in white sorghum, SK5912”. *Int. J. Biol. Macromol.* 29:281–286.
- [46] PETRUS H.A., H.E. ENSLEY, R.B. MCNAMEE, E.L. JONES, I.W. BROWDER, D.L. WILLIAMS. 1991. „Isolation, physicochemical characterization and preclinical efficacy evaluation of soluble scleroglucan”. *Am. Society for Pharma. and Experim. Ther.* 257(1):500–510.
- [47] PEUMANS W.J., A. BARRE, V. DERYCKE, P. ROUGE, W. ZHANG, G.D. MAY, J.A. DELCOUR, F. LEUVEN, J.M. VAN DAMME. 2000. „Purification, characterization and structural analysis of an abundant β–(1,3)–glucanase from banana fruit”. *Eur. J. Biochem.* 267(4):1188–1195.

- [48] **POYHONEN U.L. 2004.** „Control of blood glucose through oat soluble fibre beta-glucan”. *Agro-Food-Industry Hi-Tech* 15:10–11.
- [49] **RAJARATHNAM S., M.N. SHASHIREKHA, Z. BANO. 1998.** „Biodegradative and biosynthetic capacities of mushrooms: present and future strategies”. *Crit. Rev. Biotechnol.* 18(2–3):91–236.
- [50] **RENN D.W. 1997.** „Purified curdlan and its hydroxyalkyl derivatives: preparation, properties and applications”. *Carbohydr. Polym.* 33(4):219–225.
- [51] **ROSS P., R. MAYER, M. BENZIMAN. 1991.** „Cellulose biosynthesis and function in bacteria”. *Microbiol. Rev.* 55:35–58.
- [52] **ROUBROEKS J.P., R. ANDERSSON, P. ÅMAN. 2000.** „Structural features of (1→3)/(1→4)-β-D-glucan and arabinoxylan fractions isolated from rye bran”. *Carbohydr. Polym.* 42(1):3–11.
- [53] **SANGUEDOLCE M.V., C. CAPO, P. BONGRAND, J.L. MEGE. 1992.** „Zymosan-stimulated tumor necrosis factor-alpha production by human monocytes. Down-modulation by phorbol ester”. *J. Immunol.* 148(7):2229–2236.
- [54] **SMITH K.N., K. QUEENAN, W. THOMAS, G. FULCHER, J. SLAVIN. 2004.** „Cholesterol-lowering effect of barley beta-glucan in hypercholesterolemic subjects”. *FASEB J.* 18:A149.
- [55] **STASINOPOULOS S.J., P.R. FISHER, B.A. STONE, V.A. STANISICH. 1999.** „Detection of two loci involved in (1→3)-β-glucan (curdlan) biosynthesis by *Agrobacterium* sp. ATCC31749, and comparative sequence of the putative curdlan synthase gene”. *Glycobiology* 9(1):31–41.
- [56] **STRYER L. 2003.** *Biochemia.* Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [57] **TSIAPALI E., S. WHALEY, J. KALBFLEISCH, H.E. ENSLEY, I.W. BROWDER, D.L. WILLIAMS. 2001.** „Glucans exhibit weak antioxidant activity but stimulate macrophage free radical activity”. *Free Radical Bio. Med.* 30(4):393–402, 425.
- [58] **UNDERHILL D.M. 2003.** „Macrophage recognition of zymosan particles”. *J. Endotoxin Res.* 9(3):176–180.
- [59] **WANG H., J. GAO, T.B. NG. 2000.** „A new lectin with highly potent antihepatoma and antisarcoma activities from the oyster mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 275(3):810–816.
- [60] **WASZKIEWICZ-ROBAK B. 2013.** „Spent Brewer’s Yeast and Beta-Glucans Isolated from Them as Diet Components Modifying Blood Lipid Metabolism Disturbed by an Atherogenic Diet”. [w:] *Lipid Metabolism* 261–290, Rodrigo Valenzuela Baez (red.). IntechOpen, DOI: 10.5772/51530.
- [61] **WOOD P.J., J. WEISZ, W. MAHN. 1991.** „Molecular characterisation of cereal β-glucan: II. Size-exclusion chromatography for comparison of molecular weight”. *Cereal Chem.* 68(5):530–536.