

Možnosti využitia cereálneho (1,3-1,4) - β -D-glukánu v rôznych odvetviach priemyslu

Veronika Gregusová¹
Michaela Havrlentová²

¹ Univerzita sv. Cyrila a Metóda v Trnave; Nám. Herdu 2, 97101 Trnava; gregusova4@ucm.sk

² Univerzita sv. Cyrila a Metóda v Trnave; Nám. Herdu 2, 97101 Trnava. Výskumný ústav rastlinnej výroby; Bratislavská cesta 122, 921 68 Piešťany; michaela.havrlentova@ucm.sk

Grant: 18-0154

Název grantu: APVV

Oborové zamčrení: EI - Biotechnologie a bionika

© GRANT Journal, MAGNANIMITAS Assn.

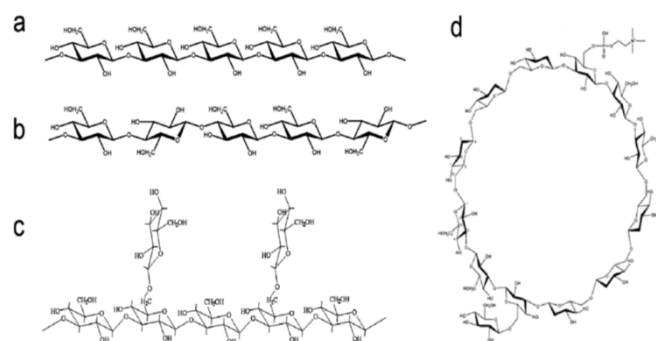
Abstrakt Ako prírodné nestrávitelné polysacharidy s β -glukany široko distribuované v obilninách, baktériách, hubách a riasach, kde tvoria bunkovú stenu alebo slúžia ako zdroj energie pre metabolizmus. Chemicky s β -glukány heterogénnym prírodným polymérom iných ako škrobové polysacharidy, zložené z -D-glukózy spojené rôznymi typmi väzieb. Zaujímajú o -glukány v rôznych odvetviach priemyslov vzrástol, potom ako sa objasnili jeho fyzikálne chemické vlastnosti ako aj o účinkov tejto bioaktívnej zlúčeniny, ktorá má biologické aktivity ako protirakovinové, protizápalové a imunomodulačné vlastnosti. Vzhľadom na špecifické fyzikálne vlastnosti -glukánu ako je čiastočná rozpustnosť vo vode, viskozita a želatinácia, ho čoraz viac používa potravinársky a kozmetický priemysel. Cieľom práce je prehľad možných priemyselných aplikácií a budúcich vyhládok použitia β -glukánov v potravinárskom, kozmetickom a medicínskom priemysle.

Kľúčová slova β -glukán, cereálie, bioaktívna zlúčenina

1. ŠTRUKTURÁLNE VLASTNOSTI β -GLUKÁNOV

Ako prírodné nestrávitelné polysacharidy s β -glukany široko distribuované v obilninách, baktériách, hubách a riasach, kde tvoria bunkovú stenu alebo slúžia ako zdroj energie pre metabolizmus (Stier a kol., 2014). Chemicky s β sú -glukány heterogénnym prírodným polymérom iných ako škrobové polysacharidy, zložené z -D-glukózy spojené rôznymi typmi väzieb. Napriek jednoduchému zloženiu monosacharidov vykazujú β -glukány značnú variabilitu v štruktúre. Veľmi sa líšia molekulovou hmotnosťou, stupňom rozvetvenia a typmi väzieb, ktoré sú signifikantné v závislosti od ich zdroja (Synytsya a kol. 2014). Najjednoduchšie lineárne β - (1,3) -glukány (obr.1a) sa nachádzajú ako štrukturálne polysacharidy bunkovej steny alebo intracelulárne ukladanie energie polysacharidov v baktériách a plesňových skleróciách. Kurdlan je typicky lineárny β - (1,3) -glukán produkovaný gramnegatívnymi baktériami, ako je *Agrobacterium* (Shivakumar a kol., 2006), ktorý sa používa ako prísady do potravín na stabilizáciu fyzikálnych vlastností výrobkov. Pachyman zo sklerócií huby bazidiomycéty *Poria cocos* je tiež lineárny β - (1,3) -glukán (Wang a kol., 2004). Na rozdiel od nich je celulóza, primárny stavebný prvok bunkových stien rastlín a rias, lineárny (1,4) β -D-glukán (Synytsya a kol.,

2014). Ďalší typ lineárnej štruktúry je lineárny (1,3 - 1,4) β -glukán, ktorý sa charakteristicky nachádza v bunkovej stene obilných zŕn, ako je jačmeň a ovos (obr. 1b) (Edney a kol., 1991). Poradie väzieb β - (1,3) - a β - (1,4) v reťazci nie je úplne náhodné. Vo väčšine prípadov sú dva alebo tri β - (1,4) -väzby oddelené jedným β - (1,3) -väzbou, ale môžu byť tiež použité dlhšie bloky až β 14 - (1,4) -spojených glukopyranózových jednotiek. prítomné (Ahmad a kol., 2012). Rozvetvené (1,3; 1,6) -glukány sú rozšírené v hnedých riasach (známych ako laminarín) (Chizhov a kol., 1998), v pekárskych kvasniciach (Stier a kol., 2014) a hubách, ako je *Lentinus edodes* (známy ako lentinan) (Stier a kol., 2014) a *Schizophyllum* (známy ako schizophyllan) (Yanaki a kol.,1985). Lentinan a schizofylan majú spoločnú štruktúru a - (1,3) -D-glukózového skeletu, pričom zvyšky - (1,6) -glukopyranozidu sa vetvia na každej tretej glukózovej jednotke (obr. 1c). Komplexná vetvová štruktúra vrátane cyklického (1,3; 1,6) - β -glukánu (obr. 1d), hyperrozvetveného (1,3; 1,4; β 6) -glukánu sa nachádza v baktériách v čeľadi *Rhizobiaceae* a huby *Pleurotus tuberregium* (Breedveld a kol., 1994; Tao a kol., 2006).



Obr. 1. (a) lineárny β - (1,3) - glukán, (b) lineárny (1,3 -1,4) - β -glukán, (c) štruktúra lentinanu, (d) cyklický (1,3-1,6) - β -glukán.

2. PRIAZNIVÉ ÚČINKY β -GLUKÁNOV

β -glukány sú známe ako funkčné potraviny, pretože sú schopné posilniť vrodenný aj adaptívny imunitný systém, a tým modulovať imunologické reakcie proti rakovine, baktériám, vírusom a zápalu (Bohn a kol., 1995). Výskumné štúdie preukázali, že lentinan

zvyšoval produkciu aktívnych látok v makrofágoch kostnej drene (Murata a kol., 2002) a stimuloval sekréciu produkcie nekrotického faktora (TNF-) alebo produkcie interleukínu-1 (IL-1) z monocytov a makrofágov (Fruehauf a kol., 1982; Yan a kol., 2003). Klinické štúdie tiež preukázali, že kombinácia lentinanu s konvenčnou chemoterapiou predĺžila životnosť pacientov s pokročilým karcinómom žalúdka a znížila vedľajšie účinky chemoterapie (Oba a kol. 2009). β -glukany izolované z iných húb, ako sú napríklad *Agaricus* a *Schizophyllum commune* (schizophyllum) tiež vykazovali imunitnú stimulačnú vlastnosť stimuláciou NK buniek, dendritických buniek na zvýšenie vylučovania cytokínov (Kozarski a kol., 2011; Okamura a kol., 1986; Yue a kol., 2012). Okrem hubových β -glukánov majú β -glukány z kvasiniek tiež schopnosť stimulovať imunitné reakcie na potlačenie chronického zápalu u diabetických myši (Cao a kol., 2018). Ďalej sú schválené β -glukany z ovsu na zníženie rizika koronárnych reakcií, srdcové choroby, vydané Úradom pre kontrolu potravín a liečiv (FDA) (FDA, 1997). Okrem toho sa uvádza, že konzumácia cereálnych β -glukánov znižuje hladinu plazmatického cholesterolu a reguluje koncentráciu glukózy v krvi, ako aj odpovede na inzulín (Hallfrish a kol. 2000; Hallfrish a kol. 2003). Je pozoruhodné, že hubové β -glukány, ako je lentinan, tiež prispievajú k hypocholesterolemickému účinku u ľudí tým, že znižujú hladinu lipoproteínov (HDL aj LDL) v krvi (Benkeblia a kol. 2014; Giavasis a kol., 2014). Medzitým sú β -glukány nestráviteľné a neschopné rozložiť v tenkom čreve kvôli nedostatku tráviacich enzýmov v ľudskom tele na hydrolyzovanie β -glukozidových väzieb, preto môžu tiež pôsobiť ako vlákna s prebiotickými vlastnosťami v prospech hostiteľa selektívnou reguláciou rastu a / alebo aktivity črevnej mikrobioty (Aida a kol. 2009). Uvádza sa, že laminarin, kurdlan, β -glukány z jačmeňa a huby sclerotia z *Pleurotus tuberregium* vykazovali porovnateľný bifidogénny účinok ako inulín pri stimulácii rastu bifidných baktérií (Zhao a kol., 2011).

3. APLIKÁCIE β -GLUKÁNOV V PRIEMYSLOCH

3.1 Aplikácie v potravinách

Cereálie, ako jačmeň a ovos sú vynikajúcim zdrojom β -glukánu, ktoré je možné získať z ovseného alebo jačmenného zrna. V potravinovom priemysle, hovoríme o funkčnej potravine, ak obsahuje viac ako 18% β -glukánu v sušine. Toto výrobok sa môže vyrábať ako aglomerovaná potravinárska prídavná látka s najmenej 18% β -glukán v sušine. Dnes už existujú metódy, ktoré zabezpečujú obohatenie produktu o túto potravinovú prísadu s β -glukánom (Cahill a kol., 2003). Sarteshnia a kol., (2015) optimalizovali formuláciu prebiotického klobásy s rezistentným škrobom, β -glukánom a škrobom podľa D-optimálneho prístupu pri navrhovaní zmesi. β -glukán mal znateľný účinok na fyzikálne a senzorické vlastnosti klobásy. Výsledkom je možná produkcia prebiotika v klobáse použitím kombinácie β -glukánu a rezistentného škrobu. Kittisuban a kol. (2014) analyzovali účinky hydroxypropylmetylcelulózy, β -glukánu z kvasiniek a srvátkového proteínového izolátu po fyzikálnej stránke na vlastnosti bezpečnostného chleba, ktorý bol pečený podľa rovnakej spôsobu ako chlieb z ryžového škrobu. Vďaka obohateniu kvasinkovým β -glukánom mal tento chlieb omnoho lepšie senzorické vlastnosti, čím bol zároveň prijatý. Navyše, Ďalej Rinaldi a kol. (2015) zistili, že jogurty, ktoré obsahujú β -glukán spolu s pektínom vykazovali rýchlejšiu proteolýzu a nižšie uvoľňovanie veľkých peptidov a vyšší podiel voľných aminokyselín ako tie, ktoré obsahujú škrob alebo bez β -glukánu. Predpokladala sa segregácia medzi β -glukánom a mliečnymi proteínmi vysvetľuje rýchlejšiu proteolýzu enzýmami a bielkovin. Bolo navrhnuté, že frakcie z jačmeňa a húb obohatené o β -glukán používané na výrobu pochutín určených na priamu konzumáciu. Výsledky ukázali, že zahrnutie týchto frakcií by mohol

potravinársky priemysel využiť na manipuláciu potravinových výrobkov a zníženiu glykemického dopovede konzumenta (Brennan a kol., 2013). Barone a kol. (2012) hodnotili tri nápoje obsahujúce jačmenný β -glukán alebo vlákna z ovocia, alebo bez vlákna. Výsledky ukázali, že nápoj je osladený sacharózou za predpokladu, že obsahuje 3 g β -glukánov z jačmeňa dokáže kontrolovať príjem potravy a môže dokonca znížiť 24 hodín príjem energie. Kim a kol. (2011) pripravili materiály obohatené o β -glukánom z huby *Lentinus edodes* ako náhrada pšeničnej múky. To by mohlo byť úspešne sa používa na výrobu koláčov obsahujúcich 1 g β -glukánu na porciu s atribútmi kvality podobné tým z kontroly.

3.2 Aplikácie v liekoch

Existuje posledná recenzia o klinických pokusoch o zdraví prospešných účinkov β -glukánových prípravkov podávaných orálne (Samuelsen a kol., 2014). β -Glukány sa používajú v niekoľkých klinických skúškach na testovanie ich všeobecných účinkov na zdravie a objasnenie ich mechanizmov (Tungland & Meye, 2002). Venkatachalam (2013) použil cyklické glukány ako obväzový materiál. Okrem toho Kofuji a kol. (2012) získal transparentný obväzový list vytvorením komplexu medzi β -glukánom a chitosan. Listy s komplexom β -glukán-chitosan vykazovali terapeutické účinky, ich efektívnosť bola porovnateľná alebo lepšia ako komerčný produkt na obväz na rany, kde sa táto efektívnosť hodnotila na ranách vytvorených na dorzálnych povrchoch myši. Výsledky tomu nasvedčovali plátky komplexu β -glukán-chitosan sú sľubným novým produktom na obväzovanie rán. Taktiež sa zistilo, že popáleniny čiastočnej hrúbky u detí je možné účinne liečiť β -glukánom s dobrými výsledkami, dokonca aj u kojencov a batoliat. β -glukán výrazne zjednodušil starostlivosť o ranu pacienta. (Delatte a kol., 2001). β -Glukány si zaslúžia zväčšenie ako terapeutické činidlá pri liečbe popálenín (Toklu a kol., 2006) a rany hojenie (Berdal a kol., 2007). V jednej štúdií sa predpokladal ochranný účinok β -glukánu. V inej štúdií Kim a kol. (2012) skúmal účinky kyseliny mliečnej-glykolovej na hojenie rán. Membrány obsahujúce β -glukán, ukázali, že membrány urýchlili hojenie rán zlepšením interakcie, proliferácie buniek a angiogenézy. Preto môžu byť tieto membrány užitočné ako náhrada kože na zosilnenie rany liečenie.

Očkovanie je najúčinnějšíou prevenciou v modernej medicíne a stále zohráva dôležitú úlohu pri prevencii a niektorých prípadoch až k eridikácii infekčných chorôb. Vývoj vakcín zahŕňa nielen vývoj nových vakcín proti chorobám, ako je AIDS, tuberkulóza a malária, ale aj vývoj jednorazových vakcín bez použitia ihliel. Okrem toho, vývoj nových terapeutických vakcín proti rakovine využívajúce špecifickosť imunitného systému sú nové, veľmi sľubné stratégie na zlepšenie liečby rakoviny (Vetvička a kol. 2020).

Prvé vakcíny boli založené na neutralizácii alebo zoslabení patogenity alebo toxicity pôvodcov chorôb. Rozširovanie vedeckých poznatkov, najmä v oblasti infekčnej imunológie, a nových biotechnológií umožnili vysoko sľubné stratégie na zlepšenie liečby napríklad aj pri rakovine. Preto je potrebný vývoj novších a bezpečnejších podjednotiek vakcín zložených z proteínov, peptidov alebo nukleových kyselín (Nabel, 2013).

Rovnako ako samotná vakcína je veľmi dôležitá forma transformácie účinných látok do systému. Jednou z možností, ktorá sa ukazuje ako veľmi sľubná je antigénová enkapsulácia v časticach na báze polyméru je prvotným nástrojom na lepšie dodanie vakcíny do sliznic. Slizničné epitely sú hlavnou bránou pre penetráciu patogénnych vektorov do organizmu. Z tohto hľadiska môže byť orálne očkovanie najdôležitejšie na ochranu pred enterickými patogénmi a čiastočne pred respiračnými patogénmi. Perorálne

podávané vakcíny obsahujúce celé oslabené patogénne mikroorganizmy môžu byť za určitých okolností menej účinné (napr. U niektorých pacientov so zníženou imunitou) a môžu v niekoľkých krajinách vyvolať ohniská infekčných chorôb podobných ohnisku obrny v roku 2000 (CDC, 2000) Nová a účinnejšia vakcinačná stratégia spočíva mikročasticových antigénnych nosičov, ktoré sa môžu použiť na dodanie a adjuvantnú integráciu, čím sa zvyšuje imunitná odpoveď (McNeela a kol. 2012).

Adjuvanty ako prídavné pomocné látky sú jednoduché alebo zložitejšie zlúčeniny, ktoré sa pridávajú do antigénov použité na imunizáciu alebo očkovanie, zvyšujú ich imunogenicitu (Garcon a kol. 2012). Početné tieto látky boli testované na schopnosť pôsobiť ako potenciálne adjuvans na zvieracích modeloch a v klinických štúdiách na ľuďoch a poskytli mnoho potenciálnych kandidátov na adjuvans (Olafsdottir a kol. 2015; Reed a kol. 2013). Niekoľko adjuvantov bolo schválených na humánne použitie, hoci žiadne na očkovanie cez sliznice (Sayers a kol. 2012). Z tohto hľadiska sa glukány vďaka svojim biologickým účinkom (konkrétne antioxidačné, protizápalové a imunomodulačné vlastnosti) javia ako najžiadanejší kandidát na použitie ako adjuvans (Kagimura a kol. 2015; Moreno- Mendieta a kol., 2017). Pretože tradičné adjuvansy, najmä hliník, môžu iba indukovať imunitnú odpoveď typu Th2, sú nové adjuvans veľmi potrebné. Vynikajúcou alternatívou môžu byť polysacharidy na báze sacharidov; pre prehľad pozri Li a Wang (Li, Wang, 2015). Imunogénna kapacita β -glukánov spočíva v ich molekulárnej štruktúre. Preto sú rozpoznávané ako molekulárne vzorce spojené s patogénom imunitnými bunkovými receptormi na neutrofiloch, makrofágoch a dendritických bunkách, ako sú napríklad Toll-like receptory, Dectin-1, CR3 a CD5. Tieto interakcie spúšťajú aktiváciu intracelulárnej signalizácie, po ktorej nasleduje expresia imunitných molekulárnych faktorov regulujúcich nešpecifické prirodzené a špecifické adaptívne imunitné reakcie (Goodridge a kol., 2009).

3.3 Využitie β -glukánu v kozmetickom priemysle

β -glukán sa všeobecne používa v ochranných krémoch, masťach už niekoľko desaťročí. Aktivita β -glukánu v týchto výrobkoch je zvýšenie produkcie kolagénu v tkanivách, redukcia vrások, celulitidy, zmiernenie akné, dermatitídy, ekzému, psoriázy a iných kožných ochorení. Zistilo sa, že β -glukán vytvára film, ktorý dopomáha zvláčňovať pokožku, čím podporuje hojenie rán. Pillai a kol. (2005) zistil, že prienik ovseného β -glukánu na modeloch ľudskej kože, klinicky vyhodnotili jeho účinnosť v znížení jemných vrások. Výsledky naznačili, že β -glukán hlboko preniká pokožku do epidermis a dermis. Tento výskum podporuje použitie β -glukánu pri starostlivosti a udržiavaní zdravej pokožky a pri kozmetickom ošetrovaní prejavov starnutia. Viac o tejto téme a pozitívnych účinkoch β -glukánu na pokožku a jeho vlastnosti je možné nájsť v článku Du a kol. 2013.

Zdroje

- AHMAD, A.; ANJUN, F.M.; ZAHOR, T. a kol. Beta glucan: a valuable functional ingredient in foods, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2012, ISSN: 1549-7852, vol.52 (1-3), s. 201–212.
- AIDA, F.M.N.A.; SHUAIMI, M.; YAZID, M. a kol. Mushroom as a potential source of prebiotics: a review, *Trends Food Sci. Technol.* 2009, ISSN: 0924-2244, vol. 20 (11–12), s.567–575.
- BARONE, R., AZZALI, D., FOGLIANO, V., SCALFI, L., & VITAGLIONE, P. Sugar and dietary fibre composition influence, by different hormonal response, the satiating capacity of a fruit-based and a β -glucan-enriched beverage. *Food and Function*, 2012, ISSN: 2042-650X, vol. 3, s.67-75.
- BERDAL, M., APPELBOM, H. I., EIKREM, J. H., LUND, A., a kol. Aminated beta-1,3-D-glucan improves wound healing in diabetic db/db mice. *Wound Repair and Regeneration*, *Biotechnol.* 2007, ISSN: 1860-7314, s.825-832.
- BOHN, J.A.; BEMILLER, J.N. β -Beta-D-glucans as biological response modifiers: a review of structure-functional activity relationships, *Carbohydr.Polym.* 1995, ISSN: 0144-8617, vol. 28 (1), s. 3–14.
- BREEDVELD, M.W.; MILLER, K.J. Cyclic beta-glucans of members of the family rhizobiaceae, *Microbiol. Rev.* 1994, ISSN: 0893-8512, vol. 58 (2), s. 145–161.
- BRENNAN, M. A., DERBYSHIRE, E., TIWARI, B. K., & BRENNAN, C. S. Integration of β -glucan fibre rich fractions from barley and mushrooms to form healthy extruded snacks. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2013, ISSN: 1573-9104, vol. 68, s.78-82.
- CAHILL, A. P., FENSKE, D. J., FREELAND, M., & HARTWIG, G. W. (2003). Beta-glucan process, additive and food product. US patent 6749885 B2.
- CAO, Y.; SUN, Y.; ZOU, S.W. a kol. Yeast beta-glucan suppresses the chronic inflammation and improves the microenvironment in adipose tissues of mice, *J. Agric. Food Chem.* 2018, ISSN: 0021-856, vol. 66 (3), s. 621–629
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC) (2000) Outbreak of poliomyelitis-- Dominican Republic and Haiti, 2000. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 49:1094-1103.
- CHIZHOV, A.O.; DELL, A.; MORRIS, H.R. a kol. Structural analysis of laminarans by MALDI and FAB mass spectrometry, *Carbohydr. Res.* 1998, ISSN: 0008-6215, vol. 310 (3), s.203–210.
- DELATTE, S. J., EVANS, J., HEBRA, A., & ADAMSON, W. Effectiveness of beta-glucan collagen for treatment of partial-thickness burns in children. *Journal of Pediatric Surgery*, 2001, ISSN:0022-3468, vol. 36, s.113-118.
- DU, B., BIAN, Z. X., & XU. B. J. Skin health promotion effects of natural beta-glucan derived from cereals and microorganisms: A review. *Phytotherapy Research*, 2014, ISSN: 1099-1573, vol. 28, s.159-166.
- EDNEY, M.J.; MARCHYLO, B.A.; MACGREGOR, A.W. Structure of total barley beta-glucan, *J. Inst. Brew.* 1991, ISSN: 0046-9750, vol.97 (1), s. 39–44.
- FDA, Final Rule for Food Labelling: Health Claims: Oats and Coronary Heart Disease, 62, Federal Regulations, 1997.
- FRUEHAUF, J.P.; BONNARD, G.D.; HERBERMAN, R.B. The effect of lentinan on production of interleukin-1 by human-monocytes, *In Immunopharmacology*, 1982, ISSN: 0162-3109, vol. 5(1), s. 65–74.
- GARÇON N, HEM S, FRIEDE M. Evolution of adjuvants across the centuries. In: Plotkin S, Orenstein W, Offit P, editors. *Vaccines*. 2012 Philadelphia, PA.: Elsevier Saunders, 58-70. ISBN: 9781455700905
- GIAVASIS, I. Bioactive fungal polysaccharides as potential functional ingredients in food and nutraceuticals, *Curr. Opin. Biotechnol.* 2014, ISSN: 0958-1669, vol. 26, s.162–173.
- GOODFRIDGE, H.S.; WOLF A.J.; UNDERHILL D.M. Beta-glucan recognition by the innate immune. *In Immunol Rev*, 2009; ISSN: 0105-2896, vol.230(1), s.38-50
- HALLFRISH, J.; SCHOLFIELD, D.J.; BEHALL, K.M. Physiological responses of men and women to barley and oat extracts (Nu-trimX). II. Comparison of glucose and insulin responses, *Cereal Chem.* 2003, ISSN: 0009-0352, vol. 80 (1), s. 80–83.

21. HE, Y., RAPPUOLLI, R., DE GROOT, A.S., CHE, R.T. Emerging vaccine informatics. *J Biomed Biotechnol.* 2010; ISSN: 1110-7251 s.2:
22. HALLFRISCH, J.; BEHALL, K.M. Improvement in insulin and glucose responses related to grains, *Cereal Foods World*, 2000, ISSN: 0146-6283, vol. 45 (2) s. 66–69.
23. KAGIMURA, F.Y., DA CUNHA, M.A., BARBOSA, A.M., DEKKER, R.F., MALFFATTI, C.R. (2015) Biological activities of derivatized D-glucans: a review. In *J Biol Macromol.* 2015, ISSN: 0141-8130, vol. 72. s.588-598.
24. KIM, H. L., LEE, J. H., LEE, M. H., KWON, B. J., & PARK, J. C. 837 Evaluation of electrospun (1,3) - (1,6)- β -D-glucans/biodegradable polymer as artificial skin for full-thickness wound healing. *Tissue Engineering Part A*, 2012, ISSN: 1937-335X, vol. 18, s. 2315-2322.
25. KIM, J., LEE, S. M., BAE, I. Y., PARK, H. G. a kol. (1-3) (1-6)- β -glucan-enriched materials from *Lentinus edodes* mushroom as a high-fibre and low-calorie flour substitute for baked foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, ISSN: 1097-0010, vol. 91, s. 1915-1919.
26. KITTISUBAN, P., RITTHIRUANGDEJ, P., & SUPHANTHARIKA, M. Optimization of hydroxypropylmethyl cellulose, yeast β -glucan, and whey protein levels based on physical properties of gluten-free rice bread using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 2014, ISSN: 2689-1816, vol. 57, s. 738-748.
27. KOFUJI, K., HUANG, Y., TSUBAKI, K., KOKIDO, F., MISHIKAWA, K., a kol. Preparation and evaluation of a novel wound dressing sheet comprised of β -glucan–chitosan complex. *Reactive and Functional Polymers*, 2010, ISSN: 1381-5148 vol. 70, s. 784-789
28. KOZARSKY, M.; KLAUS, A.; NIKSIC, M. a kol. Antioxidative and immunomodulating activities of polysaccharide extracts of the medicinal mushrooms *Agaricus bisporus*, *Agaricus brasiliensis*, *Ganoderma lucidum* and *Phellinus linteus*, *FoodChem.* 2011, ISSN: 0308-8146, vol.129 (4) s.1667–1675.
29. LI P, WANG F. Polysaccharides: Candidates of promising vaccine adjuvants. *Drug Discov Ther.* 2015, ISSN: 1881-784X, vol.9, s.88-93.
30. MCNEELA, E.A., LAVELLE, E.C. Recent advances in microparticle and nanoparticle delivery vehicles for mucosal vaccination. *Curr Top Microbiol Immunol.* 2012, ISSN: 0070-217X, vol. 354, s.75-99.
31. MORENO-MENDIETA, S., GUILLEN, D., HERNANDEZ-PANDO, R.; SANCHEZ, S.; RODRIGUEZ-SANOJA, R. Potential of glucans as vaccine adjuvants: A review of the alpha-glucans case. *Carbohydr Polym.* 2017, ISSN: 0144-8617, vol. 165, s.103-114.
32. MURATA, Y.; SHIMAMURA, T.; TAGAMI, T. a kol. The skewing to Th1 induced by lentinan is directed through the distinctive cytokine production by macrophages with elevated intracellular glutathione content, *Int. Immuno pharmacol.* 2002, ISSN: 1878- 1705, vol.2 (5), s. 673–689.
33. BENKEBLIA, N.; Polysaccharides Natural Fibers in Food and Nutrition, CRC Press, Boca Raton, FL, 2014, ISBN: 9781-46-6571-822
34. NABEL, G.J. Designing tomorrow's vaccines. *N Engl J Med.* 2013 ISSN: 1533-4406; vol. 368, s.551-560.
35. NEWSTED, D., FALLAHI, F., GOLSHANI, A., AZIZI, A. Advances and challenges in mucosal adjuvant technology. *Vaccine.* 2015, ISSN: 0264-410X, vol. 33, s.2399-2405.
36. OBA, K.; KOBAYASHI, M.; MATSUI, T. a kol. Individual patient based meta-analysis of lentinan for unresectable/recurrent gastric cancer, *Anticancer Res.* 2009, ISSN: 1791-7530, vol. 29 (7), s. 2739–2745.
37. OKAMURA, K.; SUZUKI, K. CHIHARA, T. a kol. Clinical evaluation of Schizophyllan combined with irradiation in patients with cervical cancer: a randomized controlled study, *Cancer.* 1986, ISSN: 1097-0142, vol. 58 (4), s. 865–872.
38. OLAFDOTTIR, T., LINDQVIST, M., HARANDI, A.M. Molecular signatures of vaccine adjuvants. *Vaccine.* 2015, ISSN: 0264-410X, vol. 33, s.5302-5307.
39. PILLAI, R., REDMOND, M., & RODING, J. Anti-wrinkle therapy: Significant new findings in the non-invasive cosmetic treatment of skin wrinkles with beta-glucan. *International Journal of Cosmetic Science*, 2005, ISSN: 0142-5463, vol. 27, s. 288-292.
40. REED, S.G., ORR, M.T., FOX, C.B. Key roles of adjuvants in modern vaccines. *Nat Med.* 2013, ISSN: 1546-170X, vol. 19, s.1597-1608.
41. RINALDI, L., RIOUX, L. E., BRITTEN, M., & TURGEON, S. L. In vitro bioaccessibility of peptides and amino acids from yogurt made with starch, pectin, or β -glucan. *International Dairy Journal*, 2015, ISSN: 0958-6946, vol. 46, s. 39-45.
42. SAMUELSEN, A. B., SCHREZENMEIR, J., & KNUTSEN, S. H. Effects of orally administered yeast-derived beta-glucans: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2014, ISSN: 1613-4133, vol. 58, s.183-193.
43. SARTESHNIZIA, R. A., HOSSEINIA, H., BONDARIANZADEHA, D., COLMENEROB, F. J., & KHAKSARA, R. Optimization of prebiotic sausage formulation: Effect of using β -glucan and resistant starch by D-optimal mixture design approach. *LWT - Food Science and Technology*, 2015, ISSN: 0023-6438, vol. 62, s.7 04-710.
44. SAYERS, S., ULYSSE, G., XIANG, Z., HE, Y. a web-based vaccine adjuvant database and its application for analysis of vaccine adjuvants and their uses in vaccine development. *J Biomed Biotechnol.* 2012, ISSN: 1110-7251, ID: 831486.
45. SHIVAKUMAR, S.; VIJAYENDRA, S.V.N. Production of exopolysaccharides by *Agrobacterium* sp. CFR-24 using coconut water - a byproduct of food industry, *Lett. Appl. Microbiol.* 2006, ISSN: 1365-2672, vol.42 (5), s. 477–482.
46. STIER, H.; EBBESKOTTE, V.; GRUENWALD, J. Immune-modulatory effects of dietary yeast beta-1,3/1,6-D-glucan, *Nutr. J.*, 2014, ISSN: 1475-2891, vol. 13, s. 32- 38.
47. SYNYSYA, A.; NOVAK, M. Structural analysis of glucans, *Ann. Transl. Med.* 2014, ISSN: 2305-5847, vol. 2 (2) s. 1-17.
48. TAO, Y.Z.; ZHANG, L. Determination of molecular size and shape of hyperbranched polysaccharide in solution, *Biopolymers*, 2006, ISSN: 1097-0282, vol. 83 (4), s. 414–423.
49. TOKLU, H. Z., SENER, G., JAHOVIC, N., USLU, B., ARBAK, S., & YEGEN, B. C. beta-glucan protects against burn-induced oxidative organ damage in rats. *International Immunopharmacology*, 2006, ISSN: 1567-5769, vol. 6, s. 156-169.
50. TUNGLAND, B. C., & MEYER, D. Non-digestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): Their physiology and role in human health and food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2002, ISSN: 1541-4337, vol. 1, s. 90-109
51. VENKATACHALAM, G., NARAYANAN, S., & DOBLE, M. Applications of cyclic β -glucans, in Name (1st), cyclic β -glucans from microorganisms: Production, properties and applications, Springer International Publishing ISBN: 2191-5385
52. VETVICKA, V, VANNUCCI, L, SIMA, P. β -glucan as a new tool in vaccine development. *Scand J Immunol.* 2020; ISSN: 1365-3083 91: e12833. <https://doi.org/10.1111/sji.12833>
53. WANG, Y.F.; ZHANG, M.; RUAN, D. a kol. Chemical components and molecular mass of six polysaccharides isolated from the sclerotium of *Poria cocos*, *Carbohydr. Res.* 2004, ISSN: 0008-6215, vol. 339 (2), s. 327–334.

54. YAN, J.; ZONG, H.L.; SHEN, A.G. a kol. The beta-(1→6)-branched beta-(1→3) glucohexaose and its analogues containing an alpha-(1→3)-linked bond have similar stimulatory effects on the mouse spleen as Lentinan, *Int. Immuno pharmacol.* 2003, ISSN: 1567-5769, vol. 3 (13–14), s. 1861–1871.
55. YANAKI, T.; TABATA, K.; KOJIMA, T. Melting behavior of a triple helical polysaccharide schizophyllan in aqueous-solution, *Carbohydr. Polym.* 1985, ISSN: 0144-8617, vol. 5 (4), s.275–283.
56. YUE, L.L.; CUI, H.X., LI, C.C. a kol. A polysaccharide from *Agaricus blazei* attenuates tumor cell adhesion via inhibiting E-selectin expression, *Carbohydr. Polym.* 2012, ISSN: 0144-8617, vol. 88 (4), s.1326–1333.
57. ZHAO, J.Y.; CHEUNG, P.C.K. Fermentation of beta-glucans derived from different sources by bifidobacteria: evaluation of their bifidogenic effect, *J. Agric. Food Chem.* 2011, ISSN: 1520-5118, vol. 59 (11), s. 5986–5992