

Kyselina chlorogenová a její potenciál

Michaela Zichová

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

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

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Michaela Zichová**
Osobní číslo: **T21730**
Studijní program: **B0711A130009 Materiály a technologie**
Specializace: **Biomateriály a kosmetika**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Kyselina chlorogenová a její potenciál**

Zásady pro vypracování

Vypracujte literární rešerši na zadané téma.
Zaměřte se na výskyt a využití kyseliny chlorogenové, s akcentem na její využití v kosmetice.
Cílem práce je kritické zhodnocení účinků kyseliny chlorogenové s ohledem na její kosmetické aplikace.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] Vědecké články z databází *Web of Science*, *Scopus* atd; databáze elektronických knih.
- [2] PREEDY, Victor R. Caffeine: chemistry, analysis, functions and effects. Cambridge: RSC Publishing, 2012. ISBN 978-1-84973-367-0.
- [3] POKORNÝ, Jan. Antioxidants in food: practical applications. Cambridge: Woodhead, 2001, 380 s. Woodhead Publishing in food science and technology. ISBN 1-85573-463-X.
- [4] YOUNG, J.D.; HARDESTY, D.C.: Flavored coffee compositions with stable flavors and method of making, Canada Intellectual Property Office, patent number: CA 2 460 802; 2004.
- [5] THORN, J., Káva, 1 vyd., Fortuna Print, 2000. ISBN 80-86144-64-X.
- [6] WINTGENS, J. N. (2012). Coffee: growing, processing, sustainable production : a guidebook for growers, processors, traders, and researchers (Second, updated edition). Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH Co.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavlína Egner, Ph.D.**
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Datum zadání bakalářské práce: **17. února 2025**

Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Lucie Urbánková, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- 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 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 pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá kyselinou chlorogenovou s důrazem na její potenciální využití v kosmetice. Jedná se o práci rešeršního charakteru, ve které se nachází jednak přehled fenolických látek a sloučenin, ke kterým chlorogenová kyselina patří, dále její obecná charakteristika, syntéza, metody analýzy a v neposlední řadě také extrakční metody. Část práce je také věnovaná kávě, jelikož je v ní kyselina chlorogenová obsažena, anatomii kávového zrna a popisu jeho částí, zpracování, pražení a zelené kávy. Závěrečná část práce popisuje využití kyseliny chlorogenové v kosmetickém průmyslu.

Klíčová slova: kyselina chlorogenová, káva, fenolické sloučeniny, stříbrná kávová slupka, fotoprotekce

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on chlorogenic acid, with particular emphasis on its potential applications in cosmetics. It is a literature-based study that includes an overview of phenolic compounds, a group to which chlorogenic acid belongs, as well as a general characterization of the compound, its synthesis, analytical methods, and extraction techniques. Part of the thesis is also dedicated to coffee, as it is a significant natural source of chlorogenic acid. This section includes an examination of coffee bean anatomy and its components, processing methods, roasting, and green coffee. The final part of the thesis discusses the use of chlorogenic acid in the cosmetics industry.

Keywords: chlorogenic acid, coffee, phenolic compounds, coffee silverskin, photoprotection

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí mé bakalářské práce, doktorce Pavlíně Egner, za její pomoc při zpracování mé bakalářské práce. Také bych ráda poděkovala svým blízkým za podporu během mého studia.

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

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 FENOLICKÉ LÁTKY.....	12
1.1 CHARAKTERISTIKA FENOLICKÝCH LÁTEK	12
1.2 FENOLICKÉ LÁTKY A ZDRAVÍ	14
1.3 FENOLICKÉ LÁTKY A JEJICH VYUŽITÍ K OCHRANĚ A LÉČBĚ KŮŽE	15
2 FENOLICKÉ SLOUČENINY	16
2.1.1 Deriváty kyseliny hydroxybenzoové.....	16
2.1.2 Deriváty kyseliny hydroxyskořicové	17
2.2 FENOLICKÉ SLOUČENINY V ZELENÉ KÁVĚ	18
3 KYSELINA CHLOROGENOVÁ.....	20
3.1 VÝSKYT KYSELINY CHLOROGENOVÉ	21
3.2 SYNTÉZA KYSELINY CHLOROGENOVÉ.....	21
3.3 METODA ANALÝZY CHLOROGENOVÝCH KYSELIN.....	22
3.4 EXTRAKČNÍ METODY CHLOROGENOVÝCH KYSELIN	23
4 KÁVA	25
4.1 ANATOMIE KÁVOVÉHO ZRNA	25
4.2 ZPRACOVÁNÍ KÁVY	26
4.2.1 Suché zpracování	26
4.2.2 Mokrý zpracování.....	27
4.3 ZELENÁ KÁVOVÁ ZRNA	27
4.3.1 Chemické složení zelených kávových zrn	28
4.4 PRAŽENÍ KÁVOVÝCH ZRN	30
4.4.1 Chemické složení pražených kávových zrn	30
4.5 KÁVOVÁ SLUPKA A DUŽINA	30
4.6 SLIZ.....	31
4.7 PERGAMEN	31
4.8 STŘÍBRNÉ KÁVOVÉ SLUPKY	31
4.8.1 Využití stříbrných kávových slupek v kosmetice	32
5 VYUŽITÍ KYSELINY CHLOROGENOVÉ V KOSMETICE	33
5.1 OCHRANA PŘED POŠKOZENÍM KŮŽE UV ZÁŘENÍM.....	33
5.1.1 Ultrafialové záření.....	33
5.1.2 Fotoprotekce.....	34
5.2 ANTIOXIDAČNÍ ÚČINKY	36
5.3 ANTI-AGING ÚČINKY	37

5.4	ANTIMIKROBIÁLNÍ ÚČINKY.....	38
5.5	PROTIZÁNĚTLIVÉ ÚČINKY	38
5.6	ÚČINKY PROTI CELULITIDĚ	39
ZÁVĚR.....		41
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		43
SEZNAM OBRÁZKŮ		48
SEZNAM TABULEK.....		49
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		50

ÚVOD

V dnešní době se stále více upřednostňuje přírodní cesta v péči o pleť a celkové zdraví. Jedním z klíčových objevů poslední doby v oblasti kosmetického výzkumu je kyselina chlorogenová, fenolická sloučenina nalezená v široké škále rostlin, přičemž zelená káva patří mezi její nejbohatší zdroje. Jedná se o látku, která vykazuje mnohostranné účinky na lidskou pokožku, které z ní činí atraktivní složku kosmetických produktů.

Bakalářská práce se zaměřuje na kyselinu chlorogenovou, konkrétně na její výskyt, syntézu a analytické metody, které umožňují její identifikaci a kvantifikaci. Zároveň se zabývá extrakčními metodami, které jsou klíčové pro získání této sloučeniny z rostlinného materiálu, s důrazem na techniky využívané v kosmetickém průmyslu. Práce představuje komplexní přehled fenolických látek a jejich významu pro lidské zdraví. Dále zkoumá výskyt fenolických sloučenin v zelené kávě a specificky se zaměřuje na kyselinu chlorogenovou jako klíčový bioaktivní komponent.

Hlavním cílem práce je prozkoumat možnosti využití kyseliny chlorogenové v kosmetice. Je analyzována její schopnost chránit pokožku před škodlivými účinky UV záření, její antioxidační, anti-aging, antimikrobiální, protizánětlivé a účinky proti celulitidě. Tyto vlastnosti činí kyselinu chlorogenovou atraktivní složkou pro inovativní kosmetické produkty, které nabízejí nejen estetické, ale i zdravotní benefity.

Tato práce přináší ucelený pohled na potenciál kyseliny chlorogenové jakožto účinné složky kosmetických produktů a poskytuje důkladný přehled o současných trendech v oblasti kosmetiky a péče o pokožku.

1 FENOLICKÉ LÁTKY

Fenolické látky patří mezi skupinu fotochemikálií neboli sekundární metabolity rostlin, které jsou důležitou součástí rostlinné stravy. Jejich molekuly jsou většinou zodpovědné za barvu, vůni a chuť, které s největší pravděpodobností jsou reakcí na stresové vlivy prostředí. Nejsou nezbytnými živinami pro zdraví člověka, ale mohou pomoci k lepší kvalitě života nebo zkrátit dobu nemoci. [1]

1.1 Charakteristika fenolických látek

Fenolické látky jsou velkou skupinou sekundárních metabolitů syntetizovaných v cyklu kyseliny šikimové, jinými slovy cestou skořicových kyselin. Mají v molekule hydroxylovou OH-skupinu připojenou přímo na benzenové jádro, což je základní strukturní prvek aromatických sloučenin. [1] Tyto sloučeniny významně přispívají k chuti, barvě a struktuře potravin. Mezi jednodušší fenolové sloučeniny patří flavonoidy a jejich glykosidy, mezi něž patří katechiny, proantokyany, antokyanidiny a flavonoly. Patří zde také monofenoly s jedním benzenovým kruhem, jako je 3-ethylfenol a 3,4-dimethylfenol, které se nacházejí v ovoci a semenech. Složitá a špatně definovaná skupina vysokomolekulárních ve vodě rozpustných fenolů je známá jako třísloviny. Zatímco množství uvedených flavonoidů ve stravě je pravděpodobně jen několik desítek miligramů (mg) denně, denní spotřeba fenolických látek může dosáhnout až 1 gram (g). [3] Základním meziproduktem v biosyntéze je kyselina skořicová nebo její biogenetické ekvivalenty, kterými jsou hydroxy a methoxy deriváty, tj. kyselina ferulová, kávová, sinapová a kumarová. Z těchto zásadních látek poté vznikají meziprodukty druhé fáze. [2]

Mezi klíčové představitele fenolických látek patří lignany, flavonoidy, fenolové kyseliny a přírodní barviva, které jsou získávány z různých částí rostlin. Detailní kategorizace fenolických látek v rostlinách podle počtu uhlíků je uvedena v Tabulce 1. [2] V současné době roste zájem o studium těchto přírodních látek, jelikož jejich příjem je spojen se snížením rizika výskytu onemocnění, jako je rakovina a kardiovaskulární onemocnění. Jsou silnými antioxidanty, kdy snižují oxidaci lipoproteinů o nízké hustotě. [1, 3]

Ačkoli bylo provedeno několik epidemiologických studií, stále není zcela jasné, jak flavonoidy ovlivňují celkovou antioxidační kapacitu plazmy, protože se obvykle špatně vstřebávají z potravy. Nicméně flavonoidy a další fenolické sloučeniny mohou mít specifické antikarcinogenní účinky ve střevě. Zde mohou brzdit buněčné dělení tím, že blokují intracelulární proteinkinázy, aktivují enzymy metabolizující xenobiotika ve fázi II a

potlačují tvorbu fyziologicky aktivních prostaglandinů blokováním kaskády kyseliny arachidonové. Flavonoid kvercetin, bývalý podezřelý jako přirozený karcinogen, je nyní vnímán jako potenciální ochranný faktor proti rakovině trávicího traktu. [3]

Tabulka 1 Kategorizace fenolických látek v rostlinách podle počtu uhlíků [2]

Typy fenolických látek	Počet uhlíků
Jednoduché fenoly	6
Fenolické kyseliny, aldehydy	7
Acetofenony, benzofurany a isobenzofurany	8
Fenylpropanoidy, benzopyranoidy	9
Naftochinony	10
Ageratochromeny	11
Dibenzofurany	12
Benzofenony a dibenzopyrany	13
Antrachinony, stilbeny	14
Flavoidy a chalkony	15
Norlignany (difenylbutadieny)	16
Norlignany (conioidy)	17
Liganany a neolignany	18
Biflavonoidy	30
Kondenzované taniny	n
Lignin	n
Katecholmelaniny	n

1.2 Fenolické látky a zdraví

Množství flavonoidů ve stravě snižují riziko kardiovaskulárních onemocnění, v některých případech o více než 50 %. Konzumací potravin, obsahující polyfenoly se může chránit tělo před určitými druhy rakoviny, zejména plic, trávicího traktu, rakoviny prsu u žen a prostaty u mužů. Polyfenoly mají funkci chránit lipoproteiny s nízkou hustotou před oxidativní modifikací, která je považována za jednu z nejdůležitějších dějů při vývoji aterosklerózy. Mohou také zabránit tvorbě krevních sraženin a snížit tak riziko srdečního infarktu nebo mozkové mrtvice. Podrobnější informace o zastoupení fenolů v běžných potravinách a nápojích jsou uvedeny v Tabulce 2. [4]

Tabulka 2 Zastoupení fenolů v normálním množství konzumovaných potravin a nápojů [4]

Potravina	Množství potraviny [g]	Obsah polyfenolů [mg]		Hlavní polyfenoly
		HPLC	Folinovo činidlo	
Brambory	200	30	60	Chlorogenová kyselina
Rajčata	100	10	40	Fenolové kyseliny
Jablka	200	240	460	Proanthokyanidiny
Višně	50	280	280	Anthokyaniny
Pšeničná mouka	100	75	75	Ferulová kyselina
Hořká čokoláda	20	100	170	Proanthokyanidiny
Červené víno	100	100	200	Proanthokyanidiny
Káva	200	150	180	Chlorogenová kyselina
Černý čaj	200	140	200	katechiny

1.3 Fenolické látky a jejich využití k ochraně a léčbě kůže

Kůže pokrývá tělo a tím odděluje vnitřní prostředí organismu od vnějšího prostředí. Pokrývá plochu 1,6–1,8 m². Má celou řadu funkcí, chrání tělo proti škodlivinám, ultrafialovým (UV) zářením a mikroorganismům. Jelikož je pevná a pružná, tak ochraňuje tkáň, které jsou hlouběji před mechanickým poraněním. Díky cévám v kůži a potním žlázám přispívá k zachování stálé tělesné teploty. Mastný kožní film, keratin a podkožní tuk jsou špatně tepelně vodivé. Vnímání mechanických, tepelných a bolestivých podnětů je zprostředkováno receptory, které jsou uloženy v kůži. Ukládání tuku, který má izolační funkci, je zajištěno pomocí rohové vrstvy kůže a podkožního vaziva. Dále též cukry, chlorid sodný a voda. V této oblasti se nacházejí i vitamíny, které se rozpouštějí v tucích. Kůže je chráněna díky mazovým a potním žlázám a jejich sekretům, tedy potu a mazu. Díky svým kyselým reakcím, pot snižuje růst mikroorganismů, a tedy má dezinfekční účinky. Také keratin a melanin jsou zde přítomny. Kůže reaguje na různé podněty, včetně tepla, dotyku, chladu, tlaku a bolesti. [5, 6]

Poznatky o účinku fenolických sloučenin na prevenci nebo zmírnění kožních onemocnění a urychlení hojení jsou doprovázeny hodnocením průniku těchto látek do kůže na základě jejich skupiny, velikosti molekul a struktury, buď v glykosidické formě nebo jako aglykony. Kvůli bariérové funkci kůže jsou účinné látky aplikované na určitou část kůže méně propustné. Proto byla vyvinuta řada metod, jak fyzikálních, tak chemických. Pro fenolické látky byla objevena technika enkapsulace do struktur jako jsou lipozomy, fytozomy, transferozomy, nanoemulze, mikroemulze, nanočástice a nanokrystaly. Díky těmto metodám jsou v kosmetických a farmaceutických produktech zastoupeny látky s cíleným působením na místo podráždění. [7]

2 FENOLICKÉ SLOUČENINY

Fenolické sloučeniny jsou sekundární rostlinné metabolity s různou strukturou a funkcí, klasifikované jako rozpustné ve vodě nebo nerozpustné ve vodě. Mají antioxidační vlastnosti, odevzdávají elektrony volným radikálům a přeměňují je na neškodné molekuly. Oxidační stres způsobuje degenerativní onemocnění, ale strava bohatá na fenolové sloučeniny může pomoci tím, že odstraňuje volné radikály. Tyto sloučeniny mají antioxidační, antivirové, antimikrobiální, protirakovinné a antibakteriální účinky a chrání před reaktivními formami kyslíku. [12]

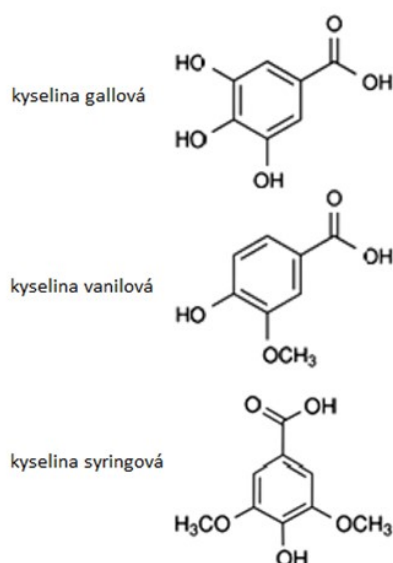
Fenolové kyseliny se dělí do dvou hlavních skupin:

- 1) hydroxybenzoové kyseliny;
- 2) hydroxyskořicové kyseliny.

Jsou to deriváty odvozené od kyseliny benzoové a skořicové, obsahují minimálně jedno aromatické jádro, kde je kyslík substituován hydroxylovou skupinou. [1]

2.1.1 Deriváty kyseliny hydroxybenzoové

Deriváty kyseliny hydroxybenzoové s C₆–C₁ strukturou obsahují fenolický kruh a karboxylovou skupinu, je zde možné najít například kyselinu gallovou, vanilovou a syringovou. V ovoci a zelenině se vyskytují jen v malých množstvích hydroxybenzoové kyseliny, kromě červených plodů, kde jsou přítomny ve formě esterů. Vzorce těchto derivátů jsou zobrazeny níže na Obrázku 1. [1, 12]



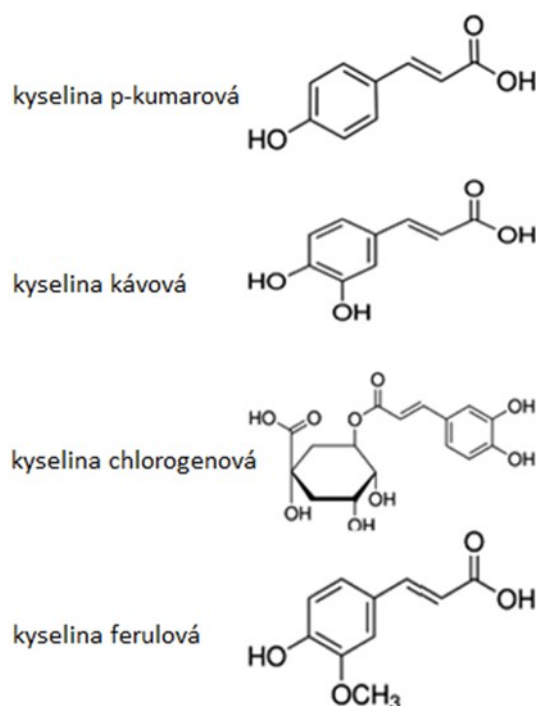
Obrázek 1 Vzorce derivátů kyseliny hydroxybenzoové – upraveno podle [12]

2.1.2 Deriváty kyseliny hydroxyskořicové

V potravinách se častěji vyskytují deriváty kyseliny hydroxyskořicové, mezi něž patří kyselina p-kumarová, chlorogenová, kávová a ferulová. Tyto látky jsou přítomny jak v syrových, tak v mražených, vařených nebo fermentovaných potravinách. [1]

Kyselina chlorogenová (CGA), vyskytující se v kávě, v ovoci i zelenině, je látkou s nízkou toxicitou, která má schopnost bojovat proti škodlivým patogenům brambor, zejména proti *Streptomyces scabies*. Nachází se v ochranné slupce a hlízách brambor, zejména v odolných odrůdách. Tato kyselina má schopnost ovlivnit růst Přeslenatky běločerné (*Verticillium albo-atrum*) a je přítomna v cévních tkáních. Při konzumaci rajčat hmyzem, může CGA být pod vlivem polyfenoloxidázové enzymové transformace na toxický chlorochinon, což může způsobit srážení bílkovin a omezení přístupu hmyzu k aminokyselinám a bílkovinám. [4, 28]

Dalším zástupcem je kyselina ferulová, která se zapojuje do struktury vlákniny tím, že se váže na polysacharidy buněčných stěn. Fenolickým kyselinám jsou připisovány antioxidační a antikarcinogenní účinky. Odkazy na vzorce derivátů kyseliny hydroxyskořicové jsou uvedeny v Obrázku 2. [4]



Obrázek 2 Vzorce derivátů kyseliny hydroxyskořicové – upraveno podle [12]

Hydroxyskořicové kyseliny jsou převládající fenolické chemické látky obsažené v kávě, stejné sloučeniny se nacházejí také v čajích, i když v menším množství. Výrazné fenolické chemické látky, jako jsou chlorogenové a feruloylchinové kyseliny jsou přítomny v kávě, a deriváty kyselin v kyselině kávové a ferulové. Katechiny a flavony jsou hlavními typy polyfenolů přítomných v čajích. Mezi čajové polyfenoly patří katechiny, které jsou přítomny v poměrně velkých koncentracích. Nejznámější a nejlépe prozkoumanou fytochemickou látkou obsaženou v čaji a kávě je však kofein. Ačkoli čaj a káva obsahují i další alkaloidy jako je teofylin a teobromin, kofein je přítomen v mnohem větším množství. Syntéza π -komplexů s chlorogenovými kyselinami nebo jejich deriváty vznikla jako součást hledání alternativní metody pro zlepšení elektroforetické mobility kofeinu. V rostlinách, které tento komplex syntetizují za účelem ukládání kofeinu, se tento komplex přirozeně vytváří. [8]

2.2 Fenolické sloučeniny v zelené kávě

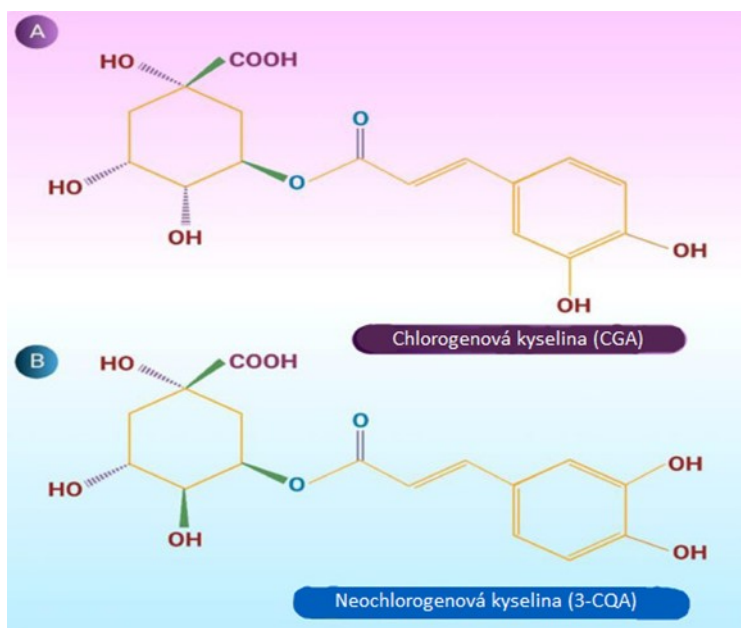
Káva obsahuje fenolické sloučeniny jako je CGA, které mají antioxidační účinky a příznivě ovlivňují funkci mozku. Kyselina chlorogenová je hlavní složkou kávy, avšak její vstřebávání a metabolismus se liší u jejich jednotlivých konzumentů. Klinické studie [13] prokázaly přítomnost různých izomerů kyseliny kafeoylchinové (CQA), dikafeoylchinové

(diCQA) a feruloylchinové (FQA) v plazmě a několik fenolických kyselin v moči. Biologická dostupnost CGA v kávě je stále diskutabilní, některé studie ji nacházejí v plazmě, zatímco jiné ne. Nicméně kofein a jeho metabolity jsou po jejich konzumaci v plazmě trvale detekovány. Zelená káva je bohatým zdrojem kyseliny chlorogenové, která se rozkládá na kyselinu kávovou a chinovou. Kyselina kávová je silný antioxidant, který inhibuje oxidaci lipoproteinu o nízké hustotě (LDL), potlačuje radikály a singletový kyslík a má potenciál zlepšovat mozkové funkce a celkové zdraví mozku. Polyfenoly v potravě, jako je kyselina kávová, mohou mít protirakovinné a neuroprotektivní účinky. [13]

3 KYSELINA CHLOROGENOVÁ

Kyselina chlorogenová, nejznámější derivát kyseliny skořicové, je ester kyseliny kávové a chinové, která se velmi rychle hydrolyzuje v trávicím traktu a také je nejvíce vyskytovanou polyfenolickou sloučeninou v potravinách, které člověk konzumuje na denní bázi, například káva, jablka, švestky, kiwi, zelí, kapusta a jiné. Kyselina chlorogenová je využívána v mnoha odvětvích průmyslu, včetně lékařství, zdravotnictví, potravinářství a chemického průmyslu, a to především kvůli své široké škále biologických účinků. Tato kyselina má antioxidační a antikarcinogenní účinky a působí proti bakteriím a zánětům. Metabolity CGA jako jsou kyselina kávová a ferulová, mají významné antihypertenzní účinky a ukázaly tak jejich potenciál v podpoře zdravého krevního tlaku. Proto může hrát důležitou roli při podpoře lidského zdraví. [1, 9]

Chlorogenová kyselina se vyskytuje ve třech různých formách izomerů, konkrétně jako kyselina neochlorogenová (3-CQA), kyselina pseudochlorogenová (1-CQA) a kyselina kryptochlorogenová (4-CQA), které byly identifikovány v polovině 20. století. Nejčastěji se vyskytujícím izomerem nalezeným v zelených kávových zrnech je 5-o-kafeoylchinová kyselina (5-CQA), která zastupuje 76–84 % celkového obsahu CGA nebo v samotných kávových zrnech (10 g/100 g). Důležité je, že při přípravě kávy se obsah CGA v ní výrazně mění, což způsobuje různé množství CGA v různých kávových nápojích. Chemické vzorce kyseliny chlorogenové a neochlorogenové jsou znázorněny na obrázku 3. [9]



Obrázek 3 Vzorce kyseliny chlorogenové (A) a kyseliny neochlorogenové (B) – upraveno podle [9]

3.1 Výskyt kyseliny chlorogenové

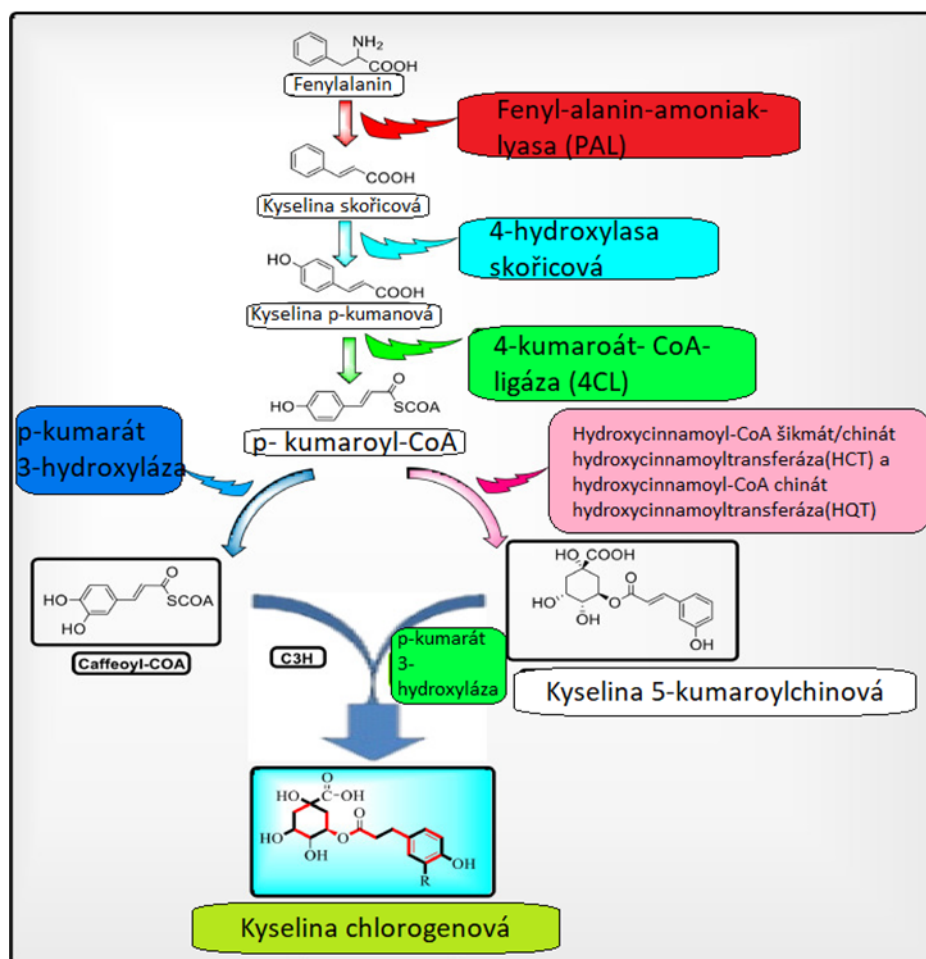
Kofein, který se vyskytuje v kávě i čaji, je obsažen v mnoha rostlinách. Má zde trojí využití: působí jako pesticid, odrazuje hmyz od potravy a zabraňuje klíčení semen. Rostlinné buňky, které produkují kofein, mají membránu, která kofein propouští. Jakmile se kofein dostane do buňky, vytvoří s kyselinou chlorogenovou sloučeninu. Kyselina trans-skořicová a kyselina chinová se esterifikují za vzniku chlorogenových kyselin, z nichž nejrozšířenější je 5-o-kafeoylchinová kyselina (5-CQA). Kombinací kofeinu a chlorogenátu bylo analyzováno chování roztoků obsahujících CGA a kofein. Došli k závěru, že plochá část kyseliny chlorogenové, která obsahuje složku molekuly kyseliny skořicové, je součástí molekuly kofeinu. Metoda, která byla použita k vytvoření této techniky kapilární elektroforézy, byla inspirována analýzou asociační konstanty mezi kofeinem a několika analogiemi kyseliny chlorogenové pomocí spekter nukleární magnetické rezonance (NMR). [8]

Kyselina chlorogenová a neochlorogenová, dvě hlavní fenolické složky sušených švestek, spolu se švestkovou šťávou Švestky domácí (*Prunus domestica*), prokázaly své antioxidantní účinky proti oxidaci lidského LDL. Podle testu kapacity absorbance kyslíkových radikálů (ORAC) jsou sušené švestky považovány za ovoce s nejvyšším obsahem antioxidantů, přičemž dosahují více než dvojnásobného skóre ve srovnání s ostatním ovocem s vysokým ORAC, jako jsou borůvky a rozinky. Antioxidační skóre švestek bylo v této studii sedmkrát nižší než u sušených švestek, což lze přičíst rozdílu v hmotnosti sušiny. Wang et al. [3] dříve prokázali, že při použití stejné metodiky se švestka umístila na druhém místě z 12 hodnocených druhů ovoce z hlediska antioxidační aktivity. Extrakty z broskví (*Prunus persica*), a to jak syrové, tak konzervované, inhibovaly oxidaci LDL v rozmezí 56–87 %. Antioxidační aktivita byla přisuzována především přítomností hydroxyskořicových kyselin, chlorogenových a neochlorogenových kyselin, nikoli karotenoidů, jako je beta-karoten a β -kryptoxantin. Broskvové slupky vykazovaly nižší aktivitu, zatímco extrakty ze švestek a broskví mají omezenou schopnost vylahčovat hydroxylové radikály, nepřispívají k potlačení peroxidace lipidů jater a buněčných mikrozomů. [3]

3.2 Syntéza kyseliny chlorogenové

Kyselina chlorogenová může být syntetizována cestou kyseliny šikimové, která začíná fenylypropanoidní cestou. Ta zahrnuje enzymovou katalýzu a produkuje 5-o-kafeoylchinovou kyselinu prostřednictvím mezistupňů, včetně kyseliny p-kumarové,

kyseliny skořicové a kyseliny chininové. Na Obrázku 4 jsou zaznamenány podrobnější kroky biosyntézy kyseliny chlorogenové. [9]

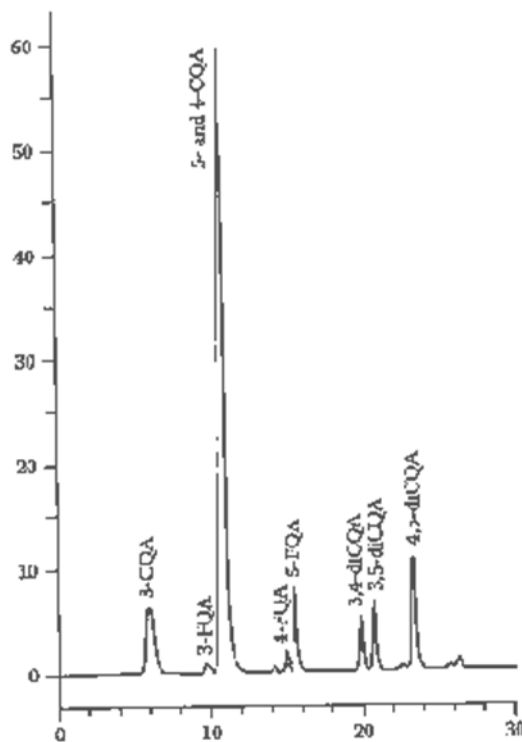


Obrázek 4 Biosyntéza kyseliny chlorogenové – upraveno podle [9]

3.3 Metoda analýzy chlorogenových kyselin

Fenolové kyseliny, včetně CGA, vykazují specifické absorpce ve viditelné části UV spektra při 324 nm. Pro identifikaci chlorogenových kyselin při maximální absorbanci 325 nm se často používá metoda vysokoúčinné kapalinové chromatografie (HPLC) s detektorem fotodiodového pole. V kávových vzorcích jsou často rozpoznávány izomery chlorochinových, feruloylchinových, kumaroylchinových a dichlorchinových kyselin. Oddělení izomerů kyseliny chlorogenové lze provést pomocí postupného odplavování během analýzy chromatografií s použitím směsi 5 % methanolu a 5 % kyseliny fosforečné. Měření vykazovalo relativní přesnost s nízkým variačním koeficientem 1–7 %, přičemž maximální směrodatná odchylka byla 0,286 při analýze celkových chlorogenových kyselin pomocí této techniky. Obvykle se pro stanovení množství různých druhů kyselin používá měření plochy píku a porovnání s referenčními standardy, jako jsou 5-chlorochinová a 3-

chlorochinová kyselina. Tímto způsobem lze kvantifikovat celkové množství chlorochinových, feruloylchinových, dikafeochinových a chlorogenových kyselin. Binární gradient CGA v zelené kávě Robusta je zobrazen na Obrázku 5. [13]



Obrázek 5 Binární gradient CGA v zelené kávě Robusta [13]

3.4 Extrakční metody chlorogenových kyselin

Různé skupiny chlorogenových kyselin obsahují minimálně tři hlavní varianty izomerů spolu s menšími složkami, s výjimkou jedné skupiny, která má šest hlavních variant izomerů. Kyseliny kafeoylchinové, což jsou sloučeniny tvořené estery kyseliny kávové a chinové, představují zhruba 80 % všech chlorogenových kyselin. Jedním z identifikovaných složení je kyselina 5-kafeylchinová. Nejvíce zkoumanou variantou je kyselina 5-kafeylchinová, běžně známá jako chlorogenová kyselina. Obsah chlorogenových kyselin v rostlině *C. canephora* je zpravidla 1–2,5krát vyšší než v rostlině *C. arabica*. Konzumace kávy, bez ohledu na obsah kofeinu, je spojena s různými zdravotními výhodami, jako je nižší riziko výskytu cukrovky II. typu, Parkinsonovy nemoci, Alzheimerovy nemoci a rakoviny jater. Kyselina 5-CQA nevykazuje schopnost rozpouštět se v rozpouštědlech, které nejsou polární, ale může být částečně rozpustná v ethanolu a methanolu. Samostatná kyselina kafeoylchinová se snadno rozpouští ve vodě. [13]

Fenolové látky se liší ve své schopnosti rozpouštět se v různých typech rozpouštědel, často jsou lépe rozpustné v rozpouštědlech s nižší polaritou. Fenoly jsou obvykle extrahovány ve vodném prostředí smíchaném s alkoholem nebo acetonem. Největší množství antioxidantů bylo extrahováno alkalickou vodou z použité kávy. K extrakci fenolických kyselin lze použít vodnou extrakci s isopropanolem nebo kyselými rozpouštědly. Obsah chlorogenových kyselin roste s obsahem vody ve výtažcích zelené kávy. Pro efektivní extrakci se osvědčila směs 70 % methanolu s vodou. Výtěžnost extrakce se zvyšovala s teplotou, ale klesala s rostoucím poměrem mezi mletou kávou a rozpouštědlem. V extraktech zelených kávových plodů bylo zjištěno různé množství chlorogenových kyselin, např. 4,5 % v rozpouštědle 50% ethanol:voda a 88 % po jeho přečištění. Také se prokázalo, že mikrovlnná extrakce poskytla 32,7–61,9 % chlorogenových kyselin, zatímco konvenční extrakční metody poskytly mnohem nižší výtěžky. Účinná byla také superkritická extrakce oxidem uhličitým s kosolventem jako je isopropylalkohol nebo ethanol. [13]

4 KÁVA

Káva, oblíbený nápoj po celém světě, má odvozeno své jméno z latinského označení rostlinného rodu *Coffea*, který patří do rozsáhlé rodiny mořenovitých, známé pod vědeckým jménem *Rubiaceae*. Tato skupina zahrnuje více než 500 rodů a přes 6000 druhů tropických stromů a keřů, které jsou rozšířené v exotických oblastech po celém světě. [10]

Rod *Coffea*, obsahující nejméně 25 hlavních druhů, má své kořeny hluboko zakořeněny v tropických oblastech Afriky a ostrovech Indického oceánu. Tyto rostliny se vyznačují různorodostí ve velikosti, a to od skromných keřů, až po majestátní stromy přesahující 10 metrů. Jejich listy mají různé odstíny, od nažloutlé po zelenou, až po purpurové tóny. Druh *Coffea arabica*, z něhož vzešly známé odrůdy *Typica* a *Bourbon*, je předkem mnoha dalších variet, jako je například *Caturra* z Brazílie a Kolumbie, *Mundo Novo* z Brazílie, *Tico* ze Střední Ameriky a *San Ramon*, zakrslá odrůda původem z Jamajky. [10]

4.1 Anatomie kávového zrna

Kávové zrno se skládá ze slupky a semene, a jeho strukturu lze klasifikovat podle obsahu sušiny. Pod povrchem plodu, který je obalen vnější vrstvou, se nachází měkká část plodu, následovaná slizovitou a tenkou slupkou, která obsahuje semeno. Semeno je obklopeno stříbřitou vrstvou a obvykle obsahuje dvě zrna, jež jsou umístěna blízko sebe. Když kávové zrno dozraje, jeho slupka může mít červenou nebo žlutou barvu. Další strukturou je pergamen a následuje stříbrná kávová slupka, která slouží k ochraně zrna a odděluje se při procesu pražení. Každá část má svůj vlastní účel a přispívá k celkové chuti a aromatu kávy. Pergamen a stříbrná kávová slupka chrání semeno uvnitř a zajišťují, aby bylo chráněno a uchováno ve správných podmínkách pro pražení. Na Obrázku 6 lze vidět strukturu kávového zrna. [10, 11]



Obrázek 6 Struktura kávového zrna – upraveno podle [11]

4.2 Zpracování kávy

Existují dvě metody zpracování kávových zrn před pražením, které ovlivňují jakost i cenu finální kávy. Tyto metody, známé jako suché a mokré zpracování, se liší svou složitostí a dopadem na výsledný produkt, stejně jako na chemické složení surových zrn, včetně cukrů, tuků, proteinů, minerálů a dalších látek. [11]

4.2.1 Suché zpracování

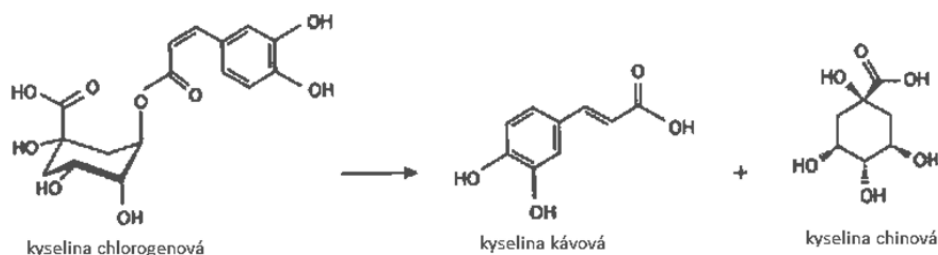
Při sušení kávových plodů je možné využít techniku, která je jednoduchá a cenově dostupná a často se používá při zpracování kávy druhu *Robusta*. Sklizené plody jsou rozmístěny na povrchu betonu, kamene nebo speciálních podložek a jsou pravidelně promíchávány, aby se zabránilo nežádoucí fermentaci a kvašení. Po zhruba čtyřech týdnech dojde k redukci vlhkosti peckovic na přibližně 12 %, povrchová slupka má tmavohnědou barvu a je křehká, což způsobí, že při pohybu lze slyšet semena uvnitř obalu zvučet. Po dokončení procesu sušení se kávová zrna oloupou a vytvoří se různé vrstvy, včetně slupky, dužiny a pergamenového obalu, které obvykle končí vyhozením. Je důležité dbát na to, aby nedošlo k předčasné sklizni, protože zrna s vyšší vlhkostí jsou mnohem náchylnější k napadení plísněmi, které mohou znehodnotit celou úrodu. [10, 11] Při suchém procesu vzniká méně kyseliny monokafeoylchinové a chlorogenových kyselin než při mokrému procesu. Polosuchá metoda, používaná v Brazílii a Indonésii, zahrnuje částečné použití vody a odstranění dužiny, podobně jako suchá metoda. Sliz, bohatý na pektin a cukry, se odstraňuje sušením a loupáním. Při suchém procesu se produkuje méně chlorogenových kyselin, protože v kávové dužině není sliz. [13]

4.2.2 Mokrý zpracování

Mokrý zpracování je charakterizováno složitějším postupem, vyššími náklady a negativním dopadem na životní prostředí z důvodu vysoké spotřeby vody a je častěji používáno při zpracování kávy druhu *Arabica*. Pro zajištění optimální kvality zrn je klíčové, aby tento proces proběhl co nejdříve po sklizni. Doporučený časový rámec pro oddělení oplodí je do 12 hodin po sklizni, maximálně však do 24 hodin. Kávová semena jsou ponořena do vody, kde se oddělují nečistoty, zelená semena a zralá zrna. Po mechanickém odstranění slupky a dužiny pomocí speciálních strojů následuje fáze fermentace. Během fermentace enzymy uvolňují lepkavou vrstvu pokrývající pergamenovou slupku semen. Boby jsou umístěny ve fermentačních nádržích po dobu 12–48 hodin k odstranění lepkavosti. Dochází k fermentaci a tato fáze končí opláchnutím, které úplně odstraní lepkavost a texturou připomíná drsný šterk. Tento fermentační proces je klíčový pro vývoj charakteristických chutí kávy, protože mikroorganismy během fermentace produkují unikátní aromatické látky. [10, 11] Při mokrému zpracování se získá výrazně vyšší množství chlorogenových kyselin, kromě kyselin dikafeoylchinových, a před sušením se oddělí semena od dužiny a slupky. [13]

4.3 Zelená kávová zrna

Nepražená zrna zelené kávy pocházejí z plodů kávovníku. Díky absenci pražení obsahují vyšší koncentraci látek, jako například kyselinu chlorogenovou, která se rozkládá na kyselinu kávovou a chinovou. Rovnice hydrolýzy CGA je znázorněna na Obrázku 7. Tato látka má schopnost bojovat proti virům. Extrakt z kávových bobů *Arabica* dokáže snížit příznaky stárnutí pokožky způsobené slunečním zářením. Kromě toho, alkaloidy, terpeny, flavonoidy, xanthonoidy, třísloviny, fenolové kyseliny, aminokyseliny, karotenoidy a fytosteroly jsou užitečné látky nalezené v listech kávy, které mají antibakteriální, antioxidační, protizánětlivé, snižující tlak, protiplísňové a protinádorové vlastnosti. Kyselina kávová je silný antioxidant, který inhibuje oxidaci laktátdehydrogenázy, potlačuje radikály a singletový kyslík a má potenciál zlepšovat mozkové funkce a celkové zdraví mozku. Polyfenoly v potravě, jako je kyselina kávová, mohou mít protistárnoucí a neuroprotektivní účinky. [13]



Obrázek 7 Hydrolyza CGA – upraveno podle [13]

4.3.1 Chemické složení zelených kávových zrn

V minulých desetiletích byly provedeny významné experimenty s cílem identifikovat chemické složení zelených kávových zrn. To bylo dosaženo pomocí různých analytických metod s různou mírou citlivosti a specifčnosti. Složení zelených kávových zrn se může lišit podle druhu, původu a použité analytické metody. Hlavními složkami zelených kávových zrn jsou polysacharidy, lipidy a bílkoviny, ale také důležité jsou vedlejší složky, jako je kofein, trigonelin, chlorogenové kyseliny, volné cukry, především sacharóza, volné aminokyseliny a další. Minoritní sloučeniny jsou zvláště zajímavé, neboť představují důležitý zdroj kávového aroma. [32]

Analýza extraktů ze zelených kávových zrn byla prováděna pomocí nukleární magnetické rezonance (NMR), což je výkonná technika v potravinářské vědě, umožňující detailní zkoumání složení potravin. Tato metoda umožňuje získání komplexních informací o složení zelených kávových zrn jako celku. Výsledky identifikovaly 16 hlavních vodou rozpustných sloučenin jako jsou kyselina chlorogenová, kofein, sacharóza a další látky. Sacharóza byla v extraktech nejvíce zastoupenou látkou, zatímco kyselina 5-o-kafeoylchinová (5-CQA) byla převládající formou mezi izomery kyselin chlorogenových. Nejčastějšími chlorogenovými kyselinami v zelených kávových zrnech jsou izomery kyselin kafeoylchinových, mezi nimiž dominují kyselina 5-o-kafeoylchinová (5-CQA), kyselina 4-o-kafeoylchinová (4-CQA) a kyselina 3-o-kafeoylchinová (3-CQA). [32]

V zelených kávových zrnech bylo objeveno několik alifatických kyselin. Pomocí NMR byly přímo zaznamenány kyseliny citrónová, jablečná, chinová a octová. Rozdíly v obsahu organických kyselin byly rovněž hodnoceny v závislosti na druhu a původu zelených kávových zrn a to pomocí metabolomiky založené na NMR. Vyšší koncentrace kyseliny citrónové a jablečné byly zjištěny v druhu *Arabica* než v zrnech druhu *Robusta*. Káva druhu

Arabica je ceněna pro svou vyšší kyselost, která ovlivňuje chuť, u robusty se obvykle tento faktor nezmiňuje. [32]

Sacharóza představuje v zelených kávových zrnech hlavní a nejjednodušší sacharid. Tvoří různé typy sloučenin jako jsou furany, aldehydy a karboxylové kyseliny, které během procesu pražení ovlivňují chuť kávového nápoje. Je také hlavním zdrojem volných redukujících cukrů, které se podílejí na Maillardově reakci a karamelizaci cukru během pražení zrn. Zrna druhu *Arabica* obsahují vyšší množství sacharózy než zrna druhu *Robusta*, což je způsobeno rozdíly v aktivitě syntézy sacharózy a kyselé invertázy v raných stádiích vývoje zrna. Glukóza a fruktóza jsou přítomny ve zralých zrnech druhu *Arabica*, pouze ve stopových množstvích. [32]

Téměř polovina zeleného kávového zrna tvoří polysacharidy, s arabinogalaktánem, mananem a celulózou jako hlavními složkami. Obsah polysacharidů v zrnech robusty dosahuje 43–54 % sušiny. Arabinogalaktán má hlavní galaktanový řetězec s postranními řetězci obsahujícími arabinózu a galaktózu, manan má lineární strukturu podobnou celulóze. Složení polysacharidů v zrnech druhu *Robusta* a *Arabica* je podobné jen s vyšším obsahem arabinogalaktánu u druhu *Robusta*. Nezávislé analýzy ukázaly stejné množství polysacharidů u obou druhů kávy. Struktura polysacharidů se mění během pražení, s degradací, depolymerizací a tvorbou komplexů s proteiny. [32]

Proteiny, peptidy a volné aminokyseliny v zelených kávových zrnech jsou potenciálními zdroji dusíkaté chuti. Jejich reakce s redukujícími cukry při Maillardových reakcích vede k tvorbě kávového aroma a zbarvení kávy v melanoidiny. Peptidy izolované ze zelených kávových zrn se pohybují v množství od 0,4 % do 0,6 % v sušině, a byly identifikovány endopeptidázy. Experimenty s pražením naznačují, že tyto peptidy přispívají k chuti kávy. V extraktech zelených kávových zrn bylo nalezeno 29 druhů volných aminokyselin. [32]

Lipidová část zelených kávových zrn je hlavně složena z triacylglycerolů, sterolů a tokoferolů, které jsou běžnými složkami v rostlinných olejích. Obsah lipidů v kávě druhu *Arabica* je průměrně kolem 15 %, zatímco v kávě druhu *Robusta* je to nižší, přibližně 10 %. Většina lipidů, známá jako kávový olej, se nachází uvnitř zelených kávových zrn, zatímco pouze malé množství, nazývané kávový vosk, je na povrchu zrna. [32]

4.4 Pražení kávových zrn

Při tepelném zpracování kávových zrn dochází ke změnám v jejich složení, a to ovlivňuje chuť, vůni a barvu. Během tohoto procesu se složitější sacharidy rozkládají na jednodušší cukry a organické sloučeniny procházejí pyrolýzou, což vede ke ztmavnutí zrn. Tepelným zpracováním vznikají látky s prospěšnými účinky pro tělo jako jsou např. antioxidanty, ale i stopová množství karcinogenních látek. Po zpracování vzniká akrylamid, zejména u kávových zrn druhu *Robusta*, který se snižuje během skladování. Pražená káva obsahuje různé látky, jako jsou cukry, melanoidiny, tuky, proteiny, minerály a další, přičemž pouze 40 z 850 aromatických sloučenin přispívá k vůni. Během zpracování se tvoří kyselina chlorogenová, kofein a antioxidanty, ale jejich účinnost klesá s intenzitou zpracování. Díky Maillardově reakci a karamelizaci se tvoří složité látky s antioxidačními vlastnostmi. Vaření mletých kávových zrn ve vodě za zvýšeného tlaku má vyšší antioxidační schopnosti než jiné přípravy. [27] Po usušení jsou kávová semena tříděna a čištěna s cílem odstranit nežádoucí látky. Poté se semena zpracují, aby se rozvinula jejich chuť pražením, při kterém se výrazně sníží celkový obsah kyseliny chlorogenové. Během pražení vznikají laktony kyseliny chlorogenové, přičemž nejhojněji zastoupenou sloučeninou je 3-kafeoylchinin-1,5-lakton. [13]

4.4.1 Chemické složení pražených kávových zrn

Hlavními procesy během pražení jsou rozklad sacharózy a kyseliny chlorogenové. Většina sacharózy je rozložena během pražení, a to bez ohledu na způsob pražení. Degradace kyseliny chlorogenové je výraznější při delším pražení a vyšších teplotách. Při pražení se může až 85 % kyseliny chlorogenové rozložit. Výsledkem rozkladu těchto látek jsou nízkomolekulární organické kyseliny a fenolické kyseliny. Koncentrace kyseliny mravenčí nebo mléčné se během pražení může zvýšit až stokrát, zatímco zvýšení obsahu fenolických sloučenin je mírnější, ale stále patrné. Při kratším pražení a nižší teplotě může na konci procesu pražení dojít k vyšší koncentraci 5-hydroxymethylfurfuralu. [33]

4.5 Kávová slupka a dužina

Kávové obaly, dužina a slupky jsou vedlejšími produkty výroby kávy, které jsou bohaté na různé živiny jako sacharidy, proteiny, vlákninu a minerály. I přes obsah antinutričních složek mohou být tyto produkty využity jako zdroj fytochemikálií pro potravinářský a farmaceutický průmysl. Dužina kávy *Arabica* obsahuje čtyři hlavní skupiny polyfenolů,

včetně flavan-3-olů, hydroxyskořicových kyselin, flavonolů a antokyanidinů. Čerstvé kávové obaly a slupky obsahují antokyany, zatímco dužina kávy obsahuje konjugované a volné antokyany, chininy a další fenolické sloučeniny. Obsah kondenzovaných tríslovin se zvyšuje při sušení čerstvé kávové dužiny a je vyšší u žlutých odrůd. [27]

4.6 Sliz

Kávový sliz zůstává přilepený k zrnům kávy během mokrého zpracování a může být oddělen a zkoncentrován. Obsahuje vodu, bílkoviny, cukr, pektické látky a popel. Analýza prokázala přítomnost pektinů, celulózy a neutrálních necelulózových polysacharidů. Pektiny obsahují uronové kyseliny s vysokým stupněm methylesterifikace a středním stupněm acetylce. Tyto sloučeniny mají potenciál zvýšit hodnotu vedlejších produktů kávy, které v současnosti představují ekologický problém. Nicméně, zatím nebyla provedena detailní studie jejich funkčních vlastností. [27]

4.7 Pergamen

Kávový pergamen je silná vláknitá vrstva pokrývající polokoule kávových semen, které se od sebe oddělují při suchém nebo mokrému zpracování. Při suchém zpracování se odstraňuje spolu se slupkou a dužinou, zatímco při mokrému zpracování se odstraňuje po vysušení a loupání. Složení kávového pergamenu zahrnuje celulózu, hemicelulózu, lignin a popel. [10, 27]

4.8 Stříbrné kávové slupky

Kávová stříbrná slupka (SKS) je vedlejším produktem pražení kávy. Je přilnavá a při vystavení vysokým teplotám pražení se odděluje od zrn. Stříbrná slupka je bohatá na vlákninu, bílkoviny, minerální látky a antioxidanty, včetně fenolových sloučenin, mezi nimiž byly zjištěny především kyselina chlorogenová. Obsahuje také 0,6–1,1 % kofeinu, méně než 3 % lipidů a vitamin E v různém obsahu v závislosti na původu. Další zpracování stříbrné kávové slupky by mohlo umožnit její využití jako přírodního extraktu, přísady nebo konzervačního prostředku ve farmaceutických a kosmetických výrobcích s potenciálními zdravotními přínosy a nízkou toxicitou. V porovnání s ostatními vedlejšími produkty kávy, se zdá, že SKS je stabilním materiálem, což je z části způsobeno nízkým obsahem vlhkosti 5–10 %. Stříbrná kávová slupka je navíc snadno sbíratelná a zpracovatelná v kávových pražárnách, což představuje výhodu pro další zpracování. V extraktech z plísňe stromu, které byly zkoumány pomocí dvou druhů testů, konkrétně testy k hodnocení buněčné proliferace,

životaschopnosti a cytotoxicity (MTS) a laktátdehydrogenázy (LDH) na buněčné linii keratinocytů (HaCaT) a fibroblastech lidské kůže (HFF-1) o různých koncentracích až do 1000 µg/ml, nebyla zaznamenána žádná toxicita. [11]

4.8.1 Využití stříbrných kávových slupek v kosmetice

Kávové slupky jsou atraktivním materiálem pro další zpracování, především díky svému nízkému obsahu vlhkosti. Díky teplotám pražení je také snížena možnost mikrobiální kontaminace a jsou snadno skladovatelné. Tyto stříbrné kávové slupky, jako vedlejší produkt kávy, obsahují bohaté množství bioaktivních látek, což je činí zajímavými pro kosmetický průmysl, zejména využití díky jejich antioxidačním, antimikrobiálním a protizánětlivým vlastnostem, stejně jako schopnost chránit před slunečním zářením a zmírňovat příznaky stárnutí. Tím pádem se tyto vedlejší produkty jeví jako vhodná alternativa pro výrobu kosmetických přípravků. Kromě aktivních složek jsou tyto produkty také ekologicky udržitelné, bezpečné a efektivní. Kyselina chlorogenová, jako hlavní účinná složka, bude zvláště popsána následující kapitole. [11, 34]

5 VYUŽITÍ KYSELINY CHLOROGENOVÉ V KOSMETICE

Chlorogenová kyselina nalézá využití v oblasti kosmetického průmyslu díky svým mnoha biologicky aktivním vlastnostem. Její potenciál spočívá zejména v ochraně pokožky před ultrafialovým zářením, výrazných antioxidačních účincích, schopnosti zpomalovat proces stárnutí pleti, jakož i v antimikrobiální a protizánětlivé aktivitě. Také se zkoumá její přínos v boji proti celulitidě. [10, 11]

5.1 Ochrana před poškozením kůže UV zářením

Sluneční záření hraje velkou roli pro každého člověka na Zemi a neměl by jej nikdo podceňovat. Může být důsledkem nedostatku pigmentu nebo přílišného vystavení se slunečnímu záření a lze pocítovat jeho negativní účinky. Tyto účinky mohou sahát od lehčí formy spálení až po chronické stádium fotostárnutí kůže a život ohrožující rakovinu kůže. Proto bychom měli být obezřetní a vědět, jaké účinky na naši kůži má ultrafialové záření A (UVA), ultrafialové záření B (UVB) a infračervené záření (IR). [14] Vystavení slunečnímu záření je nezbytné k tomu, aby se 7-dehydrocholesterol přeměnil na previtamin D₃. Snížená produkce vitamínu D₃ v kůži je ovlivněna intenzitou UVB záření, opalovacími přípravky, pigmentací kůže, ročním obdobím a znečištěním ovzduší. [15]

5.1.1 Ultrafialové záření

Spektrum ultrafialového (UV) záření lze charakterizovat do tří kategorií: dlouhovlnné UVA (320–400 nm), středovlnné UVB (280–320 nm) a krátkovlnné UVC (100–280 nm). Průnik slunečního záření do kůže podle typu UV záření je znázorněn na Obrázku 8. Ultrafialové záření může v různých vrstvách kůže reagovat s mnoha molekulami nazývanými chromofory. Tyto interakce mohou mít různé biologické účinky, které záleží na délce vln, expozici záření a zdrojích UV záření. Mezi pozitivní účinky patří především tvorba vitamínu D a léčba různých kožních onemocnění. Je známo, že sluneční záření podporuje tvorbu prekurzorů vitamínu D v kůži. Většina lidí může získat dostatečné množství vitamínu D pobytem na slunci po krátkou dobu s nezakrytými předloktími nebo dolními končetinami. [16, 29]

UVA záření

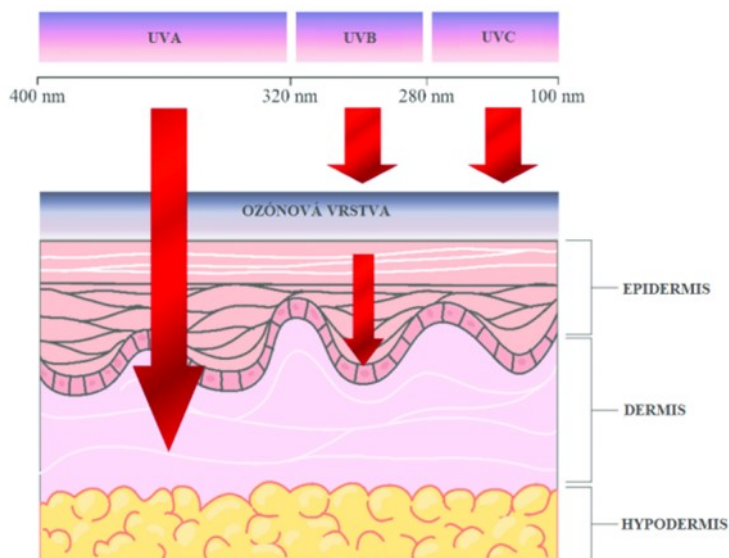
UVA záření prostupuje do šráry skoro v celé její tloušťce, na rozdíl od UVB záření, tudíž může znehodnotit a narušit kolagenní a elastická vlákna. Jeho využití lze pozorovat například v soláriích, kdy nastává oxidace melaninu a výslednému zbarvení kůže do hněda. [16]

UVB záření

Ač UVB záření neproniká tak hluboko jako UVA záření, měli bychom si na něj dát daleko větší pozor, jelikož způsobuje začervení kůže, tzv. hyperpigmentaci, při které naše pokožka předčasně stárne, dále zanícení kůže či životu nebezpečný karcinom kůže. [16]

UVC záření

Poslední a také virulentní záření je UVC záření, které díky ozonové vrstvě nedopadá na povrch země. [16]



Obrázek 8 Průnik slunečního záření do kůže – upraveno podle [29]

5.1.2 Fotoprotekce

Ochranu, kterou poskytuje opalovací krém vyjadřuje ochranný sluneční faktor (Sun Protect Factor neboli SPF). Obecně odpovídá násobku doby, za kterou se naše pokožka spálí v porovnání s kůží, která není chráněna opalovacím krémem. Přesnější definicí SPF je, že jde o poměr minimálního množství ultrafialové energie, které je zapotřebí k vytvoření minimum erytému na kůži, která je chráněna opalovacím krémem ku množství energie, která

je zapotřebí k vytvoření stejného erytému na nechráněné kůži. V současné době je na trhu vysoká škála produktů s SPF 15 až 50 a více. [19]

Podle Evropské komise lze rozdělit stupně ochrany následovně [17]:

- 1) nízká ochrana s SPF 6-10;
- 2) střední ochrana s SPF 15-25;
- 3) vysoká ochrana s SPF 30-50;
- 4) velmi vysoká ochrana s SPF 50+.

Substrát hydratovaný glycerolem a vodou a poté potažen roztokem kyseliny chlorogenové, byl měřen pomocí UV spektrometru, přičemž výsledky byly vyjádřeny jako průměrné procento absorpce v oblasti vlnových délek 320–400 nm pro ochranu před UVA zářením. Faktor ochrany proti slunečnímu záření je míra, jakým substrát (Vitro-Skin®) propouští světlo vzorkem a bez něj. Výsledek je stanoven v souladu s následujícím matematickým vzorcem, kde erytémová účinnost se značí jako $E\lambda$, spektrální složení slunečního záření na Zemi jako $S\lambda$ a schopnost průchodu vzorkem jako $T\lambda$. [18]

$$SPF = \frac{\int_{290nm}^{400nm} E\lambda S\lambda d\lambda}{\int_{290nm}^{400nm} E\lambda S\lambda T\lambda d\lambda}$$

Tloušťka vrstvy ochranného opalovacího prostředku má významný dopad na ochranu kůže, a proto bylo mezinárodně stanoveno, že by měla být aplikována vrstva o množství 2 mg/cm². Nicméně, výzkumy naznačují, že lidé aplikují mnohem menší množství, obvykle kolem 0,5–1,5 mg/cm², přičemž očekávají stejný účinek jako při správné aplikaci dle mezinárodních standardů. Opalovací přípravky lze rozdělit do dvou kategorií, ty s chemickými a fyzikálními filtry. Bylo prokázáno, že anorganické látky (jako je oxid zinečnatý a oxid titaničitý) obsažené ve fyzikálních filtrech mají horší schopnost roztírat se na kůži ve srovnání s přípravky obsahující chemické filtry se stejnou hodnotou SPF. To znamená, že se pravděpodobně použije menší množství produktu, což může snížit účinnost ochrany. [19]

Choquenot et al. [31] hodnotili různé flavonoidy a polyfenoly z hlediska jejich účinnosti jako filtrů sluneční ochrany. Zjistili, že 10% koncentrace kyseliny kávové a kyseliny

chlorogenové v přípravku vykazovaly vysoké ochranné faktory proti slunečnímu záření (SPF) a dobrou fotostabilitu. Další studie potvrdila fotostabilitu kyseliny chlorogenové a její vysoký SPF. Wagemaker a kol. [35] analyzovali lipidové frakce extrahované ze zelených kávových zrn a zjistili, že většina druhů vykazovalaa vhodné vlastnosti pro kosmetické přípravky. Byl také změřen SPF kyseliny chlorogenové a bylo zjištěno, že při koncentraci 40 µg/ml činil 16, což podporuje její využití v prevenci fotostárnutí způsobeného UV zářením. [36] Celkově lze říci, že kyselina chlorogenová je fotostabilní UVA/UVB molekula s dobrou fotoprotektivní aktivitou a slibnými hodnotami SPF a že zelený kávový olej vykazuje potenciál pro použití ve fotoprotekci. [11, 31, 35, 36]

5.2 Antioxidační účinky

V lidském těle probíhá dynamická rovnováha mezi antioxidanty a volnými radikály, kdy enzymy a sloučeniny chrání velké molekuly před reaktivními formami. Tyto reaktivní formy kyslíku a dusíku jsou klíčové pro obranu hostitele a běžné fyziologické procesy, ale mohou také narušit antioxidační ochranu a způsobit oxidační stres, což vede k poškození, jako je stárnutí kůže a vznik rakoviny. Extraktům bohatým na antioxidanty se proto přikládá význam v kosmetických přípravcích na ochranu pokožky. Vedlejší produkty kávy, obsahující fenolické sloučeniny a melanoidiny, prokázaly antioxidační vlastnosti jak *in vitro*, tak *in vivo*. Kávová zrna druhu *Arabica* obsahují více vitamínu E než druhu *Robusta*, přičemž množství extrahovaného vitamínu E do nápoje závisí na způsobu přípravy kávy, přičemž použitá kávová sedlina zůstává zdrojem vitamínu E. Vedlejší produkty kávy mají díky svému složení vysokou antioxidační aktivitu, jak prokázaly studie *in vitro* pomocí různých testů. Extrakt ze stříbrných kávových slupek vykázal například vysokou antiradikálovou aktivitu. Antioxidační aktivita různých extraktů se pohybovala v rozmezí od 206 do 287 µmol ekvivalentu troloxu/g a 95–217 µmol Fe²⁺/g v závislosti na typu rozpouštědla. Tyto extrakty prokázaly také antimikrobiální aktivitu a neovlivňovaly růst buněk kůže *in vitro*, což je činilo vhodnými pro lokální aplikace. Nejlepší vlastnosti měl etanolový extrakt s vyšší antioxidační a antimikrobiální aktivitou. Některé sloučeniny vedlejších produktů kávy vykazovaly antioxidační potenciál *in vivo*, zejména v boji proti UV záření. Studie provedené na zvířatech prokázaly zvýšenou aktivitu antioxidačních enzymů, snížení peroxidace lipidů a zlepšení hojení ran po lokální aplikaci sloučenin, jako jsou α-tokoferol, kyselina chlorogenová a další antioxidanty. Tato zjištění tak podporují potenciální využití vedlejších produktů kávy jako aktivních složek v přípravcích pro péči o

pokožku, které snižují oxidační stres, zlepšují zdraví pokožky a posilují její schopnost bránit se oxidaci. [11, 30]

5.3 Anti-aging účinky

Lidská pokožka se s přibývajícím věkem ztenčuje, vysušuje, tvoří se vrásky a pigmentace. Přirozený proces stárnutí může být urychlován ultrafialovým zářením, výkyvy počasí a znečišťujícími látkami v životním prostředí, což vyžaduje používání výrobků osobní péče, které by měly pomoci zpomalit proces stárnutí. Se stárnutím kůže je spojeno porušení kolagenových vláken, zvýšená produkce reaktivních forem kyslíku v mitochondriích a oxidační stres, což často vede k degradaci mitochondriální DNA (kyseliny deoxyribonukleové). [21] Kyselina hyaluronová (HA) je dlouho známá pro své účinky proti vráskám. Z podobných důvodů byl nedávno zkoumán také kofein. Dva typy extraktů z kávy pomáhají chránit pokožku obličeje před škodlivým UV zářením tím, že zlepšují pružnost a pevnost pleti. Káva robusta obsahuje vysoké množství kofeinu a kyseliny chlorogenové, která působí proti zarudnutí, zatímco kávový arabský olej podporuje tvorbu kolagenu a elastinu. Novým trendem v kosmetice je využívání složek z potravinového odpadu s cílem řešit otázky udržitelnosti. Například stříbrná kávová slupka, která vzniká při pražení kávy, se ukázala jako cenný produkt, díky své nízké toxicitě, obsahu kofeinu a silným antioxidačním vlastnostem. Výzkumníci hodnotili reakce lidské pokožky na tento extrakt a výsledky naznačují, že je bezpečný a nezpůsobuje podráždění. [20]

Extrakty ze SKS jsou bohaté na antioxidanty, zejména na kofein a kyselinu chlorogenovou, které jsou stále více využívány v boji proti vráskám. Tyto látky přispívají k vzhledu zdravější a mladší pleti. Byl zkoumán inhibiční efekt extraktů ze stříbrné kávové slupky na hyaluronidázu, enzym, který se s věkem podílí na ztrátě kyseliny hyaluronové, což vede ke vzniku vrásek a suché pokožky. Hyaluronidáza rozkládá HA, což způsobuje, že se stává méně viskózní a propustná a následně narušuje extracelulární matrix, obsahující kolagenová a elastinová vlákna. Rodrigues et al. [23] provedli hodnocení inhibičního účinku hyaluronidázy *in vivo*, kdydvaceti dobrovolníkům byl po dobu 28 dnů dvakrát denně aplikován krém na bázi SKS kolem očí. Po této době byla hydratace a pevnost pokožky hodnocena porovnáním krému s obsahem stříbrné kávové slupky s přípravkem obsahujícím 1,5 % HyaCare Filler CL, derivátem kyseliny hyaluronové, který pomáhá redukovat jemné linky a vrásky a zlepšuje pružnost a hydrataci pokožky. Byla potvrzena účinnost SKS při

zvyšování hydratace a pevnosti pokožky, což přináší podobné výsledky jako u HA. [21, 22, 23]

Kyselina chlorogenová, izolovaná z kávové sedliny, vykazovala také protirakovinné vlastnosti tím, že regulovala matrixové metaloproteinázy a prokolagen typu I v buňkách myších fibroblastů. Tato zjištění naznačují, že vedlejší produkty z kávy mají potenciál jako terapeutické látky a mohou se používat v kosmetice. [11]

Lidské kožní buňky ošetřené CGA o koncentraci 100 μ M se testovaly na vliv tvorby kolagenu v kožních buňkách po ošetření adenosinem, který podporuje syntézu kolagenu. Kyselina chlorogenová téměř zdvojnásobila syntézu kolagenu, čímž předčila adenosin. I když byl zjištěn statisticky významný rozdíl v obsahu kolagenu, změna byla nepatrná. Kyselina pravděpodobně spíše reguluje transkripci kolagenu uvnitř buněk, než podporuje extracelulární sekreci. [24]

5.4 Antimikrobiální účinky

Extrakty z stříbrných kávových slupek vykazovaly antimikrobiální aktivitu vůči různým bakteriím a kvasinkám s minimální inhibiční koncentrací (MIC) v rozmezí 31,3 až 250 μ g/ml. Etanolový extrakt vykazoval nejnižší MIC pro *K. pneumoniae* a nejvyšší pro *S. aureus*. Nesaponizovaný olej ze zelených semen *C. arabica* inhiboval růst všech bakterií i *C. albicans*. Kávová sedlina inhibovala růst *P. intermedia*, *S. aureus* a *S. mutans*, ale vykazovala slabé výsledky proti adhezii biofilmu. Extrakt z kávové dužiny s vysokým celkovým obsahem fenolických látek inhiboval růst všech bakterií s MIC v rozmezí 37,5 až 75 mg/ml, což naznačuje bakteriostatickou aktivitu připisovanou kyselině chininové, jablečné, CGA a kofeinu. Za účinek kávy mohou být zodpovědné její bioaktivní sloučeniny a rozdílné výsledky MIC mohou souviset s aktivními složkami a bakteriálními membránami. [11]

5.5 Protizánětlivé účinky

Zánět kůže je běžnou imunitní reakcí na poranění, infekci nebo poškození tkáně, na níž se podílejí reaktivní formy kyslíku, cytokiny a redukované formy nikotinamidadeninnukleotidfosfátu (NADPH) oxidázy. Bylo prokázáno, že kyselina chlorogenová, vedlejší produkt kávy, urychluje hojení ran díky své antioxidační aktivitě a schopnosti zvyšovat syntézu kolagenu. Jiné studie prokázaly protizánětlivou aktivitu vedlejších produktů kávy, jako jsou listy kávy druhu *Arabica*, 5-CQA a hydrogely obsahující

CGA nebo kávový koláč. Vysokomolekulární HA inhibuje fagocytární schopnost makrofágů a reguluje hojení ran, zatímco její degradační produkty mohou zvyšovat zánětlivost a ukládání kolagenu. [11]

Byla provedena analýza účinku kyseliny chlorogenové na epidermální keratinocyty, které jsou klíčovými složkami kožní bariéry, chránící před vnějším poškozením. Kožní onemocnění, jako je atopická dermatitida a svědění, mohou tuto bariéru poškodit, a obnovení této bariéry může příznaky zmírnit. Byla provedena analýza genové exprese hlavních strukturálních proteinů, jako jsou keratin, filagrin, involucrin a envoplakin, s cílem zjistit, zda má CGA schopnost zlepšit obnovu kožní bariéry. Léčba kyselinou chlorogenovou výrazně zvýšila exprese mediátorové ribonukleové kyseliny (mRNA) genů spojených s kožní bariérou, což ukazuje na její potenciál v léčbě poškozené kůže obnovením klíčových strukturálních prvků vnější kožní bariéry. [24] *Acne vulgaris*, které postihuje 85 % dospívajících je složité onemocnění způsobené nadměrnou tvorbou zánětu a nadměrnou sekrecí kožního mazu. Klíčovou úlohu v zánětlivém procesu akné hraje bakterie *Propionibacterium acnes*. Bylo prokázáno, že polyfenoly, zejména CGA, mají potenciální účinky v boji proti akné. Kyselina chlorogenová má antioxidační, antimikrobiální a protizánětlivé vlastnosti a ovlivňuje metabolismus lipidů a glukózy. Ve studii provedené na myších modelech CGA významně snížila zánět a otok ucha způsobený *P. acnes* a snížila exprese proteinů transkripčního faktoru 1 vázající sterolové regulační prvky (SREBP1) a faktor nádorové nekrózy α (TNF α). Kyselina chlorogenová by mohla být využita jako léčebná metoda proti akné zaměřená na zánět a tvorbu lipidů. [25]

5.6 Účinky proti celulitidě

Nepřirozené rozložení tukových zásob v těle v kombinaci se změnou charakteru podkožní tkáně je známé jako celulitida. Tento stav vzniká převážně v důsledku hromadění tukových buněk mimo buněčnou hranici pod kůží a způsobuje nerovnosti na povrchu kůže, které jsou označovány jako efekt pomerančové kůže. Celulitida postihuje 65–70 % žen a první příznaky se mohou objevit již v adolescenci. Nejčastěji se projevuje na hýždích, stehnech, bocích a břiše. [22]

Kofein může být účinný při odbourávání tuků díky blokování fosfodiesterázy v tukových buňkách a zvýšení hladiny cyklického adenosinmonofosfátu (cAMP). Proto se často nachází v kosmetických výrobcích. Kofein dokáže proniknout skrz kůži a působit lipolytickým způsobem na tukovou tkáň. Kávová sedlina obsahuje významné množství kofeinu a je

možné ji využít při výrobě produktů určených pro redukci celulitidy. Studie naznačují, že kofein extrahovaný z kávové sedliny by mohl mít využití jako nová léčba proti celulitidě. Byla vyvinuta speciální formulace s kofeinem z kávové sedliny, začleněným do nanostrukturovaných lipidových nosičů, pro boj s celulitidou. Přidání kávové sedliny nemělo vliv na velikost nanočástic a formulace prokázala chemickou stabilitu po dobu až 180 dnů při různých teplotách a vlhkosti. [10, 21, 26]

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce shrnuje hlavní body zkoumané problematiky a vyzdvihuje potenciál kyseliny chlorogenové pro využití v kosmetice. Tato fenolická sloučenina, nalezená zejména v zelené kávě je prezentována jako atraktivní složka kosmetických produktů, a to především díky svým mnohostranným účinkům na lidskou pokožku. Práce se zabývá jak výskytem a syntézou kyseliny chlorogenové, tak analytickými metodami pro její identifikaci a kvantifikaci. Pozornost je věnována i extrakčním metodám, nezbytným pro získání této sloučeniny z rostlinného materiálu, s ohledem na potřeby kosmetického průmyslu.

Důraz je kladen na význam fenolických látek pro lidské zdraví, především však na vlastnosti fenolických sloučenin jako celku, speciálně na kyselinu chlorogenovou. Hlavním cílem práce je zkoumání možností využití této látky v kosmetice, a to díky jejím potenciálním vlastnostem, jako je ochrana pokožky před UV zářením, antioxidační účinky, schopnost boje proti stárnutí pleti, antimikrobiální a protizánětlivé účinky a možnosti v boji proti celulitidě. Tyto vlastnosti činí kyselinu chlorogenovou vhodnou pro inovativní kosmetické produkty, které spojují estetické a zdravotní benefity.

Bakalářská práce představuje komplexní pohled na potenciál kyseliny chlorogenové v kosmetice a poskytuje ucelený přehled současných trendů v oblasti kosmetiky a péče o pokožku. Její výsledky mohou být inspirací pro další výzkum a využití této slibné látky v kosmetickém průmyslu, s ohledem na rostoucí zájem o přírodní a účinné složky v kosmetických produktech.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HAVLÍK, Jaroslav; MAROUNEK, Milan. Živiny a živinové potřeby člověka. 2. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013.
- [2] HARMATHA, Juraj a Ústav ORGANICKÉ CHEMIE A BIOCHEMIE (AKADEMIE VĚD ČR). Chemie a biochemie přírodních látek. Praha: Ústav organické chemie a biochemie AV ČR, 2002. ISBN 8086241173;9788086241173.
- [3] POKORNÝ, Jan, Nedjalka V. JANIŠLIEVA-MASLAROVA a Michael H. GORDON. Antioxidants in food: practical applications. Cambridge;Boca Raton;: Woodhead, 2001. ISBN 9781855734630;185573463X.
- [4] SLANINA, Jiří; TÁBORSKÁ, Eva. Příjem, biologická dostupnost a metabolismus rostlinných polyfenolů u člověka. Chemické listy, 2004.
- [5] JIRÁSKOVÁ, Milena. Dermatovenerologie: učební texty pro bakaláře. Karolinum, 2003.
- [6] JELÍNEK, Jan; ZICHÁČEK, Vladimír; DVORSKÝ, Pavel. Biologie pro gymnázia:(teoretická a praktická část). Nakladatelství Olomouc, 2000.
- [7] DZIAŁO, Magdalena et al. The potential of plant phenolics in prevention and therapy of skin disorders. International journal of molecular sciences. 2016, roč. 17, č. 2
- [8] PREEDY, Victor R. (ed.). Caffeine: Chemistry, analysis, function and effects. Royal Society of Chemistry, 2012.
- [9] SACHIN, Kumar Singh; KIRAN, Thakur; VISHAL, Sharma; MAMTA, Saini; DIKSHA, Sharma et al. Exploring the multifaceted potential of chlorogenic acid: Journey from nutraceutical to nanomedicine. Online. South African Journal of Botany. Roč. 159, s. 658-677. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629923003587>. [cit. 2024-04-29].
- [10] THORN, Jon. Káva: příručka pro labužníky. Fortuna print, 2000.
- [11] MENDES DOS SANTOS, Érica; MALVEZZI DE MACEDO, Lucas; LACALENDOLA TUNDISI, Louise; ARTEM ATAIDE, Janaína; CAMARGO, Gisele Anne et al. Coffee by-products in topical formulations: A review. Online. Trends in Food Science & Technology. 2021, č. Volume 111, s. 280-291. Dostupné z:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421001710?via%3Dihub>. [cit. 2024-04-29].

[12] HAMINIUK, Charles W. I.; MACIEL, Giselle M.; PLATA-OVIEDO, Manuel S. V. a PERALTA, Rosane M. Phenolic compounds in fruits – an overview. Online. International Journal of Food Science & Technology. 2012, roč. 47, č. 10, s. 2023-2044. Dostupné z: <https://ifst-onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.techlib.cz/doi/full/10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x>. [cit. 2024-05-10].

[13] BAGCHI, Debasis, Hiroyoshi MORIYAMA a Anand SWAROOP. Caffeic Acid and Its Biological Effects on Brain Function. In: BAGCHI, Debasis, Hiroyoshi MORIYAMA a Anand SWAROOP, eds. . United Kingdom: CRC Press, 2017;2016. Green Coffee Bean Extract in Human Health. ISBN 1498716377;9781498716376. nebo BAGCHI, Debasis; MORIYAMA, Hiroyoshi; SWAROOP, Anand. Green coffee bean extract in human health. CRC Press, 2016.

[14] POLEFKA, Thomas G., et al. Effects of solar radiation on the skin. Journal of cosmetic dermatology, 2012, 11.2: 134-143.

[15] HE, Hailun, et al. Natural components in sunscreens: Topical formulations with sun protection factor (SPF). Biomedicine & pharmacotherapy= Biomedecine & pharmacotherapie, 2020, 134: 111161-111161.

[16] SVOBODOVÁ, Alena Rajnochová. Poškození kůže působením slunečního záření, možnosti ochrany a prevence. Univerzita Palackého v Olomouci, 2012.

[17] 2006/647/ES. Doporučení komise ze dne 22. září 2006 : o účinnosti prostředků na ochranu proti slunečnímu záření a o uváděných tvrzeních, která s nimi souvisí. Brusel, 2006. Dostupné také z: <https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:265:0039:0043:cs:PDF>

[18] RIVELLI, Diogo P.; FILHO, Carlos A. H.; ALMEIDA, Rebeca L.; ROPKE, Cristina D.; SAWADA, Tânia C. H. et al. Chlorogenic Acid UVA–UVB Photostability. Online. Photochemistry and Photobiology. 2010, roč. 86, č. 5, s. 1005-1007. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1751-1097.2010.00776.x>. [cit. 2024-05-09].

[19] DIFFEY, Brian. Sunscreen isn't enough. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 2001, 64.2-3: 105-108.

[20] XUE, Nina; LIU, Ying; JIN, Jing; JI, Ming a CHEN, Xiaoguang. Chlorogenic Acid Prevents UVA-Induced Skin Photoaging through Regulating Collagen Metabolism and Apoptosis in Human Dermal Fibroblasts. Online. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022, roč. 23, č. 13. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1422-0067/23/13/6941>. [cit. 2024-05-02].

[21] BESSADA; SÍLVIA, M. F.; RITA, C. Alves a , M. Beatriz P. P. Oliveira. Coffee Silverskin: A Review on Potential Cosmetic Applications. Online. *Cosmetics*. 2018, roč. 5, č. 1:5. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2079-9284/5/1/5#B17-cosmetics-05-00005>. [cit. 2024-03-25].

[22] PRATIWI, Liza. Coffea: The Application of Green Components in Cosmetics Formulation. Online. *Majalah obat tradisional = Traditional medicine journal*. 2021, roč. 26, č. 3, s. 174–187. Dostupné z: <https://jurnal.ugm.ac.id/TradMedJ/article/view/66626/33025>. [cit. 2024-03-28].

[23] RODRIGUES, Francisca; MATIAS, Rita; FERREIRA, Marta; AMARAL, Maria Helena a OLIVEIRA, Maria Beatriz P.P. N vitro and in vivo comparative study of cosmetic ingredients Coffee silverskin and hyaluronic acid. Online. *Experimental Dermatology*. 2016, roč. 25, č. 7, s. 495-576. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/exd.13010>. [cit. 2024-03-25].

[24] KYUNG-HA, Lee; HWAN-KWON, Do; DO-YEON, Kim a WANIL, Kim. Impact of chlorogenic acid on modulation of significant genes in dermal fibroblasts and epidermal keratinocytes. Online. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2021, roč. 583, s. 22-28. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006291X21014662>. [cit. 2024-05-10].

[25] JIAO, Luo; WEIYI, He; XUAN, Li; XUNMIN, Ji a JIABANG, Liu. Anti-acne vulgaris effects of chlorogenic acid by anti-inflammatory activity and lipogenesis inhibition. Online. *Experimental Dermatology*. 2021, roč. 30, č. 6, s. 865-871. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/exd.14277>. [cit. 2024-05-09].

[26] RODRIGUES, R.; MARIA BEATRIZ PRIOR; P.O. AND RITA a C.A. Chlorogenic Acids and Caffeine from Coffee by-Products: A Review on Skincare Applications. Online. *Cosmetics*. 2023, roč. 10, č. 1, s. 12. Dostupné z:

<https://www.proquest.com/docview/2779531580?pq-origsite=summon&sourcetype=Scholarly%20Journals&parentSessionId=%2BrCDDaOqWYkG8u%2BU9frqxQwd64YPQ19SRWFjIM7xGYo%3D#center>. [cit. 2024-04-27].

[27] ESQUIVEL, Patricia a JIMÉNEZ, Víctor M. Functional properties of coffee and coffee by-products. Online. Food Research International. 2012, roč. 46, s. 488-495. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/225066935_Functional_properties_of_coffee_and_coffee_by-products. [cit. 2024-05-07].

[28] VERMERRIS, Wilfred a Ralph NICHOLSON. Phenolic compound biochemistry. 1st;1. Aufl.;1;2006.; vyd. Dordrecht: Springer, 2006;2007; ISBN 9781402051630;1402051638

[29] PÉREZ-SÁNCHEZ, Almudena; BARRAJÓN-CATALÁN, Enrique; HERRANZ-LÓPEZ, María a MICOL, Vicente. Nutraceuticals for Skin Care: A Comprehensive Review of Human Clinical Studies. Online. Nutrients. 2018, roč. 10, č. 4, s. 403. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5946188/>. [cit. 2024-05-10].

[30] RODRIGUES, Francisca; PALMEIRA-DE-OLIVEIRA, Ana; DAS NEVES, José; SARMENTO, Bruno; AMARAL, M. Helena et al. Coffee silverskin: A possible valuable cosmetic ingredient. Online. Pharmaceutical Biology. 2015, roč. 53, č. 3, s. 386-394. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/13880209.2014.922589>. [cit. 2024-05-15].

[31] CHOQUENET, Benjamin; COUTEAU, Céline; PAPARIS, Eva a J.M. COIFFARD, Laurence. Flavonoids and Polyphenols, Molecular Families with Sunscreen Potential: Determining Effectiveness with an in vitro Method. Online. Nature Production Communications. 2009, roč. 4, č. 2, s. 227 - 230. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1934578X0900400212>. [cit. 2024-05-15].

[32] WEI, Feifei a TANOKURA, Masaru. Organic Compounds in Green Coffee Beans. Online. In: PREEDY, Victor R. (ed.). Coffee in Health and Disease Prevention. 2015, s. 149-162. ISBN 978-0-12-409517-5. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.proxy.k.utb.cz/science/article/pii/B9780124095175000176?via%3Dihub>. [cit. 2024-05-16].

- [33] DIVIŠ, Pavel; POŘÍZKA, Jaromír a KŘÍKALA, Jakub. The effect of coffee beans roasting on its chemical composition. Online. POTRAVINARSTVO SLOVAK JOURNAL OF FOOD SCIENCES. 2019, roč. 13, č. 1, s. 344–350. Dostupné z: <https://potravinarstvo.com/journal1/index.php/potravinarstvo/article/view/1062>. [cit. 2024-05-16].
- [34] GARCIA, Coralia V. a YOUNG-TECK, Kim. Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin as Potential Materials for Packaging: A Review. Online. Journal of Polymers and the Environment. 2021, roč. 29, s. 2372–2384. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-021-02067-9>. [cit. 2024-05-16].
- [35] WAGEMAKER, T.A.L.; CARVALHO, C.R.L.; MAIA, N.B.; BAGGIO, S.R. a GUERREIRO FILHO, O. Sun protection factor, content and composition of lipid fraction of green coffee beans. Online. Industrial Crops and Products. 2011, roč. 33, s. 469-473. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669010002712>. [cit. 2024-05-16].
- [36] CHO, Y.-H.; BAHUGUNA, A.; KIM, H.-H.; KIM, D.-i.; KIM, H.-J. et al. Potential effect of compounds isolated from *Coffea arabica* against UV-B induced skin damage by protecting fibroblast cells. Online. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2017, roč. 174, s. 323-332. [cit. 2024-05-16].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Vzorce derivátů kyseliny hydroxybenzoové – upraveno podle [12].....	17
Obrázek 2 Vzorce derivátů kyseliny hydroxyskořicové – upraveno podle [12].....	18
Obrázek 3 Vzorce kyseliny chlorogenové (A) a kyseliny neochlorogenové (B) – upraveno podle [9]	20
Obrázek 4 Biosyntéza kyseliny chlorogenové – upraveno podle [9].....	22
Obrázek 5 Binární gradient CGA v zelené kávě Robusta [13]	23
Obrázek 6 Struktura kávového zrna – upraveno podle [11]	26
Obrázek 7 Hydrolýza CGA – upraveno podle [13]	28
Obrázek 8 Průnik slunečního záření do kůže – upraveno podle [29]	34

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Kategorizace fenolických látek v rostlinách podle počtu uhlíků [2]	13
Tabulka 2 Zastoupení fenolů v normálním množství konzumovaných potravin a nápojů [4]	14

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

mg	miligram
g	gram
CGA	kyselina chlorogenová
m ²	metr čtvereční
CQA	kyselina kafeoylchinová
diCQA	kyselina dikageoylchinová
FQA	kyselina feruloylchinová
5-CQA	kyselina 5-o-kafeoylchinová
3-CQA	kyselina neochlorogenová
ORAC	kapacita absorbance kyslíkových radikálů
1-CQA	pseudochlorogenová kyselina
4-CQA	krytochlorogenová kyselina
HPLC	vysokoúčinná kapalinová chromatografie
SKS	stříbrná kávová slupka
UV	ultrafialové záření
UVA	ultrafialové záření A
UVB	ultrafialové záření B
UVC	ultrafialové záření C
mg/cm ²	miligram na centimetr čtvereční
μM	mikrometr
μg/ml	mikrogram na mililitr
ROS	volný kyslíkový radikál
SPF	sun protection factor
MIC	minimální inhibiční koncentrace
HA	kyselina hyaluronová

