

Stanovení polyfenolů a antioxidační aktivity v lucumě

Arina Ershova



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav analýzy a chemie potravin

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Arina Ershova
Osobní číslo:	T22839
Studijní program:	B0721A210002 Technologie a hodnocení potravin
Specializace:	Gastronomické technologie
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Stanovení polyfenolů a antioxidační aktivity v lucumě

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část

1. Charakteristika lucumy a popis jejího chemického složení.

2. Popsat možnosti využití lucumy v potravinářství.

II. Praktická část

1. Ve vybraných vzorcích lucumy stanovit obsah celkových polyfenolů a antioxidačních aktivit s využitím spektrofotometrických metod.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1]Masullo, M., Cerulli, A., Pizza, C., & Piacente, S. (2021). Pouteria lucuma Pulp and Skin: In Depth Chemical Profile and Evaluation of Antioxidant Activity. *Molecules*, 26(17), 5236.
- [2]Choque Delgado, G. T., Cruz Morales, N. X., Villa Gomez, K. Y., & da Silva Cunha Tamashiro, W. M. (2023). Antioxidant, antiproliferative, and immunomodulatory activities in Peruvian fruits. *Food Reviews International*, 39(1), 189-208.
- [3]Campos, D., Chirinos, R., Ranilla, L. G., & Pedreschi, R. (2018). Bioactive potential of Andean fruits, seeds, and tubers. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 84, pp. 287-343). Academic Press.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martina Mrázková, Ph.D.**
Ústav analýzy a chemie potravin

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Jiří Mlček, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2025

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

Bakalářská práce se zabývá analýzou polyfenolů a antioxidační aktivity v prášku z lucumy (*Pouteria lucuma*), tropického ovoce pocházejícího z Jižní Ameriky. Teoretická část práce zahrnuje charakteristiku rostliny, oblasti pěstování, chemické složení se zaměřením na obsah polyfenolů, zdravotní účinky a využití lucumy v potravinářství. V experimentální části byla v prášku z lucumy stanovena sušina, obsah celkových polyfenolů Folin-Ciocalteho metodou a antioxidační aktivita metodami s DPPH a ABTS ve vodných a methanolických extraktech. Výsledky ukazují, že celkový obsah polyfenolů se v lucumě pohybuje v rozmezí od 6,39 do 16,1 mg GAE/g. Hodnoty antioxidační aktivity byly naměřeny v rozmezí od 32,2 do 142 mg TE/g (DPPH) a od 17,1 do 63,8 mg TE/g (ABTS). Výsledky ukázaly silnou pozitivní korelaci mezi obsahem polyfenolů a antioxidační aktivitou.

Klíčová slova: lucuma, tropické ovoce, polyfenoly, antioxidační aktivita, DPPH, ABTS, spektrofotometrie

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the analysis of polyphenols and antioxidant activity in lucuma powder (*Pouteria lucuma*), a tropical fruit native to South America. The theoretical part of the thesis includes the characteristics of the plant, growing area, chemical composition with a focus on polyphenol content, health effects and the use of lucuma in the food industry. In the experimental part, the dry weight, total polyphenol content of lucuma powder was determined by Folin-Ciocalte method and antioxidant activity by DPPH and ABTS methods in aqueous and methanolic extracts. The results show that the total polyphenol content of lucuma ranges from 6.39 to 16.1 mg GAE/g. The antioxidant activity values were measured ranging from 32.2 to 142 mg TE/g (DPPH) and from 17.1 to 63.8 mg TE/g (ABTS). The results showed a strong positive correlation between polyphenol content and antioxidant activity.

Keywords: lucuma, tropical fruit, polyphenols, antioxidant activity, DPPH, ABTS, spectrophotometry

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala své vedoucí práce, Ing. Martině Mrázkové, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, konstruktivní připomínky a pomoc, kterou mi věnovala během celého procesu zpracování bakalářské práce.

Dále děkuji Ing. Lence Fojtíkové za neocenitelnou pomoc při praktické části výzkumu, za technickou podporu v laboratoři a ochotu vždy poradit.

Jsem velmi vděčná za jejich ochotu a čas, který mi věnovaly.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 CHARAKTERISTIKA LUCUMY	13
1.1 POPIS ROSTLINY	13
1.1.1 Listy.....	13
1.1.2 Květy	13
1.2 OBLASTI PĚSTOVÁNÍ.....	14
1.3 SKLIZEŇ A VÝROBA PRÁŠKU Z OVOCE LUCUMA.....	14
1.4 HISTORIE	16
2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ LUCUMY.....	17
2.1 VITAMÍNY A MINERÁLNÍ PRVKY	17
2.2 MASTNÉ KYSELINY	18
2.3 AROMATICKÉ LÁTKY.....	19
2.4 KAROTENOIDY	19
2.5 POLYFENOLY.....	20
2.5.1 Flavonoidy.....	20
2.5.2 Fenolové kyseliny a trísloviny	21
ANTIOXIDAČNÍ ÚČINKY A ÚČINKY LUCUMY NA ZDRAVÍ.....	22
2.6 ANTIOXIDAČNÍ ÚČINKY	22
2.7 ZDRAVOTNÍ ÚČINKY	23
3 VYUŽITÍ LUCUMY V POTRAVINÁŘSTVÍ.....	25
3.1 POUŽITÍ LUCUMY V PEČENÍ.....	25
3.2 LUCUMA V NÁPOJÍCH A SMOOTHIES	26
3.3 DALŠÍ VYUŽITÍ LUCUMY JAKO PŘÍSADE.....	26
3.4 SKLADOVÁNÍ PRÁŠKU Z LUCUMY	27
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	28
4 CÍL PRÁCE	29
5 METODIKA PRÁCE.....	30
5.1 CHEMIKÁLIE.....	30
5.2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE A POMŮCKY.....	30
5.3 VZORKY LUCUMY.....	31
5.4 STANOVENÍ VLHKOSTI.....	33
5.5 EXTRAKCE POLYFENOLŮ	33
5.6 STANOVENÍ CELKOVÝCH POLYFENOLŮ	34

5.7	STANOVENÍ ANTIOXIDAČNÍ AKTIVITY METODOU S DPPH	34
5.8	STANOVENÍ ANTIOXIDAČNÍ AKTIVITY METODOU S ABTS	35
5.9	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ	36
6	VÝSLEDKY A DISKUZE	37
6.1	VÝSLEDKY STANOVENÍ SUŠINY	37
6.1.1	Diskuse	37
6.2	VÝSLEDKY STANOVENÍ CELKOVÝCH POLYFENOLŮ METODOU TPC	37
6.2.1	Diskuse	38
6.3	VÝSLEDKY STANOVENÍ ANTIOXIDAČNÍ AKTIVITY METODOU S DPPH	40
6.3.1	Diskuse	41
6.4	VÝSLEDKY STANOVENÍ ANTIOXIDAČNÍ AKTIVITY METODOU S ABTS	42
6.4.1	Diskuse	43
6.5	KORELACE MEZI ANTIOXIDAČNÍ AKTIVITOU A CELKOVÝM OBSAHEM POLYFENOLŮ	44
6.5.1	Korelace v metanolických extraktech	44
6.5.2	Korelace ve vodných extraktech	46
ZÁVĚR.....		48
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		49
SEZNAM OBRÁZKŮ		54
SEZNAM TABULEK.....		55
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		56
SEZNAM PŘÍLOH.....		57

ÚVOD

Tropické ovoce lucuma, často označované jako superpotravina, si v posledních letech získává oblibu díky svým unikátním vlastnostem a širokým možnostem využití [1]. Toto ovoce se vyznačuje vysokou výživovou hodnotou, nízkým glykemickým indexem a příjemnou chutí, což ji činí atraktivní pro současné trendy ve zdravé výživě [2].

V současné době roste zájem populace o kvalitní potraviny s pozitivními zdravotními přínosy. Pro svoji přirozenou sladkost je lucuma využívána jako zdravá přírodní alternativa sladidel. Toto ovoce se vyznačuje příjemnou karamelovou chutí, proto je prášek z lucumy často využíván v potravinářství, a to pro přípravu zmrzlin, koláčů, sušenek, polev, smoothie a dalších cukrářských a pekařských výrobků. Se zvyšujícím se výskytem civilizačních onemocnění, jako jsou diabetes a obezita je lucuma stále více přidávána také do nízkokalorických potravin [1; 2]. Dalším významným aspektem lucumy je její využití jako přírodní konzervační látky, a to díky obsahu fenolických sloučenin a antioxidantů, které se nacházejí zejména ve slupce, jež je často v průmyslu považována za odpad. Tyto bioaktivní látky se podílejí na eliminaci volných radikálů a přispívají k prevenci a léčbě některým typům rakoviny [3]. Jedná se zejména o fytosteroly, fenolové sloučeniny, včetně flavonoidů a kyseliny gallové, které mají prokázané protirakovinné účinky [1].

Mimo potravinářský průmysl lucuma nachází uplatnění i v kosmetice, kde se její protizánětlivé a antioxidační vlastnosti využívají při péči o pleť, například jako ochrana proti stárnutí pokožky a poškození UV zářením [3].

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CHARAKTERISTIKA LUCUMY

Lucuma je subtropické ovoce z čeledi zápotovitých (*Sapotaceae*) s velmi sladkou chutí, které se využívá v mlékárenství a pekařství pro výrobu zmrzlin a koláčů [3]. Toto ovoce má nasládlou chuť připomínající creme brulée. Zároveň se vyznačuje vůní, která připomíná karamel nebo sušené figy. Chuť lucumy může být velmi rozmanitá a závisí na tvaru a zralosti plodů [4]. Plod lucumy má v závislosti na odrůdě vejčitý nebo elipsovitý tvar (průměr 7,5 až 10 cm), a na povrchu má tenkou slupku [3]. Barva slupky u nezralého plodu je zelená nebo žlutozelená, ale při dozrávání získává hnědožlutou až červenou barvu. Uvnitř má plod sladkou, suchou, žlutooranžovou dužinu, navenek připomínající avokádo [5]. Uvnitř plodu bývá jedno (méně často dvě) velké, hladké, lesklé semeno oválného tvaru a tmavě hnědé barvy [6].

1.1 Popis rostliny

Jedná se o stálezelený strom s výškou 8 až 15 metrů. Rostlina je schopna se přizpůsobit drsným horským podmínkám. V některých případech může dorůst až 20 metrů. Kmen je rovný a silný, s průměrem do 50 cm [6]. Kůra stromu je hladká, s šedohnědým nádechem, s věkem může být kůra hrubší [5]. Koruna je široká, hustá, kulatá nebo kopulovitá. Rozvětvené větve vytvářejí hustou korunu, která poskytuje stín a pomáhá rostlině udržet vlhkost. Kořeny jsou rozvětvené a hluboké, což stromu pomáhá odolávat suchým obdobím a poskytuje přístup k vodě z hlubokých vrstev půdy. Tento kořenový systém pomáhá posílit rostlinu v obtížných horských podmínkách [5].

1.1.1 Listy

Listy lucumy jsou jednoduché, střídavé, kožovité a tvrdé. Mají oválně kopinatý tvar se špičatým koncem. Délka listu se pohybuje od 12 do 25 cm, šířka od 6 do 10 cm [6]. Horní povrch listu je tmavě zelený a lesklý. Spodní povrch je světlejší a matný. Mladé listy mají jasnější, světle zelený odstín. Zvláštností listů je, že jsou potaženy voskovým povlakem, který pomáhá chránit list před ztrátou vlhkosti a slunečním zářením [5].

1.1.2 Květy

Strom lucumy má malé květy o průměru asi 1–1,5 cm, bílé nebo krémové barvy. Květy mohou být uspořádány jednotlivě nebo shromážděny v malých květenstvích po 1–7 květech

v paždí listů [6]. Květy jsou oboupohlavné, což umožňuje rostlině opylovat se samostatně. Květy mají příjemnou nasládlou vůni, která přitahuje opylující hmyz [5].

1.2 Oblasti pěstování

Lucuma roste v tropických a subtropických oblastech v nadmořských výškách do 3000 m nad mořem a produkuje vysoce kvalitní ovoce v subtropických pobřežních oblastech [5]. Lucuma se pěstuje především v jihoamerických zemích, jako je Peru, Chile, Bolívie a Ekvádor. Tyto země nabízejí ideální klimatické podmínky pro růst rostliny.

Hlavním producentem lucumy je Peru a Chile. Zde se lucuma pěstuje, zejména v údolích řek Aconcagua a Elqui. Bolívie pěstuje lucumu v suchých oblastech v nadmořských výškách do 200 m. Zatímco Ekvádor pěstuje lucumu hlavně ve vysokohorských a přímořských oblastech.

Strom Lucumy přirozeně roste v údolích And, kde se roční srážky pohybují od 1000 do 1800 mm a průměrné teploty se pohybují od 20 do 22 °C. Nejvhodnější oblasti pro růst této dřeviny jsou oblasti v nadmořských výškách od 2700 do 3000 m, kde se nevyskytuje mráz. Strom nesnese teploty pod -5 °C, a pro úspěšnou tvorbu plodů je optimální teplota od 18 do 24 °C. Pro růst rostliny jsou nejprůzračnější hlinito-písčité půdy s vysokým obsahem organické hmoty. Rostlina má střední toleranci ke kyselosti a zásaditosti, optimální pH půdy se pohybuje mezi 6,5 a 7,5 [5]. Lucuma je dobře přizpůsobena suchým podmínkám a snese dlouhá období bez deště, aniž by vykazovala známky stresu. Pro optimální růst strom vyžaduje asi 800–1000 mm srážek ročně, nebo jejich ekvivalent ve formě umělé závlahy. Je také třeba zabránit nadměrné vlhkosti v půdě.

Při procesu zrání plodů lucumy se zvyšuje pH a celkový obsah rozpustných látek, přičemž mezi oběma fázemi zralosti jsou výrazné rozdíly. Jednou z klíčových chemických změn v této fázi je tvorba chuti, která souvisí s tvorbou těkavých sloučenin, jež se objevují s postupujícím zráním [7].

1.3 Sklizeň a výroba prášku z ovoce lucuma

Nejběžnějším a nejvhodnějším způsobem exportu lucumy je zpracování její dužiny na prášek, což umožňuje zachovat všechny nutriční vlastnosti ovoce. Získávání prášku z ovoce lucumy má několik důležitých fází.

Hlavní fáze získávání prášku:

- Sklizeň: Lucuma se sklízí, když plody dosáhnou plné zralosti. Tím je zajištěn maximální obsah živin v dužině [8]. V této fázi je důležité pečlivě vybírat zralé plody. Nedo zralé plody se po sklizni nechávají dozrávat po dobu 4–10 dnů [9]. Optimální teplotní rozmezí pro skladování je mezi 13 °C a 18 °C [4].
- Příprava a čištění: Po sběru se plody omyjí, oloupou a zbaví semen. Používá se pouze dužina ovoce, která obsahuje živiny a je zdrojem sladké chuti [4].
- Sušení: Sušení dužiny je klíčovým krokem v procesu získávání prášku. Existují dva hlavní způsoby sušení:
 - a. Přírozené sušení na slunci. Jedná se o tradiční metodu, při které se dužina rozprostírá na slunné plochy, dokud zcela nevyschne. Tato metoda šetrná k životnímu prostředí, vyžaduje delší dobu a může vést ke ztrátě kvality v důsledku oxidace, což ovlivňuje barvu a chuť produktu [4].
 - b. Mechanické sušení. K sušení lucumy se využívají také modernější techniky, jako je sušení mrazem (lyofilizace) a inovativní uzavřené systémy. Jednou z účinných metod je solární sušení v uzavřeném systému s kontrolovanou vlhkostí [10]. Lucuma se vysušuje při teplotě maximálně 60 °C, aby se zachovala chuť, barva a vůně [9].
- Mletí: Vysušená dužina se rozdrtí pomocí speciálních mlýnů na jemný prášek, aby se zachovalo maximální množství bioaktivních látek a organoleptických vlastností produktu [9]. Tento proces je důležitý pro získání jednotné textury prášku, který se následně prosévá, aby se odstranily velké částice [10].
- Balení: Hotový prášek se balí do uzavřených nádob nebo sáčků, které prášek chrání před vlhkostí a vnějšími vlivy. To pomáhá prodloužit trvanlivost a zachovat kvalitu produktu [11]. Pro výrobu 1 kg prášku je potřeba přibližně 5 kg čerstvého ovoce [4].

Existuje také novější metoda Foam-Mat Drying (sušení pomocí pěny), což je inovativní způsob sušení ovoce a zeleniny, který zahrnuje přeměnu ovoce na pěnu přidáním pěnivého činidla (např. vaječného bílku nebo sójových bílkovin) [12]. Tato pěna se následně suší při kontrolované teplotě, což pomáhá zachovat bioaktivní sloučeniny a nutriční hodnoty produktu [12]. Tento proces je efektivní, rychlý, levný a šetrný k zachování kvalitních složek, což jej činí perspektivním pro komerční výrobu prášků [12].

1.4 Historie

Ovocný strom *Lucuma* pochází z ekvádorských a peruánských And. Plody ovoce byly využívány především kulturou Inků, a tvořily důležitou součást v jejich základní stravě. Archeologické nálezy dokládají, že se rostlina pěstuje od starověku. Semena a plody lucumy byly objeveny na starověkých pohřebištích v Peru z doby kultury Chimu (X–XV století našeho letopočtu) [13]. Výzkumy ukazují, že lucuma byla důležitou součástí stravy nejen Inků, ale i dalších andských civilizací, jako jsou Nazkové a Mochikové [14]. Inkové, kteří vlastnili jednu z nejvyspělejších zemědělských civilizací na americkém kontinentu, lucumu aktivně pěstovali a zařazovali ji do svého každodenního života [13]. Plody se používaly čerstvé i sušené. V peruánské kultuře byla lucuma spojována s plodností a blahobytem, o čemž svědčí přítomnost obrazů tohoto ovoce na keramice a malbách starověkých andských národů [14]. Historie vzniku a šíření lucumy v Peru a sousedních zemích úzce souvisí s rozvojem kulturních a zemědělských praktik v předhispánském období.

Po španělské kolonizaci Jižní Ameriky v 16. století, kdy došlo k rozpadu incké říše, Evropané dávali přednost vývozu tropického ovoce, jako jsou banány a ananasy. O lucumě v jiných zemích se v té době vědělo jen málo [5; 15]. Lokálně však lucuma nadále zaujímal významné místo v peruánské kuchyni, zejména při přípravě dezertů a nápojů [8; 16]. Ve 20. století si lucuma znovu získala oblibu díky rostoucímu zájmu o superpotravinu, stala se tak nedílnou součástí peruánské gastronomie a exportovaným produktem do řady zemí [2].

2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ LUCUMY

Lucuma je považována za dobrý zdroj vlákniny, minerálních prvků (Fe, K, Ca, P), β -karotenu, fenolických látek a niacinu [8]. Nutriční hodnota ovoce lucumy se může mírně lišit v závislosti na odrůdě, zralosti, místě sběru a dalších klimatických podmínkách. Největší podíl v lucumě tvoří voda, a to až 72,3 g na 100 g. Lucuma dále obsahuje až 33,2 g sacharidů na 100 g a 2,3 g bílkovin na 100 g. Lucuma také obsahuje vlákninu až 1,1 g na 100 g a obsah tuku se pohybuje od 0,2 do 0,5 g na 100 g [8; 17]. Ovoce je také bohaté na některé minerální prvky a vitamíny, např. vápník (16 mg na 100 g), fosfor (26 mg na 100 g), železo (0,4 mg na 100 g), thiamin (0,01 mg na 100 g), riboflavin (0,14 mg na 100 g), niacin (1,96 mg na 100 g) a kyselinu askorbovou (2,2 až 5,4 mg na 100 g). Energetická hodnota lucumy je 143,8 kalorií na 100 gramů [8].

Vláknina v lucumě zlepšuje její texturu a díky své schopnosti absorbovat vodu podporuje trávení a zdraví střev. Rovněž může mít vliv na prodloužené uvolňování energie, protože zpomaluje vstřebávání sacharidů. Charakteristickou žluto-oranžovou barvu dodává lucumě β -karoten, který je jedním z klíčových karotenoidů. Ze sacharidů je v lucumě obsažena glukóza (8,4 g na 100 g), fruktóza (4,7 g na 100 g), sacharóza (1,7 g na 100 g) a inositol (0,06 g na 100 g) [8]. Vysoký obsah redukujících sacharidů, především fruktózy (10,3 g na 100 g) a glukózy (9,6 g na 100 g) byl rovněž stanoven studií Brizzolari et al. (2019). Tento vysoký obsah sacharidů může přispívat ke zvýšenému tepelnému poškození při výrobě nebo skladování produktů [18]. Nejedlé semínko je bohaté na polynenasycené mastné kyseliny a je využíváno v kosmetickém průmyslu, zejména pro regeneraci pokožky [17].

2.1 Vitamíny a minerální prvky

Lucuma obsahuje významné množství niacinu, který se podílí na energetickém metabolismu, oxidačních procesech a regulaci hladiny cholesterolu v krvi [19]. Mezi další důležité mikronutrienty nacházející se v lucumě patří vitamíny skupiny B (thiamin, riboflavin), vitamín A a C, které pomáhají posilovat imunitní systém a zlepšují stav pokožky. Lucuma také obsahuje poměrně významné množství draslíku, vápníku, fosforu a železa. Draslík je nezbytný pro normální kardiovaskulární funkci. Vápník a fosfor pomáhají posilovat kostní tkáň [20]. Železo v ovoci zlepšuje transport kyslíku v těle a podporuje enzymatické procesy [20].

2.2 Mastné kyseliny

Ve vědecké práci Garcia-Ríos et al. (2020), byly detekovány mastné kyseliny, které jsou znázorněny v Tabulce 1.

Tabulka 1 Obsah mastných kyselin v *Pouteria lucuma* (odrůda Seda)

Sloučeniny	Množství (% z celkového množství mastných kyselin)
Nasycené mastné kyseliny:	
Laurová (C12:0)	2,9
Miristová (C14:0)	6,6
Pentadekanová (C15:0)	5,4
Palmitová (C16:0)	23,4
Stearová (C18:0)	17,7
Nenasycené mastné kyseliny:	
Palmitolejová (C16:1)	1,9
Olejová (C18:1)	12,2
Linolová (C18:2)	2,9
α -linolenová (C18:3)	27

(zdroj: [23])

Z nasycených mastných kyselin byla naměřena nejvyšší koncentrace kyseliny palmitové, která tvořila 23 % všech mastných kyselin. Mezi nenasycenými mastnými kyselinami byla nejvíce zastoupena kyselina α -linolenová (ω -3), která tvořila 27 %.

V další studii Masullo et al. (2021) byla naměřena kyselina palmitová v množství přibližně 15–20 % z celkového množství mastných kyselin [3]. Tato studie dále uvádí, že kyselina linolová tvoří přibližně 23–26 % z celkového množství kyselin, což se liší od výsledku první vědecké studie Garcia-Ríos et al. (2020). Obsah mastných kyselin se může lišit v závislosti na odrůdě, původu, stupni zralosti a dalších faktorech [3].

2.3 Aromatické látky

V rámci studie Singh (2022) bylo analyzováno pomocí plynové chromatografie 12 vzorků prášku lucumy z různých zdrojů. V práci bylo identifikováno 37 aromatických látek, které tvoří aroma lucumy. Mezi hlavní identifikované aromatické látky patří látky s vůní okurky (benzyl nitril), ořechů (1-hexanol a 2,3-dimethyl-5-ethylpyrazin), mandlí (benzaldehyd), sladkého karamelu (butanal-3-methyl) a čerstvě posekané trávy (hexanal). Tyto a další chemické sloučeniny se podílejí až na 27 aromatických tónech [2]. Patří mezi ně také olejové, voskové a dokonce eukalyptové tóny. Některé vzorky se vyznačovaly rozdílnými koncentracemi klíčových aromatických těkavých látek, jako je benzaldehyd a hexanal, což vedlo k odlišným vůním včetně "hořkého" aroma [2].

Také Taiti et al. (2017) ve svém výzkumu identifikovaly estery, alkoholy a terpeny. Konkrétně například ethylbutanoát, ethylhexanoát (ovocné tóny), linalool (květinová vůně) a β -karyofylen (kořeněné a dřevité tóny) [21].

V rámci vědecké studie Inga et al. (2019) bylo identifikováno 16 aromatických látek, které jsou zodpovědné za sladké a žluklé tóny. Klíčovými sloučeninami, které dosud nebyly zmíněny, byly: 2,3-butandion, methionol, ocimen a kyselina 3-methylbutanová [7].

2.4 Karotenoidy

Karotenoidy jsou přírodní pigmenty, které patří do skupiny terpenoidů. Jsou zodpovědné za žluté, oranžové a červené zbarvení mnoha druhů ovoce a zeleniny. Karotenoidy mají také antioxidační vlastnosti, které pomáhají neutralizovat volné radikály v těle, a tím mohou přispívat k prevenci chronických onemocnění (srdeční choroby a některé typy rakoviny). Zahrnutí potravin bohatých na karotenoidy do stravy je spojováno se zlepšením zdraví a prevencí různých onemocnění. Karotenoidy obsažené v plodech lucumy zahrnují β -karoten, který je prekurzorem vitamínu A [22].

Yahia a Gutiérrez-Orozco (2011) uvádí celkový obsah karotenoidů v lucumě v rozmezí od 0,22 do 0,50 mg na g sušiny [8]. Složení se liší dle odrůdy, klimatických podmínek a dalších faktorů. To potvrzuje vědecká studie Garcia-Ríos et al. (2020), která poukázala na rozdíl celkového obsahu karotenoidů mezi odrůdami Beltrán (0,3 mg na g sušiny) a Seda (0,25 mg na g sušiny) [23].

Pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie byl naměřen obsah β -karotenu v rozmezí 4,0 až 13,1 μ g β -karotenu na g sušiny [24]. Studie uvádí, že většina karotenoidů

v lucumě tvoří xantofyly, jako je neoxanthin a lutein [24]. V menším množství jsou přítomny i další karotenoidy, jako lutein a zeaxantin, které mají antioxidační vlastnosti, avšak bez provitaminové aktivity [1].

2.5 Polyfenoly

Polyfenoly jsou sloučeniny s antioxidačními vlastnostmi, které se nacházejí převážně v rostlinách, kde mají klíčovou roli při ochraně rostlin před různými stresovými faktory a podílejí se také na dalších důležitých funkcích [25]. Polyfenolické sloučeniny obsahují více fenolových hydroxylových skupin na aromatickém jádře [25]. Studie Fuentealba et al. (2016) uvádí celkový obsah polyfenolů 45,3–61,6 mg na g sušiny [24]. Polyfenoly můžeme klasifikovat do několika skupin. Nejčastěji je můžeme dělit na flavonoidy a fenolové kyseliny. Dále jsou zde přítomny kumariny, lignany a taniny. V lucumě jsou hojně zastoupeny především flavonoidy a fenolové kyseliny. Obsah těchto látek se může lišit způsobem zpracování ovoce. Bylo zjištěno, že čerstvé ovoce obsahuje více fenolických sloučenin (11,4 mg/g) ve srovnání s práškem (5,5 mg/g) [4]. Mezi hlavní vlastnosti polyfenolů je eliminace volných radikálů, proto patří mezi nejsilnější přírodní antioxidanty. Lucuma obsahuje polyfenolické sloučeniny, jako jsou katechiny, epikatechiny a kyselina chlorogenová [3].

2.5.1 Flavonoidy

Flavonoidy jsou polycyklické sloučeniny, které se skládají ze dvou aromatických kruhů a kyslíku [26]. Flavonoidy jsou jednou z nejrozšířenějších skupin polyfenolů v lucumě. Mezi ně patří dihydroflavonolové glykosidy, katechiny, epikatechiny a další polyfenolické antioxidanty. Flavonoidy se dělí do několika podskupin, mezi které patří flavonoly (např. myricetin a kvercetin), flavan-3-oly (jako katechiny a epikatechiny) a dihydroflavonoly [3]. K těmto zahrnujeme také dihydroflavonolové glykosidy a další polyfenolické antioxidanty, které přispívají k celkovým antioxidačním vlastnostem lucumy [24]. Ve studii Masullo et al. (2021) prováděli podrobné analýzy pomocí kapalinové chromatografie a spektrometrie. Detekovali přítomnost fenolických a flavonoidních sloučenin, včetně katechinů a taxifolinu. Výsledky naznačují, že extrakty z dužiny a slupky mají vysoký obsah fenolických sloučenin a vykazují významnou antioxidační aktivitu. Flavonoidy, jako je taxifolin, jsou známy svými protizánětlivými účinky a schopností chránit buňky před poškozením způsobeným volnými radikály [3].

2.5.2 Fenolové kyseliny a třísloviny

Třísloviny, neboli taniny, jsou další důležitou skupinou fenolických sloučenin přítomných v lucumě [24]. Jsou známy svou schopností vázat bílkoviny, což jim dodává svíravou chuť. Struktura taninů umožňuje jejich interakci s proteiny a polysacharidy, což z nich činí silné látky pro tvorbu nerozpustných komplexů [26]. Podle studie Yahia a Guttierrez-orocho (2011) jsou z fenolových kyselin v lucumě nejvíce zastoupeny kyselina chlorogenová a kyselina kávová [8]. Na základě další studie, kterou provedli Masullo et al. (2021) byla v dužině lucumy zjištěna řada fenolických kyselin. Mezi nimi nejvýznamnější je kyselina gallová, kyselina *p*-kumarová, kyselina *p*-ferulová a kyselina resveratrolová [3].

ANTIOXIDAČNÍ ÚČINKY A ÚČINKY LUCUMY NA ZDRAVÍ

2.6 Antioxidační účinky

Lucuma vykazuje vysoké antioxidační účinky. Mezi antioxidační látky v lucumě patří především fenolické sloučeniny a karotenoidy.

Polyfenolické sloučeniny obsažené v lucumě pomáhají neutralizovat volné radikály v těle a mohou snížit riziko rozvoje chronických onemocnění, jako je rakovina a kardiovaskulární onemocnění [27]. Volné radikály jsou nestabilní molekuly, které mohou způsobit oxidační stres, což vede k poškození buněčných membrán, proteinů a DNA. Vysoká hladina antioxidantů v lucumě umožňuje aktivně snižovat hladinu oxidačního stresu v těle, což pomáhá zpomalovat proces stárnutí a zároveň může přispívat ke zlepšení funkce imunitního systému [28]. Antioxidanty a mastné kyseliny obsažené také v oleji ze semen lucumy mohou podpořit zdraví pokožky tím, že urychlují regeneraci buněk, přispívají k hojení ran a obnově kožní bariéry pokožky [30]. Díky těmto vlastnostem může být lucuma užitečnou složkou v kosmetickém průmyslu, zejména v produktech zaměřených na regeneraci a péči o pokožku [29].

Fenolové kyseliny se také podílejí na ochraně těla před záněty, mají detoxikační účinek a pomáhají odstraňovat toxiny z těla. Kyselina chlorogenová se rovněž podílí na regulaci hladiny krevního cukru tím, že zpomaluje vstřebávání glukózy ve střevě. Kyselina kávová je považována za silný antioxidant a může přispívat k prevenci zánětů a rozvoji chronických onemocnění [30]. Taniny jsou schopny vázat proteiny, což pomáhá v boji proti patogenům a zároveň podporuje proces trávení. Taniny v lucumě mohou mít rovněž protizánětlivé a protirakovinné účinky, což zvyšuje její potenciál jako funkční potraviny pro prevenci nemocí [31].

Karotenoidy obsažené v lucumě chrání buňky před volnými radikály, čímž pomáhají předcházet chronickým onemocněním, jako jsou srdeční choroby a rakovina [22]. β -karoten obsažený v lucumě se navíc v těle mění na vitamín A, což podporuje zdraví zraku a imunitního systému [22]. Studie prokázaly jeho schopnost předcházet rakovině plic a eliminovat velikost nádorů [16].

Dalšími důležitými antioxidanty rozpustnými v tucích jsou tokoferoly, zejména α -tokoferol (forma vitamínu E). V odrůdě Seda je obsah α -tokoferolu 5,9 mg/100 g sušiny, což je více než v některých druzích ovoce, např. v banánu nebo jablku. Tokoferoly pomáhají

chránit buňky před poškozením volnými radikály a mohou přispívat k prevenci kardiovaskulárních onemocnění a zánětů [1].

Celková antioxidační aktivita lucumy byla analyzována ve vědecké práci Garcia-Rios et al. (2020) pomocí metod s ABTS a DPPH, které hodnotí schopnost neutralizovat volné radikály u dvou odrůd lucumy. Metoda s ABTS prokázala vyšší antioxidační kapacitu odrůdy Beltrán ve srovnání s odrůdou Seda, a to jak v hydrofilní (ve vodě rozpustné) frakci, tak v lipofilní (v tucích rozpustné) frakci. Hydrofilní antioxidační kapacita byla 19,3 μmol na g sušiny u odrůdy Beltrán a 17,3 μmol na g sušiny u odrůdy Seda, zatímco lipofilní kapacita byla 8,7 μmol na g sušiny u odrůdy Beltrán a 7,4 μmol na g sušiny u odrůdy Seda. Lipofilní frakce tvoří asi 30 % celkové antioxidační kapacity, což je v porovnání s ostatními ovocnými odrůdami vysoká hodnota [23].

2.7 Zdravotní účinky

Díky nízkému glykemickému indexu, je lucuma zvláště prospěšná pro osoby s cukrovkou nebo pro ty, kteří si chtějí kontrolovat hladinu cukru v krvi [32].

Vzhledem k tomu, že lucuma je důležitým zdrojem železa, pomáhá tvořit červené krvinky a zabraňuje anémii [32]. Vápník je zásadní pro vývoj a udržení silných kostí a zubů. Obsah draslíku pomáhá regulovat krevní tlak [33]. Další minerální prvky, jako je sodík, hořčík a fosfor, jsou nezbytné pro udržení zdraví srdce a metabolické funkce [34].

Vláknina v lucumě napomáhá trávení, a podporuje tvorbu prospěšných bakterií ve střevech [32].

Zahrnutí lucumy do každodenní stravy může zlepšit celkové zdraví tím, že poskytne důležité živiny, které podpoří fyziologické funkce [35]. Konzumace lucumy se může podílet na snížení rizika kardiovaskulárních onemocnění, rakoviny, osteoporózy a poruch imunitního systému [23].

Lucuma má také schopnost hojit rány, což je další z jejích zdravích prospěšných účinků. Studie prokázaly, že výtažky z lucumy mohou podpořit regeneraci kožních buněk a urychlit hojení ran. Tento účinek je pravděpodobně způsoben obsahem bioaktivních látek, jako jsou fenolické sloučeniny a karotenoidy, které mají antioxidační a protizánětlivé vlastnosti. Tyto látky mohou pomáhat snižovat zánět a stimulovat regeneraci tkání, což podporuje rychlejší hojení ran [4].

Lucuma obsahuje řadu bioaktivních látek, které mohou pomoci při prevenci a léčbě rakoviny. Nejdůležitější z nich jsou fytosteroly, jako je β -sitosterol, a fenolové sloučeniny, včetně flavonoidů a kyseliny gallové, které mají prokázané protirakovinné účinky [1]. β -sitosterol, který je v lucumě nejvíce zastoupen, pomáhá snižovat hladinu LDL cholesterolu v krvi tím, že omezuje jeho vstřebávání v zažívacím traktu. Tento efekt je velmi přínosný pro zdraví srdce a cév, protože napomáhá předcházet vzniku aterosklerózy a dalších kardiovaskulárních onemocnění. Navíc β -sitosterol vykazuje protizánětlivé a protinádorové účinky, což z něj činí důležitou složku pro podporu celkového zdraví. β -sitosterol může omezovat růst rakovinných buněk. Studie ukazují, že β -sitosterol zpomaluje tvorbu nových cév (angiogenezi), které vyživují nádory, a také podporuje apoptózu, tj. přirozenou smrt rakovinných buněk. Tato látka působí pouze na rakovinné buňky a nepoškozuje zdravé buňky, což z ní činí slibný přírodní protinádorovou látku. Mezi další fytosterol se řadí cykloartenol. Tento fytosterol přispívá k antioxidační aktivitě, chrání buňky před působením volných radikálů a podporuje kardiovaskulární zdraví [1].

Kyselina gallová působí jako silný antioxidant a má toxický účinek na rakovinné buňky. Flavonoidy chrání buňky před poškozením volnými radikály, které jsou jedním z klíčových faktorů vzniku rakoviny. Kombinace těchto látek činí z lucumy slibný přírodní antikarcinogen, který může podporovat zdravé buňky a pomáhat v boji proti rakovině. Pravidelná konzumace lucumy může být přirozeným přístupem k prevenci rakoviny a udržení zdravého buněčného prostředí [1].

Lucuma vykazuje antihyperglykemický účinek, což pomáhá regulovat hladinu cukru v krvi. Inhibicí enzymů alfa-glukosidázy a alfa-amylyázy lucuma zpomaluje vstřebávání glukózy do krve. To přispívá k nižší a stabilnější hladině cukru v krvi po jídle, což je prospěšné pro diabetiky a osoby ohrožené vznikem diabetu 2. typu. Tato vlastnost je výraznější u nezralých plodů lucumy, kde je hladina účinných látek vyšší [24].

3 VYUŽITÍ LUCUMY V POTRAVINÁŘSTVÍ

Lucuma dodává potravinám sladkou chuť a zároveň je zdravou přírodní alternativou sladidel [37]. Toto potvrzuje vědecká studie Garcia-Ríos et al. (2020), která uvádí, že lucuma má přirozenou sladkost (fruktóza a glukóza) a vysoký obsah vlákniny (24,2 %). Prášek z lucumy proto může být v potravinářském průmyslu, zejména v mlékárenském a pekařském, používán jako přírodní sladidlo, které může potenciálně nahradit rafinovaný cukr v potravinách [23]. Výhoda lucumy spočívá kromě její sladivé funkce také v tom, že neprochází procesem rafinace, který je nutný u běžných cukrů, což spotřebiteli umožňuje získat více živin a bioaktivních složek [1].

V gastronomii a v potravinářství patří mezi nejběžnější odrůdy ‚Seda‘ a ‚Palo‘ [8]. Ta první se kvůli vyššímu obsahu vody konzumuje hlavně čerstvá, zatímco ta druhá se používá k výrobě zmrzliny. Dužina je využívána pro výrobu zavařenin nebo se používá pro přípravu zmrzliny, která je oblíbená zejména v Peru [3; 8]. Zmrzlina z lucumy je mimo Jižní Ameriku málo známá. Přídavek prášku z lucumy do zmrzliny dodá nejen chuť, vůni, ale i řadu zdraví prospěšných látek [2]. Dále je lucuma využívána pro výrobu jogurtů, dezertů nebo pekařských výrobků, například do pečiva a jako náplň do sušenek [3].

3.1 Použití lucumy v pečení

Chuť lucumy s karamelovými a javorovými tóny činí ideální přísadu do mnoha pečených pokrmů [3]. Lucuma se často používá ve formě prášku, který se snadno míchá do těsta nebo krémů. Prášek z lucumy lze přidat do těsta na koláče, sušenky, muffiny či chléb. Jeho nasládlá chuť dodá pečivu bohatší a komplexnější chuťový profil. Navíc dodává pečivu jemný nádech žluté barvy, což může obzvlášť vyniknout například u světlých druhů pečiva. Kromě klasického těsta lze lucumu přimíchat i do náplní, polev nebo různých krémů, čímž se zvýší jejich nutriční hodnota [36].

Ve vědecké studii Durakova et al. (2021) byly vyrobeny sušenky s moukou lucumy, jako zdravá verze pečiva, která by byla vhodná pro osoby s cukrovkou a pro dietní účely. Výsledky analýzy ukázaly, že sušenky obsahovaly 5,5 % bílkovin, 1,65 % tuku a 63,86 % sacharidů. Celkový obsah vlákniny činil 19,58 %, z toho 3,15 % tvořila rozpustná vláknina a 16,43 % nerozpustná vláknina. Ve studii byla také potvrzena přítomnost antioxidantů, které přispívají ke zdravotním benefitům výrobku a také nebyla zjištěna žádná patogenní mikrobiální kontaminace. Výsledky ukázaly, že konzumace sušenek neměla žádný nepříznivý vliv na glykémii a lipidový profil účastníků studie. Proto jsou sušenky z mouky

lucumy díky nízkému glykemickému indexu a vysokému obsahu vlákniny zdravou alternativou pro diabetiky a osoby, kteří dbají na své zdraví [37].

3.2 Lucuma v nápojích a smoothies

Jedním ze způsobů, jak využít lucumu, je její přidání do nápojů a smoothies [38]. Tento zlatavý prášek dodává těmto nápojům nejen lahodnou a jedinečnou chuť, ale také řadu cenných nutrientů [36]. Lucuma má přirozeně sladkou, jemně karamelovou chuť, která se skvěle hodí do různých druhů koktejlů, džusů nebo mléčných nápojů [38].

Při přípravě smoothies lze lucumu kombinovat s různým ovocem, jako jsou banány, jahody, borůvky či mango, aby vznikly harmonické a nutričně vyvážené směsi [36]. Přidání lucumy do smoothies také zvyšuje jejich energetickou hodnotu, což je výhodné například pro sportovce nebo osoby s vyšší fyzickou zátěží [38].

Z lucumy se také vyrábí víno, které má jedinečné vlastnosti a potenciální zdravotní účinky. Tmavě žlutá dužina lucumy je bohatá na karotenoidy, vitamíny, minerální látky a antioxidanty, takže je vhodnou surovinou pro výrobu vína. Víno z lucumy má několik výhod, zejména je to výživová hodnota. Toto víno je také přirozeně sladké, což je dáno sladivostí samotné lucumy, proto při výrobě vína není třeba přidávat velké množství cukru. Další výhodou tohoto vína je vysoký obsah antioxidantů, které jsou zdraví prospěšné. Nevýhodou je složitá výroba vína, která vyžaduje přesnou kontrolu podmínek kvašení, aby se dosáhlo optimální chuti a kvality. Nedostupnost lucumy v některých zemích může zvyšovat cenu vína a omezovat jeho výrobu [39].

3.3 Další využití lucumy jako přísady

Lucuma se díky své jemné sladkosti a nutriční hodnotě často používá v dětské výživě jako přírodní ochucovadlo [36]. Prášek z lucumy je oblíbený také v jogurtech, kterým dodává jedinečnou chuť a navíc vlákninu [3]. V kombinaci s čokoládou vytváří karamelově sladký chuťový profil. Lucuma se často přidává i do energetických tyčinek nebo cereálií, kde zvyšuje nutriční hodnotu a přináší delší pocit energie a sytosti díky nízkému glykemickému indexu [38].

Díky přítomnosti karotenoidů s jasně žlutým až oranžovým odstínem může být lucuma využita jako přírodní barvivo v potravinách, a to zejména v produktech, kde je žádoucí přírodní, sytě žlutá barva [23].

3.4 Skladování prášku z lucumy

Vědecké studie Durakova et al. (2019), se zaměřila na skladování prášku z lucumy za dvou různých experimentálních podmínek. V první části byla lucuma skladována při teplotě 18–25 °C a vlhkosti 45–55 % po dobu tří měsíců. Vlhkost se během této doby zvýšila z 9,71 % na 11,35 %, což bylo způsobeno obalem. Nebyly zjištěny žádné patogenní mikroorganismy. V druhé části experimentu byl prášek z lucumy vysušen na vlhkost 2,95 % a skladován po dobu šesti měsíců. Vlhkost vzrostla na 10,0 %, opět kvůli obalu. Prášek zůstal mikrobiologicky bezpečný po celou dobu. Výsledky ukázaly, že prášek z lucumy lze skladovat po dobu tří až šesti měsíců, pokud jsou použity kvalitní bariérové obaly. Tyto obaly jsou nezbytné pro udržení nízké vlhkosti a zachování mikrobiální bezpečnosti prášku z lucumy. V obou případech nebyla zjištěna také žádná mikrobiální kontaminace, což naznačuje, že prášek z lucumy zůstává stabilní a bezpečný při správném skladování [11].

Pro delší a bezpečnější skladování prášku lucumy se doporučuje snížit aktivitu vody (a_w) a kyselost (pH), což zabraňuje růstu mikroorganismů a zajišťuje stabilitu produktu [40]. Výzkum Cisneroset et al. (2023) ukázal, že snížení a_w na 0,92 a úprava pH na 4,7 nebo nižší výrazně omezuje růst kvasinek a dalších mikroorganismů. Tento proces chrání prášek před mikrobiální kontaminací a zachovává také jeho senzorické vlastnosti, které jsou důležité zejména pro jeho chuť a barvu. Skladování v chladničce (7–8 °C) dále prodlužuje trvanlivost výrobku, protože nízká teplota zpomaluje růst mikroorganismů. Studie navíc potvrdila, že kombinace nízké aktivity vody a snížení pH má účinnější efekt, což umožňuje zachovat mikrobiologickou stabilitu prášku lucumy a zabránit ztrátě jeho nutričních a chuťových vlastností. Při skladování prášku z lucumy při pokojové teplotě by mohl prášek po několika dnech vykazovat známky fermentace, což se projevuje uvolňováním plynů a alkoholovou vůní [40]. Výhodou úpravy lucumy na prášek je jeho snadná přeprava, skladování a praktické využití [4].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce bylo připravit dva typy extraktů z prášku lucumy a následně stanovit obsah celkových polyfenolů (TPC) a antioxidační aktivitu (AOA) pomocí spektrofotometrických metod, konkrétně metodou Folin-Ciocalteu pro stanovení TPC a metodami s DPPH a ABTS pro měření AOA. Dále bylo cílem zpracovat získaná data a provést korelační analýzu mezi obsahem polyfenolů a antioxidační aktivitou.

5 METODIKA PRÁCE

5.1 Chemikálie

- Redestilovaná voda
- NaOH (Ing. Petr Švec, Penta, Česká republika)
- HCl (Ing. Petr Švec, Penta, Česká republika)
- Methanol (Ing. Petr Švec, Penta, Česká republika)
- Na₂CO₃ (Ing. Petr Švec, Penta, Česká republika)
- CH₃COOH (Ing. Petr Švec, Penta, Česká republika)
- CH₃COONa (Ing. Petr Švec, Penta, Česká republika)
- Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-karboxylová kyselina)
(Sigma Aldrich, Německo)
- Folin-Ciocalteu činidlo (Sigma Aldrich, Německo)
- ABTS (2,2'-azinobis-(3ethyl-2,3dihydrobenzothiazol-6-sulfonová kyselina))
(Sigma Aldrich, Německo)
- DPPH (2,2-difenyl-1-pikrylhydrazyl) (Sigma Aldrich, Německo)
- K₂S₂O₈ (Ing. Petr Švec, Penta, Česká republika)
- Standard kyseliny gallové (Sigma Aldrich, Německo)

5.2 Použité přístroje a pomůcky

- Analytické váhy Voyager PRO VP214C (Ohaus corporation Ltd., USA)
- Sušárna Venticell (BMT, Česká republika)
- Vortex V-1 plus (Biosan, ČR)
- Ultrazvuková lázeň PS 0400 A (Notus-Powersonic s.r.o., SR)
- Spektrofotometr SPECORD 210 Plus (Analytik Jena AG, Jena, Německo)

- Odstředivka EBA 20 (Hettich Zentrifugen GmbH, Německo)
- Běžné laboratorní sklo
- Pasteurová pipeta
- Laboratorní mikropipety

5.3 Vzorky lucumy

Pro experimentální práci bylo vybráno celkem šest vzorků lucumy, které byly zakoupeny z obchodní sítě. Z toho byly čtyři vzorky v kvalitě BIO. Jednotlivá balení měla rozdílnou hmotnost (Tabulka 2). Vzorky byly baleny v plastových, kartonových a plechových obalech. Ihned po zakoupení a po provedení vybraných analýz byly vzorky uchovány v původních obalech v klimatizované laboratoři při 23 °C.

Tabulka 2 Vlastnosti vzorků prášků z lucumy

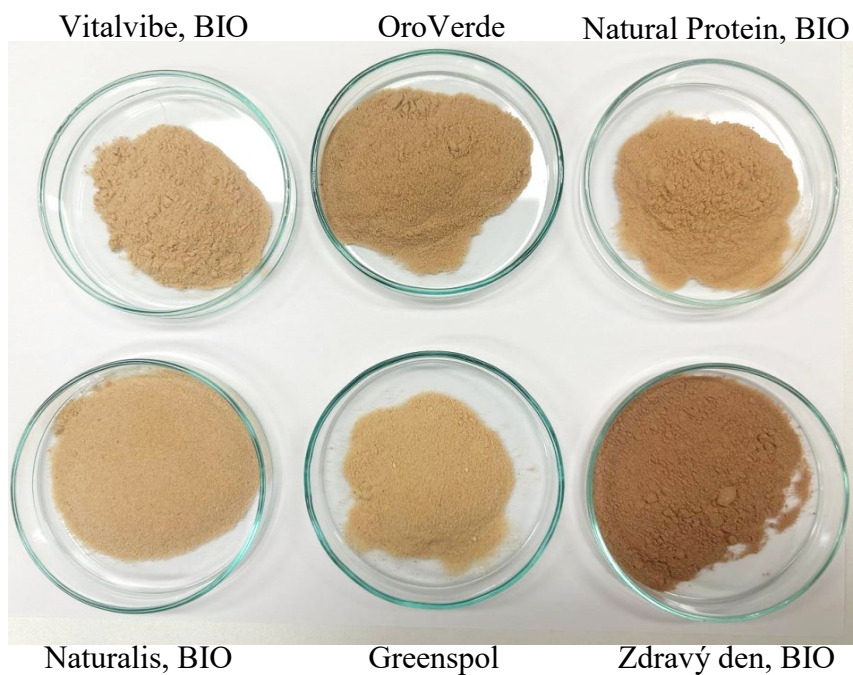
Č. Vzorku	Název	BIO kvalita	Země původu	Hmotnost balení v gramech
1	Lucuma Bio, Vitalvibe	Ano	Peru	125
2	Lucuma Bio, Natural Protein	Ano	Peru	130
3	Lucuma Bio, Naturalis	Ano	Peru	100
4	Lucuma Bio, Zdravý den	Ano	Peru	200
5	Lucuma, Greenspol	Ne	Peru	250
6	Lucuma, OroVerde	Ne	Peru	250

(zdroj: vlastní)



Obrázek 1 Všechny vybrané vzorky prášku lucumy

(zdroj: vlastní)



Obrázek 2 Přehled vzorků prášků

(zdroj: vlastní)

5.4 Stanovení vlhkosti

Každý vzorek lucumy o hmotnosti 1 g (s přesností na 0,1 gramu) byl navážen do předem vysušených a zvážených hliníkových misek. U každého vzorku bylo reprezentativní množství naváženo 3x. Vzorky byly následně sušeny v sušárně při teplotě 105 °C do konstantního úbytku hmotnosti. Poté byly vzorky přemístěny do exsikátoru. Po jejich vychladnutí byly vzorky zváženy na analytických vahách s přesností na 0,1 mg. Postup byl proveden dle normy ČSN 2173 (560292) [41]. Pro výpočet obsahu vlhkosti a sušiny byly použity následující vzorce 1 a 2:

$$\text{Výpočet vlhkosti [\%]: } V = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (1)$$

kde:

m_0 – hmotnost vysušené prázdné misky s víčkem [g],

m_1 – hmotnost misky s víčkem s naváženým vzorkem před vysušením [g],

m_2 – hmotnost misky s víčkem se vzorkem po vysušení [g].

$$\text{Výpočet sušiny [\%]: } S = 100 - V \quad (2)$$

V – vlhkost,

S – sušina [%].

5.5 Extrakce polyfenolů

Do tmavých lékovek bylo od každého vzorku lucumy naváženo po 0,5 g s přesností na 0,1 mg. Ke každé navážce bylo přidáno 20 ml extrakčního činidla, buď 80% methanolu, nebo redestilované vody, v závislosti na druhu extrakce. Následná extrakce probíhala za použití ultrazvukové lázně při teplotě 40 °C po dobu 1 hodiny. Po extrakci vykazovaly všechny vzorky zakalení, proto byly extrakty odstředěny při 22 300 ×g po dobu 10 minut. Supernatanty byly slity do Eppendorfových zkumavek. Takto připravené extrakty byly dále použity pro následné analýzy (stanovení celkového obsah polyfenolů a antioxidačních aktivit).

5.6 Stanovení celkových polyfenolů

Stanovení obsahu celkových polyfenolů bylo provedeno metodou s použitím Folin-Ciocalteuova činidla, která využívá schopnost fenolických látek redukovat směs kyseliny fosfowolframové a fosfomolybdenové na modré oxidy. Tato reakce je úměrná množství polyfenolů ve vzorku a intenzita zabarvení se měří spektrofotometricky při vlnové délce 765 nm. Polyfenolické látky jsou významné antioxidanty, které rostliny syntetizují jako sekundární metabolity na ochranu proti patogenům, UV záření a jiným stresovým faktorům. Celkový obsah polyfenolů byl vyjádřen jako ekvivalent kyseliny gallové.

Do odměrné baňky o objemu 10 ml bylo přidáno 5 ml destilované vody, následně 0,5 ml vzorku (vodný nebo methanolický extrakt), 0,5 ml Folin-Ciocalteuova činidla a 1,5 ml 20% roztoku Na_2CO_3 . Objem byl doplněn destilovanou vodou po rysku, směs byla důkladně promíchána a ponechána inkubovat 30 minut při laboratorní teplotě. Poté byla absorbance měřena spektrofotometrem SPECORD 210 Plus při vlnové délce 765 nm. Jako blank byla použita destilovaná voda. Methanolické extrakty byly přefiltrovány pomocí nylonového syring filtru o průměru 0,22 μm , zatímco vodné extrakty nebylo třeba filtrovat. Každý vzorek byl měřen ve dvojitém provedení.

Pro sestavení kalibrační křivky byly použity standardní roztoky kyseliny gallové. Byly připraveny koncentrace 50, 100, 200, 400, 600 a 800 mg/l ze zásobního roztoku o koncentraci 4000 mg/l, který vznikl rozpuštěním 0,4 g kyseliny gallové ve 100 ml methanolu. Jednotlivé koncentrace byly připraveny přesným ředěním zásobního roztoku methanolem. Z naměřených hodnot byl celkový obsah polyfenolů ve vzorku vypočítán pomocí lineární regrese a byl vyjádřen jako ekvivalentní množství mg kyseliny gallové v 1 g vzorku.

5.7 Stanovení antioxidační aktivity metodou s DPPH

Metoda s DPPH hodnotí antioxidační aktivitu na základě reakce antioxidantů s volným radikálem DPPH, který v barevné formě absorbuje při 515 nm. Antioxidanty redukují DPPH, což se projeví odbarvením roztoku.

Nejprve byl připraven zásobní roztok DPPH rozpuštěním 0,024 g DPPH ve 100 ml metanolu. Poté byl pracovní roztok získán smícháním 10 ml zásobního roztoku s 45 ml metanolu. Pracovní roztok byl spektrofotometricky proměřen proti metanolu (blanku) při vlnové délce 515 nm, aby byla stanovena jeho počáteční absorbance. Do zkumavky byly

napipetovány 4 ml pracovního roztoku DPPH a 225 μ l extraktu vzorku. Zkumavky byly protřepány a po hodinové inkubaci ve tmě byla změřena jejich absorbance při 517 nm. Úbytek absorbance byl přepočítán na % inaktivace.

K vytvoření kalibrační křivky byl použit standart troloxu o koncentracích 40, 80, 120, 160 a 200 mg/l. Tyto roztoky byly spektrofotometricky proměřeny stejně jako vzorky. Podle vzorce 3 byl následný úbytek absorbance přepočten na % inaktivace. Za pomoci rovnice lineární regrese byla % inaktivace přepočítána na ekvivalentní množství troloxu (mg TE/g).

$$\text{Inaktivace [\%]}: \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad (3)$$

kde:

A_0 – absorbance pracovního roztoku,

A_1 – absorbance vzorku.

5.8 Stanovení antioxidační aktivity metodou s ABTS

Metoda s ABTS hodnotí antioxidační aktivitu na základě reakce antioxidantů s radikálem $\text{ABTS}^{\bullet+}$, který absorbuje světlo při 734 nm. Antioxidanty reagují s radikálem $\text{ABTS}^{\bullet+}$ a způsobují jeho redukci, což se projeví snížením intenzity absorbance roztoku.

Pro přípravu radikálu $\text{ABTS}^{\bullet+}$ bylo naváženo 0,045 g ABTS do 25 ml odměrné baňky, která byla doplněna destilovanou vodou po rysku. K tomuto roztoku bylo přidáno 0,2 ml roztoku peroxodisíranu draselného (o koncentraci 0,06 mol/dm⁻³, připraveného rozpuštěním 0,162 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ve 10 ml destilované vody). Reakční směs byla ponechána po dobu 16 hodin při laboratorní teplotě ve tmě, aby došlo ke generování radikálu $\text{ABTS}^{\bullet+}$.

Octanový pufr o pH 4,3 byl připraven smícháním 63,5 ml 0,2 mol/dm⁻³ CH_3COONa (octan sodný) a 136,5 ml 0,2 mol/dm⁻³ CH_3COOH (kyselina octová). Následně bylo smícháno 97,5 ml pufru s 2,5 ml ABTS radikálu za vzniku reakční směsi. Tato směs byla spektrofotometricky měřena proti pufru (blank) při vlnové délce 734 nm, aby byla stanovena hodnota absorbance. Tato hodnota sloužila jako výchozí pro výpočet úbytku absorbance.

Do odměrné baňky byly napipetovány 4 ml připravené reakční směsi a přidáno 50 μ l extraktu vzorku. Směs byla ponechána 30 minut ve tmě. Po uplynutí této doby byla změřena

absorbance na spektrofotometru při 734 nm. Úbytek absorbance byl vypočítán podle rovnice 3 (viz výše).

5.9 Statistické vyhodnocení

Získané výsledky z experimentální práce byly vyhodnoceny s využitím parametrického testu. K porovnání středních hodnot dvou nezávislých souborů byl zvolen Studentův t-test při hladině významnosti 0,05.

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

6.1 Výsledky stanovení sušiny

Tabulka 3 Výsledky stanovení sušiny

Vzorek	1	2	3	4	5	6
Sušina [%]	94,4± 0,04 ^a	92,6± 0,09 ^b	91,9± 0,10 ^c	96,3± 0,07 ^d	92,3± 0,09 ^e	92,3± 0,08 ^e

(zdroj: vlastní)

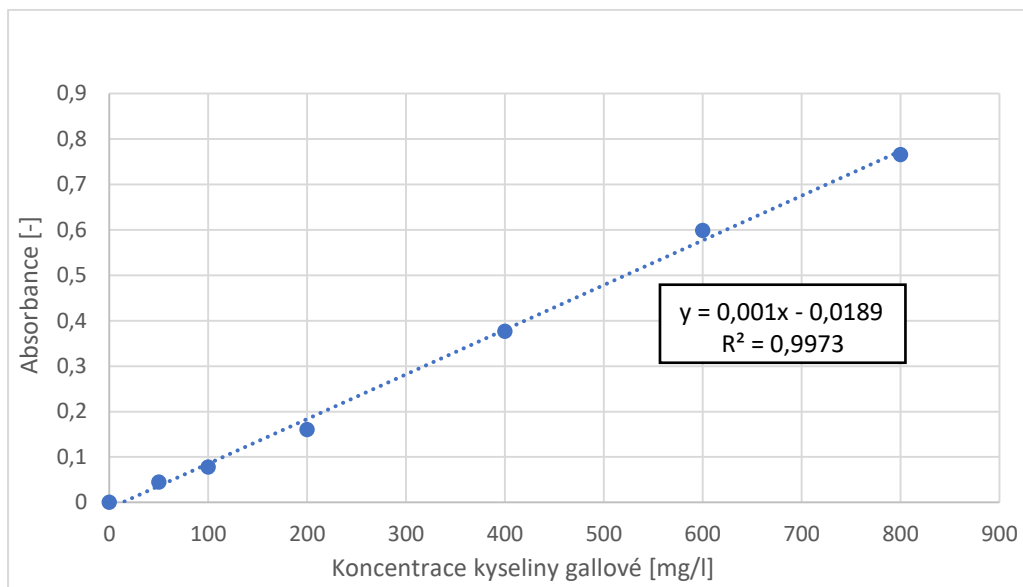
6.1.1 Diskuse

Výsledky stanovení obsahu sušiny jsou prezentovány v Tabulce 3. Obsah sušiny se u vzorků pohyboval v rozmezí od 91,9 do 96,3 %. Dle vyhlášky 397/2021 Sb. by měla sušina sušeného ovoce činit minimálně 70 % [42]. Z tabulky můžeme vidět, že všechny obsahy sušiny byly vyšší než výše uvedený limit. Nejvyšší obsah sušiny měl vzorek č. 4 (96,3 %) a vzorek č. 1 (94,4 %). Naopak nejnižší obsah sušiny měl vzorek č. 3 (91,9 %).

Definice sušeného ovoce dle vyhlášky 397/2021 Sb, je ovoce konzervované sušením bez použití přírodních sladidel. Sušené ovoce by se mělo skladovat při relativní vlhkosti vzduchu nejvýše 70 %. Obsah sušiny je významný parametr, který by mohl ovlivnit údržnost sušeného ovoce. Dle Burakova et al. (2019) může být prášek z lucumy skladován až 6 měsíců. Ve své studii uvádí, že během této doby nebyly v analyzovaných vzorcích zjištěny patogenní organismy a plísně. Nízký obsah vlhkosti v našich analyzovaných vzorcích naznačuje, že tyto produkty mohou být při delším skladování stabilnější a také méně náchylné k mikrobiálnímu rozkladu, což může být výhodou při komerčním použití. Vyšší obsah sušiny poukazuje na vyšší obsah nutričních látek.

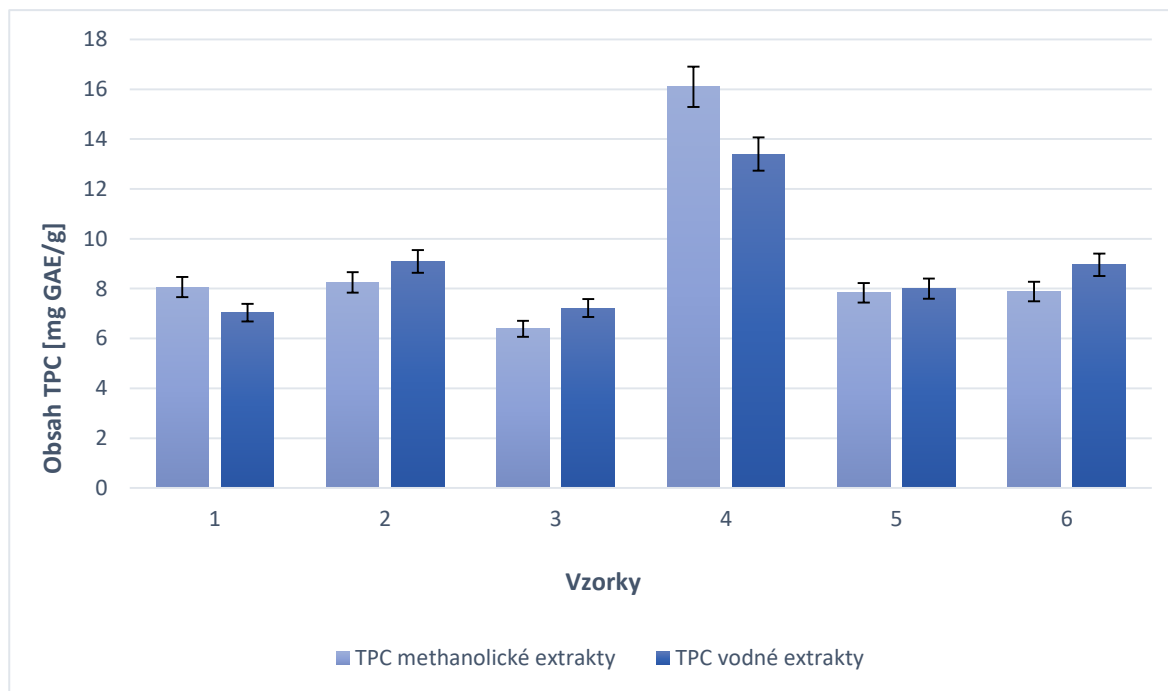
6.2 Výsledky stanovení celkových polyfenolů metodou TPC

Pro výpočet celkového obsahu polyfenolů byla sestrojena kalibrační křivka (Obrázek 3) závislosti absorbance na koncentraci kyseliny gallové. Tato křivka je nutná ke stanovení obsahu polyfenolů ve vzorcích na základě naměřených hodnot absorbance.



Obrázek 3 Kalibrační přímka TPC

(zdroj: vlastní)



Obrázek 4 Výsledky celkového obsahu polyfenolů v methanolicých a vodných výluzích

(zdroj: vlastní)

6.2.1 Diskuse

Výsledky stanovení obsahu polyfenolů jsou uvedeny na Obrázku 4. U methanolicých extraktů vykazoval nejvyšší obsah polyfenolů vzorek č. 4 (16,1 mg GAE/g), zatímco nejnižší

hodnota byla zaznamenána u vzorku č. 3 (6,39 mg GAE/g). U ostatních vzorků se obsah celkových polyfenolů pohyboval v rozmezí od 7,83 do 8,25 mg GAE/g.

U vodných extraktů byl také detekován nejvyšší obsah polyfenolů ve vzorku č. 4 (13,4 mg GAE/g), ale obecně vykazoval nižší hodnoty než methanolické extrakty. Nejnižší hodnota polyfenolů byla zaznamenána u vzorku č. 1 (7,04 mg GAE/g). Hodnoty celkových polyfenolů u ostatních vzorků se pohybují v intervalu od 7,22 do 9,09 mg GAE/g.

Při porovnání BIO vzorků lucumy (č. 1–4) a konvenčních vzorků (č. 5 a 6) byl obsah polyfenolů vyšší v BIO vzorcích, zejména ve vzorku 4.

Vědecké práce zabývající se stanovením celkových polyfenolů v lucumě poukazují na rozdílné výsledky. Ve studii Masullo et al. (2021) byl obsah polyfenolů v methanolickém extraktu slupky stanoven až 560 mg GAE/g extraktu, což je výrazně vyšší hodnota než námi získané výsledky. Ve stejné studii byl stanoven také obsah celkových polyfenolů v dužině v butanolovém extraktu, kde získané výsledky dosahovaly nižších hodnot, a to 93,5 mg GAE/g extraktu. Studie Fuentealba et al. (2016) uvádí obsah celkových polyfenolů v methanolickém extraktu v rozmezí od 0,7 do 61,6 mg GAE/g. Naše nejnižší naměřená hodnota v methanolických extraktech byla 6,39 mg GAE/g.

Srovnáním lucumy s jinými druhy ovoce, jako je běžně dostupné jablko (0,57 mg GAE/g), hruška (0,15 mg GAE/g) a tropické mango (1,27 mg GAE/g), je patrné, že lucuma obsahuje výrazně vyšší množství polyfenolů, což potvrzuje potenciál tohoto ovoce, jako bohatého přírodního zdroje těchto látek (Chen et al., 2014).

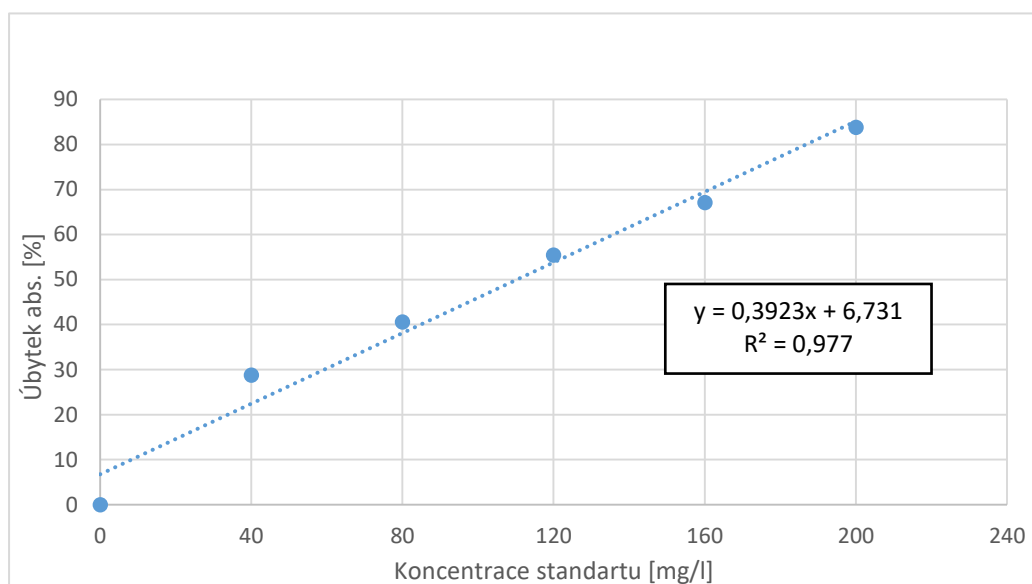
Důležitým je také obsah polyfenolů v semenech lucumy. Ve výzkumu Inga et al. (2024) bylo stanoveno, že celkový obsah polyfenolů v semenech lucumy dosahuje 4,39 mg GAE/g. Tato hodnota je nižší než u dužiny, což naznačuje, že semena nejsou hlavním zdrojem těchto bioaktivních sloučenin. Nicméně ve srovnání s některými odrůdami dužiny, například s odrůdou Beltrán (2,50 mg GAE/g) nebo Seda (2,38 mg GAE/g) mají semena lucumy relativně vyšší obsah polyfenolů (García-Ríos et al., 2020).

Rozdíly v naměřených hodnotách mohou být způsobeny několika faktory, včetně rozdílů v metodice extrakce, použitím rozpouštědla, původu a zralosti vzorků. Důležitou roli může hrát také rozdíl v poměru slupky a dužiny, protože slupka lucumy obsahuje vyšší množství fenolických sloučenin, jak bylo potvrzeno studií Masullo et al. (2021). Výrazné zvýšení obsahu polyfenolů ve vzorku č. 4 v obou extraktech může být ovlivněno chemickým složením vzorku, zralostí ovoce, podmínkami skladování nebo způsobem sušení. Dalším

faktorem mohlo být, že k lepšímu uchování fenolických sloučenin mohly přispět různé podmínky zpracování vzorků, například šetrnější sušení nebo optimální skladování.

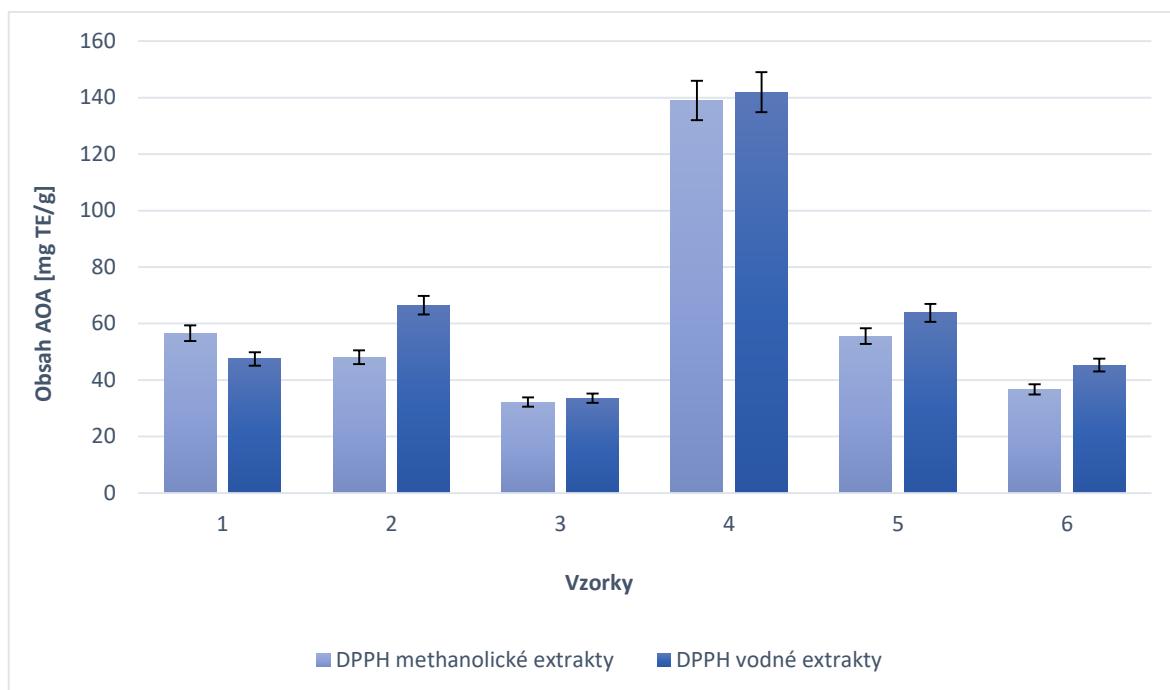
6.3 Výsledky stanovení antioxidační aktivity metodou s DPPH

Kalibrační křivka závislosti % úbytku absorbance na koncentraci standardu Troloxu (Obrázek 5) je potřebná pro výpočet antioxidační aktivity vzorků. Pomocí lineární regresní rovnice byla vypočtena hodnota antioxidační aktivity pro dané vzorky.



Obrázek 5 Kalibrační přímka DPPH

(zdroj: vlastní)



Obrázek 6 Výsledky antioxidační aktivity v methanolických a vodných výluzích metodou s DPPH

(zdroj: vlastní)

6.3.1 Diskuse

Výsledky stanovení antioxidační aktivity metodou s DPPH (Obrázek 6) ukázaly rozdíly mezi jednotlivými vzorky lucumy. Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány u vzorku č. 4, kde antioxidační aktivita dosáhla 139 mg TE/g v methanolickém extraktu a 142 mg TE/g ve vodném extraktu. Naopak nejnížší hodnoty byly naměřeny u vzorku č. 3 (32,2 mg TE/g a 33,6 mg TE/g). Ostatní vzorky vykazovaly hodnoty v rozmezí od 36,7 do 66,5 mg TE/g, přičemž vyšší antioxidační aktivitu vykazovaly vzorky v BIO kvalitě. Pět našich vzorků vykazovalo vyšší naměřené hodnoty ve vodných extraktech, což může naznačovat lepší rozpustnost některých bioaktivních látek ve vodě.

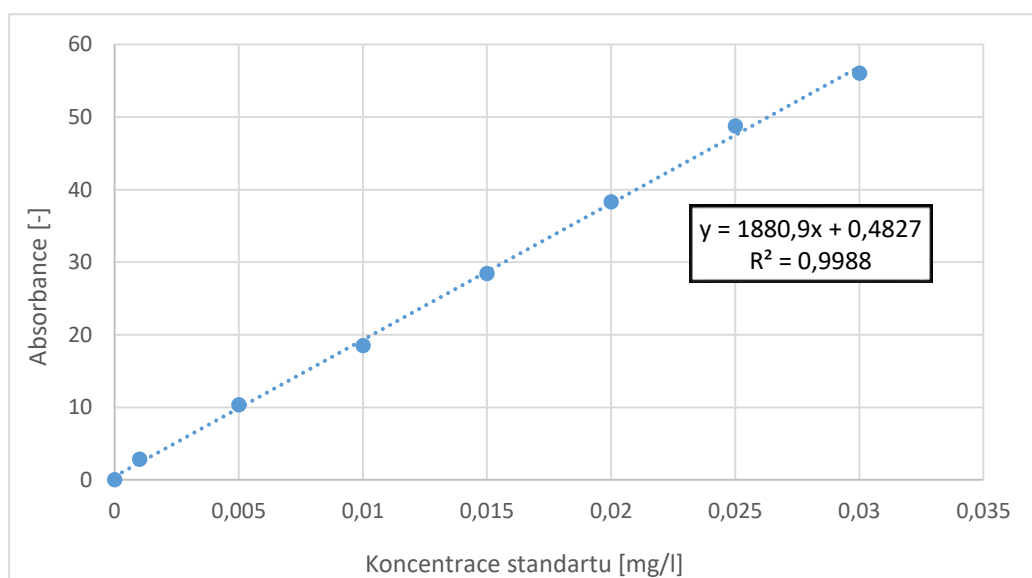
Ve studii García-Ríos et al. (2020) byla u odrůdy Beltrán naměřena antioxidační aktivita 3,11 mg TE/g a u odrůdy Seda 2,79 mg TE/g, což jsou hodnoty výrazně nižší než námi naměřené hodnoty. Další studie Fuentealba et al. (2016) uvádí u odrůdy Rosalia hodnotu antioxidační aktivity 21,40 mg TE/g. Tato uvedená hodnota se již blíží výsledkům některých našich vzorků. Další odrůda Leiva 1 vykazovala mírně nižší aktivitu než naše nejvyšší hodnoty (18,62 mg TE/g). Naopak odrůda Montero se svou extrémně nízkou hodnotou 0,11 mg TE/g vykazovala minimální antioxidační aktivitu, což ji řadí výrazně pod všechny analyzované vzorky.

Pokud porovnáme lucumu s jinými druhy ovoce, jako je jablko (4,49 mg TE/g), hruška (1,48 mg TE/g) nebo mango (12,94 mg TE/g), je zřejmé, že lucuma (až 142 mg TE/g) vykazuje výrazně vyšší antioxidační aktivitu. Výsledky potvrzují, že lucuma je cenným zdrojem antioxidantů s výrazně vyšší účinností než u běžně konzumovaného ovoce (Chen et al., 2014).

Rozdílné výsledky mohou být ovlivněny použitými metodami extrakce, stupněm zralosti ovoce, genetikou, pěstebními podmínkami, zpracováním nebo skladováním lucumy. Masullo et al. (2021) se ve své studii zabýval stanovením antioxidační aktivity v různých částech plodu. Jeho výzkum potvrzuje, že slupka lucumy obsahuje větší množství antioxidantů než dužina. Informace o obsahu antioxidantů v různých částech plodu přináší také studie Inga et al. (2024), která se zaměřila na analýzu antioxidační aktivity v semenech lucumy. Naměřená hodnota metodou s DPPH dosáhla 0,0064 mg TE/g. Tato hodnota je výrazně nižší než u dužiny plodu. Což potvrzuje, že hlavním zdrojem antioxidantů v lucumě není semeno, ale především dužina a slupka.

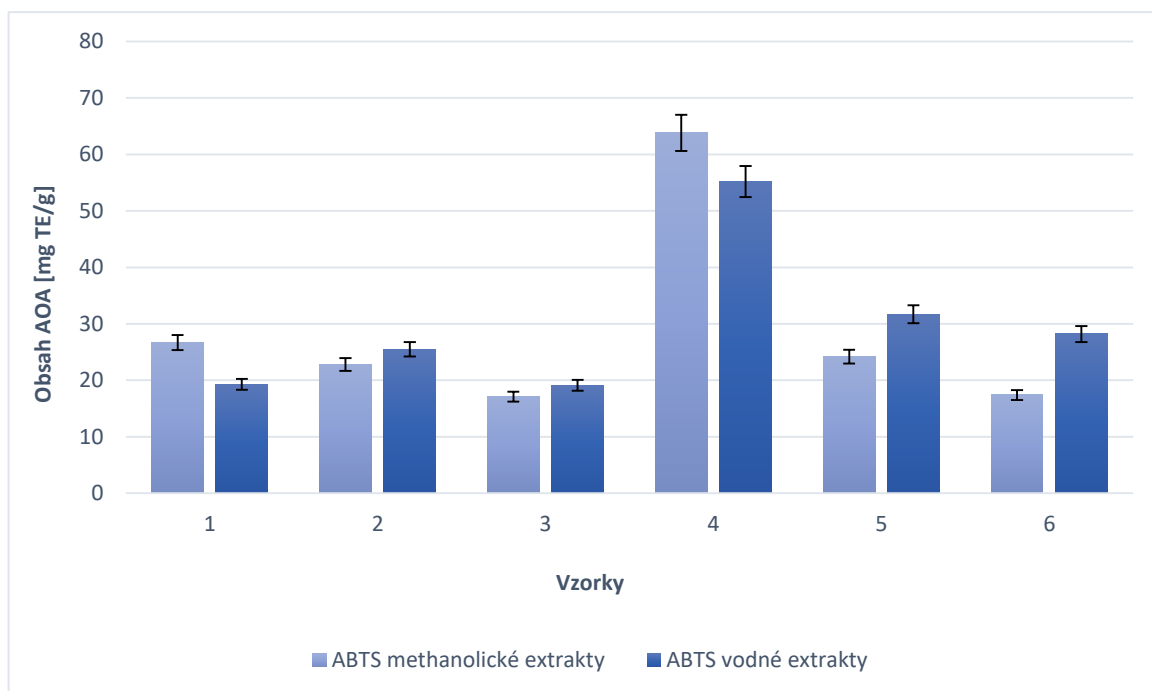
6.4 Výsledky stanovení antioxidační aktivity metodou s ABTS

Pro stanovení antioxidační aktivity vzorků metodou s ABTS byla vytvořena kalibrační křivka (Obrázek 7), která zobrazuje vztah mezi absorbancí a koncentrací standardu Troloxu. Tato křivka slouží pro výpočet antioxidační aktivity vzorků na základě změřených hodnot absorbance.



Obrázek 7 Kalibrační přímka ABTS

(zdroj: vlastní)



Obrázek 8 Výsledky antioxidační aktivity v methanolických a vodných výluzích metodou s ABTS

(zdroj: vlastní)

6.4.1 Diskuse

Stanovení antioxidační aktivity metodou s ABTS, které je znázorněno na Obrázku 8, prezentuje nejvyšší hodnotu ABTS u methanolického extraktu BIO vzorku č. 4 (63,8 mg TE/g), zatímco nejnižší hodnotu vykazoval vzorek č. 3 (17,1 mg TE/g). U ostatních vzorků se hodnoty pohybovaly v rozmezí od 17,4 do 26,7 mg TE/g.

U vodných extraktů byla nejvyšší antioxidační aktivita naměřena opět u vzorku č. 4 (55,2 mg TE/g), což potvrzuje jeho dominanci v obou extrakčních metodách. Nejnižší hodnotu vykazoval vzorek č. 3 (19,1 mg TE/g), stejně jako u methanolických extraktů. Při srovnání s methanolickými extrakty vykazovaly naše čtyři vodné extrakty (vzorek č. 2, 3, 5 a 6) vyšší hodnoty. Celkové hodnoty antioxidační aktivity se ve vodných extraktech pohybovaly v rozmezí od 19,1 do 31,7 mg TE/g.

V porovnání s dostupnou literaturou lze konstatovat, že námi naměřené výsledky odpovídají uvedeným hodnotám ve studii Fuentealba et al. (2016). V jejich výzkumu uvádí u odrůdy Rosalia hodnotu 49,04 mg TE/g, a u odrůdy Leiva 1 hodnotu 38,48 mg TE/g. Naše nejvyšší naměřené hodnoty dosahují podobné nebo mírně vyšší hodnoty, a to zejména

u methanolických extraktů. Studie také uvádí antioxidační aktivitu u odrůdy Montero, a to pouhých 0,90 mg TE/g, což je při porovnání s našimi výsledky výrazně méně.

Srovnání s literaturou ukazuje, že naměřené hodnoty v naší práci výrazně převyšují výsledky uváděné ve studii García-Ríos et al. (2020), kde byla u odrůdy Beltrán stanovena hodnota antioxidační aktivity 3,11 mg TE/g, a u odrůdy Seda 2,79 mg TE/g.

Další studie Masullo et al. (2021) uvádí vyšší hodnoty antioxidační aktivity, a to u dužiny plodu 360,64 mg TE/g, a u slupky dokonce 590,87 mg TE/g. Výzkum Inga et al. (2024) prezentuje obsah v hydrofilních extraktech semen 14,00 mg TE/g, zatímco v lipofilních extraktech s hexanem byla aktivita pouze 0,96 mg TE/g. Tyto výsledky potvrzují, že hlavní antioxidanty v semenech lucumy jsou hydrofilní povahy.

Dostupné výsledky s literatury ukazují, že lucuma je v porovnání s běžnými druhy ovoce, jako je jablko (0,53 mg TE/g), hruška (0,19 mg TE/g) a mango (2,14 mg TE/g) lepším zdrojem antioxidační aktivity (Chen et al., 2014).

Získané rozdílné hodnoty jsou ovlivněny genetickými faktory a podmínkami pěstování, ale také metodami extrakce (Masullo et al., 2021).

6.5 Korelace mezi antioxidační aktivitou a celkovým obsahem polyfenolů

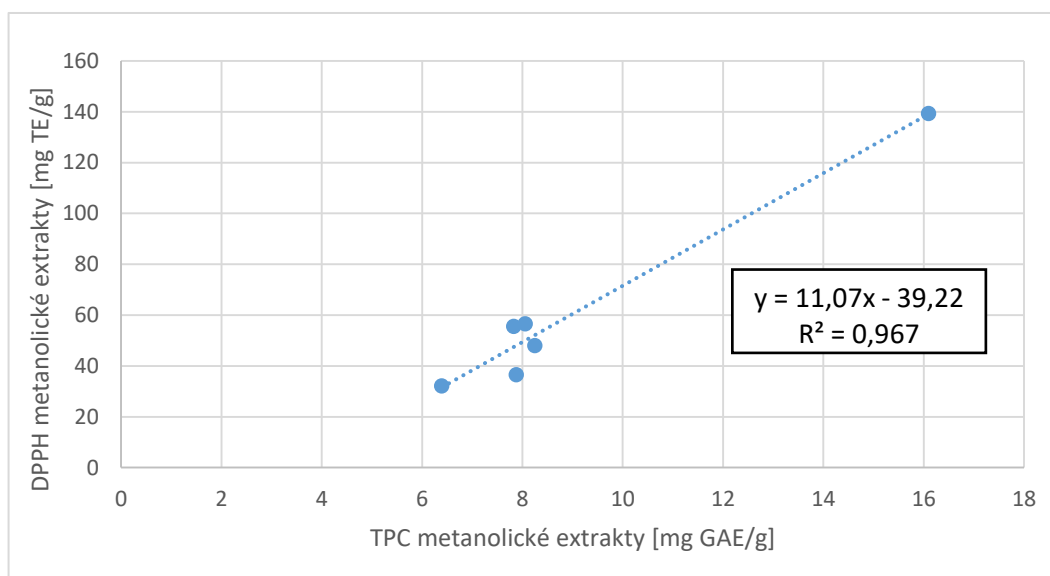
Korelační analýza umožňuje kvantitativně vyhodnotit vzájemný vztah mezi dvěma proměnnými, v tomto případě mezi antioxidační aktivitou a obsahem polyfenolů v prášcích z lucumy. Korelace byla analyzována pomocí Pearsonova korelačního koeficientu, který měří sílu lineární závislosti mezi těmito veličinami. Hodnoty koeficientu se pohybují v rozmezí od -1 do +1, kde kladné hodnoty indikují pozitivní korelaci a záporné hodnoty negativní korelaci. Korelace poskytuje informace o tom, jak silně jsou tyto dvě proměnné propojené. Pokud je korelace vysoká, znamená to, že změny v jedné proměnné jsou přímo spojeny se změnami v druhé proměnné.

6.5.1 Korelace v metanolických extraktech

Pro methanolické extrakty byly vypočteny následující hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu:

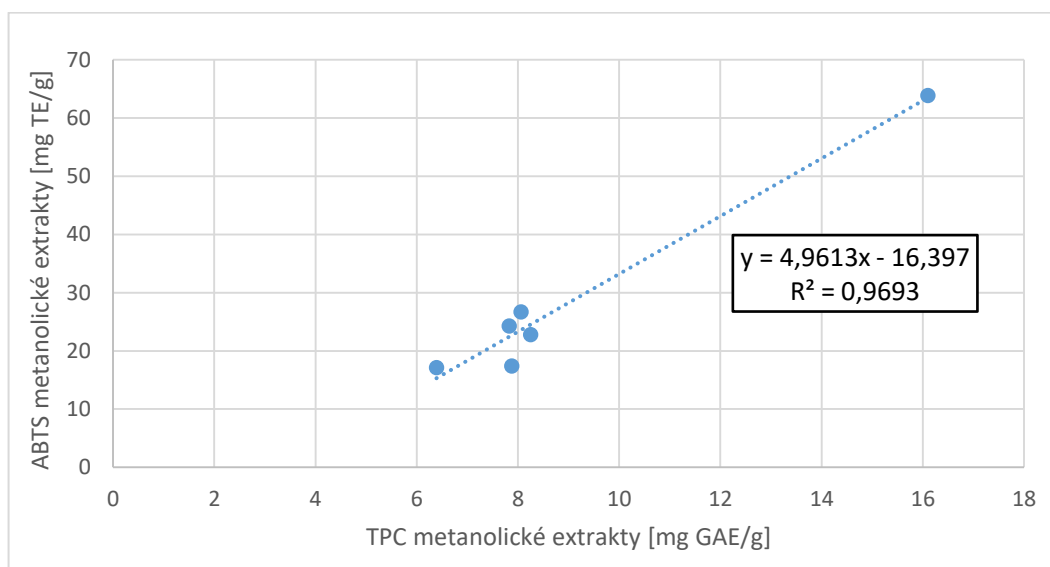
- TPC a DPPH: **0,98346**
- TPC a ABTS: **0,98452**

Obě korelace vykazují velmi silnou pozitivní závislost, což naznačuje, že celkový obsah polyfenolů (TPC) v methanolických extraktech významně přispívá k antioxidační aktivitě měřené metodami s DPPH a ABTS. Tento vztah je rovněž patrný na grafech korelace (Obrázek 9 a 10), kde lze vidět jasnou lineární závislost mezi TPC a hodnotami DPPH a ABTS.



Obrázek 9 Korelace mezi TPC a DPPH v methanolických extraktech

(zdroj: vlastní)



Obrázek 10 Korelace mezi TPC a ABTS v methanolických extraktech

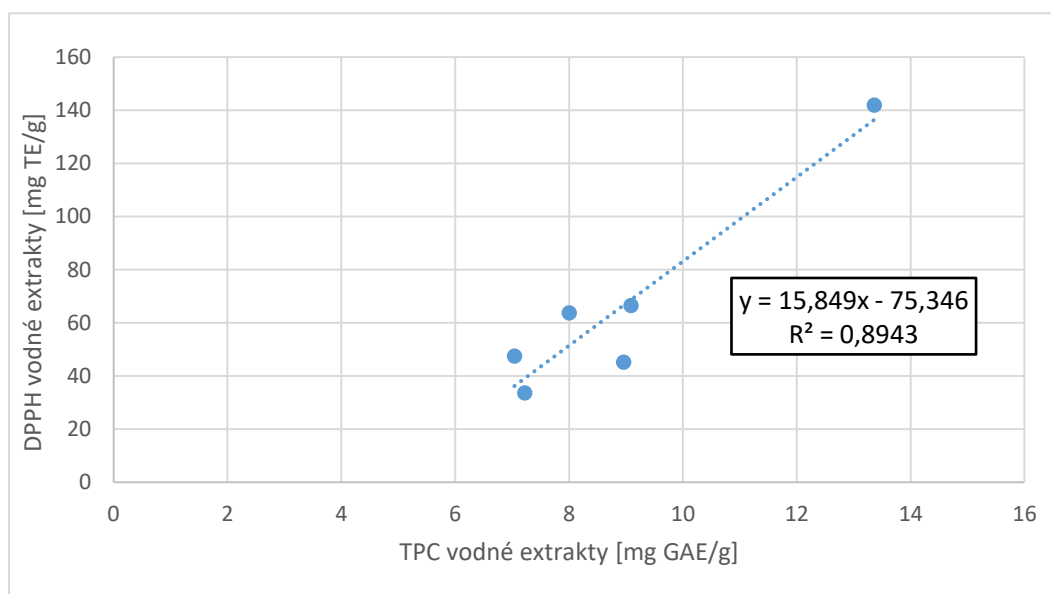
(zdroj: vlastní)

6.5.2 Korelace ve vodných extraktech

Pro vodné extrakty byly vypočteny následující hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu:

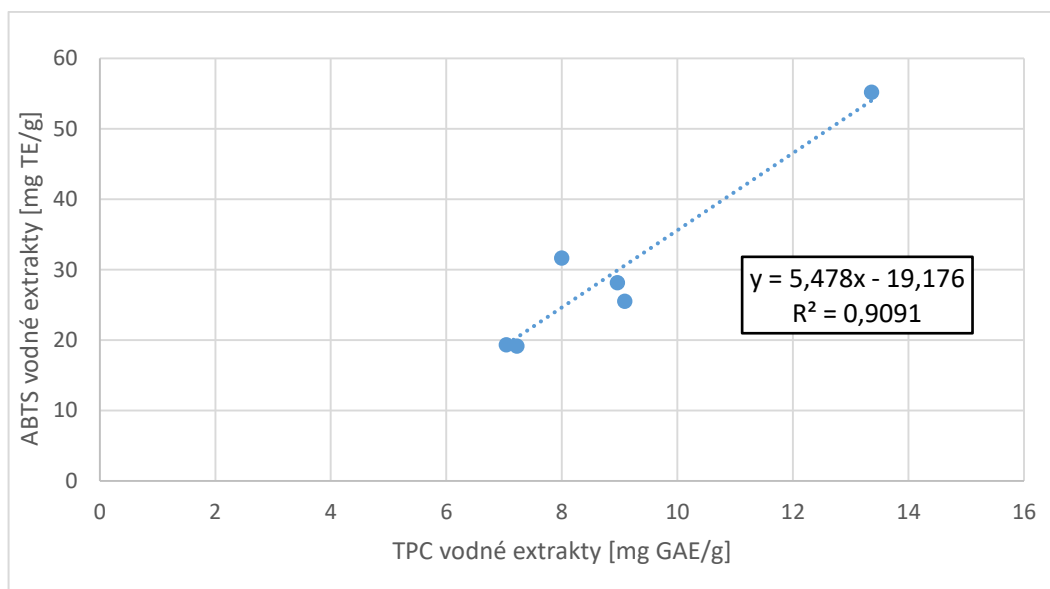
- TPC a DPPH: **0,94569**
- TPC a ABTS: **0,95346**

Vodné extrakty rovněž vykazovaly významnou pozitivní korelaci, ale naměřené hodnoty jsou ve srovnání s methanolickými extrakty nižší. Na základě zjištěných hodnot, můžeme tedy konstatovat, že polyfenolické látky při extrakci vodou významně přispívají k hodnotám antioxidační aktivity v lucumě (Obrázek 11 a 12).



Obrázek 11 Korelace mezi TPC a DPPH ve vodných extraktech

(zdroj: vlastní)



Obrázek 12 Korelace mezi TPC a ABTS ve vodných extraktech

(zdroj: vlastní)

ZÁVĚR

Teoretická část práce se zabývá charakteristikou lucumy, chemickým složením a zdravotními přínosy. Dále se také věnuje využitím lucumy v gastronomii a jejím skladováním. Praktická část práce je zaměřena na analýzu celkových polyfenolů a antioxidační aktivity v prášku lucumy. V experimentální části práce bylo analyzováno 6 vzorků lucumy.

Nejvyšší obsah sušiny byl naměřen u vzorku č. 4 (96,3 %). Naopak nejnižší hodnota sušiny byla u vzorku č. 3 (91,9 %). Vyšší obsah sušiny poukazuje na vyšší obsah nutrientů v lucumě.

Nejvyšší obsah polyfenolů ve vodném extraktu byl u vzorku č. 4, a to 16,10 mg GAE/g. Tento vzorek vykazoval zároveň i nejvyšší antioxidační aktivitu se zhášením radikálů DPPH ve vodném extraktu (141,89 mg TE/g) a antioxidační aktivitu se zhášením radikálů ABTS (63,83 mg TE/g). Naopak u vzorku č. 3 byl stanoven nejnižší obsah celkových polyfenolů (6,39 mg GAE/g). Tento vzorek vykazoval také nejnižší antioxidační aktivitu 82,64 mg TE/g (DPPH) a 17,12 mg TE/g (ABTS).

Výsledky ukázaly silnou pozitivní korelaci mezi obsahem polyfenolů a antioxidační aktivitou. Můžeme tedy usuzovat, že polyfenoly obsažené v lucumě přispívají k hodnotám antioxidačních aktivit.

Získané výsledky potvrdily, že lucuma obsahuje významné množství polyfenolů a vykazuje vysokou antioxidační aktivitu. Při porovnání s běžně dostupnými plody, jako jsou jablka, hrušky nebo mango vykazuje lucuma výrazně vyšší antioxidační aktivitu i obsah polyfenolů, čímž potvrzuje svůj potenciál jako vynikající přírodní zdroj těchto látek.

Prášek z lucumy by mohl být cennou přísadou pro výrobu potravin s přidanou antioxidační hodnotou, což by mohlo přispět k rozvoji funkčních a zdraví prospěšných potravin. Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že lucuma může být využita jako přírodní zdroj biologicky aktivních látek a také může být široce uplatněna v potravinářském průmyslu.

Pro následnou práci je možné doporučit analyzovat minerální prvky nebo se také věnovat stanovením jednotlivým polyfenolickým látkám s využitím vysokoúčinné kapalinové chromatografie.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAZA-DE LA QUINTANA, R. a PAUCAR-MENACHO, L. M. *Lucuma (Pouteria lucuma): Composición, componentes bioactivos, actividad antioxidante, usos y propiedades beneficiosas para la salud*. Scientia Agropecuaria. 2020, roč. 11, č. 1, s. 135–142. ISSN 2077-9917.
- [2] SINGH, G. *Sensory and consumer evaluation of lucuma powder as an ingredient for ice cream in the United States*. Diplomová práce (Master of Science). Manhattan, Kansas, USA: Kansas State University, Department of Food, Nutrition, Dietetics and Health, 2022.
- [3] MASULLO, M., CERULLI, A., PIZZA, C. a PIACENTE, S. *Pouteria lucuma Pulp and Skin: In Depth Chemical Profile and Evaluation of Antioxidant Activity*. Molecules. 2021, vol. 26, no. 22, s. 1–15. ISSN 1420-3049.
- [4] RAMBERG, E. *Compositional analysis of the Andean fruit Pouteria lucuma: A comparison of different physical forms (powder, frozen pulp and fresh pulp)*. Diplomová práce. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, 2022.
- [5] DUARTE, O. a PAULLE, R. *Exotic Fruits and Nuts of the New World*. CABI, 2015. ISBN 9781780645056.
- [6] JANICK, J. a PAULLE, R. *The encyclopedia of Fruit & Nuts*. CABI, 2008. ISBN 9780851996387.
- [7] INGA, M., GARCÍA, J. M., AGUILAR-GALVEZ, A., CAMPOS, D. a OSORIO, C. *Chemical characterization of odour-active volatile compounds during Lucuma (Pouteria lucuma) fruit ripening*. CyTA – Journal of Food. 2019, vol. 17, no. 1, s. 494–500. ISSN 1947-6345.
- [8] YAHIA, E. a GUTTIERREZ-OROZCO, F. *Lucuma (Pouteria lucuma (Ruiz and Pav.) Kuntze)*. In: *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits: Cocona to mango*. Woodhead Publishing series in food science, technology, and nutrition. Oxford: Woodhead Pub., 2011, s. 443–450. ISBN 9780857092885.
- [9] ORGANIC CROPS. *Product specification lucuma powder*. Online. Organic Crops. 2016. Dostupné z: https://organiccrops.net/bin/OC_Prod_Lucuma-Powder_05_EN.pdf. [cit. 2025-02-15].

- [10] ASMAT-CAMPOS D., CARREÑO-ORTEGA A. a PAÇO T. A. *Closed flow solar dehydration with the use of silver nanoparticles: Application for the production of Pouteria lucuma flour*. Drying Technology. 2022, vol. 40, no. 14, s. 3036–3048. ISSN 07373937.
- [11] DURAKOVA, A., BOGOEVA, A., YANAKIEVA, V., GOGOVA, T., DIMOV, I., KRASTEVA, R. a DOSHEVA, K. *Storage studies of subtropical fruit lucuma in powdered form*. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2019, vol. 25, no. 6, s. 1287–1292. ISSN 13100351.
- [12] THUY, N. M., HAO, H. V., DUONG, L. T. T., GIAU, T. N., MINH, V. Q. a TAI, N. V. *Foam-mat drying of lucuma powder: Mathematical and artificial modeling of drying kinetics, physicochemical and microstructural properties*. Journal of Agriculture and Food Research. 2025, vol. 19. ISSN 26661543.
- [13] MOSELEY, M. E. *The Incas and their ancestors : The archaeology of Peru*. New York: Thames and Hudson, 1992. ISBN 0500050635.
- [14] *Lost crops of the Incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation* ; <<The>> Governing Board of the National Research Council. 2nd ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1990. ISBN 03-090-4264-X.
- [15] DOSTÁLOVÁ, D. *Jihoamerické civilizace (zejména incká) z antropologické perspektivy*. Diplomová práce. Brno: Masarykova univerzita Přírodovědecká fakulta Ústav antropologie, 2006.
- [16] CHOQUE DELGADO, G. T., CRUZ MORALES, N. X., VILLA GÓMEZ, K. Y. a DA SILVA CUNHA TAMASHIRO, W. M. *Antioxidant, antiproliferative, and immunomodulatory activities in Peruvian fruits*. Food Reviews International. 2023, vol. 39, no. 1, s. 189–208. ISSN 8755-9129.
- [17] CAMPOS, D., CHIRINOS, R., RANILLA, L. G. a PEDRESCHI, R. *Bioactive potential of Andean fruits, seeds, and tubers*. In Advances in food and nutrition research. 2018, vol. 84, s. 287–343. ISSN 1043-4526.
- [18] BRIZZOLARI, A., BRANDOLINI, A., GLORIO-PAULET, P. a HIDALGO, A. *Antioxidant capacity and heat damage of powder products from South American plants with functional properties*. Italian Journal of Food Science. 2019, vol. 31, no. 4, s. 731–748. ISSN 2239-5687.

- [19] KIRKLAND, J. B. a MEYER-FICCA, M. L. *Chapter Three - Niacin*. Advances in Food and Nutrition Research. 2018, vol. 83, s. 83–149. ISSN 1043-4526.
- [20] SOETAN, K. O., OLAIYA, C. O. a OYEWOLE, O. E. *The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review*. African Journal of Food Science. 2010, vol. 4, no. 5, s. 200–222. ISSN 1996-0794.
- [21] TAITI C., COLZI I., AZZARELLO E. a MANCUSO S. *Discovering a volatile organic compound fingerprinting of Pouteria lucuma fruits*. Fruits. 2017, vol. 72, no. 3, s. 131–138. ISSN 02481294.
- [22] RUDAKOV, O. B. Carotenoids. Online. Bolshaya rossiyskaya encyclopedia. 2023. Dostupné z: <https://bigenc.ru/c/karotinoidy-ffdc7f/?v=7830696>. [cit. 2024-10-25].
- [23] GARCÍA-RÍOS, D., AGUILAR-GALVEZ, A., CHIRINOS, R., PEDRESCHI, R. a CAMPOS, D. *Relevant physicochemical properties and metabolites with functional properties of two commercial varieties of Peruvian Pouteria lucuma*. Journal of Food Processing and Preservation. 2020, vol. 44, no. 6, s. 1–11. ISSN 01458892.
- [24] FUENTEALBA, C., GÁLVEZ, L., COBOS, A., OLAETA, J. A., DEFILIPPI, B. G., CHIRINOS, R., CAMPOS, D. a PEDRESCHI, R. *Characterization of main primary and secondary metabolites and in vitro antioxidant and antihyperglycemic properties in the mesocarp of three biotypes of Pouteria lucuma*. Food Chemistry. 2016, vol. 190, s. 403–411. ISSN 03088146.
- [25] ZHANG, Y., CAI, P., CHENG, G. a ZHANG, Y. *A Brief Review of Phenolic Compounds Identified from Plants: Their Extraction, Analysis, and Biological Activity*. Natural Product Communications. 2022, vol. 17, no. 1. ISSN 1934-578X.
- [26] EZIGBO, V. O. *Evaluation of Physicochemical, Polymeric and Metal Contents of Selected Tropical Timbers in Nigeria*. Disertační práce. Awka: Nnamdi Azikiwe University, 2019.
- [27] LOPEZ-CORONA, A.V., VALENCIA-ESPINOSA, I., GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, F.A., SÁNCHEZ-LÓPEZ, A.L., GARCIA-AMEZQUITA, L.E. a GARCIA-VARELA, R. *Antioxidant, Anti-Inflammatory and Cytotoxic Activity of Phenolic Compound Family Extracted from Raspberries (Rubus idaeus)*. Antioxidants. 2022, vol. 11, no. 6, s. 20. ISSN 2076-3921.

- [28] TAN, B. L., NORHAIZAN, M. E., LIEW, W. P. P a SULAIMAN, R. H. *Antioxidant and Oxidative Stress: A Mutual Interplay in Age-Related Diseases*. Frontiers in Pharmacology. 2018, vol. 9. ISSN 1663-9812.
- [29] ROJO, L.E., VILLANO, C.M., JOSEPH, G., SCHMIDT, B., SHULAEV, V., SHUMAN, J.L., LILA, M.A. a RASKIN, I. *Original Contribution: Wound-healing properties of nut oil from Pouteria lucuma*. Journal of Cosmetic Dermatology. 2010, vol. 9, s. 185–195. ISSN 1473-2130.
- [30] ZIELIŃSKA, D., ZIELIŃSKI, H., LAPARRA-LLOPIS, J. M., SZAWARA-NOWAK, D., HONKE, J. a GIMÉNEZ-BASTIDA, J. A. *Caffeic Acid Modulates Processes Associated with Intestinal Inflammation*. Nutrients. 2021, vol. 13, no. 2, s. 554. ISSN 2072-6643.
- [31] ORLOVA, A. A. a POVODYSH, M. N. *Review of methods for qualitative and quantitative analysis of tannins in plant raw materials*. Chemistry of plant raw materials. 2019, no. 4, s. 29–45.
- [32] WOLFE, D. *Lucuma: The Sweet Superfood with Impressive Health Benefits*. Online. VORG Blog. C2024. Dostupné z: https://supervorg.com/blogs/superfoods/lucuma?srsltid=AfmBOopaYtx0XjQMxYt1E3mQD6HM-wdoRagBiT0_IHiGVdEHJCZqPHZE. [cit. 2024-09-26].
- [33] *The History and Benefits of Lucuma*. Online. Medium. 2023. Dostupné z: <https://medium.com/@fruitmoney/the-history-and-benefits-of-lucuma-ba18431d50f6>. [cit. 2024-09-26].
- [34] *Lucuma Fruit Plant (Pouteria lucuma): A Nutrient-Packed Ancient Treasur*. Online. Veliyath Garden. Dostupné z: https://veliyathgarden.com/products/lucuma-pouteria-lucuma?srsltid=AfmBOop96-M1P9A_ZERky1gx02BHOQ6CxDiYTRM6ZMuf4z4wuBYz23oB. [cit. 2024-09-26].
- [35] FOODTOLIVE TEAM. *What Is Lucuma & Why You Should Love It*. Online. Healthy blog. 2019. Dostupné z: <https://foodtolive.com/healthy-blog/what-is-lucuma-why-you-should-love-it/?srsltid=AfmBOorgfFp1Y55qqy3moH5SvoKiOI2Gal9l3srnWsOnFREIypQdKecl>. [cit. 2024-09-27].

- [36] KŘIVÁNKOVÁ, R. *Lucuma – sladoučké exotické ovoce plné cenných živin*. Online. Blendea. 2018. Dostupné z: <https://www.blendea.cz/lucuma/>. [cit. 2024-09-28].
- [37] DURAKOVA, A., GOGOVA, T., VLADEVA, S., VASILEVA, A., SLAVOV, A., YANAKIEVA, V. a TEMELKOVA, M. *Biscuits with flour of Lucuma, spelt and carob for prophylactic and dietary nutrition*. Journal of Hygienic Engineering and Design. 2021, vol. 37, s. 174–179. ISSN 18578489.
- [38] KROČKOVÁ, T. *Lucuma je superpotravina z Peru. Je ideální při migrénách a na podzimní deprese*. Online. Woman only. 2020. Dostupné z: <https://www.womanonly.cz/lucuma-je-superpotravina-z-peru-proc-je-idealni-pri-migrenach-a-na-podzimni-deprese/>. [cit. 2024-09-28].
- [39] NGUYEN, M. P. *Studies on various technical parameters affecting production of wine from Lucuma, Pouteria lucuma*. Bioscience Biotechnology Research Communications. 2020, vol. 13, no. 2, s. 482–486. ISSN 0974-6455.
- [40] CISNEROS, F. H., ESTRADA, M., PIMENTELA, U. a TORRES, Y. *Hurdle technology applied to Lucuma (Pouteria lucuma) fruit pulp: microbial aspects*. Journal of Culinary Science and Technology. 2023, vol. 21, no. 4, s. 646–658. ISSN 1542-8044.
- [41] ČSN ISO 2173 (56 0292) – *Výrobky z ovoce a zeleniny – Stanovení obsahu rozpustné sušiny – Refraktometrická metoda*. 2014.
- [42] *Vyhláška č. 397/2021 Sb., o požadavcích na konzervované ovoce a konzervovanou zeleninu, skořápkové plody, houby, brambory a výrobky z nich a banány*. In: Sbírka zákonů ročník 2021. 2021, částka 178.
- [43] INGA, M., BETALLELUZ-PALLARDEL, I., PUMA-ISUIZA, G., CUMPA-ARIAS, L., OSORIO, C., VALDEZ-ARANA, J. D. C. a VARGAS-DE-LA-CRUZ, C. *Chemical analysis and bioactive compounds from agrifood by-products of peruvian crops*. Frontiers in Sustainable Food Systems. 2024, vol. 8, no. 1341895. ISSN 2571581X.
- [44] CHEN, G.-L, CHEN, S.-G., ZHAO, Y.-Y., LUO, C.-X., LI, J. a GAO, Y.-Q. *Total phenolic contents of 33 fruits and their antioxidant capacities before and after in vitro digestion*. Industrial Crops and Products. 2014, vol. 57, s. 150–157. ISSN 0926-6690.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Všechny vybrané vzorky prášku lucumy	32
Obrázek 2 Přehled vzorků prášků	32
Obrázek 3 Kalibrační přímka TPC.....	38
Obrázek 4 Výsledky celkového obsahu polyfenolů v methanolických a vodných vyluzích	38
Obrázek 5 Kalibrační přímka DPPH.....	40
Obrázek 6 Výsledky antioxidační aktivity v methanolických a vodných vyluzích metodou s DPPH.....	41
Obrázek 7 Kalibrační přímka ABTS.....	42
Obrázek 8 Výsledky antioxidační aktivity v methanolických a vodných vyluzích metodou s ABTS	43
Obrázek 9 Korelace mezi TPC a DPPH v methanolických extraktech	45
Obrázek 10 Korelace mezi TPC a ABTS v methanolických extraktech	45
Obrázek 11 Korelace mezi TPC a DPPH ve vodných extraktech	46
Obrázek 12 Korelace mezi TPC a ABTS ve vodných extraktech	47
Obrázek 13 Vzorek č. 1 – Lucuma Bio, Vitalvibe.....	58
Obrázek 14 Ukázka prášku vzorku č. 1	58
Obrázek 15 Vzorek č. 2 – Lucuma Bio, Natural Protein	59
Obrázek 16 Ukázka prášku vzorku č. 2	59
Obrázek 17 Vzorek č. 3 – Lucuma Bio, Naturalis	60
Obrázek 18 Ukázka prášku vzorku č. 3	60
Obrázek 19 Vzorek č. 4 – Lucuma Bio, Zdravý den	61
Obrázek 20 Ukázka prášku vzorku č. 4	61
Obrázek 21 Vzorek č. 5 – Lucuma, Greenspol	62
Obrázek 22 Ukázka prášku vzorku č. 5	62
Obrázek 23 Vzorek č. 6 – Lucuma, OroVerde	63
Obrázek 24 Ukázka prášku vzorku č. 6	63
Obrázek 25 Methanolické extrakty	64
Obrázek 26 Vodné extrakty	64
Obrázek 27 Spektrofotometr SPECORD 210 Plus	65

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Obsah mastných kyselin v <i>Pouteria lucuma</i> (odrůda Seda).....	18
Tabulka 2 Vlastnosti vzorků prášků z lucumy.....	31
Tabulka 3 Výsledky stanovení sušiny	37

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABTS	(2,2'-azinobis-(3ethyl-2,3dihydrobenzothiazol-6-sulfonová kyselina))
AOA	Antioxidační aktivita (schopnost sloučenin neutralizovat volné radikály)
BIO	Biological origin (biologický/organický původ)
DPPH	(2,2-difenyl-1-pikrylhydrazyl)
GAE	Gallic Acid Equivalent (ekvivalent kyseliny galové)
TE	Trolox Equivalent (ekvivalent Troloxu pro antioxidační aktivitu)
TPC	Total Polyphenol Content (celkový obsah polyfenolů)

SEZNAM PŘÍLOH

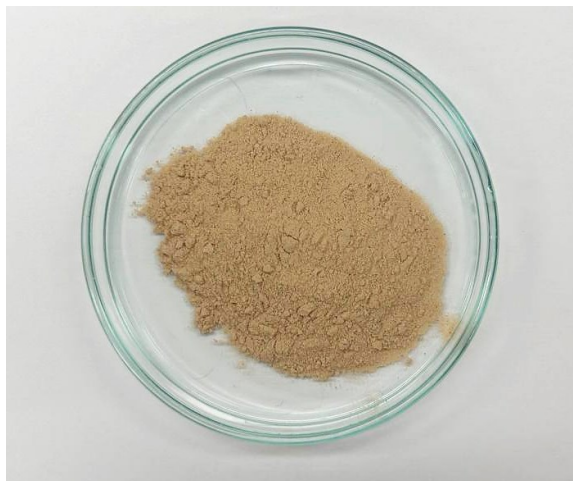
Příloha P I:	Obrázky jednotlivých vzorků
Příloha P II:	Obrázky extraktů ze vzorků lucumy
Příloha P III:	Obrázky použitých strojů

PŘÍLOHA P I: OBRÁZKY JEDNOTLIVÝCH VZORKŮ



Obrázek 13 Vzorek č. 1 – Lucuma Bio, Vitalvibe

(zdroj: vlastní)



Obrázek 14 Ukázka prášku vzorku č. 1

(zdroj: vlastní)



Obrázek 15 Vzorek č. 2 – Lucuma Bio, Natural Protein

(zdroj: vlastní)



Obrázek 16 Ukázka prášku vzorku č. 2

(zdroj: vlastní)



Obrázek 17 Vzorek č. 3 – Lucuma Bio, Naturalis
(zdroj: vlastní)



Obrázek 18 Ukázka prášku vzorku č. 3
(zdroj: vlastní)



Obrázek 19 Vzorek č. 4 – Lucuma Bio, Zdravý den
(zdroj: vlastní)



Obrázek 20 Ukázka prášku vzorku č. 4
(zdroj: vlastní)



Obrázek 21 Vzorek č. 5 – Lucuma, Greenspol

(zdroj: vlastní)



Obrázek 22 Ukázka prášku vzorku č. 5

(zdroj: vlastní)



Obrázek 23 Vzorek č. 6 – Lucuma, OroVerde
(zdroj: vlastní)



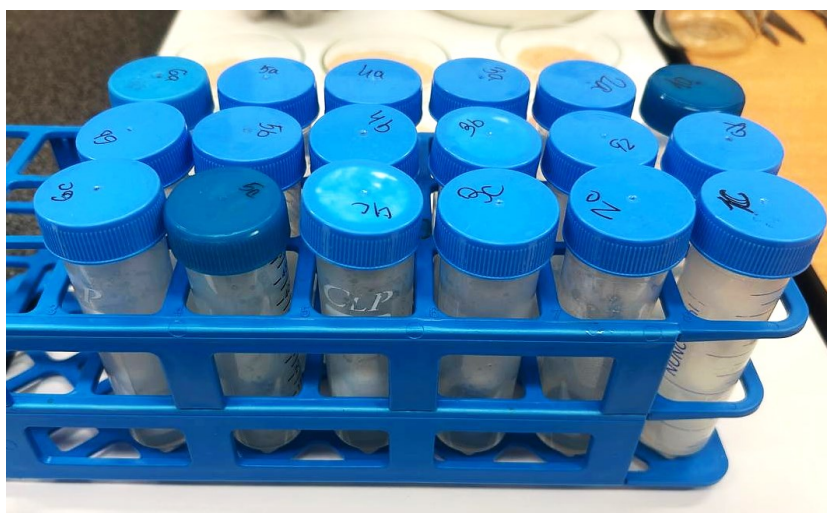
Obrázek 24 Ukázka prášku vzorku č. 6
(zdroj: vlastní)

PŘÍLOHA P II: OBRÁZKY EXTRAKTŮ ZE VZORKŮ LUCUMY



Obrázek 25 Methanolicke extrakty

(zdroj: vlastní)



Obrázek 26 Vodné extrakty

(zdroj: vlastní)

PŘÍLOHA P III: OBRÁZKY POUŽITÝCH STROJŮ



Obrázek 27 Spektrofotometr SPECORD 210 Plus

(zdroj: vlastní)