



Středoškolská technika 2024

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

PROFILY MASTNÝCH KYSELIN V PLODECH RŮZNÝCH DRUHŮ LÉČIVÝCH ROSTLIN

Matěj Petráš

Střední průmyslová škola chemická

Vranovská 65, Brno-sever

Anotace

Ve své práci SOČ jsem se zabýval zjišťováním obsahu mastných kyselin v plodech dvou druhů léčivých rostlin. Jednalo se zde o zástupce rodu lopuchu (*Arctium*) a jeřábu (*Sorbus*). Mastné kyseliny mají nejen v těchto zástupcích, ale i v jiných léčivých rostlinách blahodárné účinky na lidské zdraví a zároveň jsou to stavební látky základních živin, a sice lipidů. Příjmem správných lipidů s navázanými mastnými kyselinami tělu esenciálními můžeme snížit riziko zvýšeného výskytu cholesterolu a dalších nežádoucích organických látek a zároveň napomoci tělním orgánům k jejich správné funkci. Nicméně pro správné fungování těchto látek je nutné zajistit vhodné prostředí a mít v těle i dostatek jiných důležitých látek, jako jsou např. vitaminy, protože jen tak můžeme dosáhnout správného vstřebávání lipidů a ostatních živin. **Cílem práce** bylo pomocí plynové chromatografie (GC) kvantitativně stanovit procentuální obsah těchto látek izolovaných z plodů každého vybraného druhu lopuchu a rovněž všech vybraných druhů jeřábu. Dále pak bylo součástí tyto látky statisticky popsat a na základě jejich chemické struktury a biologických vlastností určit jejich možný vliv na zdraví člověka.

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor 06: Zdravotnictví

Profily mastných kyselin v plodech různých druhů léčivých rostlin

Matěj Petráš

Jihomoravský kraj

Brno 2024

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 06: Zdravotnictví

Profily mastných kyselin v plodech různých druhů léčivých rostlin

Fatty acid profiles in the fruits of different species of medicinal plants

Autor: Matěj Petráš

Škola: Střední průmyslová škola chemická, Vranovská 65, Brno

Kraj: Jihomoravský kraj

Konzultant: Mgr. Veronika Farková, prof. Mgr. Tomáš

Kašparovský, Ph.D.

Vedoucí práce: PhDr. Mgr. Marcela Helešicová

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Brně dne

.....

Matěj Petráš

Poděkování

Zde na tomto místě bych rád poděkoval zaprvé magistře Veronice Farkové, která byla mým externím konzultantem na pracovišti Ústavu biochemie přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně. Zasloužila se hlavně na praktické stránce práce, výběru a stanovení daných druhů mastných kyselin. Zadruhé zde patří velké poděkování doktorce Marcele Helešicové ze Střední průmyslové školy chemické v Brně, která mi poskytla rady a připomínky a podílela se na formální části práce.

Anotace

Ve své práci SOČ jsem se zabýval zjišťováním obsahu mastných kyselin v plodech dvou druhů léčivých rostlin. Jednalo se zde o zástupce rodu lopuchu (*Arctium*) a jeřábu (*Sorbus*). Mastné kyseliny mají nejen v těchto zástupcích, ale i v jiných léčivých rostlinách blahodárné účinky na lidské zdraví a zároveň jsou to stavební látky základních živin, a sice lipidů. Příjmem správných lipidů s navázanými mastnými kyselinami tělu esenciálními můžeme snížit riziko zvýšeného výskytu cholesterolu a dalších nežádoucích organických látek a zároveň napomoci tělním orgánům k jejich správné funkci. Nicméně pro správné fungování těchto látek je nutné zajistit vhodné prostředí a mít v těle i dostatek jiných důležitých látek, jako jsou např. vitaminy, protože jen tak můžeme dosáhnout správného vstřebávání lipidů a ostatních živin. **Cílem práce** bylo pomocí plynové chromatografie (GC) kvantitativně stanovit procentuální obsah těchto látek izolovaných z plodů každého vybraného druhu lopuchu a rovněž všech vybraných druhů jeřábu. Dále pak bylo součástí tyto látky statisticky popsat a na základě jejich chemické struktury a biologických vlastností určit jejich možný vliv na zdraví člověka.

Klíčová slova

jeřáb; lopuch; mastná kyselina; OMEGA-3 mastné kyseliny; OMEGA-6 mastné kyseliny; plynová chromatografie (GC)

Annotation

In my work, SPA (Students` Professional Activities), I have been investigating the fatty acid content of fruits of two types of medicinal plants. This represented the burdock (*Arctium*) genus and crane (*Sorbus*). Fatty acids not only have beneficial effects on human health in these agents but also other medicinal plants, and at the same time they are building materials of essential nutrients, namely lipids. By ingesting the suitable lipids with bound fatty acids to the body essential, we can reduce the risk of increased incidence of cholesterol and other unwanted organic substances while helping the body's organs to function properly. However, for these substances to function properly, it is necessary to ensure a suitable environment and enough other essential substances in the body, such as vitamins, as this is the only way we can properly absorb lipids and other nutrients. The aim of the work was to quantify, using gas chromatography (GC), the percentage of these substances isolated from the fruit of each selected species of burdock, as well as of all excavations.

Keywords

burdock; crane; fatty acid; gas chromatography (GC); OMEGA-3 fatty acids; OMEGA-6 fatty acids

Die Annotation

In meiner mittelschulichen fächlichen Arbeit beschäftigte ich mich mit dem Nachweis des Gehalts an Fettsäuren in den Früchten von zwei Arten von Heilpflanzen. Es handelte sich um Vertreter der Klette (*Arctium*) und des Kranichs (*Sorbus*). Fettsäuren haben nicht nur in diesen Vertretern, sondern auch in anderen Heilpflanzen eine wohltuende Wirkung auf die menschliche Gesundheit und sind gleichzeitig Baustoffe der essentiellen Nährstoffe, und zwar der Lipide. Durch die Aufnahme der richtigen Lipide mit den essentiellen Fettsäuren des Körpers können wir das Risiko eines erhöhten Cholesterins und anderer unerwünschter organischer Substanzen reduzieren und gleichzeitig den Körperorganen helfen, richtig zu funktionieren. Für das reibungslose Funktionieren dieser Substanzen ist es jedoch notwendig, eine geeignete Umgebung zu gewährleisten und genügend andere wichtige Substanzen wie Vitamine im Körper zu haben, da wir nur so die richtige Aufnahme von Lipiden und anderen Nährstoffen erreichen können. Ziel der Arbeit war es, mittels Gaschromatographie (GC) den Prozentanteil dieser Stoffe, die aus den Früchten jeder ausgewählten Klettenart isoliert wurden, sowie aller Klettenproben quantitativ zu bestimmen.

Die Schlüsselwörter

die Fettsäure; die Gaschromatographie (GC); die Klette; OMEGA-3 Fettsäure; OMEGA-6 Fettsäure; die Vogelbeere

Obsah a seznam zkratek

Obsah

1	Úvod.....	11
2	TEORETICKÁ ČÁST.....	12
2.1	Mastné kyseliny.....	12
2.1.1	Chemické vlastnosti a složení MK.....	12
2.1.2	Fyzikální vlastnosti mastných kyselin.....	14
2.2	Biologicky významné mastné kyseliny.....	15
	Kyselina kapronová (C6:0)	15
	Kyselina laurová (C12:0)	16
	Kyselina palmitová (C16:0)	16
	Kyselina palmitoolejová (C16:1n7c)	17
	Kyselina olejová (C18:1n9c).....	17
	Kyselina elaidová (C18:1n9t).....	18
	Kyselina linolová (C18:2n6c)	18
	Kyselina arachidonová (C20:4n6c)	18
2.3	Rostliny využívané k experimentu.....	19
2.3.1	Lopuch větší (<i>Arctium lappa</i>)	19
2.3.2	Lopuch menší (<i>Arctium minus</i>)	20
2.3.3	Lopuch plstnatý (<i>Arctium tomentosum</i>)	20
2.3.4	Jeřáb muk (<i>Sorbus aria</i>).....	21
2.3.5	Jeřáb širokolistý (<i>Sorbus latifolia</i>)	21
2.3.6	Jeřáb ptačí (<i>Sorbus aucuparia</i>)	22
2.3.7	Jeřáb břek (<i>Sorbus torminalis</i>)	23
2.4	Plynová chromatografie (GC)	23
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	25
3.1	Cíl práce	25
3.2	Chemikálie a pomůcky.....	25
3.3	Materiál	25
3.4	Metody	26
3.4.1	Rozpouštění extraktů a příprava vzorků jeřábu.....	26
3.4.2	Rozpouštění extraktů a příprava vzorků lopuchu.....	26
3.4.3	Metodika k plynové chromatografii	27

3.4.4	Statistické vyhodnocení.....	28
4	VÝSLEDKY	29
4.1	Vyhodnocení dat druhů lopuchu	29
4.2	Vyhodnocení dat druhů jeřábu	32
5	DISKUSE	37
6	ZÁVĚR.....	38
7	POUŽITÁ LITERATURA.....	39

Seznam zkratek

Zkratka	Vysvětlení
MK	mastná kyselina
VMK	vyšší mastná kyselina
TAG	triacylglyceroly
OMEGA-3	mastná kyselina, která má první dvojnou vazbu na třetím uhlíku při číslování od methylové skupiny
OMEGA-6	mastná kyselina, která má první dvojnou vazbu na šestém uhlíku při číslování od methylové skupiny
OMEGA-7	mastná kyselina, která má první dvojnou vazbu na sedmém uhlíku při číslování od methylové skupiny
OMEGA-9	mastná kyselina, která má první dvojnou vazbu na devátém uhlíku při číslování od methylové skupiny
ACN	acetonitril
DMF	dimethylformamid
GC	plynová chromatografie

1 ÚVOD

Mastné kyseliny jsou vyšší monokarboxylové kyseliny, které zásadně ovlivňují stav lipidů, a tedy mají důležitý vliv na lidské zdraví. Tyto látky se mohou v rostlinách vyskytovat volně, a to jako nižší mastné kyseliny nebo častěji vázané s glycerolem pomocí esterové vazby a tím tvoří lipidy. Jsou to látky patřící mezi základní živiny vedle bílkovin a sacharidů. Různé druhy mastných kyselin mají na lidské zdraví různé účinky. V celé biosféře existuje spousta rostlinných druhů, u kterých zatím nebylo dostatečně prozkoumáno jejich složení. Mezi takové patří druhy jeřábů, u kterých by potenciálně šlo využít jejich lipidové složky a vyextrahovat z nich mastné kyseliny, které mohou mít prospěšné účinky na lidský organismus. Rovněž tak by šlo využít extrakty různých významných mastných kyselin z druhů lopuchu, kdy některé mohou mít účinky natolik prospěšné, že by bylo možné díky nim snížit rozsah a dopad obezity u populace. Lipidy si tělo rozkládá na glycerol, a právě mastné kyseliny, ze kterých získává energii, jež je různě využita. Pro lidský organismus jsou takto důležité zejména polynenasycené mastné kyseliny OMEGA-3 (mastná kyselina, která má první dvojnou vazbu na třetím uhlíku od methylové skupiny) a OMEGA-6 (mastná kyselina, která má první dvojnou vazbu na šestém uhlíku od methylové skupiny), které jsou esenciální a je zcela nutné je přijímat v potravě.

Tato práce se celkově zabývá obsahem potenciálně prospěšných i neprospěšných mastných kyselin v celkem dvou rodech rostlin, a sice lopuch (*Arctium*) a jeřáb (*Sorbus*). Tyto rody a jejich příslušné druhy (rodiny) zatím nebyly dostatečně prozkoumány a jejich chemické složky mohou být v moderní medicíně využity jako doplňky stravy např. v podobě pilulek.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Mastné kyseliny

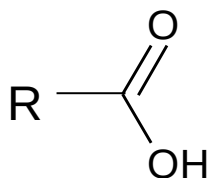
Mastné kyseliny jsou přírodní látky vyskytující se ve všech živých soustavách. Jsou součástí lipidů, např. triacylglycerolů, které zajišťují v organismech tepelnou ochranu a také zastávají sekundární zdroj energie (Nováček, 1990). V buňkách jsou obsaženy v cytoplazmatických membránách, kde zajišťují tuhost (nasycené MK) a častější tekutost (nenasycené MK). Jsou pro život všech soustav naprosto nezbytné, nicméně některé jsou esenciální a některé neesenciální a pro každou skupinu soustav jsou to jiné mastné kyseliny (Kodíček et al., 2022). Tyto látky si buď živá soustava dokáže syntetizovat sama (autotrofní organismy), nebo je musí přijímat v potravě (heterotrofní organismy) (Helešicová, 2019).

2.1.1 Chemické vlastnosti a složení MK

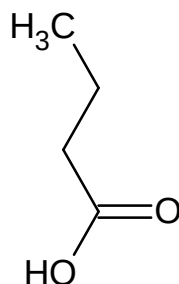
Mastné kyseliny se z chemického hlediska řadí mezi karboxylové kyseliny (viz obrázek 1), kterými jsou kyslíkaté deriváty s charakteristickou karboxylovou skupinou. Tyto látky mají na konci svého řetězce karboxylovou skupinu a zbytek řetězce je tvořen uhlovodíkovým zbytkem. Zbytek může být různě dlouhý, a právě podle tohoto kritéria se dají rozdělit na:

- a) nižší mastné kyseliny – s délkou uhlíkatého řetězce od C4 do C7,
- b) mastné kyseliny se středně dlouhým řetězcem – s délkou uhlíkatého řetězce od C8 do C12,
- c) mastné kyseliny s dlouhým řetězcem – s délkou uhlíkatého řetězce od C13 do C18,
- d) mastné kyseliny s velmi dlouhým řetězcem – vyšší než 18 uhlíků.

Mastné kyseliny s krátkým řetězcem jsou látky, které číslováním začínají od čtyřuhlíkaté kyseliny máselné (viz obrázek 2) a končí u kyseliny heptanové (Fialová, 2007; Velíšek & Hajšlová, 2009). Obecně se častěji vyskytují kyseliny, které mají sudý počet uhlíků, protože se zpracovávají na makroenergetickou sloučeninu acetyl-CoA, a to pomocí procesu β -oxidace lokalizovaného v mitochondriích. (Kodíček et al., 2022). Vzhledem k tomu, že tento proces metabolicky velmi náročný, tak živé organismy zásadně lipidy nevyužívají jako primární zdroj energie, ale jako sekundární (Mareček & Honza, 2014). Je však známo, že kyselina heptanová existuje, přestože má lichý počet uhlíků, ale v přírodě není tolik zastoupena podobně jako všechny ostatní kyseliny s lichým počtem uhlíků (Voet & Voet, 2004). Z živých organismů dokážou kyseliny s lichým počtem uhlíků syntetizovat a rozkládat přezvýkavci v bachoru, a proto mají stopový obsah v jejich mléčném tuku a mase. Schopnost rozkládat mastné kyseliny s lichým počtem uhlíků dokáže i člověk, ale jen v omezené míře. Nejdříve se tyto kyseliny zpracují na propionyl-CoA, který se několika metabolicky náročnými přesmyky za účasti enzymů funkčně závislých na vitaminu B12 přemění na sukcinyl-CoA a teprve ten vstoupí do Krebsova cyklu a zpracuje se stejně jako MK se sudým počtem uhlíků (Pfeuffer & Jaudszus, 2016).



Obrázek 1: Obecný vzorec karboxylové kyseliny



Obrázek 2: Struktura kyseliny máselné (C4)

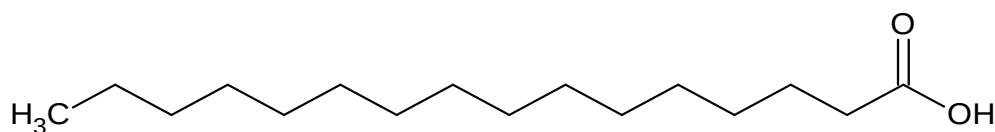
Dále rozdělujeme kyseliny se středně dlouhým řetězcem. Mají v přírodě a v potravě mnohem větší zastoupení a farmakologicky jsou významnější, protože pomáhají snižovat riziko vzniku a přibývání cholesterolu (Łoś-Rycharska et al., 2016). Začínají od kyseliny kaprylové a končí kyselinou laurovou (Fialová, 2007).

Za úplně nejdůležitější a nejvýznamnější kyseliny považujeme mastné kyseliny s dlouhým řetězcem. Označují se standartně jako vyšší mastné kyseliny (VMK) a tvoří většinu známých tuků a olejů používaných v potravinářství. Tyto tuky a oleje zároveň umožňují rozpustnost vitaminů A, D, E, K (Nováček, 1990). Počítáme je nejčastěji od kyseliny tridecylové až po kyseliny s více než 20 atomy uhlíku včetně jejich příslušných nenasycených forem (Fialová, 2007).

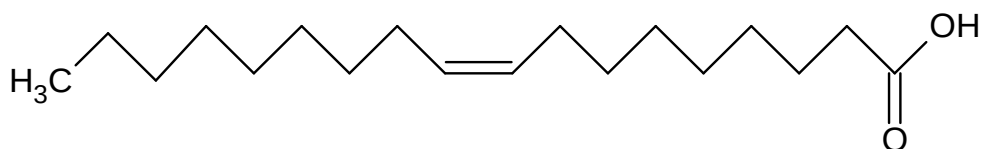
Kyseliny, které obsahují více než 18 uhlíků označujeme jako kyseliny s velmi dlouhým řetězcem a výskyt je velmi podobný VMK (Fialová, 2007). Kyseliny s velmi dlouhým řetězcem se také vyskytují ve formě příměsí jiných hlavních VMK v tucích. Například kyselina cervonová se vyskytuje velmi často jako součást kyseliny nervoové, která m.j. může pomoci lidem s roztroušenou sklerózou a podobnými onemocněními mozku (Phung et al., 2023). Jejím významným zdrojem je olej ze semen řeřichy zahradní (*Lepidium sativum*) (Mulla, 2023).

Další kritérium, podle kterého lze mastné kyseliny dělit, jsou vazby. Existují dvě možnosti – nasycené a nenasycené mastné kyseliny. Nasycené kyseliny jsou látky, které vykazují ve svém uhlovodíkovém řetězci pouze jednoduché vazby, a tedy jsou tyto kyseliny velmi stabilní (Vacík et al., 1995). Jsou obsaženy především v tucích pevného charakteru a z velké části jsou původu živočišného. Naproti tomu kyseliny, jež označujeme jako nenasycené, jsou látky, které obsahují násobné vazby s různým počtem. Nejčastějšími a nejhojnějšími jsou kyseliny s dvojnou vazbou. Tyto látky jsou součástí olejů, které se vyskytují v buněčných membránách a zajišťují

jejich tekutost i při nižších teplotách (Vacík et al., 1995). V rostlinách se mohou vyskytovat na povrchu listů jako součástí vosků, které tvoří kutikulu a dokážou tak bránit transpiraci (vypařování) vody (Rahman et al., 2021). Tyto VMK jsou součástí kapalných olejů a bývají nejčastěji rostlinného původu. Tato vlastnost však není pravidlem, existují i příklady, které jsou nenasycené živočišného původu, například rybí olej a olej z tresčích jater obsahuje výhradně nenasycené MK (*Office of Dietary Supplements - Omega-3 Fatty Acids*, 2022). Příkladem kyseliny nasycené může být kyselina myristová (C14:0), palmitová (C16:0) (viz obrázek 3), stearová (C18:0). Mezi nenasycené s dvojnou vazbou můžeme řadit kyselinu plamitoolejovou (C16:1), olejovou (C18:1) (viz obrázek 4), linolovou (C18:2) nebo linolenovou (C18:3). Tyto látky vykazují u dvojně vazby cis nebo trans izomerii (Vodrážka, 1996).



Obrázek 3 struktura kyseliny palmitové (C16:0)



Obrázek 4 struktura kyseliny olejové (C18:1)

2.1.2 Fyzikální vlastnosti mastných kyselin

Mastné kyseliny jsou jen karboxylové kyseliny, které se počítají od délky uhlovodíkového řetězce s čtyřmi uhlíky, proto jejich vlastnosti souvisí s nejjednoduššími kyselinami, např. mravenčí, octová (Tvrzická et al., 2009). Přesto se jejich charakteristicky v některých ohledech liší. Pokud tyto vlastnosti budeme vztahovat na živý organismus, tak bezpochyby nejdůležitější faktorem je jejich bod tuhnutí. V některých tkáních totiž organismy potřebují výhradně lipidy s nenasycenými MK, jinde zase výhradně s nasycenými. Ty potřebuje většina živočichů např. v podkožním tuku (Munekata et al., 2022). Bod tuhnutí nasycených MK roste se zvyšující se délkou uhlovodíkového řetězce a rovněž tak roste hydrofobicita – schopnost látek rozpouštět se v tucích. U nenasycených MK není rozhodující délka řetězce, jako spíše počet dvojných vazeb. Musí však být zachována délka uhlovodíkového řetězce. Se zvyšujícím se počtem dvojných vazeb bod tuhnutí těchto látek klesá (Berčíková et al., 2020). Pokud existuje triacylglycerol, který má pozice obsazeny všemi nenasycenými MK s vysokým počtem dvojných vazeb, bude tekutý i při teplotách nižších než 10 °C (Markley, 1947). Přehledně body tuhnutí představující následující tabulky (viz tabulka 1 a tabulka 2).

Tekutost lipidů je nesmírně důležitá pro buňky ať už rostlinné nebo živočišné. Jejich membrány totiž obsahují fosfolipidy, které musí zůstat tekuté i při teplotách nižších než 10 °C.

Tabulka 1: Příklady MK a jejich bodů tuhnutí, (upraveno a převzato z Velíšek, 2002)

Srovnání teplot tuhnutí MK			
Kyselina palmitová (C16:0)	62,7 °C	kyselina palmitoolejová (C16:1)	-0,1 °C
Kyselina stearová (C18:0)	69,6 °C	kyselina olejová (C18:1)	15,8 °C
Kyselina behenová (C22:0)	79,9 °C	kyselina eruková (C22:1)	33,5 °C
kyselina arachová (C20:0)	75,4 °C	kyselina arachidonová (C20:4)	-49, 5 °C

Tabulka 2: Srovnání nenasycených MK a jejich bodů tuhnutí v rámci izomerů, (upraveno a převzato z Velíšek, 2002)

Body tuhnutí 18 C nenasycených MK			
Kyselina olejová (C18:1n9c)	15,8 °C	Kyselina elaidová (C18:1n9t)	45,0 °C
Kyselina linolová (C18:2n6c)	-5,1 °C	Kyselina linolelaidová (C18:2n6t)	28,5 °C

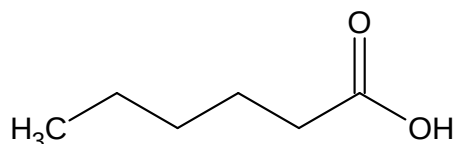
2.2 Biologicky významné mastné kyseliny

Mezi nejvýznamnější mastné kyseliny z hlediska výskytu v živých soustavách se řadí kyseliny, které mají více než 14 atomů uhlíku. Jsou to VMK a jejich zastoupení je nejvyšší. Tyto a všechny další MK o sudém počtu uhlíků jsou syntetizovány biosyntézou lokalizovanou v cytoplazmě buňky (Mareček & Honza, 2014). Existují samozřejmě i kyseliny o lichém počtu C, ale těch je podstatně méně, a většina z nich je syntetizována mikroorganismy (Zhang et al., 2020). Jedna z vůbec nejvíce se vyskytujících je kyselina palmitová. Skládá se z šestnácti atomů uhlíku a obsahují ji především živočišné tuky. Z takřka nejpodstatnějších rostlinných zástupců můžeme jmenovat např. kyselinu olejovou s osmnácti atomy uhlíku (Nováček, 1990). VMK jsou také jedním z prekurzorů pro transport vitaminů, udržování stability lipidů v podkožním tuku a v metabolických drahách se z nich tvoří např. kyselina žlučová nebo různé druhy steroidů (Solà Marsiñach & Cuenca, 2019).

Kyselina kapronová (C6:0)

Kyselina kapronová bývá často zaměňována s kyselinami podobného charakteru, a sice kyselinou kaprylovou a kaprinovou. Jedná se však o kapalinu, která velmi charakteristicky voní po kozím sýru (PubChem, 2023). Dokáže rovněž působit na kůži jako silné antiseptikum (Preis & Kruis, 1988). Viskozita připomíná spíše olejovitou kapalinu, která se podle své struktury

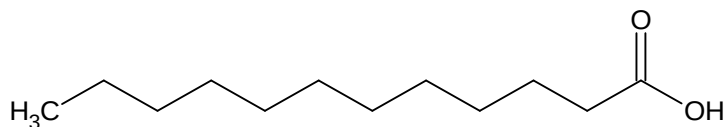
dobře rozpouští v organických polárních rozpouštědlech, např. v diethyletheru a rovněž také ve vodě. Díky svému krátkému řetězci se nepřeměňuje na VMK a ani se ve tkáních a pletivech organismů neukládá (PubChem, 2023). Velice rychle metabolizuje a její šestiuhlíkatý řetězec se natřikrát rozloží na dvouuhlíkatý acetyl. Obecně kyseliny s krátkým řetězcem jsou přeměňovány pomocí glyoxylátového cyklu na sacharidy, protože se většinou esterově na glycerol nevážou (Chew & Than, 2021). Vyskytuje se jak právě v kozím sýru (Slintáková, 2015), tak má své zastoupení v metabolitech jinanu dvoulaločného (*Ginkgo biloba*), v procesu rozkladu slupky jeho semen (Boateng & Yang, 2022).



Obrázek 5: Struktura kyseliny kapronové (C6:0)

Kyselina laurová (C12:0)

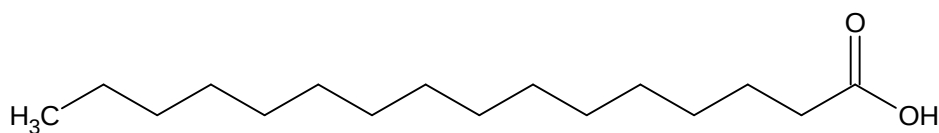
Jedná se o 12 uhlíkatou nasycenou mastnou kyselinu. Je to bílá krystalická látka, svým zápachem připomínající mýdlo. Vyskytuje se např. v mateřském mléce a je hlavní složkou kokosového a palmojádrového oleje. Význam má i její obsah v kořeni lopuchu většího (*Arctium lappa*) jako jeho metabolit (PubChem, 2023) nebo v semenech a listech vavřínu (*Laurus nobilis*) (Litchfield et al., 1967).



Obrázek 6: struktura kyseliny laurové (C12:0)

Kyselina palmitová (C16:0)

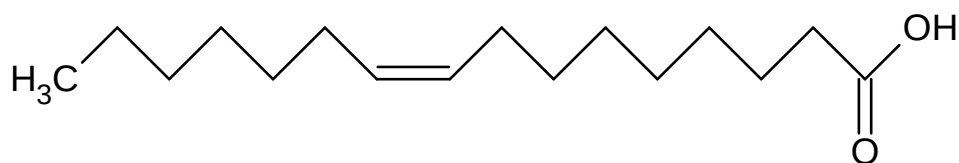
Saturovaná mastná kyselina s 16 atomy uhlíku je naprosto zásadní v lidském metabolismu. Vyskytuje se ve velkém množství pevných tuků, a hlavně živočišných tuků. Čistá kyselina palmitová je bílou krystalickou látkou (PubChem, 2023). Tuto kyselinu obsahují v hojném množství plody palmy olejné – asi 44 %, a proto palmový tuk není zrovna vhodným k dlouhodobé výživě, dále je také obsažena v kakaovém másle a tvoří 50 – 60 % celkových tuků v mase (Carta et al., 2017). V případě vyšší konzumace tuků s obsahem kyseliny palmitové může dojít ke zvětšování ložisek viscerálního tuku nebo až ke ztučnění jater (Thomas, 2017), případně ji vychytává tuková tkáň a hromadí se v těle (Annevelink et al., 2023). Významnou informací je, že se syntetizuje v rámci lipogeneze, protože se řadí mezi neesenciální MK. Tělo má však jednu velkou výhodu, že dokáže pomocí enzymu stearyl-CoA desaturasy transformovat kyselinu palmitovou na plamitoolejovou (Paillard et al., 2008).



Obrázek 7: Struktura kyseliny palmitové (C16:0)

Kyselina palmitoolejová (C16:1n7c)

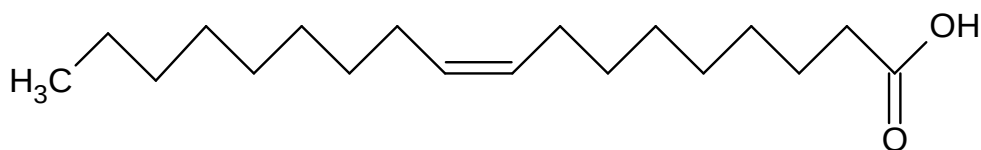
Kyselina palmitoolejová je jednou z velmi významných nenasycených mastných kyselin s 16 atomy uhlíku. Řadíme ji mezi OMEGA-7 (mastná kyselina mající první dvojnou vazbu na sedmém uhlíku při číslování od methylové skupiny) mastné kyseliny (Zubatá, 2019). Volný výskyt je patrný zejména v živočišných tkáních, nicméně se více vyskytuje v rostlinách v podobě TAG (triacylglyceroly) (Oh et al., 2022). Rostliny čeledi *Proteaceae* bývají velmi často bohaté na tuto mastnou kyselinu. Nachází se např. v makadamiovém oleji v plodech (ořechách) makadamie celolisté (*Makadamia inegrifolia*) (Hu et al., 2019; Knothe, 2010). V oleji z dužiny rakytníku řešetlákového (*Hippophae rhamnoides*) se vyskytuje až v koncentracích 42 % (Fatima et al., 2012). Jak u rostlin, tak u živočichů výrazně ovlivňuje metabolismus glukosy. Vzniká syntézou z kyseliny palmitové za katalýzy stearyl-CoA desaturasy (Paillard et al., 2008).



Obrázek 8: Struktura kyseliny palmitoolejové (C16:1n7c)

Kyselina olejová (C18:1n9c)

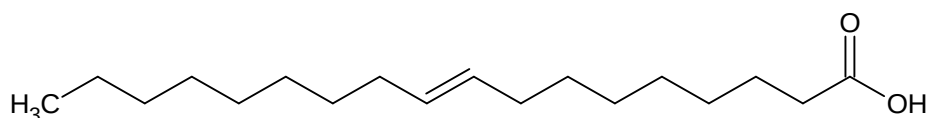
Tato kyselina patří opět mezi VMK a její úloha v rostlinných orgánech je naprosto nezastupitelná. Jedná se kapalinu žlutého zabarvení, velmi viskózní s charakteristickým zápachem připomínajícím sádlo. Její výživářská klasifikace je OMEGA-9 (mastná kyselina mající první dvojnou vazbu na devátém uhlíku při číslování od methylové skupiny). Kyselina olejová se u člověka syntetizuje endogenně, ovšem ne zcela kompenzuje všechny požadavky, tedy je semiesenciální (Farag & Gad, 2022). Působí vůči vodě hydrofobně, tedy je velmi lipofilní, a to díky jejímu dlouhému nepolárnímu uhlovodíkovému řetězci. Vyskytuje se ve formě esterů s glycerolem za vzniku TAG a v rostlinných produktech je nejvíce obsažena v olivovém a pekanovém oleji v celkových maximálních koncentracích od 55-83 % (Hernández et al., 2021).



Obrázek 9: struktura kyseliny olejové (C18:1n9c)

Kyselina elaidová (C18:1n9t)

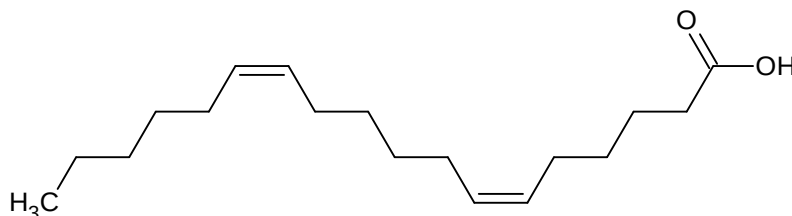
Kyselina elaidová je jednou z trans nenasycených mastných kyselin. V čistém stavu se projevuje jako bílá krystalická látka, která velmi často bývá součástí olejů při přepalování. Její malé množství se vyskytuje především v mléčných výrobcích, sýrech, kozích a kravských mlécích (Brody, 1999), kde vzniká působením mnoha mikroorganismy (Rindsig & Schultz, 1974). Toto množství je ale na zdraví člověka zanedbatelné, jelikož se její koncentrace pohybuje od 2 do 8 % (Brody, 1999). Ve velkém množství je v přepálených tucích zdraví škodlivá, protože některé studie prokázaly její vliv společně s kyselinou palmitovou na rakovinu vaječníků u žen v premenopauze (Leal, 2021). Velmi často se však vyskytuje jako metabolit rostlin, kdy za jejím vznikem stojí kyselina olejová. Vzniká právě z ní procesem nazývaným elaidinizace (Fitzpatrick & Orchin, 2002).



Obrázek 10: Struktura kyseliny elaidové (C18:1n9t)

Kyselina linolová (C18:2n6c)

Kyselina linolová patří mezi tzv. polynenasycené VMK s dvěma dvojnými vazbami. Radíme ji výživářsky mezi OMEGA-6 mastné kyseliny a je tedy esenciální pro člověka (Whelan & Fritsche, 2013). Někdy se také kvůli její esencialitě označuje jako vitamin F (Kodíček et al., 2022). Opět se projevuje jako viskózní olejovitá kapalina, ale je téměř úplně inertní (bez zápachu) (PubChem, 2023). Kyselinu linolovou obsahují hojně oleje lnu setého (*Linum usitatissimum*) (Shim et al., 2014), dále je pak v nižších koncentracích obsažena v oleji ze semen máku (*Papaver somniferum*) (Satranský et al., 2021) nebo slunečnici. Její asi snad nejdůležitější význam je ten, že téměř všechny membrány rostlinných i živočišných buněk se skládají převážně z této látky a to proto, že jim poskytuje jejich tekutost i při nižších teplotách díky nízkému bodu tuhnutí. Nicméně v membránách se nevyskytuje volně, nýbrž jako součást fosfolipidů (Bryan et al., 2001).

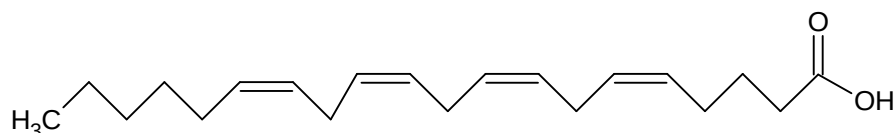


Obrázek 11: Struktura kyseliny linolové (C18:2n6c)

Kyselina arachidonová (C20:4n6c)

Kyselina arachidonová je součástí mnoha stolních olejů, její velkou nevýhodou však je, že i v olejích díky dlouhému uhlovodíkovému řetězci krystaluje. Z chemického hlediska

obsahuje celkem 20 uhlíků a 4 dvojné vazby. Řadí se mezi OMEGA-6 mastné kyseliny. V buňce se nachází v cytoplazmatické membráně jako složka fosfolipidové dvojvrstvy, odkud je uvolňována (Luo & Hu, 2014; Zhou et al., 2021). Vzhledem k tomu, že se řadí mezi esenciální, tedy ji musíme přijímat v potravě, má největší obsah v kuřecím masu a rybích olejích. Některé studie však o její esencionalitě pochybují, protože se dá syntetizovat z kyseliny linolové ovšem velmi energeticky náročnou cestou, existuje tedy určité spektrum studií, které ji uvádí jako semiesenciální (Rett & Whelan, 2011, s. 7).



Obrázek 12: Struktura kyseliny arachidonové (C20:4n6c)

2.3 Rostliny využívané k experimentu

2.3.1 Lopuch větší (*Arctium lappa*)

Lopuch větší (*Arctium lappa*) je bylina vyššího vzrůstu patřící do čeledi *Asteraceae* hvězdnicovité (viz obrázek 5). Její výskyt je patrný především u rumišť a na okrajích cest. Dobře se mu daří např. i na smetištích. Rozšířený je po celé Evropě, kromě arktických oblastí (Tobyn et al., 2011). Nejvíce sbíranou částí je kořen kvůli jeho blahodárnému účinku na ledviny a močové cesty (Koriem et al., 2016). Jedná se o dvouletou bylinu s asi 1,5-2 metry vysokou lodyhou, ze které vyrůstají listy srdčité až vejčité. Kořen má typicky paprscité cévní svazky a skládá se z hlavního kořenu zásobního a několika postranních kořenů (Wang et al., 2019). V hlavním kořeni se zásobují všechny autotrofní metabolity, tedy převážně rostlinný škrob, lipidy a proteiny, které potom využívá při nedostatku světla a možnosti fotosyntézy. V lopuchu se často vyskytují i neesterifikované MK, tedy ty, které nejsou součástí lipidů, a to sice nejvíce kyselina linolová a kyselina palmitová (Romualdo et al., 2020).



Obrázek 13: Lopuch větší (*Arctium lappa*) převzato z: (Lopuch větší (*Arctium lappa* L.), 2009)

2.3.2 Lopuch menší (*Arctium minus*)

Další použitý zástupce z rodu lopuch je lopuch menší (*Arctium minus*). Jedná se opět o dvouletou bylinu z čeledi *Asteraceae*, asi 100-150 cm vysokou. Řídce ochlupená rostlina se vyskytuje i na znečištěných místech. Jejím typickým znakem jsou duté řapíky u silně plstnatých listů a hojně červeno-růžově zbarvené květenství (*Arctium minus* - Kleine Klette 2014) (viz obrázek 6). Lopuch menší není náročný na obsah minerálů v půdě, ale v místech, kde se nachází v půdě množství dusíku v podobě dusičnanových iontů má obzvláště velký výskyt (*Common Burdock*, 2013). Naopak nesnáší příliš mnoho vápníku v půdě. Tento druh lopuchu stejně jako všechny ostatní má plody suché – nažky. Největší obsah potenciálně prospěšných látek je v kořeni této rostliny, kde obsahuje nejvíce inulinu, který dokáže v tělech organismů působit jako sekundární zdroj fruktosy (Moro & T.P.S. Clerici, 2021). Tento druh lopuchu ho obsahuje konkrétně až 50 %. (Jahodář, 2022) Listy lopuchu menšího se často používají k léčbě revmatických zánětů a horečky (Wang et al., 2019).



Obrázek 14: Lopuch menší (*Arctium minus*) převzato od: (Humpolíčková, 2022)

2.3.3 Lopuch plstnatý (*Arctium tomentosum*)

Jako jeho dva předešlí zástupci má i tento druh velmi mnoho tělu prospěšných látek, a to v kořeni. Lopuchy v prvním roce vytváří listovou růžici a teprve až v roce druhém rozkvétají (viz obrázek 7). Pochází z Evropy ale i z části Číny a velmi rychle expanduje i na místa, kde není původní např. do Severní Ameriky (Dorušková, 2008). Roste i na místech pro ostatní druhy velmi nevhodných takových, jako jsou smetiště, skládky aj. Látky obsažené v jeho kořeni dokáží čistit krev, mít projímavé účinky nebo napomocť při nemocech jater a žaludečních vředech (Knauerová & Drnková, 2017). Účinné látky v listech se také používají proti vředům v ústech nebo kožním vyrážkám (Wang et al., 2019).



Obrázek 15: Lopuch plstnatý (*Arctium tomentosum*) převzato od: (Podhorný, 2020)

2.3.4 Jeřáb muk (*Sorbus aria*)

Jeřáb muk je jeden ze zástupců rodů *Sorbus* – jeřáb čeledi *Rosaceae* – růžovité. Jedná se o keř dosahující výšky až 15 m (Wettstein, 1897). Květy má uspořádané podobně jako jeřáb ptačí do lat (viz obrázek 8) a jeho květní lůžku je stejně jako u ostatních druhů vyvýšeno – hypanthium (Rosypal, 2003). Tomuto druhu se velmi dobře daří na místech s velkým obsahem vápníku a dalších zásaditých minerálů a tvoří zde ekotop – světlé doubravy (Grulich, 2022). V ČR roste jeden z endemitických druhů jeřábu muku, a sice jeřáb muk haardegský v oblasti NP Podyjí, kde má ovšem slabý výskyt, a proto se řadí mezi silně ohrožené druhy (*Sorbus aria* agg. *Databáze české flóry a vegetace*, 2014).



Obrázek 16: Jeřáb muk (*Sorbus aria*) převzato od: (Lepší, 2013)

2.3.5 Jeřáb širokolistý (*Sorbus latifolia*)

Jeřáb širokolistý je další z vybraných zástupců rodu *Sorbus*. Keř, který dorůstá výšky až 20 m, má jednoduché eliptické zubaté listy (viz obrázek 9). Lesklé listy rovněž vykazují přítomnost vosků – esterů vyšších monokarboxylových kyselin s vyššími jednosytnými alkoholy (Demska et al., 2022). Tyto látky rostlině pomáhají udržovat homeostázu vnitřní vody a brání jejímu odpařování. Tomuto keři se velmi dobře daří na půdách s vyšším obsahem hlinitokřemičitanů (živců) Na obsah vody má standardní požadavky až mírně vlhké půdy (Leeth, 2016).



Obrázek 17: Jeřáb širokolistý (*Sorbus latifolia*) převzato od: (Ziarnek, 2014)

2.3.6 Jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia*)

Jeden z nejzastoupenějších druhů jeřábu je právě jeřáb ptačí. V ČR má největší výskyt co do objevených exemplářů. Jeřáb ptačí se vyskytuje od nejnižších poloh až po subalpínské porosty. Plodem jeřábů jsou malvice, které jsou potravou některých druhů ptáků a ti roznášejí semena trusem (Hejný & Slavík, 1988) (viz obrázek 10). Obsahuje velké množství polyfenolických látek, zvláště pak chlorovaných kyselin (Bobinaitė et al., 2020) a kyseliny kávové (Rutkowska et al., 2021). Tyto látky výrazně snižují riziko kardiovaskulárních chorob a mají silné protizánětlivé účinky (Bujor et al., 2019). Vedle těchto sekundárních metabolitů obsahují plody jeřábu ptačího rovněž také bohaté množství polysacharidů, vitaminů a minerálních látek (Rutkowska et al., 2021). Nejvíce z nich tvoří pektiny a zbytky kyseliny galaktouronové (Zlobin et al., 2012).



Obrázek 18: Jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia*) převzato od: (Boudyšová, 2023)

2.3.7 Jeřáb břek (*Sorbus torminalis*)

Poslední z vybraných zkoumaných druhů jeřábu je jeřáb břek. Vyskytuje se jako listnatý opadavý strom ve střední a jižní Evropě. Dosahuje maximální výšky mezi 15-18 m. Jeho listy jsou lesklé – s obsahem vosků na svrchní straně a ze spodní strany pokryté výraznějšími chloupky – trichomy. Snáší pro svůj růst i sušší půdy, ale i tak má nároky na živinami bohaté půdy. (*Sorbus torminalis*, 2014). Z fytochemického hlediska jeho květy obsahují významné flavonoidní látky především kyseliny kofeoylchinové a nově také izolovaný isorhamnetin (Olszewska & Roj, 2011). Naopak listy obsahují apigenin, luteolin, kyselinu kávovou a *p*-kumarovou (Olszewska & Roj, 2011). Obsahy látek v plodech tohoto druhu nejsou zatím příliš prozkoumané, ale zvažují se možné antioxidační vlivy na acetylcholin – neurotransmitter (Hasbal et al., 2015).



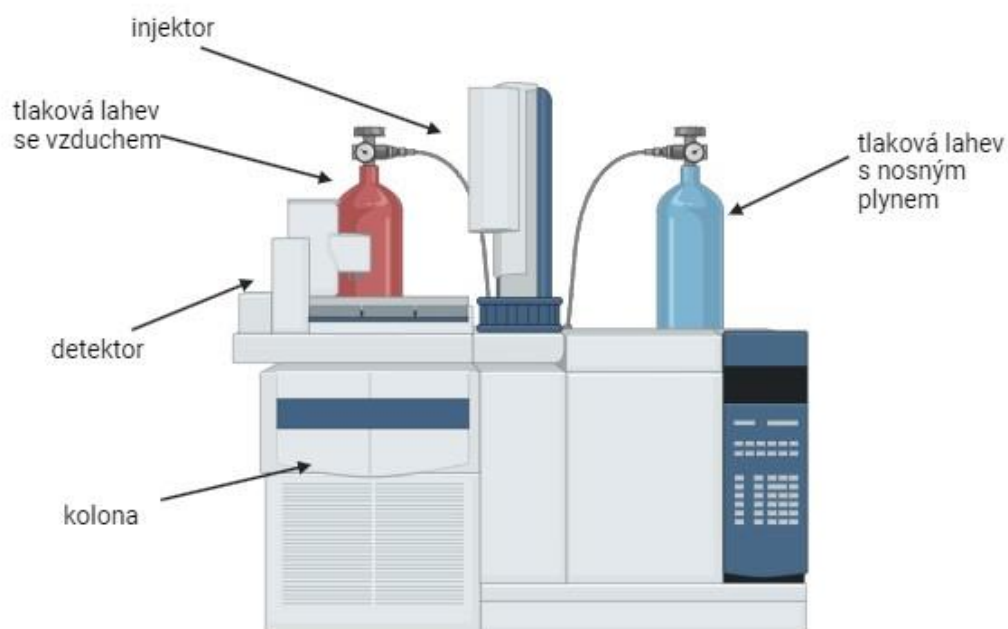
Obrázek 19: Jeřáb břek (*Sorbus torminalis*) převzato od: (Boudyšová, 2023)

2.4 Plynová chromatografie (GC)

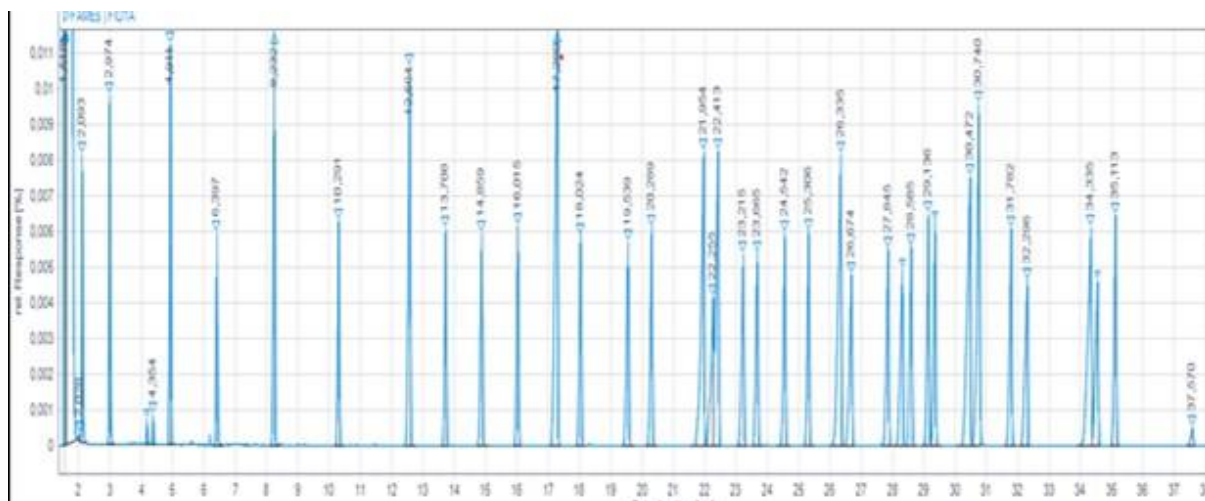
Plynová chromatografie je metoda separace látek na základě rozdělení jednotlivých složek mezi dvě fáze – mobilní a stacionární. Mobilní fází je nosný neboli hnací plyn naopak stacionární, která je umístěna v koloně může být aktivní uhlí, silikagel apod. Hlavními součástmi GC jsou nosný plyn, kterým může být dusík, helium nebo argon, dále injektor (dávkovač, nástríková komora), který zajišťuje zavedení vzorku do nosného plynu pomocí speciální injekční stříkačky. Kolona je místo se stacionární fází, kde dochází k separaci vzorku a v detektoru se rozseparované části vzorku zachytí a vyhodnotí (Zacha & Sýkora, 2019). Detektorů existuje několik druhů, a sice FID, což je detekce ionizací plamenem, kdy vzorek vzplane pomocí H_2 , ECD – metoda založená na vychytávání elektronů (vhodné pouze pro látky s vysokou elektronegativitou) a TCD, kdy dojde k detekci pomocí změny tepelné vodivosti průchodem speciálního analytu (*Gas Chromatography*, 2013).

Princip je následující. Vzorek se nastříkne do vyhřívané komory, odpaří se a je unášen nosným plynem až do místa kolony, kde se látky ve vzorku od sebe separují a jsou proháněny „čerstvým“ nosným plynem až do detektoru, který indikuje okamžitou koncentraci látek a postupně zasílá signály, které se v odečítacím zařízení (PC) registrují (schéma viz Obrázek

20). Výsledek se pak nazývá chromatogram, který je složen z jednotlivých píků (Obrázek 21) (Zacha & Sýkora, 2019).



Obrázek 20: Schéma plynové chromatografie



Obrázek 21: Příklad chromatogramu s jednotlivými píky

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část byla prováděna na Ústavu biochemie přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity. Samotné stanovování bylo realizováno v různých typech laboratoří převážně biochemického charakteru. Měření bylo uskutečňováno v období leden–září roku 2023.

3.1 Cíl práce

Cílem této práce bylo kvantitativně připravit roztoky vzorků jednotlivých druhů lopuchů (*Arctium*) a jeřábů (*Sorbus*) a následně vyhodnotit obsah mastných kyselin z jejich esterů pomocí plynové chromatografie. Stanovovány byly extrakty z plodů lopuchu většího (*Arctium lappa*) a dále pak z lopuchu menšího (*A. minus*) a plstnatého (*A. tomentosum*) a profily mastných kyselin v těchto druzích navzájem porovnávány. Stejně vyhodnocování bylo použito u rodin jeřábu, kde zástupci byli jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia*), břek (*S. torminalis*), rodina jeřábu muku (*S. aria agg.*) a širokolistého (*S. latifolia agg.*).

3.2 Chemikálie a pomůcky

K pomoci stanovení byly použity následující pomůcky a chemikálie.

Pomůcky:

- Dusíková odparka
- Inzerty
- Mikropipety různých objemů
- Pipetovací nástavce
- Plynová chromatografie
- Třepačka (Multi speed Vortex MSV – 3500)
- Ultrazvuk (Branson 5510)

- Vialky
- Vortex (Heidolph REAX 2000)

Chemikálie:

- 5M roztok hydroxidu draselného v methanolu
- Acetonitril p. a.
- Dimethylformamid p. a.
- Hexan p. a.

3.3 Materiál

Extrakty z jeřábu, které byly použity ke kvantitativnímu stanovení obsahu mastných kyselin, byly sesbírány z lokalit, které uvádí následující tabulka (viz tabulka 3). Extrakty z lopuchu, které rovněž byly použity ke stanovení, byly dodány PharmDr. Milanem Malaníkem, Ph.D. z Farmaceutické fakulty Masarykovy univerzity.

Tabulka 3: Lokality jednotlivých druhů jeřábu

Druh	Lokalita	Rodina
<i>S. cucullifera</i>	Hardegg	<i>S. aria agg.</i>
<i>S. portae-bohemicae</i>	Lovoš	<i>S. latifolia agg.</i>

<i>S. bohémica</i>	Lovoš	<i>S. latifolia agg.</i>
<i>S. collina</i>	Lovoš	<i>S. aria agg.</i>
<i>S. albensis velké</i>	Knobloška	<i>S. latifolia agg.</i>
<i>S. albensis malé</i>	Knobloška	<i>S. latifolia agg.</i>
<i>S. danubialis</i>	Knobloška	<i>S. aria agg.</i>
<i>S. danubialis</i>	Senorady	<i>S. aria agg.</i>
<i>S. torminalis</i>	Senorady	<i>Torminaria</i>
<i>S. torminalis</i>	Hardegg	<i>Torminaria</i>
<i>S. torminalis</i>	Levnov	<i>Torminaria</i>
<i>S. aucuparia</i>	Kozí hřbety	<i>Sorbus s. str.</i>

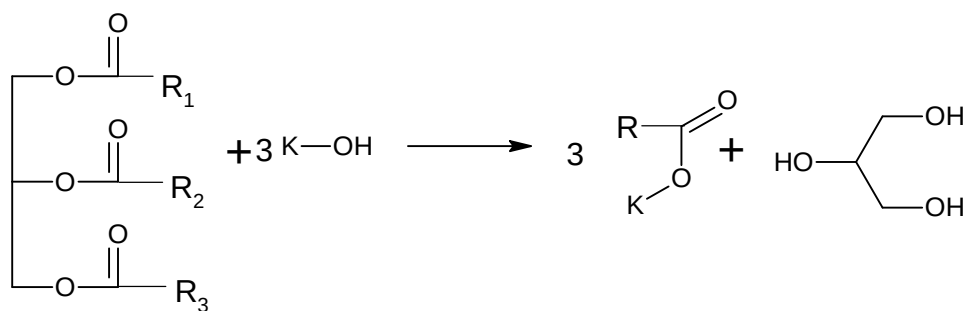
3.4 Metody

3.4.1 Rozpouštění extraktů a příprava vzorků jeřábu

Extrakty jeřábů uvedené v tabulce 3 byly rozpuštěny v acetonitrilu (ACN) a dimethylformamidu (DMF) v poměru 1:0,8. Z každého již předpřipraveného vzorku bylo pomocí mikropipety odebráno 200 µl a převedeno do vialky. Vialka byla uzavřena do dusíkové odparky a veškerý obsah byl dusíkem odpařen. Odparek byl následně rozpuštěn ve 200 µl hexanu (spol. Lab-Scan analytical sciences). Vzorek byl celkem 10 minut vytřepáván na třepačce (Multi speed Vortex MSV – 3500). Pro další analýzu byl ještě asi 10 minut ponechán pod ultrazvukem (Branson 5510). Do takto připraveného vzorku bylo přidáno 20 µl 5M roztoku hydroxidu draselného v methanolu (methanol spol. Honeywell), který byl předem předpřipraven, a protřepáno na vortexu (Heidolph REAX 2000). Tato hydrolýza byla provedena z důvodu vyšší těkavosti solí MK. Následně bylo odebráno množství vzorku do inzertu, bez vytvořené kapky glycerolu a inzert byl vložen do analyzátoru plynové chromatografie.

3.4.2 Rozpouštění extraktů a příprava vzorků lopuchu

Extrakty vzorků lopuchu byly rozpuštěny v ACN a DMF v poměru 9:1. Z připravených vzorků bylo odpipetováno 200 µl a převedeno do jiné vialky. K tomuto vzorku bylo přidáno 200 µl hexanu (spol. Lab-Scan analytical sciences) a protřepáváno 10 minut na třepačce. Po protřepání byla odpipetována horní vrstva do nové vialky a k ní přidáno 20 µl 5M roztoku hydroxidu draselného a protřepáno na vortexu (Heidolph REAX 2000). Tato hydrolýza byla provedena z důvodu vyšší těkavosti solí MK. Roztok byl odpipetován bez kapky glycerolu do inzertu a převeden do analyzátoru plynové chromatografie.



Obrázek 22: Obecné schéma reakce zásadité hydrolyzy

3.4.3 Metodika k plynové chromatografii

Stanovení obsahu látek v námi zvoleném rozhraní bylo provedeno pomocí metody plynové chromatografie (GC) za použití přístroje Agilent Technologies 8860 GC system vybaveným plamenoionizačním detektorem FID (z angl. „flame ionization detector“). Dále byla využita kolona společnosti Zebron s rozměry 30 m × 0,32 mm × 0,20 μm s teplotní kapacitou do 280 °C. Všechny nastavené parametry pro měření jsou shrnuty v následující tabulce 4.

Tabulka 4: Parametry GC pro vyhodnocení

Parametry	Hodnota
Dávkování	Split 2:1, 250 °C
Nosný plyn	Helium
Stacionární fáze	Silikagel (SiO ₂)
Průtok kolonou	3 ml · min ⁻¹
Teplota pece	Startovní teplota – 40 °C, postupné navýšování, o 25 °C/min do 7,5 min retenčního času, pak navýšování o 2 °C až na 250 °C
Parametry k FID	Plyn pro zapálení plamene: H ₂ / spotřeba 30ml/min Okysličovadlo: technický vzduch / spotřeba 400 ml/min Zobrazovací plyn: N ₂ / spotřeba 25 ml/min
Objem nástřiku vzorku	5 μl
Doba vyhodnocení celého nástřiku	55 min

K vyhodnocení byl použit software MassHunter Profinder a MassHunter Qualitative Analysis, který byl součástí plynové chromatografie. Na základě toho, jak byla data z plynové chromatografie zasílána do PC, se tvořily píky, které byly srovnávány s velikostí píků u standardu MK (Fatty acids methyl esters) a z nichž bylo možné pomocí jednoduchého molárního zlomku vypočítat procentuální zastoupení jednotlivých MK.

3.4.4 Statistické vyhodnocení

Vyhodnocení bylo stanoveno u všech druhů pomocí intervalu spolehlivosti u referenčního druhu. U lopuchu se jednalo o druh *A. tomentosum* u jeřábu pak o rodinu *S. aria agg.* Tyto druhy byly vybrány z toho důvodu, že u nich byl největší počet opakování replik. Interval spolehlivosti byl stanoven na 95 %. S těmito druhy pak byly srovnávány ostatní druhy, kde bylo možné zjistit statistický významný nebo nevýznamný rozdíl obsahu jednotlivých MK. Do grafů byla zavedena ještě směrodatná odchylka, která vyjadřuje variabilitu dat.

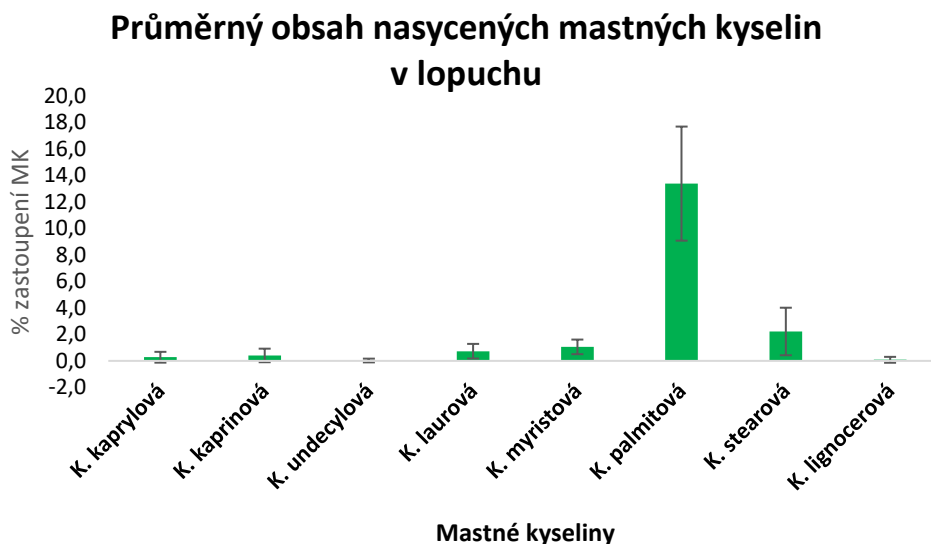
4 VÝSLEDKY

Pro vyhodnocení obsahu MK byla nejdříve optimalizována metoda, ke které byl použit standard MK (Fatty acids methyl esters). Představuje obsah všech možných MK, které by mohly být identifikovány. Ve standardu bylo stanoveno 37 druhů mastných kyselin, přičemž reálných zástupců, které byly naměřeny ve vzorcích, nebylo všech 37 zástupců. Reálně stanovené mastné kyseliny jsou rozděleny v grafech na nasycené a nenasycené a jejich průměrné obsahy v plodech všech druhů lopuchu a jeřábu. Další grafy srovnávají obsah mastných kyselin po jednotlivých druzích (rodinách). Všechna tato data platí, jak pro lopuch, tak pro jeřáb.

4.1 Vyhodnocení dat druhů lopuchu

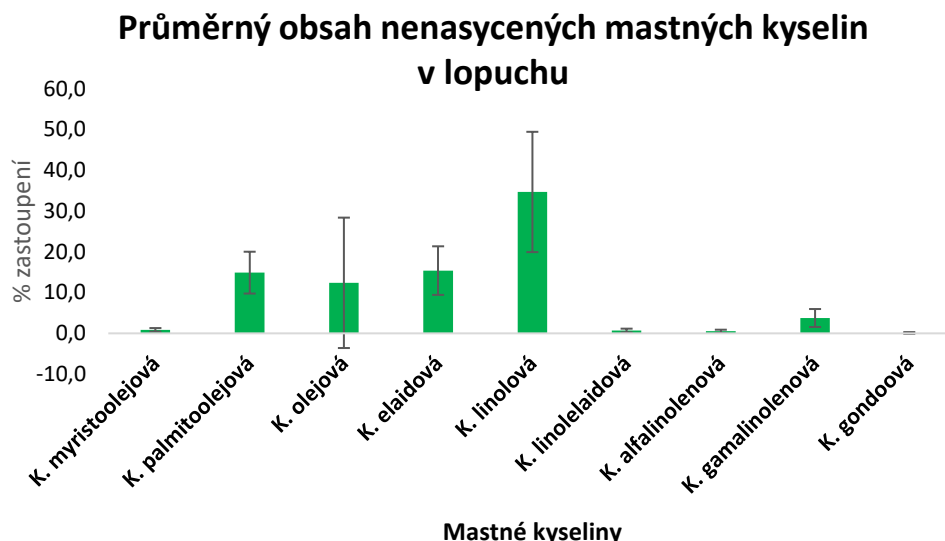
Pro práci byly využity celkem tři druhy *A. tomentosum*, *A. minus* a *A. lappa*. Od všech druhů existovaly vždy tři vzorky, ale ne všechny byly nakonec použity do vyhodnocení do grafů. Některé totiž byly odlehlé od ostatních, což znamená, že vykazovaly příliš velké rozdíly od ostatních a je možné, že jejich odlehlost byla způsobena i chybou v měření. K vypočítání odlehlosti byl využit Grubbsův test. U *A. tomentosum* byla data nakonec měřena v triplikách, u zbylých dvou druhů kvůli nepoužití jednoho vzorku u každého z nich, nakonec v duplikách. (Tripliky = od každého druhu existovaly právě tři vzorky k porovnání, u duplik analogicky dva). Všechny vzorky byly měřeny zároveň tak, aby se nesetkalo v jednom měření více vzorků stejného druhu, protože by byla možnost získat větší množství statistických chyb.

V následujících dvou grafech (Obrázek 23, 24) jsou zahrnuty průměrné obsahy MK, které jsou pro přehlednost rozděleny na nasycené a nenasycené.



Obrázek 23: Zástupci nasycených MK v lopuchu

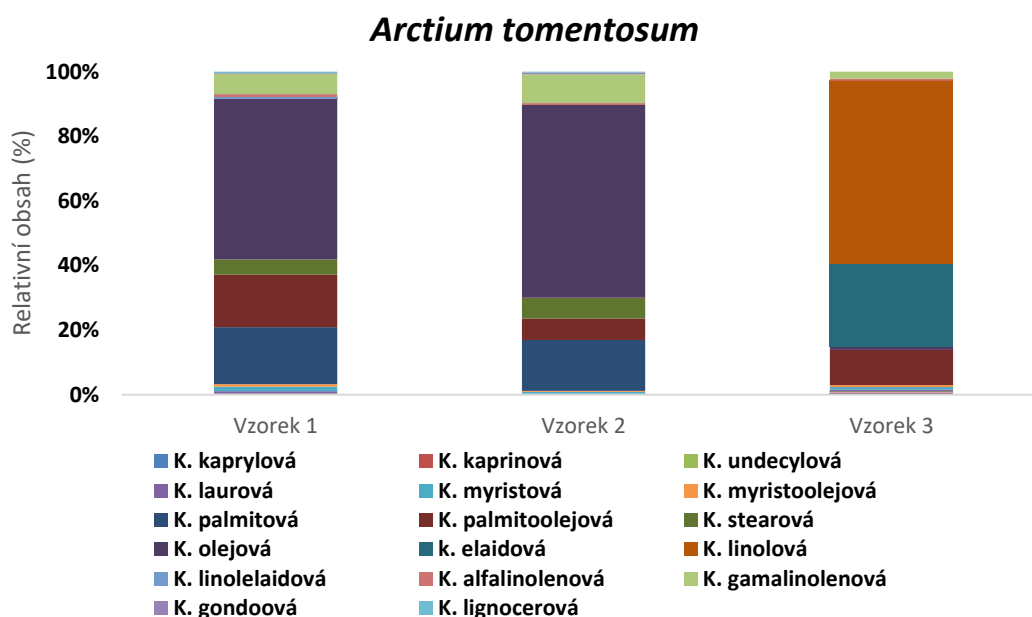
Při odečítání z grafu lze jednoduše vyvodit, že z nasycených mastných kyselin jednoznačně dominuje kyselina palmitová.



Obrázek 24: Zástupci nenasycených MK v lopuchu

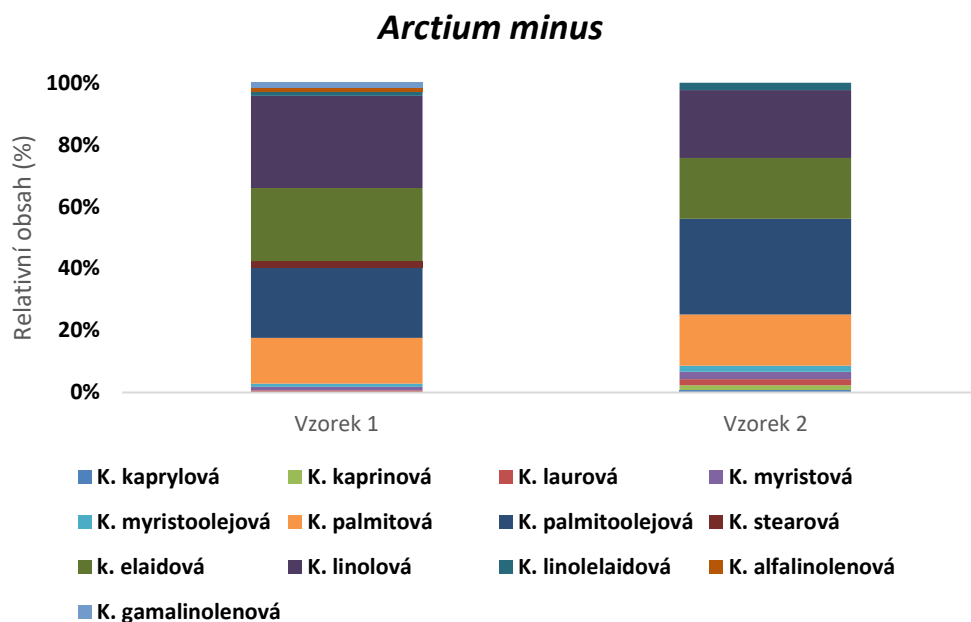
V rámci nenasycených mastných kyselin je zřejmé, že kyselina linolová patří mezi nejvíce zastoupené zástupce vedle kyseliny palmitoolejové a olejové. Zvláštním středobodem, o kterém rovněž pojednává tento graf je bezpochyby velký obsah kyseliny elaidové.

Následující tři grafy (Obrázek 25, 26, 27) zapracovávají do vyhodnocení srovnání obsahu mastných kyselin v rámci jednotlivých druhů lopuchu. Srovnání obsahu MK bylo provedeno pomocí intervalu spolehlivosti, od kterého byl posouzen statisticky významnější rozdíl v jednotlivých druzích. Jako základ pro vyhodnocení intervalu spolehlivosti byl použit druh *A. tomentosum*, který obsahoval tři vzorky a podle něj pak byly posuzovány ostatní vzorky v dalších druzích.



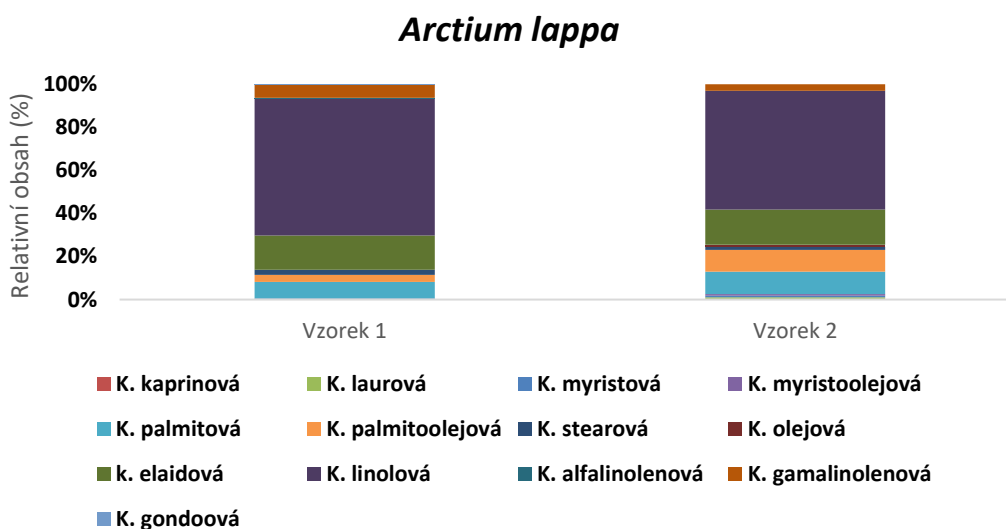
Obrázek 25: Srovnání procentuálních obsahů MK ve vzorcích *A. tomentosum*

Na srovnání procentuálního obsahu MK na grafu lze vidět, jak se první dva vzorky v obsahu příliš neliší, zatímco obsah MK ve vzorku 3 je diametrálně odlišný. Například obsah kyseliny linolové jednoznačně převyšuje dva předchozí vzorky, naopak ve vzorcích 1 a 2 bylo identifikováno velmi podobné množství kyseliny olejové. Podobné obsahy má kyselina palmitoolejová ve všech třech vzorcích



Obrázek 26: Srovnání procentuálních obsahů MK ve vzorcích *A. minus*

V grafu druhu *A. minus* lze vidět, že hodnoty naměřených MK mají v obou vzorcích poměrně shodné zastoupení. Hojně zastoupení se vyskytuje opět vyskytuje u kyseliny linolové, resp. kyseliny palmitoolejové. Zvláštní je množství zastoupení kyseliny elaidové, které často nebývá metabolitem rostlin.



Obrázek 27: Srovnání procentuálních obsahů MK ve vzorcích *A. lappa*

Druh *A. lappa* je nejvýznamnějším u nás a velikosti obsahů kyseliny linolové společně s kyselinou elaidovou jednoznačně dominují. Mezi minoritně obsažené druhy patří nízkouhlíkaté MK, kupříkladu kyselina kaprinová, laurová apod.

Následující tabulka shrnuje statisticky významné mastné kyseliny v lopuchu, přičemž je určujeme pouze u druhů *A. minus* a *A. lappa*. Druh *A. tomentosum* je brán jako základ pro vyhodnocení intervalu spolehlivosti. Do kolonky ostatní byly zahrnuty MK, které měli procentuální zastoupení pod určité (velmi nízké) procento. Jedná se o kyselinu kaprylovou, kaprinovou, undecylovou, laurovou, myristovou, myristoolejovou, stearovou, linolelaidovou, α -linolenovou a gondoovou.

Tabulka 5: Vyhodnocení statisticky významnějších rozdílů mezi druhy lopuchu (*Arctium*)

Průměrné obsahy – statistické rozdíly			
	<i>A. tomentosum</i>	<i>A. minus</i>	<i>A. lappa</i>
K. palmitová	11,1	15,6	9,0
K. palmitoolejová	11,2	*26,8	6,7
K. olejová	36,7	-	0,4
K. elaidová	8,5	21,5	16,2
K. linolová	18,9	25,8	*59,4
K. gamalinolenová	5,9	*0,8	4,6
Ostatní	7,5	9,2	3,8

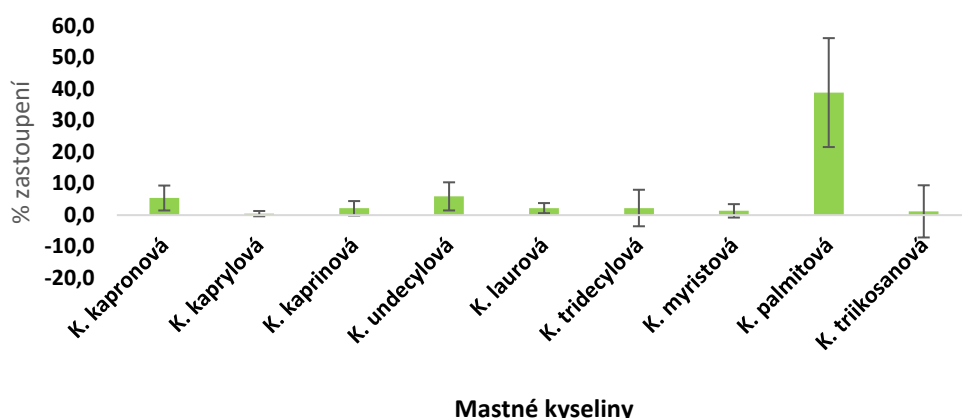
Pozn.: U hodnot vyznačených symbolem * se nachází významný statistický rozdíl oproti *A. tomentosum*. Z tabulky je zřejmé, že významnější rozdíly jsou pouze u druhu *A. minus*, konkrétně u kyseliny palmitoolejové a gamalinolenové, u *A. lappa* je evidována jediná statistická významnost u kyseliny linolové.

4.2 Vyhodnocení dat druhů jeřábu

Pro práci byly využity celkem čtyři rodiny jeřábu, do kterých patří mnoho druhů a poddruhů tak, jak uvádí tabulka 3. Jedná se o rodiny *Sorbus aria agg.*, *Sorbus latifolia agg.*, *Torminaria* – resp. pouze druh *S. torminalis* a *Sorbus s. str.* do které je zařazen pouze druh *S. aucuparia*. Počet vzorků je zde odvislý podle toho, kolik bylo nasbíráno materiálu. Všechny vzorky byly otestovány pomocí Grubbsova testu za účelem stanovení odlehlosti, proto nejsou některé vzorky použity. Stejně jako u lopuchu byly i zde vzorky měřeny tak, aby se nesetkalo více jedné rodiny, resp. jednoho druhu.

V následujících dvou grafech (Obrázek 28, 29) jsou zahrnuty průměrné obsahy MK, které jsou pro přehlednost rozděleny na nasycené a nenasycené.

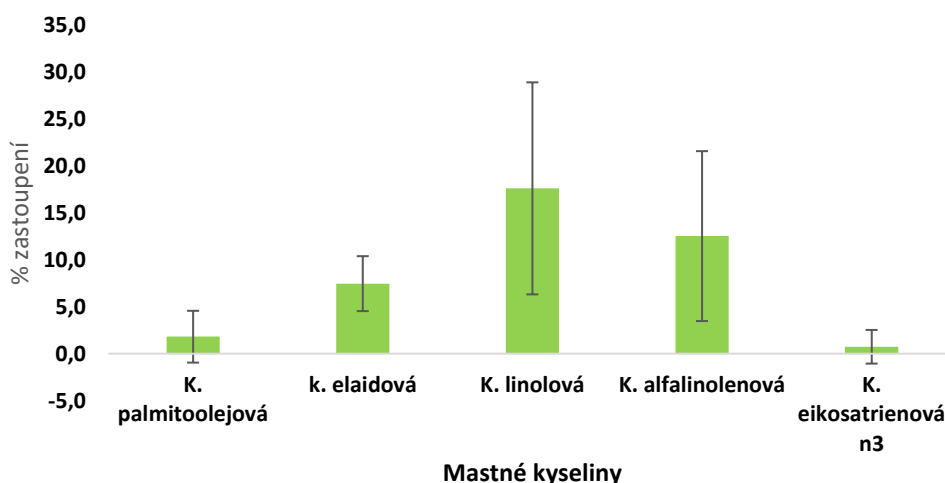
Průměrný obsah nasycených mastných kyselin v jeřábu



Obrázek 28: Zástupci nenasycených MK v jeřábu

U druhů jeřábu opět jednoznačně dominuje kyselina palmitová s procentuálním obsahem skoro 40 procent. Vysoké obsahy kyseliny palmitové lze přisoudit schopnosti jeřábu vytvářet MK s vysokým počtem uhlíků, přičemž podle mnoha studií tomu kyselina palmitová jednoznačně odpovídá.

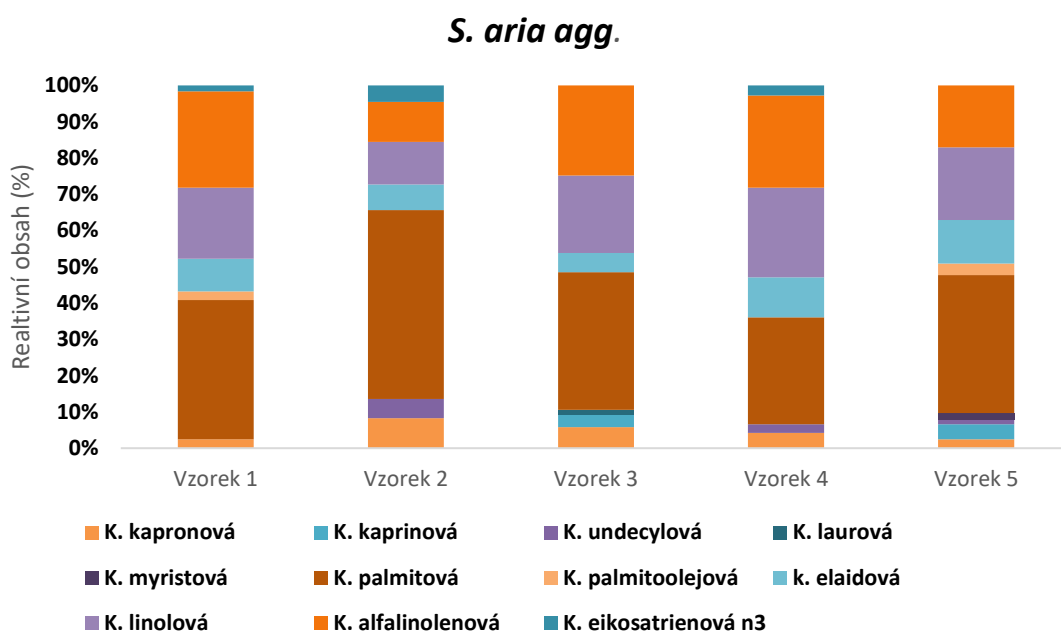
Průměrný obsah nenasycených mastných kyselin v jeřábu



Obrázek 29: Zástupci nenasycených MK v jeřábu

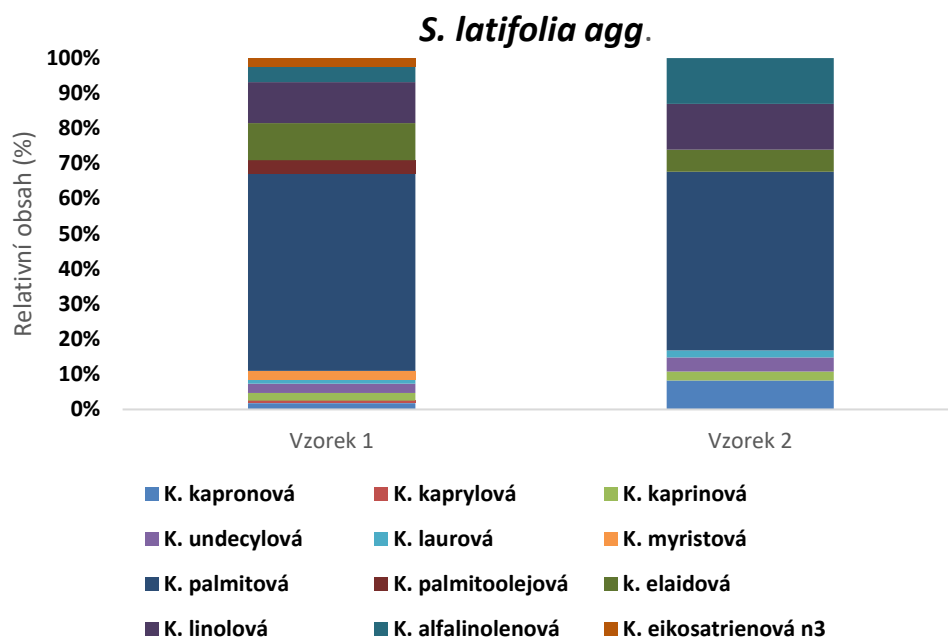
O důležitosti nenasycených MK se jednoznačně vyznačují dva zástupci, a sice kyselina linolová a kyselina alfa-linolenová, kdy první patří do skupiny OMEGA-6 a druhá do OMEGA-3. Stejně tak jako u lopuchu se i zde vyskytuje poměrně vysoký obsah kyseliny elaidové.

Následující tři grafy (Obrázek 30, 31, 32, 33) zpracovávají do vyhodnocení srovnání obsahu mastných kyselin v rámci jednotlivých rodin. Srovnání bylo provedeno pomocí intervalu spolehlivosti, pomocí kterého byl posouzen statisticky významnější rozdíl u jednotlivých rodin. Jako základ pro výpočet intervalu spolehlivosti byla použita rodina *S. aria agg.*, která obsahovala 5 vzorků a pomocí které pak byly posuzovány ostatní vzorky MK v dalších rodinách. Vzorky jeřabin nebyly měřeny v triplicích jako u lopuchu, nýbrž podle toho, kolik bylo nasbíráno a vytvořeno extraktů ke každému druhu.



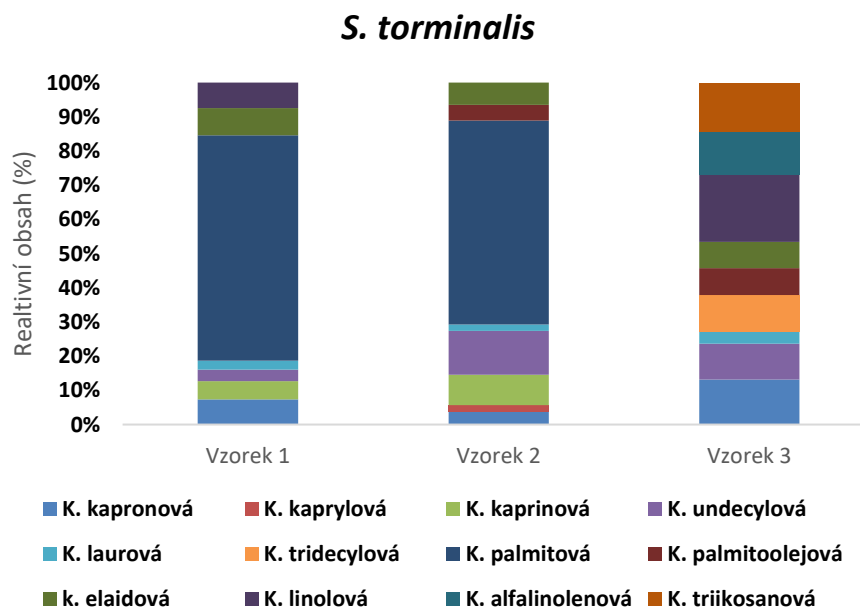
Obrázek 30: Srovnání procentuálních obsahů MK ve vzorcích *S. aria agg.*

Rodina *S. aria agg.* byla vzata jako nejkomplexnější co se na počet vzorků týče. Mezi nejzastoupenější patří kyselina palmitová, elaidová, linolová a alfa-linolenová. Vzhledem k tomu, že se jedná o rodinu, a ne o druh, tak je zde zastoupeno několik druhů a poddruhů. Nicméně je vidět, že ani jedna ze stanovených MK není v žádném ze vzorku v diametrálním rozdílu, přestože jde téměř vždy o to, že co vzorek to jiný druh nebo poddruh.



Obrázek 31: Srovnání procentuálních obsahů MK ve vzorcích *S. latifolia agg.*

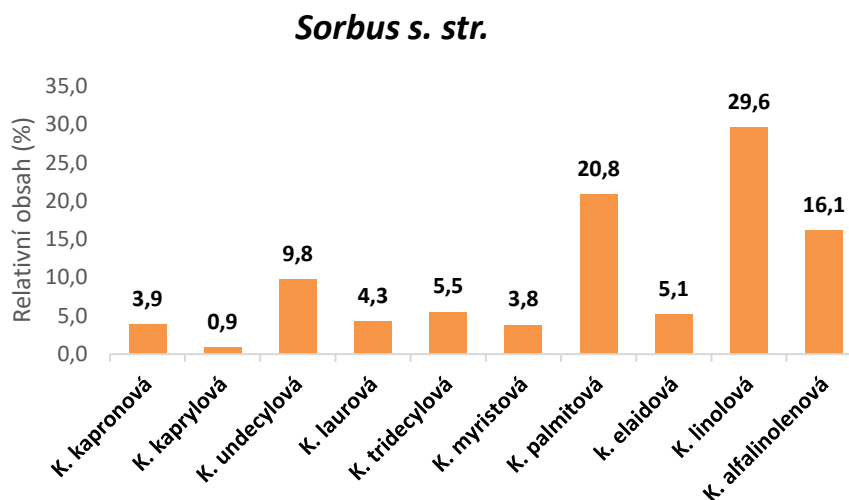
S. latifolia agg. je opět rodina zahrnující několik druhů. V tabulce 3 (Tabulka 3) je zahrnuto více druhů, resp. vzorků, než obsahuje tento graf. Vzorky, které zde nejsou uvedeny byly vyhodnoceny jako odlehlé. Opět platí, že největším obsahem dominuje kyselina palmitová, a i kyselina alfa-linolenová.



Obrázek 32: Srovnání procentuálních obsahů MK ve vzorcích *Torminaria* – resp. *S. torminalis*

Do rodiny *Torminaria* je zahrnut pouze jeden druh, a sice *S. torminalis*. Zajímavé je, jak první dva vzorky obsahují kyselinu palmitovou v hojně míře, ale poslední vůbec žádnou. Zároveň je

patrné, že poslední vzorek je minimálně bohatší na celkové složení MK. Jedna ze zajímavých je kyselina triikosanová, která má lichý počet uhlíků, přesto její zastoupení dosahuje až k 15 hmotnostním procentům.



Obrázek 33: Procentuální obsah MK v druhu *S. aucuparia*

Posledním ze zástupců je *S. aucuparia* náležící do rodiny *Sorbus s. str.* Vyjádření hodnot je zde pro jednoduchost provedeno pomocí jednoduchého sloupčového grafu, na kterém jsou rovněž vyznačeny hodnoty procentuálního zastoupení. V čem se liší tento druh od ostatních je minimálně velké zastoupení kyseliny linolové a alfa-linolenové. Jedná se o druh u nás nejvíce zastoupený.

Následující tabulka shrnuje statisticky významné mastné kyseliny v jeřábu, přičemž je určujeme pouze u druhů *S. latifolia agg.*, *Torminaria* a *S. aucuparia*. Rodina *S. aria agg.* je brána jako základ pro vyhodnocení intervalu spolehlivosti. Do kolonky ostatní byly zahrnuty MK, které měli procentuální zastoupení pod určité (velmi nízké) procento. Jedná se o kyselinu kaprylovou, kaprinovou, laurovou, myristovou, palmitoolejovou, eikosatrienovou n3 a triikosanovou.

Tabulka 6: Vyhodnocení statisticky významnějších rozdílů mezi druhy jeřábu (*Sorbus*)

Průměrné obsahy – statistické rozdíly				
	<i>S. aria agg.</i>	<i>S. latifolia agg.</i>	<i>Torminaria</i>	<i>S. aucuparia</i>
K. kapronová	4,6	5	*8,1	3,9
K. undecylová	1,8	3,3	*8,8	9,8
K. tridecylová	-	-	3,5	5,5
K. palmitová	39,2	*53,4	41,8	*20,8
K. elaidová	8,9	8,4	7,4	5,1
K. linolová	19,5	*12,4	*9,0	29,6
K. alfa-linolenová	21	*8,7	*4,2	*16,1
Ostatní	5,0	8,7	17,1	*9,1

U hodnot vyznačených symbolem * se nachází významný statistický rozdíl oproti *S. aria agg.* Významnější rozdíly jsou evidovány hlavně u kyseliny palmitové, linolové a α -linolenové.

5 DISKUSE

Největším výskytem bezpochyby dominují VMK se sudým počtem uhlíků, a to jak nasycené, tak nenasycené. U druhů lopuchu (*Arctium tomentosum*, *Arctium minus*, *Arctium lappa*) se z nasycených mastných kyselin vyskytuje nejvíce kyselina palmitová, která tvoří v mnoha případech i přes 40 % celé složky MK. Obecně je známo, že v rostlinných extraktech převážně dominují nenasycené mastné kyseliny, čehož je zrovna kyselina palmitová opakem. Přesto má své zastoupení v rostlinách čeledi *Asteraceae* poměrně hojné. Už dříve bylo zjištěno, že nasycené mastné kyseliny nejsou příliš zdravotně výhodným zdrojem výživy, protože se při nedostatku pohybu ukládají v tkáních (Annevelink et al., 2023). Diametrálně odlišná je komplexnost a množství nenasycených mastných kyselin, kdy dominantními druhy jsou jednoznačně kyselina palmitoolejová, olejová, která patří do skupiny OMEGA-9 a je neesenciální a nejvíce kyselina linolová patřící do skupiny OMEGA-6 nenasycené. OMEGA-6 nenasycené MK jsou esenciální pro člověka, a proto je jejich příjem nezbytný pro správnou funkci některých orgánů a jejich zvýšená koncentrace v organismu nevádí. Je však zvláštní, že do velmi významných metabolitů patří kyselina elaidová. Jedná se o trans izomer kyseliny olejové. Tato trans kyselina není v mnoha rostlinách častým metabolitem a její nadbytek v lidské stravě je život ohrožující, protože bylo prokázáno, že nese negativní vliv u žen na rakovinu vaječníků (Leal, 2021). Největší diverzitu MK můžeme pozorovat u druhu *A. tomentosum*. U rodin jeřábu dominuje z nasycených MK opět kyselina palmitová. U nenasycených MK je zástupců významných více, a sice opakovaně kyselina linolová ale také kyselina α -linolenová. Jako jedna z mála dosud identifikovaných patří do skupiny OMEGA-3, jejíž zástupci se vyznačují silnou esencionalitou pro člověka. Dnes je možné ji získat jako doplněk stravy například z kapslí rybího oleje, ale vzhledem ke své výjimečnosti v rodinách jeřábu by bylo možné ji do některých doplňků zařadit ve smyslu podpůrné funkce. V lidském organismu je nutná pro správnou funkci srdce a oběhové soustavy a snižuje sklerotizaci cholesterolu v cévách, zároveň podporuje funkci jater. Rovněž stojí jako prekursor syntézy EPA (kyselina eikosapentaenová), která pozitivně působí na vývoj plodu a snižuje riziko Alzheimerovy choroby, protože má vliv na stabilitu neuronů (Rajaram, 2014; Swanson et al., 2012). Největší její zastoupení se vyskytuje v rodině *Sorbus s. str.*, ze které byl použit druh *S. aucuparia*. V ČR je rozhodně nejvíce se nacházejícím druhem už jen pro to, že obvykle roste v těsných blízkostech rodinných obydlích, a tak jej má množství populace na dosah. Nevětší rozmanitost byla zachycena u rodiny *Torminaria*, resp. duhu *S. torminalis*, který obsahuje mnoho prospěšných, a i méně neprospěšných MK. Obsah MK s lichým počtem uhlíků je z hlediska prospěšnosti zatím velmi diskutabilní. Ví se, že metabolismus těchto látek je zpočátku velmi odlišný, ale hlavně energeticky náročný z důvodu nutné karboxylace.

Oba stanovované rody mají rozhodně velké množství prospěšných ale i neprospěšných MK. Valná většina však jde ve významu prospěšných MK. Ty nevyhovující by mohly být vždy z jakýchkoli případných suplementů odstraněny nebo minimálně vytěsněny na minimum.

6 ZÁVĚR

Tato práce se zabývá stanovením obsahu mastných kyselin (MK) v jednotlivých rodech léčivých rostlin, ze kterých byly vybrány rody lopuch (*Arctium*) a jeřáb (*Sorbus*). Léčivé účinky u obou nebyly zatím příliš prozkoumané a zrovna obsahy potenciálně prospěšných mastných kyselin, které jsou součástí lipidů, konkrétně triacylglycerolů (TAG), mohou mít velký vliv na zdraví člověka. Jejich obsah byl stanoven pomocí plynové chromatografie s využitím optimalizované metody. V úvodu bylo vytknuto, že některé MK mohou mít pro člověka zásadně pozitivní význam a některé bohužel velmi negativní. V rámci dosažených výsledků byly zjištěny v obou rodech velmi úctyhodné obsahy nenasycených i nasycených MK, přičemž mezi nejzásadnější z nasycených patří kyselina palmitová, což rovněž odpovídá její vysoké biologické aktivitě. Pro lidský organismus příliš lukrativní není, jelikož si ji syntetizuje sám. Za to procentuální zastoupení nenasycených MK je širší, a to jak z hlediska obsahového, tak z hlediska variability jednotlivých zástupců. Z mnoha studií vyplývá, že rostliny syntetizují nenasycené MK ve velké míře, ale za nejzásadnější jsou považovány skupiny OMEGA-3 a 6, do nichž patří pro nás nejeftivnější kyselina linolová a α -linolenová. Jedna i druhá se navzájem nevyrušují, což je považováno za velkou výhodu a zároveň stojí jako prekursory pro syntézu jiných ještě více uhlíkatých MK, které se bohužel v dosažených výsledcích nepodařilo identifikovat. Samy o sobě však i tak zlepšují celkovou stabilitu a rovnováhu přijímaných lipidů, protože jsou jako jedny z mála esenciální. Celkově vzato mohou výsledky této práce pomoci ve zdravotnictví při sestavování vhodných doplňků stravy s obsahem esenciálních MK, na nichž jsou oba rody poměrně velmi bohaté. Spektrum esenciálních MK dnes nabízí například rybí olej, ale pro člověka je lepší mít vyšší variabilitu zástupců doplňků stravy. A právě pro to, že rybí olej je živočišného původu, si myslím, že zdroje, kterých existuje mnoho, by mohly být i rostlinného původu, aby byla rovnováha v lidském organismu více ukotvena. Fází MK, resp. olejovou fází disponují oba vybraní zástupci poměrně vysokou, tedy je možnost jejich velkého uplatnění v praxi. Kromě samotných suplementů v podobě pilulek mohou sloužit i jako zdravotně nezávadná aditiva do některých z konvenčně vyráběných potravin, do kterých se dnes ve velké míře využívá palmový tuk. Faktem je, že palmový tuk je téměř inertní, kdežto tyto druhy obsažených MK, a hlavně těch nenasycených rozhodně inertní nejsou. Přesto je ale ve zdravé vyvážené stravě i v dnešní době potřeba nahrazovat a doplňovat esenciální MK takovým stylem, aby byl pro současnou i budoucí generaci co nejvíce jednoduchý. Jedním z příkladů mohou být různé druhy sušenek, ve kterých není většinou palmovým tukem šetřeno, přesto za vyšší cenu by bylo v současnosti výnosnější, aby byla alespoň částečně fáze nasycených MK nahrazena těmi nenasycenými a bylo by tak docíleno méně bolestné substituce a zdravějšího životního stylu dnešní populace.

Mým cílem v této práci bylo informovat lidskou populaci o existenci méně známých druhů léčivých rostlin a osvětlit obsah MK, které mohou škodit, ale hlavně těch, které mohou velmi silně pomáhat ke zlepšení životního stylu.

7 POUŽITÁ LITERATURA

Použitá literatura byla vygenerována citačním manažerem Zotero.

1. Annevelink, C. E., Sapp, P. A., Petersen, K. S., Shearer, G. C., & Kris-Etherton, P. M. (2023). Diet-derived and diet-related endogenously produced palmitic acid: Effects on metabolic regulation and cardiovascular disease risk. *Journal of Clinical Lipidology*. <https://doi.org/10.1016/j.jacl.2023.07.005>
2. Arctium minus—Kleine Klette. (b.r.). *Garten Wissen*. Získáno 17. říjen 2023, z <https://www.garten-wissen.com/pflanzen/arctium-minus-kleine-klette/>
3. Berčíková, M., Šimková, A., Hudecová, K., Kyselka, J., Filip, V., & Hrádková, I. (2020). Physical Properties of Structured Fats and Fat Blends Based on the Long Chain Fatty Acids. *Food Biophysics*, 15(1), 143–152. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-09609-8>
4. Boateng, I. D., & Yang, X.-M. (2022). Ginkgo biloba L. seed; A comprehensive review of bioactives, toxicants, and processing effects. *Industrial Crops and Products*, 176, 114281. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114281>
5. Bobinaitė, R., Grootaert, C., Van Camp, J., Šarkinas, A., Liaudanskas, M., Žvikas, V., Viškelis, P., & Rimantas Venskutonis, P. (2020). Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of the extracts isolated from the pomace of rowanberry (*Sorbus aucuparia* L.). *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 136, 109310. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109310>
6. Boudyšová, I. A. (2023a). *Jeřáb ptačí: Neleňprozeleň.cz*. www.nelenprozelen.cz. <https://www.nelenprozelen.cz/p/jerab-ptaci>
7. Boudyšová, I. A. (2023b, duben 27). *Jeřáb břek: Neleňprozeleň.cz*. www.nelenprozelen.cz. <https://www.nelenprozelen.cz/p/jerab-brek>
8. Brody, T. (1999). 6—LIPIDS. In T. Brody (Ed.), *Nutritional Biochemistry (Second Edition)* (s. 311–378). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012134836-6/50009-3>

9. Bryan, D. L., Hart, P., Forsyth, K., & Gibson, R. (2001). Incorporation of alpha-linolenic acid and linoleic acid into human respiratory epithelial cell lines. *Lipids*, 36(7), 713–717. <https://doi.org/10.1007/s11745-001-0776-7>
10. Bujor, A., Miron, A., Luca, S. V., Skalicka-Wozniak, K., Sillion, M., Ancuceanu, R., Dinu, M., Girard, C., Demougeot, C., & Totoson, P. (2019). Metabolite profiling, arginase inhibition and vasorelaxant activity of *Cornus mas*, *Sorbus aucuparia* and *Viburnum opulus* fruit extracts. *Food and Chemical Toxicology*, 133, 110764. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110764>
11. Carta, G., Murru, E., Banni, S., & Manca, C. (2017). Palmitic Acid: Physiological Role, Metabolism and Nutritional Implications. *Frontiers in Physiology*, 8, 902. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00902>
12. *Common Burdock.pdf*. (b.r.). Ziskáno 19. listopad 2023, z <http://biodiversity.sk.ca/Docs/InvasiveSpeciesCouncilFactSheets/Common%20Burdock.pdf>
13. Demski, K., Ding, B.-J., Wang, H.-L., Tran, T. N. T., Durrett, T. P., Lager, I., Löfstedt, C., & Hofvander, P. (2022). Manufacturing specialized wax esters in plants. *Metabolic Engineering*, 72, 391–402. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2022.05.005>
14. Dorušková, V. (2008, 8). *ARCTIUM TOMENTOSUM* Mill. – *Lopuch plstnatý / lopúch plstnatý* | *BOTANY.cz*. <https://botany.cz/cs/arctium-tomentosum/>
15. Farag, M. A., & Gad, M. Z. (2022). Omega-9 fatty acids: Potential roles in inflammation and cancer management. *Journal of Genetic Engineering & Biotechnology*, 20, 48. <https://doi.org/10.1186/s43141-022-00329-0>
16. Fatima, T., Snyder, C. L., Schroeder, W. R., Cram, D., Datla, R., Wishart, D., Weselake, R. J., & Krishna, P. (2012). Fatty acid composition of developing sea buckthorn (*Hippophae*

- ramnoides L.) berry and the transcriptome of the mature seed. *PloS One*, 7(4), e34099.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034099>
17. Fialová, L. (2007, červen 14). *Mastné kyseliny, charakteristika, třídění, význam*.
https://web.archive.org/web/20070614000030/http://che1.lf1.cuni.cz/html/Mastne_kyseliny_2sm.pdf
 18. Fitzpatrick, J. D., & Orchin, M. (2002, květen 1). *The Selenium Catalyzed cis-trans Isomerization of 9-Octadecenoic (Oleic-Elaidic) Acids* (world). ACS Publications; American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/ja01574a047>
 19. *Gas Chromatography*. (2013, říjen 2). Chemistry LibreTexts.
[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Analytical_Chemistry\)/Instrumentation_and_Analysis/Chromatography/Gas_Chromatography](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/Instrumentation_and_Analysis/Chromatography/Gas_Chromatography)
 20. Grulich, V. (2022, červen 10). *SORBUS ARIA (L.) Crantz – jeřáb muk / jarabina mukyňová* | BOTANY.cz. <https://botany.cz/cs/sorbus-aria/>
 21. Hasbal, G., Yilmaz-Ozden, T., & Can, A. (2015). Antioxidant and antiacetylcholinesterase activities of *Sorbus torminalis* (L.) Crantz (wild service tree) fruits. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23(1), 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2014.06.006>
 22. Hejný, S., & Slavík, B. (1988). *Květena České republiky*. Academia.
 23. Helešicová, M. *ZÁKLADY OBECNÉ BIOLOGIE*, SPŠCH BRNO, 2019
 24. Hernández, M. L., Sicardo, M. D., Belaj, A., & Martínez-Rivas, J. M. (2021). The Oleic/Linoleic Acid Ratio in Olive (*Olea europaea* L.) Fruit Mesocarp Is Mainly Controlled by OeFAD2-2 and OeFAD2-5 Genes Together With the Different Specificity of Extraplasmidial Acyltransferase Enzymes. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.653997>

25. Hu, W., Fitzgerald, M., Topp, B., Alam, M., & O'Hare, T. J. (2019). A review of biological functions, health benefits, and possible de novo biosynthetic pathway of palmitoleic acid in macadamia nuts. *Journal of Functional Foods*, 62, 103520. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103520>
26. Humpolíčková, J. (2022, květen 13). *ARCTIUM MINUS (Hill) Bernh. – Lopuch menší / lopúch menší | BOTANY.cz*. <https://botany.cz/cs/arctium-minus/>
27. Chew, S. Y., & Than, L. T. L. (2021). Glucose Metabolism and Use of Alternative Carbon Sources in Medically-Important Fungi. In Ó. Zaragoza & A. Casadevall (Ed.), *Encyclopedia of Mycology* (s. 220–229). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819990-9.00068-8>
28. Jahodář, L. (2022). *Farmaceuticky významné semenné rostliny*. Charles University in Prague, Karolinum Press.
29. Knauerová, M., & Drnková, J. (2017). *Atlas bylin*. Albatros Media a.s.
30. Knothe, G. (2010). Biodiesel Derived from a Model Oil Enriched in Palmitoleic Acid, Macadamia Nut Oil. *Energy & Fuels*, 24(3), 2098–2103. <https://doi.org/10.1021/ef9013295>
31. Kodíček, M., Valentová, O., & Hynek, R. (2022). *Biochemie: Chemický pohled na biologický svět* (3. přepracované vydání). Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
32. Koriem, K. M. M., Idris, Z. H., Haron, H. F., Omar, N. A., & Lazain, H. S. (2016). Therapeutic effect of *Arctium lappa* in *Schistosoma haematobium* associated kidney disturbance: Biochemical and molecular effects. *Journal of Parasitic Diseases: Official Organ of the Indian Society for Parasitology*, 40(4), 1246–1254. <https://doi.org/10.1007/s12639-015-0662-4>
33. Leal, Y. A. (2021). Chapter 1—Cancer epidemiology. In M. R. S. Campos & A. M. M. Ortega (Ed.), *Oncological Functional Nutrition* (s. 1–40). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819828-5.00001-2>

34. Leeth, F. (2016, září 21). *Sorbus latifolia* (*Sorbus*). Backyard Gardener.
<https://www.backyardgardener.com/plantname/sorbus-latifolia-sorbus/>
35. Lepší, A. (2013, 5). *Sorbus aria – jeřáb muk, muk • Pladias: Databáze české flóry a vegetace*. <https://pladias.cz/taxon/overview/Sorbus%20aria>
36. Litchfield, C., Miller, E., Harlow, R. D., & Reiser, R. (1967). The triglyceride composition of 17 seed fats rich in octanoic, decanoic, or lauric acid. *Lipids*, 2(4), 345–350.
<https://doi.org/10.1007/BF02532124>
37. *Lopuch větší (Arctium lappa L.)*. (2009, 7). http://www.e-herbar.net/main.php?g2_itemId=14280
38. Łoś-Rycharska, E., Kiersaszewicz, Z., & Czerwionka-Szaflarska, M. (2016). Medium chain triglycerides (MCT) formulas in paediatric and allergological practice. *Przegląd Gastroenterologiczny*, 11(4), 226–231. <https://doi.org/10.5114/pg.2016.61374>
39. Luo, J., & Hu, H. (2014). Chapter Twelve—Thermally Activated TRPV3 Channels. In L. D. Islas & F. Qin (Ed.), *Current Topics in Membranes* (Roč. 74, s. 325–364). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800181-3.00012-9>
40. Mareček, A., & Honza, J. (2014). *Chemie pro čtyřletá gymnázia—3. Díl*. <https://www.dumknihy.cz/chemie-pro-ctyrleta-gymnazia-3-dil>
41. Markley, K. S. (1947). *Fatty Acids, Their Chemistry and Physical Properties* (First Edition). Interscience Publishers.
42. Moro, T. M. A., & T.P.S. Clerici, M. (2021). Burdock (*Arctium lappa* L) roots as a source of inulin-type fructans and other bioactive compounds: Current knowledge and future perspectives for food and non-food applications. *Food Research International*, 141, 109889. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109889>
43. Mulla, M. Z. (2023). Chapter six—Exploring garden cress (*Lepidium sativum*) seed and its ingredients as a functional food. In C. Anandharamakrishnan & P. Subramanian (Ed.),

- Industrial Application of Functional Foods, Ingredients and Nutraceuticals* (s. 207–230). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824312-1.00006-6>
44. Munekata, P. E. S., Domínguez, R., Pateiro, M., Echegaray, N., & Lorenzo, J. M. (2022). Chapter 2 - Animal source: Meat, subcutaneous fat, milk, and dairy products. In J. M. Lorenzo, P. E. S. Munekata, M. Pateiro, F. J. Barba, & R. Domínguez (Ed.), *Food Lipids* (s. 19–50). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823371-9.00004-6>
45. Nováček, F. (1990). *Fytochemické základy botaniky*. <https://www.martinus.cz/225441-fytochemicke-zaklady-botaniky/kniha>
46. Office of Dietary Supplements—Omega-3 Fatty Acids. (2022, 7). <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Omega3FattyAcids-Consumer/>
47. Oh, D., No, D. S., Yoon, S. W., Kim, Y., Kim, H.-R., & Kim, I.-H. (2022). Synthesis of palmitoleic acid-enriched triacylglycerol via a two-step enzyme reaction. *Process Biochemistry*, 113, 234–240. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.01.007>
48. Olszewska, M. A., & Roj, J. M. (2011). Phenolic constituents of the inflorescences of *Sorbus torminalis* (L.) Crantz. *Phytochemistry Letters*, 4(2), 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2011.02.005>
49. Paillard, F., Catheline, D., Duff, F. L., Bourié, M., Deugnier, Y., Pouchard, M., Daubert, J.-C., & Legrand, P. (2008). Plasma palmitoleic acid, a product of stearoyl-coA desaturase activity, is an independent marker of triglyceridemia and abdominal adiposity. *Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases: NMCD*, 18(6), 436–440. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2007.02.017>
50. Pfeuffer, M., & Jaudszus, A. (2016). Pentadecanoic and Heptadecanoic Acids: Multifaceted Odd-Chain Fatty Acids. *Advances in Nutrition (Bethesda, Md.)*, 7(4), 730–734. <https://doi.org/10.3945/an.115.011387>

51. Phung, N. V., Rong, F., Xia, W. Y., Fan, Y., Li, X. Y., Wang, S. A., & Li, F. L. (2023). Nervonic acid and its sphingolipids: Biological functions and potential food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2203753>
52. Podhorný, J. (2020, 9). *Lopuch plstnatý (Arctium tomentosum), plody, plodenství*. Flora-cs.com. <https://www.flora-cs.com/foto/cz/112159/>
53. Preis, K., & Kruis, K. (1988). *Listy chemické: Casopis venovany zajmum technicke lecby ; organ spolku chemiku ceskych*.
54. PubChem. (b.r.-a). *Arctium lappa Root*. Získáno 18. říjen 2023, z <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Arctium-lappa-Root>
55. PubChem. (b.r.-b). *Caproic Acid*. Získáno 6. září 2023, z <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8892>
56. PubChem. (b.r.-c). *Linoleic Acid*. Získáno 18. říjen 2023, z <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5280450>
57. PubChem. (b.r.-d). *Palmitic Acid*. Získáno 21. říjen 2023, z <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/985>
58. Rahman, T., Shao, M., Pahari, S., Venglat, P., Soolanayakanahally, R., Qiu, X., Rahman, A., & Tanino, K. (2021). Dissecting the Roles of Cuticular Wax in Plant Resistance to Shoot Dehydration and Low-Temperature Stress in Arabidopsis. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), 1554. <https://doi.org/10.3390/ijms22041554>
59. Rajaram, S. (2014). Health benefits of plant-derived α -linolenic acid¹²³. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 100, 443S-448S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.071514>
60. Rett, B. S., & Whelan, J. (2011). Increasing dietary linoleic acid does not increase tissue arachidonic acid content in adults consuming Western-type diets: A systematic review. *Nutrition & Metabolism*, 8, 36. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-8-36>

61. Rindsig, R. B., & Schultz, L. H. (1974). Effects of abomasal infusions of safflower oil or elaidic acid on blood lipids and milk fat in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 57(12), 1459–1466. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(74\)85089-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)85089-7)
62. Romualdo, G. R., Silva, E. D. A., Da Silva, T. C., Aloia, T. P. A., Nogueira, M. S., De Castro, I. A., Vinken, M., Barbisan, L. F., & Cogliati, B. (2020). Burdock (*ARCTIUM LAPPA* L.) root attenuates preneoplastic lesion development in a diet and thioacetamide-induced model of steatohepatitis-associated hepatocarcinogenesis. *Environmental Toxicology*, 35(4), 518–527. <https://doi.org/10.1002/tox.22887>
63. Rosypal, S. (2003). *Nový přehled biologie* (1. vyd). Scientia.
64. Rutkowska, M., Kolodziejczyk-Czepas, J., Owczarek, A., Zakrzewska, A., Magiera, A., & Olszewska, M. A. (2021). Novel insight into biological activity and phytochemical composition of *Sorbus aucuparia* L. fruits: Fractionated extracts as inhibitors of protein glycation and oxidative/nitrative damage of human plasma components. *Food Research International*, 147, 110526. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110526>
65. Satranský, M., Fraňková, A., Kuchtová, P., Pazderů, K., & Capouchová, I. (2021). Oil content and fatty acid profile of selected poppy (*Papaver somniferum* L.) landraces and modern cultivars. *Plant, Soil and Environment*, 67(10), 579–587. <https://doi.org/10.17221/316/2021-PSE>
66. Shim, Y. Y., Gui, B., Arnison, P. G., Wang, Y., & Reaney, M. J. T. (2014). Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 38(1), 5–20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.03.011>
67. *Slintáková_2015_dp.pdf*. (b.r.). Získáno 11. listopad 2023, z https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/32461/slint%C3%A1kov%C3%A1_2015_dp.pdf?sequence=1

68. Solà Marsiñach, M., & Cuenca, A. P. (2019). The impact of sea buckthorn oil fatty acids on human health. *Lipids in Health and Disease*, 18(1), 145. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-1065-9>
69. *Sorbus aria* agg. – *Okruh jeřábu muku • Pladias: Databáze české flóry a vegetace*. (b.r.). Získáno 18. říjen 2023, z <https://pladias.cz/taxon/overview/Sorbus%20aria%20agg>.
70. *Sorbus torminalis*. (2014). Van den Berk Školky. <https://www.vdberk.cz/stromy/sorbus-torminalis/>
71. Swanson, D., Block, R., & Mousa, S. A. (2012). Omega-3 Fatty Acids EPA and DHA: Health Benefits Throughout Life1. *Advances in Nutrition*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.3945/an.111.000893>
72. Thomas, P. A. (2017). Biological Flora of the British Isles: *Sorbus torminalis*. *Journal of Ecology*, 105(6), 1806–1831. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12857>
73. Tobyn, G., Denham, A., & Whitelegg, M. (2011). CHAPTER 10—*Arctium lappa*, burdock. In G. Tobyn, A. Denham, & M. Whitelegg (Ed.), *Medical Herbs* (s. 91–103). Churchill Livingstone. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-10344-5.00015-X>
74. Tvrzická, E., Staňková, B., Vecka, M., & Žák, A. (2009). *Mastné kyseliny I. Výskyt a biologický význam*. <https://www.prolekare.cz/casopisy/casopis-lekaru-ceskych/2009-1/mastne-kyseliny-1-vyskyt-a-biologicky-vyznam-2636>
75. Vacík, J., Barthová, J., Pacák, J., Strauch, B., Svobodová, M., & Zemánek, F. (1995). *Přehled středoškolské chemie*. <https://www.naseucebnice.cz/chemie-2/prehled-stredoskolske-chemie/>
76. Velíšek, J. (2002). *Chemie potravin: 1*. OSSIS.
77. Velíšek, J., & Hajšlová, J. (2009). *Chemie potravin 1*. OSSIS. <https://is.muni.cz/publication/978163/cs/Chemie-potravin-1/Velisek-Hajslova>
78. Vodrážka, Z. (1996). *Biochemie*. <https://www.databazeknih.cz/knihy/biochemie-37486>

79. Voet, D., & Voet, J. G. (2004). *Biochemistry* (3. ed). Wiley.
80. Wang, D., Bădărau, A. S., Swamy, M. K., Shaw, S., Maggi, F., da Silva, L. E., López, V., Yeung, A. W. K., Mocan, A., & Atanasov, A. G. (2019). Arctium Species Secondary Metabolites Chemodiversity and Bioactivities. *Frontiers in Plant Science*, 10, 834. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00834>
81. Wettstein, R. (1897). *Plant Systematics and Evolution*. Springer-Verlag.
82. Whelan, J., & Fritsche, K. (2013). Linoleic Acid¹. *Advances in Nutrition*, 4(3), 311–312. <https://doi.org/10.3945/an.113.003772>
83. Zacha, P., & Sýkora, D. (2019). *PLYNOVÁ CHROMATOGRAFIE*.
84. Zhang, L.-S., Liang, S., Zong, M.-H., Yang, J.-G., & Lou, W.-Y. (2020). Microbial synthesis of functional odd-chain fatty acids: A review. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 36(3), 35. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02814-5>
85. Zhou, Y., Khan, H., Xiao, J., & Cheang, W. S. (2021). Effects of Arachidonic Acid Metabolites on Cardiovascular Health and Disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21), 12029. <https://doi.org/10.3390/ijms222112029>
86. Ziarnek, K. (2014). *Jeřáb širokolistý*. <http://oko.yin.cz/109/jerab-sirokolisty/>
87. Zlobin, A. A., Martinson, E. A., Litvinets, S. G., Ovechkina, I. A., Durnev, E. A., & Ovodova, R. G. (2012). Pectin polysaccharides of rowan *Sorbus aucuparia* L. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 38(7), 702–706. <https://doi.org/10.1134/S1068162012070242>
88. Zubatá, M. (2019). *Kyselina palmitoolejová a její úloha v organismu* [Bakalářská práce, Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická]. <https://theses.cz/id/wo8kfs/>

