

## EXOPOLYSACHARIDY AKO VÝZNAMNÉ PRODUKTY PROBIOTÍK

MONIKA FEDOROVÁ<sup>a</sup>, MARIÁN PROKEŠ<sup>b</sup>,  
JURAJ PISTL<sup>c</sup> a RADOMÍRA NEMCOVÁ<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Katedra lekárenstva a sociálnej farmácie, <sup>b</sup> Katedra epizootológie a parazitológie, <sup>c</sup> Katedra mikrobiológie a imunológie, Univerzita veterinárskeho lekárstva a farmácie v Košiciach, Komenského 73, 041 81 Košice, Slovenská republika  
marian.prokes@uvlf.sk

Došlo 9.1.18, prijaté 9.2.18.

Kľúčové slová: exopolysacharidy, biofilm, baktérie mliečného kvasenia, probiotické baktérie

### Obsah

1. Úvod
2. Charakteristika exopolysacharidov produkovaných baktériami mliečného kvasenia
3. Účinky exopolysacharidov produkovaných baktériami mliečného kvasenia
  - 3.1. Anti-adhezívne vlastnosti exopolysacharidov (anti-biofilm activity)
  - 3.2. Prebiotické vlastnosti izolovaných exopolysacharidov
  - 3.3. Vplyv exopolysacharidov na prospešné/patogénne baktérie tráviaceho traktu
4. Záver

### 1. Úvod

V priebehu rokov sa empiricky prišlo na to, že konzumácia určitých potravín, ako sú mliečne produkty prirodzene obsahujúce mikroorganizmy, pozitívne ovplyvňuje zdravotný stav organizmu. To vedie k zámernému užívaniu prospešných baktérií, či už prostredníctvom potravín, doplnkov stravy alebo liekov, čo má pozitívny vplyv na celkový zdravotný stav a pohodu hostiteľa. Tieto prospešné mikroorganizmy, známe ako probiotiká, sú definované Svetovou zdravotníckou organizáciou ako „živé mikroorganizmy, ktoré ak sú podávané v primeranom množstve, poskytujú zdravotné výhody hostiteľovi“<sup>1–3</sup>. Prebiotiká sú nestráviteľné zložky potravy, ktoré podporujú rast a životaschopnosť probiotík. V súčasnej dobe sú dostupné informácie o probiotických baktériách a ich účinkoch. Zároveň sa zisťuje, že nielen samotné druhy baktérií, ale aj rôzne

d’alšie faktory, ako napr. ich schopnosť tvorby exopolysacharidov, biofilmov a podobne, vo významnej miere ovplyvňujú pozitívny účinok probiotík. Probiotické baktérie sú schopné produkovať rôzne biologicky aktívne látky, z ktorých sa venuje popredná pozornosť najmä exopolysacharidom pre ich významné mnohostranné účinky aj na makroorganizmus<sup>4</sup>.

### 2. Charakteristika exopolysacharidov produkovaných baktériami mliečného kvasenia

Skupina baktérií mliečného kvasenia pozostáva z grampozitívnych baktérií so spoločnými morfológickými, fyziologickými a metabolickými vlastnosťami. Ide o nesporulujúce, fakultatívne anaeróbne alebo mikroaerotolerantné koky alebo paličky, ktoré fermentujú sacharidy za vzniku kyseliny mliečnej, prípadne ďalších metabolitov<sup>5</sup>.

Polysacharidy (PS) sú biopolyméry široko rozšírené v prírode. Ich výskyt je zdokumentovaný vo všetkých organizmoch (zvieratá, rastliny, huby a baktérie), rovnako ako aj ich biologické funkcie, ako je skladovanie energie (škrob), štruktúra bunkovej steny (celulóza) či mobilná komunikácia (glykozaminoglykány). Tieto makromolekuly majú vysokú molekulovú hmotnosť, ktorá niekedy dosahuje až niekoľko miliónov Daltonov; môžu byť substituované necukornými substituentami, pričom dosahujú lineárne alebo rozvetvené štruktúry, ktoré vedú napr. k ich špecifickému správaniu v roztoku.

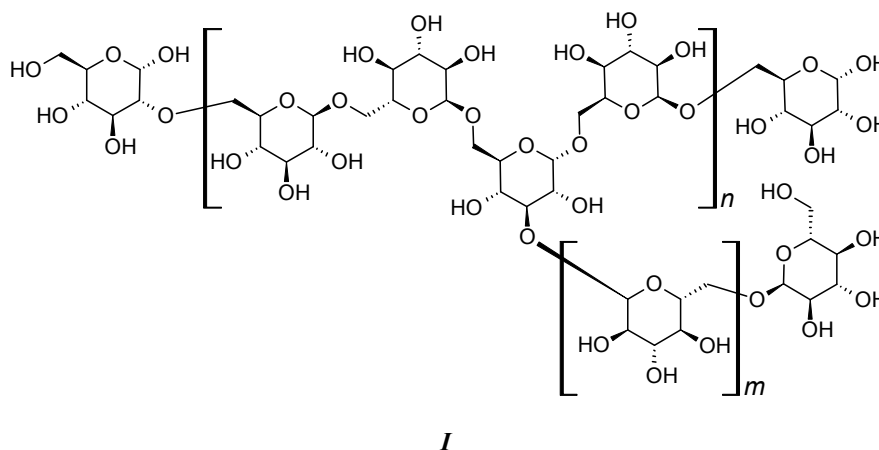
Polysacharidy produkované mikroorganizmami môžu byť klasifikované do troch hlavných skupín podľa ich umiestnenia v bunke:

- cytozolové polysacharidy (poskytujú uhlík a energiu pre bunku);
- polysacharidy tvoriace bunkové steny (peptidoglykány, teichoové kyseliny a lipopolysacharidy);
- polysacharidy uvoľňované do extracelulárneho prostredia vo forme kapsúl alebo biofilmu, známe ako exopolysacharidy<sup>6</sup>.

Exopolysacharidy (EPS) sú umiestnené v extracelulárnom médiu bez kovalentného ohraničenia bakteriálnou membránou. Medzi popisované úlohy EPS patrí napr. ochrana bakteriálnych povrchov, pri interakciách s inými bakteriálnymi povrchmi slúžia ako substrát či lepidlá, ako ochranné prostriedky proti vonkajšiemu prostrediu, ako látky pre bakteriálne agregácie v rhizosfére, ako stavebné stabilizátory v biofilme, či ako signálne molekuly<sup>7</sup>. Niektoré bakteriálne polyméry sú využívané ako aditíva v potravinárskom priemysle (xantán, gellán a curdlán)<sup>6,8,9</sup>.

Približne 30 druhov laktobacilov je opísaných ako producenti EPS. Medzi nimi sú najznámejšie *L. casei*, *L. acidophilus*, *L. brevis*, *L. curvatus*, *L. delbrueckii bulgaricus*, *L. helveticus*, *L. rhamnosus*, *L. plantarum*, *L. johnsonii*, atď. (cit.<sup>7</sup>).

Rozoznávame exopolysacharidy vylučované do prostredia (r-EPS – Released Exopolysaccharides) a exopolysacharidy viazané k stene bunky (c-EPS – Cell-Bound Exopolysaccharides). EPS produkované u niektorých probiotických kmeňov znázorňuje tab. I. Podľa zloženia sa EPS delia do dvoch skupín: homopolysacharidy (homo-EPS) a heteropolysacharidy (hetero-EPS). Homo-EPS sú tvorené z jedného typu monosacharidu, ako napríklad dextrans **I** (obr. 1) alebo leván **II** (obr. 2), kým hetero-EPS sú zložené z rôznych typov monosacharidov<sup>6,10,11</sup>.

**I**Obr. 1. Millsov vzorec dextransu **I**

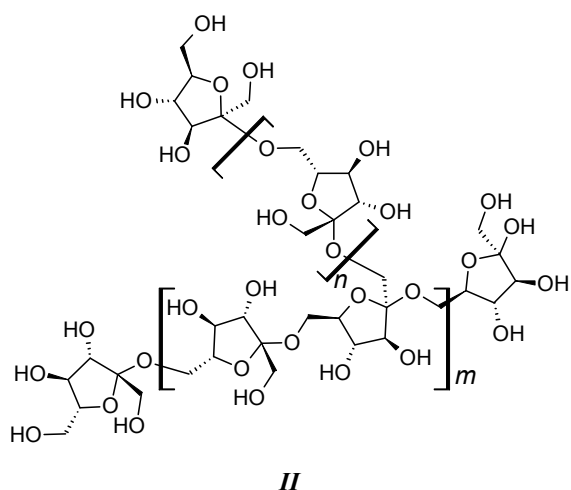
## Homopolysacharidy

Medzi dve dôležité skupiny homo-EPS produkovaných baktériami mliečného kvasenia patria: 1.  $\alpha$ -glukány, pozostávajúce hlavne z  $\alpha$ -1,6- a  $\alpha$ -1,3-viazaných glukózových jednotiek; napríklad dextransy **I** produkované *Leuconostoc mesenteroides* ssp. *mesenteroides* a *Leuconostoc mesenteroides* ssp. *dextranicum* a mutány produkované *Streptococcus mutans* a *Streptococcus sobrinus*; a 2. fruktány, zložené prevažne z  $\beta$ -2,6-viazaných molekúl fruktózy, ako je napríklad leván produkovaný *Streptococcus salivarius*.

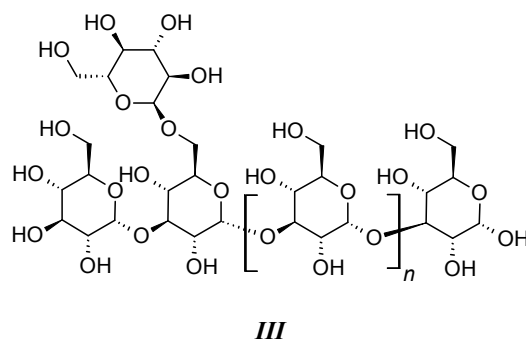
Spoločným znakom všetkých dextransov je prevaha  $\alpha$ -1,6-väzby s vetvením v polohách 2, 3, alebo 4 (cit.<sup>25</sup>). Niektoré kmene *Leuconostoc mesenteroides*<sup>26</sup> a *Lactobacillus curvatus*<sup>27</sup> sú uvádzané ako dextrans **I** produkujúce kmene. Mután **III** (obr. 3) je glukán syntetizovaný rôznyi-

Tabuľka I  
Produkcia r-EPS a c-EPS u niektorých probiotických kmeňov

Kmeň	EPS	Lit.
<i>Lactobacillus plantarum</i> 70810	r-EPS	12,13
<i>L. acidophilus</i> A4	r-EPS	14
<i>Enterobacter cloacae</i> (číslo GenBank, GQ426323)	r-EPS	15
<i>Bifidobacterium animalis</i> ssp. <i>lactis</i> AD011	r-EPS	16
<i>L. reuteri</i> SK24.003	r-EPS	17
<i>Pseudomonas fluorescens</i> WR-1	r-EPS	18
<i>Streptococcus macedonicus</i> Sc 136	r-EPS	19
<i>L. delbrueckii</i> ssp. <i>bulgaricus</i> OLL1073R-1	r-EPS	20
<i>L. brevis</i> KB290	c-EPS	21,22
<i>L. acidophilus</i> 606	c-EPS	23
<i>L. plantarum</i> EP56	c-EPS	24

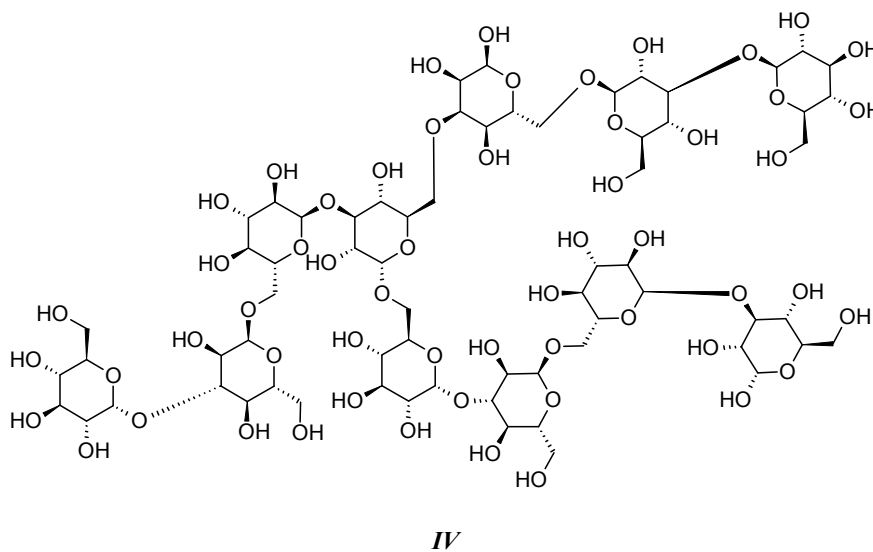
Obr. 2. Millsov vzorec levánu **II**

mi sérotypmi *Streptococcus mutans*, a líši sa od dextransu tým, že obsahuje vysoké percento  $\alpha$ -1,3-väzieb. Rozdiely v dôsledku rozpustnosti vyplývajú z pomeru rôznych typov väzieb; vo vode rozpustné glukány sú bohaté na  $\alpha$ -1,6-väzby, pričom vo vode nerozpustné glukány sú bohaté na  $\alpha$ -1,3-väzby<sup>25</sup>. Požitie mutánov bolo spojené so zubným kazom, pretože nerozpustné mutány môžu adherovať na zuby, a tým pomáhať mikroorganizmom zostať na povrchu zubov. Alternán **IV** (obr. 4) má alternatívne  $\alpha$ -1,6- a  $\alpha$ -1,3-väzby, a táto štruktúra je zodpovedná za jeho charakteristické fyzikálne vlastnosti, vrátane vysokej rozpustnosti a nízkej viskozity. Leván **II** je EPS vyrábaný zo sacharózy, ide o fruktán zložený z  $\beta$ -2,6-viazaných molekúl fruktózy

Obr. 3. Millsov vzorec mutánu **III**

s niektorými  $\beta$ -2,1-väzbami. Inulín je fruktán zložený z  $\beta$ -2,1-viazaných molekúl fruktózy s niektorými  $\beta$ -2,6-spojenými vetvami produkovaný napr. *Streptococcus mutans*. Inulín produkovaný baktériami sa líši od inulínu rastlinného pôvodu svojou rozvetvenou štruktúrou a výrazne vyššou molekulovou hmotnosťou. *Streptococcus salivarius*<sup>28</sup>, *Leuconostoc mesenteroides*<sup>29</sup> a *Lactobacillus reuteri*<sup>30</sup> sú leván **II** produkujúce baktérie mliečneho kvasenia. *Lactobacillus sanfranciscensis* TMW 1.392 produkuje fruktán<sup>31</sup>.

Medzi lineárne homopolysacharidy patria napr. pullulán (zložený z glukózy tvoriacej maltotriózové opakujúce sa jednotky) a curdlán (nerozpustný, zložený z 400–500 D-glukózových zvyškov spojených  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)-glykozidickými väzbami)<sup>6</sup>. *Lactobacillus amylophilus* produkuje pullulán<sup>32</sup> a curdlán je produkovaný *Agrobacterium* spp.<sup>33</sup>.

Obr. 4. Millsov vzorec alternánu **IV**

## Heteropolysacharidy

Heteropolysacharidy sú zložené z pravidelne sa opakujúcich jednotiek 3–8 rôznych sacharidových skupín syntetizovaných zvyčajne vo vnútri bunky<sup>6,10</sup>. Sú zložené z rôznych typov monosacharidov, predovšetkým D-glukózy, D-galaktózy, L-rhamnózy a ich derivátov<sup>11</sup>. Preukazujú malú štruktúrnú podobnosť a ich produkcia je ovplyvnená bakteriálnym rastom, jeho fázou, zložením média (zdroj uhlíka a dusíka), pH a teplotou<sup>34</sup>; môžu byť produkované *Lactococcus* spp. a *Lactobacillus* spp., pričom zohrávajú kľúčovú úlohu v potravinárskom priemysle<sup>35</sup>. Medzi kmene baktérií mliečneho kvasenia produkujúce hetero-EPS patria *Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus delbrueckii*, *L. helveticus*, *L. rhamnosus*, *L. plantarum*, *L. pentosus*, *L. paracasei*, *L. kefirifaciens* a iné (cit.<sup>11</sup>).

### 3. Účinky exopolysacharidov produkovaných baktériami mliečneho kvasenia

Okrem technologických výhod ako je zlepšenie reologických vlastností fermentovaných potravín (viskozita a pružnosť), ďalej ich možné využitie ako prírodné zahusťovadlá, emulgátory, látky na tvorbu gélov, fyzikálne stabilizátory a pod., majú EPS syntetizované baktériami mliečneho kvasenia priaznivé fyziologické účinky na zdravie a opísané sú najmä ich protinádorové, antivredové, imunomodulačné účinky, či schopnosť znižovať hladinu cholesterolu<sup>11,36,37</sup>.

Imunomodulačné účinky a najmä ich interakcie s črevnými epiteliálnymi bunkami boli popísané u EPS (vyučovaných do ich okolitého prostredia počas rastu) izolovaných z *Lactobacillus acidophilus* ssp. 5e2 a *Lactobacillus helveticus* ssp. Rosyjski<sup>38</sup>. Shao a spol.<sup>39</sup> potvrdili potenciálnu imunomodulačnú aktivitu EPS kmeňa *Lactobacillus rhamnosus* KF5 stimuláciou splenocytovej proliferácie *in vitro*. Boli potvrdené imunostimulačné účinky EPS produkovaných *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* (*L. bulgaricus*) (cit.<sup>20</sup>).

Výsledky naznačujú, že c-EPS produkovaný *L. plantarum* 70810 môže byť vhodný na použitie do funkčných potravín a prírodných protinádorových liečiv<sup>12</sup>. Kim a spol.<sup>23</sup> popisali mechanizmy, ktorými probiotické baktérie indukujú smrť nádorových buniek prostredníctvom autofágie. EPS izolované z *Lactobacillus acidophilus* 606 priamo ovplyvňujú morfológiu buniek a nie bunkový cyklus, čo skúmali na bunkovej línii HT-29 karcinómu hrubého čreva.

Antioxidačné účinky boli preukázané u EPS produkovaných *Pseudomonas fluorescens* WR-1 (cit.<sup>18</sup>) a u EPS z probiotického kmeňa *Enterococcus faecium* (BDU7) z Ngari („Ngari“ je tradičná fermentovaná ryba z Indie), pričom sa uvažuje o jej terapeutickej hodnote pri liečení žalúdočných vredov<sup>40</sup>.

EPS z *L. rhamnosus* E/N môže byť použitý ako nástroj na odstraňovanie iónov ťažkých kovov z vodného

roztoku, čím sa zabráni ich absorpcii z gastrointestinálneho traktu do krvného obehu. Povrchová adsorpcia kovových iónov na povrchu EPS bola potvrdená snímacou elektrónovou mikroskopiou<sup>41</sup>.

#### 3.1. Anti-adhezívne vlastnosti exopolysacharidov (anti-biofilm activity)

Väčšina druhov baktérií produkuje biofilm počas ich rastu v životnom prostredí<sup>42–44</sup>. Tvorba biofilmu je významným problémom v mnohých oblastiach, od priemyselných korózií a biologického znečistenia<sup>45</sup>, po chronické a nozokomiálne infekcie<sup>46,47</sup>.

Biofilmy sa podieľajú na viac ako 80 % chronických infekcií spôsobených baktériami, vrátane otitídy, endokarditídy, infekciách močových ciest a pľúc, aj na infekciách u pacientov s cystickou fibrózou<sup>48,49</sup>.

Biofilmy vyvinuté na prírodných tkanivách (koža, sliznica, endotel, epitel, zuby, kosti) alebo umelých zariadeniach (centrálne žilové, peritoneálne a močové katétre, dentálne materiály, srdcové chlopne, vnútromaternicové antikoncepčné prostriedky, kontaktné šošovky, rôzne typy implantátov) zahŕňajú 60 až 85 % všetkých mikrobiálnych infekcií<sup>46,50</sup>. Biofilmy sa zároveň môžu podieľať aj na rezistencii baktérií voči antibiotikám.

Biofilm je štruktúrované konzorcium baktérií vložených do samoprodukovanej polymérnej matrice zloženej z polysacharidov, bielkovín a extracelulárnej DNA. Bakteriálne biofilmy sú rezistentné na antibiotiká, dezinfekčné chemikálie, fagocytózu a iné zápalové obranné systémy organizmu. Je známe, že pretrvávanie stafylokokových infekcií spojených s cudzími telesami je v dôsledku tvorby biofilmu. Rovnako aj chronická infekcia pľúc vyvolaná *Pseudomonas aeruginosa* u pacientov s cystickou fibrózou je spôsobená rastom mukoidných kmeňov biofilmu. Nedochoádza k prechodu živín a kyslíka z vrcholu až na dno biofilmov a u bakteriálnych buniek umiestnených v oblastiach chudobných na živiny dochádza k poklesu metabolickej aktivity. Tieto „spiace bunky“ sú zodpovedné za niektoré tolerance voči antibiotikám. Baktérie v biofilme komunikujú pomocou molekúl, ktoré aktivujú niektoré gény zodpovedné za produkciu faktorov virulencie a do istej miery aj štruktúry biofilmu. Tento jav sa nazýva „quorum sensing“ a závisí od koncentrácie molekúl a počtu baktérií. Sľubne sa v tomto prípade javí použitie zlúčenín, ktoré môžu rozpustiť matricu biofilmu, a použitie inhibítorov „quorum sensing“, ktoré zvyšujú citlivosť biofilmu na antibiotiká a fagocytózu<sup>47</sup>.

Bakteriálne EPS sprostredkujú mnohé interakcie, ktoré sú potrebné pre vytvorenie, súdržnosť a stabilizáciu bakteriálnych biofilmov. Niektoré bakteriálne polysacharidy inhibujú tvorbu biofilmu v širokom spektre baktérií a húb, a to ako *in vitro* aj *in vivo*<sup>51</sup>. Bolo preukázané, že bakteriálne interferencie prostredníctvom signálnych molekúl a povrchovo aktívnych látok antagonizujú tvorbu biofilmu, čo naznačuje, že non-antibiotické molekuly produkované počas konkurenčných interakcií medzi baktériami by mohli byť použité na redukcii biofilmu<sup>52</sup>.

Sayem a spol.<sup>43</sup> identifikovali PS zložený z jednoduchých monomérnych jednotiek  $\alpha$ -D-galaktopyranozyl-(1→2)-glycerol-fosfát, ktorý vykazoval anti-biofilmovú aktivitu proti radu patogénnych a nepatogénnych kmeňov baktérií bez baktericídnych účinkov. Polysacharid bol extrahovaný z kmeňa *Bacillus licheniformis* z morského organizmu *Spongia officinalis*. Ošetrovanie abiotických povrchov týmto PS znižuje počiatočnú príľnavosť a vývoj biofilmu u kmeňov ako *E. coli* PHL628 a *Pseudomonas fluorescens*.

Antibiofilmové polysacharidy boli izolované aj zo supernatantov rôznych baktérií mliečného kvasenia. Polysacharid izolovaný zo supernatantov z *L. acidophilus* A4 inhiboval tvorbu biofilmu *E. coli*, *Salmonella* spp., *Y. enterocolitica*, *P. aeruginosa*, *L. monocytogenes* a *Bac. cereus* v statickom a prietokovom bunkovom reaktore<sup>14</sup>. *L. acidophilus* sa bežne vyskytuje v gastrointestinálnom trakte ľudí a zvierat, ústach a pošve. Zubný kaz vzniká nerovnováhou metabolickej aktivity v zubných biofilmoch, ktoré vznikajú predovšetkým pôsobením *Streptococcus mutans*. Wu a spol.<sup>53</sup> analyzovali 64 kmeňov *Lactobacillus salivarius* (vyskytujúci sa v ľudských slinách) a zistili, že dva kmene, K35 a K43, významne inhibujú tvorbu biofilmu *Str. mutans*.

### 3.2. Prebiotické vlastnosti izolovaných exopolysacharidov

Zvýšený počet bifidobaktérií a/alebo laktobacilov v hrubom čreve má priaznivý účinok na zdravie. Ako prebiotiká boli definované rôzne oligosacharidy, ktoré môžu zvyšovať počty *Bifidobacterium* spp. v hrubom čreve. Galaktooligosacharidy a fruktooligosacharidy sú považované za dôležité prebiotiká. Medzi ďalšie sacharidy považované za prebiotiká patria gluko-oligosacharidy, isomalt-oligosacharidy, laktulóza, mannán-oligosacharidy<sup>11</sup>.

Exopolysacharidy syntetizované pomocou baktérií mliečného kvasenia majú prebiotické vlastnosti (napr. 2-(1,3)- $\beta$ -D-glukány) a prispievajú aj k reológii a textúre fermentovaných potravín. Werning a spol.<sup>54</sup> štandardizovali imunologickú metódu pre špecifickú detekciu 2-substituovaných (1,3)- $\beta$ -D-glukánov. Metóda umožňuje priamu detekciu a kvantifikáciu tohto EPS v supernatante s obsahom iných mono- a polysacharidov. Metóda umožňuje rýchlu identifikáciu produktov baktérií aj biochemickú charakterizáciu glykozylyltransferáz zodpovedných za ich syntézu.

Nie je známe, ktoré oligosacharidy sú najvhodnejšie ako substráty pre selektívny rast konkrétnych prospešných druhov alebo kmeňov. Boli navrhnuté metódy na zistenie potenciálnej prebiotickej aktivity oligosacharidov<sup>55–57</sup>.  $\alpha$ -D-Glukán produkovaný *Lactobacillus plantarum* DM5 môže slúžiť ako potenciálna prebiotická látka pre potravinárske výroby. Prebiotická aktivita tohto glukánu bola potvrdená zvýšeným rastom prebiotických baktérií ako *Bifidobacterium infantis* a *Lactobacillus acidophilus*, pričom nedošlo k rastu patogénnych baktérií ako sú *Escherichia coli* a *Enterobacter aerogenes*<sup>58</sup>.

### 3.3. Vplyv exopolysacharidov na prospešné/ patogénne baktérie tráviaceho traktu

Exopolysacharidy vďaka svojej zvýšenej viskozite v potravinách môžu ostať dlhší čas v gastrointestinálnom trakte, a preto sú prínosom pre prechodnú kolonizáciu probiotickými baktériami<sup>11,34</sup>.

Interakcie medzi druhmi *Bifidobacterium* a *Bacteroides* v kofermentáciách sú ovplyvnené uhlíkovými zdrojmi, vrátane EPS produkovaných bifidobaktériami. Rios-Covian a spol.<sup>59</sup> poukazujú na význam interakcií s ohľadom na špecifický bakteriálny druh a kmeň. V prítomnosti glukózy bol napríklad rast *Bacteroides thetaiotaomicron* DSM-2079 inhibovaný *Bifidobacterium breve*, ale nezmenil sa v prítomnosti *Bifidobacterium longum*. *Bacteroides fragilis* DSM-2151 prispel k vyššiemu prežívaniu *Bifidobacterium longum* podporou zmeny v syntéze mastných kyselín s krátkym reťazcom a ďalších organických kyselín v kokultivácii v porovnaní s monokultúrou.

Li a spol.<sup>60</sup> vo svojej štúdií skúmali antioxidačné a antibakteriálne účinky EPS produkovaných *Bifidobacterium bifidum* WBINO3 (B-EPS) a *Lactobacillus plantarum* R315 (L-EPS). Pre hodnotenie antioxidačnej aktivity bolo použité vychytávanie 1,1-difenyl-2-pikrylhydrazyl (DPPH) radikálov, hydroxylových radikálov a superoxidových radikálov. Okrem toho bola meraná inhibícia hemolýzy erytrocytov a peroxidácie lipidov. EPS produkované obidvoma kmeňmi mali silnú schopnosť zachytávať DPPH a superoxidové radikály vo vysokej koncentrácii. Inhibičný účinok B-EPS na hemolýzu erytrocytov bol silnejší ako u L-EPS, zatiaľ čo schopnosť zachytávať hydroxylové radikály bola u L-EPS významne vyššia. Všetky tieto schopnosti boli rozvíjané v závislosti od koncentrácie. Agar difúzny test ukázal, že obe EPS vykazovali antibakteriálne účinky proti testovaným patogénom, ako sú *Cronobacter sakazakii*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Bacillus cereus*, *Salmonella typhimurium* a *Shigella sonnei*. Možno povedať, že oba EPS majú antimikrobiálne a antioxidačné účinky a môžu byť aplikované v potravinárskom priemysle<sup>60</sup>.

## 4. Záver

Zvýšený záujem sa v súčasnosti orientuje na produkty prospešných (probiotických) baktérií, ktoré sú schopné rozrušovať, prípadne eradikovať biofilmy patogénnych baktérií s perspektívou použitia vo farmaceutickom a potravinárskom priemysle ako alternatíva antibiotík. Medzi takéto produkty s antibiofilmovou aktivitou patria EPS. Významné sú aj ich imunostimulačné a ďalšie zdravie prospešné účinky, či možné využitie pre zlepšenie vybraných vlastností fermentovaných potravín. Výskum uvedených látok si zaslúži aj v budúcnosti zvláštnu pozornosť.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0377.

## LITERATÚRA

1. FAO/WHO: Report of a joint FAO/WHO working group on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food, London, Canada (2002). [http://www.who.int/foodsafety/fs\\_management/en/probiotic\\_guidelines.pdf](http://www.who.int/foodsafety/fs_management/en/probiotic_guidelines.pdf), stiahnuté 4. 12. 2017.
2. Rakická M., Marko A., Šturdík E., Danihelová M., Mošovská S., Juríková L.: Chem. Listy 109, 371 (2015).
3. Liptáková D., Petrušáková M., Pelikánová J., Valík E., Křišťůvková K.: Chem. Listy 110, 149 (2016).
4. Husárová S., Matulová M., Capek P., Sancelme M., Delort A.: Chem. Listy 105, 397 (2011).
5. Mančušková T., Medved'ová A., Valík E.: Chem. Listy 110, 179 (2016).
6. Donot F., Fontana A., Baccou J. C., Schorr-Galindo S.: Carbohydr. Polym. 87, 951 (2012).
7. Badel S., Bernardi T., Michaud P.: Biotechnol. Adv. 29, 54 (2011).
8. Sutherland I. W.: Int. Dairy J. 11, 663 (2001).
9. Sutherland I. W., v knihe: *Comprehensive Glycoscience*, kapitola *Bacterial exopolysaccharides* (Kamerling J. P., ed.). Elsevier, Oxford 2007.
10. Ganzle M. G., Schwab C.: *Probiotics and Prebiotics: Scientific Aspects*. Caister Academic Press, Dunedin 2005.
11. Kongo M. J. (ed.): *Lactic Acid Bacteria – R & D for Food, Health and Livestock Purposes*. InTech, Rijeka 2013.
12. Wang K., Li W., Rui X., Chen X. H., Jiang M., Dong M. S.: Int. J. Biol. Macromol. 63, 133 (2014).
13. Wang K., Li W., Rui X., Chen X. H., Jiang M., Dong M. S.: Int. J. Biol. Macromol. 67, 71 (2014).
14. Kim Y., Oh S., Kim S. H.: Biochem. Biophys. Res. Commun. 379, 324 (2009).
15. Hua X., Wu Z., Zhang H., Lu D., Wang M., Liu Y., Liu Z.: Chemosphere 80, 951 (2010).
16. Alhudhud M., Humphreys P., Laws A.: J. Microbiol. Methods 100, 93 (2014).
17. Miao M., Ma Y. J., Jiang B., Huang C., Li X. H., Cui S. W., Zhang T.: Carbohydr. Polym. 106, 384 (2014).
18. Raza W., Yang W., Jun Y., Shakoor F., Huang Q. W., Shen Q. R.: Carbohydr. Polym. 90, 921 (2012).
19. Tiwari P., Misra A. K.: Glycoconjugate J. 25, 85 (2008).
20. Makino S., Ikegami S., Kano H., Sashihara T., Sugano H., Horiuchi H., Saito T., Oda M.: J. Dairy Sci. 89, 2873 (2006).
21. Suzuki S., Yakabe T., Suganuma H., Fukao M., Saito T., Yajima N.: Can. J. Microbiol. 59, 549 (2013).
22. Suzuki S., Honda H., Suganuma H., Saito T., Yajima N.: Can. J. Microbiol. 60, 139 (2014).
23. Kim J. Y., Kwon J. H., Ahn S. H., Lee S. I., Han Y. S., Choi Y. O., Lee S. Y., Ahn K. M., Ji G. E.: Pediatr. Allergy Immunol. 21, 386 (2010).
24. Tallon R., Bressollier P., Urdaci M. C.: Res. Microbiol. 154, 705 (2003).
25. Cerning J.: FEMS Microbiol. Lett. 87, 113 (1990).
26. Han J., Hang F., Guo B. H., Liu Z. M., You C. P., Wu Z. J.: Carbohydr. Polym. 112, 556 (2014).
27. Minervini F., De Angelis, M., Surico, R. F., Di Cagno R., Ganzle, M., Gobbetti M.: Int. J. Food Microbiol. 141, 130 (2010).
28. Barbour A., Philip K.: PLoS One 9, 16 (2014).
29. Olvera C., Centeno-Leija S., Lopez-Munguia A.: Int. J. Gen. Mol. Microbiol. 92, 11 (2007).
30. Sims I. M., Frese S. A., Walter J., Loach D., Wilson M., Appleyard K., Eason J., Livingston M., Baird M., Cook G.: ISME J. 5, 1115 (2011).
31. Korakli M., Ganzle M. G., Vogel R. F.: J. Appl. Microbiol. 92, 958 (2002).
32. Vishnu C., Naveena B. J., Altaf M., Venkateshwar M., Reddy G.: Enzyme Microb. Technol. 38, 545 (2006).
33. West T. P., Peterson J. L.: Can. J. Microbiol. 60, 53 (2014).
34. Duboc P., Mollet B.: Int. Dairy J. 11, 759 (2001).
35. De Vuyst L., De Vin F., Vaniengelgem F., Degeest B.: Int. Dairy J. 11, 687 (2001).
36. Zhang Y. C., Li S. Y., Zhang C. H., Luo Y. K., Zhang H. P., Yang Z. A.: Afr. J. Biotechnol. 10, 2080 (2011).
37. Hlubeňová K., Mudroňová D., Nemcová R., Gancarčíková S., Maďar M., Sciranková L.: Folia Vet. 61 (2), 61 (2017).
38. Patten D. A., Leivers S., Chadha M. J., Maqsood M., Humphreys P. N., Laws A. P., Collet A.: Carbohydr. Res. 384, 119 (2014).
39. Shao L., Wu Z. J., Zhang H., Chen W., Ai L. Z., Guo B. H.: Carbohydr. Polym. 107, 51 (2014).
40. Abdhul K., Ganesh M., Shanmughapriya S., Kanagavel M., Anbarasu K., Natarajaseenivasan K.: Int. J. Biol. Macromol. 70, 450 (2014).
41. Polak-Berecka M., Szwajgier D., Wasko A.: J. Food Sci. 79, T2404 (2014).
42. Flemming H. C., Wingender J.: Nat. Rev. Microbiol. 8, 623 (2010).
43. Sayem S. M. A., Manzo E., Ciavatta L., Tramice A., Cordone A., Zanfardino A., De Felice M., Varcamonti M.: Microb. Cell Fact. 10, 74 (2011).
44. Englerová K., Nemcová R., Mudroňová D.: Folia Vet. 61 (1), 27 (2017).
45. Lopez D., Vlamakis H., Kolter R.: Cold Spring Harbor Perspect. Biol. 2, 1 (2010).
46. Francolini I., Donelli G.: FEMS Immunol. Med. Microbiol. 59, 227 (2010).
47. Høiby N., Ciofu O., Johansen H. K., Song Z. J., Moser, C., Jensen P. Ø., Molin S., Givskov M., Tolker-Nielsen T., Bjarnsholt T.: Int. J. Oral Sci. 3, 55 (2011).
48. Hall-Stoodley L., Stoodley P.: Cell. Microbiol. 11, 1034 (2009).
49. Garcia A., Salas-Jara M. J., Herrera C., Gonzalez C.: World J. Gastroenterol. 20, 5632 (2014).
50. Lazar V., Chifiriuc M. C.: Rom. Arch. Microbiol.

- Immunol. 69, 125 (2010).
51. Rendueles O., Kaplan J. B., Ghigo J. M.: *Environ. Microbiol.* 15, 334 (2013).
  52. Valle J., Da Re S., Henry N., Fontaine T., Balestrino D., Latour-Lambert P., Ghigo J. M.: *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 103, 12558 (2006).
  53. Wu C. C., Lin C. T., Wu C. Y., Peng W. S., Lee M. J., Tsai Y. C.: *Mol. Oral Microbiol.* 30, 16 (2015).
  54. Werning M. L., Perez-Ramos A., de Palencia P. F., Mohedano M. L., Duenas M. T., Prieto A., López P.: *Carbohydr. Polym.* 113, 39 (2014).
  55. Olano-Martin E., Gibson G. R., Rastall R. A.: *J. Appl. Microbiol.* 93, 505 (2002).
  56. Vulevic J., Rastall R. A., Gibson G. R.: *FEMS Microbiol. Lett.* 236, 153 (2004).
  57. Sanz M. L., Gibson G. R., Rastall R. A.: *J. Agric. Food. Chem.* 53, 5192 (2005).
  58. Das D., Baruah R., Goyal A.: *Int. J. Biol. Macromol.* 69, 20 (2014).
  59. Rios-Covian D., Arboleya S., Hernandez-Barranco A. M., Alvarez-Buylla J. R., Ruas-Madiedo P., Gueimonde M., de los Reyes-Gavilan C. G.: *Appl. Environ. Microbiol.* 79, 7518 (2013).
  60. Li S., Huang R., Shah N., Tao X., Xiong Y., Wei H.: *J. Dairy Sci.* 97, 7334 (2014).

**M. Fedorová<sup>a</sup>, M. Prokeš<sup>b</sup>, J. Pistl<sup>c</sup>, and R. Nemcová<sup>c</sup>** (<sup>a</sup>*Department of Pharmacy and Social Pharmacy*, <sup>b</sup>*Department of Epizootology and Parasitology*, <sup>c</sup>*Department of Microbiology and Immunology, University of Veterinary Medicine and Pharmacy in Košice, Slovak Republic*):  
**Exopolysaccharides as Important Probiotic Products**

Probiotics are beneficial microorganisms, defined as "live microorganisms which, when administered in a reasonable amount, provide health benefits for the host". Not only the types of bacteria themselves, but also various other factors such as the ability to produce exopolysaccharides, biofilms, etc. significantly affect the positive effect of probiotics. Probiotic bacteria are extremely efficient in the production of biologically active substances – exopolysaccharides. These substances are important for their multilateral effects on the human organism. Significant properties of the exopolysaccharides produced by the lactic acid bacteria include anti-biofilm activity, prebiotic properties and other impacts of these substances on both beneficial and pathogenic bacteria of the digestive tract.

Keywords: exopolysaccharides, biofilm, lactic acid bacteria, probiotic bacteria