

- HASLAN, H. A., AHMAD, N., OTHMAN, R., & RAHMAN, R. A. (2025): Enhanced cellulose production in Kombucha SCOBY through microbial and genetic optimization. *Journal of Environmental Microbiology and Toxicology*, 13, (1), s. 39–46.
- KACZMAREK, B., SIWEK, A., MICHALSKA-SIONKOWSKA, M. (2022): Modification of bacterial cellulose: Structural and mechanical changes induced by metal ions and anionic species. *Carbohydrate Polymers*, 285, s. 119–137. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119137>
- LI, X., LIU, Y., ZHANG, L., ZHAO, J., WANG, J. (2024): Preparation, characterization, and bioactivities of polysaccharide–nano-selenium and selenium polysaccharides from *Acanthopanax senticosus*. *Molecules*, 29, s. 1418. <https://doi.org/10.3390/molecules29031418>
- PRZYGRODZKA, K., KUBIAK, K., GENDASZEWSKA-DARMACH, E. (2022): Impact of culture conditions on bacterial cellulose production and structure: Adaptive response to stress factors. *Biotechnology Advances*, 60, s. 108013. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.108013>
- REKHMANN, Z., NASIBULIN, A., BLINOV, A. (2024): Synthesis and characterization of selenium nanoparticles stabilized with oxyethylated alkylphenol (neonol) for potential modification of fabric materials. *PLoS ONE*, 19, (11), e0314208. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0314208>
- SZAFRAŃSKA, J. O., ZIARNO, M., KIELISZEK, M. (2025): Characterization of selenium accumulation in *Lactiplantibacillus plantarum* strains: A biotechnological approach. *International Journal of Vitamin and Nutrition Research*, 95, (5), s. 44231. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000631>
- WANG, Q., GAO, J., LIU, S., ZHAO, J., LIN, Y. (2021): In situ synthesis of selenium nanoparticles on cationized cellulose fabrics for antimicrobial application. *Materials Science and Engineering C*, 121, s. 111859. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111859>
- YILMAZ, M., GOKSUNGUR, Y. (2024): Effect of heavy metal and selenite stress on bacterial cellulose biosynthesis and structure. *Journal of Applied Microbiology*, 137, (3), s. 845–858. <https://doi.org/10.1093/jambio/ixae087>
- ZAN, L., DUDA-CHODAK, A., TARKO, T. (2024): Screening, characterization and probiotic properties of selenium-enriched lactic acid bacteria. *Fermentation*, 10, s. 39. <https://doi.org/10.3390/fermentation10010039>

Korespondující autor: Ing. Ivana Hyršlová,
VÚM s.r.o., Ke Dvoru 12a, Praha 160 00,
e-mail: hyrslova@milcom-as.cz

Přijato do tisku: 6. 11. 2025

Lektorováno: 21. 11. 2025

ANTIFUNGÁLNÍ ÚČINEK BAKTERIÍ MLÉČNÉHO KVAŠENÍ V JEDLÝCH POVLACÍCH NA MRKVI

Jana Jechová¹, Andrea Tůmová², Kristýna Krejčář,
Ladislav Bár¹, Jaromír Cihlář¹, Miloslava Kavková¹

¹ Výzkumný ústav mlékárenský s.r.o., Praha

² Milcom a.s., Praha

Antifungal Activity of Lactic Acid Bacteria in Edible Coatings on Carrots

Abstrakt

Jedlé biofilmy a povlaky představují perspektivní alternativu konvenčních metod ochrany a prodloužení trvanlivosti zemědělských a potravinářských produktů.

Zvláštní pozornost si získávají aktivní systémy obohacené o antimikrobiální látky či živé kultury bakterií mléčného kvašení. V této studii jsme hodnotili antifungální účinnost vybraných kmenů *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactiplantibacillus pentosus* a *Latilactobacillus sakei* aplikovaných v povlaku na povrch mrkve, a to vůči běžným kontaminantům *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*, *Rhizopus oligosporus* a *Cladosporium tenuissimum*. Souhrnné vyhodnocení při 25 °C ukázalo protektivní účinek bakterií mléčného kvašení, zejména kmenů *L. plantarum* a *L. pentosus*, na potlačení kažení zeleniny. Nejvýraznější účinek byl zaznamenán proti *S. sclerotiorum* a *C. tenuissimum*, efekt proti *B. cinerea* a *R. oligosporus* byl hraniční. Mezi nosnými maticemi kaseinátem sodným a methylcelulózou se v celkovém hodnocení neprokázal statisticky významný rozdíl. Výsledky potvrzují potenciál aktivních povlaků s laktobacily za podmínek podporujících metabolickou aktivitu buněk.

Klíčová slova: bakterie mléčného kvašení, jedlé filmy, jedlé povlaky, antifungální

Abstract

Edible films and coatings are a promising alternative to conventional methods used to protect and extend the shelf life of agricultural and food products. Particular attention has been paid to active systems enriched with antimicrobial agents or live cultures of lactic acid bacteria. In this study, we evaluated the antifungal efficacy of selected strains of *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactiplantibacillus pentosus* and *Latilactobacillus sakei* applied as an edible coating on carrot slices against common contaminants *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*, *Rhizopus oligosporus* and *Cladosporium tenuissimum*. At 25 °C, the overall assessment demonstrated a protective effect of the lactic acid bacteria – particularly *L. plantarum* and *L. pentosus* strains – against vegetable spoilage. The most pronounced effect was observed against *S. sclerotiorum* and *C. tenuissimum*, while effects against *B. cinerea* and *R. oligosporus* were marginal. No statistically significant overall difference was detected between the two film-forming matrices, sodium caseinate and methylcellulose. The results support the potential of active coatings with lactobacilli under conditions that favor bacterial metabolic activity.

Keywords: lactic acid bacteria, edible films, edible coatings, antifungal

Úvod

V posledních letech stoupá zájem o využití jedlých biofilmů a povlaků v ochraně ovoce, zeleniny a dalších potravinářských surovin a produktů. Právě ovoce a zelenina jsou jednou z nejzranitelnějších komodit v potravinářském průmyslu, ohroženou ztrátami z důvodu kažení fungálními kontaminanty během transportu i skladování.

Jedlé biofilmy (samostatně formovaná tenká vrstva, do níž je potravina balena) a povlaky (tenká vrstva aplikovaná přímo na povrch potraviny) poskytují ochrannou fyzikální bariéru na povrchu ovoce a zeleniny a brání tak ztrátám vlhkosti, limitují mechanické vlivy poškozující rostlinný povrch a omezují kontaminaci mikroorganismy z prostředí. Mohou prodloužit trvanlivost při uchování nutričních a sensorických vlastností. Jsou rozložitelným materiálem, což dále přidává výhody z hlediska ochrany životního prostředí a vyhovuje to stále častějšímu požadavku konzumentů na přírodní a málo průmyslově zpracované potraviny (Silva a kol., 2023). Jsou jedinečné také jako možné nosiče nejrůznějších bioaktivních látek, jako jsou živiny, antioxidanty, látky zpomalující hnědnutí nebo antimikrobiální činidla. Zcela nové perspektivy přináší možnost inkorporace živých mikroorganismů, které mohou jak plnit ochrannou antimikrobiální funkci, tak také příznivě působit na zdraví konzumentů například svými probiotickými účinky (Guimarães a kol., 2018; Khan a kol., 2021). Tedy využití živých bakterií mléčného kvašení (BMK) v biofilmu či povlaku lze považovat za inovativní technologii s potenciálem zlepšit bezpečnost potravin, prodloužit trvanlivost při uchování nutričních a sensorických vlastností a pozitivně ovlivnit zdraví člověka. Vývoj a testování biofilmů a povlaků závisí na mnoha faktorech: výběru vhodného mikrobiálního kmene, cílové potraviny, způsobu manipulace, podmínkách skladování, fyzikálně-chemických vlastnostech báze biofilmu atd.

V naší studii jsme jako modelovou plodinu zvolili mrkev, zeleninu dlouhodobě skladovanou a běžně dostupnou v obchodním řetězci během celého roku, nejen v sezóně sklizně. Mrkev bývá v obchodní síti nabízena jak praná, tak nepraná, s natí, bez natě, volně nebo balená v plastových sáčkách. Hlavními patogeny, které způsobují měkké hniloby v podmínkách pultového prodeje, jsou bakteriální původci (*Pectobacterium carotovorum*). Původci fungálních hnilob s tvorbou myceliálních povlaků jsou houbové organismy (Davis a kol. 2007), jako například *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*, *Chalaropsis thielavioides*, nebo černě (*Cladosporium* spp.). Rozvoj hnilob souvisí s řadou faktorů, které zahrnují manipulaci s mrkví už při sklizni, následné skladování až koncové vyložení na pult. Pro rozvoj hniloby je klíčová přítomnost inokula na mrkvi a odpovídající teplotní a vlhkostní podmínky.

Do experimentů byly zařazeny vybrané bakteriální kmeny s *in vitro* prokázanou antifungální aktivitou (Kavková a kol., 2023; Kavková a kol., 2025; Mateo a kol., 2023). Jmenovitě šlo o *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactiplantibacillus pentosus* a *Latilactobacillus sakei*, které byly aplikovány ve formě povlaku na skladovanou mrkev. U těchto kmenů laktobacilů jsme se zaměřili na porovnání antifungální aktivity vůči kontaminantům *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*, *Rhizopus oligosporus* a *Cladosporium tenuissimum* a na porovnání dvou nosných matric povlaku: kaseinátu sodného (na bázi proteinů) a methylcelulózy (na bázi sacharidů).

Materiál a metody

K testům bylo vybráno šest bakteriálních kmenů a izolátů BMK; před aplikací do povlaku byly kultivovány v MRS+FGGM médiu za účelem intenzivní produkce funkčních metabolitů, jako jsou krátkořetězcové organické kyseliny (mléčná, octová) a antimikrobiální a antifungální peptidy a proteiny (Abassiliasi a kol., 2017; Kavková a kol., 2022). Dále byly použity čtyři fungální kontaminanty, které jsou známy jako příčina kazivosti a hnilob mrkve, zejména v podmínkách pultového prodeje při teplotách 20–25 °C. Za účelem produkce kontaminujících propagulí (konidie a sklerocia) byly kultivovány při 25 °C na PDA po dobu 5 dní. Všechny tyto organismy jsou součástí pracovní sbírky VÚM a sbírky CCDDM a CCDBC, Milcom a.s. (Tab. 1).

Tab. 1 Kmeny a izoláty použité při antifungálních testech.

Označení izolátu či kmene	Druh	Původ
CCDDM 1110	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	orig. kultura
CCDDM 1133	<i>Lactiplantibacillus pentosus</i>	list hrachu
CCDDM 196	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	siláž
CCDDM 1135 = LS1	<i>Latilactobacillus sakei</i> ssp. <i>sakei</i>	planá luskovina
CCDDM 717 = LS4	<i>Latilactobacillus sakei</i> ssp. <i>sakei</i>	neznámý původ
CCDDM 1138 = LS6	<i>Latilactobacillus sakei</i> ssp. <i>sakei</i>	hrách
CCDBC 327	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Scl)	jogurt
Izolát 55-BC	<i>Botrytis cinerea</i> (Botr)	zrno hrachu
Izolát 55-RO	<i>Rhizopus oligosporus</i> (Rhiz)	zrno sóji
Izolát CT	<i>Cladosporium tenuissimum</i> (Ten)	mléčný výrobek

Jako báze aktivního jedlého povlaku byla použita methylcelulóza (MCel) a kaseinát sodný (NaKas). Ty byly připraveny následovně: NaKas (Glentham Life) 2 % hm. byl rozpuštěn v deionizované vodě 2 hod s mícháním při pokojové teplotě, pak byl přidán jako plastifikátor glycerol (LachNer) v poměru hydrokoloid:glycerol 1:0,25 hm. (Marín a kol., 2019). MCel (hydroxypropylmethylcelulóza, SIGMA) 1 % hm. byla rozpuštěna v deionizované vodě, zahřáta 10 min. na 80 °C a následně rozpuštěna přes noc s mícháním při pokojové teplotě. Vše bylo sterilováno 15 min. při 121 °C.

Pro testy protektivních účinků BMK při skladování zeleniny byla modelově využita mrkev běžně dostupná v obchodě, praná, v plastovém sáčku. Mrkev byla nakrájena na kolečka šíře cca 5 mm a povrch sterilován osvitom UV světlem, 20 min. z každé strany. Kolečko mrkve bylo vždy namočen do směsi (1:1) sterilní báze nosiče jedlého povlaku a suspenze laktobacilů v MRS+FGGM médiu (koncentrace buněk cca 10⁸ KTJ/ml) a umístěno na vodou vlhčený filtrační papír do Petriho misky (vlhkost > 90 %, sterilní uspořádání). Jako kontrolní varianta sloužila kolečka mrkve namočená do stejného média, tj. NaKas či MCel a MRS+FGGM média 1:1, ale bez přítomnosti mikroorganismů. Po zaschnutí filmu přibližně 30 min. bylo na povrch vzorku mrkve naneseno 50 µl suspenze vláknité houby ve fyziologickém roztoku

s Tweenem. Kontroly i vzorky byly provedeny v triplikátu. Petriho misky simulující vlhkou komůrku a časté umístění mrkve v igelitových pytlích (vlhkost byla průběžně udržována) byly inkubovány v 25 °C (odpovídající teplotě pultového prodeje, podmínkám prodejní sítě) a průběžně byl vyhodnocován a fotograficky dokumentován růst vláknitých hub a míra degradace potravinové matrice. Ty byly numericky hodnoceny podle indexové stupnice, kde stupeň 1 popisuje nepoškozené rostlinné pletivo a stupeň 5 zcela zkažené. Hodnocení bylo obtížné a zohledňovalo diskoloraci pletiv mrkve (tmavnutí/hniloba) a její plošný rozsah, viditelné mycelium/povlak, texturu (praskání/slizovitost). Stupně pak odpovídají: 1 = čistá oranžová, 2 = mírné lokální změny (<10 %), 3 = střední (10–30 %), 4 = výrazné (30–60 %), 5 = rozsáhlé (>60 %). Pro statistické zpracování bylo použito hodnocení v 5. dni po zaočkování, kdy se nejvíce projevovaly rozdíly mezi kontrolami a pokusnými vzorky. V 10. dni byl pokus ukončen.

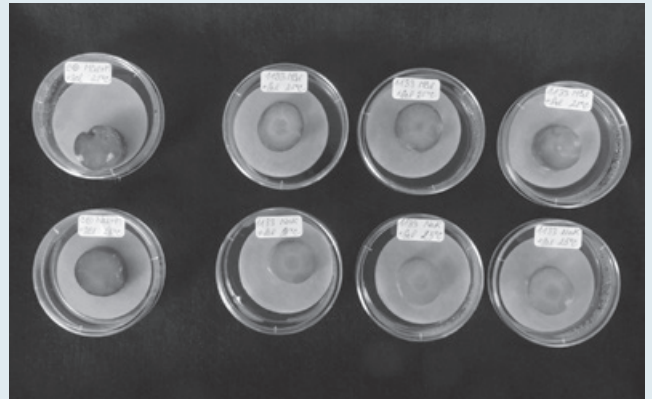
Výsledky a diskuze

Aplikace aktivních povlaků se suspenzí bakterií mléčného kvašení na povrchu mrkve při 25 °C vedla k pozorovatelnému potlačení makroskopických projevů kažení ve srovnání s kontrolou bez laktobacilů (Tab. 2). Srovnání kmenů v rámci druhů potvrzuje převahu kmenů *L. plantarum* a *pentosus*. Podobně protektivního účinku, byť o něco nižšího, dosahovaly vůči některým kontaminantům kmeny *L. sakei*. Mezi kmeny *L. sakei* vykazovaly kmeny LS1 a LS6 větší antifungální účinek nežli LS4, což je v souladu s našimi dřívějšími *in vitro* testy na PDA agaru publikovanými nedávno v tomto periodiku (Kavková a kol., 2025).

Z hlediska cílových kontaminantů byl efekt nejsilnější vůči *Sclerotinia sclerotiorum* a *Cladosporium tenuissimum* (Tab. 2). V indexové škále (1 = nulová degradace, 5 = maximální zkaženost) dosahoval lepšího stavu proti kontrole u nejlepších kmenů o 1,8 až 2,0 bodu u *S. sclerotiorum* a 1,5 až 1,6 bodu u *C. tenuissimum* (např. CCDM 1133: 2,0 a 1,5 (Obr. 1); CCDM 1110: 1,8 a 1,4). Naopak proti *Botrytis cinerea* a *Rhizopus oligosporus* byl efekt mírný a na hranici významnosti – redukce se typicky pohybovaly v intervalu 0 až 0,8 bodu u *B. cinerea* a 0,1 až 0,5 bodu u *R. oligosporus*, přičemž u některých kmenů byl účinek nulový (LS1/LS6: 0 proti *B. cinerea*). Tyto rozdíly v účinku připisujeme vyšší citlivosti *S. sclerotiorum* a *C. tenuissimum* na extracelulární metabolity použitých kmenů laktobacilů, zejména krátkořetězcových organických kyselin a jejich forem (Rollins a Dickman, 2001; Svanström a kol., 2014). Souběh těchto faktorů může vést k potlačení *S. sclerotiorum* a *C. tenuissimum*,

zatímco *B. cinerea* a *R. oligosporus* zůstávají převážně rezistentní.

Důležitou otázkou je rovněž role nosné matrice tvořící základ jedlého povlaku (Obr. 2). Lokální odlišnosti v jednotlivých kombinacích se objevují, ale při celkovém vyhodnocení není na hladině významnosti $p < 0,05$ statisticky významný rozdíl (shodně v poolingovém i párovém srovnání). To znamená, že na základě našeho pozorování nelze prohlásit jednu z matic za výhodnější.



Obr. 1 Mrkev s aktivním povlakem obsahujícím BMK a jeho antifungální účinek proti *Sclerotinia sclerotiorum* ve srovnání s kontrolou bez živých buněk po 5 dnech v 25 °C. Na fotografii vlevo kontrola, vpravo kmen CCDM 1133 v triplikátu, nahoře MCEL matrice, dole NaKas matrice povlaku. (Foto autorka)

Tab. 2 Ochranný účinek jedlých povlaků s bakteriemi mléčného kvašení proti vláknitým houbám *S. sclerotiorum*, *B. cinerea*, *R. oligosporus* a *C. tenuissimum* po 5 dnech inkubace při 25 °C. Index kažení 1–5 (1 = bez vady, 5 = maximální zkaženost)

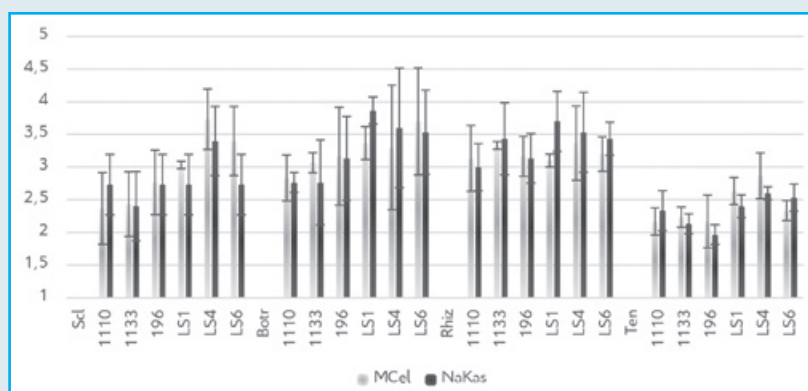
Kmen	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Rhizopus oligosporus</i>	<i>Cladosporium tenuissimum</i>
Kontrola	4,4 ± 0,5	3,6 ± 0,5	3,5 ± 0,5	3,7 ± 0,2
CCDM 1110	2,6 ± 0,5*	2,8 ± 0,2	3,1 ± 0,4	2,3 ± 0,3*
CCDM 1133	2,4 ± 0,5*	2,9 ± 0,5	3,4 ± 0,4	2,2 ± 0,1*
CCDM 196	2,8 ± 0,4*	3,2 ± 0,6	3,2 ± 0,3	2,1 ± 0,3*
CCDM 1135 = LS1	2,9 ± 0,3*	3,6 ± 0,3	3,4 ± 0,4	2,5 ± 0,2*
CCDM 717 = LS4	3,6 ± 0,5*	3,5 ± 0,9	3,5 ± 0,5	2,7 ± 0,3*
CCDM 1138 = LS6	3,1 ± 0,6*	3,6 ± 0,7	3,3 ± 0,3	2,4 ± 0,2*

Legenda: Hodnoty představují průměr sextuplikátu (nezávisle na matici nosiče buněk) ± směrodatná odchylka výběru. Statisticky významně lepší než kontrola (* $p < 0,05$; dvouvýběrový Welchův t test s Holmovou korekcí).

Tab. 3 Průměrný rozdíl ve zkaženosti vzorků: relativní hodnoty indexu vůči kontrole (záporná Δ = lepší než kontrola)

Kmen	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Rhizopus oligosporus</i>	<i>Cladosporium tenuissimum</i>
Kontrola	0,0	0,0	0,0	0,0
CCDM 1110	-1,8*	-0,8	-0,5	-1,4*
CCDM 1133	-2,0*	-0,7	-0,1	-1,5*
CCDM 196	-1,6*	-0,5	-0,4	-1,6*
CCDM 1135 = LS1	-1,5*	0,0	-0,1	-1,2*
CCDM 717 = LS4	-0,8*	-0,2	-0,1	-1,0*
CCDM 1138 = LS6	-1,3*	0,0	-0,2	-1,3*

Legenda: Hodnoty představují průměr sextuplikátu (nezávisle na matici nosiče buněk). Statisticky významně lepší než kontrola (* $p < 0,05$; dvouvýběrový Welchův t test s Holmovou korekcí).



Obr. 2 Graf srovnání antifungálního účinku laktobacilů v jedlých povlácích na bázi MCell a NaKas na čtyři fungální agens (Scl – *S. sclerotiorum*; Botr – *B. cinerea*; Rhiz – *R. oligosporus*; Ten – *C. tenuissimum*) na základě hodnotící škály 1 = bez vady, 5 = maximální zkaženost. Hodnoty představují průměr triplikátu ± směrodatná odchylka výběru. Mezi MCell a NaKas není na hladině $p < 0,05$ statisticky významný rozdíl

Roli v rozdílech mohou hrát nejen odlišné fyzikální vlastnosti vrstvy, ale rozdílná produkce bakteriocinů a doba přežívání bakterií, které se liší u polysacharidové matrix od matrix proteinové (Sánchez Gonzáles a kol., 2014).

Doplňkové pokusy mimo hlavní osu práce naznačují, že při 15 °C se protektivní účinek aktivních povlaků neuplatnil, zatímco samotné snížení teploty významně prodloužilo trvanlivost oproti 25 °C. Současně se neprokázal přínos promytí buněk před aplikací. Tyto poznatky podporují interpretaci, že pro dostatečně silné a dlouhodobé antifungální působení kmenů BMK je nezbytný aktivní metabolismus a dobrá fyziologická kondice použitých buněk; nízká teplota jejich aktivitu tlumí a promytí omezuje dostupnost substrátu. Na druhé straně zbytkové cukry z nosných látek nahrávají metabolické aktivitě nejen BMK, ale rovněž fungálních patogenů, čímž mohou snižovat antifungální efekt extracelulárních metabolitů laktobacilů. V praxi to znamená, že teplotní režim zůstává prvořadým faktorem řízení kažení čerstvé kořenové zeleniny, ale aktivní povlaky s bakteriemi mléčného kvašení mohou působit jako doplňkové opatření za vhodných podmínek. Právě 25 °C je běžná teplota v podmínkách prodejní sítě, která rovněž favorizuje růst vláknitých hub a kde se ochranný potenciál inkorporace laktobacilů do jedlého povlaku na povrch zeleniny může uplatnit. V této fázi však nelze vyvozovat závěry o připravenosti technologie pro provozní aplikaci.

Závěr

Při 25 °C poskytly aktivní povlaky obsahující především *L. plantarum*/*L. pentosus*, ale také *L. sakei* jasný, byť proměnlivý protektivní efekt, nejvýrazněji proti *Sclerotinia sclerotiorum* a *Cladosporium tenuissimum*. Konkrétně tyto dva fungální patogeny představují hlavní původce skládkových hnilob mrkve, kdežto *B. cinerea* a *R. oligosporus* se na skladované mrkvi vyskytují příležitostně, preferují spíše měkké ovoce a zeleninu

s dostatečným obsahem cukrů. U těchto použitých laktobacilů byla produkce antifungálních látek *in vitro* potvrzena řadou studií, naše pozorování rozšiřuje doposud nedostatečné poznatky o jejich perzistenci v prostředí s ohledem na experimentální podmínky. Mezi nosičem MCell a NaKas se v souhrnu neprokázal statisticky významný rozdíl. Z hlediska praktického využití aktivních povlaků, kdy je žádoucí širokospektrální antifungální efekt na co nejlevnější aplikační matici, je ovšem zatím nemyslitelné zakoncentrovávat či sušit funkční metabolity a následně je aplikovat postřikem.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu MZe ČR Země QK22010255 a Mze-RO1425.

Literatura

- ABBASILIASI S., TAN J. S., BASHOKOUH F., IBRAHIM T. A. T., MUSTAFA S., VAKHSHITEH F. and ARIFF A. B. (2017): In vitro assessment of *Pedio-coccus acidilactici* Kp10 for its potential use in the food industry. *BMC Microbiology*. 17, (1), s. 121.
- DAVIS R. M., NUÑEZ J. (2007): Integrated approaches for carrot pests and diseases management. In: CIANCIO A., MUKERJI K. G. (eds) General concepts in integrated pest and disease management. Integrated management of plants pests and diseases, vol 1. Springer, Dordrecht. ISBN 978-1-4020-6060-1. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6061-8_6.
- GUIMARÃES A., ABRUNHOSA L., PASTRANA L. M., CERQUEIRA M. A. (2018): Edible films and coatings as carriers of living microorganisms: A new strategy towards biopreservation and healthier foods. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 17, (3), s. 594-614. doi: 10.1111/1541-4337.12345.
- KAVKOVÁ M., BAZALOVÁ O., CIHLÁŘ J., BOHATÁ A., LENCOVÁ J., KONVALINA P. (2023): Characterisation of wild strains of lactic acid bacteria isolated from legumes and their biocontrol potential against *Fusarium* spp. *Agronomy*. 13, s. 2911.
- KAVKOVÁ M., BAZALOVÁ O., CIHLÁŘ J., TŮMOVÁ A. (2025): Funkční potenciál izolátů bakterií mléčného kvašení z luskovin. *Mlékařské listy* 36, (208), s. 1–7.
- KAVKOVÁ M., CIHLÁŘ J., DRÁB V., BAZALOVÁ O., DLOUHÁ Z. (2022): The interactions among isolates of *Lactiplantibacillus plantarum* and dairy yeast contaminants: Towards biocontrol applications. *Fermentation*. 8, (1), 14. <https://doi.org/10.3390/fermentation8010014>.
- KHAN M. R., VOLPE S., VALENTINO M., MIELE N. A., CAVELLA S., TORRIERI E. (2021): Active casein coatings and films for perishable foods: Structural properties and shelf-life extension. *Coatings*, 11 (8), 899. <https://doi.org/10.3390/coatings11080899>.
- MARÍN A., PLOTTO A., ATARÉS L., CHIRALT A. (2019): Lactic acid bacteria incorporated into edible coatings to control fungal growth and maintain postharvest quality of grapes. *HortScience* 54, (2), s. 337-343. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13661-18>.
- MATEO E. M., TARAZONA A., AZNAR R., MATEO F. (2023): Exploring the impact of lactic acid bacteria on the biocontrol of toxigenic *Fusarium* spp. and their main mycotoxins. *Int J Food Microbiol.* 387, (16), 110054. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.110054.
- ROLLINS J. A., DICKMAN M. B. (2001): pH signaling in *Sclerotinia sclerotiorum*: Identification of a pacC/RIM1 homolog. *Applied and Environmental Microbiology* 67, (1): s. 75-81. doi: 10.1128/AEM.67.1.75-81.2001.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ L., QUINTERO SAAVEDRA J. I., CHIRALT A. (2014): Antilisterial and physical properties of biopolymer films containing lactic acid bacteria. *Food Control* 35, (1), s. 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.07.001>.

SILVA S. P. M., TEIXEIRA J. A., SILVA C. C. G. (2023): Recent advances in the use of edible films and coatings with probiotic and bacteriocin-producing lactic acid bacteria. *Food Bioscience* 56, s. 1–13.

SVANSTRÖM Å., BOVERI S., BOSTRÖM E., MELIN P. (2013): The lactic acid bacteria metabolite phenyllactic acid inhibits both radial growth and sporulation of filamentous fungi. *BMC Res Notes* 6, 464. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-6-464>.

Korespondující autor: Ing. Jana Jechová, CSc.
Výzkumný ústav mlékárenský s.r.o., Ke Dvoru 12a,
160 00 Praha 6, e-mail: j.jechova@vum-tabor.cz

Přijato do tisku: 11. 11. 2025

Lektorováno: 25. 11. 2025

MIKROBIÁLNÍ PROFILY SÝRŮ ZRAJÍCÍCH POD MAZEM VYRÁBĚNÝCH V ČR

Kristýna Kořená¹, Anna Klimešová², Martina Florianová¹,
Miroslava Krzyžánková¹, Helena Juřicová¹

¹ Výzkumný ústav veterinárního lékařství, v.v.i., Brno

² Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita, Brno

MICROBIAL PROFILES OF SMEAR-RIPENED CHEESES PRODUCED IN THE CZECH REPUBLIC

ABSTRAKT

Sýry zrající pod mazem se vyznačují komplexní mikrobiotou, která hraje klíčovou roli při zrání, rozvoji chuti, struktuře a mikrobiologické bezpečnosti. Přestože se komerční výroba obvykle opírá o definované startovací a přídatné kultury, vlastnosti finálního výrobku jsou významně ovlivňovány i mikroorganismy z výrobního prostředí. Tato studie zkoumala mikrobiální složení sýrů zrajících pod mazem čtyř českých výrobců pomocí kultivačních i kultivačně nezávislých technik, včetně sekvenování genu pro 16S rRNA a sekvenování ITS regionů. Kultivací bylo ve všech analyzovaných vzorcích identifikováno 33 různých bakteriálních druhů. Složení mikrobioty identifikované sekvenovacími metodami odráželo podíl mezofilních i termofilních startovacích a přídatných kultur spolu s mikroorganismy pocházejícími z výrobního prostředí. Výsledky ukazují, že ačkoli se při komerční výrobě používá pasterované mléko a definované startovací kultury, mikrobiální diverzita je do značné míry ovlivněna specifickou mikrobiotou přítomnou v prostředí sýrárny.

Klíčová slova: sýr zrající pod mazem; mikrobiota sýrů; sekvenování genu pro 16S rRNA, sekvenování ITS regionů

ABSTRACT

Smear-ripened cheeses are distinguished by their complex microbiota, which play pivotal roles in ripening, flavour development, texture, and microbiological safety. Although commercial production typically relies on defined starter and adjunct cultures, microorganisms from the production environment also significantly shape the final product's characteristics. This study examined the microbial composition of smear-ripened cheeses from four Czech commercial manufacturers using culture and culture-independent techniques, including 16S rRNA gene sequencing and sequencing of internal transcribed spacers. A limited number of microorganisms was recovered by cultivation, with 33 different species identified across all samples. The microbiota composition identified by sequencing reflected the contribution of both mesophilic and thermophilic starter and adjunct cultures, alongside microorganisms originating from the production environment. The results indicate that although pasteurized milk and defined starter cultures are used in commercial production, the microbial diversity is largely influenced by the specific microbiota present in the cheese factory environment.

Keywords: smear-ripened cheese; cheese microbiota; 16S rRNA gene sequencing, ITS sequencing

ÚVOD

Mikroorganismy hrají při výrobě sýrů zrajících pod mazem zásadní roli a významně ovlivňují vývoj senzoryckých parametrů konečného výrobku. V současné době jsou při výrobě používány specifické mlékařské kultury, které umožňují standardizovat výrobní postupy, zlepšují kontrolu kvality sýrů a navíc poskytují ochranu před nežádoucími patogenními mikroorganismy.

Na počátku výroby sýrů se do mléka přidávají startovací kultury (SC, z angl. Starter Culture), které se skládají především z bakterií mléčného kvašení. Tyto bakterie jsou klíčové pro zahájení fermentačního procesu. Působením těchto kultur vzniká kyselé prostředí, které potlačuje růst nežádoucí mikroflóry, včetně mikroorganismů způsobujících kažení nebo technologické vady produktu (Fox a McSweeney, 2004). Podle optimální teploty růstu se startovací kultury rozděluje na mezofilní a termofilní. Toto rozdělení je důležité pro volbu vhodného typu kultury při výrobě různých druhů sýrů, protože změny teploty ovlivňují aktivitu bakterií, a tím i proces výroby a zrání sýrů.

Při výrobě sýrů zrajících pod mazem bývají na povrch sýra aplikovány také doplňkové (sekundární) kultury, které kromě bakterií zahrnují i kvasinky. Tyto mikroorganismy mají důležitou funkci při vytváření měkké a vlhké kůry charakteristické pro sýry zrající pod mazem (Brennan a kol., 2004). Bakterie rozkládají bílkoviny a tuky v sýru, což vede k produkci aromatických sloučenin, jako je čpavek a síra, které významně přispívají k výraznému