

dopomoci k úspěšnému snížení výskytu patogenních mikroorganismů.

### Poděkování:

Príspevek vznikl za podpory projektů MZe ZEMĚ QK1910092 a MZe RO1423.

### Seznam literatury

- AALBAEK B., STENDERUP J., JENSEN H.E., VALBAK J., NYLIN B., HUDA A. (1994): Mycotic and algal bovine mastitis in Denmark. *Acta Pathologica Microbiologica et Immunologica Scandinavica*, 102 (6), s. 451–456. <https://doi.org/10.1111/j.1699-0463.1994.tb04898.x>.
- ALVES A. C., CAPRA E., MORANDI S., CREMONESI P., PANTOJA C. F., LANGONI H., DE VARGAS A. P. C., DA COSTA M. M., JAGIELSKI T., BOLANOS C. A. D., GUERRA S. T., RIBEIRO M. G. (2017): In vitro algicidal effect of guanidine on *Prototheca zopfii* genotype 2 strains isolated from clinical and subclinical bovine mastitis. *Letters in Applied Microbiology*, 64 (6), s. 419–423.
- AZZAM K., PARVIZI J., JUNGKIND D., HANSEN A., FEHRING T., SPRINGER B., BOZIC K., DELLA VALLE C., PULIDO L., BARRACK R. (2009): Microbiological, clinical, and surgical features of fungal prosthetic joint infections: a multi-institutional experience. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 91 (Suppl. 6), s. 142–149. doi: 10.2106/JBJS.I.00574.
- CAVALHEIRO M., TEIXEIRA M.C. (2018): *Candida* biofilms: threats, challenges, and promising strategies. *Frontiers in Medicine (Lausanne)*, 5 (28), s. 1–15. doi: 10.3389/fmed.2018.00028.
- CONTRERAS, G., RODRIGUEZ, J.M. (2011) Mastitis: comparative etiology and epidemiology. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia* 1, 16 (4), s. 339–356. doi: 10.1007/s10911-011-9234-0.
- ČSN EN 13697+A1 (66 5209) – Chemické dezinfekční přípravky a antiseptika – Kvantitativní zkouška na neporézním povrchu k vyhodnocení baktericidního a/nebo fungicidního účinku chemických dezinfekčních prostředků používaných pro potraviny, průmysl, domácnosti a veřejné prostory – Zkušební metoda a požadavky bez mechanického působení (fáze 2 / stupeň 2), platnost od 1. 2. 2020.
- ČSN EN 1650 (66 5203) – Chemické dezinfekční přípravky a antiseptika – Kvantitativní zkouška v suspenzi k hodnocení fungicidní nebo protikvasinkové aktivity chemických dezinfekčních přípravků a antiseptik používaných v potravinářství, průmyslu, domácnostech a veřejných prostorách – Zkušební metoda a požadavky (fáze 2 / stupeň 1), platnost od 1. 3. 2020.
- DWORECKA-KASZAK B., KRUTKIEWICZ A., D., KLECZKOWSKI M., BIEGAŃSKA M. (2012): High prevalence of *Candida* yeast in milk samples from cows suffering from mastitis in Poland, *Scientific World Journal*, Published online 2012 Apr 24. doi: 10.1100/2012/196347.
- GONÇALVES L.J., LEE S.H.I., ARRUDA E.P., GALLES D.P., CAETANO V.C., OLIVEIRA C.A.F., FERNANDES A.M., SANTOS M.V. (2015): Biofilm-producing ability and efficiency of sanitizing agents against *Prototheca zopfii* isolates from bovine subclinical mastitis. *Journal of Dairy Science*, 98 (6), s. 3613–3621. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9248>.
- JAGIELSKI T., KRUKOWSKI H., BOCHNIARZ M., PIECH T., ROESKE K., BAKUŁA Z., WLAZŁO L., WOCH P. (2019): Prevalence of *Prototheca* spp. on dairy farms in Poland—a cross-country study. *Microbial Biotechnology*, 12 (3), s. 556–566. doi: 10.1111/1751-7915.13394.
- JÁNOSI S., SZIGETI G., RÁTZ F., LAUKÓ T., KERÉNYI J., TENK M., KATONA F., HUSZENICZA A., KULCSÁR M., HUSZENICZA G. (2001): *Prototheca zopfii* mastitis in dairy herds under continental climatic conditions. *Veterinary Quarterly*, 23, s. 80–3.
- KLIMEŠOVÁ M., NEJESCHLEBOVÁ H., KUCHAROVIČOVÁ I., ROUBAL P., SEYDLOVÁ R. (2022): Tvorba biofilmu kvasinek izolovaných ze syrového mléka a účinnost dezinfekčních prostředků. *Mlékařské listy – Zpravodaj*, 191, 33 (2), s. 1–8.
- KVASNIČKOVÁ E., PALDRYCHOVÁ M., MAŤÁTKOVÁ O., MASÁK J. (2016): *Chemické Listy*, 110, s. 485–490.
- LASSA H., JAGIELSKI T., MALINOWSKI E. (2011). Effect of different heat treatments and disinfectants on the survival of *Prototheca zopfii*. *Mycopathologia*, 171, s. 177–182. doi 10.1007/s11046-010-9365-7.

- MUKHERJEE P.K., CHANDRA J. (2004): *Candida* biofilm resistance. *Drug Resistance Updates*, 7 (4), s. 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.drug.2004.09.002>.
- OJHA A.K., BAUGHN A.D., SAMBANDAN D., HSU T., TRIVELLI X., GUERARDEL Y., ALAHARI A., KREMER L., JACOBS JR. W.R., HATFULL G.F. (2008): Growth of *Mycobacterium tuberculosis* biofilms containing free mycolic acids and harbouring drug-tolerant bacteria. *Molecular Biology*, 69 (1), s. 164–174. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2008.06274.x>.
- OMAFRA (2023): *Prototheca – Nevíditelné nebezpečí* (on line). Staženo 24. 5. 2023. Dostupné z: <http://omafra.gov.on.ca/english/livestock/dairy/facts/danger.htm>.
- SUVAJDŽIĆ B., VASILEV D., KARABASIL N., VUČUROVIĆ I., ČOBANOVIĆ N., BABIĆ M., KATIĆ V. (2017). Molecular identification of *Prototheca zopfii* genotype 2 mastitis isolates and their influence on the milk somatic cell count. *Veterinarski Archiv*, 87 (3), s. 249–258. doi: 10.24099/vet.arhiv.151219.
- TANDE A.J., OSMON D.R., GREENWOOD-QUAINTANCE K.E., MABRY T.M., HANSEN A.D., PATEL R. (2014): Clinical characteristics and outcomes of prosthetic joint infection caused by small colony variant *Staphylococci*. *American society for Microbiology*, 5 (5), e01910-14. doi: 10.1128/mBio.01910-14.
- VYLETĚLOVÁ M., NEJESCHLEBOVÁ L., HANUŠ O. (2010): Sledování hlavních mastitidních patogenů. *Náš chov*, 2, s. 68–71. ISSN 0027-8068.
- ZADOKS, R., FITZPATRICK, J. (2009): Changing trends in mastitis. *Irish Veterinary Journal*, 62 (Suppl 4), S59–S70. doi: 10.1186/2046-0481-62-S4-S59.

### Korespondující autor:

doc. RNDr. Marcela Klimešová, Ph.D.

Výzkumný ústav mlékařenský s.r.o., Ke Dvoru 12a,  
160 00 Praha 6, email: marcela.vyletelova@seznam.cz

Přijato do tisku: 14. 6. 2023

Lektorováno: 11. 7. 2023

## EXOPOLYSACHARIDY BAKTERIÍ MLÉČNÉHO KVAŠENÍ A BIFIDOBakterií

Šárka Horáčková<sup>1</sup>, Irena Němečková<sup>2</sup>,

Blanka Vrchotová<sup>1</sup>, Jiří Štětina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ústav mléka, tuků a kosmetiky, VŠCHT Praha

<sup>2</sup> Výzkumný ústav mlékařenský, s.r.o. Praha

### Exopolysaccharides of lactic acid bacteria and bifidobacteria

### Abstrakt

Předložený článek shrnuje současné poznatky o struktuře exopolysacharidů produkovaných zástupci bakterií mléčného kvašení a bifidobakteriemi. Zvláště je pojednáno o struktuře a mechanismu vzniku homopolysacharidů a heteropolysacharidů. Další část se věnuje funkčně-zdravotním charakteristikám exopolysacharidů s důrazem na jejich prebiotický potenciál, antibakteriální

ní a antifungální aktivitu, možnosti ovlivnění tvorby biofilmu a koagregace s patogenními mikroorganismy. Je uvedena také jejich imunomodulační a antioxidační aktivita.

**Klíčová slova:** homopolysacharidy, heteropolysacharidy, prebiotika, antimikrobiální aktivita, imunomodulace

## Abstract

The article summarizes current knowledge about the structure of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria and bifidobacteria. In particular, the structure and mechanism of formation of homopolysaccharides and heteropolysaccharides are discussed. The next part is devoted to the functional-health characteristics of exopolysaccharides with an emphasis on their prebiotic potential, antibacterial and antifungal activity, the possibility of influencing biofilm formation and co-aggregation with pathogenic microorganisms. Their immunomodulating and antioxidant activity is also mentioned.

**Key words:** homopolysaccharides, heteropolysaccharides, prebiotics, antimicrobial activity, immunomodulation

## Úvod

Polysacharidy jsou látky, které se v přírodě hojně vyskytují a které vykazují velmi různorodou chemickou strukturu, fyzikální vlastnosti a biologické funkce. Jsou vytvářeny také řadou mikroorganismů, jako jsou řasy, plísně, bakterie i kvasinky. Většina bakteriálních buněk je pokryta vrstvou polysacharidů nazývaných glykokalyx. Pokud jsou tyto polymery pevně spojeny s buněčnou stěnou kovalentní vazbou, vytváří kapsule a jsou nazývány kapsulárními polysacharidy. Jiné polysacharidy mohou být pouze volně spojeny s buněčným povrchem elektrostatickými interakcemi nebo jsou zcela vylučovány do prostředí, kde vytváří „sliz“. Tyto látky jsou pak nejčastěji nazývány exopolysacharidy (EPS) (Tytgat a Lebeer, 2014). EPS bakterií se dělí na homopolysacharidy (HoPS), které jsou tvořeny opakujícími se monosacharidovými jednotkami, a na heteropolysacharidy (HePS) složené z více různých monosacharidů. Tvorba EPS může být pro buňku důležitá z několika důvodů, např. je to ochrana proti vnějšímu prostředí, vůči toxickým látkám, proti stresovým podmínkám (změny v pH, teplotě, změny osmotického tlaku) nebo proti napadení fágy. Použití kmenů produkujících EPS je z důvodů technologických a konzistenčních relevantní u výroby fermentovaných výrobků, sýrů či v pekařství (Tiwari a kol., 2021; Nepomuceno a kol., 2016). Nedávné výzkumy však potvrzují také pozitivní účinky EPS na fyziologické funkce či jejich významnou antimikrobiální aktivitu. Předložený článek shrnuje informace o EPS bakterií mléčného kvašení (BMK) a bifidobakterií s důrazem na jejich funkční vlastnosti.

Homopolysacharidy mohou být rozděleny na glukany ( $\alpha$  a  $\beta$ ), fruktany a galaktany (Lynch a kol., 2018). Podrobnější dělení je uvedeno v Tabulce 1. Na rozdíl od BMK nebyly publikovány studie o syntéze a uvolňování HoPS do exocelulárního prostředí u rodu *Bifidobacterium*. HoPS jsou tvořeny pomocí extracelulárních enzymů (glykosylhydrolázy) glukán-sacharázy nebo fruktán-sacharázy za využití sacharázy jako donoru odpovídajícího monosacharidu a přenesením tohoto zbytku na redukující konec prodlužujícího se HoPS nebo pomocí glukosyltransferázy ( $\beta$ -glukany) (van Hijum a kol., 2006).

## Exopolysacharidy bakterií mléčného kvašení a bifidobakterií

Heteropolysacharidy BMK a bifidobakterií mají složitější strukturu, mohou být složeny z jednotek pentóz (D-ribóza, D-arabinoza, D-xyulóza), hexóz (D-glukóza, D-galaktóza, L-rhamnóza, D-manóza, L-fukóza), N-acetylovaných monosacharidů (N-acetylglukosamin, N-acetylgalaktosamin) nebo D-glukuronové a D-galakturonové kyseliny. Některé příklady složení jsou uvedeny v Tabulce 2. Mohou být větvené i nevětvené s vazbami  $\beta$ -(1,4) nebo  $\beta$ -(1,3) a  $\alpha$ -(1,2) nebo  $\alpha$ -(1,6). Biosyntéza HePS je složitější než biosyntéza HoPS, protože zahrnuje aktivitu několika genů organizovaných v eps-klastrech, které mají podobné předpokládané funkce u bifidobak-

**Tab. 1** Homopolysacharidy tvořené bakteriemi mléčného kvašení (upraveno dle Jurášková a kol., 2022; Zhou a kol., 2019)

Homopolysacharid		Příklad produkčního mikroorganismu	Struktura
$\alpha$ -D-glukany	Dextrany	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>L. citreum</i>	$\alpha$ -D-Glc(1,6)
		<i>Limosilactobacillus fermentum</i> , <i>Limosilactobacillus reuteri</i> , <i>Lentilactobacillus parabuchneri</i> , <i>Latilactobacillus curvatus</i> , <i>Weissella cibaria</i> , <i>W. confusa</i> , <i>Streptococcus salivarius</i>	
	Mutany	<i>Limosilactobacillus reuteri</i> , <i>Streptococcus mutans</i> , <i>S. salivarius</i>	$\alpha$ -D-Glc(1,3)
	Alternany	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>L. citreum</i> , <i>Streptococcus salivarius</i>	$\alpha$ -D-Glc(1,6)/ $\alpha$ -D-Glc(1,3)
	Reuterany	<i>Limosilactobacillus reuteri</i>	$\alpha$ -D-Glc(1,4)/ $\alpha$ -D-Glc(1,6)
$\beta$ -glukany		<i>Levilactobacillus brevis</i>	$\beta$ -D-Glc(1,3) s postranním řetězcem (1,2)
Fruktany	Levany	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Limosilactobacillus reuteri</i> , <i>Streptococcus mutans</i>	$\beta$ -D-Fru(2,6)
	Inulinový typ	<i>S. mutans</i> , <i>Limosilactobacillus reuteri</i> , <i>Lactobacillus johnsonii</i>	$\beta$ -D-Fru(2,1)
Polygalaktany		<i>Lactococcus lactis</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> , <i>Weissella confusa</i>	$\beta$ -D-Gal(1,6)

**Tab. 2** Příklady monomerního složení heteropolysacharidů vybraných BMK a bifidobakterií (převzato a upraveno dle Jurášková a kol. (2022) a Llamas-Arriba a kol. (2019))

Produkční mikroorganismus	Monomerní jednotky
<i>Bifidobacterium longum</i> , <i>B. infantis</i>	rhamnóza, galaktóza, glukóza
<i>Streptococcus thermophilus</i> CH101	glukóza, galaktóza
<i>S. thermophilus</i> LY03	glukóza, galaktóza, N-acetylgalaktosamin
<i>S. thermophilus</i> NIZO2104	galaktóza, ribóza, N-acetylgalaktosamin, glukóza
<i>L. delburekii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> CNRZ 1187	rhamnóza, arabinóza, manóza, galaktóza, glukóza
<i>L. delburekii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> DGCC291	glukóza, galaktóza
<i>Lactocaseibacillus casei</i> WXD030	glukóza, glukosamin, manóza
<i>Lactobacillus helveticus</i> MB2-1	glukóza, manóza, galaktóza, rhamnóza, arabinóza
<i>Lactobacillus kefiranofaciens</i> WT-2B	kefiran: glukóza a galaktóza
<i>Lactobacillus sakei</i> O-1	glukóza, rhamnóza
<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> JLK0142	glukóza, galaktóza
<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> WLPL04	xylóza, glukóza, galaktóza

terií a laktobacilů. Klastry eps obsahují geny kódující glykosyltransferázy, které se podílejí na biosyntéze opakujících se jednotek, proteiny související s polymerací a exportem těchto jednotek, jakož i další geny s neznámými funkcemi včetně mobilních elementů (Ferrario a kol., 2016; Jiang a Yang, 2018). Podrobnější informace o syntéze a struktuře dosud známých EPS lze nalézt v souhrnné práci Zeidan a kol. (2017), Zhou a kol. (2019) nebo Castro-Bravo a kol. (2018). Pro objasnění struktury se využívají metody extrakce, enzymové hydrolyzy, FTIR spektroskopie, nukleární magnetické rezonance a kapalinové nebo plynové chromatografie s hmotnostní spektroskopií (Padmanabhan a Shah, 2020). Byly popsány unikátní struktury, od tří do devíti monomerů, které nejsou spojeny s určitým rodem nebo druhem, ale každá jednotka je závislá na produkujícím kmeni. Rozdíly ve složení, typu vazeb a větvení vedou k velké variabilitě polymerní struktury a velikosti molekul (obvykle  $10^4$  –  $10^8$  Da), což má za následek různé vlastnosti produkovaných EPS.

## Funkčně-zdravotní vlastnosti exopolysacharidů

Kromě již zmíněné technologické funkce ovlivňující reologické vlastnosti potravin fermentovaných bakteriemi s produkcí EPS, byla v poslední době publikována řada studií zabývajících se dalším působením EPS souvisejícím s fyziologickými funkcemi. Byla vyslovena hypotéza, že bakteriální EPS mohou díky svému chemickému složení projít nestráveny do tlustého střeva a tam působit jako prebiotika. Například ve studii Grosu-Tudor a kol. (2013) byla potvrzena utilizace čtyř HoPS a dvou HePS izolovaných z různých druhů BMK kmeny bifidobakterií nebo laktobacilů, ale ne utilizace kmeny rodu *Clostridium* spp. nebo *Resoburia* spp. Při testování *in vivo* ovlivnily EPS z *Leuconostoc pseudomesenteroides* mikrobiotu pokusných myší (Pan a kol., 2020). Na studium prebiotických vlastností EPS izolovaných z BMK a bifidobakterií včetně jejich vlivu na přežívání podmínek trávicího traktu u samotného produkčního kmene se

zaměřují nejnovější vědecké publikace (Xu a kol., 2022; Lee a kol., 2022).

Bylo také zjištěno, že EPS BMK mají často významnou antimikrobiální aktivitu vůči patogenním bakteriím a kvasinkám. EPS z *L. rhamnosus* vykázaly antibakteriální aktivitu vůči *Salmonella enterica* serovar Typhimurium a *E. coli* (Rajoka a kol., 2018). V jiné práci HePS potlačovaly růst patogenů včetně *Listeria monocytogenes* (Rani a kol., 2018). Mechanismus účinku není zcela jasný, ale zdá se, že přítomnost funkčních skupin na EPS, jako jsou karbonyly, fosfáty a hydroxylové skupiny, může být za antimikrobiální a také za antioxidační aktivitu zodpovědná (Rajoka a kol., 2020). Antikvasinková aktivita EPS

je nejvíce testována vůči patogennímu druhu *Candida albicans*, kdy se ukázalo, že např. EPS z *L. rhamnosus* GG snižovaly hyfální růst a adhezi kvasinky na vaginální epiteliální buňky (Allonsius a kol., 2017). V tomto ohledu jsou zajímavé experimenty prováděné s izogenními mutanty, ve kterých jsou porovnávány účinky kmene produkujícího EPS a stejného kmene, u kterého byly geny zodpovědné za produkci EPS vyřazeny. EPS mohou být aktivní nejen při redukci hyf, ale vytvářet také kompetitivní prostředí pro adhezi na střevní epitel (Allonsius a kol., 2017). Dalším mechanismem antimikrobiálního působení *in vivo* může být rovněž vyšší koagregace s patogeny prostřednictvím EPS substance. Koagregace je jeden z typicky testovaných fenotypových znaků při *in vitro* charakterizaci probiotik, neboť se předpokládá, že snižuje schopnost adheze nežádoucích mikroorganismů na střevní epitel (Khalil a kol., 2018).

Na druhou stranu ale bylo v několika studiích prokázáno, že přítomnost EPS obklopující buňku, zejména těch s vysokou molekulární hmotností, snižuje samotnou adhezi kmene ke střevním buňkám i k abiotickým povrchům pravděpodobně v důsledku stínění povrchových molekul působících jako adheziny. Snižování adhezni kapacity kmene *in vitro* může mít negativní dopad na střevní kolonizaci. U kmene *L. plantarum* Lp90 zlepšila delece genového clusteru pro produkci EPS jeho adhezi ke Caco2 buňkám ve srovnání s původním kmenem (Lee a kol., 2016). Stejný závěr pro kmen *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* DSM10140 publikoval také Castro-Bravo a kol. (2017) – u varianty kmene s táhlovitým charakterem byla zeslabena tvorba biofilmu na povrchu zlata, skla nebo polystyrenu.

Mezi další studované zdravotně-funkční vlastnosti EPS patří jejich schopnost imunomodulace, antioxidační aktivity nebo schopnost snižování cholesterolu. Prostřednictvím buněčné stěny a také prostřednictvím EPS mohou BMK a bifidobakterie interagovat se specifickými receptory hostitelských buněk a stimulovat signální molekuly imunitního systému (Chen a kol., 2019). Stejně tak byla *in vitro* prokázána schopnost

zhášení hydroxylových a superoxidových radikálů (Zhu a kol., 2018).

## Závěr

Bakterie mléčného kvašení a bifidobakterie jsou v potravinářském průmyslu využívány jako kvasné bakterie i jako probiotické kultury, jejichž zdravotní efekt je potvrzen mnoha studiemi. Nicméně v posledních letech se testování jejich účinků soustředí na molekulární úroveň. Exopolysacharidy těchto bakterií mohou hrát celou řadu pozitivních rolí a jsou pokládány za jednu z možností, jak probiotické bakterie uplatňují svoje zdraví podporující účinky. Kmeny se zvýšenou produkcí EPS nebo extrakty EPS mohou být s úspěchem využívány pro svoji technologickou funkci, ale také jako nositelé zdravotně-funkčních benefitů.

## Poděkování

Článek vznikl za podpory Národní agentury pro zemědělský výzkum Ministerstva zemědělství ČR při řešení projektu QK22010186 v programu ZEMĚ.

## Literatura

- ALLONSIUS C.N., VAN DEN BROEK M.F.L., DE BOECK I., KIEKENS S., OERLEMANS E.F. M., KIEKENS F., *et al.* (2017): Interplay between *Lactobacillus rhamnosus* GG and Candida and the involvement of exopolysaccharides. *Microb. Biotechnol.*, 10, s. 1753–1763.
- CASTRO-BRAVO N., HIDALGO-CANTABRANA C., RODRIGUEZ-CARVAJAL M.A., RUAS-MADIEDO P., MARGOLLES A. (2017): Gene replacement and fluorescent labeling to study the functional role of exopolysaccharides in *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis*. *Front. Microbiol.*, 8, 1405.
- CASTRO-BRAVO N., WELLS J.M., MARGOLLES A., RUAS-MADIEDO P. (2018): Interactions of surface exopolysaccharides from *Bifidobacterium* and *Lactobacillus* within the intestinal environment. *Front. Microbiol.*, 9, 2426.
- CHEN Y.-C., WU Y.-J., HU C.-Y. (2019): Monosaccharide composition influence and immunomodulatory effects of probiotic exopolysaccharides. *Int. J. Biol. Macromol.* 133, s. 575–582.
- FERRARIO C., MILANI C., MANCABELLI L., LUGLI G.A., DURANTI S., MANGIFESTA M., *et al.* (2016): Modulation of the eps-ome transcription of bifidobacteria through simulation of human intestinal environment. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 92, 056.
- GROU-TUDOR S., ZAMFIR M., VAN DER MEULEN R., FALONY G., VUJST L.C. (2013): Probiotic potential of some exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria. *Romanian Biotechnol. Lett.*, 18, s. 8666–8676.
- JIANG Y., YANG, Z. (2018): A functional and genetic overview of exopolysaccharides produced by *Lactobacillus plantarum*. *J. Funct. Foods*, 47, s. 229–240.
- JURÁŠKOVÁ D., RIBEIRO S.C., SILVA C.C.G. (2022): Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: From biosynthesis to health-promoting properties. *Foods*, 11, 156.
- KHALIL E.S., MANAP M.Y.A., MUSTAFA S., ALHELLI A.M., SHOKRYAZDAN P. (2018): Probiotic properties of exopolysaccharide-producing *Lactobacillus* strains isolated from Tempoyak. *Molecules*, 23(2), 398.
- LLAMAS-ARRIBA M.G., PEIROTÉN Á., PUERTAS A.I., PRIETO A., LÓPEZ P., PARDO M.Á., RODRÍGUEZ E., DUEÑAS M.T. (2019): Heteropolysaccharide-producing bifidobacteria for the development of functional dairy products. *LWT – Food Sci. Technol.*, 102, s. 295–303.
- PAGES 295-303, LEE I.C., CAGGIANIELLO G., VAN SWAM I.I., TAVERNE N., MEIJERINK M., BRON P. A., *et al.* (2016): Strain-specific features of extracellular polysaccharides and their impact on *Lactobacillus plantarum*-host interactions. *Appl. Environ. Microbiol.*, 82, s. 3959–3970.
- LEE M.-G., JOENG H., SHIN J., KIM S., LEE C., SONG Y., LEE B.-H., PARK H.-G., LEE T.-H., JIANG H.-H., *et al.* (2022): Potential probiotic properties of exopolysaccharide producing *Lactocaseibacillus paracasei* EPS DA-BACS and prebiotic activity of its exopolysaccharide. *Microorganisms*, 10, 2431.
- LYNCH K.M., COFFEY A., ARENDT E.K. (2018): Exopolysaccharide producing lactic acid bacteria: Their techno-functional role and potential application in gluten-free bread products. *Food Res. Int.*, 110, s. 52–61.
- NEPOMUCENO R.S.C., COSTA JUNIOR L.C.G., COSTA R.G.B. (2016): Exopolysaccharide-producing culture in the manufacture of Prato cheese. *LWT – Food Sci. Technol.*, 72, s. 383–389.
- PADMANABHAN A., SHAH N.P. (2020): Structural characterization of exopolysaccharide from *Streptococcus thermophilus* ASCC 1275. *J. Dairy Sci.*, 103, s. 6830–6842.
- PAN L., HAN Y., ZHOU Z. (2020): In vitro prebiotic activities of exopolysaccharide from *Leuconostoc pseudomesenteroides* XG5 and its effect on the gut microbiota of mice. *J. Funct. Foods*, 67, 103853.
- RAJOKA M.S.R., JIN M., HAOBIN Z., LI O., SHAO D., JIANG C., HUANG O., YANG H., SHI J., HUSSAIN N. (2018): Functional characterization and biotechnological potential of exopolysaccharide produced by *Lactobacillus rhamnosus* strains isolated from human breast milk. *LWT – Food Sci. Technol.*, 89, s. 638–647.
- RAJOKA M.S.R., WU Y., MEHWISH H.M., BANSAL M., ZHAO L. (2020): *Lactobacillus* exopolysaccharides: New perspectives on engineering strategies, physicochemical functions, and immunomodulatory effects on host health. *Trends Food Sci. Technol.*, 103, s. 36–48.
- SALAZAR N., GUEIMONDE M., DE LOS REYES-GAVILÁN C.G., RUAS-MADIEDO P. (2016): Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria and bifidobacteria as fermentable substrates by the intestinal microbiota. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 56(9), s. 1440–1453.
- TIWARI S., KAVITAKE D., DEVI P.B., SHETTY P.H. (2021): Bacterial exopolysaccharides for improvement of technological, functional and rheological properties of yoghurt. *Int. J. Biol. Macromol.*, 183, s. 1585–1595.
- TYTGAT H.L., LEBEER S. (2014): The sweet tooth of bacteria: common themes in bacterial glycoconjugates. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 78, s. 372–417.
- VAN HIJUM S.A., KRALJ S., OZIMEK L.K. *et al.* (2006): Structure-function relationships of glucansucrase and fructansucrase enzymes from lactic acid bacteria. *Microbiol. Mol. Biol. Res.*, 70, s. 157–76.
- WU J., YAN D., LIU Y., LUO X., LI Y., CAO C., LI M., HAN Q., WANG C., WU R., ZHANG L. (2021): Purification, structural characteristics, and biological activities of exopolysaccharide isolated from *Leuconostoc mesenteroides* SN-8. *Front. Microbiol.*, 26; 12:644226
- XU M., LI Z., ZHAO X., LI W. (2022): Prebiotic properties of exopolysaccharides from *Lactobacillus helveticus* LZ-R-5 and *L. pentosus* LZ-R-17 evaluated by in vitro simulated digestion and fermentation. *Foods*, 11, 2501.
- ZEIDAN A.A., POULSEN V.K., JANZEN T., BULDO P., DERKX P.M.F., ØREGAARD G., NEVES A.R. (2017): Polysaccharide production by lactic acid bacteria: from genes to industrial applications. *FEMS Microbiol. Rev.*, 41, s. 168–200.
- ZHOU Y., CUI Y., QU X. (2019): Exopolysaccharides of lactic acid bacteria: Structure, bioactivity and associations: A review. *Carbohydrate Polymers*, 207, s. 317–332.
- ZHU Y., WANG C., JIA S., WANG B., ZHOU K., CHEN S., YANG Y., LIU S. (2018): Purification, characterization and antioxidant activity of the exopolysaccharide from *Weissella cibaria* SJ14 isolated from *Sichuan paocai*. *Int. J. Biol. Macromol.*, 115, s. 820–828.

## Korespondující autor:

Doc. Ing. Šárka Horáčková, CSc.

VŠCHT Praha, Technická 5, 160 28 Praha 6;

e-mail: sarka.horackova@vscht.cz

Přijato do tisku: 23. 6. 2023

Lektorováno: 17. 7. 2023