

Antibakteriální aktivita biosurfaktantů

Kateřina Vašíčková

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Kateřina Vašíčková**
Osobní číslo: **T21595**
Studijní program: **B0711A130009 Materiály a technologie**
Specializace: **Biomateriály a kosmetika**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Antibakteriální aktivita biosurfaktantů**

Zásady pro vypracování

Zpracujte rešerši na zadané téma.
Věnujte se charakteristice biosurfaktantů, které mají potenciální využití v kosmetice a dermatologii.
Zaměřte se na jejich antibakteriální aktivitu, a to především vůči bakteriím asociovaným s kožními infekcemi.
Dále sledujte vliv biosurfaktantů na tvorbu biofilmu u vybraných bakterií.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] GEIS, Philip A. *Cosmetic microbiology: a practical approach*. 3. Boca Raton: CRC Press, 2020. ISBN 9781138733572.
- [2] MULLIGAN, Catherine N., Sanjay K. SHARMA a Ackmez MUDHOO. *Biosurfactants: research trends and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis, 2014. ISBN 9781466518230.
- [3] ADU, Simms A., Patrick J. NAUGHTON, Roger MARCHANT a Ibrahim M. BANAT. Microbial Biosurfactants in Cosmetic and Personal Skincare Pharmaceutical Formulations. *Pharmaceutics* [online]. 2020, 12(11). ISSN 1999-4923. Dostupné z: doi:10.3390/pharmaceutics12111099.
- [4] KITAMOTO, Dai, Tokuma FUKUOKA, Azusa SAIKA a Tomotake MORITA. Glycolipid Biosurfactants, Mannosylerythritol Lipids: Distinctive Interfacial Properties and Applications in Cosmetic and Personal Care Products. *Journal of Oleo Science* [online]. 2021, 71(1), 1-13. ISSN 1345-8957. Dostupné z: doi:10.5650/jos.ess21358.

Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Iva Čermáková, Ph.D.**
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Datum zadání bakalářské práce: **5. února 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Lucie Urbánková, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORKY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků budu uvedena jako spoluautorka.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studentky: Kateřina Vašíčková

.....
podpis studentky

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o antibakteriální aktivitě biosurfaktantů. Na začátku je uvedena obecná charakteristika biosurfaktantů, které jsou méně toxické a šetrnější k životnímu prostředí ve srovnání se syntetickými surfaktanty. Dále je popsán kožní mikrobiom jako prostředí pro mikroorganismy a jednotlivé bakterie, které zde obývají. Práce obsahuje literární rešerši antibakteriální aktivity biosurfaktantů proti patogenním bakteriím a jejich antibiofilmovou aktivitu. V poslední části jsou uvedeny oblasti využití biosurfaktantů a konkrétní příklady kosmetických přípravků obsahujících biosurfaktanty.

Klíčová slova: biosurfaktanty, antibakteriální aktivita, patogenní bakterie, antibiofilmová aktivita

ABSTRACT

This bachelor's thesis discusses the antibacterial activity of biosurfactants. It begins with a general characterization of biosurfactants, which are less toxic and more environmentally friendly compared to synthetic surfactants. The skin microbiome is then described as a habitat for microorganisms and the individual bacteria that inhabit it. The thesis includes a literature review on the antibacterial activity of biosurfactants against pathogenic bacteria and their antibiofilm activity. The final section presents areas of application for biosurfactants and specific examples of cosmetic products containing biosurfactants.

Keywords: biosurfactants, antibacterial activity, pathogenic bacteria, antibiofilm activity

Tímto bych chtěla poděkovat mé vedoucí bakalářské práce, RNDr. Ivě Čermákové, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a vstřícný přístup během zpracování této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 BIOSURFAKTANTY.....	11
1.1 POVRCHOVĚ AKTIVNÍ LÁTKY	11
1.2 BIOSURFAKTANTY	12
1.2.1 CHEMICKÁ STRUKTURA BIOSURFAKTANTŮ	12
1.2.2 TYPY BIOSURFAKTANTŮ.....	14
1.2.2.1 Glykolipidy	14
1.2.2.2 Lipopeptidy	16
1.2.2.3 Fosfolipidy	17
1.2.3 PRODUKCE BIOSURFAKTANTŮ	18
1.2.3.1 Submerzní kultivace.....	19
1.2.3.2 Kultivace na pevném substrátu	19
1.2.3.3 Získání produktu	20
1.2.3.4 Faktory ovlivňující produkci biosurfaktantů.....	20
2 KOŽNÍ MIKROBIOM.....	22
2.1 STAVBA KŮŽE	22
2.2 KŮŽE JAKO PROSTŘEDÍ PRO MIKROORGANISMY	23
2.2.1 FAKTORY Z PROSTŘEDÍ	23
2.2.2 PH PROSTŘEDÍ	24
2.2.3 HOSTITELSKÉ FAKTORY	24
2.2.4 TOPOGRAFIE.....	24
2.3 CHARAKTERISTIKA A FUNKCE KOŽNÍHO MIKROBIOMU.....	25
2.4 FYZIOLOGICKÁ MIKROFLÓRA.....	26
2.4.1 <i>STAPHYLOCOCCUS EPIDERMIDIS</i> A DALŠÍ KOMENZÁLNÍ STAFYLOKOKY	26
2.4.2 <i>CUTIBACTERIUM ACNES</i>	27
2.5 PATOGENNÍ MIKROFLÓRA.....	28
2.5.1 <i>STAPHYLOCOCCUS AUREUS</i>	28
2.5.2 <i>ESCHERICHIA COLI</i>	29
2.5.3 <i>STREPTOCOCCUS PYOGENES</i>	29
2.5.4 <i>PSEUDOMONAS AERUGINOSA</i>	29
2.5.5 <i>CANDIDA ALBICANS</i>	30
3 ANTIBAKTERIÁLNÍ ÚČINKY BIOSURFAKTANTŮ	31
3.1 ÚČINNOST VŮČI <i>STAPHYLOCOCCUS AUREUS</i>	32
3.2 ÚČINNOST VŮČI <i>CUTIBACTERIUM ACNES</i>	33

3.3	ÚČINNOST VŮČI <i>CANDIDA ALBICANS</i>	33
3.4	ÚČINNOST VŮČI <i>ESCHERICHIA COLI</i>	33
3.5	ÚČINNOST VŮČI <i>PSEUDOMONAS AERUGINOSA</i>	34
3.6	ANTIBIOFILMOVÁ AKTIVITA BIOSURFAKTANTŮ	34
4	VYUŽITÍ BIOSURFAKTANTŮ	36
4.1	ZEMĚDĚLSTVÍ	36
4.2	POTRAVINÁŘSTVÍ	36
4.3	LÉKAŘSTVÍ.....	37
4.4	KOSMETIKA	37
4.4.1	PŘÍKLADY KOSMETICKÝCH PŘÍPRAVKŮ OBSAHUJÍCÍ BIOSURFAKTANTY	38
	ZÁVĚR	41
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	42
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	53
	SEZNAM OBRÁZKŮ	54
	SEZNAM TABULEK.....	55

ÚVOD

Biosurfaktanty představují zajímavou skupinu povrchově aktivních látek přírodního původu, které jsou produkovány různými mikroorganismy, včetně bakterií, kvasinek a plísní. Díky jejich přírodnímu původu a biodegradabilitě jsou méně toxické a šetrnější k životnímu prostředí než tradiční syntetické surfaktanty. Tyto vlastnosti je činí obzvláště vhodnými pro využití v produktech denní spotřeby, jako jsou kosmetika a čisticí prostředky, kde může jejich aplikace snížit environmentální zátěž a zlepšit bezpečnost uživatelů.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na antibakteriální aktivitu biosurfaktantů, která je klíčová pro boj proti bakteriálním kontaminacím a infekcím. Význam biosurfaktantů v moderní vědě a technice je stále více uznáván díky jejich schopnosti efektivně rozkládat biofilmy a ničit patogenní bakterie prostřednictvím několika mechanismů, kterými mohou biosurfaktanty narušovat jejich membránu. Tyto vlastnosti otevírají nové možnosti pro jejich využití v lékařských aplikacích, čištění životního prostředí, a dokonce i v potravinářství. Ve světle rostoucí rezistence k tradičním antibiotikům se biosurfaktanty jeví jako slibná alternativa, která by mohla hrát klíčovou roli v nových antimikrobiálních strategiích.

Cílem této práce je prozkoumat specifické mechanismy, kterými biosurfaktanty působí proti bakteriím a zdůraznit jejich potenciální využití v praxi. Vědecké poznatky získané z této studie by mohly vést k lepšímu pochopení a širšímu uplatnění biosurfaktantů v různých oblastech lidské činnosti, což by mělo pozitivní dopad jak z hlediska zdravotního, tak ekologického.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BIOSURFAKTANTY

1.1 Povrchově aktivní látky

Povrchově aktivní látky lze považovat za jednu z nejdůležitějších ingrediencí v kosmetických přípravcích. Drtivá většina povrchově aktivních látek, které se v kosmetickém průmyslu používají, jsou syntetického původu. Dle náboje hydrofilní hlavy molekuly můžeme tyto povrchově aktivní látky rozdělit na aniontové, kationtové, amfoterní a neiontové [1] [2].

Hlavní výhodou syntetických povrchově aktivních látek je nižší cena výroby ve srovnání s přírodními povrchově aktivními látkami. V kosmetice se povrchově aktivní látky využívají hlavně jako detergenty, protože dobře odstraňují nečistoty a mastnotu z pokožky. Mezi jejich další funkce patří snižování povrchového napětí, pění, emulgace, solubilizace, kondicionování pokožky a vlasů [1] [2].

Na druhou stranu mají syntetické povrchově aktivní látky řadu nevýhod. Používání kosmetických produktů a produktů pro osobní hygienu se syntetickými povrchově aktivními látkami může mít negativní účinky na lidskou pokožku. Pravidelná expozice těmto látkám může způsobit narušení přirozené rovnováhy kožního mikrobiomu, což může mít za následek různé kožní problémy. Dále může dojít k iritaci kůže nebo k alergické reakci [1].

Syntetické povrchově aktivní látky jsou ropného původu, jsou tedy vyráběny z neobnovitelných zdrojů. Problematická je i jejich biologická odbouratelnost, toxicita a negativní dopad na živé organismy v prostředí. Většina povrchově aktivních látek se dostává do životního prostředí, kde se hromadí a přetrvávají v systému po dlouhou dobu. Studie ukázaly že přibližně 60 % z celkově vyrobených povrchově aktivních látek vstupuje do vodního prostředí, odkud se obtížně odstraňují díky svým molekulárním vlastnostem a zbytky povrchově aktivních látek ve vodě zůstávají i po zpracování a čištění vod. V těchto vodách žije mnoho vodních organismů a bakterií. Kationtové povrchově aktivní látky interagují s cytoplazmatickou membránou, což může mít vliv na životaschopnost bakterií a dále také poškozují vnější vrstvu hlenu u ryb, která jim poskytuje ochranu před napadením bakteriemi a parazity. Vzhledem k těmto negativním vlivům na životní prostředí se začaly zkoumat povrchově aktivní látky přírodního původu, známe jako biosurfaktanty [3].

1.2 Biosurfaktanty

Biosurfaktanty představují skupinu povrchově aktivních látek, které jsou vytvářeny mikroorganismy jako jsou bakterie, kvasinky a plísně. Stejně jako syntetické povrchově aktivní látky mají schopnost snižovat povrchové napětí na fázovém rozhraní mezi kapalinou a vzduchem nebo nemísitelnými kapalinami. Mezi hlavní funkce biosurfaktantů patří emulgace, dispergace, solubilizace, pění, smáčení, detergentní účinky a v některých případech antimikrobiální aktivita [4] [5].

Biosurfaktanty jsou nejčastěji klasifikovány podle molekulové hmotnosti na nízkomolekulární a vysokomolekulární. Dále mohou být rozděleny do skupin podle elektrického náboje (aniontové, kationtové, neiontové a amfoterní), který nám pomáhá porozumět, jakým způsobem biosurfaktanty interagují s okolím a s jakými molekulami mohou reagovat. Také mohou být kategorizovány z hlediska sekrece na intracelulární, extracelulární a adheované na mikrobiální buňky [6].

Povědomí o biosurfaktantech stále roste a zvyšuje se i jejich využití v různých průmyslových odvětvích. Na rozdíl od syntetických povrchově aktivních látek jsou dobře biologicky odbouratelné, v prostředí tedy nepřetrvávají a jsou degradovány mikroorganismy. To má velký význam zejména pro kosmetický průmysl, jehož produkty jsou častým zdrojem kontaminace odpadních vod. Některé biosurfaktanty lze navíc využít při odstraňování problematických látek z životního prostředí, například při ropných haváriích nebo pro odstraňování sulfátů z odpadních vod. Mnoho biosurfaktantů vykazuje vysokou aktivitu a stabilitu při extrémních podmínkách (pH, teplota). Testy toxicity jsou spíše součástí širšího výzkumu aplikovaných funkcí. Navzdory tomu jsou biosurfaktanty běžně považovány za málo toxické nebo netoxické, z tohoto důvodu jsou používány ve farmaceutickém, potravinářském a kosmetickém průmyslu. Biosurfaktanty nemají škodlivý účinek na srdce, plíce, játra a ledviny a interferují s koagulací krve během normální doby srážení [3][7] [8][9].

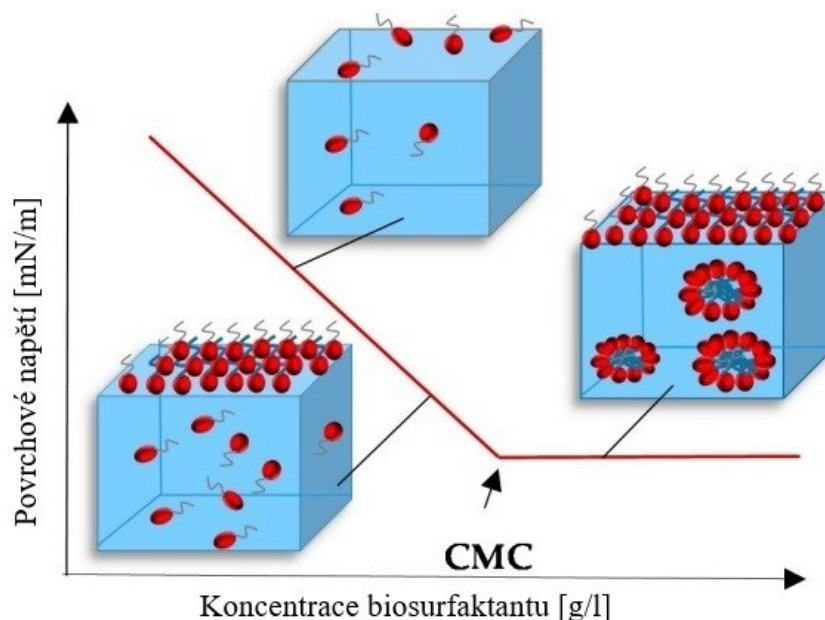
1.2.1 Chemická struktura biosurfaktantů

Biosurfaktanty jsou schopné se rozpouštět v polárních i nepolárních rozpouštědlech, což jim umožňuje jejich amfifilní (amfipatická) struktura, která se skládá z hydrofilní a hydrofobní části (Obrázek 1). Hydrofilní část tvoří nejčastěji cukry, aminokyseliny nebo jiné polární skupiny a hydrofobní část je převážně tvořena alifatickým uhlovodíkovým řetězcem [5].



Obrázek 1 Struktura molekuly povrchově aktivní látky [10]

Kritická micelární koncentrace (CMC) je zásadní parametr, který charakterizuje účinnost povrchově aktivních látek, včetně biosurfaktantů. Představuje minimální koncentraci povrchově aktivní látky v roztoku, která je potřebná pro formulaci micel [10].



Obrázek 2 Závislost povrchového napětí na koncentraci biosurfaktantu a vyznačení kritické micelární koncentrace [10]

Micely jsou agregované amfipatické molekuly s hydrofilní a hydrofobní částí. Jejich uspořádání závisí na tom, zda se nachází v polárním nebo v nepolárním prostředí. Povrchové napětí roztoku se snižuje s přidáváním povrchově aktivní látky až do doby, kdy je dosaženo CMC. V tomto bodě je povrchové napětí minimalizováno a další přidání povrchově aktivní látky již nevede k dalšímu snížení povrchového napětí. CMC biosurfaktantů se pohybuje v rozmezí od 1 do 2000 mg/l [10][11].

Dobré povrchově aktivní látky jsou schopny snížit povrchové napětí vody z 72 na 35 mN/m. Některé biosurfaktanty jsou účinnější než syntetické povrchově aktivní látky a snižují povrchové napětí kapalin při velmi nízkých koncentracích. Surfactin může například snížit povrchové napětí vody ze 72 mN/m na 27 mN/m při koncentraci 20 μM [10] [11].

1.2.2 Typy biosurfaktantů

Biosurfaktanty se především klasifikují podle molekulové hmotnosti na nízkomolekulární (glykolipidy, lipopeptidy, fosfolipidy) a vysokomolekulární (polymerní povrchově aktivní látky) [6].

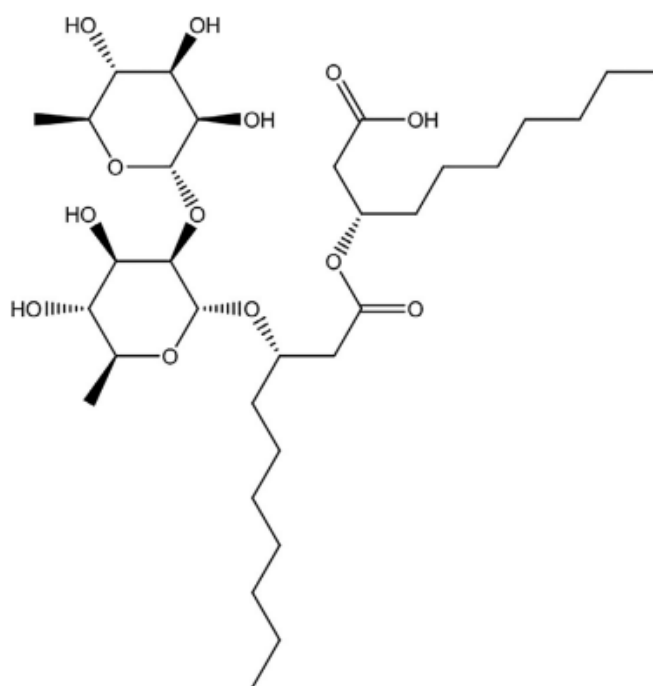
1.2.2.1 Glykolipidy

Glykolipidy patří mezi nejznámější a nejstudovanější biosurfaktanty. Skládají se ze dvou částí, a to ze sacharidové skupiny a glykosidickou vazbou navázaných mastných kyselin. Podle struktury sacharidové části je můžeme dělit do podtříd, jako jsou například rhamnolipidy, soforolipidy, mannosylerytritolové lipidy, celobiolipidy, trehalolipidy a jiné [6].

Rhamnolipidy se skládají z jedné nebo dvou molekul L-rhamnózy, které jsou navázány glykosidickou vazbou na jednu nebo dvě β -hydroxy mastné kyseliny. Mastná kyselina může být různá v závislosti na druhu bakterií, které rhamnolipidy produkují. Za primární zdroj rhamnolipidů jsou považovány oportunně patogenní bakterie *Pseudomonas aeruginosa*, ale existuje i mnoho dalších druhů bakterií, které je mohou produkovat jako jsou např. bakterie rodu *Burkholderia*, u kterých se prokázalo, že produkují rhamnolipidy s delšími alkylovými řetězci [12]. U těchto dvou skupin bakterií se nacházejí tři hlavní enzymy (RhlA, RhlB, RhlC), které jsou odpovědné za jejich biosyntézu. Podařilo se však úspěšně přenést geny pro tyto enzymy do několika nepatogenních bakterií a tím zvýšit produkci [13].

Biosyntéza rhamnolipidů u *Pseudomonas aeruginosa* je velmi dobře popsáný proces, především díky tomu, že tato bakterie byla použita coby modelový organismus pro studium mechanismů syntézy těchto biosurfaktantů. Přestože byly nalezeny i další bakterie schopné produkovat rhamnolipidy, výtěžek produkce s využitím *Pseudomonas aeruginosa* je stále nejvyšší. Z těchto důvodů byly hojně studovány různé metody metabolického inženýrství, které by u *Pseudomonas aeruginosa* zvýšily produkci rhamnolipidů, ale zároveň byla snížena její patogenita. Jedním z možných přístupů je například inhibice produkce toxinů, které tato bakterie tvoří, nebo jejich enzymatická degradace [14][15].

Mnoho studií prokázalo možnou výrobu rhamnolipidů, avšak aby mohly nahradit syntetické povrchově aktivní látky, je nezbytné snížit náklady na suroviny a proces výroby (fermentace, čištění produktu). Pro porovnání, náklady na výrobu syntetických povrchově aktivních látek činí přibližně 1-3 \$/kg a na rhamnolipidy 20-25 \$/kg [13].

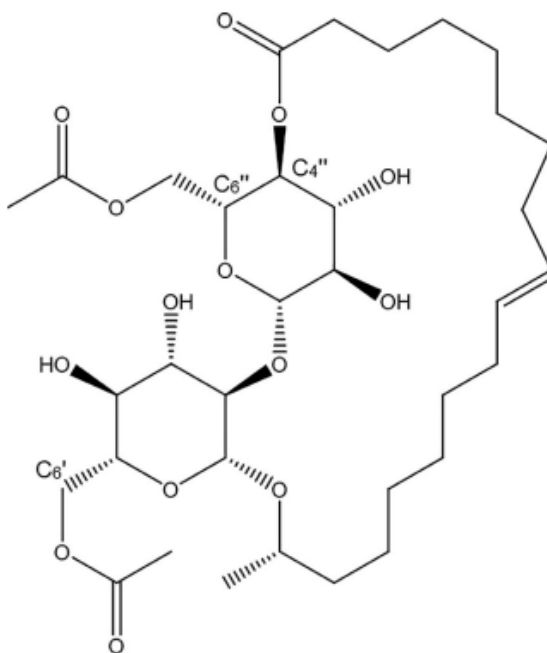


Obrázek 3 Di-Rhamnolipid (Rha-Rha-C10-C10) z *Pseudomonas aeruginosa* [16]

Soforolipidy jsou produkovány nepatogenními druhy kvasinek, jako je *Starmerella bombicola*, *Wickerhamiella domercqiae* a *Candida batistae* [12]. Ve své struktuře obsahují hydrofobní konec skládající se z 16 nebo 18 atomů uhlíku, který je připojen glykosidickou vazbou k hydrofilní molekule soforózy. Soforóza je glukózový disacharid, kde jednotlivé molekuly sacharidů jsou spojeny neobvyklou vazbou β -1,2. Tato vazba může být acetylována na pozicích 6' nebo 6'' (Obrázek 4), což má vliv na vlastnosti molekuly. Přítomnost acetylových skupin snižuje hydrofilitu soforolipidů a vede ke zvýšení jejich antivirových účinků a stimulaci produkce cytokinů [17].

Soforolipidy můžeme dělit na laktonické a kyselé (otevřená forma). V laktonické formě je karboxylový konec mastné kyseliny esterifikován, což znamená, že je spojen s hydroxylovou skupinou na saforóze. Naopak v kyselé formě není karboxylový konec mastné kyseliny esterifikován a zůstává volný. Fyzikálně-chemické vlastnosti jednotlivých

forem se liší. Obecně platí, že soforolipidy v laktonické formě výrazněji snižují povrchové napětí a vykazují silnější antimikrobiální aktivitu, zatímco kyselá mají tendenci více vytvářet pěnu a jsou lépe rozpustné [17].

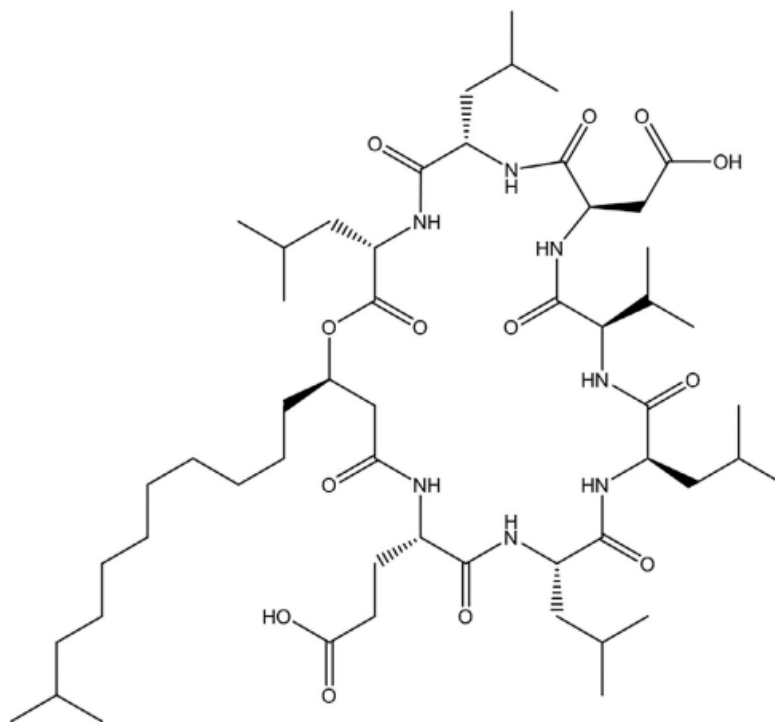


Obrázek 4 Laktonický a acetylovaný soforolipid ze *Starmarella bombicola* [16]

1.2.2.2 Lipopeptidy

Lipopeptidové molekuly obsahují krátký lineární nebo kruhový oligopeptid, který je spojený s β -hydroxy mastnou kyselinou. Ve struktuře oligopeptidu se nachází různé typy a počet aminokyselin [12].

Surfaktin, ituriny a fengyciny patří mezi hlavní lipoproteiny produkované grampozitivními bakteriemi rodu *Bacillus* a gramnegativními bakteriemi rodu *Pseudomonas*. Surfaktiny vykazují silnou antivirovou, antimykoplazmovou a antikoagulační aktivitu. Mezi surfaktiny řadíme tři strukturně odlišné lipoproteiny, surfaktin produkovaný bakteriemi *Bacillus subtilis* (Obrázek 5) a *Bacillus amyloliquefaciens*, lichenisin nalézáný u *Bacillus licheniformis* a pumilacidin prudukovaný *Bacillus pumilus*. Surfaktiny patří mezi velmi dobré povrchově aktivní látky snižující povrchové napětí i při velice nízkých koncentracích [18][19].

Obrázek 5 Surfactin z *Bacillus subtilis* [16]

Ituriny představují skupinu lipoproteinů, které jsou známe svou antimykotickou aktivitou proti patogenním kvasinkám a mikroskopickým vláknitým houbám, tedy plísním. Na druhou stranu jsou jejich antibakteriální účinky omezeny jen na některé bakterie, jako je *Micrococcus luteus*. Ituriny jsou schopny vytvářet iontově vodivé póry v membráně buněk a tím ovlivňovat jejich propustnost. Vlastnosti těchto pórů závisejí na složení lipidů membrány a struktuře peptidu. Tímto způsobem zvyšují propustnost membrány pro draselné ionty, čímž mohou ovlivnit funkčnost a životnost buněk [18].

1.2.2.3 Fosfolipidy

Fosfolipidy tvoří semipermeabilní buněčné membrány. Hrají důležitou roli při transportu látek, ochraně a signalizaci buněk. Skládají se z glycerolu, kde na dvě OH skupiny jsou esterovou vazbou navázány mastné kyseliny a na třetí OH skupinu je připojen fosfát [20].

Mezi fosfolipidy s vysokou povrchovou aktivitou můžeme řadit fosfatidylcholin, obsahující až 80 % povrchově aktivních lipidů, a dále zde patří fosfatidylglycerol. Studie ukázaly, že fosfatidylglycerol hraje důležitou roli při regulaci vrozené imunity a virových infekcích. Tyto fosfolipidy patří mezi plicní surfaktanty, které se nacházejí v plicích a snižují povrchové napětí v plicních sklípcích. Tím zabraňují kolapsu plic po výdechu a udržují také

otevřenost plicních sklípků. Nedostatek povrchově aktivních fosfolipidů může způsobit onemocnění nazývané syndrom hyalinních membrán, postihující předčasně narozené děti nebo může způsobit akutní a chronické onemocnění plic u dospělých jedinců [21].

1.2.3 Produkce biosurfaktantů

Biosurfaktanty jsou produkovány různými skupinami mikroorganismů s velmi odlišnými vlastnostmi. Pro jejich výrobu je nutné nastavit kultivační podmínky vhodné pro konkrétní produkční mikroorganismus. Výtěžnost biotechnologické produkce se také liší, jiná bude u mikroskopických hub, jiná u bakterií [4].

Volba vhodné metody pro výrobu biosurfaktantů závisí na specifických cílech jejich použití [22]. Fermentace je jedna z možností produkce biosurfaktantů. Fermentace může být provedena pomocí submerzní kultivace, kdy jsou mikroorganismy kultivovány v tekutém médiu, nebo pomocí kultivace na pevném substrátu. Jako substrát může být použit průmyslový odpad, čímž můžeme pomoci se zbavit odpadu a zároveň snížit náklady na výrobu biosurfaktantů. Vysoké náklady jsou totiž hlavním problémem produkce biosurfaktantů [23].

Využití mikrobiálních enzymů pro výrobu biosurfaktantů představuje pokročilou alternativu k tradičním fermentačním metodám. Tato metoda umožňuje kontinuální produkci biosurfaktantů, což zjednodušuje proces získání biosurfaktantu a zvyšuje efektivitu výroby. Díky stereoselektivitě, kterou enzymy poskytují, lze dosáhnout přesnější kontroly nad chemickou strukturou a vlastnostmi konečného produktu. I přes tyto výhody ve srovnání s fermentační metodou, se stále setkáváme s určitými výzvami, jako je stabilita a aktivita enzymů v průběhu reakce a rozpustnost substrátu. Tyto problémy vyžadují další výzkum a optimalizaci, aby bylo možné plně využít potenciál enzymatické syntézy pro průmyslovou výrobu biosurfaktantů [22].

Tabulka 1 nám představuje různé odpadní produkty, které jsou úspěšně využívány jako substrát při výrobě biosurfaktantů. Z těchto informací vyplývá, že mnoho obnovitelných zdrojů a zbytků z průmyslu, které jsou bohaté na sacharidy a lipidy, může sloužit jako cenný zdroj uhlíku a dusíku. Tyto materiály pomáhají mikroorganismům růst a vytvářet biosurfaktanty. Navíc jejich využití může přispívat k přímému snížení environmentální zátěže způsobené těmito odpadními produkty [24].

Tabulka 1 Různé odpadní produkty používané pro produkci biosurfaktantů [24]

Odpadní produkt	Produkující mikroorganismus	Typ biosurfaktantu
syrovátka	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> BS2	Rhamnolipid
	<i>Bacillus</i> spp.	Lipopeptid
Třtinová melasa	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> GS3	Rhamnolipid
	<i>Bacillus</i> spp.	Lipopeptid
	<i>Starmarella bombicola</i> NBRC 10243	Lipopeptid Soforolipid
Odpadní vody ze zpracování brambor a z manioku	<i>Bacillus subtilis</i>	Lipopeptid
Olej na smažení	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> 47T24	Rhamnolipid
Fermentovaný produkt kukuřičné kaše	<i>Aureobasidium thailandense</i>	Glykolipid
	<i>Candida lipolytica</i>	
Odpad z rafinace oleje	Kvasinky	Glykolipid

1.2.3.1 Submerzní kultivace

K produkci biosurfaktantů se používají aerobní organismy, proto je při fermentaci důležité míchání a provzdušňování, aby byl do kapalného média dodáván kyslík. To však má za následek vznik pěny, která způsobuje odstraňování buněk z kultivačního média a také snižuje účinnost přenosu kyslíku. Tento problém můžeme vyřešit přidáním odpěňovacích činidel a mechanickým rozbitím pěny [23].

1.2.3.2 Kultivace na pevném substrátu

Alternativou k submerzní kultivaci, a tudíž eliminace problému s pěněním, je kultivace na pevném substrátu. Tato kultivace představuje růst mikroorganismů na vlhkých organických částicích, které vodu absorbují. Jako substráty pro pevnou kultivaci se používají různé zbytky z plodin jako cukrová řepa, rýže pšenice nebo slupky od brambor, batátů, sóji a mnoho dalších. Nejvýznamnějším parametrem ovlivňujícím výsledek kultivace je udržování optimální teploty pro růst a množení mikroorganismů [23].

1.2.3.3 Získání produktu

Při výrobě biosurfaktantů je klíčovou fází efektivní a ekonomicky výhodné získání produktu z kultivačního média a jeho purifikace. Tento krok je nezbytný pro úspěšnou komercializaci produktu, přičemž výzkumníci navrhují řadu metod pro separaci produktu z média, včetně extrakci rozpouštědlem, kyselého srážení, krystalizace, centrifugace a také některé nekonvenční metody, jako je ultrafiltrace nebo pěnová frakcionace [25].

S rostoucím povědomím o environmentálních a bezpečnostních rizicích tradičních rozpouštědel, jako jsou chloroform nebo aceton, se začaly používat méně toxické a levnější alternativy, jako je MTBE (methyl tert-butyl ether), což napomáhá snižování nákladů a zvyšování udržitelnosti produktu. Vzhledem k rostoucímu důrazu na čistotu biosurfaktantů zejména ve farmaceutickém, potravinářském a kosmetickém průmyslu, je výběr vhodné metody získání a čištění založen na specifických vlastnostech daného biosurfaktantu [25].

1.2.3.4 Faktory ovlivňující produkci biosurfaktantů

Produkce biosurfaktantů není závislá pouze na konkrétním kmeni produkčního mikroorganismu a jeho genetické výbavě, ale také na různých kultivačních podmínkách. Existuje celá řada fyzikálních i nutričních faktorů, které ovlivňují nejen množství získaného biosurfaktantu, ale i typ výsledného produktu. Mezi klíčové fyzikální faktory patří podmínky kultivace, jako jsou například pH, teplota, rychlost provzdušňování a míchání [4].

Růst, množení a produkce různých látek je u mikroorganismů silně závislá na teplotě prostředí. Pro produkci biosurfaktantů se nejčastěji používají teploty 25-30°C. Významnou roli také hraje pH prostředí. Obecně platí, že nejvýhodnější je hodnota pH pohybující se kolem neutrálního bodu, ale některým mikroorganismům jako jsou například kvasinky rodu *Candida*, vyhovuje spíše kyselé pH mezi 5 a 6 [4][10].

Dalším důležitým faktorem je provzdušňování a míchání, které nám usnadňuje přenos kyslíku z plynné fáze do vodné fáze. Při výzkumu bylo zjištěno, že při proudění vzduchu 1 vvm a při udržování koncentrace rozpuštěného kyslíku na 50 % nasycení, byla dosažena nejlepší výtěžnost povrchově aktivních látek ve výši 45,5 g/l [4].

Nutriční faktory, jako jsou zdroje uhlíku a dusíku mají také podstatný vliv na produkci biosurfaktantů. Jako nejlepší zdroj uhlíkového substrátu pro výrobu biosurfaktantů jsou uváděny nafta, ropa, glukóza, sacharóza a glycerol. Dusík je nezbytný pro mikrobiální růst

a pro výrobu biosurfaktantů je nejpoužívanějším zdrojem kvasničný extrakt. Dále mohou být využity pepton, síran amonný, dusičnan amonný nebo dusičnan sodný [4][26].

2 KOŽNÍ MIKROBIOM

2.1 Stavba kůže

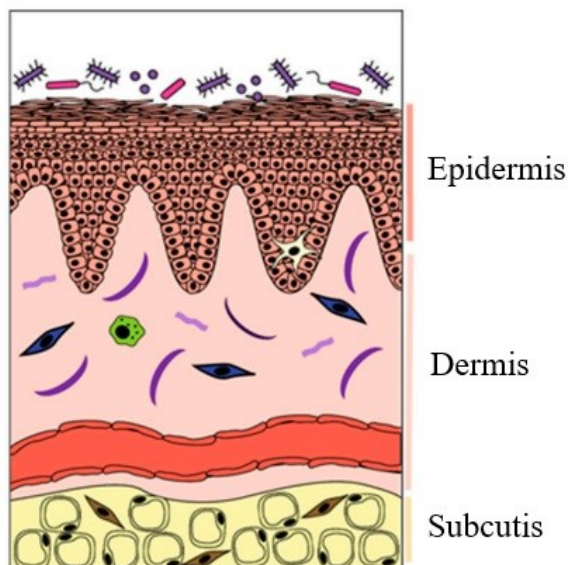
Kůže je největší a multifunkční orgán, který tvoří bariéru mezi vnitřním a vnějším prostředím. Skládá se z několika vrstev včetně epidermis, dermis a subcutis, které společně chrání naše tělo před vnějšími vlivy a udržují homeostázi. Tloušťka, pigmentace a rozložení přídatných struktur kůže se liší v různých částech těla v závislosti na funkci a potřebách dané oblasti [27].

Tvoří asi 15 % z celkové tělesné hmotnosti a plní v organismu několik zásadních funkcí. Mezi ty nejdůležitější patří termoregulace, podíl na metabolismu vody a ochrana před vnějšími vlivy. V kůži se taky nachází struktury, které jsou souhrnně označovány jako adnexální komponenty. Patří k nim nehty, mazové a potní žlázy, chlupy [28].

Epidermis, vnější vrstva kůže, je primárně odpovědná za tvorbu ochranné bariéry. Tato vrstva se skládá z keratinocytů, buněk produkujících keratin, což je protein, který zajišťuje pevnost a odolnost vůči mechanickému poškození. Dále epidermis obsahuje melanocyty, které produkují melanin, pigment zodpovědný za barvu kůže a poskytující ochranu před škodlivými účinky ultrafialového záření [27][29].

Dermis je umístěna pod epidermis a obsahuje cévy, nervy, kolagenní a elastická vlákna, což zajišťuje elasticitu a pružnost kůže. Cévy hrají klíčovou roli při termoregulaci, protože regulují průtok krve. Tento proces je doplněn činností ekrinních žláz, které nejenže přispívají k termoregulaci, ale také odvádějí toxiny, odpadní látky a okyselují kůži, což zabraňuje kolonizaci a růstu nežádoucích mikroorganismů. Mnoho patogenů jako např. *Staphylococcus aureus* a *Streptococcus pyogenes*, jsou právě inhibovány kyselým pH na povrchu pokožky [29][30].

Subcutis je poslední vrstva tvořená převážně ze sítě z elastických a kolagenních vláken vyplněné vazivovými buňkami. Zde se vyskytují také tukové buňky, které slouží jako rozpouštědlo pro vitamíny A, D, E, K a zásobárna energie. Pomocí této vrstvy se kůže může posouvat. Subcutis plní funkci tlumiče nárazů a funguje jako izolant pro uchování tělesného tepla. Tuková tkáň zde plní i endokrinní funkci, produkuje hormon leptin, regulující chuť k jídlu. Až 80 % tukové tkáně je u neobézních lidí uloženo v subcutis [31].



Obrázek 6 Schématické znázornění vrstev lidské kůže [32]

2.2 Kůže jako prostředí pro mikroorganismy

Naše kůže pro bakterie představuje nepříjemné prostředí, protože nemá dost vlhkosti, je kyselá, je pokryta potem o vysoké koncentraci soli a také obsahuje antibakteriální molekuly. Kůže je navíc neustále vystavovaná nepříznivým vnějším vlivům, UV záření, změnám teploty, mechanickému ořezu a podobně. Navzdory tomu si však některé bakterie našly způsob, jak na naší kůži vzkvétat, stát se její běžnou flórou a žít na ní [33].

2.2.1 Faktory z prostředí

Složení kožní mikroflóry jedince ovlivňuje okolní prostředí. Mezi nejvýznamnější faktory patří používání kosmetických přípravků, výběr oděvu, povolání, prostředků osobní hygieny, mýdla nebo klimatické podmínky. Přípravky na osobní hygienu jsou schopny měnit bariérové vlastnosti kůže, což se odráží na zastoupení mikroorganismů. Je důležité používat jemné šetrné čisticí přípravky, které nevyvolávají nadměrné vysoušení kůže a neovlivňují fyziologickou mikroflóru. Důležitá je také volba vhodných kosmetických přípravků, které neobsahují agresivní složky a respektují přirozený kožní mikrobiom. Kromě toho je vhodné řešit individuální potřeby kůže a přizpůsobit péči o kůži specifickým podmínkám. Vzdušná vlhkost a teplota také ovlivňuje kožní mikroflóru, protože při vysoké vlhkosti a vyšší teplotě se zvyšují počty bakterií. Dalším vlivem je vystavení kůže UV záření a jeho baktericidním účinkům [33].

2.2.2 pH prostředí

Lidská kůže má za normálních podmínek kyselé pH. Hodnota pH se pohybuje v závislosti na konkrétní lokalitě v rozpětí 4,5-6,5. V důsledku používání agresivních čistících prostředků nebo nadměrného pocení se hodnota pH kůže mění a podporuje tak růst nežádoucích mikroorganismů. Narušení přirozeného pH pokožky usnadňuje výskyt oportunně patogenních a patogenních mikroorganismů. Kyselost kůže musí být i z tohoto důvodu udržována na fyziologických hodnotách [8]. Hodnota pH může ovlivnit: růst bakterií a jejich vitalitu, rozmnožování bakterií, odolnost buněk ke zvýšeným teplotám, kyselé pH zabraňuje klíčení spor, intenzitu a charakter metabolismu [34].

2.2.3 Hostitelské faktory

Mezi hostitelské faktory ovlivňující kožní mikroflóru řadíme věk, pohlaví, etnikum a genetickou výbavu jedince. Kožní mikroflóra je odlišná z mnoha důvodů. Jsou to rozdíly ve fyziologii a anatomii kůže mezi mužem a ženou, v produkci a aktivitě hormonů nebo i produkci potu. Muži mají více potních a mazových žláz. Přítomnost i nepřítomnost vlasů také ovlivňuje množství mikroorganismů na kůži. Muži mají na kůži vyšší množství mikroorganismů než ženy a mají také vyšší zastoupení některých skupin mikroorganismů jako např. *Corynebacterium* a *Propionibacterium* spp. Ženy mají více laktobacilů a jsou častěji kolonizovány enterobakteriemi. Ženy i muži se liší etologicky i fyziologicky. Druhy mikroorganismů přítomné na dlaních mužů a žen se zásadně neliší, ale kvantitativní zastoupení jednotlivých taxonů je rozdílné [35].

Kožní mikrobiota se mění v průběhu života. Předpokládá se, že během vývoje je kůže plodu před narozením sterilní a ke kolonizaci dochází během porodu. Zpočátku mikroorganismy novorozence kolonizují homogenně a jejich složení se liší až dle způsobu porodu. V období puberty se zvyšuje zejména počet a zastoupení lipofilních bakterií [35].

2.2.4 Topografie

Topografie kožního povrchu se na různých lokalitách těla může výrazně lišit, čímž dochází k odlišnému složení mikroflóry. Oblasti s vyšší vlhkostí a teplotou podporují růst mikroorganismů, kterým se daří v prostředí o vyšší vlhkosti. Mezi takové lokality patří prostory mezi prsty na nohou, třísla nebo podpaží. Významným faktorem ovlivňujícím zastoupení mikrobiálních druhů na kůži je četnost mazových žláz. Oblasti, které mají vyšší počet mazových žláz podporují růst lipofilních mikroorganismů. Místa, kde dochází ke

značnému kolísání povrchové teploty nebo jsou výrazně sušší jsou kolonizovány výrazně menším počtem mikroorganismů [36].

2.3 Charakteristika a funkce kožního mikrobiomu

Mikrobiom definujeme jako ekologické seskupení prospěšných, koexistenčních a patogenních mikroorganismů, které jsou součástí lidského organismu. Pravděpodobně až milion kožních bakterií, sestávající z mnoha druhů, se nachází na jednom cm² pokožky. Předpokládá se, že kožní mikrobiom je formován osobní hygienou, stravováním a medicínskými postupy [37].

Kožní mikrobiom se dokáže přizpůsobit lidské pokožce, protože využívá substráty nacházející se v SC a v potu. Bakteriofágy přítomné v kožním mikrobiomu považujeme za důležité zdroje transmise genů odpovídajících za rezistenci vůči antimikrobiálním látkám. Mezi pokožkou a kožním mikrobiomem existuje symbióza. Mikroflóra ochraňuje lidskou pokožku před různými patogenními bakteriemi, přičemž pokožka jí poskytuje vhodný biotop obsahující bílkoviny (odumřelé buňky pokožky), minerály, vodu a lipidy [38].

Obvykle jsou kožní mikroorganismy klasifikovány do dvou skupin. První skupinou, kterou označujeme jako rezidentní jsou mikroorganismy, schopné nejen přežít na kůži, ale také se na ni množit a růst. Druhou skupinou označující se jako tranzientní jsou mikroorganismy, které v závislosti na několika ekologických faktorech jen přechodně přežívají na kůži [33]. Mezi přechodnými nebo rezidentními mikroorganismy a hostitelem existuje rovnováha. Tato rovnováha je ovlivňována vnějšími a hostitelskými faktory, které následně mění funkci hostitelské kožní bariéry a složení kožních mikroorganismů. Taková změna rovnováhy se nazývá dysbióza [33].

Kožní mikrobiom plní několik funkcí zásadních pro přežití v prostředí. Mikrobiom podporuje imunitní systém a udržuje homeostázu prostřednictvím vylučování prozánětlivých cytokinů. Jedním ze základních obranných mechanismů kůže je produkce antimikrobiálních peptidů (AMP) kožními keratinocyty. I když jsou AMP tvořeny v extrémně malých množstvích, vždy mají značný vliv na snížení množství patogenů. Složení kožní mikroflóry je tedy těmito peptidy značně ovlivněno a naopak, komenzální fyziologická mikroflóra může produkci těchto AMP regulovat (zvýšit) [37].

Kožní mikroflóru můžeme rozdělit na fyziologickou, tvořenou převážně komenzálními druhy, a patogenní. Mezi komenzální kožní bakterie se řadí například *Staphylococcus epidermidis*, *Cutibacterium acnes* a *Corynebacterium* spp. Patogenní bakterie mají

schopnost způsobovat onemocnění nebo infekce u svých hostitelů. Nejčastějšími kožními patogeny jsou *Staphylococcus aureus* a *Streptococcus pyogenes* [39].

2.4 Fyziologická mikroflóra

Fyziologická mikroflóra představuje soubor mikroorganismů, které normálně a přirozeně obývají lidský organismus. Jejich přítomnost má důležitý význam pro udržování rovnováhy a správné funkce našeho těla. Narušení fyziologické mikroflóry může vést k různým zdravotním problémům, jako je infekce. Mikroorganismy fyziologické mikroflóry pomáhají udržovat pH kůže a ochranný kyselý povrch, který zabraňuje kolonizaci patogenními mikroorganismy. Někteří zástupci fyziologické mikroflóry mají schopnost produkovat biosurfaktanty, které se podílejí na udržení optimálních podmínek kůže. Konce mastných kyselin v chemické struktuře biosurfaktantů účinně hydratují drsnou a suchou pokožku. Důležitý je i jejich vliv na udržení kyselého pH pokožky, což podporuje přilnavost rezidentních mikroorganismů a brání růstu patogenních mikroorganismů [1].

Mezi nejčastější mikroorganismy přítomné na kůži řadíme komenzální stafylokoky, bakterie rodu *Cutibacterium*, mikrokoky, koryneformní bakterie a kvasinky rodu *Malassezia* [1]. V dalším textu bude věnována pozornost těm nejvýznamnějším bakteriím, tedy stafylokokům a bakteriím rodu *Cutibacterium*.

2.4.1 *Staphylococcus epidermidis* a další komenzální stafylokoky

Staphylococcus epidermidis je grampozitivní bakterie, která běžně obývá povrch lidské kůže a považuje se za komenzální mikroorganismus, což znamená, že za normálních podmínek nemá negativní vliv na kůži. Tato bakterie hraje klíčovou roli v udržování ekosystému kůže a přispívá k udržení jejího pH a funkce ochranné bariéry před vnějšími škodlivými faktory. *Staphylococcus epidermidis*, stejně jako další komenzální druhy stafylokoků, neprodukuje koagulázu, což je enzym srážející krevní plazmu. Tento enzym je důležitým faktorem virulence u patogenních stafylokoků a podílí se na tvorbě ohraničených ložisek, perzistenci infekce a rozvoji bakteriémie. Z kůže bývá pravidelně izolováno 10 druhů koaguláza-negativních stafylokoků, kromě *Staphylococcus epidermidis* je to především *Staphylococcus hominis* [40].

Staphylococcus epidermidis má také schopnost ovlivňovat přirozenou imunitní odpověď hostitelského organismu. Produkuje látky nazývané moduliny, které mohou selektivně

inhibovat růst a šíření jiných patogenních mikroorganismů, jako je například *Staphylococcus aureus* a streptokoky skupiny A. [41].

Role *Staphylococcus epidermidis* však nemusí být vždy pozitivní. Pokud dojde k porušení kožního povrchu a *Staphylococcus epidermidis* se dostane do krevního řečiště, může vyvolat onemocnění. To se týká zejména pacientů s oslabeným imunitním systémem. Dále bylo popsáno patogenní působení této bakterie u pacientů s atopickou dermatitidou, u kterých došlo k dysbióze a ve složení mikroflóry převládá právě *Staphylococcus epidermidis*. Nemalé potíže tyto stafylokoky způsobují v nemocničním prostředí, a to díky své schopnosti tvořit biofilm na površích zdravotnických pomůcek, přístrojů a prostor. Prevence infekcí způsobených *Staphylococcus epidermis* zahrnuje dodržování hygienických opatření a správnou péči o zdravotnické přístroje, aby se minimalizovalo riziko vzniku infekce [30] [41].

2.4.2 *Cutibacterium acnes*

Cutibacterium acnes, dříve známé jako *Propionibacterium acnes* patří mezi grampozitivní anaerobní bakterie, která hraje klíčovou roli při udržování zdraví pokožky. Jedná se o koryneformní tyčinky (mírně prohnuté) o délce 3-5 μm . *Cutibacterium acnes* je aerotolerantním anaerobem, což znamená, že disponuje enzymatickým vybavením pro detoxifikaci kyslíku a díky tomu může přežívat i v aerobním prostředí na kůži. Pro striktní anaeroby je kyslík toxický [42].

Tato bakterie má schopnost metabolizovat lipidy produkované mazovými žlázami, což vysvětluje její častý výskyt na lokalitách bohatých na lipidy, jako je obličej, hrudník, ramena a pokožka hlavy. Přítomnost této bakterie může být ovlivněna genetickými faktory, hormonálními změnami, mastnou pokožkou nebo nesprávnou hygienou. *Cutibacterium acnes* byla dlouhodobě považována za komenzální bakterii, ale její izolace při různých typech infekcí vedla k jejímu překvalifikování na oportunní patogen s nízkou patogenitou. Tato bakterie je často spojována s různými kožními onemocněními, jako je *acne vulgaris* a je také jedním z faktorů, které ovlivňují zánětlivé procesy na kůži. *Acne vulgaris* se zdá být multifaktoriální poruchou, zahrnující mazovou hyperplazii, folikulární hyperkeratinizaci a kolonizaci bakterií *Cutibacterium acnes*. Ve velké většině případů není akné vážné onemocnění, ale pokud se neléčí, může mít negativní dopad na fyzické i psychické zdraví jedince. Toto chronické zánětlivé kožní onemocnění se většinou vyskytuje u dospívající populace [42].

2.5 Patogenní mikroflóra

Patogenní mikroflóra se na kůži může významně rozvíjet z různých důvodů. Hlavními faktory jsou poškození kůže, oslabení imunitního systému a genetické predispozice. Kombinace těchto faktorů může vytvořit ideální prostředí pro šíření nežádoucích patogenních mikroorganismů. Je důležité si uvědomit, že i běžné mikroorganismy přítomné na kůži mohou začít působit problémy, pokud dojde k narušení přirozené rovnováhy prostředí. Mezi běžné patogeny na kůži patří *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Candida albicans*. Mezi patogeny nebo oportunní patogeny patří také zástupci přechodné mikroflóry *Pseudomonas aeruginosa* a *Escherichia coli* [42] [43].

2.5.1 *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus neboli zlatý stafylokok patří mezi grampozitivní patogenní bakterie způsobující různá kožní onemocnění. Je to nejúspěšnější kožní patogen, který je původcem nejen primárních kožních infekcí, ale také infekcí ran a celé řady systémových infekcí. Jedná se o grampozitivní fakultativně anaerobní koky, koaguláza-negativní, disponující celou řadou faktorů virulence a patogenity. Rostou i při 10% koncentraci NaCl v prostředí, což je předurčuje pro život v prostředí s vysokou koncentrací solí, jako je právě kůže obratlovců, včetně člověka. U nemalé části populace se vyskytuje jako neškodný komenzál na kůži, především v oblasti nosu, podpaží nebo ve vlhčích lokalitách mezi prsty rukou a nohou [42].

Staphylococcus aureus produkuje různé toxiny jako je Panton Valentine leukocidin, exfoliatiny a enterotoxiny, které jsou zapojeny do hlavních dermatologických projevů. Mezi primární kožní infekce způsobené bakterií *Staphylococcus aureus* patří impetigo, folikulitida, furunkl a primární abscesy. Primární kožní infekce se projevují na zdravé kůži, která předtím neměla žádné rány, oděrky a jiná poranění. Sekundárními kožními infekcemi rozumíme infekce už existujících lézí, které vznikly jako důsledek poranění, onemocnění a podobně. Do této skupiny patří infekce impetiginizace, sekundární abscesy, lymfangitidy a celulitida [43].

Zlaté stafylokoky dokáží adherovat na buňky savců, včetně keratinocytů, tvoří biofilm a mnohé kmeny vykazují rezistenci k mnoha antibiotikům. Multirezistentní kmeny jsou problematické zejména v nemocničním prostředí a infekce způsobené těmito stafylokoky jsou často velmi obtížně léčitelné [44].

2.5.2 *Escherichia coli*

Escherichia coli patří mezi fakultativně anaerobní gramnegativní bakterie, které lze snadno a levně kultivovat v laboratorních podmínkách, díky čemuž je modelovým organismem a její vlastnosti jsou velmi dobře popsány. Většina kmenů *Escherichia coli* se nachází běžně ve střevech, kde prospívá hostitelům tím, že brání kolonizaci patogenními bakteriemi. Existují však patogenní kmeny, které dokáží způsobovat celou škálu zdravotních problémů. Nepříjemná je jejich schopnost tvorby biofilmů a perzistence v prostředí zdravotnických zařízení nebo výrobních provozů [45]. Nebezpečný je například kmen *Escherichia coli* O157:H7 známý svou schopností vyvolávat potravinové otravy nebo rovněž může vést k hemolyticko-uremickému syndromu, který může způsobit selhání ledvin. *Escherichia coli* může ve vzácných případech způsobit infekce kůže, zejména pokud dojde ke kontaminaci ran. Tyto infekce jsou často spojeny s lékařskými chirurgickými zákroky [45].

2.5.3 *Streptococcus pyogenes*

Streptococcus pyogenes je jeden z nejrozšířenějších kožních patogenů. Patří mezi grampozitivní bakterie, fakultativně anaerobní nepohyblivé koky. *Streptococcus pyogenes* je původcem řady infekcí, a to především infekcí dýchacích cest a kůže, podobně jako u zlatých stafylokoků mohou infekce přerůst v závažné septické stavy [46].

Mezi onemocnění způsobené patogenními streptokoky patří povrchové infekce, jako jsou hnisavá tonzilitida, erysipel, faryngitida a celulitida. Jsou ale i původci vážných a agresivních onemocnění jako je nekrotizující fasciitida a streptokokový syndrom toxického šoku. *Streptococcus pyogenes* je stále jednou z deseti hlavních příčin úmrtí způsobených infekcemi, což představuje významnou globální zdravotní zátěž, zejména v rozvojových zemích [47].

2.5.4 *Pseudomonas aeruginosa*

Pseudomonas aeruginosa je oportunní patogen, který způsobuje širokou škálu infekcí. Jde o nefermentující gramnegativní bakterii, která dokáže kolonizovat oblasti s oslabenou kožní bariérou, jako jsou rány nebo popáleniny. Způsobuje také infekce močových cest, dýchacího systému nebo krevního oběhu. Infekce *Pseudomonas aeruginosa* jsou běžné u hospitalizovaných pacientů, kde izoláty rezistentní vůči více lékům, mohou přispívat k vysoké úmrtnosti v nemocnicích. *Pseudomonas aeruginosa* využívá různé buněčné a extracelulární faktory virulence, které hrají zásadní roli v patogenezi infekcí. Tyto faktory

zahrnují produkci bílkovin vázajících sacharidy, systémy pro komunikaci mezi bakteriemi (quorum sensing), které monitorují produkci extracelulárních produktů, geny zajišťující rozsáhlou rezistenci vůči antibiotikům a sekreční systém pro dodávání efektorů, které mohou zabíjet konkurenty nebo narušovat zásadní funkce hostitele [48].

2.5.5 *Candida albicans*

Candida albicans je běžný kvasinkový patogen, který přirozeně kolonizuje kůži, genitálie a střevní sliznici až u 70 % zdravých jedinců. Mezi několik známých virulenních faktorů, které umožňují infekci *Candida albicans*, patří schopnost adherovat k hostitelským a abiotickým medicínským povrchům, tvorba biofilmu a sekrece hydrolytických enzymů, které napomáhají invazi do tkání. Navíc je známo, že *Candida albicans* je značně rezistentní vůči tradičním antimikrobiálním látkám, zvláště když roste ve formě biofilmů [49].

3 ANTIBAKTERIÁLNÍ ÚČINKY BIOSURFAKTANTŮ

Vzhledem k rostoucím problémům s rezistencí mikroorganismů k běžně používaným antimikrobiálním látkám se setkáváme s intenzivní snahou hledat látky nové, ideálně takové, jež nepředstavují zátěž pro životní prostředí. Tomuto trendu odpovídá i pozornost věnovaná biosurfaktantům a jejich aktivitě vůči nežádoucím mikroorganismům. Antimikrobiální aktivita byla prokázána vůči různým skupinám mikroorganismů, proti grampozitivním i gramnegativním bakteriím, kvasinkám i mikroskopickým vláknitým houbám [50].

Účinnost biosurfaktantů závisí na jejich struktuře, použité koncentraci, na produkčním mikroorganismu a na konkrétním mikroorganismu, na kterém byla antimikrobiální účinnost sledována [51]. Například u mannosylerytritollipidů (MEL) s různou délkou alkylového řetězce a jinou acylovou skupinou se jejich antimikrobiální účinnost značně lišila. Biosurfaktanty s délkou řetězce C8 a C10 byly podstatně účinnější než MEL C10 a C14, a to vůči enterokokům i stafylokokům [50].

Mechanismus působení biosurfaktantů je založený na schopnosti ovlivnit morfologii buněčného povrchu, tato schopnost pochopitelně závisí na koncentraci působícího biosurfaktantu [52]. Sotirova at al. [53] zjistila, že nižší koncentrace, blízká CMC biosurfaktantu, nijak neovlivňovala růst grampozitivních a gramnegativních bakterií. Vyšší koncentrace nad CMC však vykazovala inhibiční účinky na grampozitivní bakterie *Bacillus subtilis*, ale ne na gramnegativní bakterie *Pseudomonas aeruginosa*.

Lipopetidové biosurfaktanty, jako je surfaktin nebo fengycin tvoří micelární agregáty nebo pórové kanály v lipidové membráně, což způsobuje narušení a změnu struktury membrány, zvýšenou permeabilitu a změnu konformace proteinů [54]. Surfaktin má schopnost narušovat integritu fosfolipidového složení cytoplazmatické membrány a její fyzikální vlastnosti třemi různými způsoby, mezi které patří fungování jako mobilní nosič kationtů, vytváření kationtových kanálů a rozklad membrány pomocí detergentního účinku [52].

Dále mohou biosurfaktanty ovlivnit tvorbu biofilmů změnou hydrofobnosti buněčného povrchu a tím i snížení adheze bakterií. Tímto mechanismem inhibují růst biofilmů např. rhamnolipidy. Rhamnolipidy způsobují snížení obsahu lipopeptidů na povrchu bakterií a tím ovlivňují vlastnosti bakteriálního buněčného povrchu a interakci s hydrofobními substráty prostřednictvím zvýšení hydrofobnosti buněčného povrchu. [52][54] Taktéž mají potenciál deformovat strukturu biofilmů vytvářením dutin v jejich středu, což ztěžuje jejich stabilitu a odolnost [52].

Prokázány byly antimikrobní účinky u rhamnolipů *Pseudomonas aeruginosa*, soforolipidů *Starmerella bombicola*, mannosylerytrirollipidů, surfaktinu *Bacillus subtilis* a dalších biosurfaktantů produkovaných probiotickými bakteriemi [50]. Následující podkapitoly jsou věnovány inhibiční aktivitě biosurfaktantů vůči kožním patogenům.

3.1 Účinnost vůči *Staphylococcus aureus*

Antibakteriální aktivitu proti této bakterii vykazují např. surfactin, rhamnolipidy a soforolipidy. Surfactin je nejznámější lipopeptid produkovaný bakteriemi *Bacillus subtilis*. Vykazuje baktericidní aktivitu díky destabilizaci fosfolipidové membrány tohoto patogenu, což má potom za následek lýzu buněk. Surfactin a další biosurfaktiny se stávají stále zajímavějšími molekulami při hledání nových léčivých látek proti rezistentním kmenům *Staphylococcus aureus* a dalším patogenním bakteriím. Jejich výzkum a využití může přinést nové možnosti léčby kožních infekcí [55].

Ve studii, které provedl Sana et al. [56] byla zkoumána synergická antibakteriální aktivita kombinovaných biosurfaktantů, konkrétně rhamnolipidu produkovaného *Pseudomonas aeruginosa* a BS15 produkovaného *Bacillus stratosphericus*. Experimenty zahrnovaly hodnocení minimální inhibiční koncentrace (MIC), minimální baktericidní koncentrace (MBC), indexu frakční inhibiční koncentrace, schopnosti změnit vlastnosti povrchu buněk, inhibici růstu bakterií a uvolňování intracelulárních složek. Rhamnolipid a biosurfaktant byly testovány jak samostatně, tak v kombinaci. Rhamnolipid prokázal inhibiční aktivitu při MIC hodnotě 650 µg/ml proti *Staphylococcus aureus* a při 550 µg/ml proti *Escherichia coli*. MIC hodnoty pro BS15 u *Escherichia coli* byly 750 µg/ml a u *Staphylococcus aureus* 600 µg/ml. Kombinace rhamnolipidů a BS15 prokázala synergickou aktivitu proti těmto bakteriím. MIC hodnoty byly výrazně nižší, u *Staphylococcus aureus* i *Escherichia coli* to bylo 150 µg/ml.

Vysoká antibakteriální aktivita byla prokázána i při izolaci nového glykolipidického biosurfaktantu z probiotické bakterie *Lactococcus lactis*. Dle výsledků studie došlo k významné inhibici růstu MRSA (metecilin rezistentní *Staphylococcus aureus*). Taková antibakteriální aktivita biosurfaktantů izolovaných z mikrobů dokazuje že biosurfuktanty mohou být použity ve farmacii pro výrobu nových léků, nebo v kosmetice pro výrobu antimykotik [57].

3.2 Účinnost vůči *Cutibacterium acnes*

V kontextu léčby akné se ukázalo, že řada biosurfaktantů, zejména soforolipidy, vykazují baktericidní účinek proti *Cutibacterium acnes*, a proto se používají do farmaceutických přípravků osobní péče o pleť [42].

Během studie Rodríguez-López et al. [58] bylo prokázáno, že kombinace ZnO s biosurfaktanty (BS-CSW), získaných z kukuřičné vody mají výrazný synergický efekt proti bakterii *Cutibacterium acnes*. Tyto biosurfaktanty mohou být účinnější než tradiční látky používané v přípravcích proti akné, jako je kyselina salicylová, což naznačuje jejich potenciál v boji proti akné a vytváření biokompatibilních formulací [58].

3.3 Účinnost vůči *Candida albicans*

U některých biosurfaktantů byla prokázána i účinnost proti patogenním kvasinkám rodu *Candida*. Při studii Kaur et al. [59] bylo zjištěno potenciální využití biosurfaktantů z *Lactobacillus fermentum* v boji proti *Candida albicans*. Z izolátu B1 (*Lactobacillus fermentum*) byl extrahován biosurfaktant s výtěžkem 4,55 g/l. Extrahovaný biosurfaktant byl separován pomocí TLC a identifikován jako lipopeptid pomocí FTIR spektroskopie. Tento lipopeptid prokázal významnou schopnost inhibovat růst a tvorbu biofilmů *Candida albicans*, kde dosáhl účinnosti zabíjení až 91 % při koncentracích 2500 $\mu\text{l/ml}$ a 1250 $\mu\text{l/ml}$ [59].

3.4 Účinnost vůči *Escherichia coli*

Jak již bylo zmíněno výše u *Staphylococcus aureus*, studie Sana et al. [56] Byla věnována působení rhamnolipidů a biosurfaktantů *Bacillus subtilis*. Antibakteriální aktivitu proti *Escherichia coli* vykazovaly biosurfaktanty typu BS15 a také rhamnolipidy.

Další studie sledovaly účinky různých soforolipidů. Aktivita vůči *Escherichia coli* byla prokázána například u soforolipidů získaných z *Candida bombicola*, a to při velmi nízkých koncentracích [60]. Antibakteriální aktivita byla zjištěna i vůči patogenními kmeni *Escherichia coli* O157:H7, který je přenášen potravinami. Podle Zhang et al. [61] laktonické soforolipidy produkované *Starmerella bombicola* prokázaly výrazný pokles růstu populace *Escherichia coli* ve srovnání s kyselými soforolipidy. Tento fakt byl potvrzen i u dalších gramnegativních bakterií jako *Listeria* spp. a *Salmonella* spp., kdy laktonické soforolipidy odvozené od olejové, palmitové a stearové kyseliny byly účinnější než kyselé formy. Dále

byl zkoumán vliv přídavku ethanolu k soforolidům, který zvýšil antimikrobiální účinky tím, že narušoval integritu membrány buněk.

3.5 Účinnost vůči *Pseudomonas aeruginosa*

Aktivita vůči *Pseudomonas aeruginosa* byla prokázána například u kyselých soforolidů získaných ze *Starmerella bombicola*. Kromě *Pseudomonas aeruginosa* byly tyto soforilipidy aktivní i vůči dalším nozokomiálním patogenům, navíc se prokázal jejich pozitivní efekt při procesech kožní regenerace a tyto biosurfaktanty jsou tedy poměrně slibné ingredience do kosmetických přípravků určených pro hojení ran, kde by bránily sekundární kontaminaci a následné infekci rány [51].

Vůči *Pseudomonas aeruginosa* působí antibakteriálně i další biosurfaktanty, například rhamnolipidy a glykolipidy získané z bakterií rodu *Burkholderia* [62].

3.6 Antibiofilmová aktivita biosurfaktantů

Biosurfaktanty jsou zajímavé nejen díky schopnosti inhibovat růst mikroorganismů, ale i díky schopnosti zasahovat do procesu tvorby biofilmu. Biofilmy jsou tvořeny seskupením mikrobiálních organismů připojených k sobě navzájem nebo k povrchu, které vytvářejí složité, vrstevnaté struktury. Velikost těchto společenstev se pohybuje od malých shluků buněk až po velké biofilmy zahrnující stovky tisíce bakterií. Tyto struktury jsou často chráněné matricí, která se skládá z biopolymerů včetně proteinů, exopolysacharidů a extracelulární DNA. Tvorba matrice je dynamický proces, který závisí na dostupnosti živin, syntéze a sekreci extracelulárního materiálu, smykovém napětí, a sociální konkurenci [50][63].

Hlavní funkcí biofilmů je poskytnout mikroorganismům ochranné prostředí, které zvyšuje jejich schopnost přežít v nepříznivých podmínkách. Dále usnadňují šíření a komunikaci bakterií. Bakterie v biofilmu komunikují prostřednictvím chemických signálů, což je proces známý jako quorum sensing. Tento jev spočívá v uvolňování signálních molekul bakteriemi v reakci na četnost jejich populace. Sousední buňky tyto molekuly detekují a reagují na ně koordinovaným spuštěním exprese určitých genů. Tento mechanismus umožňuje bakteriím efektivně reagovat na okolní změny [63]. Biofilmy obsahují značné množství buněk ve stacionární fázi a tyto buňky mají vyšší odolnost k mnoha antimikrobiálním látkám, což způsobuje problémy v celé škále oblastí lidské činnosti od zdravotnictví až po výrobu potravin nebo kosmetiky. Odolnost patogenních bakterií v kožním biofilmu značně

komplikuje léčbu kožních infekcí [63]. Biosurfaktanty se nabízí jako nadějní adepti v boji proti bakteriálním biofilmům díky svým unikátním vlastnostem. Ve srovnání s tradičními metodami mohou poskytovat efektivnější řešení pro narušení biofilmů. Nejenže zabraňují přilnutí bakterií k povrchům a jejich shlukování, ale také mají také schopnost rozpouštět a narušovat již vzniklé biofilmy [64].

Biosurfaktanty zasahují i do signálních drah quorum sensing, což zásadně ovlivňuje komunikaci mezi bakteriemi a jejich schopnost vytvářet biofilmy. Kromě toho mohou omezením energetických procesů, jako je narušení řetězce přenosu elektronů, snižovat metabolickou aktivitu bakterií v biofilmu [65].

Mezi bakterie, které často tvoří biofilmy a způsobují kožní infekce, patří zejména *Staphylococcus aureus* a *Pseudomonas aeruginosa* [1][57]. Některé glykolipidové biosurfaktanty byly schopny snížit tvorbu biofilmu u multirezistentních kmenů *Staphylococcus aureus* o více než 80%. Ještě účinnější byly glykolipidové surfaktanty ve schopnosti likvidovat biofilmy gramnegativních bakterií, například u *Escherichia coli* byly zjištěna inhibice 97 %. Stejně tak byly antibiofilmové účinky prokázány u mnoha biosurfaktantů produkovaných probiotickými bakteriemi [1].

4 VYUŽITÍ BIOSURFAKTANTŮ

Využití biosurfaktantů je hodně široké. Zahrnuje oblast zemědělství, životního prostředí, lékařství, kosmetický a potravinářský průmysl. Pro svoji kompatibilitu s živými systémy a taky lehkou stravitelnost jsou využívány ve farmaceutickém a kosmetickém průmyslu i jako funkční potravinářská aditiva [66].

Biosurfaktanty předčí chemické surfaktanty ve velké řadě výhodných vlastností, jako je biodegradabilita, biokompatibilita, rozmanitost, nižší toxicita a stabilita v široké škále pH. Doposud se jejich využití zatím nerozšířilo především kvůli vysoké ceně jejich produkce, primárně způsobené nízkými výtěžky, a i vysokými náklady na zpracování surového produktu [67].

4.1 Zemědělství

V zemědělství mohou být biosurfaktanty uplatňovány díky svým unikátním vlastnostem v oblasti rostlinné i živočišné produkce. Biosurfaktanty jsou v oblasti živočišné produkce využívány pro své velmi významné nutriční aspekty jako např. složky krmiv přežvýkavců. V zemědělství lze podobně jako ve farmaceutickém průmyslu využít potenciál biosurfaktantů k snížení projevů rezistence mikroorganismů vůči antibiotikům. U biosurfaktantů byla prokázána kromě nutričního účinku i účinnost při podpoře růstu osiva [68]. Co se týká životního prostředí, tam jsou biosurfaktanty využívány například ke kontrole úniků ropy, odstraňování ropných skvrn, čištění ropných tankerů, nebo zvýšení výtěžku při těžbě ropy [69].

4.2 Potravinářství

Biosurfaktanty vykazují mnohé vlastnosti jako je stabilizace substrátů, emulgace, antibakteriální účinky nebo antiadhezivní vlastnosti. Potenciální aplikace biosurfaktantů v potravinářském průmyslu spolu s využíváním zemědělských odpadů (jako substrátů pro jejich produkci) jsou v současné době tématem výzkumu. Biosurfaktanty lze využít dvěma způsoby. Prvním je přímé použití jako ingredienci při přípravě potravin. Druhým způsobem je ošetření povrchů, které jsou při výrobě s potravinou v kontaktu. Biosurfaktanty jako potravinová aditiva stabilizují kynuté potraviny, zlepšují strukturu škrobových, tukových a pšeničných těst. Biosurfaktanty lze dále využít i pro zvýšení účinnosti rostlinných růstových regulátorů, pesticidů nebo herbicidů. Zde biosurfaktanty fungují jako činidla umožňující

lepší smáčivost povrchů listů. Ta pak zvyšuje její účinnost a umožňuje používat menší množství funkční látky [11].

V potravinářském průmyslu je dále lze využít jako zahušťovadla, antioxidační a antibakteriální látky nebo emulgátory. Biosurfaktanty mohou významně ovlivňovat trvanlivost výrobku nebo samotnou texturu výrobku [70]. Byl například studován potenciál biosurfaktantů produkovaných laktobacily. V důsledku přidání testovaného biosurfaktantu do těsta došlo ke snížení tvrdosti chleba a ke zvýšení viskozity, v důsledku interakce molekul škrobu s molekulami biosurfaktantu. Výsledky téhle studie prokázaly potenciál testovaného mikrobiálního surfaktantu v potravinářství pro využití jako emulgátoru, kde může nahradit běžné chemické typy [68].

Dva biosurfaktanty produkované *Lactobacillus casei* TM1B a *Lactobacillus paracasei* byly za účelem zhodnocení možných konzervačních účinků studovány na syrovém kozím mase, skladovaném při teplotě 4 °C po dobu 15 dní. Provedené testy prokázaly schopnost testovaných biosurfaktantů snížit množství bakterií *Escherichia coli* a *Pseudomonas aeruginosa*. U vzorků masa byla inhibována degradace bílkovin a nebyly ani negativně ovlivněny jeho senzorycké vlastnosti. Trvanlivost masa byla prodloužena na 15 dní [70].

4.3 Lékařství

Biosurfaktanty mají svou roli samozřejmě také i v medicíně. Biosurfaktanty zde mohou být využity jako, imunomodulační molekuly v genové terapii, ve vakcínách, nebo jako antimikrobiální agens. Některé biosurfaktanty jsou schopny nahradit antimikrobiální látky a syntetická léčiva. Jejich použití je často účinnější a bezpečnější. Biosurfaktanty vykazují účinky antiadhezivní, antitumorové a antimikrobiální. Díky svým vlastnostem mohou narušit membránu buněk. Jejich působení se liší podle typu cílové buňky. Biosurfaktanty jsou schopny také inhibovat adhezi patogenních organismů na pevné povrchy, což může být základem nového způsobu boje proti patogenním bakteriím kolonizujícím povrchy [71].

4.4 Kosmetika

Biosurfaktanty používané v kosmetickém průmyslu musí splňovat stanovená pravidla, která jsou uvedena v Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1223/2009 o kosmetických přípravcích. Toto nařízení klade důraz na několik klíčových aspektů: bezpečnost a pro lidské zdraví při použití přípravku, mikrobiologickou čistotu, aby produkty neobsahovaly škodlivé mikroorganismy a chemickou bezpečnost. Každý kosmetický produkt musí být také jasně označen, včetně informací o složení a pokynech pro bezpečné používání. Dále je třeba zvážit

environmentální dopady, jako je biodegradabilita a ekotoxicita složek, což zahrnuje i biosurfaktanty. Toto nařízení zajišťuje, že produkty uváděné na trh jsou bezpečné, efektivní a šetrné k životnímu prostředí [72].

V kosmetice lze vzhledem k dobré schopnosti hydratace a kompatibility s pokožkou využít mikrobiální surfaktanty jako alternativy syntetických složek do kosmetických přípravků. Omezení může představovat zdroj těchto látek, kterými mohou být i patogenní mikroorganismy. Právě využití biosurfaktantů produkovaných probiotickými bakteriemi by mohlo být řešením. Některé ze skupin probiotických biosurfaktantů jsou známé tím, že vykazují antioxidační účinky, jejich zástupci jsou např. biosurfaktanty původem z *Bacillus subtilis*. Z tohoto nepatogenního organismu získané biosurfaktanty vykazují při ochraně pokožky před negativními oxidačními vlivy srovnatelné výsledky jako surfaktanty syntetického původu [73]. Biosurfaktanty lze také využít v kosmetickém i potravinářském průmyslu díky jejich povaze, například jako konzervační látky [74].

Kromě antioxidačních vlastností mají schopnost stabilizovat některé kosmetické formulace. Lipopeptidy získané z *Bacillus subtilis* mají díky svému izoelektrickému bodu schopnost nést záporný náboj. Tyto biosurfaktanty jsou díky tomu schopny bránit koalescenci kapek oleje a stabilizovat je. Xylolipidy jsou dalším příkladem účinných probiotických biosurfaktantů. Kromě jejich schopnosti snižovat povrchové napětí jsou také účinné proti bakterii *Staphylococcus aureus*. V kosmetice by mohly sloužit třeba jako náhrada za syntetické konzervační látky [75].

4.4.1 Příklady kosmetických přípravků obsahující biosurfaktanty

Nutri-Define Supreme Rejuvenating Serum je kosmetický produkt navržený k boji proti známým stárnutí. Toto sérum využívá technologii Advanced Biosome6, která zlepšuje pronikání aktivních látek do pleti, a tím efektivně redukuje vrásky a zvyšuje pevnost pleti. Tento produkt je vyvíjen a vyráběn australskou společností Jurlique, která pro výrobu používá rostliny pěstované na vlastních biofarmách v Jižní Austrálii. Součástí tohoto séra jsou biosurfaktanty, konkrétně lipopeptid Sodium Surfactin a glykolipidy [76]. V přípravcích proti vráskám se běžně využívají lipopeptidy pro své detergenční a emulgační schopnosti [75].

INCI složení:

Aqua (Water), Glycerin, Propanediol, Caprylic/Capric Triglyceride, Diglycerin, Beeswax (Cera Alba), Spilanthes acmella Flower Extract, Cochlearia armoracia (Horseradish) Root Extract, Leucojum aestivum Bulb Extract, Althaea officinalis Root Extract, Calendula officinalis Flower Extract, Lavandula angustifolia (Lavender) Flower Extract, Rosa gallica Flower Extract, Limnanthes alba (Meadowfoam) Seed Oil, Tremella fuciformis Polysaccharide, Fragrance/Parfum, Hydroxyacetophenone, C12-20 Alkyl Glucoside, Butylene Glycol, **Glycolipids**, Hydroxylated Lecithin, Tocopherol, Xanthan Gum, Agar, **Sodium Surfactin**, Phenoxyethanol, Ethylhexylglycerin, Sodium Citrate, Citric Acid, Hexyl Cinnamal, Butylphenyl Methylpropional, Limonene, Citronellol, Linalool



Obrázek 7 Sérum proti vráskám od značky Jurlique [76]

Produkt Supremelab Clean Comfort Micellar Makeup Removing Jelly vyrábí polská kosmetická společnost Bielenda, která se specializuje na výrobu kvalitní přírodní kosmetiky. Tento dvoufázový micelární gel je navržen pro účinné odstranění make-upu a důkladné čištění pleti. Neobsahuje agresivní čisticí látky, pouze mírné ve formě glykolipidů. Glykolipidy jsou velmi účinné při odstraňování nečistot a zároveň jsou šetrné, nedráždí pokožku a nevysušují ji. [77]

INCI složení:

Aqua (Water), Propanediol, **Glycolipids**, Saccharomyces/Rice Ferment Filtrate, Panthenol, Polyglyceryl-6 Caprylate, Proline, Pentylene Glycol, Xanthan Gum, Carbomer, Potassium Hydroxide, Ethylhexylglycerin, Sodium Benzoate, Benzyl Alcohol, Phenoxyethanol, Parfum (Fragrance), CI 17200, CI 42090



Obrázek 8 Dvoufázový micelární gel od značky Bielenda [77]

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce je věnována biosurfaktantům, tedy povrchově aktivním látkám mikrobiálního původu, které jsou velmi slibné pro široké spektrum aplikací. Vzhledem k jejich biodegradabilitě a nízké toxicitě jsou vhodnými kandidáty pro použití nejen v medicíně, ale také v průmyslu a zemědělství. Z hlediska této práce je zajímavá zejména jejich perspektiva v oblasti kosmetiky a dermatologie. Biosurfaktanty se mohou uplatnit v ekologických čisticích prostředcích i ve skincare produktech, kde může být využita kromě povrchové aktivity i jejich schopnost působit inhibičně na nežádoucí mikroorganismy. Antibakteriálním účinkům vůči kožním patogenům byla v práci věnována značná pozornost, a to včetně antibiofilmové aktivity různých typů biosurfaktantů. Výzvy spojené s reálnou aplikací biosurfaktantů v praxi zahrnují ekonomické a technologické aspekty, jako jsou vysoké náklady na produkci a potřeba dalšího výzkumu pro optimalizaci jejich výroby a použití. Přestože tato práce představila základní rámec a potenciál biosurfaktantů, další výzkum je nezbytný pro překonání těchto bariér a pro zlepšení pochopení mechanismů, kterými biosurfaktanty působí na mikrobiální patogeny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ADU, Simms A.; NAUGHTON, Patrick J.; MARCHANT, Roger a BANAT, Ibrahim M. Microbial Biosurfactants in Cosmetic and Personal Skincare Pharmaceutical Formulations. Online. *Pharmaceutics*. 2020, roč. 12, č. 11, s. 1-21. ISSN 1999-4923. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12111099>. [cit. 2023-12-09].
- [2] BAKI, Gabriella. *Introduction to Cosmetic Formulation and Technology*. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2023. ISBN 978-1-119-70977-0.
- [3] JOHNSON, Phillip; TRYBALA, Anna; STAROV, Victor a PINFIELD, Valerie J. Effect of synthetic surfactants on the environment and the potential for substitution by biosurfactants. Online. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2021, roč. 288. ISSN 00018686. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102340>. [cit. 2023-12-09].
- [4] DE, Sourav; MALIK, Susanta; GHOSH, Aniruddha; SAHA, Rumpa a SAHA, Bidyut. A review on natural surfactants. Online. *RSC Advances*. 2015, roč. 5, č. 81, s. 1-25. ISSN 2046-2069. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/C5RA11101C>. [cit. 2023-11-10].
- [5] ABDEL-MAWGOUD, Ahmad Mohammad; LÉPINE, François a DÉZIEL, Eric. Rhamnolipids: diversity of structures, microbial origins and roles. Online. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2010, roč. 86, č. 5, s. 1323-1336. ISSN 0175-7598. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2498-2>. [cit. 2023-11-10].
- [6] INÈS, Mnif a DHOUHA, Ghribi. Glycolipid biosurfactants: Potential related biomedical and biotechnological applications. Online. *Carbohydrate Research*. 2015, roč. 416, s. 59-69. ISSN 00086215. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2015.07.016>. [cit. 2023-11-11].
- [7] BHADORIYA, Sandeep Singh a MADORIYA, Narendra. Biosurfactants: A New Pharmaceutical Additive for Solubility Enhancement and Pharmaceutical Development. Online. *Biochemistry & Pharmacology: Open Access*. 2013, roč. 02, č. 02, s. 1-5. ISSN 21670501. Dostupné z: <https://doi.org/10.4172/2167-0501.1000113>. [cit. 2024-05-03].
- [8] ARPITA, Roy. *Production and chracterization of biosurfactant from bacterial isolates*. Online, Thesis. New Delhi: Netaji Subhas Institute of technology, 2014. Dostupné z: [10.13140/RG.2.2.25144.34562](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25144.34562). [cit. 2023-11-11].

- [9] PEREZ-AMENEIRO, M.; VECINO, X.; CRUZ, J.M. a MOLDES, A.B. Wastewater treatment enhancement by applying a lipopeptide biosurfactant to a lignocellulosic biocomposite. Online. *Carbohydrate Polymers*. 2015, roč. 131, s. 186-196. ISSN 1879-1344. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.075>. [cit. 2024-05-13].
- [10] SANTOS, Danyelle; RUFINO, Raquel; LUNA, Juliana; SANTOS, Valdemir a SARUBBO, Leonie. Biosurfactants: Multifunctional Biomolecules of the 21st Century. Online. *International Journal of Molecular Sciences*. 2016, roč. 17, č. 3, s. 1-31. ISSN 1422-0067. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijms17030401>. [cit. 2024-03-15].
- [11] CAMPOS, Jenyffer Medeiros; MONTENEGRO STAMFORD, Tânia Lúcia; SARUBBO, Leonie Asfora; DE LUNA, Juliana Moura; RUFINO, Raquel Diniz et al. Microbial biosurfactants as additives for food industries. Online. *Biotechnology Progress*. 2013, roč. 29, č. 5, s. 1097-1108. ISSN 8756-7938. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/btpr.1796>. [cit. 2024-05-03].
- [12] GEYS, Robin; SOETAERT, Wim a VAN BOGAERT, Inge. Biotechnological opportunities in biosurfactant production. Online. *Current Opinion in Biotechnology*. 2014, roč. 30, s. 66-72. ISSN 09581669. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2014.06.002>. [cit. 2023-11-11].
- [13] CHONG, Huiqing a LI, Qingxin. Microbial production of rhamnolipids: opportunities, challenges and strategies. Online. *Microbial Cell Factories*. 2017, roč. 16, č. 1. ISSN 1475-2859. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s12934-017-0753-2>. [cit. 2023-11-12].
- [14] COSTA, Kyle C.; GLASSER, Nathaniel R.; CONWAY, Stuart J. a NEWMAN, Dianne K. Pyocyanin degradation by a tautomerizing demethylase inhibits *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. Online. *Science*. 2017, roč. 355, č. 6321, s. 170-173. ISSN 0036-8075. Dostupné z: <https://doi.org/10.1126/science.aag3180>. [cit. 2024-05-13].
- [15] LAU, Gee W.; HASSETT, Daniel J.; RAN, Huimin a KONG, Fansheng. The role of pyocyanin in *Pseudomonas aeruginosa* infection. Online. *Trends in Molecular Medicine*. 2004, roč. 10, č. 12, s. 599-606. ISSN 14714914. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2004.10.002>. [cit. 2024-05-13].
- [16] HENKEL, Marius a HAUSMANN, Rudolf. Diversity and Classification of Microbial Surfactants. Online. In: *Biobased Surfactants*. Elsevier, 2019, s. 41-63. ISBN

9780128127056. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812705-6.00002-2>. [cit. 2024-05-15].
- [17] VAN BOGAERT, Inge N. A.; SAERENS, Karen; DE MUYNCK, Cassandra; DEVELTER, Dirk; SOETAERT, Wim et al. Microbial production and application of sophorolipids. Online. *Applied Microbiology and Biotechnolog.* 2007, roč. 76, č. 1, s. 23-34. ISSN 1432-0614. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00253-007-0988-7>. [cit. 2023-11-17].
- [18] MNIF, Inès a GHRIBI, Dhouha. Review lipopeptides biosurfactants: Mean classes and new insights for industrial, biomedical, and environmental applications. Online. *Peptide Science.* 2015, roč. 104, č. 3, s. 129-147. ISSN 0006-3525. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/bip.22630>. [cit. 2023-11-18].
- [19] Novel approaches for the production and use of biosurfactants. In: SOBERON-CHAVEZ, Gloria (ed.). *Biosurfactants Research and Development.* Elsevier Science Bv, 2023, s. 203-247. ISBN 978-0-323-91697-4.
- [20] MCCLEMENTS, David Julian a GUMUS, Cansu Ekin. Natural emulsifiers — Biosurfactants, phospholipids, biopolymers, and colloidal particles: Molecular and physicochemical basis of functional performance. Online. *Advances in Colloid and Interface Science.* 2016, roč. 234, s. 3-26. ISSN 00018686. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2016.03.002>. [cit. 2023-11-18].
- [21] AGASSANDIAN, Marianna a MALLAMPALLI, Rama K. Surfactant phospholipid metabolism. Online. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids.* 2013, roč. 1831, č. 3, s. 612-625. ISSN 13881981. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2012.09.010>. [cit. 2023-11-18].
- [22] VARVARESOU, A. a IAKOVOU, K. Biosurfactants in cosmetics and biopharmaceuticals. Online. *Letters in Applied Microbiology.* 2015, roč. 61, č. 3, s. 214-223. ISSN 02668254. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/lam.12440>. [cit. 2024-03-04].
- [23] SEN, Ramkrishna. *Biosurfactants.* Vol. 672. Advances in experimental medicine and biology, v. 672. Austin, Tex.: Landes Bioscience, 2010. ISBN 9781441959782.
- [24] BJERK, Thiago R.; SEVERINO, Patricia; JAIN, Sona; MARQUES, Conrado; SILVA, Amélia M. et al. Biosurfactants: Properties and Applications in Drug Delivery,

- Biotechnology and Ecotoxicology: Properties and Applications in Drug Delivery, Biotechnology and Ecotoxicology. Online. *Bioengineering*. 2021, roč. 8, č. 8, s. 1-18. ISSN 2306-5354. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/bioengineering8080115>. [cit. 2024-05-11].
- [25] BEGUM, Wasefa; SAHA, Bidyut a MANDAL, Ujjwal. A comprehensive review on production of bio-surfactants by bio-degradation of waste carbohydrate feedstocks: an approach towards sustainable development. Online. *RSC Advances*. 2023, roč. 13, č. 36, s. 25599-25615. ISSN 2046-2069. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/D3RA05051C>. [cit. 2024-03-22].
- [26] MD, Fakruddin. Biosurfactant: Production and Application. Online. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*. 2012, roč. 03, č. 04, s. 1-5. ISSN 21577463. Dostupné z: <https://doi.org/10.4172/2157-7463.1000124>. [cit. 2023-11-23].
- [27] ZAIDI, Zohra; LANIGAN, Sean W.; LANIGAN, S.W a ZAIDI, Zohra. Skin: Structure and Function. Online. In: *Dermatology in Clinical Practice*. 2010. London: Springer London, 2010, s. 1-15. ISBN 978-1-84882-861-2. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-1-84882-862-9_1. [cit. 2023-12-05].
- [28] KOLARSICK, Paul A. J.; KOLARSICK, Maria Ann a GOODWIN, Carolyn. Anatomy and Physiology of the Skin. Online. *Journal of the Dermatology Nurses' Association*. 2011, roč. 3, č. 4, s. 203-213. ISSN 1945-760X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/JDN.0b013e3182274a98>. [cit. 2024-04-11].
- [29] HWA, CHARLOTTE; BAUER, EUGENE A. a COHEN, DAVID E. Skin biology. Online. *Dermatologic Therapy*. 2011, roč. 24, č. 5, s. 464-470. ISSN 13960296. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8019.2012.01460.x>. [cit. 2023-12-05].
- [30] GRICE, Elizabeth A. a SEGRE, Julia A. The skin microbiome. Online. *Nature Reviews Microbiology*. 2011, roč. 9, č. 4, s. 244-253. ISSN 1740-1526. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/nrmicro2537>. [cit. 2023-12-08].
- [31] MATHES, Stephanie H.; RUFFNER, Heinz a GRAF-HAUSNER, Ursula. The use of skin models in drug development. Online. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2014, roč. 69-70, s. 81-102. ISSN 0169409X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2013.12.006>. [cit. 2024-04-11].

- [32] WAASDORP, Maaïke; KROM, Bastiaan P.; BIKKER, Floris J.; VAN ZUIJLEN, Paul P. M.; NIESSEN, Frank B. et al. The Bigger Picture: Why Oral Mucosa Heals Better Than Skin. Online. *Biomolecules*. 2021, roč. 11, č. 8, s. 1-22. ISSN 2218-273X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/biom11081165>. [cit. 2024-05-16].
- [33] SIMPSON, Paula. *Užitečné bakterie pro zdravou pokožku: pečujte o svůj kožní mikrobiom s pre- a probiotiky*. Praha: Grada, 2022. ISBN 978-80-271-1304-0.
- [34] CHEN, Y. Erin; FISCHBACH, Michael A. a BELKAID, Yasmine. Skin microbiota–host interactions. Online. *Nature*. 2018, roč. 553, č. 7689, s. 427-436. ISSN 0028-0836. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2013.12.006>. [cit. 2024-04-11].
- [35] DOMINGUEZ-BELLO, Maria G.; COSTELLO, Elizabeth K.; CONTRERAS, Monica; MAGRIS, Magda; HIDALGO, Glida et al. Delivery mode shapes the acquisition and structure of the initial microbiota across multiple body habitats in newborns. Online. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2010, roč. 107, č. 26, s. 11971-11975. ISSN 0027-8424. Dostupné z: <https://doi.org/10.1073/pnas.1002601107>. [cit. 2024-05-03].
- [36] GRICE, Elizabeth A.; KONG, Heidi H.; CONLAN, Sean; DEMING, Clayton B.; DAVIS, Joie et al. Topographical and Temporal Diversity of the Human Skin Microbiome. Online. *Science*. 2009, roč. 324, č. 5931, s. 1190-1192. ISSN 0036-8075. Dostupné z: <https://doi.org/10.1126/science.1171700>. [cit. 2024-05-03].
- [37] JAUTOVÁ, Jagienka; ZELENKOVÁ, Hana; DROTAROVÁ, Katarína; NEJDKOVÁ, Alena; GRÜNVALDOVÁ, Božena et al. Lip creams with propolis special extract GH 2002 0.5% versus aciclovir 5.0% for herpes labialis (vesicular stage). Online. *Wiener Medizinische Wochenschrift*. 2019, roč. 169, č. 7-8, s. 193-201. ISSN 0043-5341. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10354-018-0667-6>. [cit. 2024-04-11].
- [38] BYRD, Allyson L.; BELKAID, Yasmine a SEGRE, Julia A. The human skin microbiome. Online. *Nature Reviews Microbiology*. 2018, roč. 16, č. 3, s. 143-155. ISSN 1740-1526. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.157>. [cit. 2024-04-11].
- [39] CHILLER, Katarina; SELKIN, Bryan A. a MURAKAWA, George J. Skin Microflora and Bacterial Infections of the Skin. Online. *Journal of Investigative Dermatology*

- Symposium Proceedings*. 2001, roč. 6, č. 3, s. 170-174. ISSN 10870024. Dostupné z: <https://doi.org/10.1046/j.0022-202x.2001.00043.x>. [cit. 2023-12-08].
- [40] BONAR, Emilia; MIĘDZOBRODZKI, Jacek a WŁADYKA, Benedykt. The Staphylococcal Coagulases. Online. In: *Pet-To-Man Travelling Staphylococci*. Elsevier, 2018, s. 95-102. ISBN 9780128135471. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813547-1.00007-8>. [cit. 2024-05-15].
- [41] CHRISTENSEN, G.J.M. a BRÜGGEMANN, H. Bacterial skin commensals and their role as host guardians. Online. *Beneficial Microbes*. 2014, roč. 5, č. 2, s. 201-215. ISSN 1876-2883. Dostupné z: <https://doi.org/10.3920/BM2012.0062>. [cit. 2023-12-07].
- [42] MAYSLICH, Constance; GRANGE, Philippe Alain a DUPIN, Nicolas. Cutibacterium acnes as an Opportunistic Pathogen: An Update of Its Virulence-Associated Factors. Online. *Microorganisms*. 2021, roč. 9, č. 2, s. 1-21. ISSN 2076-2607. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9020303>. [cit. 2024-05-15].
- [43] GIUDICE, P. Skin Infections Caused by Staphylococcus aureus. Online. *Acta Dermato Venereologica*. 2020, roč. 100, č. 9, s. adv00110-215. ISSN 1651-2057. Dostupné z: <https://doi.org/10.2340/00015555-3466>. [cit. 2023-12-07].
- [44] ABDELBARY, M.M.H.; BASSET, P.; BLANC, D.S. a FEIL, E.J. The Evolution and Dynamics of Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus. Online. In: *Genetics and Evolution of Infectious Diseases*. Elsevier, 2017, s. 553-572. ISBN 9780127999425. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799942-5.00024-X>. [cit. 2024-05-15].
- [45] SHARMA, G.; SHARMA, S.; SHARMA, P.; CHANDOLA, D.; DANG, S. et al. Escherichia coli biofilm: development and therapeutic strategies. Online. *Journal of Applied Microbiology*. 2016, roč. 121, č. 2, s. 309-319. ISSN 13645072. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jam.13078>. [cit. 2024-05-07].
- [46] IBRAHIM, Joe; EISEN, Jonathan A.; JOSPIN, Guillaume; COIL, David A.; KHAZEN, Georges et al. Genome Analysis of Streptococcus pyogenes Associated with Pharyngitis and Skin Infections. Online. *PLOS ONE*. 2016, roč. 11, č. 12, s. 1-23. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168177>. [cit. 2024-05-15].
- [47] WANG, Jiachao; MA, Cuiqing; LI, Miao; GAO, Xue; WU, Hao et al. Streptococcus pyogenes: Pathogenesis and the Current Status of Vaccines. Online. *Vaccines*. 2023,

- roč. 11, č. 9, s. 1-14. ISSN 2076-393X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/vaccines11091510>. [cit. 2023-12-09].
- [48] SANYA, Daniel Ruben Akiola; ONÉSIME, Djamila; VIZZARRO, Grazia a JACQUIER, Nicolas. Recent advances in therapeutic targets identification and development of treatment strategies towards *Pseudomonas aeruginosa* infections. Online. *BMC Microbiology*. 2023, roč. 23, č. 1, s. 1-18. ISSN 1471-2180. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s12866-023-02832-x>. [cit. 2024-05-06].
- [49] HENRIQUES, Mariana a SILVA, Sónia. *Candida Albicans* Virulence Factors and Its Pathogenicity. Online. *Microorganisms*. 2021, roč. 9, č. 4, s. 1-3. ISSN 2076-2607. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040704>. [cit. 2024-05-06].
- [50] PENESYAN, Anahit; PAULSEN, Ian T.; KJELLEBERG, Staffan a GILLINGS, Michael R. Three faces of biofilms: a microbial lifestyle, a nascent multicellular organism, and an incubator for diversity. Online. *Npj Biofilms and Microbiomes*. 2021, roč. 7, č. 1, s. 1-9. ISSN 2055-5008. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41522-021-00251-2>. [cit. 2023-12-12].
- [51] LYDON, Helen L.; BACCILE, Niki; CALLAGHAN, Breedge; MARCHANT, Roger; MITCHELL, Christopher A. et al. Adjuvant Antibiotic Activity of Acidic Sphorolipids with Potential for Facilitating Wound Healing. Online. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2017, roč. 61, č. 5, s. e02547-16. ISSN 0066-4804. Dostupné z: <https://doi.org/10.1128/AAC.02547-16>. [cit. 2024-05-15].
- [52] K. SATPUTEVA, Surekha; G. BANPURKAR, Arun; M. BANAT, Ibrahim; N. SANGSHETTI, Jaiprakash; H. PATIL, Rajendra et al. Multiple Roles of Biosurfactants in Biofilms. Online. *Current Pharmaceutical Design*. 2016, roč. 22, č. 11, s. 1429-1448. ISSN 13816128. Dostupné z: <https://doi.org/10.2174/1381612822666160120152704>. [cit. 2024-02-23].
- [53] SOTIROVA, A. V.; SPASOVA, D. I.; GALABOVA, D. N.; KARPENKO, E. a SHULGA, A. Rhamnolipid–Biosurfactant Permeabilizing Effects on Gram-Positive and Gram-Negative Bacterial Strains. Online. *Current Microbiology*. 2008, roč. 56, č. 6, s. 639-644. ISSN 0343-8651. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00284-008-9139-3>. [cit. 2024-02-24].

- [54] SHARMA, Jyoti; SUNDAR, Durai a SRIVASTAVA, Preeti. Biosurfactants: Potential Agents for Controlling Cellular Communication, Motility, and Antagonism: Potential Agents for Controlling Cellular Communication, Motility, and Antagonism. Online. *Frontiers in Molecular Biosciences*. 2021, roč. 8, s. 1-14. ISSN 2296-889X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fmolb.2021.727070>. [cit. 2024-02-23].
- [55] LIU, Jin; LI, Wei; ZHU, Xiaoyu; ZHAO, Haizhen; LU, Yingjian et al. Surfactin effectively inhibits *Staphylococcus aureus* adhesion and biofilm formation on surfaces. Online. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019, roč. 103, č. 11, s. 4565-4574. ISSN 0175-7598. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09808-w>. [cit. 2023-12-07].
- [56] SANA, Santanu; DATTA, Sriparna; BISWAS, Dipa a SENGUPTA, Dipanjan. Assessment of synergistic antibacterial activity of combined biosurfactants revealed by bacterial cell envelop damage. Online. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*. 2018, roč. 1860, č. 2, s. 579-585. ISSN 00052736. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2017.09.027>. [cit. 2024-05-06].
- [57] SARAVANAKUMARI, P. a MANI, K. Structural characterization of a novel xylolipid biosurfactant from *Lactococcus lactis* and analysis of antibacterial activity against multi-drug resistant pathogens. Online. *Bioresource Technology*. 2010, roč. 101, č. 22, s. 8851-8854. ISSN 09608524. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.104>. [cit. 2024-05-03].
- [58] RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Lorena; RINCÓN-FONTÁN, Myriam; VECINO, Xanel; CRUZ, José M. a MOLDES, Ana B. Study of biosurfactant extract from corn steep water as a potential ingredient in antiacne formulations. Online. *Journal of Dermatological Treatment*. 2022, roč. 33, č. 1, s. 393-400. ISSN 0954-6634. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/09546634.2020.1757016>. [cit. 2024-05-04].
- [59] KAUR, Dhaliwal Maninder; N. PATIL, Raghunath a SAIMA, Ansari. Biosurfactant Production and its Role in *Candida albicans* Biofilm Inhibition. Online. *Journal of Pure and Applied Microbiology*. 2020, roč. 14, č. 2, s. 1337-1343. ISSN 09737510. Dostupné z: <https://doi.org/10.22207/JPAM.14.2.30>. [cit. 2024-05-07].
- [60] QUEIROZ FREITAS, Christiane Aparecida Urzedo; ITAKURA SILVEIRA, Victória Akemi a COLABONE CELLIGOI, Maria Antonia Pedrine. Antimicrobial Applications

- of Sophorolipid from *Candida bombicola*: a Promising Alternative to Conventional Drugs. Online. *Advances in Biotechnology & Microbiology*. 2018, roč. 9, č. 1, s. 0017-0020. Dostupné z: <https://doi.org/10.19080/AIBM.2018.09.555753>. [cit. 2024-05-15].
- [61] CHO, Wei Yan; NG, Jeck Fei; YAP, Wei Hsum a GOH, Bey Hing. Sophorolipids—Bio-Based Antimicrobial Formulating Agents for Applications in Food and Health. Online. *Molecules*. 2022, roč. 27, č. 17, s. 1-24. ISSN 1420-3049. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules27175556>. [cit. 2024-05-07].
- [62] A, Ashitha.; E.K, Radhakrishnan. a MATHEW, Jyothis. Characterization of biosurfactant produced by the endophyte *Burkholderia* sp. WYAT7 and evaluation of its antibacterial and antibiofilm potentials. Online. *Journal of Biotechnology*. 2020, roč. 313, s. 1-10. ISSN 01681656. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.03.005>. [cit. 2024-05-15].
- [63] FLEMMING, Hans-Curt; WINGENDER, Jost; SZEWZYK, Ulrich; STEINBERG, Peter; RICE, Scott A. et al. Biofilms: an emergent form of bacterial life. Online. *Nature Reviews Microbiology*. 2016, roč. 14, č. 9, s. 563-575. ISSN 1740-1526. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.94>. [cit. 2023-12-12].
- [64] BANAT, Ibrahim M.; DE RIENZO, Mayri A. Díaz a QUINN, Gerry A. Microbial biofilms: biosurfactants as antibiofilm agents. Online. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2014, roč. 98, č. 24, s. 9915-9929. ISSN 0175-7598. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6169-6>. [cit. 2024-02-12].
- [65] JIMOH, Abdullahi Adekilekun; BOOYSEN, Elzaan; VAN ZYL, Leonardo a TRINDADE, Marla. Do biosurfactants as anti-biofilm agents have a future in industrial water systems? Online. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2023, roč. 11, s. 1-17. ISSN 2296-4185. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1244595>. [cit. 2024-02-27].
- [66] SATPUTE, Surekha K.; KULKARNI, Gauri R.; BANPURKAR, Arun G.; BANAT, Ibrahim M.; MONE, Nishigandha S. et al. Biosurfactant/s from *Lactobacilli* species: Properties, challenges and potential biomedical applications. Online. *Journal of Basic Microbiology*. 2016, roč. 56, č. 11, s. 1140-1158. ISSN 0233-111X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/jobm.201600143>. [cit. 2024-05-03].

- [67] DAS, P.; MUKHERJEE, S. a SEN, R. Antimicrobial potential of a lipopeptide biosurfactant derived from a marine *Bacillus circulans*. Online. *Journal of Applied Microbiology*. 2008, roč. 104, č. 6, s. 1675-1684. ISSN 1364-5072. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03701.x>. [cit. 2024-05-03].
- [68] NAUGHTON, P.J.; MARCHANT, R.; NAUGHTON, V. a BANAT, I.M. Microbial biosurfactants: current trends and applications in agricultural and biomedical industries. Online. *Journal of Applied Microbiology*. 2019, roč. 127, č. 1, s. 12-28. ISSN 1364-5072. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jam.14243>. [cit. 2024-05-03].
- [69] HAJFARAJOLLAH, Hamidreza; ESLAMI, Parisa; MOKHTARANI, Babak a AKBARI NOGHABI, Kambiz. Biosurfactants from probiotic bacteria: A review. Online. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 2018, roč. 65, č. 6, s. 768-783. ISSN 0885-4513. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/bab.1686>. [cit. 2024-05-03].
- [70] MOUAFO, Hippolyte T.; SOKAMTE, Alphonse T.; MBAWALA, Augustin; NDJOUENKEU, Robert a DEVAPPA, Somashekar. Biosurfactants from lactic acid bacteria: A critical review on production, extraction, structural characterization and food application. Online. *Food Bioscience*. 2022, roč. 46. ISSN 22124292. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101598>. [cit. 2024-05-03].
- [71] KIM, Lan Hee; JUNG, Yongmoon; KIM, Sung-Jo; KIM, Chang-Min; YU, Hye-Weon et al. Use of rhamnolipid biosurfactant for membrane biofouling prevention and cleaning. Online. *Biofouling*. 2015, roč. 31, č. 2, s. 211-220. ISSN 0892-7014. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/08927014.2015.1022724>. [cit. 2024-05-03].
- [72] EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE. *Narizení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1223/2009*. Online. EUR-Lex. 2009. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX:32009R1223>. [cit. 2024-05-08].
- [73] PUEBLA-BARRAGAN, Scarlett a REID, Gregor. Probiotics in Cosmetic and Personal Care Products: Trends and Challenges. Online. *Molecules*. 2021, roč. 26, č. 5. ISSN 1420-3049. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules26051249>. [cit. 2024-05-03].
- [74] SARAVANAKUMARI, P. a MANI, K. Structural characterization of a novel xylolipid biosurfactant from *Lactococcus lactis* and analysis of antibacterial activity against multi-drug resistant pathogens. Online. *Bioresource Technology*. 2010, roč. 101, č. 22, s.

8851-8854. ISSN 09608524. Dostupné z:
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.104>. [cit. 2024-05-03].

[75] AHMADI-ASHTIANI, Hamid-Reza; BALDISSEROTTO, Anna; CESA, Elena; MANFREDINI, Stefano; SEDGHI ZADEH, Hossein et al. Microbial Biosurfactants as Key Multifunctional Ingredients for Sustainable Cosmetics. Online. *Cosmetics*. 2020, roč. 7, č. 2. ISSN 2079-9284. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/cosmetics7020046>. [cit. 2024-05-03].

[76] *Jurlique Nutri-Define Supreme Rejuvenating Serum*. Online. Jurlique. C2023. Dostupné z: https://jurlique.com/products/nutri-define-supreme-rejuvenating-serum-1?_pos=1&_psq=Nutri-Define+Supreme+Rejuvenating+Serum&_ss=e&_v=1.0&variant=45240801296634. [cit. 2024-05-11].

[77] *Bielenda Professional Supremelab Clean Comfort 2in1 Micellar Make-Up Removing Jelly 150g*. Online. ProCosmeticsUK. 2023. Dostupné z: <https://procosmeticsuk.co.uk/product/bielenda-professional-supremelab-clean-comfort-2in1-micellar-make-up-removing-jelly-150g/>. [cit. 2024-05-17].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CMC	kritická micelární koncentrace
mN/m	milinewton na metr
mg/l	miligram na litr
MIC	minimální inhibiční koncentrace
MTBE	methyl tert-butyl ether
AMP	antimikrobiální peptidy
MRSA	meticilin rezistentní <i>Staphylococcus aureus</i>
FTIR	infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
DNA	deoxyribonukleová kyselina
PIA	polysacharidový intercelulární antigen
INCI	mezinárodní nomenklatura kosmetických přísad
MEL	mannosylerytritollipid

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Struktura molekuly povrchově aktivní látky [10]	13
Obrázek 2 Závislost povrchového napětí na koncentraci biosurfaktantu a vyznačení kritické micelární koncentrace [10]	13
Obrázek 3 Di-Rhamnolipid (Rha-Rha-C10-C10) z <i>Pseudomonas aeruginosa</i> [16]	15
Obrázek 4 Laktonický a acetylovaný soforolipid ze <i>Starmerella bombicola</i> [16]	16
Obrázek 5 Surfactin z <i>Bacillus subtilis</i> [16]	17
Obrázek 6 Schématické znázornění vrstev lidské kůže [32]	23
Obrázek 7 Sérum proti vráskám od značky Jurlique [76]	39
Obrázek 8 Dvoufázový micelární gel od značky Bielenda [77]	40

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Různé odpadní produkty používané pro produkci biosurfaktantů [24]	19
---	----