

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky



Vztah mezi složením tuků a olejů a jejich odolnost vůči oxidaci

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Václav Zeman

Obor studia: Kvalita a zpracování zemědělských produktů

Vedoucí práce Ing. Monika Sabolová, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci Vztah mezi složením tuků a olejů a jejich odolnost vůči oxidaci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22. dubna 2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Monice Sabolové, Ph.D., za odborné vedení diplomové práce, za odbornou konzultaci paní doc. Ing. Zuzaně Réblové Ph.D., z VŠCHT Praha a panu doc. Dr. Ing. Markovi Doležalovi z VŠCHT Praha. Rád bych poděkoval své rodině a blízkým, kteří mě v průběhu studia podporovali.

Vztah mezi složením tuků a olejů a jejich odolnosti vůči oxidaci

Souhrn

Tato diplomová práce se zabývá složením tuků a olejů vůči oxidaci za normálních skladovacích podmínek. Byla stanovena hypotéza, že odolnost tuků a olejů vůči oxidaci v průběhu skladování lze predikovat s jejich složením.

V praktické části bylo k analýze použito 13 vzorků rostlinných olejů a 1 vzorek živočišného tuku, kterým bylo sádlo. U všech vzorků bylo titračně stanoveno peroxidové číslo a číslo kyselosti, spektrofotometricky byla stanovena antioxidační kapacita, obsah tokoferolů a tokotrienolů byl analyzován pomocí kapalinové chromatografie a složení mastných kyselin pomocí plynové chromatografie. Všechny vzorky byly skladovány při teplotě 35 °C, po 7 a 14 dnech bylo stanoveno peroxidové číslo. Z naměřených hodnot peroxidového čísla byla určena počáteční rychlost oxidace u jednotlivých vzorků.

Z výsledku korelační analýzy vyplynulo, že existuje vztah mezi oxidační stabilitou tuků a olejů při skladování a peroxidovým číslem ($p \geq 0,05$). U ostatních parametrů nebyla nalezena statistická významnost.

Klíčová slova: Antioxidační kapacita, autooxidace, mastné kyseliny, peroxidové číslo, skladovatelnost potravin, tokoferoly

Relationship between the composition of fats and oils and their oxidative stability

Summary

This diploma thesis deals with relationship between the composition of fats and oils and their oxidative stability against oxidation under normal storage conditions. It has been hypothesized that the resistance of fats and oils to oxidation during storage can be predicted with their composition.

In the practical part, 13 samples of vegetable oils and 1 sample of animal fat, which was lard, were used for the analysis. Peroxide and acid numbers were determined by titration in all samples, antioxidant capacity was determined spectrophotometrically, tocopherols content and tocotrienols were analyzed by liquid chromatography and the fatty acid composition by gas chromatography. All samples were stored at 35 ° C, the peroxide number was determined after 7 and 14 days. From the measured values of peroxide number the initial rate of oxidation was determined for individual samples.

The correlation analysis showed that there is a relationship between the oxidative stability of fats and oils during storage and the peroxide number ($p \geq 0,05$). No statistical significance was found for the other parameters.

Keywords: Antioxidant capacity, autooxidation, fatty acids, peroxide number, food storage, tocopherol

Obsah

| | |
|--|-----------|
| 1 Úvod | 1 |
| 2 Vědecká hypotéza a cíle práce | 2 |
| 3 Literární rešerše | 3 |
| 3.1 Definice tuků | 3 |
| 3.2 Chemické složení tuků | 3 |
| 3.2.1 Homolipidy | 3 |
| 3.2.2 Heterolipidy | 5 |
| 3.2.3 Komplexní lipidy..... | 6 |
| 3.3 Mastné kyseliny | 7 |
| 3.3.1 Nasycené mastné kyseliny | 7 |
| 3.3.2 Nenasycené mastné kyseliny | 8 |
| 3.3.3 Monoenové mastné kyseliny..... | 8 |
| 3.3.4 Polyenové mastné kyseliny..... | 9 |
| 3.3.5 Alkynové, rozvětvené a cyklické kyseliny | 10 |
| 3.3.6 Další mastné kyseliny | 10 |
| 3.4 Doprovodné látky tuků a olejů | 11 |
| 3.4.1 Tokoferoly | 11 |
| 3.4.2 Karotenoidy..... | 12 |
| 3.4.3 Steroly..... | 12 |
| 3.5 Rozdělení tuků podle původu | 13 |
| 3.5.1 Živočišné tuky | 13 |
| 3.5.2 Rostlinné tuky | 16 |
| 3.5.3 Popis vybraných druhů olejů | 16 |
| 3.6 Fyzikální vlastnosti tuků a olejů | 21 |
| 3.6.1 Krystalická modifikace..... | 21 |
| 3.6.2 Teplota tání | 22 |
| 3.6.3 Bod varu..... | 22 |
| 3.6.4 Viskozita | 22 |
| 3.6.5 Hustota..... | 22 |
| 3.6.6 Index lomu | 22 |
| 3.6.7 Plasticita tuků | 23 |
| 3.6.8 Fluorescence | 23 |
| 3.6.9 Optická aktivita | 23 |
| 3.6.10 Reologické vlastnosti..... | 23 |
| 3.6.11 Senzorické vlastnosti tuků | 23 |
| 3.7 Reakce tuků | 24 |
| 3.7.1 Žluknutí tuků..... | 24 |
| 3.7.2 Faktory ovlivňující žluknutí tuků | 28 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.7.3 | Metody pro stanovení oxidace tuků, či olejů..... | 31 |
| 3.7.4 | Zrychlené metody pro stanovení oxidační stability | 33 |
| 3.8 | Skladování tuků..... | 34 |
| 3.8.1 | Skladování a použití tuků v domácích podmínkách | 34 |
| 3.9 | Studie zkoumající oxidační stabilitu tuků | 35 |
| 3.9.1 | Studie I | 35 |
| 3.9.2 | Studie II | 36 |
| 3.9.3 | Studie III | 36 |
| 3.9.4 | Studie IV | 37 |
| 3.9.5 | Studie V | 37 |
| 3.9.6 | Studie VI..... | 38 |
| 3.9.7 | Studie VII | 38 |
| 3.9.8 | Shrnutí výsledků jednotlivých studií..... | 39 |
| 4 | Metodika | 40 |
| 4.2 | Analytické metody použité pro charakterizaci vstupních tuků a olejů..... | 41 |
| 4.2.1 | Stanovení složení mastných kyselin..... | 41 |
| 4.2.2 | Stanovení tokoferolů a tokotrienolů..... | 43 |
| 4.2.3 | Stanovení antioxidační kapacity metodou DPPH..... | 45 |
| 4.2.4 | Stanovení čísla kyselosti..... | 46 |
| 4.2.5 | Stanovení peroxidového čísla | 47 |
| 4.2.6 | Statistické zpracování výsledků | 48 |
| 4.3 | Skladovací pokus tuků a olejů, k určení jejich odolnost vůči oxidaci | 49 |
| 4.3.1 | Statistické zpracování výsledků..... | 49 |
| 5 | Výsledky..... | 50 |
| 5.1 | Složení jednotlivých tuků a olejů | 50 |
| 5.2 | Počáteční rychlost oxidace | 55 |
| 5.3 | Vztah mezi složením studovaných tuků a olejů a jejich počáteční rychlostí oxidace | 56 |
| 5.3.1 | Jednoduchá korelační analýza | 56 |
| 5.3.2 | Jednoduchá regresní analýza | 57 |
| 6 | Diskuze | 59 |
| 6.1 | Složení studovaných tuků a olejů..... | 59 |
| 6.1.1 | Složení mastných kyselin | 59 |
| 6.1.2 | Porovnání čísla kyselosti | 59 |
| 6.1.3 | Peroxidové číslo..... | 59 |
| 6.1.4 | Antioxidační kapacita..... | 60 |
| 6.1.5 | Porovnání obsahu tokoferolů..... | 60 |
| 6.2 | Počáteční rychlost oxidace u studovaných tuků a olejů | 60 |
| 6.3 | Vztah mezi složením studovaných tuků a olejů a jejich počáteční rychlostí oxidace | 61 |

| | |
|-------------------------------|-----------|
| 7 Závěr | 63 |
| 8 Literatura..... | 64 |
| 9 Seznam tabulek..... | 72 |
| 10 Seznam obrázků..... | 73 |

1 Úvod

Tuky a oleje jsou důležitou složkou v lidské výživě a podílejí se na výstavbě buněčných membrán. Jejich spotřeba na celém světě stoupá z důvodu navyšujícího se počtu lidské populace a uvědomění spotřebitelů, že konzumace kvalitních potravin je důležitá součást zdravého životního stylu. Živočišné tuky bývají často nahrazovány rostlinnými tuky, protože obsahují esenciální mastné kyseliny, které člověk musí přijímat ve stravě. V průběhu skladování tuků dochází k různým degradačním změnám, které ovlivňují jejich výslednou kvalitu, a to jak sensorickou, tak nutriční i hygienickou. Mezi nejčastější změny tuků, ke kterým dochází v průběhu skladování, patří oxidační změny. Rychlost oxidace je ovlivněna mnohými faktory jako je přístup kyslíku, světla, počáteční stupeň oxidace tuků, či olejů, složení mastných kyselin, obsah antioxidantů a prooxidantů, přítomnost iontů kovů (železa, měď), obsah volných mastných kyselin a další faktory. Je známo, že zmíněné faktory ovlivňují rychlost oxidace, ale mechanismus jejich působení není doposud zcela objasněn. Proto se pozornost výzkumníků zaměřuje na stanovení odolnosti tuků, či olejů vůči oxidaci, pomocí chemických, fyzikálních, sensorických a analytických metod zahrnujících zrychlené testy oxidace tuků a olejů, např. Rancimant, Oxipress nebo Schaalův test.

Pro výrobce potravin je nesmírně důležité mít informace o oxidační stabilitě tuků a olejů, jelikož tato informace může vypovídat o kvalitě vstupní suroviny a může být také velmi užitečná při výběru vhodného tuku, či oleje pro danou potravinu. Stanovením odolnosti tuků vůči oxidaci pomocí zrychlených metod se zabývají laboratoře, které pak zpracovávají a interpretují získaná data. Těchto laboratoří je v současnosti relativně málo. Proto se autoři několika studií zabývali oxidační stabilitou tuků, či olejů s cílem vytvořit predikční rovnici, dle které by se dala předpovědět odolnost tuků, či olejů vůči oxidaci z běžně laboratorně stanovovaných parametrů jako je složení mastných kyselin, obsah tokoferolů a další parametry. V těchto studiích však byly použity metody, využívající urychlené skladovací podmínky, kdy jsou analyzované materiály vystaveny vyšší teplotě a koncentraci kyslíku. Doposud však nebyla publikována studie, která by sledovala odolnost tuků a olejů vůči oxidaci za běžných skladovacích podmínek, ale také žádné metody, které by sledovaly skladování tuků, či olejů při běžných skladovacích podmínkách.

Z tohoto důvodu byly sledovány změny tuků, či olejů za běžných skladovacích podmínek, přičemž bylo zjišťováno, které faktory se podílí na jejich odolnosti vůči oxidaci.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotéza: Odolnost tuků a olejů vůči oxidaci v průběhu skladování lze predikovat s jejich složení.

Cíle práce: Cílem diplomové práce je zpracování literární rešerše zaměřené na vztah mezi složením tuků a olejů a jejich odolnosti vůči oxidaci. V praktické části bude stanoveno složení vybraných tuků a olejů, které bude porovnáno s jejich odolností vůči oxidaci v průběhu skladování.

3 Literární rešerše

3.1 Definice tuků

Tuky jsou obvykle definovány jako přírodní sloučeniny obsahující vázané mastné kyseliny o více než třech atomech uhlíku v molekule (Velíšek 2014). Jsou tvořeny estery vyšších mastných kyselin a triacylglyceroly (TAG), které tvoří převládající složku. Tuky zahrnují glyceroly (jako jsou mono-, di- a TAG), fosfolipidy, prostaglandiny, steroidy, karotenoidy a vosky. Potravinářské tuky a oleje obvykle obsahují stopy neglycerolových látek, včetně fosfolipidů, sterolů a pigmentů. Tuky jsou běžně pojmenovávány podle jejich zdroje, například rybí olej, ptačí olej, vepřový tuk (sádlo) atd. Radíme je do obecné třídy sloučenin nazývaných lipidy, které mohou být klasifikovány podle jejich složení, původu a povahy. Lipidy zahrnují celou řadu sloučenin, které jsou obecně nepolární, ve vodě nerozpustné (Rabasco Alvarez & González Rodríguez 2000). Je však třeba poznamenat, že některé sloučeniny klasifikované jako lipidy jsou ve skutečnosti rozpustné ve vodě např. mýdla, či soli.

Podobně jako u sacharidů a bílkovin představují tuky významnou část konstituce živých organismů. Lipidy jsou přítomny ve všech orgánech zvířat a slouží jako zdroj a zásoba energie. Tuk se také nachází v pojivových tkáních, kostní dřeni, játrech a ledvinách. Tuk je vedle bílkovin hlavní složkou mléka (Bowen-Forbes & Goldson-Barnaby 2017). Určité problémy mohou nastat se zařazením volných mastných kyselin, protože neobsahují vázaný alkoholový zbytek. Spolu se solemi vytvářejí lipidy mýdla, která se do skupiny lipidů zařazují. V potravinách se často nacházejí sloučeniny volných mastných kyselin vzniklé průmyslovou činností (např. estery cukrů, cukerných alkoholů s vyššími mastnými kyselinami), které nejsou přírodními látkami, přesto se v běžné praxi zařazují k lipidům (Velíšek & Hajšlová 2009).

3.2 Chemické složení tuků

Podle chemického složení se lipidy třídí do tří hlavních skupin:

1. Homolipidy
2. Heterolipidy
3. Komplexní lipidy

3.2.1 Homolipidy

Homolipidy jsou sloučeniny mastných kyselin a alkoholů. Lze je dělit i podle struktury vázaného alkoholu na estery jednosytných alkoholů, estery glykolů, estery glycerolu a estery vícesytných alkoholů (Velíšek 2014).

3.2.1.1 Estery jednosytných alkoholů

Estery mastných kyselin s jednosytnými alkoholy se často označují termínem vosky (Velíšek & Hajšlová 2009). Přesná chemická definice vosků je ester kyseliny s dlouhým řetězcem a alkoholu s dlouhým řetězcem. Ve skutečnosti jsou průmyslové a potravinářské vosky kombinací několika chemických tříd, které zahrnují estery vosků, esterů, sterolů, ketonů, aldehydů a alkoholů. Vosky lze klasifikovat dle původu na živočišné (včelí vosk), rostlinné vosky (rostlinný karnaubský vosk) a minerální (ropné vosky). Vosky můžeme běžně nalézt na povrchu živočišných a rostlinných tkání z důvodu snížení ztráty vody nebo jejího odpuzování. V potravinářství se například aplikují na povrch plodů ovoce z důvodu zpomalení ztrát vody během skladování (Damodaran & Parkin 2017).

Včelí vosk je tvrdá, amorfni a pevná látka, obvykle světle žluté až jantarové barvy, v závislosti na výrobním procesu. Má vysokou rozpustnost v teplém benzenu, toulenu, chloroformu a dalších nepolárních organických rozpouštědlech. Číslo kyselosti u vosku je 17-36, bod tání 60-67 °C, esterové číslo 64-84, měrná hmotnost 0,927-0,970 a jodové číslo 7-16. Čistý včelí vosk obsahuje asi 70-80 % esterů s dlouhým řetězcem, 12-15 % volných mastných kyselin, 10-15 % uhlovodíků a malé množství diolů a esterů cholesterolů. Jeho spotřeba není omezena pouze na výrobu svíček, ale používá se také jako elektrická izolace v potravinářském a papírenském průmyslu (Akoh 2017).

Tuk z ovčí vlny-lanolin je vedlejším produktem vlnového průmyslu. Ve své farmaceutické kvalitě představuje asi 80 % veškeré spotřeby tuků z vlny. Tuk z ovčí vlny má bod tání 36-42 °C, číslo kyselosti 7-15, číslo zmýdelnění 100-110, esterové číslo 85-100, měrnou hmotnost 0,932-0,945 a jodové číslo 22-30 (Behera & Sengupta 2014; Zakaria El-Sayed et al. 2018).

Karnaubský vosk tzv. královna vosků, je rostlinný vosk vyráběný v Brazílii, Číně a Německu. Pro výrobu se používají listy brazilské tropické palmy (*Copernicia cerifera*). Karnaubský vosk je tvrdý, amorfni a s příjemnou chutí. Obvykle se používá v kosmetice a potravinářském průmyslu. V potravinářském průmyslu je součástí glazur používaných pro bonbóny, želé a jiné cukrovinky. Karnaubský vosk je rozpustný ve většině nepolárních rozpouštědlech. Obsahuje estery (84-85 %), volné mastné kyseliny (3-3,5 %), pryskyřice (4-6 %), alkoholy (2-3 %) a uhlovodíky (1,5-3,0 %) (Leray 2000).

Kandelinový vosk je rostlinný vosk vyráběný hlavně v Mexiku. Vyrábí se ze stonků keře Pryšce voskodárného (*Euphorbia Cerifera*). Používá se při výrobě žvýkaček a kosmetiky. Další využití tohoto vosku je při výrobě leštěného nábytku, maziv a používá se i v papírenském průmyslu. Kandelinový vosk obsahuje 28-29 % esterů, 50-51 % uhlovodíků, 7-9 % volných kyselin a malé množství alkoholů a cholesterolů. Teplota tání se pohybuje v rozmezí 66-71 °C (BfN 2009; Akoh 2017).

3.2.1.2 Estery glykolů

Výskyt esterů glykolů bývá menší než 1 %. Větší množství těchto látek se nachází v mikrobiálních lipidech a v lipidech mořských živočichů (paryby, mlži, hvězdice). Množství těchto látek závisí na ročním období (Velíšek & Hajšlová 2009).

3.2.1.3 Estery glycerolů

Upřednostňovaným termínem pro estery glycerolu jsou nyní „acylglyceroly“, ačkoliv se v jiné literatuře uvádí synonymum „glyceridy“. Termíny TAG (triacylglyceroly), DAG (diacylglyceroly), MAG (monoacylglyceroly) se používají pro specifické sloučeniny obsahující tři, dvě nebo jednu glycerolovou (hydroxylovou) skupinu, která je esterifikována. Triacylglyceroly jsou hlavní součástí přírodních tuků a olejů (Harwood & Gurr 2016). Na molekulu glycerolu může být navázána jedna mastná kyselina. Pak tyto estery nazýváme 1- monoacylglyceroly nebo 2- monoacylglyceroly. V případě navázání dvou mastných kyselin na glycerol vznikají 1,2 diacylglyceroly nebo 1,3 diacylglyceroly. V přírodě nalezneme největší zastoupení triacylglycerolů (na jednu molekulu glycerolu jsou esterově navázány tři mastné kyseliny). Jedná se tedy o jednoduché triacylglyceroly. Pokud jsou na molekulu glycerolu navázány tři různé kyseliny, jedná se smíšené triacylglyceroly (Velíšek & Hajšlová 2009).

3.2.2 Heterolipidy

Heterolipidy jsou lipidy, které obsahují kromě mastných kyselin a alkoholu ještě další kovalentně vázané sloučeniny (Velíšek 2014). Mezi heterolipidy řadíme fosfolipidy, glykolipidy, sulfolipidy (Gibney 2009).

3.2.2.1 Fosfolipidy

Fosfolipidy obsahují dva nepolární hydrofobní acylové zbytky a jednu funkční skupinu, která je polární a hydrofilní. Jedná se o látky, které se běžně vyskytují v přírodě, jsou součástí buněčných membrán a rostlinných organel, ve kterých plní různou biologickou funkci. Hlavní skupina obsahuje vždy kyselinu fosforečnou a aminoskupinu kyseliny např. cholin, serin, ethanolami, cukr (insitol) nebo alkohol (glycerol). Fosfatidylcholin (lecitin) je nejvíce zastoupeným fosfolipidem v živočišných tkáních, v rostlinných lipidech převládají fosfatidylglyceroly (glykosidy) (Gibney 2009).

Lecitin se získává nejčastěji z vaječných žloutků nebo ze sójového oleje. Z důvodu vyšší ceny vaječných žloutků se však získává zejména jako vedlejší produkt při zpracování surového sójového oleje (Gunstone 2006). Tmavohnědá barva lecitinu vzniká zahřátím v průběhu zpracovatelského procesu sójového oleje důsledkem zhnědnutí karotenoidních barviv. Z tohoto důvodu se lecitin často bělí za pomoci peroxidu vodíku. Lecitin se v potravinářském průmyslu využívá jako emulgátor, antioxidant, či smáčeadlo a velká část lecitinu se zkrmuje (Velíšek 2014; Larrañaga et al. 2016).

3.2.2.2 Glykolipidy

Glykolipidy obsahují ve svých molekulách kovaletně vázané sacharidy. Pokud obsahují také vázaný glycerol, nazývají se glyceroglykolipidy, obsahují-li vázaný sfingosin, nazýváme je sfingoglykolipidy. Mezi nejčastěji navázané cukry patří u glykolipidů D-galaktóza, méně často také D-glukóza nebo D-fruktóza, ale i další cukry. Glykolipidy provázejí fosfolipidy jako součásti buněčných struktur a rovněž bývají navázány v lipoproteinech (Velíšek 2014).

3.2.2.3 Sfingolipidy

Sfingolipidy jsou lipidy, které obsahují sfingosinovou bázi. Jedním ze sfingolipidů je například sfingomyelin. Mezi sfingolipidy řadíme ceramidy, cerebrosidy a gangliosidy. Ceramidy se skládají ze sfingosinu, mastné kyseliny, mohou být připojeny k sacharidovým molekulám prostřednictvím primárního hydroxilu sfingosinu. Gangliosidy jsou komplexní cerebrosidy se zbytkem ceramidu připojeným ke kyselině glukóza-galaktosamin-N-acetylneuraminové. Sfingolipidy se nejčastěji vyskytují v buněčných membránách, zejména v nervové tkáni a také u všech zvířat, rostlin a hub. Obvykle nejsou hlavními složkami potravinových lipidů (Merrill & Sandhoff 2002; Akoh & Min 2008; Damodaran & Parkin 2017).

3.2.2.4 Sulfolipidy

Sulfolipidy jsou relativně minoritní sloučeniny, které obsahují vázanou kyselinu sírovou. Do této skupiny patří např. sulfoglykosylsfingolipid. Dříve se nazývaly jako sulfatidy. Tyto sloučeniny často doprovázejí fosfolipidy a můžeme je nalézt také v komplexních lipidech (Velíšek & Hajšlová 2009).

3.2.3 Komplexní lipidy

V komplexních lipidech jsou přítomny jak homolipidy, tak i heterolipidy. Kromě kovalentních vazeb jsou některé složky vázány různými fyzikálními vazbami např. vodíkovými nebo prostřednictvím hydrofobních interakcí. Komplexní lipidy (např. glycerofosfolipidy a glyceroglykolipidy) poskytují hydrolýzou tři a více typů produktů (Velíšek 2014).

3.3 Mastné kyseliny

Mastné kyseliny jsou nejvýznamnější složkou lipidů a zároveň jsou nejdůležitější z hlediska výživy. Podle názvosloví v organické chemii se jako mastné kyseliny označují karboxylové kyseliny s alifatickým uhlovodíkovým řetězcem. Tato definice úplně neodpovídá mastným kyselinám přítomným v lipidech. Některé mastné kyseliny, které odpovídají definici užívané organickými chemiky (např. octová kyselina), totiž nejsou přítomny v přírodních lipidech, i když se mohou vyskytovat v průmyslových tukových výrobcích. Na druhou stranu existují mastné kyseliny vázané v lipidech, které jsou alicyklické nebo dokonce aromatické (Velíšek 2014).

Mastné kyseliny jsou klasifikovány podle délky řetězce, počtu, konfigurace a polohy dvojných vazeb.

Nejčastěji se mastné kyseliny rozdělují podle přítomnosti a počtu dvojných (či trojných) vazeb do těchto základních skupin:

- nasycené mastné kyseliny (SFA - saturated fatty acid) - obsahují jednoduché vazby
- monoenové nenasycené mastné kyseliny (MUFA) - obsahující jednu dvojnou vazbu
- polyenové nenasycené mastné kyseliny (PUFA) - obsahují dvě a více dvojných vazeb
- mastné kyseliny s trojnými vazbami obsahující různé substituenty - rozvětvené, cyklické, se sirnou, či dusíkatou funkční skupinu (Sikorski & Kołakowska 2011; Velíšek 2014).

3.3.1 Nasycené mastné kyseliny

Nasycené mastné kyseliny jsou běžnou složkou přírodních lipidů a obsahují sudý počet atomů uhlíků. Mají lineární nerozvětvený řetězec a obecný vzorec $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$, kde n je počet atomů uhlíků v molekule. Jejich fyzikální a fyziologické vlastnosti závisí na délce uhlíkového řetězce. Nasycené mastné kyseliny s méně než šesti uhlíky nazýváme mastné kyseliny s krátkým řetězcem, jsou více, či méně rozpustné ve vodě a ze střeva se rychle absorbují přímo do krve. Jedná se hlavně o kyselinu máselnou, která tvoří přibližně 3 % z celkové hmotnosti másla. Mastné kyseliny, které mají od 6 do 12 uhlíků, se nazývají mastné kyseliny se středním řetězcem. Kyselina laurová (C12) bývá kvůli svým fyziologickým vlastnostem některými autory řazena mezi mastné kyseliny s dlouhým řetězcem. Jsou přítomny zejména v palmojadrovém oleji, kokosovém oleji a v menším množství v mléčném tuku. Mastné kyseliny, které mají 14 a více uhlíků, patří mezi mastné kyseliny s dlouhým řetězcem. Jejich příkladem může být kyselina palmitová s 16 uhlíky, která je obsažena např. v palmovém oleji, mase a mléku (Sikorski & Kołakowska 2011; Leray 2015). Přehled nasycených mastných kyselin je uveden v Tabulce 1.

Tabulka 1 - Přehled nasycených mastných kyselin (Matouš 2010)

| Počet uhlíků | Triviální název | Systematický název |
|--------------|-----------------|--------------------|
| C4 | Máselná | n-butanová |
| C6 | Kapronová | n-hexanová |
| C8 | Kaprylová | n-oktanová |
| C10 | Kaprinová | n-dekanová |
| C12 | Laurová | n-dodekanová |
| C14 | Myristová | n-tetradekanová |
| C16 | Palmitová | n-hexahekanová |
| C18 | Stearová | n-oktadekanová |
| C20 | Arachová | n-eikosanová |
| C22 | Behenová | n-dokosanová |
| C24 | Lignocerová | n-tetrakosanová |
| C26 | Cerotová | n-hexakosanová |

3.3.2 Nenasycené mastné kyseliny

Nenasycené mastné kyseliny mohou ve svém řetězci obsahovat jednu nebo více dvojných vazeb. Dle počtu dvojných vazeb se pak rozdělují na mononenasycené a polynenasycené. S rostoucím počtem dvojných vazeb klesá bod tání tuků, a naopak roste jejich polarita a náchylnost k oxidačnímu zluknutí (Pánek 2002). Přítomnost dvojných vazeb umožňuje polohovou izomeraci a díky tomu se rozlišují *cis* a *trans* izomery nenasycených mastných kyselin, přičemž typ izomeru ovlivňuje biologický účinek dané mastné kyseliny. (Velíšek 2014).

Nenasycené mastné kyseliny obsahují hlavně tuky a rostlinné oleje získané z plodů, semen a listů rostlin (Sikorski & Kołakowska 2011). Obsah nenasycených mastných kyselin se v rostlinných tucích pohybuje v širokém rozmezí. Řepkový olej obsahuje 90 % všech mastných kyselin, naopak kokosový tuk méně než 10 %. V živočišných tucích se obsah nenasycených mastných kyselin pohybuje v rozmezí 50-70 %. Výjimku tvoří rybí oleje, které jsou významným zdrojem nenasycených mastných kyselin se 4 až 6 dvojnými vazbami, jejichž obsah se pohybuje v rozmezí 30-35 % (Velíšek & Hajšlová 2009). Tuky obsahující nenasycené mastné kyseliny jsou za pokojové teploty tekuté a mají výrazně vyšší tendenci k oxidaci (Sikorski & Kołakowska 2011).

3.3.3 Monoenové mastné kyseliny

Nenasycené mastné kyseliny s jednou vazbou lze obecně nazvat jako monoenové. Liší se především v počtu atomů uhlíků, polohou dvojných vazeb a její prostorovou konfigurací. Ovlivňují hladinu cholesterolu a podílejí se na udržování elasticity a průchodnosti artérií. Z MUFA se v olejích nejvíce vyskytuje kyselina olejová s 18 atomy uhlíků. Mezi další významné MUFA patří palmitoolejová a vakcenová kyselina. Další zástupci monoenových mastných kyselin jsou uvedeny v Tabulce 2.

V přírodě se většina dvojných vazeb v monoenoových mastných kyselinách vyskytuje v *cis* konfiguraci. Při smažení a pečení může dojít ke vzniku *trans*-izomerů mastných kyselin, ale vzniká jich velce málo. Za významné zdroje *trans*-izomerů lze považovat výrobky, do kterých se přidávají ztužené tuky např. pekárenské výrobky, plněné sušenky, náplně (Stratil 1993; Sikorski & Kołakowska 2011; Kenar et al. 2017).

Tabulka 2 - Přehled monoenoových mastných kyselin (Velíšek 2014)

| Mastná kyselina | Počet atomů uhlíku | Poloha dvojně vazby | Isomer | Triviální název |
|-----------------|--------------------|---------------------|--------|-----------------|
| dodecenová | 12 | 9 | cis | laurová |
| tetradecenová | 14 | 9 | cis | myristová |
| hexadecenová | 16 | 9 | cis | palmitoolejová |
| oktadecenová | 18 | 9 | cis | olejová |
| oktadecenová | 18 | 9 | trans | elaidová |
| oktadecenová | 18 | 11 | cis | asklepová |
| dokosenová | 22 | 13 | cis | eruková |

3.3.4 Polyenové mastné kyseliny

Mastné kyseliny s dvěma dvojnými vazbami označované jako polyenové mastné kyseliny mají velký význam ve výživě lidí, protože některé z nich (linolová a α -linolenová kyselina) patří mezi esenciální složky potravy, tj. lidské tělo si je nedokáže syntetizovat a zároveň plní v organismu množství významných funkcí (např. jsou prekurzory eikosanoidů). Polyenové mastné kyseliny v tučných běžných potravinách mají v uhlíkatém řetězci dvě nebo více dvojných vazeb, obvykle v *cis* konfiguraci a navzájem jsou odděleny pomocí methylových skupin. Velmi specifický význam mají konjugované polyenové mastné kyseliny, které ve svém uhlíkatém řetězci nemají mezi dvojnými vazbami umístěnou žádnou methylenovou skupinu. Dvojně vazby se tedy pravidelně střídají s vazbou jednoduchou. Konjugované polyenové kyseliny se vyskytují jen ve stopových množstvích v jedlých tučných, tučných přežvýkavců, v hydrogenovaných tučných nebo ve žlutých tučných. Od ostatních mastných kyselin se odlišují svou reaktivitou a fyziologickým účinkem (Belitz & Schieberle 2009; Velíšek 2014).

Polyenové mastné kyseliny jsou při běžné pokojové teplotě kapalné. Jednou z nejvýznamnějších mastných kyselin, která se vyskytuje ve všech přírodních lipidech, je kyselina linolová. Ostatní zástupci polyenových mastných kyselin jsou uvedeny v Tabulce 3 na str. 10. Z výživového hlediska tvoří významnou skupinu polyenových mastných kyselin, tzv. mastné kyseliny řady n-3 a n-6 nebo ω -3 a ω -6. Toto označení se vztahuje vzhledem k poloze dvojně vazby od methylového konce řetězce mastné kyseliny, čili první dvojná vazba se nalézá na třetím nebo na šestém uhlíku od methylového konce řetězce. Tyto mastné kyseliny lidské tělo nedokáže syntetizovat, proto je potřebný jejich příjem ve stravě (Kenar & List 2017).

Mastné kyseliny řady n-6 se vyznačují celou řadou biologických účinků, mají protizánětlivé účinky, podílejí se na snížení artritidy, aterosklerózy, astma a cévních onemocnění. Do této skupiny mastných kyselin patří kyselina γ -linolenová, linolová a arachidonová. Mezi nejvýznamější zdroje n-6 patří rostlinné oleje jako je např. kukuřičný,

slunečnicový, světlicový, sójový a lněný (Choque & Legrand 2014), jejich příjem ve stravě by měl být mezi 4 % (EFSA 2010).

Mastné kyseliny řady n-3 mají důležitou roli při fungování kardiovaskulárního systému a mozku, jsou nepostradatelné pro normální růst a vývoj člověka, v lidském organismu mají i mnoho dalších funkcí. Do této řady patří α -linolenová, eikosapentaenová (EPA) a dokosaheptaenová kyselina (DHA). Zdrojem n-3 mastných kyselin jsou rostlinné oleje (řepkový, lněný), rostlina perila křovitá (*Perilla frutescens*), vlašské ořechy a rybí tuk. (Gunstone & Dijkstra 2007). Jejich příjem ve stravě by měl být do 0,5 % (EFSA 2010).

Tabulka 3 - Přehled a zdroje polynenasycených mastných kyselin (Mann & Truswell 2002)

| Mastná kyselina | Počet uhlíků / poloha dvojně vazby od koncového methylu | Zdroj |
|------------------------------|---|---|
| linolová | 18 / 2 ω 6 | Rostlinné oleje (bavlníkový, slunečnicový, sójový) |
| α -linolenová | 18 / 3 ω 3 | Rostlinné oleje (hořčičný, sójový, z vlašských ořechů, lněný) |
| γ -linolenová | 18 / 3 ω 6 | Rostlinné oleje (pupalkový, brutnákový, z černého rybízu) |
| dihomo- γ -linolenová | 20 / 3 ω 6 | Nízké množství v živočišné tkáni |
| dihomo- γ -linolenová | 20 / 3 ω 6 | |
| eikosapentaenová (EPA) | 20 / 5 ω 3 | Ryby, rybí olej |
| dokosaheptaenová (DPA) | 22 / 5 ω 3 | Ryby, rybí olej, živočišná tkáň |
| dokosaheptaenová (DHA) | 22 / 6 ω 3 | (mozek) |

3.3.5 Alkynové, rozvětvené a cyklické kyseliny

Ve srovnání s výše uvedenými typy mastných kyselin jsou alkynové, rozvětvené a cyklické mastné kyseliny ve výživě a v potravinářství méně významné. Nejvýznamějšími zástupci alkynových mastných kyselin jsou mastné kyseliny stearolová a isanová. Rozvětvené kyseliny obsahují methylovou skupinu, která je vázána na posledním atomu uhlíku. Tyto kyseliny se obecně označují jako isokyseliny a mezi nejvýznamější zástupce patří kyselina isovalerová. Poslední skupinu tvoří tzv. cyklické mastné kyseliny, které ve svém řetězci obsahují nasycený, či nenasycený tříčlenný, pětičlenný a šestičlenný kruh (Velíšek & Hajšlová 2009).

3.3.6 Další mastné kyseliny

V přírodě existují také různé mastné kyseliny, které obsahují ve svém uhlovodíkovém řetězci vázanou síru nebo dusík, např. 9- nitroolejová (Velíšek 2014).

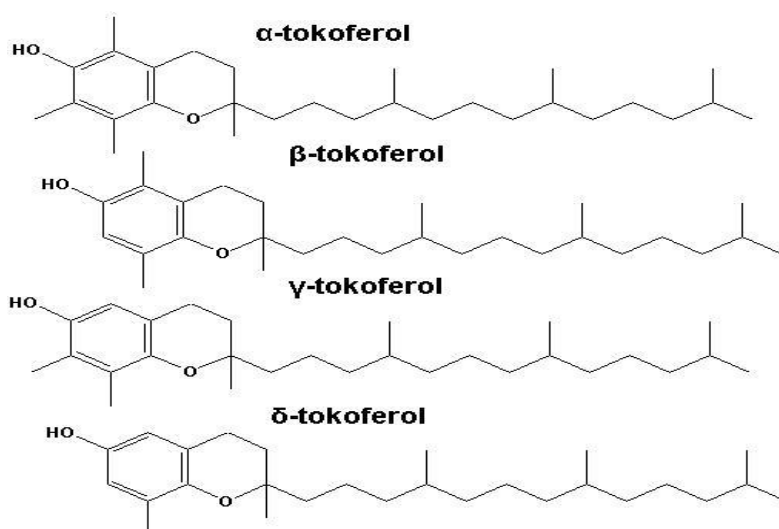
3.4 Doprovodné látky tuků a olejů

3.4.1 Tokoferoly

Tokochromanoly (molekuly tokoferolů a tokotrienolů) jsou přírodní, v tucích rozpustné organické látky s antioxidační aktivitou. Tokoferoly jsou esterifikované molekuly a rozlišujeme čtyři homology, konkrétně α -, β -, γ -, δ -tokoferol. Jsou známé čtyři homology tokotrienolů, α -, β -, γ - a δ -tokotrienol, které jsou strukturně příbuzné jejich odpovídajícím tokoferolům. Liší se od tokoferolů přítomností dvojných vazby v postranním řetězci, přičemž dvojně vazby mají v poloze 3, 7, 11. Nejúčinnějším antioxidantem *in vivo* je z pomezí tokoferolů α -tokoferol. Naopak je tomu v potravinách, kde je jeho antioxidační aktivita ovlivňována dalšími faktory např. teplotou, složením mastných kyselin a dalšími faktory. Jedna molekula tokoferolu může reagovat s více než 100 molekulami singletového kyslíku, tato specifická vlastnost souvisí s jejich schopností přeměnit se po oxidaci na svou aktivní formu (Raederstorff et al. 2002; Ghazani & Marangoni 2016).

Yoshida et al. (2003) ve své studii zjistili, že antioxidační aktivita tokoferolů a tokotrienolů v roztoku a liposomální membráně je stejná. Ghazani & Marangoni (2016) a Shahidi & Camargo (2016) uvádí, že v tucích a olejích tokotrienoly obecně vykazují větší antioxidační aktivitu, než tokoferoly a γ -tokotrienol je účinnější než α -tokoferol. Shahidi & Camargo (2016) však zároveň dodávají, že antioxidační aktivita tokoferolů a tokotrienolů závisí na několika faktorech, např. na jejich koncentraci v systému, teplotě, interakci s jinými molekulami, které mohou mít synergistické nebo antagonistické účinky.

Tokoferoly lze nalézt u většiny rostlinných olejů. Obsah tokoferolů v živočišných tucích je velmi nízký až nulový. Jelikož patří tokoferoly mezi antioxidanty a pomáhají předcházet oxidačnímu žluknutí, mohou se záměrně přidávat kvůli zlepšení oxidační stability olejů. Během průmyslového zpracování (rafinace), skladování a také v průběhu tepelného zpracování olejů, dochází ke ztrátám tokoferolů (Vaclavik & Christian 2014). Chemická struktura tokoferolů je znázorněna na Obrázku 1.



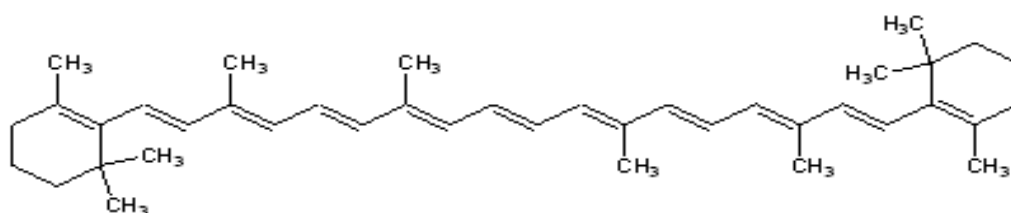
Obrázek 1 - Chemická struktura tokoferolů

Zdroj: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=816&typ=html

3.4.2 Karotenoidy

Karotenoidy jsou přírodní barviva, která mají nažloutlou až červenou barvu a nalezneme je ve většině olejů a v rostlinách (Ghazani & Marangoni 2016). Jsou to polyenové uhlovodíky skládající se z 8 isoprenových jednotek (tetraterpenů) a ve své molekule obsahují 40 atomů uhlíku. Karotenoidy můžeme rozdělit do dvou hlavních tříd: karoteny a xantofyly. Karotenoidy jsou vysoce náchylné k oxidaci v přítomnosti kyslíku a světla. Pokud jsou tyto faktory vyloučeny, jsou karotenoidy v potravinách stabilní i při vysokých teplotách. β -karoten (viz obrázek 2) je provitaminem vitamínu A a spolu s dalšími karotenoidy působí jako silný antioxidant (Belitz & Schieberle 2009).

Vybrané karotenoidy (xantofyly, bixin a β -karoten) se používají pro barvení potravin, např. jogurtů a sýrů. Žlutozelené pigmenty (lutein a xantofyly) se extrahují z květů měsíčku a přidávají se jako aditiva do krmiva drůbeže pro zlepšení barvy vaječných žlutků (Lusas & Riaz 2012).



Obrázek 2 - Strukturní vzorec β -karotenu

Zdroj: <https://www.drugfuture.com/chemdata/beta-carotene.html>

3.4.3 Steroly

Steroly jsou mikronutrienty přítomné v lidské stravě a tvoří velkou skupinu sloučenin se širokou škálou biologických účinků. Jedná se o deriváty steroidů a nejvíce jsou zastoupeny v eukaryotních buňkách, méně pak v prokaryotních buňkách. Steroly mohou být klasifikovány podle původu na živočišné a rostlinné steroly, nazývané také fytosteroly. Hlavním živočišným steroidem je cholesterol, mezi hlavní rostlinné steroly patří systerol, kampesterol a stigmasterol.

Cholesterol se skládá z 27 uhlíkaté kostry. V buněčných membránách plní různé funkce, od mechanických po komplexní metabolické a také je to prekurzor vitamínu D a některých hormonů (Sikorski & Kołakowska 2011). Cholesterol může být přítomen ve volné formě nebo esterifikován na hydroxylové skupině mastných kyselin. U člověka se cholesterol syntetizuje v játrech. Příjem cholesterolu ve stravě je variabilní, ale často vyšší než 300 mg/den, což v současné době odpovídá doporučenému množství (Pérez & Frías 2019).

Cholesterol se vyskytuje v různých potravinách živočišného původu (např. hovězí maso, máslo, vejce) v malém množství i v řasách (Sikorski & Kołakowska 2011). Obsah cholesterolu a fytosterolů v některých potravinách je uveden Tabulce 4.

Tabulka 4 - Obsah cholesterolu a fytosterolů (mg/100 g) ve vybraných potravinách (Sikorski & Kołakowska 2011)

| Výrobek | Cholesterol | Výrobek | Fytosteroly |
|------------------|-------------|-------------------|-------------|
| Odstředěné mléko | 1,8 | Rafinované oleje | |
| Plnotučné mléko | 13,6 | Kukuřičný | 768-1200 |
| Tvaroh | 5-37 | Olivový | 140-220 |
| Tvrdé sýry | 51-99 | Sójový | 300-440 |
| Sladká smetana | 35-106 | Řepkový | 680-880 |
| Máslo | 183-248 | Slunečnicový | 320-350 |
| Vepřové maso | 72-100 | Lněný | 310-320 |
| Sádlo | 92 | Rýžový | 600-2800 |
| Hovězí | 65-82 | Arašídový | 600-1600 |
| Lůj | 109 | Sezamová semínka | 200-250 |
| Klobásy | 27-83 | Mandle | 160-270 |
| Kuřecí maso | 75 | Pekanové ořechy | 140-270 |
| Krocán | 60 | Fazole | 30-160 |
| Játra | 300-600 | Zralé sójové boby | 100-120 |
| Syrové vejce | 450 | Pšeničné zrno | 70-124 |
| Syrový žloutek | 1260 | Banány | 31 |
| Tuňák | 38 | Mrkev | 12 |
| Treska | 73 | Rajčata | 7 |
| Humr | 95 | Brambory | 5 |
| Krevety | 152 | Jahody | 1 |

3.5 Rozdělení tuků podle původu

Podle původu lze tuky rozdělit na tuky živočišné a tuky rostlinné.

3.5.1 Živočišné tuky

Živočišné tuky mají obvykle v řetězci mastné kyseliny s 18 uhlíky. Tyto tuky obsahují různé druhy mastných kyselin, z nichž převažují nasycené mastné kyseliny. Při získávání živočišných tuků je cílem rozrušení vaziva a uvolnění tuku z rozrušených buněk. Tuk se následně separuje, chladí na teplotu 23-24 °C a balí. Výroba těchto tuků probíhá za pomoci škvaření a tavení mokřým nebo suchým způsobem. Škvaření je technologický proces, který probíhá v kotli, ve kterém jsou nakrájeny kousky tuku. Tento kotel bývá zahříván na teplotu 135 °C. Škvaření se využívá hlavně při domácích zabijačkách. Při tavení tzv. mokřým způsobem se nařezaný surový tuk plní do autoklávu a vstříkuje se do něj pára, která má teplotu 90 °C. Při tavení za sucha se využívá nepřímého ohřevu v duplikátorovém kotli po dobu 1,5 až 2 hodin. Výsledné tuky mají charakteristickou chuť tuku po pečení. Živočišné tuky se používají

zejména v kuchyni při pečení a smažení (Čuboň & Kačániová 2012; Vaclavík & Christian 2014). Mezi hlavní živočišné tuky získané z prasat a skotu patří sádlo, lůj, máslo a v neposlední řadě i rybí tuk. Zastoupení mastných kyselin v živočišných tucích lze nalézt v Tabulce 5.

Tabulka 5 - Zastoupení mastných kyselin v (%) v hlavních živočišných tucích (Velíšek 2014)

| Mastná kyselina | Hovězí lůj | Ovčí lůj | Vepřové sádlo | Kuřecí sádlo | Husí sádlo | Sádlo pštrosa emu |
|-----------------|------------|----------|---------------|--------------|------------|-------------------|
| laurová | 1,0 | 0,8 | stopy | 0,1 | - | - |
| myritová | 1,4-7,8 | 2-5 | 0,5-2,5 | 0,9 | 0,5 | 0,3 |
| palmitová | 17-37 | 20-27 | 20-32 | 22 | 21 | 20 |
| palmitoolejová | 0,7-8,8 | 1,4-4,5 | 1,7-5,0 | 6 | 3 | 3 |
| stearová | 6-40 | 23-34 | 5-24 | 6 | 6 | 1 |
| olejová | 26-50 | 30-42 | 35-62 | 37 | 54 | 51 |
| linolová | 0,5-5,0 | 1,9-2,4 | 3-16 | 20 | 10 | 14 |
| linolenová | < 2,5 | 0,6 | <1,5 | 1 | 0,5 | 1 |
| arachová | < 0,5 | 1 | < 1,0 | - | - | 0,2 |
| eikosenová | < 0,5 | 0,2 | < 1,0 | 1 | 0,1 | 0,5 |

3.5.1.1 Sádlo

Vepřové sádlo se získává za pomoci výrobního procesu tavení, škvaření. Obsahuje 43 % nasycených mastných kyselin, zejména stearové (5-24 %), palmitové (20-32 %), myristové (0,5-2,5 %), olejovou (35-62 %) a linolovou kyselinu (3-16 %). Celkově sádlo obsahuje 4-8 % esenciálních mastných kyselin a nalezneme v něm 86 mg cholesterolu /100 g. Obsah tokoferolů se pohybuje v rozmezí 5-6 mg/100 g. Do tržní sítě je dodáváno sádlo v podobě syrové, rafinované nebo škvařené. Vepřové sádlo můžeme rozdělit podle částí, ze kterých je získáváno na plsní (získané z dutiny břišní) a hřbetní (Čuboň & Kačániová 2012).

Pro škvaření se používá hřbetní i plsní sádlo. Sádlo, které není vhodné pro přímou konzumaci, se musí dále předčistit neboli tzv. rafinovat. Rafinačním procesem se odstraní nečistoty a neutralizují se volné mastné kyseliny. Podobné složení jako má vepřové sádlo má sádlo husí, kachní a slepičí. Tyto druhy sádla mají vyšší obsah olejové kyseliny, z tohoto důvodu mají nižší bod tání (Wolf & Emberger 1985).

Sádlo dělíme podle sortimentu, ze kterého je získáno a také dle způsobu jeho získávání z tukové tkáně:

- domácí škvařené vepřové sádlo - vyrobené tzv. suchým způsobem z hřbetního a plsního sádla vepřů
- škvařené vepřové sádlo - získané mokřím způsobem z tukové tkáně vepřů
- škvařené kachní, či husí sádlo - u těchto druhů tuků se pro získávání využívá tzv. suchý způsob
- škvarky - jedná se o vedlejší produkt při získávání tuků z tukové tkáně kachen, hus a vepřů. Škvarky se dále zpracovávají, dosolením, lisováním, popřípadě mletím (Čuboň & Kačániová 2012).

3.5.1.2 Lůj

Lůj patří mezi velice důležitou surovinu živočišného původu získávanou z přežvýkavců (koně, kozy, ovce a hovězí dobytek). Vyznačuje se vysokým bodem tání, jeho konzistence bývá křehká až drobivá. Průměrné hodnoty základních složek obsažených v hovězím loji jsou 88 % tuku, 10 % vody a 2 % bílkovin. Vytěžený hovězí lůj činí u tučných krav až 12 % z hmotnosti jatečně opracovaného těla, u jalovic a volků až 10 % a u býků až 4 % (Ingr 1996). Lůj obsahuje 48 % nasycených mastných kyselin, z nichž převládá palmitová a stearová kyselina, které jsou zastoupeny z 20 % a olejová kyselina v množství 42 %. Mezi další složky, které lůj obsahuje, patří cholesterol (109 mg/100 g) a v malém množství lecitin (Čuboň & Kačániová 2012). Lůj se používá hlavně v potravinářství, kosmetice nebo pro technické účely - výroba mýdel (Zajíc & Bareš 1987).

3.5.1.3 Máslo

Dle Vyhlášky č. 397/2016 Sb. v platném znění rozumíme máslem mléčný výrobek obsahující výhradně mléčný tuk ve formě emulze vody a tuku. Máslo musí obsahovat minimálně 80 % mléčného tuku a maximálně 16 % vody. Pro lidskou výživu je máslo zdrojem fyziologicky účinných a biologicky potřebných látek např. fosfolipidů, lipofilních vitaminů (A, D, E, K) a obsahuje také esenciální nenasycené mastné kyseliny (linolovou 0,9-3,7 %, linolenovou 0,1-1,4 %, olejovou 18,8 %). Mezi nejvýznamější nasycené mastné kyseliny patří: palmitová (28,3 %), stearová (11,8 %), myristová (11,1 %). Máslo se získává za pomoci technologického procesu zmáseňování vhodně upravené smetany diskontinuálním nebo kontinuálním způsobem (Čepička 1995). V tržní síti je k dostání v různých druzích, např. čerstvé máslo, stolní, solené máslo, které obsahuje 2 % soli či přepuštěné máslo ghí.

3.5.1.4 Rybí olej

Za rybí olej (tuk) je považován tuk studenokrevných živočichů, který bývá někdy označován jako trány. Rybí tuk je bohatý na nenasycené mastné kyseliny a je ceněn pro svoji biologickou hodnotu. Mezi hlavní nenasycené mastné kyseliny, které rybí tuk obsahuje, patří linolová (1,91 %), linolenová (2,16 %), EPA (9,86 %) a DHA (17,92 %) kyselina. Jejich doporučený příjem je v rozmezí od 250 do 500 mg/den (Čuboň & Kačániová 2012). Rybí olej je také významným zdrojem vitaminu A a D. Tento olej se používá v potravinářství jako doplněk stravy. Překážkou pro použití rybího tuku v kosmetice je nepříjemný zápach, který je pro spotřebitele nepřijatelný (Feřteková 2000).

3.5.2 Rostlinné tuky

Většina rostlinných olejů se získává ze semen rostlin lisováním nebo extrakcí s použitím extrakčního rozpouštědla. Některé oleje (např. panenský olivový olej) se pak přímo používají bez dalšího zpracování. Většina olejů se však před použitím do určité míry rafinuje. Při procesu rafinace se odstraňují nežádoucí látky (fosfolipidy, monoacylglyceroly, diacylglyceroly, volné mastné kyseliny, barvy a pigmenty, oxidované materiály, aromatické složky, stopové prvky a sloučeniny síry), zároveň však mohou být také odstraněny některé nutričně cenné složky, včetně antioxidantů, karotenů a tokoferolů. Proces rafinace musí být navržen tak, aby se maximalizovalo odstranění nežádoucích složek, a zároveň musí dojít k minimalizaci ztrát žádoucích složek (Gunstone 2011). Zastoupení mastných kyselin u vybraných rostlinných olejů lze nalézt v Tabulce 6.

3.5.3 Popis vybraných druhů olejů

3.5.3.1 Palmový olej

Palmový olej je celosvětově nejvíce produkovaným olejem, který se získává z palmy olejné (*Elaeis guineensis*). Původně palmový olej pochází z Jižní Afriky, do východní Asie byl přivezen v roce 1884. Surový palmový olej má různé barevné variace, od nažloutlé až po tmavě červenou. Tento olej obsahuje 400-1000 mg/kg karotenoidů (provitamin A), po rafinaci se toto množství karotenoidů sníží na nedetekovatelnou úroveň. Mezi hlavní karotenoidy patří α -karoten (24-32 %) a β -karoten (50-60 %). Hlavními mastnými kyselinami v palmovém oleji jsou palmitová a olejová kyselina (tvoří více než 80 % z celkového obsahu mastných kyselin a jsou přítomny v téměř stejném poměru). Mezi největší producenty palmového oleje patří Malajsie a Indonésie (Ghazani & Marangoni 2016).

3.5.3.2 Sójový olej

Sójové boby jsou hlavní olejninou pěstovanou na světě a získávají se ze sóji luštinaté (*Glycine max*). Po palmovém oleji je sójový olej druhým nejvíce produkovaným olejem (Gunstone 2011). Surový sójový olej je dobrým zdrojem fosfatidů a lecitin získaný po extrakci a čištění bývá v potravinách používán jako emulgátor. Koncentrace fytosterolů v sójovém oleji je 2350-4050 mg/kg a nachází se v něm 1257-1370 mg/kg tokoferolů. Nejvíce zastoupeným fytosterolem je β -sitosterol (47-59 %) a z tokoferolů se v tomto oleji nachází zejména γ -tokoferol (44-60 %). Nejvíce zastoupenou kyselinou v sojovém oleji je linolová kyselina 50 % a 6-8 % tvoří kyselina α -linolenová (Ghazani & Marangoni 2016). Mezi hlavní světové producenty tohoto oleje patří Spojené státy americké, Čína, Argentina, Brazílie, Evropská unie a Indie (Gunstone 2011).

Tabulka 6 - Zastoupení mastných kyselin (%) ve vybraných rostlinných olejích (Ghazani & Marangoni 2016)

| Mastná kyselina | Sójový olej | Řepkový olej | Slunečnicový olej | Bavlníkový olej | Kukuřičný olej | Arašídový olej | Olivový olej |
|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 12:0 | - | - | - | - | - | - | - |
| 14:0 | 0,1 | - | - | 0,5-1,3 | <0,1 | - | <0,1 |
| 16:0 | 11,0 | 4,3 | 5-7 | 17-31 | 8-13 | 8-13 | 7,5-20 |
| 16:1 | 0,1 | 0,2 | <0,4 | <1 | <1 | <0,3 | 0,3-3,5 |
| 18:0 | 4,0 | 1,8 | 4-6 | 1-3 | 1-4 | 3-4 | 0,5-5 |
| 18:1 | 23,4 | 62,3 | 15-25 | 13-21 | 24-32 | 48-66 | 55-83 |
| 18:2 | 53,2 | 19,4 | 62-70 | 34-60 | 55-62 | 14-28 | 3,5-21 |
| 18:3 | 7,8 | 9,2 | <0,2 | <1 | <2 | <0,3 | <1 |
| 20:0 | 0,3 | 0,6 | <1 | 0,2-0,5 | <1 | 1-2 | <0,8 |
| 20:1 | - | 1,2 | <0,5 | - | <0,5 | 1-2 | - |
| 20:2 | - | 0,1 | - | - | - | - | - |
| 22:0 | 0,1 | - | <1 | - | <0,5 | 2-4 | <0,3 |
| 24:0 | - | - | - | - | - | 1-2 | <1 |

3.5.3.3 Řepkový olej

Na třetím místě z hlediska celosvětové produkce je olej z řepky olejné (*Brassica napus*), který je jedním z ekonomicky nejvýznamnějších olejů na světě (Gunstone 2011). Poprvé byl tento olej vyroben v Kanadě v roce 1974. Díky genetické modifikaci řepkového oleje došlo ke snížení koncentrace kyseliny erukové a glukosilonátu. V současné době obsahují řepková semena méně než 0,1 % kyseliny erukové a 0,8 μm glukosilonátu. Řepkový olej je jediný rostlinný olej obsahující v některých mastných kyselinách atom síry, který je zodpovědný za sirný zápach tohoto oleje (Ghazani & Marangoni 2016). Řepkový olej má z výživového hlediska i z hlediska stability velmi příznivé složení mastných kyselin, obsahuje 50-66 % olejové kyseliny a 6-14 % α -linolenové kyseliny. Poměr ω -6 a ω -3 mastných kyselin činí 2:1 (Ghazani & Marangoni 2014).

3.5.3.4 Slunečnicový olej

Slunečnicový olej se získává za pomoci extrakce ze semen slunečnice roční (*Helianthus annuus*). Samotný olej pochází ze Střední a Jižní Ameriky a do Evropy byl přivezen v 16. století. Semena obsahují od 36 % do 44 % oleje a poskytují až 25 % bílkovin pro krmné účely hospodářských zvířat. Největší podíl mastných kyselin tvoří linolová (62-70 %) a olejová kyselina (15-25 %). Obsah tokoferolů (hlavně α -tokoferolu) je v průměru 0,8 mg/kg, tokotrienoly jsou zastoupeny v malém množství. Obsah sterolů (obsažen zejména β -sisterol) činí 2,4 až 5 mg/kg. Mezi významné producenty slunečnicového oleje patří Rusko, Ukrajina, Argentina a Evropská unie (Leray 2015).

3.5.3.5 Bavlníkový olej

Bavlníkový olej se extrahuje ze semen bavlníku chlupatého (*Gossypium hirsutum*) a bavlníku barbadorského (*Gossypium barbadense*), rostlin známých již od 5000-7000 př. n. l., v období starověké Indie a Mexika. Semena obsahují 13 % až 20 % oleje, který obsahuje toxický polyfenol gossypol. Gossypol vykazuje bioaktivní vlastnosti např. antimikrobiální, antioxidační a protirakovinovou aktivitu. Převážná část gossypolu je odstraněna během zpracování oleje pomocí neutralizace, na konci rafinace olej obsahuje bezpečné množství, 1-5 mg/kg. Bavlníkový olej má podobné složení jako olej slunečnicový, obsahuje 34-60 % linolové kyseliny a má nízký obsah stearové kyseliny (3 %) (Leray 2015). Mezi největší producenty patří hlavně Čína, Indie, Pákistán a Brazílie (Ghazani & Marangoni 2016).

3.5.3.6 Kukuřičný olej

Kukuřičný olej se vyrábí z kukuřičných klíčků, které jsou získávány jako vedlejší produkt při mletí kukuřice seté (*Zea mays*). Kukuřice původně pochází ze Střední Ameriky a byla dovezena do Evropy Španěly v roce 1493. Semeno obsahuje cca 12 % oleje, kukuřičný klíček 30 až 40 % oleje. Kukuřičný olej je charakteristický vysokým obsahem linolové kyseliny (55-62 %). Obsah tokoferolů činí 1,5 mg/kg oleje a nejvíce zastoupeným tokoferolem je γ -tokoferol. Mezi největší producenty tohoto oleje patří Spojené státy americké, Evropská unie a Čína (Leray 2015).

3.5.3.7 Arašídový olej

Arašídový olej se extrahuje ze semen podzemnice olejné (*Arachis hypogaea*). Tato rostlina pochází z Mexika, kde jí Inkové pěstují více než 5000 let. V Evropě se začala vyskytovat po objevení Ameriky (Leray 2015). Arašídů se pěstují po celém světě v tropickém a mírném pásmu, především jako plodina pro produkci oleje, ale také k produkci semen, výrobě arašídového másla a pro výrobu kosmetických výrobků. Semena arašídů jsou i významnou složkou výživy v mnoha zemích např. Čína, Spojené státy americké, Indie, Brazílie, Mexiko a Jižní Afrika. Jsou dobrým zdrojem bílkovin a tuků (Carrín & Carelli 2010).

Z mastných kyselin nalezneme v arašídovém oleji zejména olejovou (45-53 %), linoleovou (27-32 %) a palmitovou kyselinu (11-14 %). Dále jsou v menším množství zastoupeny mastné kyseliny s dlouhým řetězcem, kam patří arachidonová (1-2 %), behenová (1,5-4,5 %) a lignocerová kyselina (0,5-2,5 %). Mezi významné producenty tohoto oleje patří Indie a Čína (Ghazani & Marangoni 2016).

3.5.3.8 Olivový olej

Olivový olej se od nepaměti používá při přípravě pokrmů, v medicíně a při výrobě kosmetiky. Průměrná světová produkce olivového oleje je asi 3 miliony tun. Získává se z olivovníku (*Olea*). Největší množství se vyrábí hlavně ve středomořských zemích např. ve Španělsku, Itálii, Řecku. Existují dva typy olivového oleje, jeden s vysokým obsahem olejové a malým množstvím linolové kyseliny (evropský původ), druhý s opačným poměrem (severoafriický původ) (Ghazani & Marangoni 2016). Zelená barva olivového oleje je spojena s přítomností chlorofylu, jehož obsah se pohybuje od 10 do 30 mg/kg. Mezi hlavní mastné kyseliny, které tento olej obsahuje, patří olejová (55-83 %), palmitová (7,5-20 %), linolová kyselina (3,5-21 %) a velmi malé množství stearové kyseliny (Gunstone 2011). Nejvíce zastoupeným tokoferolem je α -tokoferol, jehož množství se pohybuje v rozmezí 100-300 mg/kg. Obsah polyfenolů se pohybuje v rozmezí 100-250 mg/kg. V olivovém oleji je obsažen i skvalen v množství 200-500 mg/kg (Ghazani & Marangoni 2016).

Nařízení Evropské komise č. 2568/91 rozlišuje 8 druhů olivového oleje: extra panenský olivový olej, panenský olivový olej, lampantový olivový olej (není určen pro lidskou spotřebu), rafinovaný olivový olej, olivový olej - složený z rafinovaných olivových olejů a panenských olivových olejů, surový olivový olej z pokrutin, rafinovaný olivový olej z pokrutin a olivový olej z pokrutin. Olivový olej z pokrutin se získává zpracováním olivových výlisků, které jsou zbytkem po procesu získávání kvalitnějších variant olivových olejů.

Pro maloobchodní prodej jsou určeny pouze čtyři druhy: extra panenský olivový olej (výběrová jakost olivového oleje získaného přímo z oliv pouze mechanickými postupy), panenský olivový olej (olivový olej získaný přímo z oliv pouze mechanickými postupy, oproti extra panenskému oleji má vyšší číslo kyselosti), olivový olej (směs rafinovaného olivového oleje a panenského olivového oleje) a olivový olej z pokrutin (obsahuje pouze olej získaný zpracováním zbytků po extrakci olivového oleje a olej získaný přímo z oliv).

3.5.3.9 Kokosový olej

Kokosový olej se získává z jader rostliny kokosovníku ořechoplodého (*Cocos nucifera*). Tento olej obsahuje vysoké množství nasycených mastných kyselin, zejména laurovou (43-51 %) a myristovou (16-21 %) (Ghazani & Marangoni 2016). Rozeznáváme dva typy kokosových olejů: kokosový olej a panenský kokosový olej. Tyto oleje mají podobné složení mastných kyselin, panenský olej však díky šetrnějšímu procesu zpracování obsahuje vyšší množství živin např. tokoferolů a bioaktivních látek (polyfenolů). Množství mastných kyselin závisí na odrůdě kokosu. Výroba těchto olejů se liší v jejich technologickém zpracování. Kokosový olej se vyrábí drcením sušených kokosových jader, ze kterých se extrahuje olej. Ten se dále rafinuje, bělí a zbavuje pachů, získává se tak olej označovaný jako RBD - refined, bleached, deodorized (Kurian 2007; Wallace 2018).

Panenský kokosový olej se vyrábí z čerstvého kokosového ořechu metodou rychlého sušení nebo z kokosového „mléka“ metodou mokrého mletí. Výroba z čerstvého kokosového ořechu zahrnuje odstranění skořápky a následné mytí kokosové dužiny, které slouží k odstranění nečistot. Kokosový ořech se dále za mokra frézuje a suší na obsah vlhkosti 12 %. Olej se získává pomocí mechanického lisu. Produkce kokosového oleje metodou mokrého mletí spočívá v namletí čerstvé kokosové dužiny, z které se lisováním získá kokosové „mléko“. Z něj se pak oddělí olej nejčastěji pomocí odstředivky, nebo pomocí fermentace, která trvá 36-48 hodin, a získá se díky ní větší množství oleje, případně se olej získává pomocí zahřívání kokosového „mléka“ (Kurian 2007).

Na rozdíl od RBD není panenský olej rafinovaný (Kurian 2007). Světová organizace pro výživu a zemědělství (FAO 2017) odhaduje, že v roce 2014 bylo vyprodukováno 3 106 474 tun RBD oleje a na jeho produkci se podílely především Filipíny, Indonésie a Indie. Hlavní výhodou kokosového oleje je odolnost vůči oxidaci a polymeraci díky vysokému stupni nasycení. Oproti ostatním olejům je stabilnější, vhodný pro dlouhodobé skladování a vaření. Pro smažení se nedoporučuje kvůli nízkému kouřovému bodu (Wallace 2018).

3.5.3.10 Sezamový olej

Sezamový olej pochází ze sezamových semen rostliny sezamu indického (*Sesamum Indicum*), která obsahuje kromě tuku i vitaminy B₆, K, a minerální látky Ca, Zn, Mg a také glycerol, tokoferoly a polyfenolické látky (Nam et al. 2014). Tento olej se často používá v asijské kuchyni, je dobrým zdrojem antioxidantů a polynenasycených mastných kyselin a je proto z výživového hlediska vhodné jeho zařazení do jídelníčku (Liu et al. 2013). V sezamovém oleji se nejvíce vyskytují olejová a linolová kyselina (každá okolo 40 %). Celkový obsah fytoosterolů v sezamovém oleji je 5400-6300 mg/kg a obsah tokoferolů je 200-500 mg/kg. Sezamový olej nejvíce produkuje Čína, Japonsko, Indie, Singapur a Mexiko. Pozitivní vlastností tohoto oleje je velice dobrá oxidační stabilita, která je spojena s obsahem jedinečných fenolických antioxidantů, sezamolu a sezamolinu (více než 5000 mg/kg). V mnoha zemích se tento olej využívá jako olej na smažení, díky své vysoké oxidační stabilitě a oříškové chuti (Ghazani & Marangoni 2016).

3.5.3.11 Rýžový olej

Rýže setá (*Oryza sativa L.*) patří do čeledi lipnicovité (*Poaceae*) pochází z jihovýchodní Asie. Po staletí se pěstuje jako potravinářská plodina. Rýže je velmi důležitou základní potravinou pro velkou část světové populace (Dunford 2019). Rýžový olej obsahuje asi 20 % nasycených, 40 % monoenoových a 40 % polyenoových mastných kyselin (Gunstone 2011). Mezi hlavní mastné kyseliny, které se vyskytují v rýžovém oleji, patří olejová (42 %), linolová (32 %) a palmitová kyselina (20 %). Hlavními producenty tohoto oleje jsou Japonsko, Thajsko, Čína, Indie a Vietnam (Ghazani & Marangoni 2016).

3.6 Fyzikální vlastnosti tuků a olejů

3.6.1 Krystalická modifikace

Tuky mohou existovat v různých krystalických formách, tzv. polymorfismech. Mastné kyseliny jsou polymorfní sloučeniny, které mohou vytvářet různé krystaly v různých modifikacích. Jednotlivé modifikace se označují písmeny řecké abecedy. Modifikace *alfa* vytváří nejmenší a nejstabilnější krystaly. Pokud tato modifikace obsahuje ve svém řetězci lichý počet uhlíků, přechází po ochlazení v *beta* modifikaci. *Beta* modifikace vzniká pomalou krystalizací. Krystaly *beta* mají nejvyšší bod tání. Výskyt *gamma* modifikace je velmi ojedinělý (Kovačiková 2008).

3.6.2 Teplota tání

Bod tání je index síly přitažlivosti mezi molekulami. Čím větší jsou přitažlivé síly mezi molekulami, tím snadněji se spojí, aby vytvořily pevnou látku, a tím těžší je oddělit je, když jsou v krystalické formě a přeměnit je na kapalinu. Tuk nebo olej, který je směsí několika triglyceridů, má nižší teplotu tání a širší rozmezí teploty tání. Rozsah teploty tání je závislý na složení mastných kyselin. Teplota tání roste s délkou uhlíkového řetězce mastných kyselin a naopak klesá se zvyšujícím se počtem nenasycených vazeb v molekule a jejich konfiguraci. Kapalně oleje, které obsahují nenasycené mastné kyseliny s menším počtem uhlíků, jsou při pokojové teplotě pevné a plastické a mají nižší bod tání (Vaclavik & Christian 2008).

3.6.3 Bod varu

Bod varu je ovlivněn délkou řetězce mastných kyselin. Samotné mastné kyseliny, které jsou přítomné v tucích, či olejích, nelze destilovat za atmosférického tlaku, protože mají tak vysoký bod varu, že dochází k jejich rozkladu. Za těchto podmínek je důležité pracovat se sníženým tlakem. Jednotlivé body varu jsou pro mastné kyseliny tabelovány (Knotová 2012).

3.6.4 Viskozita

Viskozita je základním faktorem při reologických studiích tekutých potravin. Může být vyjádřena jako odpor jedné části tekutiny vůči druhé. Viskozita olejů má okamžitou korelaci s chemickými vlastnostmi lipidů např. stupeň nasycení, délka řetězců mastných kyselin, které jsou součástí triacylglycerolů atd. (Devi & Khatkar 2016). Jedlé oleje se chovají jako ideální newtonské kapaliny v širokém rozmezí smykových rychlostí. Bylo prokázáno, že teplota stabilně ovlivňuje viskozitu tekutin, viskozita se obvykle sníží s nárůstem teploty (West & Rousseau 2016).

3.6.5 Hustota

Hustota tuků se během skladování mění za přístupu vzduchu. Během skladování (a ještě intenzivněji při zahřívání) tuků a olejů dochází k oxidaci a polymeračním dějům, v důsledku, kterých roste hustota tuků a olejů. Hustota tuků, či olejů se při běžné laboratorní teplotě 20° C pohybuje od 0,907 do 0,970 g/cm³. Největší hustotu vykazuje ricinový a krotonový olej (Knotová 2012).

3.6.6 Index lomu

Index lomu slouží pro stanovení molekulové hmotnosti nenasycených mastných kyselin a měří se pomocí refraktometru. Oleje, které obsahují vyšší obsah nenasycených mastných kyselin, vykazují vyšší index lomu a jodové číslo (Kovačiková 2008).

3.6.7 Plasticita tuků

Plastický tuk je dvoufázový systém obsahující pevné krystaly, které jsou obklopené tekutým olejem. Kapalná fáze působí jako lubrikant, což umožňuje pevným krystalům klouzat mezi sebou, díky čemu je plastický tuk snadno formovatelný. Konzistence plastického tuku závisí na poměru pevných a kapalných triacylglycerolů. Pokud bude zastoupeno více tekutých triacylglycerolů, tuk bude měkčí a naopak, pokud bude obsahovat více tuhých triacylglycerolů, tím bude tužší. Tuk, který obsahuje pouze pevné triglyceridy, je tvrdý a křehký, nelze jej formovat, protože krystaly se nemohou pohybovat kolem sebe. Ideální plastický tuk by měl být polotuhý nebo tuhý při pokojové teplotě. Do plastických tuků patří např. sádlo, máslo a mléčný tuk (Vaclavik & Christian 2008).

3.6.8 Fluorescence

Přírodní tuky a oleje, včetně mastných kyselin, nefluoreskují. Pokud je však v jejich molekule obsažena jiná nelipidová složka, může docházet k fluorescenci. V případě rostlinných olejů, může navíc docházet k fluorescenci v důsledku přítomnosti minerálních olejů (Kovačiková 2008).

3.6.9 Optická aktivita

Optickou aktivitu vykazují látky, které obsahují ve své molekule asymetricky uhlík. Z přírodních mastných kyselin obsahují tento uhlík, pouze kyselina ricinolejová a některé cyklické kyseliny (např. gorlová, hydnočarponová). Ostatní mastné kyseliny nestáčí rovinu polarizovaného světla (Kovačiková 2008).

3.6.10 Reologické vlastnosti

Reologické chování tukových systémů je složité, protože se zde uplatňuje dvoufázová povaha (kapalné a pevné fáze) tukových systémů. Tukové reologické vlastnosti se mění v průběhu skladování. O reologických vlastnostech rozhoduje mikrostruktura krystalů (Devi & Khatkar 2016). Bell & Smith (2007) uvádí, že reologie tuků se během krystalizace mění ze slabé viskózní pevné kapaliny na viskózní elastickou kapalinu.

3.6.11 Senzorické vlastnosti tuků

3.6.11.1 Barva

Barva u surových tuků bývá ovlivněna průmyslovým zpracováním, hlavně extrakcí, rafinací, čištěním a závisí také na agronomických podmínkách. V neposlední řadě bývá ovlivněna také způsobem skladování nebo také přítomností karotenoidů a chlorofylu (Gunstone 2011).

3.6.11.2 Chut' a vůně

Vůně u tuků by měla být typická pro daný tuk. Pokud získáváme tuk z čerstvých surovin, tak by vůně neměla obsahovat cizí pachy. Cizí pachy se mohou vyskytnout u průmyslově zpracovaných tuků a olejů, známa je například chuťová reverze, která je charakteristická pro sójový olej. Abychom zamezili vzniku nepříjemnému zápachu, je důležité tuky skladovat na temných místech a při pokojových teplotách (Knotová 2012). Vůni tuků ovlivňují např. aldehydy (Velíšek 2014).

3.7 Reakce tuků

3.7.1 Žluknutí tuků

Mezi reakce tuků, které zhoršují jejich organoleptické vlastnosti, patří žluknutí. U tuků rozlišujeme několik typů žluknutí: ketonové žluknutí, chuťovou reverzi, hydrolytické a oxidační žluknutí.

3.7.1.1 Ketonové žluknutí

Ketonové žluknutí, někdy též nazývané parfémové žluknutí, bývá způsobeno enzymatickou reakcí katalyzovanou mikrobiálními lipázami mikroorganismů, např. plísní rodu *Penicillium* a *Aspergillus* a týká se zejména másla (Velíšek & Hajšlová 2009). Mikroorganismy nejdříve enzymaticky štěpí triacylglyceroly na volné mastné kyseliny, které dále podléhají β -oxidaci. Mastné kyseliny s kratším počtem uhlíku jsou přeměněny na melthylketony a ty mohou dále podléhat redukčním reakcím za vzniku sekundárních alkoholů (Belitz & Schieberle 2009). Mezi nejčastější melthylketony patří pentan-2-on až nonan-2-on, atd., dodávají tukům specifickou parfémovou příchut'. Pentan-2-on a hexan-2-on, způsobují u žluklých tuků ovocnou příchut'. Ketonové žluknutí je žádoucí u některých komodit, např. plísňových sýrů, kterým melthylketony dodávají příjemné aroma (Velíšek & Hajšlová 2009).

3.7.1.2 Chuťová reverze

Chuťová reverze je charakteristická hlavně pro sójový olej. Někdy se vyskytuje u jiných olejů obsahující kyselinu linolenovou, např. u řepkového oleje. Nositeli pachu po trávě a fazolích označovaného jako chuťová reverze jsou různé sloučeniny vznikající rozkladem hydroperoxidů. Látky, které vyvolávají reverzi, jsou sensoricky postřehnutelné již v malém množství. Olej, u kterého se tato vada projevila, lze pachu zbavit pomocí rafinace, vada se však po určité době znovu objeví (proto reverze). Reverze je nepříjemná hlavně u konzumentů ve Spojených státech amerických, kteří požadují jedlý olej naprosto bez chuti (Velíšek & Hajšlová 2009).

3.7.1.3 Hydrolytické žluknutí

K hydrolytickému štěpení tuků dochází v důsledku přítomnosti nativních enzymů lipáz, které uvolňují mastné kyseliny z triacylglycerolů. Samotné mastné kyseliny u většiny tuků nepůsobí žluknutí, protože jsou smyslově nepostřehnutelné. Výjimkou jsou pouze mastné kyseliny s kratším uhlíkovým řetězcem (4 až 10 uhlíků). Mastné kyseliny s 6-10 atomy uhlíků jsou ve značné míře přítomny (kromě mléčného tuku) také v kokosovém nebo palmojádrovém tuku. Enzymy přirozeně se vyskytující v těchto tucích nebo enzymy plísní těmto tukům dodávají mýdlovou pachut' (Velíšek & Hajšlová 2009). Ochrana tuků a olejů před tímto typem žluknutí spočívá v jejich uložení na chladné místo a také v inaktivaci lipáz v průběhu zpracování tuků a olejů (Vaclavík & Christian 2014).

3.7.1.4 Oxidační žluknutí

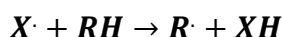
Oxidační žluknutí je dominantním typem žluknutí u tuků. Samotná oxidace způsobuje snížení výživové hodnoty tuku, vede ke vzniku nežádoucí chuti a barvy, a také při ní mohou vznikat toxické sloučeniny. Žluknutí tuků se netýká jenom samotných tuků, či olejů, ale vyskytuje se u potravin, které tuk obsahují, např. ryb nebo masa (Gibson & Newsham 2018). Níže budou detailněji popsány zejména autooxidace, fotooxidace a enzymatická oxidace.

3.7.1.4.1 Autooxidace

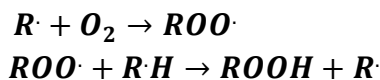
Autooxidace je nejčastějším typem oxidace probíhající v potravin v průběhu jejich zpracování a skladování. Při běžných teplotách (např. při skladování) reagují se vzdušným kyslíkem zejména polyenové mastné kyseliny, při vyšších teplotách (např. při pečení, smažení apod.) mohou autooxidaci podléhat i nasycené mastné kyseliny (Belitz & Schieberle 2009).

K autooxidaci mastných kyselin dochází prostřednictvím tzv. radikálové řetězové reakce sestávající se z těchto základních kroků: iniciace, propagace a terminace, viz Obrázek 3 (Akoh 2017).

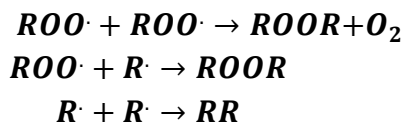
Iniciace



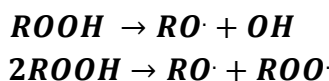
Propagace



Terminace

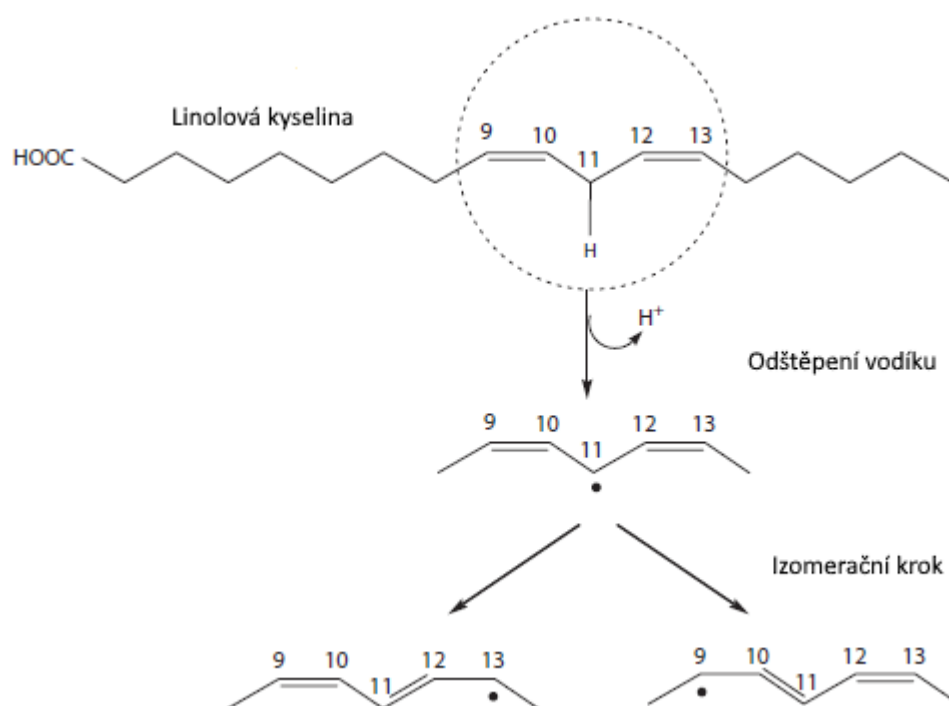


Sekundární iniciace



Obrázek 3 - Fáze radikálové řetězové reakce (Gordon et al. 2001)

Iniciační fáze zahrnuje vznik volných radikálů, k čemuž je zapotřebí iniciátor nebo katalyzátor. Mezi hlavní iniciátory autooxidačních reakcí patří teplo, světlo, ionty kovů a volné radikály (Shahidi & Zhong 2010). V tomto kroku dochází k odštěpení vodíku z mastné kyseliny za vzniku zbytku mastné kyseliny, který je známý jako alkylový zbytek (alkylový radikál) R•. Jakmile se alkylový radikál vytvoří, volný radikál se stabilizuje jeho delokalizací přes dvojně vazby, což má za následek posun dvojně vazby a v případě polynenasycených mastných kyselin dochází k tvorbě konjugovaných dvojných vazeb. Tímto posunem mohou vznikat dvojně vazby v konfiguraci *cis* nebo *trans*, přičemž díky větší stabilitě převládá *trans* konfigurace. Na Obrázku 4 jsou znázorněny iniciační kroky radikálové reakce s přesmykem dvojně vazby za vzniku dvou izomerů na příkladu linolové kyseliny (Damodaran & Parkin 2017).



Obrázek 4 - Iniciační kroky radikálové reakce (Damodaran & Parkin 2017)

První krok propagace zahrnuje předání kyslíku alkylovému radikálu, který je velmi reaktivní. Atmosférický nebo tripletový kyslík je biradikál, protože obsahuje dva elektronové spiny a nemůže existovat ve stejném spinovém orbitalu. Volné radikály na tripletovém kyslíku mají nízkou hladinu energie a vzácně způsobují odštěpení vodíku. Volné radikály kyslíku mohou reagovat s alkylovými radikály difúzně s omezenou rychlostí. Reakce alkylového radikálu s jedním zbytkem, který je obsažen na tripletovém kyslíku vede k vytvoření kovalentní vazby. V prvním kroku propagace vzniká velmi reaktivní peroxylový (někdy označovaný jako peroxidový) radikál R-O-O•.

Nenasycené mastné kyseliny jsou z důvodu slabé kovalentní vazby mezi uhlíkem a vodíkem vysoce náchylné k reakcím s peroxylovými radikály. Navázání vodíku z další molekuly mastné kyseliny na peroxylový radikál vede k vytvoření hydroperoxidu mastné kyseliny R-O-OH (primární produkt oxidace) a nového alkylového radikálu R• na jiné mastné kyselině. Reakce se šíří z jedné mastné kyseliny na druhou a může se několikrát opakovat, proto je označována jako řetězová reakce (Damodaran & Parkin 2017).

Vznikem neradikálových produktů je tato reakce ukončena a tato fáze reakce se označuje jako terminace (Wong 2017). Pokud je koncentrace volných radikálů dostatečně vysoká, dochází ke střetnutí dvou radikálů a vznikne neradikálový produkt, který je velice stabilní. Mezi další typ terminace patří tzv. disproporcionace, při které vzniká olefin. V přítomnosti kyslíku je převládající mastnou kyselinou peroxylový radikál, protože kyslík bude adován na alkylové radikály difúzně omezenou rychlostí. Tudíž za atmosférických podmínek dojde k terminační reakci mezi dvěma peroxylovými radikály. V prostředí s nízkým obsahem kyslíku, např. v oleji při smažení či fritování, jsou terminační reakce velice časté z důvodu vysokých koncentrací volných radikálů a při těchto reakcích vznikají dimery mastných kyselin (Skibsted et al. 2010; Damodaran & Parkin 2017).

Primární produkty autooxidace lipidů jsou sloučeniny, které jsou produkovány iniciačními a propagačními kroky oxidačních reakcí lipidů. Jedná se tedy hlavně o hydroxyperoxydy (Damodaran & Parkin 2017). Sekundární produkty autooxidace vznikají rozpadem hydroxyperoxidů z důvodu jejich nestability. Při rozkladu hydroxyperoxidů vznikají alkoxylové radikály odštěpením hydroxylového radikálu, nebo peroxylové radikály, pokud dochází k odštěpení vodíkového radikálu. Mezi sekundární produkty autooxidace patří aldehydy, ketony, laktony, estery, furany, voda a další látky (Odstrčil & Odstrčilová 2006; Shahidi & Zhong 2010).

3.7.1.4.2 Enzymatická oxidace

Enzymatickou oxidaci způsobují lipoxygenázy, což jsou enzymy, které se běžně vyskytují v celé řadě biologických materiálů, včetně luštěnin a brambor. Nalezneme je také v tucích, či olejích (Biermann et al. 2011). Tyto enzymy oxidují esenciální polyenové mastné kyseliny na hydroxyperoxydy, na jiné nenasycené mastné kyseliny tyto enzymy katalicky nepůsobí. Hydroxyperoxydy, které vznikají působením lipoxygenáz, mají specifickou optickou aktivitu oproti hydroxyperoxidům vzniklých při autooxidaci. Samotné lipoxygenázy podporují vznik hydroxyperoxidových skupin i na jiných atomech uhlíků. Prevencí enzymatické oxidace je použití vhodného obalového materiálu nebo vystavení oleje vysoké teplotě, která enzymy inaktivuje (Baysal & Demirdöven 2007; Gulla & Waghray 2017).

3.7.1.4.3 Fotooxidace

Fotooxidace je jednou z důležitých reakcí vedoucích k hydroperoxidům z nenasycených mastných kyselin za přítomnosti kyslíku, světla a fotosenzibilizátoru. Některé pigmenty obsažené v potravinách mohou sloužit jako fotosenzibilizátory, tj. sloučeniny katalyzující oxidaci organických látek vzdušným kyslíkem, díky tomu, že absorbují viditelné nebo UV záření. Fotosenzibilizátor absorbuje světelnou energii, a tím se excituje. Excitovaný singletový fotosenzibilizátor je velice nestabilní a pomocí deexcitace se převede na tripletový fotosenzibilizátor. Tripletový fotosenzibilizátor reaguje dále se vzdušným kyslíkem za vzniku singletového kyslíku. Mezi pigmenty, které vyvolávají fotooxidaci v rostlinných olejích patří chlorofyly a jejich rozkladné produkty feofitiny. Mezi další fotosenzibilizátory, přítomné zejména v potravinách živočišného původu, patří hemová barviva a riboflavin (Frankel 2012). Hlavními produkty fotooxidace jsou konjugované nebo nekonjugované hydroperoxy (Akoh 2017). Prevencí fotooxidačních reakcí je použití např. antioxidantů (hlavně karotenoidy, tokoferoly a L-askorbová kyselina) a zabránění přístupu kyslíku a světla (Gunstone 2011).

3.7.2 Faktory ovlivňující žluknutí tuků

Faktory, které ovlivňují žluknutí tuků a olejů je celá řada, ale z obecného hlediska je můžeme rozdělit na vnitřní a vnější. Mezi vnitřní faktory řadíme např. stupeň nasycení mastných kyselin, složení mastných kyselin a obsah volných mastných kyselin, obsah antioxidantů, iontů kovů a také počáteční rychlost oxidace neboli obsah peroxidů. Mezi vnější faktory patří světlo, teplota, přístup a typ kyslíku. Určení přesného faktoru, který působí na rychlost oxidace, není jednoduché, protože jednotlivé faktory mezi sebou vzájemně působí (Shahidi & Zhong 2010).

3.7.2.1 Vnější faktory

Důležitým faktorem ovlivňujícím rychlost oxidace je teplota. Se zvyšováním teploty (např. u fritovacích olejů, kde teplota překročí i 180 °C) klesá rozpustnost kyslíku a oxidační stabilita. Dochází k velkému rozkladu hydroxyperoxidů za vzniku sekundárních produktů oxidace. Teplota hraje velmi důležitou roli a její snížení slouží jako prevence oxidačních reakcí (Wong 2017).

Světlo je jedním z hlavních katalyzátů ovlivňujících celou autooxidaci. Proto je důležité jednotlivé oleje, či tuky skladovat v tmavých obalech, v případě sádla to bývá pergamenový papír. Do těchto obalů bývají často přidávány UV absorbéry, které pohlcují záření (Choe & Min 2006).

Přítomnosti kyslíku v tucích a olejích nelze zabránit. Kyslík se dostává do tuku, či oleje v průběhu skladování pomocí prosté difúze. Jeho koncentrace závisí na velikosti parciálního tlaku čili, čím je větší tlak, tím více se zvyšuje rychlost oxidace. Rychlost oxidace ovlivňuje typ kyslíku. Singletový kyslík reaguje přímo s nenasycenými mastnými kyselinami a je reaktivnější než tripletový kyslík. Tripletový kyslík reaguje s některými radikály mastných kyselin, které vznikají při autooxidaci (Shahidi & Zhong 2010; Skibsted et al. 2010).

Zvětšení povrchové plochy lipidů může rovněž zvýšit rychlost oxidace lipidů, protože to může vést ke zvýšené expozici kyslíku a prooxidantům. To bylo nedávno pozorováno např. u volně ložených olejů, které obsahují nanostruktury vytvořené přirozeně se vyskytujícími povrchově aktivními látkami (např. fosfolipidy) a vodou (Damodaran & Parkin 2017).

3.7.2.2 Vnější faktory

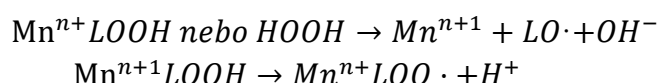
Antioxidanty jsou všechny látky, které svým působením zabraňují, či inhibují oxidaci potravin. Podílejí se na omezení aktivity kyslíkových radikálů, inhibici prooxidačních enzymů, potlačení aktivity singletového kyslíku nebo brání oxidaci dalšími mechanismy. Některé antioxidanty mají více než jeden mechanismus účinku a jsou označovány jako multifunkční antioxidanty. Na základě mechanismu jejich působení můžeme antioxidanty klasifikovat na primární a sekundární. Dále lze dělit jednotlivé antioxidanty na přírodní a syntetické (Velíšek & Hajšlová 2009; Jacobsen 2019).

Primární antioxidanty, také označované jako antioxidanty štěpící řetězce, jsou schopny přímo reagovat s volnými radikály a převádět je na stabilnější, neradikálové produkty a tím zabraňovat oxidaci. V iniciační a propagační fázi oxidace antioxidanty reagují s peroxylovými a alkoxylovými radikály, čímž je zabráněno dalšímu rozkladu na aldehydy a další těkavé oxidační produkty. Fenolové sloučeniny s jednou nebo více hydroxylovými skupinami jsou účinnými antioxidanty štěpícími řetězec, protože mohou darovat atomy H volným radikálům a poté vytvořit stabilní a relativně nereaktivní fenoxylové radikály. Mezi významné primární antioxidanty patří např. flavonoidy, tokoferoly, askorbová kyselina, propyl-gallát a další (Jacobsen 2019).

Sekundární antioxidanty inhibují oxidaci lipidů jinými mechanismy než primární antioxidanty, např. redukcí vzniklých hydroperoxidů. Některé antioxidanty fungují jako chelátory přechodných kovů (tj. váží je do komplexů) nebo vylučují a eliminují singletový kyslík. Některé sekundární antioxidanty jsou synergicky schopné regenerovat primární antioxidanty. Důležitými sekundárními antioxidanty jsou chelátory kovů, např. syntetická kyselina ethylendiamintetraoctová (EDTA), polyfosfáty, fytát, kaseinát a laktoferin. Polyfenoly patří mezi multifunkční antioxidanty, jelikož mohou, jak vylučovat volné radikály, tak působit jako chelatační činidla (Jacobsen 2019).

Z hlediska původu lze antioxidanty rozdělit na přírodní a syntetické. Mezi syntetické antioxidanty patří látky, které jsou uměle vyráběné, či získávané a patří mezi ně např. butylovaný hydroxytoluen (BHT), butylovaný hydroxyanisol (BHA), propyl-gallát a terciární butylhydrochinon (TBHQ). Přírodní antioxidanty nalezneme v živých organismech a rostlinách a patří mezi ně např. tokoferoly, askorbová kyselina, fenolické kyseliny jako kávová a rosmarinová (Jacobsen 2019).

Dalším z vnitřních faktorů ovlivňujících oxidační reakce jsou ionty kovů. Přechodné kovy např. měď, železo a kobalt se vyskytují ve všech potravinách, protože jsou běžnými složkami použitých surovin, vody, přísad, zpracovatelského zařízení a obalových materiálů. Přechodné kovy jsou jedním z hlavních potravinových prooxidantů, které snižují oxidační stabilitu potravin a biologických tkání, díky své schopnosti rozložit hydroperoxydy na volné radikály, které urychlují propagační fázi oxidace. Pro potlačení prooxidačních vlastností u přechodných kovů je nutné vytvořit stabilní komplexy např. s citronovou či fosforečnou kyselinou (Shahidi & Zhong 2010; Damodaran & Parkin 2017). Tyto reaktivní kovy rozkládají peroxidy vodíku a lipidů následující redoxní cyklovací cestou:



kde

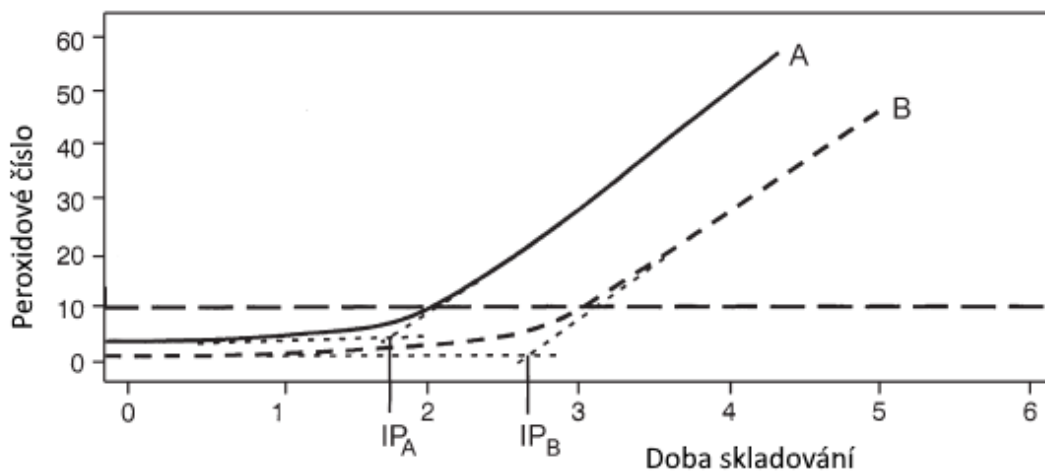
Mn^{n+} a Mn^{n+1} jsou přechodné kovy ve svých redukovaných a oxidovaných stavech
LOOH a HOOH jsou lipidy a peroxid vodíku

$\text{LO}\cdot$, $\text{HO}\cdot$, a $\text{LOO}\cdot$ alkoxylový, hydroxylový a peroxylový radikál (Damodaran & Parkin 2017)

Obsah volných mastných kyselin je také jedním z faktorů ovlivňujících rychlost autooxidace. Obsah volných mastných kyselin lze snížit pomocí rafinačního procesu (Shahidi & Zhong 2010). Kromě obsahu volných mastných kyselin závisí oxidační stabilita tuků a olejů i na složení mastných kyselin. Oleje, či tuky, které obsahují velké množství nenasycených mastných kyselin, zejména PUFA, jsou více náchylné k oxidaci. Oxidační rychlost je ovlivněna uspořádáním dvojných vazeb a také jejich počtem. Prostorové uspořádání triacylglycerolů ovlivňuje rychlost jejich oxidace, umístění PUFA v poloze *sn*-2 totiž přispívá ke zvýšení oxidační stability tuků (Shahidi & Zhong 2010).

3.7.2.3 Rychlost reakcí tuků a olejů při skladování

Oxidace lipidů v potravinářských výrobcích se zpočátku vyvíjí pomalu, poté se během skladování zrychluje. Indukční perioda (IP) je definována jako časový úsek, během kterého reakce (oxidace) zdánlivě neprobíhá nebo jako doba potřebná k nastartování rychlé tvorby



Obrázek 5 - Indukční periody (Frankel 2012)

peroxidů. Z průmyslového hlediska je indukční perioda také definována jako doba skladování, než se kvalita produktu stane pro spotřebitele nepřijatelnou. Konec indukční periody závisí na vyčerpání přítomných antioxidantů a dalších látek, které inhibují oxidaci. Indukční perioda je znázorněna na Obrázku 5, kde je uveden vývoj žluknutí během skladování (Choe & Min 2006; Frankel 2012).

3.7.3 Metody pro stanovení oxidace tuků, či olejů

Metody pro měření oxidace lipidů byly dříve velice nespecifické a málo citlivé k měření oxidačních změn, které probíhaly při skladování. K určení podílu produktů oxidace lipidů vytvořených v různých stádiích vícestupňového procesu oxidace v potravinách je zapotřebí několika specifických doplňkových metod. Při vyšších teplotách se polynenasycené hydroperoxy rychleji rozkládají za vzniku aldehydů, proto je důležité měřit aldehydy i hydroperoxy, aby se monitorovala oxidace lipidů. Pro predikci trvanlivosti potravin obsahující polyenové mastné kyseliny se musí použít takové metody, které zachytí oxidační změny v různých teplotních stádiích a jednotlivé vzorky se musí skladovat při různých teplotách nejlépe mezi 40-60 °C (Frankel 2012).

Pro stanovení oxidační změn u tuků, či olejů se používají různé metody fyzikální, chemické, instrumentální a senzorické. Fyzikální metody se používají pro monitorování průběhu oxidace a patří mezi ně např. měření elektrické vodivosti nebo refraktometrie. Chemické metody jsou velice selektivní, ale jejich velká nevýhoda spočívá v používání organických rozpouštědel (Kamal-Eldin & Pokorný 2005; Akoh & Min 2008; Skibsted et al. 2010). Při chemických analýzách se stanovují tzv. tukové charakteristiky např. číslo kyselosti a peroxidové číslo (Hálková et al. 2001). Mezi instrumentální metody patří hlavně použití chromatografických metod, které jsou velice selektivní, doba stanovení analytu je krátká, ale jejich nevýhodou je vysoká pořizovací cena přístrojů (Kamal-Eldin & Pokorný 2005; Akoh & Min 2008; Skibsted et al. 2010). Přehled chemických a instrumentálních metod je uveden v Tabulce 7.

Tabulka 7 - Vybrané metody pro stanovení oxidace tuků, či olejů (Frankel 2012; Logan et al. 2013)

| Název metody | Sledovaný parametr |
|---------------------------------|---|
| Peroxidové číslo | Obsah hydroxyperoxidů |
| Polarografie | Obsah hydroxyperoxidů |
| Infračervená spektroskopie | Obsah hydroxyperoxidů |
| Číslo kyselosti | Obsah volných mastných kyselin |
| Gelová permeační chromatografie | Obsah polymerů |
| Číslo zmydlnění | Obsah veškerých mastných kyselin |
| Esterové číslo | Obsah esterově vázaných mastných kyselin |
| Jodové číslo | Obsah dvojných vazeb |
| Rhodanové číslo | Obsah polyenových mastných kyselin |
| Plynová chromatografie | Obsah sekundárních produktů oxidace |
| Anisidové číslo | Obsah 2-alkenalů a 2,4-alkadienalů |
| Thiobarbiturové číslo | Obsah malondialdehydu, 2-alkenalů a 2,4-alkadienalů |
| Ultrafialová spektrometrie | Obsah konjugovaných dienů a trienů |

Senzorické hodnocení vyžaduje zkušený panel hodnotitelů, který dokáže rozpoznat charakteristiky potravinových lipidů prostřednictvím základních smyslů - chuti, čichu, zraku a pocitu v ústech. Pomocí senzorického hodnocení lze velice dobře indentifikovat chuť, či vůni potravinových lipidů, které nelze detekovat pomocí chemických, či instrumentálních metod. V praxi se pro senzorické hodnocení využívá dvou senzorických panelů:

- a) analytický panel, který se skládá z 5 až 20 zkušených hodnotitelů, kteří jsou vyškoleni k rozlišování a třídění vzorků podle numerické stupnice, za použití referenčních standardů; analytický panel by neměl být využíván k posouzení přijatelnosti;
- b) skupina spotřebitelů, která se skládá z 50 nebo více nekvalifikovaných hodnotitelů, kteří jsou požádáni, aby vyjádřili preference nebo přijatelnost hotových výrobků; skupina spotřebitelů by neměla být využívána k získání popisných informací (Frankel 2012).

3.7.4 Zrychlené metody pro stanovení oxidační stability

Pro stanovení oxidační stability se využívají tzv. dynamické (zrychlené) metody, s použitím přístrojů jako je např. Rancimat či Oxipres, a další (viz Tabulka 8), u kterých se celý skladovací proces urychluje za pomoci zvýšené teploty nebo úpravou koncentrace kyslíku.

Při metodě Rancimat je oxidační proces urychlen teplotou, která se v závislosti na použitém vzorku pohybuje mezi 100-140 °C a také přívodem vzduchu ke vzorku. Při měření vzduch prochází vzorkem v reakční nádobě při konstantní teplotě. Mastné kyseliny jsou při tomto procesu oxidovány a vzniklé těkavé látky jsou vedeny do měřicího přístroje, který obsahuje deionizovanou vodu a zaznamenává změnu vodivosti v čase a z tohoto záznamu je pak odečtena indukční perioda (Frankel 2012).

Přístroj Oxipres slouží pro analýzu oxidační stability tuků, olejů a také dalších potravin (např. sušené mléko, majonéza), případně produktů jako je kosmetika nebo biopaliva. Pracuje při různých teplotních režimech od 60 do 180 °C. Výhodou této metody je, že se vzorek nemusí nijak předpřipravovat. Vzorek je při analýze vystaven vysokému oxidačnímu stresu (tj. vysoká teplota a tlaku kyslíku 10 barů), aby bylo možné v krátkém časovém úseku vyhodnotit jeho odolnost vůči oxidaci. Indukční perioda se vyhodnocuje na základě poklesu tlaku kyslíku v tlakové nádobě (Mikrolab Aarhus A/S 2020).

Mezi velkou nevýhodou těchto metod patří vystavení tuků, či olejů podmínkách, které se při běžném skladování nevyskytují (Skibsted et al. 2010; Frankel 2012).

Tabulka 8 - Vybrané metody pro měření oxidační stability oleje nebo tuku (Kamal-Eldin & Pokorný 2005; Skibsted et al. 2010)

| Název metody | Sledovaný parametr |
|--------------------------------|---|
| Oxipres | Změna tlaku |
| Schaalův test | Obsah primárních sekundárních produktů, změna hmotnosti |
| Oxidograf | Změna tlaku |
| Metoda aktivního kyslíku (AOM) | Obsah hydroxyperoxidů |
| Měření pomocí Rancimatu | Změna elektrické vodivosti |

AOM- Active oxygen method

3.8 Skladování tuků

Tuky by měly být skladovány při $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ideálně ve skleněné nádobě a vzduch by měl být vyloučen proplachováním proudem dusíku za přítomnosti antioxidantů. V krátkodobém horizontu lze při skladování akceptovat i teploty chlazení. Pro dlouhodobé skladování by měly být tuky ideálně utěsněny ve vakuu (Christie & Han 2010). Důležité je také to, aby se jednotlivé oleje, či tuky nedostaly do kontaktu s některými kovy jako je např. měď, která urychluje proces oxidačního žluknutí (WHO 2015). Důležitou roli při skladování tuků a olejů mají i obalové materiály, které nemají pouze manipulační a marketingovou funkci, ale i funkci ochrannou (chránit tuk, či olej před poškozením a autooxidací) (Goffman & Möllers 2000; Thanh et al. 2006).

Nároky na pozemní přepravu tuků a olejů se řídí dle vyhlášky č. 397 /2016, která říká že:

- jedlé tuky a oleje se skladují a přepravují tak, aby byly chráněny před přímým slunečním světlem;
- teplota při skladování nesmí přesáhnout
 - u rostlinných tuků a olejů $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,
 - u živočišných tuků a olejů, roztíratelných tuků, směsných roztíratelných tuků a tekutých emulgovaných tuků $15\text{ }^{\circ}\text{C}$,
 - u ztužených a pokrmových tuků $20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- jedlé rostlinné a živočišné tuky, oleje a výrobky z nich určené pro konečného spotřebitele, jsou uváděny na trh pouze balené.

Olivový olej se uvádí na trh podle přímo použitelných předpisů Evropské komise č. 29/2012 o obchodních normách pro olivový olej.

3.8.1 Skladování a použití tuků v domácích podmínkách

Pravidla pro uchovávání v domácnosti jsou podmíněna druhem tuku, případně oleje a riziky plynoucími z nevhodných podmínek skladování. Základním pravidlem je nevystavovat olej vyšším teplotám, či přímému slunečnímu záření. Olej je dobré uchovávat na chladnějším místě a v temnu (spíž nebo skříň s potravinami). Některé oleje jsou plněny v inertní atmosféře, která před otevřením lahve zabraňuje oxidaci. V případě roztíratelných tuků, v nichž je přítomna tuková a vodná složka, mohou vznikat i další rizika. Vodné prostředí ve výrobku umožňuje pomnožení některých mikroorganismů (např. plísní), do značné míry tomu zabrání nižší teplota skladování, proto je nutno výrobek uchovávat v chladničce. Skladovací podmínky jsou vždy uvedeny na obalu, včetně data spotřeby. Do produktu je lepší zasahovat čistým nožem. Připravujeme-li snídani pro více osob nebo mažeme-li více krajíců chleba najednou, je vždy lepší rozmístit tuk na všechny krajíce a následně je namazat. Snižuje se tím riziko kontaminace tuku z potraviny, což může následně vést k pomnožení mikroorganismů (Brát et al. 2010; Brát 2014).

Pro studenou kuchyni můžeme použít všechny druhy olejů, které jsou rafinované nebo lisované za studena. Oleje za studena lisované obsahují přibližně o 30 % více antioxidantů a rostlinných sterolů než oleje rafinované. V rámci studené úpravy pokrmů se nejvíce používá olivový olej lisovaný za studena. Ne každému vyhovují specifické chuťové charakteristiky za studena lisovaných olejů. U některých olejů se někdy může jednat i o pachů, která zmizí po rafinaci. Rafinované oleje jsou chuťově neutrální, v rámci studené kuchyně je lze kombinovat s bylinkami a kořením. Na trhu jsou k dispozici i různé „oleje se specifickou chutí“ např. v rakouském Štýrsku je velice oblíbený dýňový olej temně zelené barvy, který má lahodné aroma po pražených oříšcích. Toto aroma je příznačné pro tento druh oleje (Brát 2014).

Smažení obecně nepatří mezi doporučované úpravy pokrmů. Smažený pokrm má vyšší obsah energie díky tuku zadržnému v potravíně, navíc při smažení dochází k nežádoucím změnám ve složení tuku a snižuje se jeho výživová hodnota.

Pro smažení je vhodné volit tepelně stabilnější oleje. Mezi ně patří rafinovaný olivový olej, slunečnicový olej ze speciálních odrůd slunečnice, který má vysoký obsah kyseliny olejové, nebo řepkový olej. Oleje, které jsou lisované za studena, jsou méně vhodné. Je důležité zahřívání oleje před vložením potraviny nepřepalovat, pokud z oleje začíná vycházet kouř, je teplota již vysoká. Správnou teplotu poznáme pěněním okolo zrnka soli vhozeného do oleje (Brát 2014).

3.9 Studie zkoumající oxidační stabilitu tuků

3.9.1 Studie I

Studie (Sabolová et al. 2017) se zabývala oxidační stabilitou 12 jedlých olejů a tuků (kukuřičný olej, extra panenský olivový olej, vepřové sádlo, řepkový olej, arašídový olej, palmový olej, sójový olej, hroznový olej, komerční směs rafinovaného a panenského olivového oleje, komerční směs slunečnicového oleje s vysokým obsahem olejové kyseliny, řepkový olej, dva různé komerční druhy slunečnicového oleje) při různých teplotách (80, 100, 120 °C). Pro měření byl použit přístroj Oxipress. U vzorků bylo stanoveno peroxidové číslo, obsah mastných kyselin, antioxidační kapacita a obsah tokoferolů. Použitím jednoduché korelační analýzy bylo zjištěno, že oxidační stabilita analyzovaných tuků a olejů byla nejvíce ovlivněna obsahem kyseliny olejové ($p < 0,01$) a poměrem olejové a linolenové kyseliny (viz Tabulka 9), což bylo sledováno jako prodloužení indukční periody. U ostatních sledovaných parametrů nebyl prokázán vliv na oxidační stabilitu sledovaných olejů a tuků. Jelikož jednoduchá regresní analýza neposkytuje dostatečně spolehlivé modely pro predikci oxidační stability, byla navíc v této studii provedena vícerozměrná lineární regresní analýza, přičemž bylo zjištěno, že na oxidační stabilitu ze sledovaných parametrů má vliv pouze poměr olejové a linolenové kyseliny, antioxidační kapacita a peroxidové číslo. Z výsledků vyplynulo, že složení mastných kyselin je velice důležitý vnitřní faktor, který má největší vliv na oxidační stabilitu tuků a olejů. Pro tuky, či oleje, které mají podobné složení mastných kyselin, se mohou na jejich oxidační stabilitě uplatnit další faktory, zejména obsah antioxidantů.

Tabulka 9 - Hodnoty Spearmanova korelačního koeficientu popisující vztah mezi indukční periodou při teplotě 80, 100 a 120 °C a vybranými faktory charakterizující složení jedlých olejů a tuků

| Teplota (°C) | Olejová kyselina | Linolová kyselina | Polyenové mastné kyseliny ^a | Poměr olejové a linolové kyseliny |
|--------------|--------------------|---------------------|--|-----------------------------------|
| 80 | 0,776 ^b | -0,615 ^c | -0,713 ^c | 0,769 ^b |
| 100 | 0,776 ^b | -0,615 ^c | -0,713 ^c | 0,769 ^b |
| 120 | 0,762 ^b | -0,580 | -0,685 ^c | 0,741 ^c |

Pozn.: a – obsahující i *trans*-izomery

^bp < 0,01

^cp < 0,05

3.9.2 Studie II

Pazzoti et al. (2018) se zabýval studiem oxidační stability lněného, bavlníkového a kokosového oleje a také směsí olejů lněného - bavlníkového (LA), lněného a kokosového (LC) a lněného - bavlníkového - kokosového (LAC). Zrychlený skladovací pokus s použitím přístroje Rancimat byl prováděn při teplotě 60 °C, přičemž vzorky byly analyzovány před skladováním po 10 a 20 dnech skladování. V rámci stanovení fyzikálně-chemických vlastností olejů bylo analyzováno peroxidové číslo, konjugované dieny, anisidové číslo, složení mastných kyselin, obsah fytosterolů, tokoferolů, antioxidační kapacita a také byla sledována délka indukční periody. Kokosový olej se ukázal být poměrně stabilní hlavně kvůli nízkému množství peroxidů, konjugovaných dienů, *p*-anisidinu a dlouhé indukční periodě. Kromě toho kokosový olej společně s bavlníkovým olejem zlepšily stabilitu lněného oleje ve směsném oleji (LAC). Během skladování došlo k oxidaci sledovaných olejů, což se projevilo zvýšením množství peroxidů, konjugovaných dienů a *p*-anisidinu. V průběhu skladování došlo ke snížení množství fytosterolů a tokoferolů, přičemž vyšší obsah těchto látek se v průběhu skladování zachoval ve směsích olejů, zejména ve směsi lněného a kokosového oleje, který obsahoval 95,1 % fytosterolů a 90,8 % tokoferolů na konci skladování. Oleje vykazovaly významnou antioxidační aktivitu před skladováním díky přítomnosti fenolových sloučenin, fytosterolů a tokoferolů. Bavlníkový a kokosový olej lze použít pro výrobu směsných olejů, u kterých je pak dosaženo větší oxidační stability.

3.9.3 Studie III

Složení mastných kyselin, antioxidační aktivita a zastoupení minoritních sloučenin (fytoosteroly, skvalen, polyfenoly, tokoferoly) bylo analyzováno u 6 olejů z vlašských ořechů, lisovaných ze dvou odrůd ořešáků *Juglans regia* a *Juglans sigillata*. Následně byla u těchto olejů stanovena oxidační stabilita za použití přístroje Rancimat při 110 °C. Výsledky s výjimkou antioxidační kapacity a složení mastných kyselin, byly statisticky vyhodnoceny pomocí Personova korelačního koeficientu.

Z výsledků vyplývá, že s indukční periodou pozitivně koreloval obsah γ -tokoferolu ($r = 0,541$, $p < 0,05$), α -tokoferolu ($r = 0,617$, $p < 0,01$), kampesterolu ($r = 0,535$, $p < 0,05$), polyfenolů ($r = 0,873$, $p < 0,01$) a stigmasterolu ($r = 0,770$, $p < 0,01$). Na zkrácení indukční periody se významně podílel obsah β -tokoferolu ($r = -0,839$, $p < 0,01$). Rovněž bylo v této studii zjištěno, že obsah δ -tokoferolu, β -sitosterolu a 5-avenasterolu neovlivňoval rychlost oxidace sledovaných olejů (Gao et al. 2019).

3.9.4 Studie IV

Ve studii Krichene et al. (2010) byla sledována oxidační stabilita čtyř panenských olivových olejů z různých kultivarů oliv (Chemlali, Chétoui, Oueslati, El Hor). Bylo analyzováno složení mastných kyselin, tokoferolů, peroxidové číslo a antioxidační kapacita. U vzorků byla sledována schopnost oxidace v otevřených nádobách za přístupu vzduchu a v uzavřených nádobách bez přístupu vzduchu. Vzorky byly skladovány po dobu 8 měsíců v sušárně při teplotě 50 °C. Oxidační stabilita byla stanovená prostřednictvím přístroje Rancimat při teplotě 100 °C. Výsledky byly zpracovány pomocí jednofaktorové ANOVY a dále byla provedena regresní analýza. Na počátku oxidace měli jednotlivé vzorky srovnatelné parametry kvality, peroxidové číslo, číslo kyselosti. Nejvyšší antioxidační kapacita vitamínu E byla naměřena u odrůdy Queslati 1,242 mg Troloxu/kg oleje a nejnižší byla zjištěna u odrůdy El Hor 0,625 mg Troloxu/kg oleje. U vzorků skladovaných v uzavřených nádobách byla zjištěna nižší míra oxidace oproti vzorkům v otevřených nádobách a hodnota peroxidového čísla narůstala v průběhu skladování. Z měření obsahu mastných kyselin u uvedených odrůd bylo zjištěno následující: Obsah kyseliny olejové se pohyboval v rozmezí od 74-59 %. Obsah kyseliny linolové od 9,8-17 %, α -linolenové kyseliny od 0,70-0,60 %. Toto složení odpovídá panenským olivovým olejům. Obsah α -tokoferolu se u sledovaných olejů pohyboval v rozmezí 160 až 378 mg/kg. Byla zjištěna pozitivní korelace mezi α -tokoferolem a kyselinou linolovou ($r^2 = 0,991$, $p < 0,05$).

3.9.5 Studie V

Arranz et al. (2008) zkoumal oxidační stabilitu u pistáciového, mandlového a arašídového oleje, a také u oleje z vlašských a lískových ořechů. Oxidační stabilita byla měřena pomocí přístroje Rancimat při 100 °C. Dále byla stanovena antioxidační kapacita pomocí metody DPPH, obsah fenolických látek, fosfolipidů, tokoferolů a obsah mastných kyselin. Byla zjištěna korelace mezi antioxidační aktivitou (stanovenou pomocí metody DPPH) a oxidační stabilitou jednotlivých analyzovaných olejů ($r^2 = 0,83$, $p = 0,032$). Vliv ostatních sledovaných parametrů (obsahu fenolických látek, tokoferolů, fosfolipidů a mastných kyselin) na délku indukční periody nebyl testován.

3.9.6 Studie VI

Studie Li et al. (2019) se zabývala stanovením oxidační stability sójového oleje pomocí přístroje Rancimat při teplotách od 90 do 120 °C. Autoři studie se zaměřili na prozkoumání oxidačního mechanismu iniciace (k_i) a propagace (k_p). Indukční perioda (IP) u sójového oleje byla měřena pomocí přístroje Rancimat při 90 °C, 100 °C, 105 °C, 110 °C a 120 °C experiment byl opakován pětkrát. Inflexního bodu bylo u těchto teplot dosaženo v různě dlouhé době (90 °C - 24,45 h; 100 °C - 11,80 h; 105 °C - 8,08 h; 110 °C - 5,87 h; 120 °C - 3,07 h) a experiment byl opakován třikrát. Podle Arrheniova modelu a empirické rovnice iniciační fáze vzrůstá exponenciálně s teplotou, zatímco indukční perioda klesá exponenciálně s teplotou. Autoři stanovují hypotézu, že stupeň oxidace jedlého oleje a indukční perioda mohou mít konstantní hodnoty pro ten samý olej nezávisle na teplotách. Inflexní bod obsahující informace o indukční periodě a oxidačním stupni vzorku v indukční periodě může být klíčový pro korelaci dat získaných pomocí metody Rancimat s oxidační stabilitou za pokojové teploty. Autoři studie předpokládali, že pokud je znám inflexní bod, je při pokojové teplotě vyžadováno méně vzorků pro analýzu (nejvýše čtyři), než při konvenčním skladovacím pokusu s použitím přístroje Rancimat. Pro ověření hypotézy byla měřena konduktivita karboxylových kyselin s krátkým řetězcem, číslo kyselosti, peroxidové číslo, obsah mastných kyselin, obsah polárních látek. Stupeň oxidace oleje v indukčním časovém bodě $IP-k_i$ byl vypočten podle teoretického Arrheniova modelu a empirické rovnice. Vybrané vzorky oleje byly porovnány na základě chemických indexů a NMR spekter pro ověření této teoretické derivace.

Výsledky byly statisticky zpracovány pomocí metody ANOVA. Z konduktometrického měření byly identifikovány hlavní produkty degradace sojového oleje: kyselina mravenčí, octová, butyrová, propionová. Z výsledků bylo zjištěno, že všechny stanovené parametry mají dvě fáze oxidace (iniciace a propagace) při každé teplotě. Výsledky z teoretické derivace Arrheniova modelu a empirické rovnice byly potvrzeny pomocí NMR. Stupeň oxidace oleje v indukčním časovém bodě $IP-k_i$ je nezávislý na době zahřívání. Indukční perioda korelovala se všemi parametry velice dobře ($r^2 = 0,9980-0,9999$, $p < 0,0001$). S indukční periodou pozitivně korelovalo číslo kyselosti ($r^2 = 0,9993$, $p < 0,0001$), obsah karboxylových kyselin s krátkým řetězcem ($r^2 = 0,9988$, $p < 0,0001$), peroxidové číslo ($r^2 = 0,9985$, $p < 0,0001$), obsah polárních látek ($r^2 = 0,9980$, $p < 0,0001$).

3.9.7 Studie VII

Ve studii Li et al. (2018) byla stanovována oxidační stabilita u 4 jedlých olejů (palmový, řepkový, slunečnicový, lněný). Byla vyhodnocována oxidační stabilita olejů pomocí termogravimetrického analyzátoru a dále bylo stanoveno složení mastných kyselin. Termogravimetrická analýza byla provedena při různých teplotách od 50-620 °C. Oxidační stabilita nebyla vyhodnocena pomocí statistiky. Z výsledků termogravimetrického analyzátoru vyplývá, že oxidaci ovlivňují jednotlivé mastné kyseliny v tomto pořadí: kyselina palmitová, kyselina olejová, linolová kyselina, kyselina linolenová. Kyselina palmitová a kyselina olejová vykazovaly vyšší odolnost vůči vyšším teplotám, tedy lepší oxidační stabilitu, než kyselina linolová a kyselina linolenová. Oxidační stabilita sledovaných olejů klesala v tomto pořadí: palmový olej > řepkový olej > slunečnicový olej > lněný olej. Z důvodu zahřívání za vysoké

teploty (ve srovnání s ostatními zrychlenými metodami pro stanovení oxidační stability) tato metoda poskytuje výsledky s lepší přesností. Složení mastných kyselin jednotlivých olejů je uvedeno v Tabulce 10.

Tabulka 10 - Složení mastných kyselin u jednotlivých olejů (% celkového obsahu mastných kyselin (Li et al. 2018))

| Mastné kyseliny | Palmový olej | Řepkový olej | Slunečnicový olej | Lněný olej |
|-----------------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|
| Myristová kyselina | 0,43 ± 0,01 | - | - | - |
| Palmitová kyselina | 29,29 ± 0,68 | 2,69 ± 0,01 | 3,89 ± 0,02 | 3,12 ± 0,01 |
| Stearová kyselina | 3,59 ± 0,12 | 1,51 ± 0,01 | 3,25 ± 0,02 | 2,76 ± 0,02 |
| Olejová kyselina | 33,56 ± 1,02 | 46,29 ± 1,21 | 13,62 ± 0,34 | 13,15 ± 0,28 |
| Linolová kyselina | 8,12 ± 0,11 | 16,22 ± 0,41 | 51,87 ± 1,52 | 11,96 ± 0,38 |
| Linolenová kyselina řada n6 | - | 0,51 ± 0,03 | - | 0,24 ± 0,04 |
| Linolenová kyselina řada n3 | 0,11 ± 0,01 | 5,15 ± 0,62 | 0,22 ± 0,03 | 41,02 ± 1,18 |
| Arachidonová kyselina | 0,34 ± 0,01 | 0,54 ± 0,08 | 0,21 ± 0,01 | 0,1 ± 0,01 |

3.9.8 Shrnutí výsledků jednotlivých studií

Výše uvedené studie porovnávaly složení jednotlivých olejů a jejich odolnost vůči oxidaci. Výraznou shodu s výsledky dle studie Li et al. (2018) můžeme nalézt v porovnání se studií dle Sabolové et al. (2017) a to tu, že oxidační stabilitu ovlivňuje obsah mastných kyselin. Studie dle Sabolové et al. (2017) se shoduje se studií dle Li et al. (2018) v tom, že olejová kyselina má výrazný podíl na oxidaci, ačkoliv Li et al. (2018) uvádí, že výrazný podíl na oxidaci má rovněž kyselina palmitová, je však nutno zmínit, že v případě této studie nebyla provedena statistická analýza. U studií dle Sabolová et al. (2017) a Gao et al. (2019) byly zjištěny výrazné rozdíly hlavně v obsahu α -tokoferolu a γ -tokoferolu. U studie dle Krichene et al. (2010) a Sabolová et al. (2017) byla zjištěna shoda v obsahu α -tokoferolu. Na tom, že oxidaci tuků může ovlivnit přítomnost antioxidantů, zejména přítomnost α -tokoferolů se shodli autoři Krichene et al. (2010) a Gao et al. (2019).

Z výsledků jednotlivých studií lze usuzovat, že na oxidační stabilitu tuků a olejů má výrazný vliv zejména složení mastných kyselin a přítomnost antioxidantů, jelikož právě tyto faktory významně ovlivňují délku indukční periody. Důležité je zmínit, že ve zmiňovaných studiích byly využity zrychlené skladovací pokusy s použitím různých přístrojů jako je Rancimat (Arranz et al. 2008; Krichene et al. 2010; Pazzoti et al. 2018; Gao et al. 2019; Li et al. 2019), Oxipres (Sabolova et al. 2017) a Termogravimetrie (Li et al. 2018). Podmínky zrychlených skladovacích testů však neodpovídají běžným skladovacím podmínkám.

4 Metodika

V rámci této diplomové práce bylo použito celkem 13 druhů olejů a tuků (viz Tabulka 11). Tyto oleje a tuky byly zakoupeny v obchodech a e-shopech v České republice. Jednotlivé analýzy probíhaly částečně na VŠCHT Praha a částečně na ČZU. Do provedení analytických stanovení a skladovacího pokusu byly oleje a tuky skladovány v mrazicím boxu při teplotě -18 °C.

Tabulka 11 - Seznam analyzovaných vzorků

| Název výrobku | Výrobce/ Dovozce/Distributor/Prodávající | Minimální trvanlivost | Země původu/ Baleno |
|---|--|--------------------------|---------------------------|
| Lněný olej Natural Jihlava | Natural Jihlava JK. s.r.o., Humpolecká 286/28, 586 01, Jihlava | 20. 09. 2019 | Česká republika |
| Kukuřičný olej Olitalia S.r.l | CANO CZ s.r.o., V Ráji 262, 530 02, Pardubice, Česká republika | 23. 01. 2020 | Itálie |
| Sójový olej Lisovaný za studena | Country life, s.r.o., Nenačovice 87, 266 01, Beroun | 06. 2020 | Francie |
| Palmový olej Carotino | Comodity trading s.r.o., Daskabát 27, 779 00 Olomouc | 31. 10. 2019 | Malajsie |
| Vlašský olej Brändle víta lisovaný za studena | P. Brändle GmbH Robert-Bosch-Str. 10, D-72186 Empfingen, Německo | 04. 2020 | Německo |
| Olive oil na pečení, smažení Borgers Extra mild | Borges Branded Food, S.L.U. 25 300 Avda Josep Trepat, Tarrega | 16. 10. 2020 | Španělsko |
| Extra virgin olive oil Ondoliva selection | Urzante, S. L., Ciudad Agroalimentaria, Calle A 31500 Tudela (Navarra) | 17. 10. 2020 | Španělsko |
| Řepkový olej Lukana | Glencore Agriculture Czech s.r.o., Žukova 1658/27 A, 400 03 Ústí nad Labem | 29. 4. 2020 | Česká republika |
| Slunečnicový olej Gold plus | Gold – Plus Company s.r.o. Bohrová 1, 851 Bratislava | 30. 5. 2020 | Slovensko |
| Olivový olej z pokrutin Ondoliva | Urzante, S. L., Ciudad Agroalimentaria, Calle A 31500 Tudela (Navarra) | 21. 01. 2021 | Španělsko |
| Lukana fritovací olej HOSO ¹ omega 9 | Glencore Agriculture Czech s.r.o., Žukova 1658/27 A, 400 03 Ústí nad Labem | 6. 5. 2020 | Česká republika |
| Vepřové sádlo | Comperio. s.r.o, Nuselská 149/53, 140 00 Praha 4 | 9. 8. 2019 | Rakousko |
| Řepkový olej | Pod Hrady 130, 280,02 Kolín IV | 25. 5. 2019 | Česká republika |

¹ HOSO – High Oleic Sunflower Oil – Olej s vysokým obsahem kyseliny olejové

4.1.1.1 Pracovní názvy olejů

Pro zjednodušení výsledků byly vytvořeny pro jednotlivé oleje pracovní názvy, které jsou uvedeny v Tabulce 12.

Tabulka 12 - Pracovní názvy olejů

| Název oleje | Pracovní název |
|--|-------------------------|
| Lněný olej Natural Jihlava | Lněný olej |
| Kukuřičný olej Olitalia S.r.l | Kukuřičný olej |
| Sójový olej Lisovaný za studena | Sójový olej |
| Palmový olej Carotino | Palmový olej |
| Vlašský olej Brändle vita lisovaný za studena | Olej z vlašských ořechů |
| Olive oil na pečení, smažení Borges Extra mild | Olivový olej |
| Extra virgin olive oil Ondoliva selection | Extra virgin olive oil |
| Řepkový olej Lukana | Řepkový olej - 1 |
| Slunečnicový olej Gold plus | Slunečnicový olej |
| Olivový olej z pokrutin Ondoliva | Olivový olej z pokrutin |
| Lukana fritovací olej HOSO omega 9 | Fritovací olej |
| Vepřové sádlo | Vepřové sádlo |
| Řepkový olej | Řepkový olej - 2 |

4.2 Analytické metody použité pro charakterizaci vstupních tuků a olejů

4.2.1 Stanovení složení mastných kyselin

Mastné kyseliny obsažené ve vzorcích olejů a tuku byly převedeny na methylestery. Takto upravené vzorky byly analyzovány metodou plynové chromatografie s plamenově ionizačním detektorem (GC–FID) (Nollet & Toldra 2015). Analýzu mastných kyselin pomocí GC–FID byla provedena docentem Doležalem z VŠCHT Praha. Převedení mastných kyselin na methylestery provedl autor práce.

Chemikálie

- Chlorid sodný p.a., Lach-Ner, s. r. o., Česká republika
- Fluorid boritý (~10 % v methanolu), Fluka, Švýcarsko
- Hydroxid sodný pecky p.a., Penta s. r. o., Česká republika
- n-Hexan 99 % p.a., Penta s. r. o., Česká republika
- Methanol p.a., Penta s. r. o., Česká republika
- Síran sodný bezvodý p.a., Penta s. r. o., Česká republika

Přístroje a pomůcky

- Běžné laboratorní nádoby
- Digitální analytické váhy Sartorius MC 1, Sartorius Laboratory, Německo
- Topné hnízdo, LTHS 50, Brněnská Drutěva, Česká republika
- Plynový chromatograf s plamenově ionizačním detektorem Agilent Technologies 6890N, Palo Alto, USA

Postup

Pasteurovou pipetou bylo naváženo 0,20-0,25 g tuku či oleje do 50 ml varné baňky. Do varné baňky byl pipetován 1 ml metanolickeho roztoku NaOH o koncentraci 0,5 mol/l a 5 ml metanolu a přidán varný kamínek. Vzniklá směs se zahřívala na topném hnízdě pod spirálovitým chladičem po dobu 15 minut. Po této době nezůstaly v baňce žádné tukové kapičky původního vzorku oleje či tuku. Z tohoto důvodu nebylo potřeba přidat další 1 ml roztoku NaOH v methanolu a směs znovu vařit 5 minut. Za pomoci zpětného chladiče bylo ke směsi přidáno 0,5 ml fluoridu boritého a směs byla dále zahřívána po dobu 20 minut. Po uplynutí této doby byla varná baňka odstavena, aby zchladla na laboratorní teplotu. Po ochlazení varné baňky bylo přes zpětný chladič přidáno 5 ml hexanu. Po odkapání hexanu byla baňka od chladiče odpojena a následně bylo přidáno 20 ml nasyceného roztoku NaCl. Poté byla baňka zazátkována a třepána po dobu jedné minuty. Po protřepání byla baňka doplněna nejdříve do poloviny nasyceným roztokem NaCl, následně pak doplněna po hrdlo, aby se jednotlivé vrstvy dobře oddělily. Z horní vrstvy bylo odebráno malé množství vzorku za pomoci Pasteurovy pipety. Vzorek byl převeden do předpřipravené vialky, která obsahovala na dně bezvodý síran sodný. Připravený vzorek byl nastříknut za pomoci mikrostríkačky do plynového chromatografu (Agilent Technologies 6890N, Agilent technologies, Palo Alto, USA). Podmínky analýzy jsou uvedeny v Tabulce 13.

Pro identifikaci mastných kyselin byl použit standard Supelco37 Component FAME. Vyhodnocení chromatogramů bylo provedeno metodou vnitřní normalizace, tj. obsah jednotlivých mastných kyselin byl vyjádřen jako procento plochy píků dané mastné kyseliny z celkové plochy všech píků (Doležal 2019). U mastných kyselin bylo provedeno u každého vzorku jedno stanovení.

Tabulka 13 - Parametry nástřiku mastných kyselin

| Parametr | Popis |
|-------------------|---|
| Teplota nástřiku | 220 °C |
| Teplotní program | 175–220 °C (4 °C/min), prodleva 30 minut při 175 °C a 40 minut při 220 °C |
| Teplota detektoru | 220 °C |
| Doba analýzy | 90 minut |
| Nástřik | 1 µl |
| Split | 75:1 |
| Nosný plyn | helium (0,8 ml/min) |
| Kolona | kapilární kolona o rozměrech 100 m x 0,25 mm x 0,2 µm, Supelco SP 2560, Bellefonte, USA |
| Detektor | Plamenově ionizační |

4.2.2 Stanovení tokoferolů a tokotrienolů

Obsah tokoferolů byl stanoven za pomoci vysokoúčinné kapalinové chromatografie (HPLC) s elektrochemickou (amperometrickou) detekcí (Trojáková 2001; Fišnar & Réblová 2019). Tato analýza byla provedena paní docentkou Réblovou z VŠCHT Praha.

Chemikálie

- Aceton p.a., Penta s. r. o., Česká republika
- Acetonitril, HPLC grade, Merck, Německo
- Chlorid sodný p.a., Lachema Brno, Česká republika
- Chloristan lithný p.a., Sigma-Aldrich s. r. o., Německo
- Methanol, HPLC grade, Merck, Německo
- Methanol p.a., Penta s. r. o., Česká republika
- Standardy jednotlivých tokoferolů a tokotrienolů deklarované čistoty, Merck, Německo

Přístroje a pomůcky

- Běžné laboratorní nádobí
- Chromatografická datastanice CSW 1.6, Data Apex, Česká republika
- Digitální analytické váhy Sartorius MC 1, Sartorius Laboratory, Německo
- Elektrochemický (amperometrický) detektor s měrnou uhlíkovou a referenční argenochloridovou elektrodou, HP 1049A, Hewlett Packard, Agilent Technologies, USA
- Nástřikový ventil Rheodyne 7725i, Rheodyne, USA
- Termostat chromatografických kolon LCO 101, Ecom, Praha, Česká republika
- Vysokotlaké čerpadlo LCP 4020.31 nekovového typu, Ecom, Praha, Česká republika

Postup

Nejprve byla připravena řada kalibračních roztoků tokoferolů a tokotrienolů o koncentracích 0,0-0,8 mg/100 ml methanolu. Vyhodnocení chromatogramů bylo provedeno metodou vnitřní normalizace. Do odměrných baněk o objemu 25 ml bylo naváženo 0,20-0,25 g testovaného vzorku oleje, či tuku s přesností na 1 mg. Obsah baňky byl rozpuštěn v acetonu a v dalším kroku doplněn acetonem po rysku. Připravený roztok byl protřepán a dále převeden do vzorkovnic. U každého vzorku byla provedena tři paralelní stanovení. Analýzy kalibračních roztoků a roztoků vzorků byly provedeny pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie s amperometrickou detekcí. Podmínky měření jsou uvedeny v Tabulce 14. Za těchto podmínek nedochází k vzájemné separaci β - a γ -tokoferolu a k separaci β - a γ - tokotrienolu. Mez detekce byla 1 mg/kg a mez stanovitelnosti 3 mg/kg. Obsah jednotlivých tokoferolů a tokotrienolů byl vypočítán ze sestavené kalibrační křivky a vyjádřen jako mg tokoferolu, či tokotrienolu na kg vzorku oleje či tuku.

Tabulka 14 - Podmínky měření při HPLC pro stanovení tokoferolů a tokotrienolů

| Parametr | Popis |
|--|--|
| Nástřik | 20 μ l |
| Mobilní fáze | směs acetonitrilu a methanolu (1 : 1, V/V) s chloridem sodným (0,005 mol/l) a chloristanem lithným (0,02 mol/l) |
| Průtok mobilní fáze | 1 ml min |
| Kolona | rozměry 200 x 4,6 mm, sorbent Hypersil ODS, zrnitost 5 μ m, Hewlett Packard, USA |
| Teplota kolony | 28 °C |
| Detekční potenciál | 0,7 V |
| Elektrochemické čištění povrchu pracovní elektrody | na elektrody byl střídavě vkládán potenciál 1,5 V (0,5 s), -0,5 V (0,5 s) a 0,7 V (0,2 s), po každé analýze byl celý cyklus opakován 10krát |

4.2.3 Stanovení antioxidační kapacity metodou DPPH

Antioxidační kapacita byla stanovena metodou DPPH, při které se spektrofotometricky měří úbytek radikálu 2,2-difenyl-1-pikrylhydrazylu (DPPH), při vlnové délce 518 nm (Sabolová et al. 2017).

Chemikálie

- Ethylacetát p.a., Penta s. r. o., Česká republika
- 2,2 – Difenyl-1-pikrylhydrazyl (DPPH), Sigma-Aldrich s. r. o., Německo
- α -Tokoferol, čistota 98,2 %, Merck, Německo

Přístroje a pomůcky

- Běžné laboratorní nádobí
- Digitální analytické váhy Mettler AE 200, Hong Kong
- Spektrofotometr Specol 1300, An Endress Hauser Company, Německo
- Ultrazvuková lázeň Sonorex Super RK 100, Bandelin, Německo

Postup

Nejdříve byl připraven zásobní roztok radikálu DPPH v ethylacetátu o koncentraci 0,2 mg/ml. Dále byla připravena kalibrační řada α -tokoferolu v ethylacetátu o koncentracích 0-500 μ g/ml. Z kalibrační řady roztoků byl pipetován jeden ml do odměrných baněk o objemu 25 ml. Do odměrných baněk bylo dále pipetováno 10 ml ethylacetátu a 5 ml zásobního roztoku DPPH. Baňky byly doplněny po rysku ethylacetátem zazátkovány a protřepány. Kalibrační roztoky byly dále inkubovány po dobu jedné hodiny ve tmě při stálé pokojové teplotě. U jednotlivých roztoků byla proměřena absorbance pomocí UV-Vis spektrofotometru proti čistému ethylacetátu při vlnové délce 518 nm. K měření byla použita 1 cm obdélníková skleněná kyveta. Ze získaných hodnot byla sestrojena kalibrační křivka.

Do odměrných baněk o objemu 25 ml bylo naváženo 0,3 g vzorku oleje, či tuku. Navážka byla rozpuštěna v 10 ml ethylacetátu a následně bylo přidáno 5 ml zásobního roztoku DPPH. Baňky byly doplněny po rysku ethylacetátem a inkubovány po dobu jedné hodiny ve tmě při pokojové teplotě. Poté byla u vzorků proměřena absorbance proti čistému ethylacetátu pomocí UV-Vis spektrofotometru při vlnové délce 518 nm. K měření byla použita 1 cm obdélníková skleněná kyveta. U každého vzorku byla provedena tři stanovení. Slepý pokus byl stanoven podobným způsobem bez navážky vzorku. Pomocí kalibrační křivky byly vyjádřeny výsledné hodnoty antioxidační kapacity jako mg α -tokoferolu/kg vzorku oleje, či tuku.

4.2.4 Stanovení čísla kyselosti

Číslo kyselosti bylo stanoveno dle normy ČSN ISO 660 s mírnými úpravami, viz laboratorní postup.

Chemikálie

- Destilovaná voda
- Fenolftalein, Lach-Ner, Česká republika
- Dihydrát kyseliny šťavelové 99 % p.a, Lachema Brno, Česká republika
- Hydroxid sodný o přibližné koncentraci 0,1 M
- Ethanol 96 % p.a., Penta s. r. o., Česká republika
- Směs diethylether ethanol (1:1, V/V)

Přístroje a pomůcky

- Běžné laboratorní nádobí
- Digitální analytické váhy Mettler AE 200, Hongkong
- Digitální byreta Brand Titrette 25 ml, RS232, Německo

Postup

Nejdříve byl připraven roztok KOH v ethanolu o přibližné koncentraci 0,1 M. Pro přípravu tohoto roztoku bylo potřeba navážit 1,4 g KOH do odměrné baňky o objemu 500 ml a baňka byla doplněna roztokem ethanolu po rysku. Stanovení přesné koncentrace tohoto roztoku bylo provedeno titrací kyseliny šťavelové, která byla rozpuštěna v destilované vodě na indikátor fenolftalein. Titrace probíhala ve třech opakováních až do světle růžového zabarvení, které muselo být pozorováno minimálně po dobu 10 sekund.

Do 250 ml titrační baňky bylo naváženo 10-12 g vzorku oleje či tuku. Ke vzorku bylo přidáno 50 ml směsi diethyletheru a ethanolu v poměru 1:1 a 3 kapky fenolftaleinu. Směs byla titrována roztokem KOH do bodu ekvivalence. Pro každý vzorek byla provedena tři paralelní stanovení. Stejně byl proveden slepý pokus bez navážky oleje, či tuku.

Vyhodnocení

Hodnota čísla kyselosti byla vypočítána ze vztahu:

$$\check{C}K = 56,11 \cdot \frac{c_{KOH} \cdot (V_{KOH} - V_0)}{m_v}$$

kde c_{KOH} - koncentrace odměrného roztoku KOH [mol/l]

V_{KOH} - objem odměrného roztoku KOH spotřebovaného na titraci vzorku [ml]

V_0 - objem odměrného roztoku KOH spotřebovaného na slepý pokus [ml]

m_v - navážka vzorku [g]

4.2.5 Stanovení peroxidového čísla

Metoda je založena na oxidaci jodidu draselného, peroxidy a hydroperoxidy obsaženými ve vzorku tuku nebo oleje v prostředí kyseliny octové a chloroformu. Uvolněný jód byl stanoven titračně odměrným roztokem thiosíranu sodného (Kleckerová 2014). Peroxidové číslo bylo stanoveno dle IUPAC metody 2.501 (Daun & Cantrill 2012).

Chemikálie

- Dichroman draselný p.a., Lach-Ner., Česká republika
- Chloroform p.a., Penta s. r. o., Česká republika
- Jodid draselný p. a., Lach-Ner., Česká republika
- Kyselina octová 99 % p.a., Penta s. r. o., Česká republika
- Kyselina chlorovodíková 35 % p. a., Lach-Ner., Česká republika
- Rozpustný škrob p.a., Lach-Ner., Česká republika
- Thiosíran sodný p.a, Lach-Ner., Česká republika

Přístroje a pomůcky

- Běžné laboratorní nádobí
- Digitální analytické váhy Mettler AE 200, Hongkong
- Digitální byreta Brand Titrette 25 ml, RS232, Německo

Postup

Před stanovením peroxidového čísla byl připraven nasycený vodný roztok KI, škrobový indikátor o koncentraci 10 g/l, roztok $K_2Cr_2O_7$ 1 mol/l, roztok kyseliny chlorovodíkové v poměru 1:5 a roztok thiosíranu sodného o koncentraci přibližně 0,02 mol/l. Pro stanovení přesné koncentrace odměrného roztoku $Na_2S_2O_3$ byly naváženy 2 g KI a přidáno 5 ml HCl a 25 ml $K_2Cr_2O_7$ do 250 ml Erlenmeyerovy baňky (se zábrusem). Obsah baňky byl třepán po dobu 1 minuty. Následně bylo přidáno 75 ml destilované vody a 0,5 ml škrobového mazu. Připravený roztok byl titrován $Na_2S_2O_3$ do odbarvení modré barvy. Aritmetickým průměrem výsledků získaných ze tří stanovení byla zjištěna hodnota koncentrace roztoku thiosíranu sodného.

Do 250 ml Erlenmeyerovy baňky (se zábrusem) bylo naváženo 5 g oleje nebo tuku, poté bylo přidáno 10 ml chloroformu a 15 ml kyseliny octové. Baňka byla uzavřena zátkou a třepána po dobu 1 minuty. Jakmile došlo k rozpuštění oleje, či tuku do homogenní směsi, byl přidán 1 ml KI a baňka se znovu třepala 1 minutu. Po třepání byla baňka umístěna do temné komory na dobu 5 minut. Po uplynutí časového intervalu byla z baňky sejmuta zátka, která byla opláchnuta destilovanou vodou a do baňky bylo přidáno 30 ml destilované vody a 0,5 ml škrobového indikátoru. Připravený roztok byl titrován thiosíranem sodným až do odbarvení. Pro každý vzorek byla provedena tři paralelní stanovení. Stejně byl proveden slepý pokus bez navážky oleje či tuku.

Koncentrace $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ byla vypočítána ze vztahu:

$$c_T = 6 \cdot c_D \cdot \frac{V_D}{V_T}$$

- c_T - koncentrace roztoku thiosíranu sodného [mol/l]
- c_D - koncentrace roztoku dichromanu draselného [mol/l]
- V_D - objem roztoku dichromanu draselného [l]
- V_T - objem roztoku thiosíranu sodného [l]

Pro výpočet peroxidového čísla byl použit tento vztah:

$$P\check{C} = 1000 \cdot (V - V_0) \cdot \frac{c_T}{m}$$

- $P\check{C}$ - peroxidové číslo [mEq O_2 /kg]
- V - objem roztoku thiosíranu sodného [ml]
- V_0 - objem roztoku thiosíranu sodného při slepém pokusu [ml]
- c_T - koncentrace roztoku thiosíranu sodného [mol/l]
- m - navážka vzorku v [g]

Peroxidové číslo bylo vyjádřeno v miliekvivalentech aktivního kyslíku na kilogram vzorku.

4.2.6 Statistické zpracování výsledků

Výsledky z jednotlivých analýz byly zpracovány za pomoci programu Microsoft Excel 2019. Jednotlivé výsledky jsou vyjádřeny jako aritmetický průměr \pm směrodatná odchylka. Získané výsledky byly dále statisticky testovány pomocí Q-testu na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ pro vyloučení odlehlých výsledků.

4.3 Skladovací pokus tuků a olejů, k určení jejich odolnost vůči oxidaci

Skladovací pokus probíhal v sušárně při teplotě 35 °C a relativní vlhkosti 40 %. Byla sledována odolnost jednotlivých olejů a tuků vůči oxidaci za přístupu kyslíku a bez přístupu světla. Sledovaným parametrem bylo peroxidové číslo (Réblová 2019).

Přístroje a pomůcky

- Běžné laboratorní nádobí
- Sušárna Binder, VERKON s.r.o., Česká republika

Postup

Den před stanovením byla zapnuta sušárna, která byla nastavena na teplotu 35 °C a relativní vlhkost 40 %. V průběhu dne byla zaznamenávána teplota a vlhkost. Teplota kolísala v rozmezí 32-35 °C a relativní vlhkost 35-40 %. Dále bylo zajištěno, aby po dobu skladovacího pokusu nikdo do sušárny nic nevkládal ani ji neotvíral. Na vlastní skladovací pokus byly použity kádinky o objemu 100 ml, výšce 7 cm a průměru 5 cm.

Do každé kádinky bylo naváženo 25 g oleje či tuku s přesností ± 1 % (tj. $\pm 0,25$ g). Každý vzorek byl navážen do 6 kádinek. Kádinky byly vloženy do vytemperované sušárny. Za 7 dnů byly ze sušárny vybrány 3 kádinky a ve vzorcích bylo stanoveno peroxidové číslo (viz kapitola 4.2.5). Za dalších 14 dní bylo vybráno stejné množství kádinek a rovněž bylo stanoveno peroxidové číslo (viz kapitola 4.2.5).

4.3.1 Statistické zpracování výsledků

Výsledky analýzy byly zpracovány pomocí softwarového programu Microsoft Excel 2019. Z hodnot peroxidového čísla po 0 i 7 a 14 dnech skladování při teplotě 35 °C byla vypočtena počáteční rychlost oxidace za pomoci lineární regresní rovnice $y = a + bx$. Z této rovnice byla dále vyjádřena směrodatná odchylka. Jednotlivá peroxidová čísla se pro tyto výpočty neprůměrovala (Eckschlager et al. 1980). Další použité statistické metody jsou pro přehlednost uvedeny v příslušných částech kapitoly 5.

5 Výsledky

5.1 Složení jednotlivých tuků a olejů

Pro charakterizaci složení jednotlivých tuků a olejů byly stanoveny tyto vstupní parametry: číslo kyselosti, peroxidové číslo, obsah tokoferolů a tokotrienolů, celkový obsah antioxidantů a složení mastných kyselin. Naměřené výsledky čísla kyselosti, antioxidační kapacity a peroxidového čísla jsou shrnuty v Tabulce 15. V Tabulce 16 je uveden obsah tokoferolů a tokotrienolů. Složení mastných kyselin ve sledovaných tucích a olejích je shrnuto v tabulkách 17, 18, 19.

Tabulka 15 - Hodnoty čísla kyselosti, antioxidační kapacity a peroxidového čísla

| Vzorky | Číslo kyselosti (mg KOH/g) | Antioxidační kapacita (mg α -tokoferolu/kg) | Peroxidové číslo (mEq O ₂ /kg) |
|-------------------------|----------------------------|--|---|
| Lněný olej | 2,15 ± 0,02 | 728 ± 18 | 1,01 ± 0,00 |
| Sójový olej | 1,18 ± 0,02 | 1174 ± 12 | 6,27 ± 0,33 |
| Kukuřičný olej | 0,18 ± 0,04 | 1143 ± 36 | 4,39 ± 0,07 |
| Olej z vlašských ořechů | 0,75 ± 0,02 | 532 ± 31 | 6,96 ± 0,03 |
| Řepkový olej - 2 | 1,07 ± 0,04 | 961 ± 12 | 9,62 ± 0,07 |
| Palmový olej | 0,69 ± 0,03 | 811 ± 24 | 2,62 ± 0,07 |
| Fritovací olej | 0,11 ± 0,00 | 628, ± 15 | 3,45 ± 0,02 |
| Olivový olej z pokrutin | 0,50 ± 0,02 | 1358 ± 73 | 2,30 ± 0,03 |
| Slunečnicový olej | 0,31 ± 0,01 | 837 ± 11 | 3,92 ± 0,02 |
| Vepřové sádlo | 1,18 ± 0,05 | 44,82 ± 0,3 | 3,20 ± 0,02 |
| Řepkový olej - 1 | 0,30 ± 0,01 | 977 ± 44 | 1,15 ± 0,02 |
| Extra virgin olive oil | 0,98 ± 0,01 | 1079 ± 18 | 10,11 ± 0,00 |
| Olivový olej | 0,52 ± 0,01 | 301 ± 27 | 11,42 ± 0,01 |

Pozn: Číslo kyselosti, Antioxidační kapacita, Peroxidové číslo jsou vyjádřeny jako - aritmetický průměr tří paralelních stanovení ± směrodatná odchylka.

Tabulka 16 - Obsah tokoferolů a tokotrienolů v analyzovaných tucích a olejích

| Vzorek | Obsah tokoferolů (mg/kg) | | | Obsah tokotrienolů (mg/ kg) | | | Celkový obsah tokoferolů a tokotrienolů (mg/kg) |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|-------------|-----------------------------|------------------------|------------|---|
| | α - | β - a γ - | δ - | α - | β - a γ - | δ - | |
| Lněný olej | 20,1 ± 2,1 | 488,9 ± 0,2 | 7,1 ± 1,1 | n. d. | <LOQ | <LOQ | 516,1 ± 0,8 |
| Sójový olej | 168,7 ± 3,7 | 779,2 ± 8,9 | 254,9 ± 3,6 | n. d. | n. d. | n. d. | 1202,8 ± 2,5 |
| Kukuřičný olej | 183,7 ± 0,5 | 673,5 ± 7,2 | 29,5 ± 4,2 | 11,0 ± 1,1 | 9,6 ± 0,3 | n. d. | 907,3 ± 2,7 |
| Olej z vlašských ořechů | 39,5 ± 0,1 | 285,5 ± 11,0 | 37,4 ± 2,5 | n. d. | n. d. | n. d. | 362,4 ± 4,7 |
| Řepkový olej - 2 | 271,2 ± 8,9 | 456,0 ± 6,7 | 12,6 ± 2,0 | n. d. | n. d. | n. d. | 739,8 ± 2,9 |
| Palmový olej | 118,0 ± 7,1 | 81,5 ± 6,8 | 60,2 ± 2,7 | 205,2 ± 2,5 | 231,6 ± 2,9 | 53,7 ± 3,5 | 750,2 ± 1,9 |
| Fritovací olej | 576,9 ± 11,9 | 25,6 ± 0,2 | 18,7 ± 0,2 | n. d. | n. d. | n. d. | 621,2 ± 5,5 |
| Olivový olej z pokrutin | 460,6 ± 15,6 | 17,3 ± 6,1 | 5,0 ± 1,3 | n. d. | n. d. | n. d. | 482,9 ± 5,9 |
| Slunečnicový olej | 718,0 ± 12,6 | 34,9 ± 0,5 | 29,0 ± 2,3 | n. d. | n. d. | n. d. | 781,9 ± 5,3 |
| Vepřové sádlo | 7,1 ± 0,7 | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | 7,1 ± 0,7 |
| Řepkový olej - 1 | 289,9 ± 3,8 | 341,9 ± 4,0 | 7,8 ± 0,2 | n. d. | n. d. | n. d. | 639,6 ± 1,7 |
| Extra virgin olive oil | 284,2 ± 7,8 | 14,4 ± 3,3 | <LOQ | n. d. | n. d. | n. d. | 298,6 ± 2,3 |
| Olivový olej | 154,2 ± 2,8 | 10,1 ± 0,6 | <LOQ | n. d. | n. d. | n. d. | 164,3 ± 1,1 |

Pozn.: průměrná hodnota ze třech paralelních stanovení ± směrodatná odchylka; n. d., nedetekováno (limit detekce 1,0 mg/kg); LOQ, limit kvantifikace (3,0 mg/kg).

Tabulka 17 - Obsah nasycených mastných kyselin u tuků a olejů

| | | Lněný olej | Sójový olej | Kukuřičný olej | Olej z vlašských ořechů | Řepkový olej - 2 | Palmový olej | Fritovací olej | Olivový olej z pokrutin | Slunečnicový olej | Vepřové sádlo | Řepkový olej - 1 | Extra virgin olive oil | Olivový olej |
|---------------|--------|------------|-------------|----------------|-------------------------|------------------|--------------|----------------|-------------------------|-------------------|---------------|------------------|------------------------|--------------|
| Máselná | C 4:0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Valerová | C 5:0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Kapronová | C 6:0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Heptanová | C 7:0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Kaprylová | C 8:0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Nonanová | C 9:0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Kaprinová | C 10:0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Undekanová | C 11:0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Laurová | C 12:0 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 0,02 | 0,00 | 0,00 |
| Tridekanová | C 13:0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Myristová | C 14:0 | 0,05 | 0,08 | 0,04 | 0,03 | 0,06 | 1,15 | 0,06 | 0,03 | 0,08 | 1,48 | 0,07 | 0,01 | 0,02 |
| Pentadekanová | C 15:0 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 0,03 | 0,01 | 0,01 |
| Palmitová | C 16:0 | 6,03 | 9,85 | 11,54 | 6,96 | 4,46 | 37,16 | 4,61 | 12,22 | 6,21 | 24,63 | 4,55 | 9,49 | 12,88 |
| Margarová | C 17:0 | 0,07 | 0,10 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,04 | 0,09 | 0,04 | 0,31 | 0,06 | 0,18 | 0,09 |
| Stearová | C 18:0 | 4,00 | 5,21 | 1,88 | 2,71 | 1,65 | 3,91 | 3,03 | 2,95 | 3,25 | 13,38 | 1,58 | 3,38 | 2,74 |
| Arachová | C 20:0 | 0,13 | 0,40 | 0,43 | 0,10 | 0,56 | 0,37 | 0,28 | 0,50 | 0,25 | 0,22 | 0,55 | 0,43 | 0,42 |
| Behenová | C 22:0 | 0,13 | 0,36 | 0,15 | 0,04 | 0,30 | 0,07 | 0,98 | 0,21 | 0,82 | 0,08 | 0,29 | 0,12 | 0,14 |
| Lignocerová | C 24:0 | 0,08 | 0,13 | 0,18 | 0,02 | 0,13 | 0,08 | 0,36 | 0,11 | 0,34 | 0,00 | 0,13 | 0,05 | 0,08 |

Tabulka 18 - Obsah nenasycených mastných kyselin u tuků a olejů

| Nenasycené mastné kyseliny (%) | Lněný olej | Sójový olej | Kukuřičný olej | Olej z vlašských ořechů | Řepkový olej - 2 | Palmový olej | Fritovací olej | Olivový olej z pokrutin | Slunečnicový olej | Vepřové sádlo | Řepkový olej - 1 | Extra virgin olive oil | Olivový olej |
|--------------------------------|------------|-------------|----------------|-------------------------|------------------|--------------|----------------|-------------------------|-------------------|---------------|------------------|------------------------|--------------|
| Hexadecenová | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,06 |
| Palmitolejová | 0,08 | 0,07 | 0,10 | 0,08 | 0,21 | 0,21 | 0,12 | 0,94 | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,10 | 0,08 |
| Hexadecenová | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| Heptadecenová | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,07 | 0,04 | 0,05 | 0,13 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,02 |
| Oktadecenová | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,05 | 0,30 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,03 |
| Olejová | 15,73 | 22,63 | 30,68 | 13,68 | 61,73 | 42,63 | 72,14 | 67,81 | 33,67 | 15,73 | 22,63 | 30,68 | 13,68 |
| Askepová | 0,81 | 1,22 | 0,61 | 0,86 | 2,91 | 0,83 | 0,76 | 2,07 | 0,68 | 0,81 | 1,22 | 0,61 | 0,86 |
| Oktadekadienová | 0,06 | 0,04 | 0,17 | 0,48 | 0,03 | 0,04 | 0,18 | 0,06 | 0,46 | 0,06 | 0,04 | 0,17 | 0,48 |
| Linolová | 44,01 | 52,81 | 52,77 | 61,01 | 18,62 | 12,51 | 16,91 | 11,33 | 53,73 | 44,01 | 52,81 | 52,77 | 61,01 |
| Oktadekatrienová | 0,11 | 0,02 | 0,06 | 0,70 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,11 | 0,02 | 0,06 | 0,70 | 0,04 |
| α -Linolenová | 28,57 | 6,75 | 0,92 | 12,50 | 7,59 | 0,37 | 0,12 | 0,73 | 28,57 | 6,75 | 0,92 | 12,50 | 7,59 |
| Ikosenová | 0,02 | 0,19 | 0,29 | 0,63 | 1,19 | 0,18 | 0,25 | 0,34 | 0,02 | 0,19 | 0,29 | 0,63 | 1,19 |

Tabulka 19 - Celkové složení mastných kyselin u tuků a olejů

| Celkové složení mastných kyselin | Lněný olej | Sójový olej | Kukuřičný olej | Olej z vlašských ořechů | Řepkový olej - 2 | Palmový olej | Fritovací olej | Olivový olej z pokrutin | Slunečnicový olej | Vepřové sádlo | Řepkový olej - 1 | Extra virgin olive oil | Olivový olej |
|--|-----------------------|------------------------|---------------------------|--|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|--|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| Nasyčené | 10,52 | 16,17 | 14,30 | 9,94 | 7,40 | 43,11 | 9,38 | 16,12 | 11,01 | 40,36 | 7,41 | 13,69 | 16,38 |
| Nenasycené | 89,48 | 83,83 | 85,70 | 90,06 | 92,60 | 56,89 | 90,62 | 83,88 | 88,99 | 59,64 | 92,59 | 86,31 | 83,62 |
| Poměr nenasycených ku nasyčeným | 8,51 | 5,18 | 5,99 | 9,06 | 12,51 | 1,32 | 9,66 | 5,20 | 8,08 | 1,48 | 12,50 | 6,30 | 5,11 |
| Monoenové | 16,71 | 24,17 | 31,76 | 15,34 | 66,28 | 43,94 | 73,35 | 71,44 | 34,67 | 46,66 | 65,77 | 77,28 | 74,03 |
| Polyenové | 72,58 | 59,56 | 53,69 | 73,51 | 26,21 | 12,88 | 17,03 | 12,06 | 53,81 | 12,63 | 26,33 | 8,96 | 9,46 |
| Trans-isomery | 0,19 | 0,10 | 0,25 | 1,21 | 0,11 | 0,07 | 0,24 | 0,38 | 0,51 | 0,35 | 0,49 | 0,07 | 0,13 |

5.2 Počáteční rychlost oxidace

V Tabulce 20 je uveden nárůst peroxidového čísla v průběhu skladování a dále je zde také uvedena počáteční rychlost oxidace sledovaných olejů a tuků.

Tabulka 20 - Změny peroxidového čísla v průběhu skladování a počáteční rychlosti oxidace tuků a olejů

| Vzorky | Peroxidové číslo (mEq O ₂ /kg) | | | Počáteční rychlost oxidace (mEq O ₂ /kg/dny) | r |
|----------------------------|--|--------------|--------------|---|-------|
| | Doba skladování (dny) | | | | |
| | 0 | 7 | 14 | | |
| Lněný olej | 1,01 ± 0,00 | 2,81 ± 0,09 | 5,01 ± 0,01 | 0,257 ± 0,011 | 0,995 |
| Sójový olej | 6,27 ± 0,33 | 7,22 ± 0,01 | 10,21 ± 0,04 | 0,135 ± 0,030 | 0,806 |
| Kukuřičný olej | 4,39 ± 0,07 | 4,67 ± 0,01 | 4,95 ± 0,07 | 0,038 ± 0,002 | 0,891 |
| Olej z vlašských ořechů | 6,96 ± 0,03 | 18,45 ± 0,05 | 33,45 ± 0,07 | 1,641 ± 0,007 | 0,999 |
| Řepkový olej - 2 | 9,62 ± 0,07 | 17,33 ± 0,06 | 24,00 ± 0,06 | 1,026 ± 0,018 | 0,998 |
| Palmový olej | 2,62 ± 0,07 | 4,56 ± 0,02 | 7,24 ± 0,04 | 0,277 ± 0,003 | 0,997 |
| Fritovací olej | 3,45 ± 0,02 | 4,98 ± 0,02 | 7,69 ± 0,08 | 0,217 ± 0,003 | 0,999 |
| Olivový olej z pokrutin | 2,30 ± 0,03 | 2,27 ± 0,02 | 4,84 ± 0,01 | 0,068 ± 0,004 | 0,985 |
| Slunečnicový olej | 3,92 ± 0,02 | 5,71 ± 0,04 | 12,81 ± 0,01 | 0,255 ± 0,005 | 0,998 |
| Vepřové sádlo | 3,20 ± 0,02 | 3,78 ± 0,15 | 5,29 ± 0,01 | 0,084 ± 0,019 | 0,882 |
| Řepkový olej -1 | 1,15 ± 0,02 | 1,91 ± 0,06 | 2,92 ± 0,00 | 0,109 ± 0,007 | 0,987 |
| Extra virgin olive oil | 10,11 ± 0,00 | 13,92 ± 0,31 | 14,90 ± 0,03 | 0,543 ± 0,040 | 0,986 |
| Olivový olej | 11,42 ± 0,01 | 14,31 ± 0,16 | 18,65 ± 0,12 | 0,412 ± 0,020 | 0,994 |

Pozn: Peroxidové číslo - aritmetický průměr ± směrodatná odchylka, n = 3, r - koeficient determinace, hodnota počáteční rychlosti oxidace ± směrodatná odchylka.

5.3 Vztah mezi složením studovaných tuků a olejů a jejich počáteční rychlostí oxidace

5.3.1 Jednoduchá korelační analýza

Na základě publikovaných výsledků jednotlivých studií (Arranz et al. 2008; Krichene et al. 2010; Sabolová et al. 2017; Li et al. 2018; Gao et al. 2019, Lebedová 2019), které se zabývaly oxidační stabilitou tuků, či olejů, byly pomocí jednoduché korelační analýzy otestovány tyto vstupní parametry: peroxidové číslo, antioxidační kapacita, číslo kyselosti, složení mastných kyselin, celkový obsah tokoferolů a tokotrienolů a obsah jednotlivých tokoferolů. Vztah mezi složením studovaných tuků a olejů a jejich počáteční rychlostí oxidace byl testován prostřednictvím Pearsonova korelačního koeficientu viz Tabulka 21. Data byla analyzována ve statistickém programu SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), počítačovém programu MS Excel a regresní analýzou (Hindls et al. 2006; Dodge 2008).

Tabulka 21 - Hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu mezi počáteční rychlostí oxidace a parametry tuků a olejů

| Parametr | Korelační koeficient |
|--|----------------------|
| Peroxidové číslo | 0,517* |
| Antioxidační kapacita | -0,188 |
| Číslo kyselosti | 0,127 |
| Celkový obsah tokoferolů a tokotrienolů | -0,199 |
| Obsah α - tokoferolu | -0,235 |
| Obsah β - tokoferolu | -0,005 |
| Obsah γ - tokoferolu | 0,020 |
| Obsah δ - tokoferolu | -0,139 |
| Obsah polyenových MK | 0,289 |
| Poměr polyenových a nasycených MK | 0,453 |
| Obsah kyseliny olejové | -0,180 |
| Obsah kyseliny linolové | 0,245 |
| Obsah α - linolenové kyseliny | 0,273 |
| Poměr olejové a linolové kyseliny | -0,089 |
| Obsah nasycených mastných kyselin | -0,288 |
| Obsah nenasycených mastných kyselin | 0,288 |
| Poměr nenasycených a nasycených mastných kyselin | 0,375 |

Pozn.: * $p = 0,05$; MK – mastné kyseliny

Z výsledků korelační analýzy vyplynul statisticky významný vztah mezi počáteční rychlostí oxidace a hodnotou peroxidového čísla ($r = 0,517$, $p = 0,05$) (Eckschlager et al. 1980). Naopak žádný statistický významný vztah nevyplynul z celkové antioxidační kapacity, která byla stanovena pomocí DPPH, celkovým obsahem tokoferolů a tokotrienolů, obsahem α -, β -, γ -, δ -tokoferolů, obsahem polyenových mastných kyselin a poměrem polyenových a nasycených mastných kyselin, obsahem kyseliny olejové a linolové. Obsah kyseliny α -linolenové také nekoreloval s počáteční rychlostí oxidace. U nasycených a nenasycených mastných kyselin nebyla zjištěna žádná významná korelace s počáteční rychlostí oxidace.

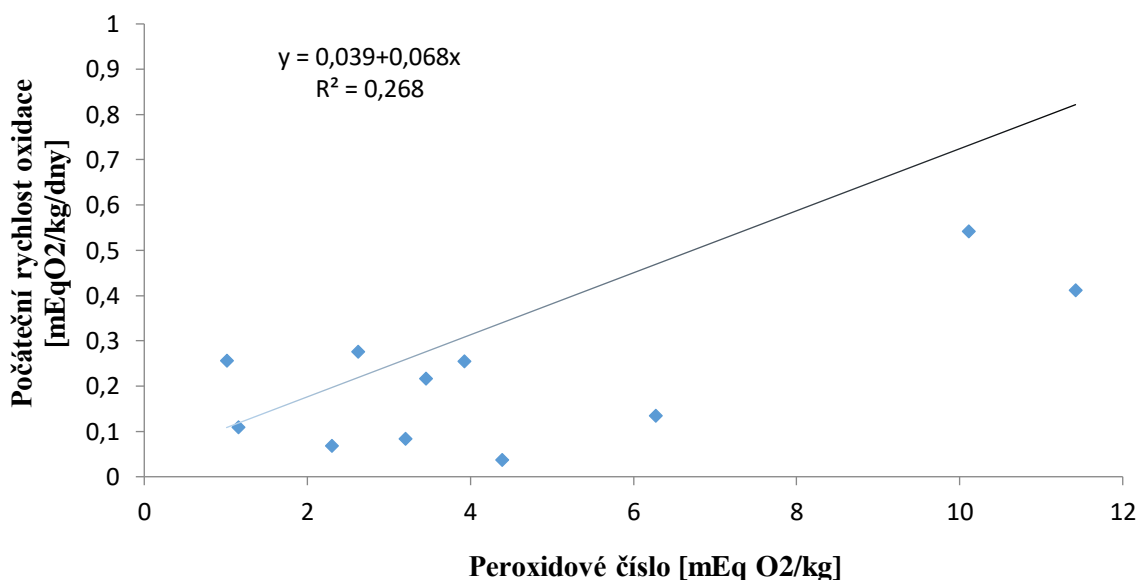
Poměr nenasycených nasycených mastných kyselin také nekoreluje s počáteční rychlostí oxidace. Za významný faktor, který ovlivňuje rychlost oxidace lze považovat peroxidové číslo.

5.3.2 Jednoduchá regresní analýza

Na základě výsledků jednoduché korelační analýzy byla provedena regresní analýza mezi počáteční rychlostí oxidace a peroxidovým číslem, viz Tabulka 22 a Graf 1.

Tabulka 22 - Lineární regresní analýza s počáteční rychlostí oxidace

| Proměnná | Regresní rovnice | Koeficient determinace | P-hodnota F-testu | Významnost konstanty |
|------------------|----------------------|------------------------|-------------------|----------------------|
| Peroxidové číslo | $y = 0,039 + 0,068x$ | 0,268 | 0,070 | 0,853 |



Obrázek 6 - Závislost počáteční rychlosti oxidace na peroxidovém čísle

Z výsledků jednoduché regresní analýzy mezi počáteční rychlostí oxidace a peroxidovým číslem vyplývá, že model s konstantou (počáteční rychlost oxidace) není statisticky významný (p-hodnota 0,070). Z t-testů vyplývá, že konstanta není statisticky signifikantní (p-hodnota 0,853) a do modelu nepatří. Z toho důvodu byla provedena regresní analýza bez konstanty viz Tabulka 23 (Hindls et al. 2006).

Regresní model, kde je pouze peroxidové číslo bez konstanty, je statisticky signifikantní (p-hodnota 0,001). Peroxidové číslo vysvětluje 58,7 % variability počáteční rychlosti oxidace.

Tabulka 23 - Lineárně regresní analýza bez konstanty

| Proměnná | Regresní rovnice | Koeficient determinace | p-hodnota F-testu |
|------------------|------------------|------------------------|-------------------|
| Peroxidové číslo | $y = 0,074x$ | 0,587 | 0,001 |

Výsledný regresní model tedy je $y = 0,074x$. Znamená to tedy, že pokud peroxidové číslo vzroste o jednotku, pak se počáteční rychlost oxidace zvýší o 0,074.

Jednoduchá regresní analýza neposkytla dostatečný přesný výsledek a bude zapotřebí použít vícerozměrnou korelační a regresní analýzu, protože počáteční rychlost oxidace závisí na mnoha faktorech zároveň (např. peroxidovém čísle a obsahu kyseliny olejové, obsahu antioxidantů apod.) (Hindls et al. 2006).

6 Diskuze

6.1 Složení studovaných tuků a olejů

6.1.1 Složení mastných kyselin

Složení mastných kyselin u vzorků analyzovaných v této práci bylo porovnáno s odbornou literaturou (Velíšek & Hajšlová 2009; Velíšek 2014; Zehnálek & Kraus 2019). Bylo zjištěno, že složení mastných kyselin pro jednotlivé sledované oleje je zcela typické, nebyly nalezeny žádné velké rozdíly při srovnání s odbornou literaturou, která se touto problematikou zabývá.

6.1.2 Porovnání čísla kyselosti

Srovnáním maximálních hodnot čísla kyselosti pro jedlé tuky a oleje se zabývá Vyhláška č. 90/2000 sb., která stanovuje jednotlivé limity. Pro oleje lisované za studena je stanovena maximální hodnota čísla kyselosti 4,0 mg KOH/g vzorku a pro rafinované tuky, či oleje, činní maximální hodnota 0,6 mg KOH/g vzorku. Tato vyhláška však není od roku 2003 platná. Z tohoto důvodu jsou tyto legislativní limity brány pouze jako doporučení. V této práci byla nejvyšší hodnota čísla kyselosti naměřena u lněného a sójového oleje, což může být způsobeno tím, že se jednalo o oleje lisované za studena, ale limity čísla kyselosti splňují. Ostatní oleje byly získány rafinací, která snižuje obsah volných mastných kyselin v tucích, či olejích (Frankel et al. 2012). Z jednotlivých naměřených hodnot vyplývá, že všechny analyzované vzorky splňují dané limity.

Pro porovnání čísla kyselosti u olivových olejů bylo použito Nařízení komise č. 2568/91 pro olivový olej. Kyselost je uváděna v tomto nařízení v hmotnostních % a vyjadřuje maximální podíl volných mastných kyselin v olivovém oleji. U extra panenského olivového oleje nařízení uvádí, že by hodnota kyselosti měla být do 0,8 % a u panenského olivového oleje by neměla přesáhnout hranici 2 %, u rafinovaného olivového oleje a rafinovaného olivového oleje z pokrutin by měla být kyselost $\leq 0,3$ % a pro olivový olej z pokrutin a olivový olej složený z rafinovaných olivových olejů a panenských olivových olejů platí limit pro kyselost $\leq 1,0$ %. Námi stanovený vzorek Extra panenského olivového oleje po přepočtení našich výsledků (0,49 %) tuto hodnotu nepřekročil a splňuje tuto legislativu. Olivový olej z pokrutin (0,25 %) i olivový olej (na pečení) (0,27 %) požadavky daného nařízení taktéž splňují.

6.1.3 Peroxidové číslo

V současné době neexistuje platná legislativa, ve které by bylo limitováno peroxidové číslo. Z tohoto důvodu byly hodnoty porovnány se starou Vyhláškou č. 90/2000 Sb., která již není platná a bylo zjištěno, že žádný ze vzorků nepřekračuje limity stanovené danou vyhláškou (max. 10,0 mEq O₂/kg, pro oleje lisované zastudena max. 15,0 mEq O₂/kg). Srovnáním peroxidového čísla jednotlivých olivových olejů s Nařízením Evropské komise č. 2568/91 pro olivový olej nebylo zjištěno překročení daných limitů (≤ 20 mEq O₂/kg pro extra panenský a panenský olivový olej, ≤ 15 mEq O₂/kg olivový olej z pokrutin a olivový olej složený

z rafinovaných a panenských olivových olejů, ≤ 5 mEq O₂/kg pro rafinovaný olivový olej a rafinovaný olivový olej z pokrutin).

6.1.4 Antioxidační kapacita

Nejvyšší antioxidační kapacita byla naměřena u olivového oleje z pokrutin, naopak nejnižší hodnota byla zjištěna u vepřového sádla. Získané výsledky byly porovnány s odborným článkem dle Sabolová et al. (2017). Shoda mezi výsledky byla zjištěna u slunečnicového, palmového, sójového a kukuřičného oleje. Naše výsledky se také shodují se studií dle Fišnar et al. (2019) a to u těch olejů: z vlašských ořechů, slunečnicového, sójového, řepkového - 1, řepkového - 2, kukuřičného, palmového a olivového oleje. Jednotlivá data lze porovnávat s odbornou literaturou jen omezeně z důvodu různého vyjádření výsledků v různých jednotkách a různých použitých metod pro stanovení antioxidační kapacity v odborných člancích (Tuberoso et al. 2007; Bhatnagar et al. 2009; Valantina et al. 2015).

6.1.5 Porovnání obsahu tokoferolů

Nejvyšší obsah tokoferolů a tokotrienolů byl naměřen u sójového a kukuřičného oleje, naopak nejmenší obsah byl zjištěn u vepřového sádla. Jednotlivé obsahy α -, β -, γ - a δ -tokoferolů byly porovnány s odbornými články dle (Arranz et al. 2008; Cayuela & García 2017; Sabolová et al. 2017; Pazzoti et al. 2018; Gao et al. 2019) a výsledky této práce odpovídaly výsledkům jednotlivých studií až na pár výjimek. Lněný olej měl vyšší obsah β - a γ -tokoferolu a nižší obsah δ -tokoferolu v porovnání s výsledky dle Pazzoti et al. (2018). U vlašského oleje byl zjištěn vyšší obsah β -tokoferolu a nižší obsah δ -tokoferolu ve srovnání s výsledky studie Gao et al. (2019). U palmového oleje byl zjištěn nižší obsah α -, β -, γ -, δ -tokoferolů oproti jejich obsahu v tomto oleji zjištěném Sabolovou et al. (2017). Extra panenský olivový olej obsahoval vyšší obsah α -tokoferolu a nižší obsah β - a γ -tokoferolu se srovnáním dle Sabolová et al. (2017).

Palmový olej patří mezi oleje s nejvyšším obsahem tokotrienolů (70 %) (Sen et al. 2010). Podle našich výsledků obsahuje palmový olej 65 % tokotrienolů, což je v souladu s tímto tvrzením. Srovnáním obsahu tokotrienolů u kukuřičného oleje dle Schwartz et al. (2008) bylo zjištěno, že náš stanovený vzorek kukuřičného oleje obsahuje vyšší obsah α -, β -, γ -tokotrienolů. Obsah tokotrienolů u ostatních vzorků nebyl porovnán z důvodu nedostatečného množství odborných článků, které se touto problematikou zabývají.

6.2 Počáteční rychlost oxidace u studovaných tuků a olejů

Rozdělení tuků dle počáteční rychlosti oxidace:

- Oxidačně odolné

Nejnižší počáteční rychlost byla naměřena u kukuřičného oleje a vepřového sádla. Do skupiny oxidačně odolných olejů lze zařadit i olej lněný, sójový, kukuřičný, palmový, fritovací olej, olivový olej z pokrutin, slunečnicový olej, vepřové sádlo a řepkový olej 1.

- Středně odolné

Do této kategorie lze zařadit extra paneský olivový olej, olivový olej (na pečení).

- Oxidačně nestabilní

Do skupiny oxidačně nestabilních olejů můžeme zařadit olej z vlašských ořechů a řepkový olej 2.

Na základě tohoto výzkumu nelze porovnat zjištěné výsledky se studiemi, které při stanovení používají zrychlené metody - Rancimat, Oxipress a jiné. Při zrychlených metodách se měří pouze indukční periody. Z tohoto důvodu nelze zjištěné výsledky porovnat. Zkoumané vzorky byly skladovány za běžných skladovacích podmínek, kdežto u vzorků zkoumaných zrychlenou metodou, byly skladovací podmínky urychleny (teplota, přístup kyslíku aj.) (Frankel et al. 2012; Sabolová et al. 2017; Pazzoti et al. 2018).

Výsledky počáteční rychlosti oxidace byly porovnány s výsledky oxidační stability stanovenou pomocí přístroje Rancimat dle studií Arranz et al. (2008); Sabolová et al. (2017); Maszewska et al. (2018) a Li et al. (2019). Například ve studii dle Sabolová et al. (2017) lze také tuky a oleje rozdělit na oxidačně odolné, středně odolné a oxidačně nestabilní. Publikované výsledky dle Sabolová et al. (2017) s naším rozdělením tuků do jednotlivých skupin souhlasí. Při srovnání se studií dle Maszewska et al. (2018) byla zjištěna shoda se zařazením kukuřičného oleje a řepkového oleje 1 do skupiny oxidačně odolných olejů. Zařazením sójového oleje do oxidačně stabilních olejů se shoduje se studií dle Li et al. (2019). Zařazení oleje z vlašských ořechů mezi oxidačně nestabilní bylo potvrzeno se studií dle Arranz et al. (2008). Porovnáním složení oleje z vlašských ořechů se dle stejné studie Arranz et al. (2008) zjistilo, že obsah kyseliny olejové se s naším vzorkem výrazně lišil, a naopak obsah kyseliny linolové byl stejný.

Složení řepkového oleje 2 se shoduje se studií dle Maszewska et al. (2018), která tvrdí, že tento olej je velice odolný vůči oxidaci, ale z našeho rozdělení vyplývá, že tento olej patří do skupiny oxidačně nestabilních olejů.

Výše uvedené rozdělení do skupin je pouze orientační, pro lepší zařazení je nutné vypracovat další studie, které se budou zabývat stanovením oxidační stability tuků a olejů za běžných skladovacích podmínek.

6.3 Vztah mezi složením studovaných tuků a olejů a jejich počáteční rychlostí oxidace

Na základě výsledků statistické analýzy bylo zjištěno, že rychlost oxidace závisí především na peroxidovém čísle. Z výsledků studie Sabolová et al. (2017), která stanovovala oxidační stabilitu tuků pomocí přístroje Oxipress vyplývá, že rychlost oxidace analyzovaných tuků a olejů byla nejvíce ovlivněna složením mastných kyselin, zejména poměrem olejové a linolenové kyseliny, což bylo vysledováno jako prodloužení indukční periody. Z této studie bylo také zjištěno, že antioxidační kapacita a peroxidové číslo také ovlivňují rychlost oxidace. V případě výsledků naší studie nebyl zjištěn žádný vliv složení mastných kyselin

a antioxidační aktivity na oxidační stabilitu tuků. Naopak byla zjištěna shoda u vlivu peroxidového čísla na oxidační stabilitu tuků a olejů jak v této studii, tak ve studii Sabolová et al. (2017). U studie Li et al. (2019), která stanovovala oxidační stabilitu tuků pomocí přístroje Rancimat bylo zjištěno, že se na oxidační stabilitě tuků a olejů podílí peroxidové číslo, číslo kyselosti a obsah mastných kyselin s krátkým řetězcem. Pokud porovnáme tuto studii s našimi výsledky, shodu nalezneme s tvrzením, že se peroxidové číslo podílí na oxidační stabilitě. Z výsledků naší studie nebylo zjištěno, že by se číslo kyselosti a obsah mastných kyselin s krátkým řetězcem podílely na rychlosti oxidace.

Ve studii Li et al. (2018) byla oxidační stabilita tuků a olejů stanovována pomocí Termogravimetrického analyzátoru. Z výsledků vyplynulo, že se na rychlosti oxidace nejvíce podílí složení jednotlivých mastných kyselin, a to v tomto pořadí – kyselina palmitová, kyselina olejová, linolová kyselina a kyselina linolenová. Ve srovnání s našimi výsledky nebyla nalezena žádná shoda, že by se nějaký z těchto stanovených parametrů podílel na rychlosti oxidace. Důležité je zmínit, že u studie Li et al. (2018) nebyla provedena statistická analýza, což pro porovnání s našimi výsledky nemusí být zcela objektivní. Jiný autor Krichene et al. (2010), který stanovoval oxidační stabilitu pomocí přístroje Rancimat zjistil, že se na rychlosti oxidace podílí hlavně přítomnost antioxidantů. Toto tvrzení potvrzuje i Sabolová et al. (2017) a studie dle Gao et al. (2019). Pokud porovnáme výsledky těchto studií s našimi výsledky, nebyly zjištěny žádné shody, což může být ovlivněno tím, že zkoumané vzorky tuků byly skladovány za normálních skladovacích podmínek.

Rychlost oxidace stoupá se zvyšujícím se peroxidovým číslem. Nárůst peroxidového čísla způsobují tzv. hydroxyperoxy, které vznikají při rozkladu mastných kyselin a jsou to primární produkty autooxidačních reakcí. Hydroperoxy jsou velice reaktivní a jejich reaktivita je ovlivněna teplotou, koncentrací kyslíku, velikostí povrchu vystaveného účinkům vzduchu, složením mastných kyselin, obsahem kyseliny olejové a linolové, přítomnosti antioxidantů atd. (Velíšek & Hajšlová 2009; Frankel et al. 2012). Pro porovnání našich výsledků byla použita studie Sabolová et al. (2017), ve které byla stanovena oxidační stabilita pomocí přístroje Rancimat. V dané studii bylo zjištěno, že se na rychlosti oxidace podílí peroxidové číslo a obsah složení mastných kyselin - linolová a olejová. Při porovnání s našimi výsledky nelze potvrdit, že by se na rychlosti oxidace podílelo složení mastných kyselin.

Na závěr lze konstatovat, že rozdíl mezi našimi zjištěnými výsledky a výsledky výše zmiňovaných autorů je v tom, že tito autoři používali zrychlené metody stanovení oxidační stability tuků či olejů, např. Rancimat, Oxipress a Termogravimetr. Vzhledem k tomu, že byl tento výzkum zaměřen na skladování tuků za normálních skladovacích podmínek, nelze výsledky objektivně porovnat. Do budoucna je důležité vypracovat větší množství studií, které se budou zabývat studiem skladování tuků za běžných skladovacích podmínek.

7 Závěr

Z výsledků této práce vyplývá následující:

- Stanovená hypotéza, že odolnost tuků a olejů vůči oxidaci v průběhu skladování lze predikovat s jejich složením, byla potvrzena.
- Složením mastných kyselin je pro stanové oleje zcela typické.
- Zjištěné hodnoty peroxidových čísel u jednotlivých olejů a tuků jsou v souladu s vyhláškou č. 90/ 2000 sb, která již neplatí, tudíž jsou výsledky brány pouze jako doporučené.
- Stanové hodnoty čísla kyselosti u jednotlivých olejů a tuku jsou v souladu s vyhláškou č. 90/2000 sb., která již neplatí, tudíž jsou výsledky brány pouze jako doporučené.
- Čísla kyselosti u olivových olejů byla porovnána s Nařízením Evropského parlamentu č.2568/91, z porovnání vyplynulo, že jednotlivé oleje splňují toto nařízení.
- Nejvyšší antioxidační kapacita byla naměřena u olivového oleje z pokrutin a nejnižší u vepřového sádla.
- Nejvyšší obsah tokoferolů a tokotrienolů byl naměřen u sójového a kukuřičného oleje, naopak nejmenší obsah byl zjištěn u vepřového sádla.
- Počáteční rychlost oxidace nelze zcela objektivně porovnávat s metodami, které stanovují tuky pomocí zrychlených skladovacích podmínek.
- Provedením korelační analýzy u jednotlivých proměnných s počáteční rychlostí oxidace, byla zjištěna pozitivní korelace u peroxidového čísla. U ostatních parametrů nebyla zjištěna statistická významnost.
- Z regresivní analýzy vyplynulo, že peroxidové číslo vysvětlované proměnné (počáteční rychlostí oxidace) má malou významnost. Z toho důvodu byla provedena regresní analýza bez počáteční rychlosti oxidace a z této analýzy vyplynulo, že významnost peroxidového čísla činí 58 %.

Z praktického hlediska je tato práce velice unikátní, protože se problematikou stanovením oxidační stability tuků a olejů za běžných skladovacích podmínek autoři nezabývají. Limitace této práce spočívá hlavně v použití malého počtu vzorků, proto by bylo dobré, aby budoucí autoři použili pro svá stanovení větší množství vzorků. Pro budoucí analýzy doporučuji použít oleje, které v této práci nebyly stanoveny např. kokosový, rýžový, hroznový. Statistickou analýzu doporučuji rozšířit o vícerozměrnou korelační a regresní analýzu, která by měla poskytnout lepší výsledky. V naší práci vícerozměrná korelační analýza použita nebyla, což je pro tuto práci limitující. Vzhledem k malému počtu aktuálních studií na toto téma, jak již bylo zmíněno výše, považuji výsledky této práce za vhodné podklady pro případné další autory, kteří by se v budoucnu zabývali oxidační stabilitou jednotlivých tuků, či olejů za běžných skladovacích podmínek.

8 Literatura

- Akoh C. 2017. Food lipids: Chemistry, nutrition, and biotechnology. CRC Press, Boca Raton.
- Akoh C, Min DB. 2008. Food lipids: Chemistry, nutrition, and biotechnology. CRC Press, Boca Raton.
- Arranz S, Cert R, Pérez-Jiménez J, Cert A, Saura-Calixto F. 2008. Comparison between free radical scavenging capacity and oxidative stability of nut oils. Food Chemistry **110**: 985-990.
- BfN. 2009. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, Germany.
- Bhatnagar A. S, Prasanth Kumar P. K, Hemavathy J, Gopala-Krishna A. G, 2009. Fatty Acid Composition, Oxidative Stability, and Radical Scavenging Activity of Vegetable Oil Blends with Coconut Oil. Journal of the American Oil Chemists' Society **86**: 991-999.
- Biermann U, Bornscheuer U, Meier M, Metzger J, Schäfer H. 2011. Oils and Fats as Renewable Raw Materials in Chemistry. Angewandte Chemie International Edition **50**: 3854-3871.
- Behera J, Sengupta A. 2014. Comprehensive view on chemistry, manufacturing & applications of lanolin extracted from wool pretreatment. American Journal of Engineering Research **3**:33-43.
- Brát J. 2014. Tuky a oleje. Sdružení českých spotřebitelů pro Českou technologickou platformu pro potraviny, Praha.
- Baysal T, Demirdöven A. 2007. Lipoxygenase in fruits and vegetables: A review. Enzyme and Microbial Technology **40**:491-496.
- Brát J, Panovská Z, Sahánek M, Váchová A. 2010. Porovnání sensorických a nutričních vlastností pokrmů připravených s různými tuky. Výživa a potraviny **6**:142-144.
- Belitz H, Grosch W, Schieberle P. 2009. Food chemistry. Springer, Berlin.
- Bell A, Gordon M, Jirasubkunakorn W, Smith K. 2007. Effects of composition on fat rheology and crystallisation. Food Chemistry **101**:799-805.
- Bowen-Forbes C, Goldson-Barnaby A. 2017. Fats. Pharmacognosy. Elsevier, Netherlands.

- Cayuela J, García J. 2017. Sorting olive oil based on alpha-tocopherol and total tocopherol content using near-infra-red spectroscopy (NIRS) analysis. *Journal of Food Engineering* **202**:79-88.
- Carrín M, Carelli A. 2010. Peanut oil: Compositional data. *European Journal of Lipid Science and Technology* **112**:697-707.
- Čepička J. 1995. *Obecná potravinářská technologie*. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha.
- Čuboň J, Haščík P, Kačániová M. 2012. *Hodnotenie surovín a potravín živočíšneho pôvodu*. Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra.
- ČSN EN ISO 660. 2015. *Živočišné a rostlinné tuky a oleje – Stanovení čísla kyselosti a kyselosti*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha.
- Damodaran S, Parkin K. 2017. *Fennema's food chemistry*. CRC Press, Boca Raton.
- Dodge Y. 2008. *The concise encyclopedia of statistics*. Springer, New York.
- Doležal, M. 2019. Ústní sdělení. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- Daun J, Cantrill R. 2012. *Process for development of standard methods for the analysis of fats, oils and lipids*. Elsevier, Netherlands.
- Devi A, Khatkar B. 2016. Physicochemical, rheological and functional properties of fats and oils in relation to cookie quality. *Journal of Food Science and Technology* **53**:3633-3641.
- Dunford N. 2019. *Chemistry of Rice Bran Oil*. Pages 1-18 in *Rice Bran and Rice Bran Oil*. Elsevier, Netherlands.
- EFSA. 2010. *Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol*. Available at <http://doi.wiley.com/10.2903/j.efsa.2010.1461>. (accessed March 25, 2020).
- Eckschlager K, Horsák I, Kodejš Z. 1980. *Vyhodnocování analytických výsledků a metod*, SNTL, Praha.

Evropská unie. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 2568/1991: ze dne 11. července 1991 o charakteristikách olivového oleje a olivového oleje z pokrutin a o příslušných metodách analýzy. In: 2568/91. 1991.

Evropská unie. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 29/2012: ze dne 13. ledna 2012 o obchodních normách pro olivový olej. In: 29/2012. 2012.

Fišnar J, Réblová Z. 2019. Nepublikované výsledky. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

Fišnar J, Sabolová M, Réblová Z. 2019. Relationship between tocopherols depletion and polymerised triacylglycerols formation during heating of vegetable oils. *Czech Journal of Food Sciences* **36**:441-451.

Frankel E. 2012. Lipid oxidation. Woodhead Publishing, Cambridge.

FAO. 2017. FAOSTAT: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Available from <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed 2019-09-19).

Feřteková V. 2000. Kosmetika v teorii a v praxi. Maxdorf, Praha.

Ghazani S, Marangoni A. 2016. Healthy Fats and Oils. Pages 1-10 in Reference Module in Food Science. Elsevier, Netherlands.

Gulla S, Waghray K. 2017. Effect of Storage on Physico-chemical Characteristics and Fatty Acid Composition of Selected Oil Blends. *Journal of Life Sciences* **3**:35-46.

Ghazani S, García-Llatas G, Marangoni A. 2014. Micronutrient content of cold-pressed, hot-pressed, solvent extracted and RBD canola oil: Implications for nutrition and quality. *European Journal of Lipid Science and Technology* **116**:380-387.

Gibney M. 2009. Introduction to human nutrition. Nutrition Society, London.

Goffman F, Möllers C. 2000. Changes in Tocopherol and Plastochromanol-8 Contents in Seeds and Oil of Oilseed Rape (*Brassica napus L.*) during Storage As Influenced by Temperature and Air Oxygen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **48**:1605-1609.

Gibson M, Newsham P. 2018. Lipids, Oils, Fats, and Extracts. Pages 323-340 in Food Science and the Culinary Arts. Elsevier, Netherlands.

Gordon M, Pokorný J, Yanishlieva N. 2001. Antioxidants in food: practical applications. Woodhead, Boca Ranton.

Gunstone F. 2011. Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses. Wiley-Blackwell, Hoboken.

Gao P, Liu R, Jin Q, Wang X. 2019. Comparative study of chemical compositions and antioxidant capacities of oils obtained from two species of walnut: *Juglans regia* and *Juglans sigillata*. Food Chemistry **279**:279-287.

Gao P, Liu R, Jin Q, Wang X. 2019. Comparison of solvents for extraction of walnut oils: Lipid yield, lipid compositions, minor-component content, and antioxidant capacity. LWT **110**:346-352.

Gunstone F, Harwood J, Dijkstra A. 2007. The lipid handbook. CRC Press, Boca Raton.

Gunstone F. 2006. Modifying lipids for use in food. Woodhead Publishing, Cambridge.

Harwood J, Frayn K, Murphy D, Michell R, Gurr M, Gurr M. 2016. Lipids: biology and health. John Wiley & Sons, Hoboken.

Hálková J, Rumišková M, Rieglová J. 2001. Analýza potravin. Straka, Újezd u Brna.

Choque B, Catheline D, Rioux V, Legrand P. 2014. Linoleic acid: Between doubts and certainties. Biochimie **96**:14-21.

Choe E, Min D. 2006. Mechanisms and Factors for Edible Oil Oxidation. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety **5**:169-18.

Christie W, Han X. 2010. Lipid Analysis. Woodhead Publishing, Boca Raton.

Ingr I. 1996. Technologie masa. Mendelova univerzita, Brno.

Jacobsen C. 2019. Oxidative Rancidity. Pages 261-269 in Encyclopedia of Food Chemistry. Elsevier, Netherlands.

Kenar J, Moser B, List G. 2017. Naturally Occurring Fatty Acids. Pages 23-82 in Fatty Acids. Elsevier, Netherlands.

Kleckerová A. 2014. Chemie potravin: laboratorní cvičení. Mendelova univerzita, Brno.

Knotová D. 2012. Možnosti použití vybraných tuků v závislosti na jejich fyzikálně chemických vlastnostech. [BSc. Thesis]. Mendelova univerzita, Brno.

- Kamal-Eldin A, Pokorný J. 2005. Analysis of lipid oxidation. AOCS Press, Champaign.
- Krichene D, Allalout A, Mancebo-Campos V, Salvador M, Zarrouk M, Fregapane G. 2010. Stability of virgin olive oil and behaviour of its natural antioxidants under medium temperature accelerated storage conditions. Food Chemistry **121**:171-177.
- Kovačiková B. 2008. Problematika stabilizace tukových základů kosmetických přípravků. [BSc. Thesis]. Vysoké učení technické, Brno.
- Kurian P. 2007. Commercial Crops Technology: Horticulture Science Series. New India Publishing. **8**:202-6.
- Larrañaga M, Lewis R, Lewis R, Hawley G. 2016. Hawley's condensed chemical dictionary. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Leray C. 2000. Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Li X, Li Y, Yang F, Liu R, Zhao C, Jin Q, Wang X. 2019. Oxidation degree of soybean oil at induction time point under Rancimat test condition: Theoretical derivation and experimental observation. Food Research International **120**:756-762.
- Li J, Liu J, Sun X, Liu Y. 2018. The mathematical prediction model for the oxidative stability of vegetable oils by the main fatty acids composition and thermogravimetric analysis. LWT **96**:51-57.
- Leray C. 2015. Lipids: nutrition and health. CRC Press, Boca Raton.
- Lusas E, Alam M, Clough R, Riaz M. 2012. Animal and Vegetable Fats, Oils, and Waxes. Pages 1323-1402 in Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology. Springer, Boston.
- Logan A, Nienaber U, Pan X. 2013. Lipid oxidation: Challenges in food systems. AOCS Press, Urbana Illinois.
- Lebedová, G.2019. Vztah mezi složením olejů a tuku a jejich odolnosti vůči oxidačním změnám. [BSc. Thesis]. Vysoká škola chemicko technologická, Praha.
- Ministerstvo zemědělství. 2016. Vyhláška č.397/2016 ze dne 2. prosince 2016 o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje. Pages 6261-6285 in Sbírka zákonů České republiky, 2016, částka 162. Česká republika.

Ministerstvo zemědělství č. 91/2000 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 330/1997 Sb., kterou se provádí §18 písm. a), d), j) a k) zákona č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, pro mléko a mléčné výrobky, zmrzlina a mražené krémy a jedlé tuky a oleje. Pages 1-10 in Sbírka zákonů České republiky 2000, částka 30. Česká republika.

Mikrolab Aarhus A/S. 2020. Mikrolab Oxipres – testing of the Oxidation Stability. Mikrolab. Available from <https://mikrolab.dk/> (accessed February 2020).

Maszewska M, Florowska A, Dłużewska E, Wroniak M, Marciniak-Lukasiak K, Żbikowska A. 2018. Oxidative Stability of Selected Edible Oils. *Molecules* **23**:1-12.

Mann J, Truswell AS. 2002. *Essentials of human Nutrition*. Oxford University Press, Oxford.

Matouš B. 2010. *Základy lékařské chemie a biochemie*. Galén, Praha.

Merrill A, Sandhoff K. 2002. Sphingolipids: metabolism and cell signaling. Pages 373-407 in *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes*. Elsevier, Netherlands.

Nam Y, Noh K, Roh E, Keum G, Lee Y, Lee K. 2014. Determination of Edible Vegetable Oil Adulterants in Sesame Oil Using ¹H Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *Analytical Letters* **47**:1190-1200.

Nollet L, Toldra F. 2015. *Handbook of Food Analysis*. CRC Press, Boca Raton.

Odstrčil J, Odstrčilová M. 2006. *Chemie potravin*. Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, Brno.

Pazzoti G, Souza C, Veronezi C, Luzia D, Jorge N. 2018. Evaluation of Oxidative Stability of Compound Oils under Accelerated Storage Conditions. *Brazilian Archives of Biology and Technology* **61**:1-12.

Pánek J. 2002. *Základy výživy*. Svoboda Servis. Praha.

Pérez H, Disalvo A, Frías M. 2019. Effect of cholesterol on the surface polarity and hydration of lipid interphases as measured by Laurdan fluorescence: New insights. *Colloids and Surfaces Biointerfaces* **178**:346-351.

Raederstorff D, Elste V, Aebischer C, Weber P. 2002. Effect of either Gamma-Tocotrienol or a Tocotrienol Mixture on the Plasma Lipid Profile in Hamsters. *Annals of Nutrition and Metabolism*. **46**:17-23.

Rabasco Alvarez A, González Rodríguez M. 2000. Lipids in pharmaceutical and cosmetic preparations. *Grasas y Aceites* **51**:74-96.

Réblová, Z. 2019. Ústní sdělení. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

Sabolová M, Johanidesová A, Hasalíková E, Fišnar J, Doležal M, Réblová Z. 2017. Relationship between the composition of fats and oils and their oxidative stability at different temperatures, determined using the Oxipres apparatus. *European Journal of Lipid Science and Technology* **119**:1-9.

Sen CK, Rink C, Khanna S. 2010. Palm Oil–Derived Natural Vitamin E α -Tocotrienol in Brain Health and Disease. *Journal of the American College of Nutrition* **29**:314-323.

Shahidi F, Zhong Y. 2010. Lipid oxidation and improving the oxidative stability. *Chemical Society Reviews* **39**:467-479.

Schwartz H, Ollilainen V, Piironen V, Lampi A-M. 2008. Tocopherol, tocotrienol and plant sterol contents of vegetable oils and industrial fats. *Journal of Food Composition and Analysis* **21**:152-161.

Shahidi F, Camargo A. 2016. Tocopherols and Tocotrienols in Common and Emerging Dietary Sources: Occurrence, Applications, and Health Benefits. *International Journal of Molecular Sciences* **17**:1-29.

Sikorski Z, Kołakowska A. 2011. Chemical, biological, and functional aspects of food lipids. CRC Press, Boca Raton.

Skibsted L, Risbo J, Andersen M. 2010. Chemical deterioration and physical instability of food and beverages. CRC Press, Boca Raton.

Stratil P. 1993. ABC zdravé výživy: Populárně odborné pojednání o základních oblastech výživy pro každého, koho zajímá zdraví a chce se zdravě stravovat. ABC, Brno.

Trojáková L. 2001. Studium vybraných přírodních antioxidantů. Disertační práce. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha.

Tuberoso G, Kowalczyk A, Sarritzu E, Cabras P. **2007**. Determination of antioxidant compounds and antioxidant activity in commercial oilseeds for food use. *Food Chemistry* **103**: 1494-1501.

Thanh T, Vergnes M, Kaloustian J, El-Moselhy T, Amiot-Carlin M, Portugal H. 2006. Effect of storage and heating on phytosterol concentrations in vegetable oils determined by GC/MS. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **86**:220-225.

Vaclavik V, Christian E. 2014. *Essentials of Food Science*. Springer, New York.

Vaclavik V, Christian E. 2008. *Essentials of Food Scienc*. Springer, New York.

- Velíšek J. 2014. The chemistry of food. Wiley Blackwell, United Kingdom.
- Valantina R, Neelamegam P. 2015. Selective ABTS and DPPH-radical scavenging activity of peroxide from vegetable oils. *International Food Research Journal* **22**:284-291.
- Velíšek J, Hajšlová J. 2009. *Chemie potravin*. OSSIS, Tábor.
- Wallace T. 2018. Health Effects of Coconut Oil-A Narrative Review of Current Evidence. *Journal of the American College of Nutrition* **38**:97-107.
- West R, Rousseau D. 2016. Crystallization and rheology of palm oil in the presence of sugar. *Food Research International* **85**:224-234.
- Wolf A, Horáček J, Emberger O. 1985. *Hygiena výživy: celostátní vysokoškolská učebnice pro studenty Lékařské fakulty hygienické Univerzity Karlovy v Praze*, Avicenum, Praha.
- WHO. 2015. WHO: Code of practice for the storage and transport of edible fats and oils in bulk. Available from <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/codes-of-practice/en/> (accessed November 2019).
- Wong D. 2017. *Mechanism and theory in food chemistry*. Springer, New York.
- Yoshida Y, Niki E, Noguchi N. 2003. Comparative study on the action of tocopherols and tocotrienols as antioxidant: chemical and physical effects. *Chemistry and Physics of Lipids* **123**:63-75.
- Zajíc J, Bareš M. 1987. *Chemie a technologie tuků*. VŠCHT, Praha.
- Zehnálek P, Kraus P. 2019. Seznam doporučených odrůd řepky olejky ozimé 2019. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.
- Zakaria El-Sayed H, Mowafi S, Abou El-Kheir A, Elkhatib E. 2018. A Comprehensive Critique on Wool Grease Extraction, Properties and Applications. *Egyptian Journal of Chemistry* **61**:840-850.
- Žáček Z, Žáček A. 1994. *Potravinářské tabulky* edition. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.

9 Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 - Přehled nasycených mastných kyselin (Matouš 2010)..... | 8 |
| Tabulka 2 - Přehled monoenových mastných kyselin (Velíšek 2014)..... | 9 |
| Tabulka 3 - Přehled a zdroje polynenasycených mastných kyselin (Mann & Truswell 2002) | 10 |
| Tabulka 4 - Obsah cholesterolu a fytoosterolů (mg/100 g) ve vybraných potravinách..... | 13 |
| Tabulka 5 - Zastupení mastných kyselin v (%) v hlavních živočišných tucích (Velíšek 2014)..... | 14 |
| Tabulka 6 - Zastoupení mastných kyselin (%) ve vybraných rostlinných olejích (Ghazani & Marangoni 2016) | 17 |
| Tabulka 7 - Vybrané metody pro stanovení oxidace tuků, či olejů (Frankel 2012; Logan et al. 2013)..... | 32 |
| Tabulka 8 - Vybrané metody pro měření oxidační stability oleje nebo tuku (Kamal-Eldin & Pokorný 2005; Skibsted et al. 2010)..... | 33 |
| Tabulka 9 - Hodnoty Spearmanova korelačního koeficientu popisující vztah mezi indukční periodou při teplotě 80, 100 a 120 °C a vybranými faktory charakterizující složení jedlých olejů a tuků..... | 36 |
| Tabulka 10 - Složení mastných kyselin u jednotlivých olejů (% celkového obsahu mastných kyselin (Li et al. 2018)..... | 39 |
| Tabulka 11 - Seznam analyzovaných vzorků | 40 |
| Tabulka 12 - Pracovní názvy olejů..... | 41 |
| Tabulka 13 - Parametry nástřiku mastných kyselin | 43 |
| Tabulka 14 - Podmínky měření při HPLC pro stanovení tokoferolů a tokotrienolů | 44 |
| Tabulka 15 - Hodnoty čísla kyselosti, antioxidační kapacity a peroxidového čísla | 50 |
| Tabulka 16 - Obsah tokoferolů a tokotrienolů v analyzovaných tucích a olejích | 51 |
| Tabulka 17 - Obsah nasycených mastných kyselin u tuků a olejů..... | 52 |
| Tabulka 18 - Obsah nenasycených mastných kyselin u tuků a olejů..... | 53 |
| Tabulka 19 - Celkové složení mastných kyselin u tuků a olejů..... | 54 |
| Tabulka 20 - Změny peroxidového čísla v průběhu skladování a počáteční rychlosti oxidace tuků a olejů..... | 55 |
| Tabulka 21 - Hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu mezi počáteční rychlostí oxidace a parametry tuků a olejů..... | 56 |
| Tabulka 22 - Lineární regresní analýza s počáteční rychlostí oxidace | 57 |
| Tabulka 23 - Lineárně regresní analýza bez konstanty | 57 |

10 Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 - Chemická struktura tokoferolů | 11 |
| Obrázek 2 - Strukturní vzorec β -karotenu | 12 |
| Obrázek 3 - Fáze radikálové řetězové reakce (Gordon et al. 2001) | 25 |
| Obrázek 4 - Iniciační kroky radikálové reakce (Damodaran & Parkin 2017)..... | 26 |
| Obrázek 5 - Indukční periody (Frankel 2012) | 31 |
| Obrázek 6 - Závislost počáteční rychlosti oxidace na peroxidovém čísle | 57 |