

VLIV SELENIČITANU SODNÉHO NA PRODUKCI, MORFOLOGII A STRUKTURU BAKTERIÁLNÍ CELULÓZY PRODUKOVANÉ KMENEM *KOMAGATAEIBACTER XYLINUS* CCM 2360

Ivana Hyršlová^{1,2}; Antonín Kaňka³; Gabriela Krausová¹; Jitka Peroutková¹, Markéta Borková¹, Šárka Musilová²

¹ Výzkumný ústav mlékárenský s.r.o.

² Česká zemědělská univerzita v Praze

³ Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Effect of sodium selenite on the production, morphology and structure of microbial cellulose produced by *Komagataeibacter xylinus* CCM 2360

Abstrakt

Bakteriální celulóza (BC) představuje přírodní biopolymer s jedinečnými fyzikálně-chemickými a biologickými vlastnostmi, produkováný také bakteriemi rodu *Komagataeibacter*. V této studii byl sledován vliv přídavku Na_2SeO_3 v koncentracích 0, 10, 30 a 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ do modifikovaného syntetického Hestrin-Schrammova (HS) média na produkci, morfologii a strukturu BC produkované kmenem *K. xylinus* CCM 2360. Kultivace probíhala staticky při 25 °C po dobu 7 dnů. Obsah selenu ve vzorcích byl stanoven metodou ICP–MS, morfologie byla hodnocena pomocí skenovací a transmisní elektronové mikroskopie (SEM a TEM/EDS). Výsledky ukázaly, že zvyšující se koncentrace seleničitanu způsobovala pokles výtěžnosti BC až o 90 % při 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_2SeO_3 . Selen byl úspěšně inkorporován do vláken celulózy, přičemž jeho obsah rostl lineárně s koncentrací v médiu (až $2,41 \pm 0,12 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny). Mikroskopická analýza potvrdila změny v morfologii vláken – při vyšších koncentracích selenu docházelo k jejich ztenčení a dezorganizaci vláknité sítě. Metoda TEM/EDS potvrdila přítomnost selenových nanočástic (SeNPs) o velikosti 20–50 nm rovnoměrně rozptýlených v matici BC. Získané výsledky naznačují, že Na_2SeO_3 ovlivňuje jak biosyntézu, tak strukturu BC a může být využit k tvorbě bioaktivních nanokompozitů se zvýšenou antioxidační a antimikrobiální aktivitou.

Klíčová slova: *Komagataeibacter xylinus*, bakteriální celulóza, selen, SeNPs, morfologie, bioaktivní materiály

Abstract

Bacterial cellulose (BC) is a natural biopolymer produced by *Komagataeibacter species*, characterized by

its exceptional physicochemical and biological properties. This study investigated the effect of sodium selenite (Na_2SeO_3) supplementation at concentrations of 0, 10, 30, and 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in modified synthetic Hestrin-Schramm (HS) medium on the production, morphology, and structure of bacterial cellulose synthesized by *Komagataeibacter xylinus* CCM 2360. Cultivation was carried out statically at 25 °C for 7 days. Selenium content was quantified using ICP–MS, while fiber morphology and structural characteristics were analysed by scanning and transmission electron microscopy (SEM and TEM/EDS). The results demonstrated a concentration-dependent decrease in cellulose yield, with up to a 90 % reduction at 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_2SeO_3 . Selenium was effectively incorporated into the cellulose matrix, showing a linear increase in Se content with medium concentration (up to $2.41 \pm 0.12 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ dry weight). Microscopic analysis revealed morphological alterations, including fiber thinning and network disorganization at higher selenium levels. TEM/EDS confirmed the presence of selenium nanoparticles (SeNPs) sized 20–50 nm homogeneously distributed within the BC matrix. These findings indicate that Na_2SeO_3 influences both the biosynthesis and the structural organization of BC and can be utilised for the formation of bioactive Se–BC nanocomposites with enhanced antioxidant and antimicrobial properties.

Keywords: *Komagataeibacter xylinus*, bacterial cellulose, selenium, SeNPs, morphology, bioactive materials

Úvod

Bakteriální celulóza (BC) představuje přírodní polymer s výjimečnými fyzikálně-chemickými vlastnostmi, produkováný také bakteriemi rodu *Komagataeibacter*, zejména druhem *K. xylinus*. Tento biopolymer je tvořen prostorovou sítí nanovláken o průměru 20–100 nm, které vykazují vysokou pevnost, čistotu, krystalinitu a schopnost zadržovat vodu (Haslan a kol., 2025). Díky těmto vlastnostem je BC široce využívána v biomedicíně, tkáňovém inženýrství, potravinářství, kosmetice a environmentálních technologiích (Wang a kol., 2021). Rostoucí zájem o BC je také spojen s možností její biologické modifikace během biosyntézy, která umožňuje cíleně měnit morfologii, povrchové vlastnosti a funkčnost materiálu. Jedním z významných směrů těchto modifikací je inkorporace stopových prvků, zejména selenu (Se), který je známý svými antioxidačními, antibakteriálními a imunomodulačními účinky (Szafranśka a kol., 2025). Selen se v biologických systémech vyskytuje ve formě selenoproteinů, které hrají zásadní roli při ochraně buněk před oxidačním stresem, v metabolismu hormonů štítné žlázy a v regulaci imunitní odpovědi. Jeho biologický účinek je však silně závislý na jeho formě a koncentraci – zatímco nízké dávky mohou působit stimulačně, vyšší koncentrace jsou pro mikroorganismy toxické (Zan a kol., 2024). V posledních letech se pozornost výzku-

mu soustřeďuje na nanočástice selenu (SeNPs), které se vyznačují vyšší biologickou aktivitou a nižší toxicitou než anorganické formy (Li a kol., 2024). Nanočástice selenu mohou interagovat s biologickými makromolekulami a zprostředkovávat antioxidační a antimikrobiální účinky. Významnou roli při jejich stabilizaci hrají polysacharidy, včetně celulózy, chitosanu nebo hyaluronové kyseliny, které zlepšují stabilitu koloidních systémů a bioadhezivní vlastnosti výsledných nanokompozitů (Blinov a kol., 2021). Předchozí výzkumy ukazují, že inkorporace selenu do polysacharidových matic (např. amylopektinu, chitosanu nebo neonolu) může výrazně ovlivnit velikost částic, zeta potenciál i biologickou aktivitu vzniklých komplexů (Rekhman a kol., 2024). Například selenové nanočástice stabilizované neonolem dosahovaly průměrného poloměru 15–30 nm a zeta potenciálu –36 mV, což zajišťovalo jejich vysokou koloidní stabilitu a antimikrobiální účinnost (Rekhman a kol., 2024). Výzkum Wanga a kol. (2021) dále ukázal, že selen lze syntetizovat přímo *in situ* na povrchu kationizované celulózy, přičemž vzniklé nanokompozity vykazovaly výraznou antibakteriální aktivitu vůči *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae* a *Escherichia coli*, a zároveň nízkou cytotoxicitu. Působení selenu na bakterie rodu *Komagataeibacter* dosud nebylo detailně studováno, nicméně poznatky z jiných mikroorganismů, např. *Lactiplantibacillus plantarum* DSM 24730, ukazují, že přídavek seleničitanu sodného může ovlivnit růst a metabolismus buněk. Nízké koncentrace (5–10 mg/L) stimulují růst a biotransformaci anorganického selenu na organické formy, zatímco koncentrace nad 50 mg/L již vykazují inhibiční účinky a prodlužují lag fázi (Szafránska a kol., 2025). Tento efekt je přisuzován indukci oxidačního stresu, který může ovlivnit redoxní rovnováhu, činnost enzymů a dostupnost metabolických prekurzorů (Yilmaz & Goksungur, 2024). Ve vztahu k syntéze celulózy se předpokládá, že selen ve formě seleničitanu může působit dvojím způsobem: (i) inhibovat enzymatické komplexy syntetizující celulózu, zejména celulóza-syntázu, prostřednictvím oxidačního poškození thiolových skupin, a (ii) interferovat s přenosem glukózových jednotek a stabilitou buněčné membrány, čímž ovlivňuje morfologii a strukturu vláken (Kaczmarek a kol., 2022). Předchozí práce rovněž prokázaly, že toxické ionty kovů či anionty mohou snižovat krystalinitu a způsobovat nepravidelné uspořádání celulózových vláken (Przygrodzka a kol., 2022). Tyto poznatky naznačují, že selenizace během biosyntézy BC může vést ke vzniku vláken s odlišnou morfologií a fyzikálními vlastnostmi, které mohou být využitelné v aplikacích vyžadujících zvýšenou biologickou aktivitu (např. obvazy, biofilmy, sorpční materiály). Cílem této práce bylo posoudit vliv seleničitanu sodného na produkci a morfologii BC produkované kmenem *Komagataeibacter xylinus* CCM 2360 a objasnit, jak přítomnost selenu v kultivačním médiu ovlivňuje tvorbu, uspořádání a elementární složení celulózových vláken.

Materiál a metody

Produkce celulózy

Pro produkci selenizované BC byl použit kmen *Komagataeibacter xylinus* CCM 2360, který byl vybrán na základě předchozího screeningového testu jako nejefektivnější producent celulózy na syntetickém médiu Hestrin-Schramm (HSm). Kultivace probíhala ve statických podmínkách po dobu 7 dnů při teplotě 25 °C. Pro experimenty bylo použito modifikované médium HSm obsahující glukózu (20 g·L⁻¹), pepton (5 g·L⁻¹), kvasničný extrakt (5 g·L⁻¹), kyselinu citronovou (1,15 g·L⁻¹), Na₂HPO₄ (2,7 g·L⁻¹) a CaCO₃ (2,7 g·L⁻¹). Do média byly přidány různé koncentrace seleničitanu sodného (Na SeO ; Sigma-Aldrich, St. Louis, USA) – 0, 10, 30 a 50 mg·L⁻¹ – za účelem sledování vlivu selenizace na produkci a vlastnosti BC.

Po ukončení kultivace byly celulózové vrstvy odděleny, několikrát promyty destilovanou vodou a neutralizovány 0,1 M NaOH při 80 °C po dobu 2 h pro odstranění zbytků živného média a buněčných zbytků. Následně byly vzorky znovu promyty a lyofilizovány (FreeZone 6, Labconco, USA). Sušina byla použita pro kvantitativní stanovení výtěžnosti a pro další analýzy.

Stanovení obsahu selenu

Obsah selenu (Se) v lyofilizované celulóze byl stanoven metodou induktivně vázané plazmové hmotnostní spektrometrie (ICP–MS). Přibližně 0,005 g sušiny bylo přesně naváženo do teflonových nádob a rozloženo v 3 mL koncentrované kyseliny dusičné (67 %, Analpure®, Analytika, ČR) pomocí mikrovlnné asistované digesce (Speedwave 4, Berghof, Německo) po dobu 10 min při 190 °C. Po ochlazení byl digerovaný vzorek převeden do 50 mL odměrné baňky, doplněn interním standardem telluru (Te; 20 µg·L⁻¹; 1000 ± 2 mg·L⁻¹, Analytika, ČR) a demineralizovanou vodou (Milli-Q, Millipore, Bedford, USA). Stanovení bylo provedeno na přístroji ICP–MS ELAN DRC-e (PerkinElmer, Concord, Kanada) s následujícími parametry: výkon RF 1,3 kW; průtok nebulizačního plynu 0,78 L·min⁻¹; průtok pomocného plynu 1 L·min⁻¹; průtok plazmového plynu 11 L·min⁻¹. Měřené izotopy: ⁸⁰Se (analyt) a ¹²⁸Te (interní standard). Spektrální interference iontu ⁴⁰Ar₂⁺ byla eliminována použitím dynamické reakční buňky (DRC) s metanem (průtok 0,3 mL·min⁻¹) jako reakčním plynem. Kalibrační roztoky selenu byly připraveny z certifikovaných standardů (Analytika, ČR). Každé měření bylo provedeno ve třech paralelních opakováních.

Morfologická analýza (SEM a TEM/EDS)

Morfologie a struktura vláken BC byla analyzována pomocí skenovací elektronové mikroskopie (SEM) na zařízení TESCAN LYRA3 GMU (TESCAN, Česká republika) vybaveném FEG zdrojem elektronů. Měření byla prováděna při akceleračním napětí 5 kV. Vzorky byly fixovány na vodivou uhlíkovou pásku a pokryty 10 nm

vrstvou zlata pomocí sputter coateru Quorum Q150R S (Leica Microsystems, Německo). Získané snímky byly zpracovány pomocí softwaru ImageJ 1.50i (NIH, USA), který umožnil kvantitativní hodnocení průměru vláken a povrchové hustoty sítě. Pro detailní analýzu nanostruktury a distribuce selenu ve vláknité matici byla použita transmisní elektronová mikroskopie (TEM) typu EFTEM Jeol 2200 (Jeol, Japonsko) vybavená energiově-disperzní spektroskopií (EDS). Vzorky byly před měřením dispergovány v destilované vodě, nanесeny na měděnou mřížku a sušeny při laboratorní teplotě. Snímky byly zpracovány v programu ImageJ a analyzovány pro stanovení průměrné velikosti vláken, morfologie a distribuce Se.

Vyhodnocení dat

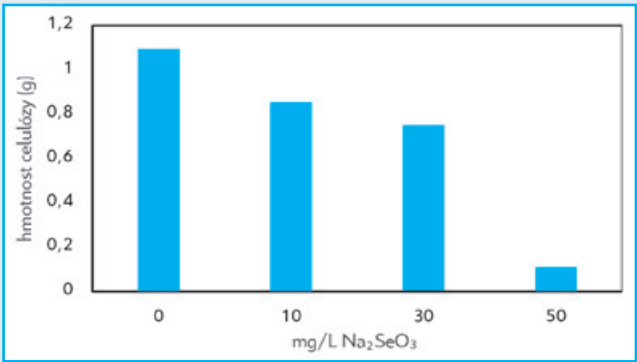
Výsledky byly zpracovány pomocí programu OriginPro 2023 (OriginLab, USA). Data jsou prezentována jako průměr ± směrodatná odchylka ze tří nezávislých měření. Statistická významnost rozdílů mezi skupinami byla hodnocena pomocí jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA), následované Tukeyho post-hoc testem ($p < 0,05$).

Výsledky a diskuse

Vliv seleničitanu sodného na produkci bakteriální celulózy

Na základě výsledků předchozího screeningu byl pro experimenty vybrán kmen *Komagataeibacter xylinus* CCM 2360, který prokázal nejvyšší produkční schopnost na modifikovaném HSm médiu. Přídavek seleničitanu sodného do kultivačního média měl výrazný vliv na množství produkované BC. Jak ukazuje Obr. 1, docházelo s rostoucí koncentrací seleničitanu ($0\text{--}50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) k postupnému poklesu výtěžnosti celulózy. Při nejvyšší koncentraci $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ byla produkce BC snížena o přibližně 90 % oproti kontrolnímu vzorku bez přídavku selenu. Tento výsledek potvrzuje, že selen v oxidační formě (Se^{4+}) působí jako stresový faktor, který ovlivňuje metabolické procesy buněk *K. xylinus*. Podobné trendy byly popsány i u jiných bakteriálních systémů. Například Szafránska a kol. (2025) prokázali, že koncentrace selenu vyšší než $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ inhibuje růst kmenů *Lactiplantibacillus*

Obr. 1 Vliv koncentrace Na_2SeO_3 ($0\text{--}50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) na výtěžnost celulózy po 7 dnech kultivace při $25\text{ }^\circ\text{C}$. Hodnoty představují průměr ± SD, $n = 3$



cillus plantarum DSM 24730 a 299v v důsledku narušení oxidačně-redukční rovnováhy. Yilmaz a Goksungur (2024) uvádějí, že přítomnost seleničitanu v kultivačním prostředí vyvolává tvorbu reaktivních forem kyslíku (ROS), které poškozují enzymy zapojené do biosyntézy celulózy, zejména celulóza syntázu.

Stanovení obsahu selenu metodou ICP–MS prokázalo, že selen byl úspěšně inkorporován do vznikajícího celulózového matrice. Obsah selenu ve vzorcích lineárně rostl s koncentrací přidaného seleničitanu (Tab. 1). Při nejvyšší koncentraci ($50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) dosahoval průměrný obsah Se ve vzorku $2,41 \pm 0,12\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny. Z hlediska mechanismu lze předpokládat, že část selenu je zabudována do celulózové matrice během polymerace glukózových jednotek, zatímco zbytek je fyzikálně adsorbován na povrchu vláken. Tento závěr podporují výsledky EDS analýzy, které prokázaly přítomnost atomového signálu selenu v homogenním rozložení po celém povrchu vláken (Obr. 4). Podobně Rekhman a kol. (2024) popsali stabilní integraci SeNPs do textilních vláken, přičemž průměrná velikost částic se pohybovala mezi $15\text{--}30\text{ nm}$ a jejich distribuce byla homogenní v polymerní matici. Tato stabilní vazba mezi Se a polysacharidovými strukturami může být výsledkem interakce s hydroxylovými skupinami celulózy.

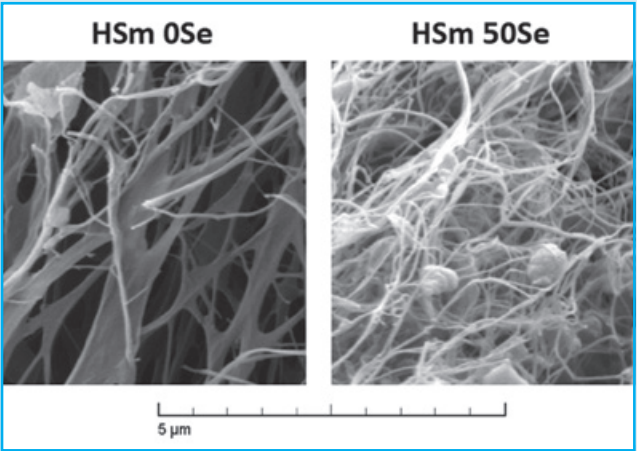
Tab. 1 Obsah selenu ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny) v bakteriální celulóze v závislosti na koncentraci Na_2SeO_3 v médiu ($n = 3$)

Koncentrace Na_2SeO_3 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Obsah Se ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny) ± SD
0	<0.01
10	0.81 ± 0.05
30	1.74 ± 0.09
50	2.41 ± 0.12

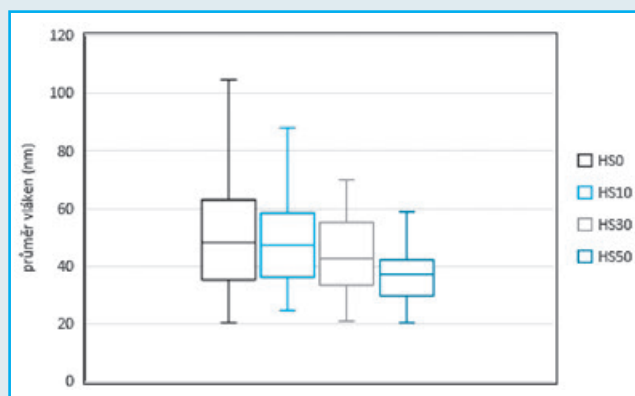
Morfologie vláken selenizované celulózy

Analýza morfologie pomocí SEM prokázala, že přítomnost seleničitanu výrazně ovlivnila uspořádání a hustotu vláken. Jak ukazuje Obr. 2, celulóza produkovaná v kontrolním médiu (bez selenu) měla typickou síťovitou uspořádanou strukturu s hladkými, homogenními vlákny

Obr. 2 SEM snímek bakteriální celulózy (0 a $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Na_2SeO_3)



Obr. 3 Závislost průměru vláken celulózy na obsahu přidaného seleničitanu

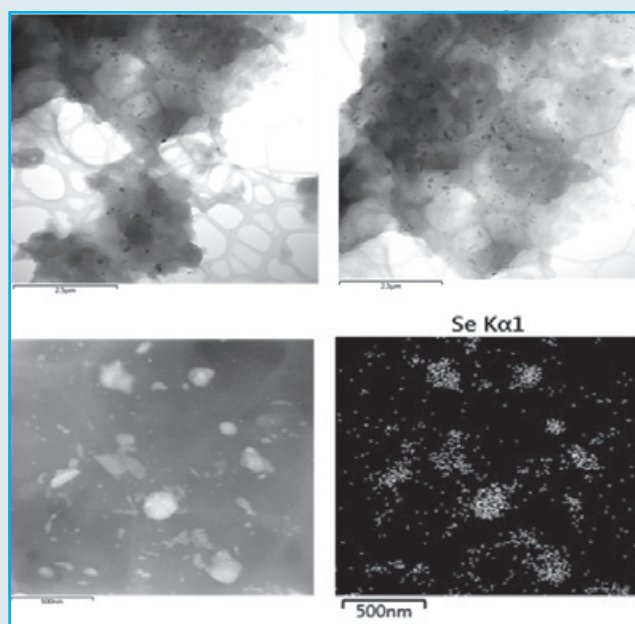


o průměru přibližně 65 ± 5 nm. Po přidavku $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Na_2SeO_3 však došlo ke zvýšené hustotě a částečné dezorganizaci vláken, přičemž průměrná tloušťka klesla na 45 ± 6 nm (Obr. 3). Tato změna může být způsobena inhibicí enzymatických komplexů odpovědných za tvorbu celulóзовého mikrofibrilárního svazku, což vede k tenčím a méně krystalickým vláknům (Kaczmarek a kol., 2022). Tyto výsledky jsou v souladu s pracemi Przygodzka a kol. (2022), kteří pozorovali, že stresové faktory, včetně přítomnosti aniontů těžkých kovů, mohou snižovat krystalinitu a způsobovat nepravidelnosti ve struktuře BC.

Strukturní analýza metodou TEM/EDS

Analýza TEM potvrdila přítomnost nanočástic selenu inkorporovaných do vláken celulózy, které měly kulovitý až sub-sférický tvar a velikost 20–50 nm. Distribuce těchto částic byla rovnoměrná v celulóзовé matici, přičemž nebyly pozorovány žádné výrazné agregáty (Obr. 4). Spektroskopie EDS potvrdila přítomnost prvku Se v oblasti vláken a absence kontaminantů svědčí

Obr. 4 TEM–EDS analýza selenizované celulózy ($50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Na_2SeO_3)



o čisté inkorporaci bez vedlejších reakcí. Tato pozorování odpovídají výsledkům Abu-Elghait a kol. (2021), kteří popsali podobnou stabilní integraci SeNPs do polysacharidových matic s významným antimikrobiálním efektem.

Na základě získaných výsledků lze předpokládat, že selen ovlivňuje biosyntézu bakteriální celulózy několika vzájemně provázanými mechanismy. V iontové formě (Se^{4+}) působí jako redoxně aktivní látka, která může měnit poměr NAD^+/NADH v cytoplazmě a tím omezovat tvorbu UDP-glukózy, klíčového prekursoru pro syntézu celulózy. Zároveň může seleničitan oxidovat thiolové skupiny cysteinových zbytků v aktivním místě enzymu celulóza-syntázy, čímž dochází ke snížení polymerační aktivity a narušení tvorby mikrofibril. Tyto změny vedou ke zpomalení biosyntézy a ke vzniku vláken s nižší krystalinitou a menší strukturální pravidelností. Současně probíhá i částečná redukce Se^{4+} na elementární Se^0 , který se ukládá do vznikající celulóзовé matrice ve formě nanočástic. Tento proces, popsáný i u jiných mikrobiálních systémů (Rekhman a kol., 2024; Wang a kol., 2021), může vysvětlovat rovnoměrnou distribuci SeNPs pozorovanou v TEM analýzách. Výsledkem těchto interakcí je vznik selenizované mikrobiální celulózy s modifikovanou mikrostrukturou a zvýšenou bioaktivitou, což potvrzuje potenciál selenu jako nástroje pro řízenou funkční úpravu celulóзовých biomateriálů.

Závěr

Výsledky této studie prokazují, že přidavek seleničitanu sodného do kultivačního média *Komagataeibacter xylinus* CCM 2360 významně ovlivňuje jak produkci, tak morfologii BC. Zvýšení koncentrace seleničitanu ($\geq 30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) vedlo k poklesu výtěžnosti BC, nicméně byla potvrzena efektivní inkorporace selenu ve formě nanočástic do její vláknenné struktury. Tyto poznatky představují základ pro vývoj bioaktivní selenizované BC s potenciálním využitím v biomedicíně a biotechnologiích. V budoucích experimentech bude pozornost zaměřena na optimalizaci kultivačních podmínek (zdroj uhlíku, pH, doba kultivace) a hodnocení biologických funkcí modifikované BC, včetně antimikrobiální aktivity a antioxidační kapacity.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory Institucionální podpory MZe-RO1425.

Literatura

- ABU-ELGHAI, M., HASHEM, A. H., SHAFAR, M. W., SALEM, S. S., ASHOUR, R. M. (2021): Ecofriendly novel synthesis of tertiary composite based on cellulose and myco-synthesized selenium nanoparticles: characterization, antibiofilm and biocompatibility. *International Journal of Biological Macromolecules*, 175, s. 294–303. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.052>
- BLINOV, A. V., KOSTENKO, K. V., GVOZDENKO, A. A., MAGLAKELIDZE, D. G., GOLIK, A. B., NAGDALIAN, A. A., STATSENKO, E. N., NIKULNIKOVA, N. N., REMIZOV, D. M., VEREVKINA, M. N., POVETKIN, S. N. (2021): Study of stabilization of selenium nanoparticles by polysaccharides. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 34, s. 209–216.

- 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 kaseinát a methylocelulózou 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.