ŁUKASZ KOPIASZ

*Katedra Dietetyki
Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa
E-mail: lukasz_kopiasz@sggw.pl*

WŁAŚCIWOŚCI PROZDROWOTNE I MECHANIZMY DZIAŁANIA BETA-GLUKANÓW ZBOŻOWYCH

WPROWADZENIE

W przeciągu ostatnich kilku dekad obserwuje się dynamiczny wzrost liczby osób z nadmierną masą ciała. Szacuje się, że obecnie ponad 2 miliardy dorosłych ludzi na świecie ma nadwagę, z czego ok. 600 milionów jest otyłych (SINGH i współaut. 2017). Można zatem uznać, że otyłość jest epidemią XXI w. Nadmierna masa ciała jest spowodowana przede wszystkim niewłaściwą dietą i ograniczoną aktywnością fizyczną. Zwiększa ryzyko rozwoju wielu innych chorób takich jak: cukrzyca, schorzenia układu sercowo-naczyniowego (CVD), niektóre nowotwory, szereg zaburzeń układu mięśniowo-szkieletowego czy zły stan zdrowia psychicznego (CHOOI i współaut. 2019). Częstość występowania cukrzycy również jest uznawana za epidemię ostatnich kilku dekad i szacuje się, że w 2015 r. ok. 415 milionów dorosłych osób na świecie miało to schorzenie, a w 2040 r. będą to już 642 miliony (WARAICH i RANA 2017). Niepokojące są też dane dotyczące liczby osób cierpiących na nieswoiste zapalenia jelit (NZJ). Dane z ostatnich lat wskazują, że ok. 0,5% populacji krajów Europy Zachodniej i Ameryki Północnej cierpi na te schorzenia, a częstość zachorowań w ostatnich latach gwałtownie wzrasta (RYDZEWSKA i GŁUSZEK-OSUCH 2016, SINGH i współaut. 2017).

Podstawowym sposobem walki, jak również przeciwdziałaniu wymienionym schorzeniom, jest odpowiednia dieta bogata między innymi w błonnik pokarmowy (niestrawialne włókno pokarmowe). Spożycie odpowiedniej

ilości błonnika sprzyja obniżeniu glikemii poposiłkowej, poziomowi stężenia cholesterolu całkowitego i lipoprotein o małej gęstości (LDL) we krwi (PERCZYŃSKA i współaut. 2017). Do frakcji błonnika pokarmowego należą takie związki jak beta-glukany, które bardzo często są spożywane przez ludzi niecelowo, gdyż występują w zbożach (głównie w jęczmieniu i owsie), grzybach, wodorostach i drożdżach. Poza funkcją błonnika pokarmowego przypisuje się im wiele innych właściwości prozdrowotnych, między innymi działanie przeciwutleniające czy immunomodulujące (NAKASHIMA i współaut. 2018).

CHARAKTERYSTYKA I BUDOWA BETA-GLUKANÓW

Beta-glukany to grupa związków zbudowanych z cząsteczek D-glukozy, połączonych wiązaniami beta-glikozydowymi, które tworzą nieskrobiowe polisacharydy. Należą one do frakcji błonnika pokarmowego. Są składnikiem strukturalnym ściany komórkowej grzybów, drożdży i alg morskich oraz warstwy aleuronowej i bielma zbóż. Różnią się budową w zależności od źródła pochodzenia (SUCHECKA i współaut. 2017a, NAKASHIMA i współaut. 2018).

Beta-glukany obecne w drożdżach, grzybach i wodorostach zbudowane są z cząsteczek β -D-glukopiranozy, połączonych wiązaniami β -1,3-glikozydowymi i β -1,6-glikozydowymi. Taki typ wiązań umożliwia przyłączenie wielu łańcuchów bocznych, składających się przede wszystkim z mono-

Ryc. 1. Wzór strukturalny beta-glukanów pochodzących z: grzybów (A), drożdży (B), wodorostów (C) oraz zbóż (D) (wg NAKASHIMA i współaut. 2018, zmieniona).

merów D-glukozy oraz w mniejszym stopniu z cząsteczek takich związków jak: mannoza, galaktoza, ksyloza czy kwas uronowy (Ryc. 1) (NIE i współaut. 2017, NAKASHIMA i współaut. 2018). Daje to rozgałęzioną strukturę beta-glukanów pochodzących z tych źródeł i w konsekwencji powoduje, że ta grupa polimerów zawiera ok. 53-83% frakcji nierozpuszczalnej w wodzie (SUCHECKA i współaut. 2017a).

Beta-glukany zbożowe mają natomiast postać długich słabo rozgałęzionych łańcuchów składających się z monomerów β -D-glukopiranozy połączonych w 70% wiązaniami β -1,4-glikozydowymi i w 30% β -1,3-glikozydowymi (Ryc. 1) (BUTT i współaut. 2008). Dzięki takiej budowie polisacharydy te są dobrze rozpuszczalne w wodzie (zawierają 82% frakcji rozpuszczalnej) oraz wykazują specyficzne właściwości funkcjonalne i aktywność biologiczną (BUTT i współaut. 2008, KASPRZAK i współaut. 2012, SUCHECKA i współaut. 2017a). W roztworach wodnych tworzą lepkie żele w stosunkowo niskich stężeniach (przy stężeniu 1%), których stabilność mieści się w szerokim zakresie pH (2-10) i zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury. Daje to możliwości wykorzystywania tych związków jako środków zagęszczających w przemyśle spożywczym, czynników modulujących właściwości reologiczne napojów oraz dodatków do żywności funkcjonalnej dzięki ich właściwościom prozdrowotnym (BUTT i współaut. 2008).

Zawartość beta-glukanów w ziarnach zbóż znacznie się różni. Oszacowano, że w jęczmieniu wynosi 2-20% suchej masy w całym ziarnie, z czego 65% to frakcja rozpuszczalna w wodzie. W owsie stanowi 3-11% suchej masy w całym ziarnie, z czego 82% to frakcja rozpuszczalna w wodzie. Pozostałe zboża również zawierają te polisacharydy, lecz w znacznie mniejszych ilościach. Najwyższą masę molową ma beta-glukan z owsa ($65-3100 \times 10^3$ g/mol), natomiast z jęczmienia ma masę $31-2700 \times 10^3$ g/mol (HARASYM i współaut. 2016).

WŁAŚCIWOŚCI PROZDROWOTNE

WPLYW NA METABOLIZM GLUKOZY

Beta-glukany pochodzące z owsa i jęczmienia mają wiele udowodnionych właściwości prozdrowotnych, które wywierają wpływ na wiele aspektów metabolizmu człowieka i zwierząt. Jedną z bardzo dobrze udokumentowanych właściwości jest korzystny wpływ na metabolizm glukozy (SUCHECKA i współaut. 2017b).

Beta-glukan owsa w połączeniu z wodą tworzy bardzo lepką zawiesinę, co prawdopodobnie odgrywa kluczową rolę w zmniejszaniu poposiłkowej odpowiedzi glikemicznej i insulinowej. Obecność tych polisacharydów w posiłku zwiększa lepkość zawartości górnej części przewodu pokarmowego, co z kolei spowalnia opróżnianie żołądka i zmniej-

sza szybkość trawienia skrobi oraz opóźnia wchłanianie węglowodanów (WOLEVER i współaut. 2018). Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że silniejszy wpływ na obniżenie glikemii poposiłkowej stwierdza się w przypadku spożycia całych ziaren owsa niż oczyszczonego ekstraktu beta-glukanu, a w przypadku oczyszczonych ekstraktów, dodanie beta-glukanu owsa o dużej masie molarnej, a nie o małej masie molarnej (BRUMMER i współaut. 2012, HE i współaut. 2016, WOLEVER i współaut. 2018). Istotny wpływ na zawartość węglowodanów prostych i indeks glikemiczny (IG) posiłków zawierających owies ma również sposób i czas obróbki termicznej oraz rodzaj użytego surowca. Dłuższy czas gotowania i użycie płatków owsianych będzie skutkować wyższym stosunkiem węglowodanów prostych do skrobi, jak również wyższym indeksem glikemicznym. Otręby owsiane charakteryzują się natomiast niższym IG oraz znacznie wyższym stosunkiem beta-glukan/glukoza, co wskazuje na istotny wkład lepkości beta-glukanu na odpowiedź glikemiczną organizmu (HARASYM i OŁĘDZKI 2018).

Wyniki wielu badań na ten temat pozwoliły zastosować na produktach spożywczych oświadczenie zdrowotne, które brzmi „Stosowanie beta-glukanów pochodzących z owsa lub jęczmienia w ramach posiłku pomaga ograniczyć wzrost poziomu glukozy we krwi po tym posiłku”. Oświadczenie takie może być stosowane wtedy, gdy produkt spożywczy zawiera co najmniej 4 g owsianego i/lub jęczmiennego beta-glukanu na każde 30g węglowodanów przyswajalnych spożytych w ramach jednego posiłku (KOMISJA EUROPEJSKA 2012).

WPLYW NA METABOLIZM LIPIDÓW

Spożycie beta-glukanów zbożowych ma potwierdzony korzystny wpływ na metabolizm lipidów. Właściwości obniżające poziom cholesterolu w osoczu krwi są znane od kilkudziesięciu lat i potwierdzają je liczne badania (DAOU i ZHANG 2012, NAKASHIMA i współaut. 2018). Efekt ten dotyczy obniżania całkowitego stężenia cholesterolu oraz lipoprotein o małej gęstości (LDL) w osoczu krwi, nie odnotowano natomiast wpływu na stężenie triglicerydów i lipoprotein o dużej gęstości (HDL) (REYNA-VILLASMIŁ i współaut. 2007, DAOU i ZHANG 2012, WHITEHEAD i współaut. 2014). Stężenie tych lipoprotein jest jednym z istotnych markerów ryzyka wystąpienia chorób układu sercowo-naczyniowego (CVD). Spożycie beta-glukanów owsa i/lub jęczmienia jest zatem czynnikiem prewencyjnym chroniącym przed CVD, co jest szczególnie ważne w krajach rozwinię-

tych, gdzie poziom ryzyka tych schorzeń jest wysoki (GRUNDY i współaut. 2018).

Opisane właściwości są związane przede wszystkim z działaniem beta-glukanów zbożowych jako błonnik pokarmowy i wychwytywaniem miceli kwasów żółciowych zawierających tłuszcze. Aktywność ta zakłóca oddziaływanie miceli z transporterami błonowymi, zwiększając w ten sposób wydalanie tłuszczu, kwasów żółciowych i cholesterolu wraz z kałem. Następnie, aby zrekompensować obniżenie stężenia kwasów żółciowych w osoczu krwi, wzrasta wątrobowa konwersja cholesterolu do kwasów żółciowych zmniejszając tym sposobem jego poziom w wątrobie. Skutkuje to wzrostem endogennej syntezy cholesterolu i prowadzi do zwiększenia aktywności 7 α -hydroksylazy i reduktazy HMG-CoA, co ostatecznie powoduje obniżenie stężenia cholesterolu LDL w osoczu krwi (DAOU i ZHANG 2012, NAKASHIMA i współaut. 2018).

Wyniki wielu badań, a w szczególności meta-analiz dotyczących opisanego wpływu beta-glukanów zbożowych na metabolizm lipidów (ABUMWEIS i współaut. 2010, TIWARI i CUMMINS 2011, WHITEHEAD i współaut. 2014) pozwoliły na dopuszczenie przez Komisję Europejską stosowania oświadczenia zdrowotnego, które brzmi: „Beta-glukany pomagają w utrzymaniu prawidłowego poziomu cholesterolu we krwi”. Oświadczenie to może być stosowane w odniesieniu do żywności zawierającej co najmniej 1g beta-glukanów pochodzących z owsa i/lub jęczmienia. Należy również podać konsumentom informację mówiącą, że korzystne działanie występuje w przypadku spożywania dziennie 3g beta-glukanów pochodzących z wyżej wymienionych źródeł (KOMISJA EUROPEJSKA 2012).

DZIAŁANIE PREBIOTYCZNE

Chociaż istnieje wiele czynników, które decydują o składzie flory bakteryjnej ludzkiej okrężnicy, sposób żywienia jest jednym z najważniejszych, ponieważ większość drobnoustrojów w jelicie pozyskuje energię do wzrostu poprzez rozkładanie złożonych związków zawartych w treści pokarmowej, takich jak niestrawialne włókno pokarmowe. Ilość i właściwości błonnika pokarmowego warunkują zatem skład mikrobioty jelitowej. W związku z tym skład populacji mikroorganizmów można zmieniać przez różne strategie żywieniowe, do których zalicza się stosowanie suplementów prebiotycznych. Według niektórych autorów polisacharydy, takie jak beta-glukany zbożowe, mogą działać jako prebiotyki i stymulować wzrost bakterii kwasu mlekowego w okrężnicy (HAMAKER i TUNCIL 2014).

Właściwości prebiotyczne wiążą się z procesem fermentacji przez bakterie kwasu mlekowego niestrawionych polisacharydów, podczas której powstają takie związki jak krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe (SCFA), wykazujące właściwości obniżające poziom cholesterolu we krwi oraz obniżające pH w świetle jelita grubego, co hamuje wzrost i rozwój drobnoustrojów patogennych. Wiele badań *in vitro* i *in vivo* wykazało, że beta-glukany zbożowe istotnie zwiększają wytwarzanie SCFA przez bakterie kwasu mlekowego bytujące w okrężnicy (IMMERSTRAND i współaut. 2010, SHEN i współaut. 2012, WILCZAK i współaut. 2015). Ponadto, beta-glukany wiążą się z receptorami dektyna-1 jelitowego układu odpornościowego (GALT), co jest jednym z mechanizmów regulacji populacji flory bakteryjnej jelit – os dektyna-1-IL-17F-kalprotektyna. Skutkiem tego działania jest utrzymanie homeostazy mikrobioty układu pokarmowego (KAMIYA i współaut. 2018). Polisacharydy te w konsekwencji powodują wzrost żywotności i liczebności bakterii z rodzaju *Bifidobacterium* i *Lactobacillus* oraz redukują liczbę bakterii *E. coli* i *Bacterioides* (HARASYM i współaut. 2016).

Właściwości prebiotyczne beta-glukanów zbożowych potwierdzają liczne badania *in vivo* prowadzone na szczurach (patrz spis literatury w SUCHECKA i współaut. 2017), w których wykazano takie efekty podażi beta-glukanów jak:

- wzrost zawartości rRNA *L. acidophilus*, kwasu octowego, propionowego i masłowego w kale;
- zmniejszenie liczby bakterii z grupy *E. coli* i *Bacterioides* oraz wzrost liczby *Lactobacillus*, a także wzrost stężenia SCFA w jelicie grubym i kale;
- korzystne zmiany zawartości wody, wartości pH, poziomu amoniaku i aktywności beta-glukuronidazy w kale.

Dotychczasowe badania z udziałem ludzi, choć nieliczne, potwierdzają potencjał prebiotyczny beta-glukanu z jęczmienia. Stwierdzono, że codzienne spożycie ciasta zawierającego beta-glukan jęczmienny (0,75 g w codziennej porcji) było dobrze tolerowane przez pacjentów (≥50 lat) i miało działanie bifidogenne. Zwiększyła się istotnie liczba *Bifidobacterium* w grupie z beta-glukanem, w porównaniu z brakiem zmian poziomu tych bakterii w grupie kontrolnej (MITSOU i współaut. 2010).

Badania wykazujące prebiotyczne właściwości beta-glukanów zbożowych skłaniają do tworzenia nowych produktów spożywczych będących żywnością funkcjonalną. Dodatek 1,4 % beta-glukanu owsa do mleka fermentowanego z kulturami jogurtowymi wzbogaconymi o szczep probiotyczny *Lactobacillus*

paracasei subsp. *paracasei* B117 spowodował wzrost liczby żywych komórek tego szczepu podczas przechowywania. Pozwoliło to uzyskać produkt probiotyczny łączący hipocholesterolemiczne, hipoglikemiczne i immunomodulujące działanie beta-glukanów (LAZARIDOU i współaut. 2014). RUSSO i współaut. (2016) poddali fermentacji probiotycznymi szczepami *Lactobacillus plantarum* mąkę owsianą w celu wytworzenia nowej żywności funkcjonalnej o ulepszonych cechach odżywczych i technologicznych. Żywotność bakterii i główne parametry technologiczne, fizykochemiczne, odżywcze i sensoryczne monitorowano w 7, 14 i 21 dniu przechowywania w chłodni. Na koniec okresu trwałości przeżywalność mikroorganizmów była znacznie wyższa. Przez cały okres przechowywania wykazano redukcję lepkości, zgodną z obserwowanym zmniejszeniem stężenia beta-glukanu. W próbce zaszczepionej szczepem *Lactobacillus plantarum* B2 było około dwukrotnie więcej witaminy B2 w porównaniu z pozostałymi próbkami (RUSSO i współaut. 2016).

DZIAŁANIE IMMUNOMODULUJĄCE I PRZECIWPALNE

Do kolejnych bardzo ważnych właściwości beta-glukanów zbożowych należy działanie immunomodulujące i przeciwzapalne. Częsteśćki tych polisacharydów mają zdolność bezpośredniego oddziaływania na aktywność jelitowego układu odpornościowego (GALT). Są one rozpoznawane przez układ immunologiczny w podobny sposób jak patogeny, m. in. w wyniku przenikania przez nabłonek jelita przy udziale komórek M znajdujących się w kępkach Peyera. Następnie komórki te prezentują antygen komórkom układu odpornościowego, takim jak monocyty, makrofagi, granulocyty czy komórki NK. To umożliwia wpływ na odpowiedź immunologiczną i syntezę różnych czynników pro- i przeciwzapalnych (SUCHECKA i współaut. 2017b, NAKASHIMA i współaut. 2018).

Beta-glukany są rozpoznawane przez komórki układu odpornościowego przy udziale takich receptorów jak: receptor układu dopełniacza 3 (CR-3), receptor dektyna-1, receptory toll-podobne (TLR)-2, TLR-4, TLR-6, laktozyloceramid (LacCer, CDw17) i receptory „zmiatające” znajdujące się m.in. na komórkach dendrytycznych, makrofagach i neutrofilach (NAKAYAMA i współaut. 2008, CHANPUT i współaut. 2012, HARASYM i współaut. 2016). Ze względu na fakt, iż badania dotyczące mechanizmów działania beta-glukanów były do tej pory przeprowadzone głównie na beta-glukanach grzybowych i drożdżowych, należy wziąć pod uwagę możliwość wiązania się beta-glukanów pochodzących ze zbóż z

innymi receptorami. W rozpoznawaniu beta-glukanów receptor dektyna-1 współdziała z TLR-2 i pośredniczy w syntezie czynnika martwicy nowotworów (TNF-alfa) poprzez aktywację czynnika transkrypcyjnego NFkB (ZHENG i współaut. 2016). NOSS i współaut. (2013) wykazali, że receptor dektyna-1 wiąże tylko struktury zawierające szkielet z wiązaniem β -1,3-glikozydowym, a nie wiąże się z liniowym beta-glukanem roślinnym o wiązaniach β -(1,3)-(1,4)-glikozydowych. Receptor układu dopełniacza 3 wiąże się natomiast z beta-glukanem jęczmienia i drożdży oraz innymi polisacharydami. Autorzy innego badania potwierdzają te spostrzeżenia (BOSE i współaut. 2014). Wykazali oni różnice w oddziaływaniu beta-glukanów na poszczególne receptory frakcji rozpuszczalnej i nierozpuszczalnej. Frakcja nierozpuszczalna pochodząca głównie z drożdży i grzybów kapeluszowych działa przez receptory dektyna-1 zlokalizowane na ludzkich komórkach jadrzastych krwi obwodowej, a frakcja rozpuszczalna pochodząca głównie z jęczmienia i owsa jest unieruchamiana na błonie przez receptor układu dopełniacza 3 (BOSE i współaut. 2014). Przytoczone badania pokazują istotne różnice w mechanizmie działania różnych frakcji beta-glukanów oraz słabo poznany mechanizm działania tych polisacharydów pochodzących ze zbóż. Pomimo tych różnic, należy podkreślić, że beta-glukany, niezależnie od pochodzenia, wywierają pozytywny wpływ na układ immunologiczny zwierząt i ludzi, co potwierdzają liczne badania *in vitro* i *in vivo* (HARASYM i współaut. 2016, SUCHECKA i współaut. 2017b, NAKASHIMA i współaut. 2018).

Z właściwościami immunomodulacyjnymi wiąże się przeciwzapalne działanie tych polisacharydów. BERMUDEZ-BRITO i współaut. (2015) przeprowadzili badanie *in vitro* dotyczące bezpośredniego oddziaływania różnych frakcji błonnika pokarmowego z komórkami nabłonka jelitowego i/lub komórkami dendrytycznymi. Wykazali, że beta-glukan pochodzący z jęczmienia działał poprzez receptory toll-podobne na komórki dendrytyczne, powodując zmniejszenie wydzielania przez nie cytokin prozapalnych, takich jak: IL-6, IL-8 i IL-12, oraz zwiększył stosunek IL-10/IL-12 (BERMUDEZ-BRITO i współaut. 2015). Inne badanie *in vitro* wykazało wpływ różnych beta-glukanów na zmniejszenie syntezy IL-12 indukowanej przez LPS oraz zwiększenie wydzielania IL-10 przez komórki dendrytyczne. Najwyższą aktywność wykazał beta-glukan o małej rozpuszczalności i strukturze mocno rozgałęzionej, natomiast beta-glukan owsa o dobrej rozpuszczalności i liniowej strukturze wykazał mniejszą aktywność (MIKKELSEN i współaut. 2014). ARE-

NA i współaut. (2016) również wykazali, że beta-glukany owsa i jęczmienia inkubowane z ludzkimi makrofagami THP-1 stymulowanymi LPS spowodowały obniżenie w nich poziomu ekspresji IL-8, IL-1 β , IL-6 i NF-kB.

Wykonano także badania *in vivo* na szczurach z ogólnoustrojowym stanem zapalnym wywołanym, poprzez dożylną podanie LPS, żywionych następnie paszą z dodatkiem beta-glukanów owsa (WILCZAK i współaut. 2015). Na podstawie zbiorczych danych dotyczących markerów prozapalnych (TNF-alfa i IL-12) i przeciwzapalnych (IL-10) oraz profilu populacji limfocytów śródnamionkowych i blaszki właściwej jelita grubego autorzy wykazali działanie przeciwzapalne beta-glukanów owsa, zwłaszcza beta-glukanu o małej masie cząsteczkowej (WILCZAK i współaut. 2015). Przeprowadzone w ramach tego samego projektu analizy mikromacierzy wykazały, że zmiany ekspresji genów obserwowane we krwi obwodowej wskazują na działania ochronne beta-glukanów owsa u szczurów z indukowanym stanem zapalnym. Wykazano również istotne różnice w ekspresji różnych genów między grupą karmioną paszą suplementowaną beta-glukanem o małej i dużej masie molowej (BŁASZCZYK i współaut. 2018). Przytoczone powyżej właściwości beta-glukanów zbożowych potwierdzają również wyniki LIU i współaut. (2015), którzy wykazali obniżenie poziomu ekspresji mRNA IL-1 β , IL-6 i TNF- α u myszy z wywołanym stanem zapalnym jelit, karmionych paszą z dodatkiem beta-glukanu owsa.

Pomimo małej ilości badań *in vivo* w zakresie działania immunomodulującego, podsumowując przytoczone powyżej wyniki można stwierdzić, że beta-glukany zbożowe mają silne właściwości przeciwzapalne i modulujące odpowiedź układu odpornościowego w stanie zapalnym. Wydaje się to istotne w odniesieniu do nieswoistych zapaleń jelit, ponieważ podaż tych polisacharydów może mieć działanie zarówno protekcyjne, jak i terapeutyczne w tej grupie schorzeń (NIE i współaut. 2017).

DZIAŁANIE PRZECIWNOWOTWOROWE

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania działaniem przeciwnowotworowym beta-glukanów różnego pochodzenia, w tym pochodzących ze zbóż. Przeprowadzone do tej pory badania *in vitro* wskazują na ich działanie proapoptyczne, antyproliferacyjne i cytotoksyczne w stosunku do różnych linii komórek nowotworowych (PARZONKO i współaut. 2015, SHAH i współaut. 2015, CHOROMAŃSKA i współaut. 2017). Badania CHOROMAŃSKIEJ i współaut. (2015) przeprowadzone w różnych latach wskazują na silne właściwości przeciwnowotworowe w

stosunku do różnych ludzkich komórek rakowych beta-glukanów owsa o małej i dużej masie molowej. Autorzy wykazali właściwości cytotoksyczne w stosunku do komórek ludzkiego czerniaka złośliwego (Me45) i raka epidermalnego (A431), natomiast nie wykazali takich właściwości dla niezmiennych nowotworowo komórek. W późniejszych latach wykazali również takie właściwości w stosunku do dwóch linii ludzkiego raka płuc (A549, H69AR) (CHOROMAŃSKA i współaut. 2017). Działanie proapoptyczne beta-glukanu owsa zostało potwierdzone w stosunku do innej linii ludzkich komórek czerniaka (HTB-140) (PARZONKO i współaut. 2015). Antyproliferacyjne właściwości wykazano natomiast w przypadku ludzkich komórek raka okrężnicy (Colo-205), komórek gruczolaka piersi (MCF7) i raka komórek nabłonkowych sutka (T47D). Efekt ten wzrastał wraz ze zmniejszeniem masy molowej tych polisacharydów (SHAH i współaut. 2015).

Badania modelowe wskazują na synergistyczny efekt podaży doustnej beta-glukanów zbożowych z konwencjonalnymi metodami terapii nowotworów złośliwych, takimi jak metoda fotodynamiczna, dożylna podawanie monoklonalnych przeciwciał czy leczenie przeciwciałami z klasy immunoglobulin G1 (RIEDER i SAMUELSEN 2012). Wykazano, że doustna podaż beta-glukanu jęczmienia zwiększa skuteczność terapii fotodynamicznej względem raka płuc u myszy, poprzez zwiększenie nekrozy guzów i hamowanie naprawy uszkodzonego przez tą terapię DNA komórek nowotworowych (AKRAMIENE i współaut. 2009, 2010).

W ostatnich latach ukazały się również wyniki badania z udziałem ludzi, którego celem było określenie wpływu doustnej podaży beta-glukanu jęczmienia na cytotoksyczność i genotoksyczność wód kałowych u pacjentów po polipektomii. Interwencja żywieniowa trwała 3 miesiące i po tym okresie autorzy wykazali znaczne zmniejszenie genotoksyczności wód kałowych w grupie otrzymującej pieczywo z beta-glukanem, w stosunku do nie otrzymującej go grupy kontrolnej. Wyniki sugerują, że spożywanie beta-glukanów zbożowych może zapewnić ochronę przed rozwojem raka jelita grubego (TURUNEN i współaut. 2016).

Beta-glukany zbożowe mają potencjał zarówno prewencyjny, jak i terapeutyczny względem różnego rodzaju nowotworów. Wydaje się, że właściwości przeciwnowotworowe tych polisacharydów mogą być najskuteczniejsze w stosunku do zmienionych nowotworowo komórek nabłonkowych jelita grubego, w przypadku których istnieje możliwość bezpośredniego kontaktu z tymi związkami bioaktywnymi.

MECHANIZMY PROZDROWOTNEGO DZIAŁANIA BETA-GLUKANÓW ZBOŻOWYCH W NIESWOISTYCH STANACH ZAPALNYCH JELIT

Obserwowany w ostatnich latach wzrost zachorowań na nieswoiste zapalenia jelit w krajach rozwijających się i rozwiniętych oraz związany z tym wzrost ryzyka zachorowania na nowotwory jelit, motywuje do poszukiwania nowych strategii leczenia i dietoterapii tej grupy schorzeń (RYDZEWSKA i GŁUSZEK-OSUCH 2016). W przebiegu NZJ występuje ogólnoustrojowy przewlekły stan zapalny, który związany jest ze stresem oksydacyjnym w obszarze układu pokarmowego. Jest to zaburzenie równowagi prooksydacyjnej i antyoksydacyjnej organizmu z przewagą stanu prooksydacyjnego (zaburzenie równowagi redoks). Spowodowane jest to nadmiernym wytwarzaniem reaktywnych form tlenu (ang. reactive oxygen species, ROS) oraz reaktywnych form azotu (ang. reactive nitrogen species, RNS), które powodują uszkodzenia komórek nabłonka jelitowego (KIM i współaut. 2012). Przy takich zaburzeniach istotne jest spożywanie z żywnością i/lub w postaci suplementów diety antyoksydantów, które mogą dotrzeć do okrężnicy w niestrawionej formie mającej nadal aktywność biologiczną, umożliwiającą zmiatanie wolnych rodników bezpośrednio w miejscu zapalenia. Do tego typu związków można zaliczyć beta-glukany należące do frakcji błonnika pokarmowego, które docierają do jelita grubego w formie niestrawionej i wykazują właściwości przeciwutleniające, a spożycie ich jest dobrze tolerowane przez organizm człowieka (VETVICKA i współaut. 2015).

Wyniki badań świadczą o tym, że ekstrakty beta-glukanów wykazują zdolność do wychwytywania reaktywnych form tlenu, co jest podstawowym mechanizmem aktywności przeciwutleniającej. Znacznie wyższą aktywność ma beta-glukan wyekstrahowany z jęczmienia w porównaniu do ekstraktów z owsa i czarnych drożdży, co sugeruje, że struktura i skład beta-glukanów wpływa na ich aktywność antyoksydacyjną (KOFUJI i współaut. 2012). Oprócz badań dotyczących fizycznej zdolności beta-glukanów owsa i jęczmienia do wychwytywania ROS jest kilka badań modelowych również wykazujących silną aktywność przeciwutleniającą tych związków w układach biologicznych, co skutkuje szybszym przywróceniem równowagi redoks organizmu w stanach patologicznych (ZHAO i współaut. 2014, SUCHECKA i współaut. 2015, WILCZAK i współaut. 2015).

Beta-glukany, jako frakcja błonnika pokarmowego, nie są trawione przez enzymy układu pokarmowego człowieka, co pozwala oddziaływać tym cząsteczkom na całej długości przewodu pokarmowego. Ponadto, w roz-

tworach wodnych tworzą lepkie żele odporne na działanie kwasów i enzymów przewodu pokarmowego. Właściwości te powodują powstawanie cienkiej żelowej powłoki pokrywającej wewnętrzną powierzchnię ścian poszczególnych odcinków jelit. Zjawisko to wydaje się być bardzo istotne w terapii NZJ, ze względu na występujące ubytki bariery śluzówki jelit oraz uszkodzone przez stan zapalny enterocyty i kolonocyty. Powstała cienka powłoka tworzy barierę ochronną przed szkodliwymi czynnikami zewnętrznymi, do których można zaliczyć toksyny znajdujące się w treści pokarmowej i soki trawienne mogące zwiększać stan zapalny (VETVICKA i współaut. 2015, WILCZAK i współaut. 2017). Jest to potencjalny mechanizm prozdrowotnego działania beta-glukanów w NZJ związany z właściwościami fizyko-chemicznymi tych polisacharydów.

Kolejny potencjalny mechanizm korzystnego wpływu beta-glukanów zbożowych na przebieg nieswoistych zapaleń jelit jest związany z ich właściwościami przeciwzapalnymi i immunomodulującymi, które zostały opisane wcześniej. Właściwości te wiążą się z bardziej złożonym oddziaływaniem na jelitowy układ odpornościowy oraz z bezpośrednim działaniem w obrębie ogniska zapalenia. Podczas aktywnej fazy nieswoistych zapaleń jelit obserwuje się podwyższony poziom cytokin prozapalnych, będących mediatorami stanu zapalnego, zarówno w ścianie jelit, jak również w osoczu krwi osób chorych (POLIŃSKA i współaut. 2009, NEURATH 2014). Beta-glukany oddziałując na receptory znajdujące się na komórkach układu immunologicznego, takich jak limfocyty czy makrofagi, powodują zmniejszenie syntezy tych mediatorów stanu zapalnego przez wspomniane komórki. Potwierdzeniem tego są wyniki badań modelowych przeprowadzonych przez zespół badaczy z Zakładu Fizjologii Żywienia SGGW w Warszawie oraz Central South University of Forestry and Technology from Changsha in China. Obydwa zespoły wykazały, że spożycie beta-glukanu owsa ma efekt zmniejszający stężenie wybranych cytokin prozapalnych w zmienionej zapalnie tkance okrężnicy (LIU i współaut. 2015, WILCZAK i współaut. 2015).

Opisane powyżej mechanizmy prozdrowotnego działania beta-glukanów owsa i jęczmienia wskazują na potencjalne zastosowanie tych polisacharydów jako czynnika chroniącego przed uszkodzeniami i zapaleniem nabłonka jelit, jak również terapeutycznego poprzez wyciszenie stanu zapalnego i przyspieszenie regeneracji zmian chorobowych.

PODSUMOWANIE

Prozdrowotne właściwości beta-glukanów zbożowych można podzielić na 2 grupy:

jedną wynikającą z właściwości fizykochemicznych oraz drugą związaną z działaniem przez specyficzne receptory. Do pierwszej można zaliczyć korzystny wpływ na poziom glikemii poposiłkowej, stężenie cholesterolu we krwi i profil mikrobioty przewodu pokarmowego (działanie prebiotyczne) oraz aktywność antyoksydacyjną. Druga grupa właściwości powiązana jest z działaniem przez wiązanie się tych polisacharydów ze specyficznymi receptorami znajdującymi się na komórkach układu odpornościowego, m.in. receptor dektyna-1, receptor układu dopełniacza 3 czy receptory toll-podobne. Receptory te są zaangażowane w modulację odpowiedzi immunologicznej organizmu, co wiąże się z działaniem przeciwzapalnym i przeciwnowotworowym beta-glukanów. Ze względu na rosnącą liczbę osób cierpiących na przewlekłe choroby niezakaźne, takie jak otyłość, cukrzyca, nieswoiste zapalenia jelit czy nowotwory jelita grubego, nie powinno zabraknąć tych polisacharydów jako czynnika protekcyjnego w diecie każdego człowieka. Ponadto, właściwości immunomodulujące i przeciwzapalne powodują, że związki te są potencjalnymi czynnikami terapeutycznymi w NZJ i w przyszłości być może pozwoli to na stworzenie doustnych preparatów dedykowanych pacjentom cierpiącym na te schorzenia, jako środków wspomagających terapię farmakologiczną.

Streszczenie

Beta-glukany to polisacharydy zbudowane z jednostek D-glukozy połączonych wiązaniami beta-glikozydowymi. Związki te są obecne w różnych produktach spożywczych, takich jak zboża, grzyby, drożdże czy wodorosty. Pochodzące ze zbóż beta-glukany są liniowymi polimerami dobrze rozpuszczalnymi w wodzie, które wykazują szereg właściwości prozdrowotnych. W niniejszej pracy dokonano przeglądu najnowszej literatury dotyczącej korzystnego wpływu beta-glukanów obecnych w zbożach na organizm ludzi i zwierząt oraz mechanizmów ich działania. Powszechnie wiadomo, że związki te skutecznie obniżają poziom cholesterolu i zmniejszają glikemię poposiłkową, co umożliwiło dopuszczenie stosowania oświadczeń zdrowotnych na produktach spożywczych zawierających odpowiednie ilości beta-glukanów pochodzących z owsa i/lub jęczmienia. Ponadto jest wiele dowodów wskazujących na silne właściwości immunomodulujące i przeciwzapalne tych związków, które wydają się być szczególnie istotne w terapii coraz powszechniej występujących, nieswoistych zapaleń jelit. Nieliczne badania z ostatnich lat wykazały również działanie prebiotyczne i przeciwnowotworowe tych polisacharydów.

LITERATURA

- ABUMWEIS S. S., JEW S., AMES N. P., 2010. *B-glucan from barley and its lipid-lowering capacity: A meta-analysis of randomized, controlled trials*. Eur. J. Clin. Nutr. 64, 1472-1480.
- AKRAMIENE D., GRAZELIENE G., DIDZIAPETRIENE J., KEVELAITIS E., 2009. *Treatment of Lewis lung*

- carcinoma by photodynamic therapy and glucan from barley. *Medicina* 45, 480-485.
- AKRAMIENE D., ALEKSANDRAVICIENE C., GRAZELIENE G., ZALINKEVICIUS R., SUZIEDELIS K., DIDZIAPETRIENE J., SIMONSEN U., STANKEVICIUS E., KEVELAITIS E., 2010. Potentiating effect of β -glucans on photodynamic therapy of implanted cancer cells in mice. *Tohoku J. Exp. Med.* 220, 299-306.
- ARENA M. P., RUSSO P., CAPOZZI V., RASCÓN A., FELIS G. E., SPANO G., FIOCCO D., 2016. Combinations of cereal β -glucans and probiotics can enhance the anti-inflammatory activity on host cells by a synergistic effect. *J. Funct. Foods* 23, 12-23.
- BERMUDEZ-BRITO M., SAHASRABUDHE N. M., RÖSCH C., SCHOLS H. A., FAAS M. M., DE VOS P., 2015. The impact of dietary fibers on dendritic cell responses in vitro is dependent on the differential effects of the fibers on intestinal epithelial cells. *Mol. Nutr. Food Res.* 59, 698-710.
- BŁASZCZYK K., GAJEWSKA M., WILCZAK J., KAMOLA D., MAJEWSKA A., HARASYM J., GROMADZKA-OSTROWSKA J., 2018. Oral administration of oat beta-glucan preparations of different molecular weight results in regulation of genes connected with immune response in peripheral blood of rats with LPS-induced enteritis. *Eur. J. Nutr.*, doi: 10.1007/s00394-018-1838-3.
- BOSE N., WURST L. R., CHAN A. S. H., DUDNEY C. M., LEROUX M. L., DANIELSON M. E., WILL P. M., NODLAND S. E., PATCHEN M. L., DALLE LUCCA J. J., LEBEDA F. J., VASILAKOS J. P., 2014. Differential regulation of oxidative burst by distinct β -glucan-binding receptors and signaling pathways in human peripheral blood mononuclear cells. *Glycobiology* 24, 379-391.
- BRUMMER Y., DUSS R., WOLEVER T. M. S., TOSH S. M., 2012. Glycemic response to extruded oat bran cereals processed to vary in molecular weight. *Cereal Chem.* 89, 255-261.
- BUTT M. S., TAHIR-NADEEM M., KHAN M. K. I., SHABIR R., BUTT M. S., 2008. Oat: Unique among the cereals. *Eur. J. Nutr.* 47, 68-79.
- CHANPUT W., REITSMA M., KLEINJANS L., MES J. J., SVELKOUH H. F. J., WICHES H. J., 2012. β -Glucans are involved in immune-modulation of THP-1 macrophages. *Mol. Nutr. Food Res.* 56, 822-833.
- CHOOI Y.C., DING C., MAGKOS F., 2019. The epidemiology of obesity. *Metab. Clin. Exp.* 92, 6-10.
- CHOROMAŃSKA A., KULBACKA J., HARASYM J., OLEDZKI R., SZEWCZYK A., SACZKO J., 2017. High- and low-molecular weight oat beta-glucan reveals antitumor activity in human epithelial lung cancer. *Pathol. Oncol. Res.* 24, 1-10.
- CHOROMAŃSKA A., KULBACKA J., REMBIALKOWSKA N., PILAT J., OLEDZKI R., HARASYM J., SACZKO J., 2015. Anticancer properties of low molecular weight oat beta-glucan - An in vitro study. *Int. J. Biol. Macromol.* 80, 23-28.
- DAOU C., ZHANG H., 2012. Oat beta-glucan: its role in health promotion and prevention of diseases. *Com. Rev. Food Sci. Food Saf.* 11, 355-365.
- GRUNDY M. M. L., FARDET A., TOSH S. M., RICH G. T., WILDE P. J., 2018. Processing of oat: The impact on oat's cholesterol lowering effect. *Food Funct.* 9, 1328-1343.
- HAMAKER B. R., TUNCIL Y. E., 2014. A perspective on the complexity of dietary fiber structures and their potential effect on the gut microbiota. *J. Mol. Biol.* 426, 3838-3850.
- HARASYM J., OLEDZKI R., 2018. Comparison of conventional and microwave assisted heating on carbohydrate content, antioxidant capacity and postprandial glycemic response in oat meals. *Nutrients* 10, 1-13.
- HARASYM J., WILCZAK J., GROMADZKA-OSTROWSKA J., 2016. β -glukan z owsa – właściwości immunostymulujące, przeciwzapalne, prebiotyczne i przeciwnowotworowe oraz charakterystyka metod jego wyodrębniania i ich wpływu na właściwości fizykochemiczne i charakterystykę aktywności. [W:] MACIĄG M., SZKLARCZYK M. (red.): *Rośliny w medycynie, farmacji i przemyśle*. Wydawnictwo Naukowe TYGIEL, Lublin, 49-66.
- HE L., ZHAO J., HUANG Y., LI Y., 2016. The difference between oats and beta-glucan extract intake in the management of HbA1c, fasting glucose and insulin sensitivity: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Food Funct.* 7, 1413-1428.
- IMMERSTRAND T., ANDERSSON K. E., WANGE C., RASCON A., HELLSTRAND P., NYMAN M., CUI S. W., BERGENSTÄHL B., TRÄGÄRDH C., ÖSTE R., 2010. Effects of oat bran, processed to different molecular weights of β -glucan, on plasma lipids and caecal formation of SCFA in mice. *Br. J. Nutr.* 104, 364-373.
- KAMIYA T., TANG C., KADOKI M., OSHIMA K., HATTORI M., SALJO S., ADACHI Y., OHNO N., IWAKURA Y., 2018. β -Glucans in food modify colonic microflora by inducing antimicrobial protein, calprotectin, in a Dectin-1-induced-IL-17F-dependent manner. *Mucosal. Immunol.* 11, 763-773.
- KASPRZAK M. M., LÆRKE H. N., BACH KNUDSEN K. E., 2012. Changes in molecular characteristics of cereal carbohydrates after processing and digestion. *Int. J. Mol. Sci.* 13, 16833-16852.
- KIM Y. J., KIM E. H., HAHM K. B., 2012. Oxidative stress in inflammation-based gastrointestinal tract diseases: Challenges and opportunities. *J. Gastroenterol. Hepatol.* 27, 1004-1010.
- KOFUJI K., AOKI A., TSUBAKI K., KONISHI M., ISOBE T., MURATA Y., 2012. Antioxidant Activity of β -Glucan. *ISRN Pharm.* 2012, e125864.
- KOMISJA EUROPEJSKA, 2012. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 432/2012 z dnia 16 maja 2012 r. ustanawiające wykaz dopuszczonych oświadczeń zdrowotnych dotyczących żywności, innych niż oświadczenia odnoszące się do zmniejszenia ryzyka choroby oraz rozwoju i zdrowia dzieci. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=celex%3A32012R0432>.
- LAZARIDOU A., SERAFEIMIDOU A., BILIADERIS C. G., MOSCHAKIS T., TZANETAKIS N., 2014. Structure development and acidification kinetics in fermented milk containing oat β -glucan, a yogurt culture and a probiotic strain. *Food Hydrocoll.* 39, 204-214.
- LIU B., LIN Q., YANG T., ZENG L., SHI L., CHEN Y., LUO F., 2015. Oat β -glucan ameliorates dextran sulfate sodium (DSS)-induced ulcerative colitis in mice. *Food Funct.* 6, 3454-3463.
- MIKKELSEN M. S., JESPERSEN B. M., MEHLSEN A., ENGELSEN S. B., FRØKLÆR H., 2014. Cereal β -glucan immune modulating activity depends on the polymer fine structure. *Food Res. Int.* 62, 829-836.
- MITSOU E. K., PANOPOULOU N., TURUNEN K., SPILITIS V., KYRIACOU A., 2010. Prebiotic potential of barley derived β -glucan at low intake levels: A randomised, double-blinded, placebo-

- bo-controlled clinical study. *Food Res. Int.* 43, 1086-1092.
- NAKASHIMA A., YAMADA K., IWATA O., SUGIMOTO R., ATSUKI K., OGAWA T., ISHIBASHI-OHGO N., SUZUKI K., 2018. β -Glucan in foods and its physiological functions. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 64, 8-17.
- NAKAYAMA H., IWAHARA C., TAKAMORI K., OGAWA H., IWABUCHI K., 2008. Lactosylceramide is a pattern recognition receptor that forms lyn-coupled membrane microdomains on neutrophils. *Immunol. Endocr. Metab. Agents Med. Chem.* 8, 327-335.
- NEURATH M. F., 2014. Cytokines in inflammatory bowel disease. *Nat. Rev. Immunol.* 14, 329-342.
- NIE Y., LIN Q., LUO F., 2017. Effects of non-starch polysaccharides on inflammatory bowel disease. *Int. J. Mol. Sci.* 18, e1372.
- NOSS I., DOEKES G., THORNE P. S., HEEDERIK D. J., WOUTERS I. M., 2013. Comparison of the potency of a variety of β -glucans to induce cytokine production in human whole blood. *Innate Immun.* 19, 10-19.
- PARZONKO A., MAKAREWICZ-WUJEC M., JASZEWSKA E., HARASYM J., KOZŁOWSKA-WOJCIECHOWSKA M., 2015. Pro-apoptotic properties of (1,3) (1,4)- β -D-glucan from *Avena sativa* on human melanoma HTB-140 cells in vitro. *Int. J. Biol. Macromol.* 72, 757-763.
- PERCZYŃSKA A., MARCINIAK-LUKASIAK K., ŻBIKOWSKA A., 2017. Rola β -glukanu w przeciwdziałaniu chorobom cywilizacyjnym. *Kosmos* 66, 379-388.
- POLIŃSKA B., MATOWICKA-KARNA J., KEMONA H., 2009. Cytokiny w nieswoistych zapalnych chorobach jelit. *Post. Hig. Med. Dośw.* 63, 389-394.
- REYNA-VILLASMI N., BERMÚDEZ-PIRELA V., MENGUAL-MORENO E., ARIAS N., CANO-PONCE C., LEAL-GONZALEZ E., SOUKI A., INGLET G. E., ISRAILI Z. H., HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ R., VALASCO M., ARRAIZ N., 2007. Oat-derived β -glucan significantly improves HDLC and diminishes LDLC and non-HDL cholesterol in overweight individuals with mild hypercholesterolemia. *Am. J. Ther.* 14, 203-212.
- RIEDER A., SAMUELSEN A. B., 2012. Do cereal mixed-linked β -glucans possess immune-modulating activities? *Mol. Nutr. Food Res.* 56, 536-547.
- RUSSO P., DE CHIARA M. L. V., CAPOZZI V., ARENA M. P., AMODIO M. L., RASCÓN A., DUEÑAS M. T., LÓPEZ P., SPANO G., 2016. *Lactobacillus plantarum* strains for multifunctional oat-based foods. *LWT - Food Sci. Technol.* 68, 288-294.
- RYDZEWSKA G. M., GLUSZEK-OSUCH M., 2016. Raport epidemiologiczno-społeczny. Nieswoiste zapalne choroby jelit – przeciwnik rosnący w siłę. <http://ippez.pl/wp-content/uploads/2019/03/Nieswoiste-zapalne-choroby-jelit-raport.pdf>.
- SHAH A., MASOODI F. A., GANI A., ASHWAR B. A., 2015. Effect of γ -irradiation on antioxidant and antiproliferative properties of oat β -glucan. *Radiat. Phys. Chem.* 117, 120-127.
- SHEN R. L., DANG X. Y., DONG J. L., HU X. Z., 2012. Effects of oat β -glucan and barley β -glucan on fecal characteristics, intestinal microflora, and intestinal bacterial metabolites in rats. *J. Agric. Food Chem.* 60, 11301-11308.
- SINGH S., DULAI P. S., ZARRINPAR A., RAMAMOORTHY S., SANDBORN W. J., 2017. Obesity in IBD: Epidemiology, pathogenesis, disease course and treatment outcomes. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 14, 110-121.
- SUCHECKA D., BŁASZCZYK K., HARASYM J., GUDEJ S., WILCZAK J., GROMADZKA-OSTROWSKA J., 2017a. Impact of purified oat 1-3, 1-4- β -D-glucan of different molecular weight on alleviation of inflammation parameters during gastritis. *J. Funct. Foods* 28, 11-18.
- SUCHECKA D., GROMADZKA-OSTROWSKA J., ŻYŁA E., HARASYM J., OCZKOWSKI M., 2017b. Selected physiological activities and health promoting properties of cereal beta-glucans. A review. *J. Anim. Feed Sci.* 26, 183-191.
- SUCHECKA D., HARASYM J. P., WILCZAK J., GAJEWSKA M., OCZKOWSKI M., GUDEJ S., BŁASZCZYK K., KAMOLA D., FILIP R., GROMADZKA-OSTROWSKA J., 2015. Antioxidative and anti-inflammatory effects of high beta-glucan concentration purified aqueous extract from oat in experimental model of LPS-induced chronic enteritis. *J. Funct. Foods* 14, 244-254.
- TIWARI U., CUMMINS E., 2011. Meta-analysis of the effect of β -glucan intake on blood cholesterol and glucose levels. *Nutrition* 27, 1008-1016.
- TURUNEN K. T., PLETS A. V., GEORGIADES P., TRIANAFILLIDIS J. K., KARAMANOLIS D., KYRIACOU A., 2016. Impact of β -glucan on the fecal water genotoxicity of polypectomized patients. *Nutr. Cancer* 68, 560-567.
- VETVICKA V., VANNUCCI L., SIMA P., 2015. Role of β -glucan in biology of gastrointestinal tract. *J. Nat. Sci.* 1, e129.
- WARRAICH H. J., RANA J. S., 2017. Dyslipidemia in diabetes mellitus and cardiovascular disease. *Cardiovasc. Endocrinol.* 6, 27-32.
- WHITEHEAD A., BECK E. J., TOSH S., WOLEVER T. M., 2014. Cholesterol-lowering effects of oat β -glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Am. J. Clin. Nutr.* 100, 1413-1421.
- WILCZAK J., BŁASZCZYK K., KAMOLA D., GAJEWSKA M., HARASYM J. P., JALOSIŃSKA M., GUDEJ S., SUCHECKA D., OCZKOWSKI M., GROMADZKA-OSTROWSKA J., 2015. The effect of low or high molecular weight oat beta-glucans on the inflammatory and oxidative stress status in the colon of rats with LPS-induced enteritis. *Food Funct.* 6, 590-603.
- WILCZAK J., JALOSIŃSKA M., HARASYM J., GROMADZKA-OSTROWSKA J., 2017. Dietoprofilaktyka w nieswoistym zapaleniu jelit. [W:] *Obraz społeczeństwa w badaniach naukowych*. NOWAK B. A., MACIĄG M. (red.). Wydawnictwo Naukowe TYGIEL, Lublin, 47-67.
- WOLEVER T. M. S., JENKINS A. L., PRUDENCE K., JOHNSON J., DUSS R., CHU Y., STEINERT R. E., 2018. Effect of adding oat bran to instant oatmeal on glycaemic response in humans – a study to establish the minimum effective dose of oat β -glucan. *Food Funct.* 9, 1692-1700.
- ZHAO Q., HU X., GUO Q., CUI S. W., XIAN Y., YOU S., CHEN X., XU C., GAO X., 2014. Physicochemical properties and regulatory effects on db/db diabetic mice of β -glucans extracted from oat, wheat and barley. *Food Hydrocoll.* 37, 60-68.
- ZHENG X., ZOU S., XU H., LIU Q., SONG J., XU M., XU X., ZHANG L., 2016. The linear structure of β -glucan from baker's yeast and its activation of macrophage-like RAW264.7 cells. *Carbohydr. Polym.* 148, 61-68.

KOSMOS Vol. 68, 2, 259–268, 2019

ŁUKASZ KOPIASZ

*Department of Dietetics, Faculty of Human Nutrition and Consumer Sciences, Warsaw University of Life Sciences, 159C,
Nowoursynowska Str., 02-776 Warszawa, E-mail: lukasz_kopiasz@sggw.pl*

HEALTH BENEFICIAL PROPERTIES AND MECHANISMS OF ACTION OF CEREALS BETA-GLUCANS

Summary

Beta-glucans are a group of polysaccharides consisting of D-glucose units linked by beta-glycosidic bonds. These compounds are found in various food products, such as cereals, mushrooms, yeast or seaweed. Cereal beta-glucans are linear polymers well-soluble in water which have a lot of pro-health properties. In this review the latest literature on the beneficial effects of cereal beta-glucans on human and animal organisms and their mechanisms of actions is discussed. It is widely known that these compounds are effectively lowering the cholesterol level and reduce postprandial glycemia, which allowed health claims to be accepted on foods containing certain concentration of beta-glucans from oats and/or barley. In addition, there is a lot of evidence showing strong immunomodulatory and anti-inflammatory properties of these compounds, which seem to be particularly important in the treatment of more and more commonly-occurring inflammatory bowel diseases. Few studies from recent years have also demonstrated the prebiotic and anticancer effects of these cereal polysaccharides.

Keywords: anti-inflammatory properties, barley, beta-glucan, immunomodulatory properties, inflammatory bowel disease, oat