

vysokou inhibiční aktivitu vůči *F. culmorum* DMF301 i *P. expansum* DMF04. Plíseň *F. culmorum* DMF301 je k účinku laktobacilů citlivější. Antifungální aktivita je způsobena převážně tvorbou organických kyselin, ale mírnější aktivitu vykazovaly i tepelně ošetřené zneutralizované bezbuněčné supernatanty kmene 361 vůči *P. expansum* DMF04 a kmene 583 vůči *F. culmorum* DMF301. Po ověření růstové aktivity testovaných laktobacilů v prostředí kvasu lze tyto kmeny doporučit jako doplňkové kultury s antifungální aktivitou. Nově izolované kmeny BMK z připravených ječných kvasů byly převážně identifikovány jako *L. curvatus* s významnou aktivitou proti *P. expansum* DMF04; izoláty č. 1 a 2 určené jako *Leuconostoc mesenteroides* měly vysokou antifungální aktivitu vůči *F. culmorum* DMF301.

Poděkování:

Práce byla podpořena z grantu Ministerstva zemědělství ČR z programu Komplexní udržitelné systémy v zemědělství 2012-2018 (KUS) "Vývoj nových plodin s cílem produkce potravinářských výrobků s vyšší výživovou hodnotou" QJ1610202.

Literatura

- DEMIRBAŞ F., ISPIRLI H., KURNAZ A. A., YILMAZ M. T., DERTLI E. (2017): Antimicrobial and functional properties of lactic acid bacteria isolated from sourdoughs. *Food Sci. Technol.*, 79, s. 361-366.
- DE MUYNCK C., LEROY A. I. J., DE MAESENEIRE S., ARNAUT F., SOETAERT W., VANDAMME E. J. (2004): Potential of selected lactic acid bacteria to produce food compatible antifungal metabolites. *Microbiol. Res.*, 159, s. 339-346.
- DE VUYST L., NEYSENS P. (2005): The sourdough microflora: biodiversity and metabolite interactions. *Trends Food Sci. Technol.*, 16, s. 43-56.
- DE VUYST L., VAN KERREBROECK S., HARTH H., HUYS G., DANIEL H. M., WECKX S. (2014): Microbial ecology of sourdough fermentations: diverse or uniform? *Food Microbiol.*, 37, s. 11-29.
- GALLE S., ARENDT E. K. (2014): Exopolysaccharides from sourdough lactic acid bacteria. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 54, s. 891-901.
- GÄNZLE M. G. (2014): Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation. *Food Microbiol.*, 37, s. 2-10.
- GÄNZLE M., RIPARI V. (2016): Composition and function of sourdough microbiota: From ecological theory to bread quality. *Int. J. Food Microbiol.*, 239, s. 19-25.
- GEREZ C. L., TORRES M. J., FONT DE VALDEZ G., ROLLÁN G. (2013): Control of spoilage fungi by lactic acid bacteria. *Biol. Control*, 64, s. 231-237.
- GÜL H., ÖZÇELİK S., SAĞDIÇ O., CERTEL M. (2005): Sourdough bread production with lactobacilli and *S. cerevisiae* isolated from sourdoughs. *Process Biochem.*, 40, s. 691-697.
- LE LAY C., MOUNIER J., VASSEUR V., WEILL A., LE BLAY G., BARBIER G. (2016): In vitro and in situ screening of lactic acid bacteria and propionibacteria antifungal activities against bakery product spoilage molds. *Food Control*, 60, s. 247-255.
- ŠEDIVÝ P., ALBRECHT J. (2014): *Pekařská technologie II. výroba chleba*, Praha, Odborné nakladatelství a vydavatelství Pekař a cukrář, s. 22 - 25.
- STILES J., PENKAR S., PLOČKOVÁ M., CHUMCHALOVA J., BULLERMAN L. B. (2002): Antifungal activity of sodium acetate and *Lactobacillus rhamnosus*. *J. Food Prot.*, 65, s. 1188-1191.
- VENTIMIGLIA G., ALFONZO A., GALLUZZO P., CORONA O., FRANCESCA N., CARACAPPA S., MOSCHETTI G., SETTANNI L. (2015): Codominance of *Lactobacillus plantarum* and obligate heterofermentative lactic acid bacteria during sourdough fermentation. *Food Microbiol.*, 51, s. 57-68.
- YANG E. J., CHANG H. C. (2010): Purification of a new antifungal compound produced by *Lactobacillus plantarum* AF1 isolated from kimchi. *Int. J. Food Microbiol.*, 139, s. 56-63.

Korespondenční autor:

Ing. Šárka Horáčková, CSc.
Ústav mléka, tuků a kosmetiky
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
Technická 5, 166 28 Praha 6
e-mail: Sarka.Horackova@vscht.cz

Přijato do tisku: 11. 6. 2017

Lektorováno: 27. 6. 2017

IMUNOMODULAČNÍ A PREBIOTICKÉ VLASTNOSTI DUNALIELLA SALINA

Hyršlová Ivana¹, Smolová Jana¹, Bártová Jiřina²,
Staňková Barbora³

¹ VÚM s.r.o. Praha;

² Stomatologická klinika, VFN Praha;

³ IV. Interní klinika, 1. LF UK, Praha

Immunomodulation and prebiotic properties of *Dunaliella salina*

Abstrakt

V současnosti roste popularita využití pozitivních vlastností jednobuněčných řas pro aplikaci do celé řady potravinářských výrobků a doplňků stravy pro člověka i zvířata. Proto bylo cílem této práce rozšířit znalosti o prebiotických a imunomodulačních vlastnostech jednobuněčné řasy *Dunaliella salina* vyznačující se zvýšeným obsahem β-karotenu. Imunomodulační efekt *Dunaliella salina* byl porovnáván na základě produkce vybraných cytokinů lidskými mononukleárními buňkami po třídenní stimulaci stanovených pomocí multiplexové analýzy. Po stimulaci různými suspenzemi *Dunaliella salina* ve vodě (0,5 %, 1,0 %, 3,0 % w/v) došlo k výraznému zvýšení hladiny IL-6 a TNF-α. Prebiotický efekt *Dunaliella salina* byl hodnocen na základě růstu vybraného souboru probiotických mikroorganismů z rodů *Bifidobacterium* a *Lactobacillus*. Růst mikroorganismů byl porovnáván na základě počtů stanovených plotnovou metodou po 24h kultivaci v médiu s obsahem řasy. Při testování růstu vybraného souboru mikroorganismů nebyl zjištěn negativní vliv jednobuněčné řasy *Dunaliella salina* na jejich růst.

Klíčová slova: cytokiny, *dunaliella*, řasy, prebiotika, imunomodulace

Abstract

Nowadays, the popularity of using microalgae in food products and dietary supplements for human or animals increases due to their positive properties. The unicellular algae *Dunaliella salina* contains higher level of β-carotene

and others interesting compounds, therefore we decided to extend knowledges about its the immunomodulatory and prebiotic effect. The immunomodulatory effects of *Dunaliella salina* were compared on the basis of secretion of cytokines by human peripheral blood mononuclear cells after the 3-days stimulation in vitro. Luminex multiplex analysis was used to analyze the production of cytokines. Our results has shown that levels of IL-6 and TNF- α were significantly higher after stimulation with various *Dunaliella salina* suspensions in water (0.5 %, 1.0 %, 3.0 % w/v). Prebiotic effect of *Dunaliella salina* was evaluated by growth of selected probiotic strains from genera *Bifidobacterium* and *Lactobacillus*. Bacterial growth in algae medium was compared on the basis of cell counts to determine by agar plate technique after 24-hr cultivation. A statistically significant difference of the effect of *Dunaliella salina* on microbial growth has not been confirmed.

Keywords: cytokine, *dunaliella*, algae, prebiotics, immunomodulation

Úvod

V současnosti stále více narůstá popularita jednobuněčných řas, ať už jsou používány jako doplňky stravy, pro produkci biopaliv (Chen *et al.* 2011) nebo jsou využívány jejich produkty, např. pigmenty (Dufossé *et al.* 2005). Mezi nejznámější jednobuněčné řasy schválené evropskou komisí pro použití v potravinářství (Nařízení EU 2016/1842), jejichž nejznámějším zástupcem je *Chlorella vulgaris*, patří také *Dunaliella salina*. Tato mikrořasa je zástupce mořských řas a vyznačuje se nadprodukcí β -karotenu v podmínkách osmotického stresu vyvolaného nadměrnou salinitou (Dufossé *et al.* 2005). Jak je ale známo, jednobuněčné řasy obsahují také další cenné látky (polysacharidy, proteiny, vitamíny), díky kterým pak jako celek působí pozitivně. Byl prokázán nejen antioxidační účinek karotenoidů izolovaných z řas, ale také například efekt snižování hladiny cholesterolu nebo inzulinu v krvi díky účinku polysacharidů působících obdobně jako vláknina (de Jesus Raposo *et al.* 2015).

Řasy používané pro lidskou výživu mohou být produkovány v mnoha podobách od prášku přes tabletky a kapsule až po extrakty v podobě tekutin. Mohou také být používány jako potravinářské aditivum vzhledem ke své charakteristické chuti a barvě. Potravinové doplňky o řasovou biomasu mohou mít ale i další pozitivní vlivy, mezi které patří také prebiotický efekt. Výsledky výzkumů ukazují pozitivní efekt mikrořas na přežívání střevních bakterií (*Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *E. coli*) (Pulz *et al.* 2004).

V předkládané studii jsme se zaměřili na testování jednobuněčné řasy *Dunaliella salina* s cílem rozšířit poznatky o jejím prebiotickém účinku a imunomodulačním efektu na lidské mononukleární buňky izolované z krve zdravých

dospělých dárců pro její možnou aplikaci do funkčních potravin a doplňků stravy.

Materiál a metody

Mikroorganismy

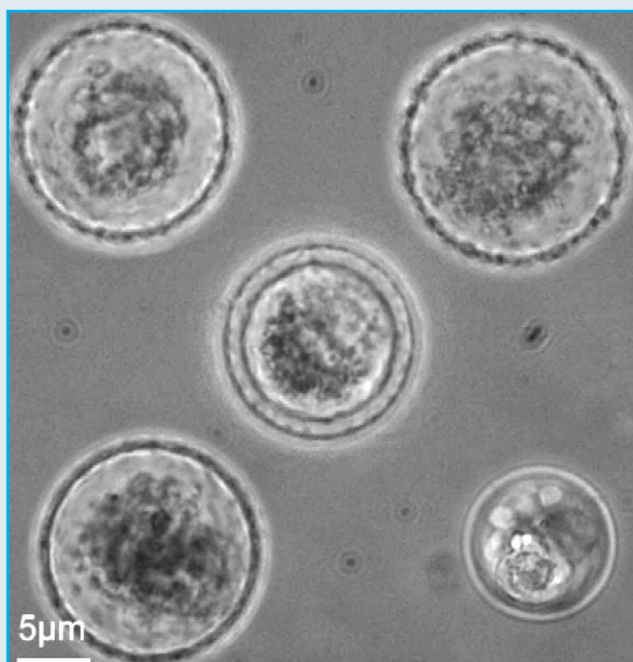
Pro stanovení prebiotického efektu byl vybrán soubor 10 probiotických kmenů z rodů *Lactobacillus* a *Bifidobacterium* (Tab. I), které pocházely ze sbírky mlékařských mikroorganismů Laktoflora®, ze sbírky Katedry mikrobiologie, výživy a dietetiky České zemědělské univerzity v Praze a biopsií z trávicího traktu dětí. Dále byly použity dva komerční kmeny *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* Bb12 od firmy Chr. Hansen a *Lactobacillus casei* Lafti L-26 od firmy DMS Food.

Kultivační médium

Basální médium (10 g pepton, 10 g trypton, 5 g kvasničný extrakt, 1 ml Tween 80 / 1 l vody, pH 7) bylo připraveno bez přidavku řas (kontrola), s přidavkem 0,5 % a 1,0 % (w/w) *Dunaliella salina* (Plankton Australia Pty Ltd, Australia; Obr. I).

Tab. I Vybraný soubor probiotických kmenů a jejich označení

Mikroorganismus	Označení	Kultivační podmínky
<i>Lactobacillus casei</i>	Lafti	MRS agar, 37 °C, 72 hod., anaerobně
<i>Lactobacillus animalis</i>	382	
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>	66	
<i>Lactobacillus fermentum</i>	RL-25	
<i>Bifidobacterium animalis</i> subsp. <i>lactis</i>	Bb12	MRS agar, 37 °C, 72 hod., anaerobně
<i>Bifidobacterium bifidum</i>	JKM	
<i>Bifidobacterium bifidum</i>	JOV	
<i>Bifidobacterium bifidum</i>	559	
<i>Bifidobacterium breve</i>	562	
<i>Bifidobacterium dentium</i>	318	



Obr. I *Dunaliella salina*

Tab. II Porovnání vlivu různých koncentrací *Dunaliella salina* v médiu na růst vybraných bifidobakterií a laktobacilů

Označení	0,5 %		1,0 %		BM	
	pH	Počty (KTJ/ml)	pH	Počty (KTJ/ml)	pH	Počty (KTJ/ml)
Lafti	5,70	3,6 x 10 ⁸	5,73	4,05 x 10 ⁸	5,87	1,9 x 10 ⁸
382	4,94	1,9 x 10 ⁸	4,93	2,40 x 10 ⁸	4,99	7,2 x 10 ⁷
66	5,20	5,3 x 10 ⁸	5,16	1,60 x 10 ⁸	5,50	2,1 x 10 ⁸
RL-25	5,80	2,5 x 10 ⁸	5,77	4,55 x 10 ⁸	5,69	1,7 x 10 ⁸
Bb12	5,73	2,3 x 10 ⁸	5,70	2,10 x 10 ⁸	4,80	2,2 x 10 ⁸
JKM	5,77	2,0 x 10 ⁸	5,74	2,25 x 10 ⁸	5,64	4,1 x 10 ⁸
JOV	5,80	2,1 x 10 ⁸	5,77	2,15 x 10 ⁸	5,71	2,9 x 10 ⁸
559	5,78	1,9 x 10 ⁸	5,75	1,90 x 10 ⁸	5,82	3,5 x 10 ⁸
562	5,75	3,3 x 10 ⁸	5,77	3,45 x 10 ⁸	5,24	5,6 x 10 ⁸
318	5,76	2,9 x 10 ⁸	5,76	3,55 x 10 ⁸	5,22	1,6 x 10 ⁸

BM - bazální médium; 0,5 %, 1,0% - (w/v) *Dunaliella salina*

Kultivace

Po 18 hodinové kultivaci byly vybrané kmeny odstředěny (5 min, 6500 rpm), odstředěné buňky resuspendovány ve fyziologickém roztoku a poté bylo 100 µl očkováno do 5 ml média. Koncentrace buněk v inokulu byla 10⁴ ~ 10⁵ KTJ/ml. Po 24 hodinách kultivace bylo měřeno pH a stanoveny počty mikroorganismů pomocí plotnové metody dle kultivačních podmínek uvedených v tabulce I.

Izolace mononukleárních buněk

Mononukleární buňky použité v této práci byly získány centrifugací krve od osmi zdravých pacientů ve věku 25-35 let (Krevní transfuzní stanice, Všeobecná Fakultní Nemocnice, Praha) na Ficoll-Hypaque (Sigma-Aldrich, Švýcarsko) gradientovou centrifugací dle postupu uvedeného v práci Hryšlova *et al.* (2016). Finální koncentrace mononukleárních buněk byla 10⁷/ml.

Stimulace a stanovení cytokinů

Izolované mononukleární buňky byly stimulovány po dobu třech dnů 0,5 %, 1,0 % a 3,0 % suspenzí *Dunaliella salina* (w/v). Dále byly buňky stimulovány samotným médiem (X-vivo) jako negativní kontrola a jako pozitivní kontrola sloužila stimulace Pokewed mitogenem (Sigma-Aldrich, Švýcarsko). Po stimulaci byly supernatanty odebrány a zamrazeny při -20 °C do stanovení cytokinů multiplexovou metodou. Pro stanovení vybraných cytokinů (IL-4, IL-10, IL-6, TNF-α a INF-γ) byl použit kit Fluorokine MAP Human Base Kit A (R&D Systems, USA) a analýza probíhala pomocí přístroje LUMINEX® 200 TM analyzer (Luminex Corporation, USA).

Výsledky a diskuze

Vzhledem k předpokládaným prebiotickým vlastnostem jednobuněčných řas je praktické přidávat je do fermentových výrobků pro zlepšení funkčnosti těchto produktů a také na podporu životaschopnosti probiotických bakterií jak ve výrobcích, tak v zažívacím traktu. Probiotická fermentovaná mléka jsou jedny z nejvíce konzumovaných

výrobků, ale jejich kritickým místem je zachování životaschopnosti probiotik nad standartní limity v souladu s právními předpisy až do konce doby trvanlivosti. Přestože mléko je jako médium velmi vhodné, chybí mu některé nutrienty pro probiotika. Z tohoto důvodu se mnoho výzkumů soustřeďuje na fortifikaci základních medií prebiotiky, které mají pozitivní vliv na růst probiotik (Beheshtipour *et al.* 2013). Beheshtipour *et al.* (2012) ve své studii prokázali, že přidání řas *Chlorella vulgaris* nebo *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) stimuluje růst a udržuje životaschopnost bakterií *L. acidophilus* a *Bifidobacterium lactis* jak na konci fermentace, tak i při skladování v chladu po dobu 28 dnů. Proto byl sledován i možný prebiotický efekt červené řasy *Dunaliella salina*. K testování bylo vybráno basální

médium doplněné o 0,5 % (w/v) a 1,0 % (w/v) řasy *Dunaliella salina*. Zvolené koncentrace byly vybrány na základě již publikovaných vědeckých prací Pulz *et al.* (2004), Beheshtipour *et al.* (2013) a Kavimandan (2015). Při porovnání růstu vybraných kmenů laktobacilů a bifidobakterií nebyl zaznamenán inhibiční efekt zvolených koncentrací *Dunaliella salina* (Tab. II). U všech kmenů došlo během kultivace k nárůstu o 3 až 4 logaritmické řády. V porovnání s basálním médiem nebyl pozorován žádný inhibiční efekt, naopak u několika kmenů bylo patrné mírné zvýšení nárůstu probiotických mikroorganismů.

V další části byly sledovány imunomodulační vlastnosti *Dunaliella salina* na lidských mononukleárních buňkách izolovaných z krve zdravých dospělých dárců. Imunomodulační efekt byl posuzován na základě produkce pěti cytokinů - TNF-α, IL-10, IL-6, IL-4 a INF-γ, které jsou nejčastěji sledovány ve vědeckých pracích zkoumající imunomodulační vlastnosti jednobuněčných řas. Ewart *et al.* (2007) ve své práci studovali imunomodulační účinky vodního extraktu *Chlorella pyrenoidosa*, kdy byly lidské mononukleární buňky z periferní krve zdravých dárců (hPBMC) stimulovány 1, 10 a 100 mg/ml vodního extraktu po dobu 24 hodin. Stimulace v jejich případě vedla k významnému zvýšení regulačního cytokinu IL-10 a výrazné stimulaci Th-1 cytokinů INF-γ a TNF-α. Stimulace Th-2 cytokinů byla naopak nízká. Výrazná stimulace Th-1 cytokinu TNF-α závislá na použité koncentraci *Dunaliella salina* byla zjištěna i v předložené práci (Tab. III), ale zároveň došlo

Tab. III Porovnání koncentrace vybraných cytokinů po stimulaci lidských mononukleárních buněk suspenzí *Dunaliella*

Cytokiny (pg/ml)	<i>Dunaliella</i> 0,5 %	<i>Dunaliella</i> 1,0 %	<i>Dunaliella</i> 3,0 %	NK
TNF-α	54,0	26,0	11,3	4,12
IL-10	4,7	3,5	3,6	1,97
IL-6	452,0	220,6	76,2	7,53
IL-4	6,7	5,7	7,9	5,09
INF-γ	1,7	1,8	3,5	1,44

INF - interferon; IL - interleukin; TNF - tumor necrosis factor; NK - negativní kontrola

k výrazné stimulaci Th-2 cytokinu IL-6 v porovnání s kontrolou, protože pro zachování zdraví je nezbytná rovnováha mezi Th-1/Th-2 cytokiny. Při porušení této rovnováhy dochází k rozvoji celé řady onemocnění. Stimulační efekty různých koncentrací *Dunaliella salina* na ostatní sledované cytokiny (IL-10, IL-4, INF- γ) byly nízké v porovnání s kontrolou a nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými skupinami. V další studii An *et al.* (2008) testovali také imunomodulační vlastnosti *Chlorella vulgaris* tentokrát na zvířecím modelu myši. Zjištěné výsledky opět prokázaly zvýšení IFN- γ a IL-2 po aplikaci *Chlorelly* (1 mg/ml) v porovnání s kontrolou a minimální efekt na IL-4. Imunomodulační efekt vodných extraktů jednobuněčných řas je připisován přítomnosti polysacharidů se specifickou strukturou Suárez *et al.* (2010). V práci Caroprese *et al.* (2012) testovali imunomodulační a protizánětlivé vlastnosti směsi fytoosterolů (ergosterol a 7-dehydroporiferasterol) izolovaných z řasy *Dunaliella tertiolecta* na mononukleárních buňkách izolovaných z krve ovcí. Výsledky ukázaly možné použití směsi fytoosterolů, jako krmných doplňků při zánětlivých onemocněních ovcí vzhledem ke zjištěné redukci pro-zánětlivých cytokinů a stimulaci regulačního cytokinu IL-10.

Zjištěné výsledky ukázaly pozitivní vliv *Dunaliella salina* na růst vybraného souboru mikroorganismů i pozitivní imunomodulační vlastnosti, přesto bude dále vhodné otestovat i vliv extraktů řasy a její dezintegrované formy, jelikož byl k testování využit komerčně dostupný produkt v podobě řasového prášku, který obsahuje lyofilizované celé buňky. V předložené studii byla použita pro testování imunomodulačního efektu krev zdravých dárců, v budoucnu je pro bližší posouzení plánováno použití také mononukleárních buněk od lidí s autoimunitními onemocněními, aterosklerózou apod.

Poděkování:

Tato práce vznikla v rámci institucionální podpory VÚM s.r.o., rozhodnutí č. RO 1416.

Literatura:

- AN, H. J., H. K. RIM, J. H. LEE, M. J. SEO, J. W. HONG, N. H. KIM, N. Y. MYUNG, P. D. MOON, I. Y. CHOI, H. J. NA, S. J. KIM, H. J. JEONG, H. S. PARK, J. G. HAN, J. Y. UM, S. H. HONG AND H. M. KIM (2008): "Effect of *Chlorella vulgaris* on Immune-enhancement and Cytokine Production *in vivo* and *in vitro*." *Food Science and Biotechnology* **17**: 953-958.
- BEHESHTIPOUR, H., A. M. MORTAZAVIAN, P. HARATIAN AND K. K. DARANI (2012): "Effects of *Chlorella vulgaris* and *Arthrospira platensis* addition on viability of probiotic bacteria in yogurt and its biochemical properties." *European Food Research and Technology* **235**: 719-728.
- BEHESHTIPOUR, H., A. M. MORTAZAVIAN, R. MOHAMMADI, S. SOHRABVANDI AND K. KHOSRAVI-DARANI (2013): "Supplementation of *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* Algae into Probiotic Fermented Milks." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **12**: 144-154.
- CAROPRESE, M., M. ALBENZIO, M. G. CILIBERTI, M. FRANCAVILLA AND A. SEVI (2012): "A mixture of phytosterols from *Dunaliella tertiolecta* affects proliferation of peripheral blood mononuclear cells and cytokine production in sheep." *Veterinary immunology and immunopathology* **150**: 27-35.
- DE JESUS RAPOSO, M. F. AND A. M. M. B. DE MORAIS (2015): "Microalgae for the prevention of cardiovascular disease and stroke." *Life Sciences* **125**: 32-41.

- DUFOSSÉ, L., P. GALAUP, A. YARON, S. M. ARAD, P. BLANC, K. N. CHIDAMBARA MURTHY AND G. A. RAVISHANKAR (2005): "Microorganisms and microalgae as sources of pigments for food use: a scientific oddity or an industrial reality?" *Trends in Food Science & Technology* **16**: 389-406.
- EWART, H. S., O. BLOCH, G. S. GIROUARD, J. KRALOVEC, C. J. BARROW, G. BEN-YEHUDAH, E. R. SUÁREZ AND M. J. RAPOPORT (2007): "Stimulation of cytokine production in human peripheral blood mononuclear cells by an aqueous *Chlorella* extract." *Planta medica* **73**: 762-768.
- HYRSLOVA, I., G. KRAUSOVA, J. BARTOVA, L. KOLESAR AND L. CURDA (2016): "Goat and Bovine Colostrum as a Basis for New Probiotic Functional Foods and Dietary Supplements." *Journal of Microbial & Biochemical Technology* **8**: 56-59.
- CHEN, C. Y., K. L. YEH, R. AISYAH, D. J. LEE AND J. S. CHANG (2011): "Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: A critical review." *Bioresource Technology* **102**: 71-81.
- KAVIMANDAN, A. (2015): "Incorporation of *Sp. irulina platensis* into Probiotic Fermented Dairy Products." *International Journal of Dairy Science* **10**: 1-11.
- PULZ, O. AND W. GROSS (2004): "Valuable products from biotechnology of microalgae." *Applied Microbiology and Biotechnology* **65**: 635-648.
- SUÁREZ, E. R., J. A. KRALOVEC AND T. BRUCE GRINDLEY (2010): "Isolation of phosphorylated polysaccharides from algae: the immunostimulatory principle of *Chlorella pyrenoidosa*." *Carbohydrate research* **345**: 1190-1204.

Přijato do tisku: 11. 7. 2017

Lektorováno: 1. 8. 2017

PŘIROZENÉ SYSTÉMY OCHRANY PROTI BAKTERIOFÁGŮM U BAKTERIÍ MLÉČNÉHO KVAŠENÍ

**Kateřina Fliegerová¹, Jakub Mrázek¹,
Miloslava Kavková², Jaroslava Marková²,
Martina Křepelková¹, Irena Němečková², Jan Kopečný¹**

¹ Ústav živočišné fyziologie a genetiky AV ČR, v.v.i.

² Výzkumný ústav mlékárenský s.r.o.

Natural Bacteriophage Defence Systems of Lactic Acid Bacteria

Abstrakt

Zákysové kultury bakterií mléčného kvašení dodávají fermentovaným mléčným výrobkům požadované texturní a organoleptické vlastnosti a rovněž přispívají k zajištění jejich mikrobiologické bezpečnosti a trvanlivosti, avšak mohou být náchylné k napadení bakteriofágy. Bakteriofágy infikující zákysové kultury zpomalují fermentaci, negativně ovlivňují kvalitu a bezpečnost fermentovaných produktů a mohou způsobit až úplné zastavení fermentace, což vede k významným hospodářským ztrátám. Studiu těchto bakteriofágů se proto věnuje mimořádná pozornost a postupně se odhalují genetické procesy životních cyklů bakteriofágů a také strategie, které ohrožené buňky používají k obraně vůči bakteriofágům. Tyto strategie lze rozdělit do pěti skupin. 1. Inhibice adsorpce bakteriofága na buněčnou stěnu bakterie, 2. Zablokování proniknutí bakteriofágové DNA do bakteriální buňky, 3. Restriktivně-modifikační obranný systém, 4. Systém abortivní infekce a 5. CRISPR/Cas systém.