

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Nutriční hodnota ovesného oleje a jeho stabilita vůči  
oxidaci**

**Bakalářská práce**

**Šárka Jonášová**

**Výživa a potraviny**

**prof. Ing. Lenka Kouřimská, Ph.D.**

© 2023 ČZU v Praze



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Nutriční hodnota ovesného oleje a jeho stabilita vůči oxidaci" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 19. 04. 2023

---

Šárka Jonášová

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala paní prof. Ing. Lence Kouřimské, Ph.D., za cenné připomínky, odborné rady, čas a trpělivost při zpracování mé bakalářské práce. Poděkování patří i mé rodině a přátelům za trpělivost a podporu, kterou mi poskytovali po celou dobu studia.

# Nutriční hodnota ovesného oleje a jeho stabilita vůči oxidaci

## Souhrn

Oves je jednoletá rostlina, která patří do čeledi lipnicovitých. Je zdrojem bílkovin, škrobu, nenasycených mastných kyselin, vlákniny, mikroživin a antioxidantů. Tato práce je založená na literární rešerši s cílem zhodnotit oxidační stabilitu ovesného oleje oproti ostatním obilovinám.

Oves má nejvyšší obsah lipidů ze všech obilovin a je považován za dobrý zdroj polyenových mastných kyselin, přičemž minimálně 75 % lipidů tvoří nenasycené mastné kyseliny a z nichž polovina je esenciálních. Složení mastných kyselin je jedním z předpokladů oxidační stability lipidů, přičemž nejvíce náchylná je linolenová kyselina, následovaná linolovou a olejovou kyselinou. Složení mastných kyselin v ovsu je tvořeno převážně linolovou, olejovou a palmitovou kyselinou. Oves společně s rýží a čirokem obsahuje menší množství linolové a linolenové kyseliny, ale větší množství olejové kyseliny než pšenice, ječmen, triticales, proso a kukuřice.

Oves je zdrojem mnoha antioxidantů jako jsou vitamin E, fytová kyselina, fenolové sloučeniny a avenanthramidy, v menší míře flavonoidy a steroly. Předpokládá se, že tyto látky pomáhají stabilizovat tuky a oleje proti oxidaci a zároveň mají různé zdravotní účinky. Antioxidanty mají schopnost darovat atom vodíku nebo elektron, chelatovat ionty kovů nebo vychytávat volné radikály a tím mohou zpomalit či zastavit oxidaci mastných kyselin. Obsah antioxidantů může záviset na odrůdě ovsu, může být ovlivněn i typem použitého extrakčního rozpouštědla a typem stanovení. Záviset může i na způsobu zpracování, jelikož celozrnné mouky mají více antioxidantů než mouky bílé. Pohanka měla vyšší antioxidační aktivitu a obsah fenolových látek a celkový obsah antioxidantů než obiloviny.

Oxidace lipidů je nežádoucí, protože negativně ovlivňuje sensorické vlastnosti, nutriční hodnotu ale také trvanlivost výrobků. Oxidace může být buď enzymatická, kdy hydrolyza je způsobena enzymy, lipázami, které se uvolňují při poškození buněk a rozkládají acylglyceroly na volné mastné kyseliny, nebo může být způsobena autooxidací. Volné mastné kyseliny jsou dále přeměňovány na hydroxperoxy a poté na epoxy- a hydroxymastné kyseliny, které jsou pravděpodobně příčinou hořké chuti.

Stabilita olejů a tuků lze měřit buď sensoricky nebo pomocí chemických analýz jako je stanovení obsahu volných mastných kyselin, čísla kyselosti, peroxidového čísla nebo množství hexanalů. Důležitou roli pro stabilitu ovsu a ovesných výrobků hraje způsob zpracování, ale také podmínky skladování. Tepelné ošetření ovsu inaktivuje enzymy jako je lipáza, což zastavuje enzymatickou oxidaci. Nicméně neenzymatická oxidace může stále probíhat a degradace antioxidantů při teplem zpracování ji může zvýšit. Avšak většina studií uvádí, že tepelně ošetřené vzorky obilovin měly lepší oxidační stabilitu než neošetřené. Podle literatury nelze určit, zda oves má lepší oxidační stabilitu než ostatní obiloviny, protože vzorky nebyly testovány za stejných podmínek a stabilita může být ovlivněna mnoha faktory.

Oves může snižovat riziko kardiovaskulárních onemocnění a cukrovky, může pomáhat s regulací váhy a správnou funkcí střev a také působit preventivně na vznik nádorových onemocnění. Ovesné  $\beta$ -glukany mohou zpomalit vstřebávání glukózy a snížit postprandiální

hladinu glukózy v krvi, ale také snižují celkový a LDL cholesterol. Avenanthramidy mají protizánětlivé a vasodilatační účinky, které mohou přispívat ke snížení rizika ischemické choroby srdeční. Studie naznačují, že oves může snížit riziko několika zánětlivých onemocnění, pokud bude pravidelně zařazován do stravy.

**Klíčová slova:** Oves, lipidy, mastné kyseliny, antioxidanty, antioxidační aktivita

# Nutritional value of oat oil and its stability against oxidation

## Summary

Oat is an annual plant belonging to the family of Poaceae. It is a source of protein, starch, unsaturated fatty acids, fiber, micronutrients, and antioxidants. This work is based on literature review with the aim of evaluating the oxidative stability of oat oil compared to other cereals.

Oat has the highest lipid content of all cereals and is considered a good source of polyunsaturated fatty acids, with at least 75 % of the lipids being unsaturated fatty acids, half of which are essential. The composition of fatty acids is one of the predictors of the oxidative stability of lipids, with linolenic acid being the most susceptible, followed by linoleic and oleic acids. The fatty acid composition in oats is mainly composed of linoleic, oleic, and palmitic acid. Oats, together with rice and sorghum, contain a lower amount of linoleic and linolenic acid but a higher amount of oleic acid than wheat, barley, triticale, millet, and corn.

Oats are a source of many antioxidants such as vitamin E, phytic acid, phenolic compounds, and avenanthramides, as well as flavonoids and sterols to a lesser extent. It is believed that these compounds help stabilize fats and oils against oxidation while also having various health benefits. Antioxidants have the ability to donate a hydrogen atom or electron, chelate metal ions, or scavenge free radicals, thereby slowing down or stopping the oxidation of fatty acids. The content of antioxidants may depend on the variety of oats and can also be influenced by the type of extraction solvent and method of determination. It may also depend on the processing method, as whole-grain flours have more antioxidants than white flours. Buckwheat had higher antioxidant activity and phenolic content and total antioxidant content than other cereals.

Lipid oxidation is undesirable because it negatively affects sensory properties, nutritional value, and shelf life of products. Oxidation can be either enzymatic, where hydrolysis is caused by enzymes, lipases, which are released when cells are damaged and break down acylglycerols into free fatty acids, or it can be caused by auto-oxidation. Free fatty acids are further converted to hydroperoxides and then to epoxy- and hydroxyfatty acids, which are likely the cause of the bitter taste.

The stability of oils and fats can be measured either sensorially or through chemical analysis such as determination of the content of free fatty acids, acidity value, peroxide value, or hexanal amount. The processing method and storage conditions play an important role in the stability of oats and oat products. Thermal treatment of oats inactivates enzymes such as lipase, which stops enzymatic oxidation. However, non-enzymatic oxidation may still occur and degradation of antioxidants during thermal processing may increase it. Nevertheless, most studies indicate that thermally treated grain samples had better oxidative stability than untreated ones. According to literature, it is not possible to assess whether oats are more stable than other cereals, because samples were not tested under the same conditions and stability can be influenced by many factors.

Oats can reduce the risk of cardiovascular diseases and diabetes, help with weight regulation and proper gut function, as well as have a preventive effect on the development of cancer. Oat  $\beta$ -glucans can slow down the absorption of glucose and reduce postprandial blood

glucose levels, as well as lower total and LDL cholesterol. Avenanthramides have anti-inflammatory and vasodilatory effects, which can contribute to reducing the risk of ischemic heart disease. Studies suggest that regular consumption of oats may reduce the risk of several inflammatory diseases.

**Keywords:** Oast, lipids, fatty acids, antioxidants, antioxidant activity



# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>2 Cíl práce .....</b>	<b>12</b>
<b>3 Literární rešerše .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Charakteristika ovsa .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Složení ovsa .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3 Ovesný olej .....</b>	<b>14</b>
3.3.1 Polární lipidy.....	15
3.3.1.1 Fosfolipidy .....	15
3.3.1.2 Glykolipidy .....	15
3.3.2 Neutrální lipidy .....	15
3.3.2.1 Triacylyceroly .....	15
<b>3.4 Srovnání oleje z ovsa s ostatními rostlinými oleji.....</b>	<b>15</b>
<b>3.5 Mastné kyseliny .....</b>	<b>16</b>
3.5.1 Složení mastných kyselin v ovsu .....	17
3.5.2 Srovnání složení mastných kyselin v ovsu a dalších rostlinách.....	17
<b>3.6 Antioxidanty a antioxidační aktivita .....</b>	<b>18</b>
3.6.1 Stanovení antioxidační aktivity.....	19
3.6.2 Tokoly .....	19
3.6.3 Avenantramidy.....	20
3.6.4 Fenolové sloučeniny .....	22
3.6.5 Flavonoidy .....	23
3.6.6 Fytová kyselina .....	24
3.6.7 Steroly .....	25
3.6.8 Porovnání antioxidantů a antioxidační aktivity v obilovinách.....	25
<b>3.7 Stabilita ovesného oleje.....</b>	<b>26</b>
3.7.1 Měření stability olejů .....	27
3.7.2 Zpracování .....	28
3.7.3 Skladování.....	28
3.7.4 Oxidace .....	29
3.7.5 Enzymatická oxidace .....	30
3.7.5.1 Lipázy .....	30
3.7.5.2 Lipoxygenázy .....	31
3.7.5.3 Peroxygenázy .....	31
3.7.6 Neezymatická oxidace .....	31
<b>3.8 Porovnání stability ovesného oleje s ostatními oleji .....</b>	<b>32</b>
3.8.1 Porovnání stability olejů pomocí čísla kyselosti.....	32

3.8.2	Porovnání stability olejů pomocí obsahu FFA .....	34
3.8.3	Porovnání stability olejů pomocí peroxidového čísla.....	36
<b>3.9</b>	<b>Oves a jeho vliv na zdraví člověka.....</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>47</b>

# 1 Úvod

Oves je jednoletá plodina, která se v různých částech světa pěstuje více než 2000 let. V Evropě se oves začal pěstovat v době bronzové tedy přibližně 1000 let před naším letopočtem. V minulosti byl oves používán především jako rostlinolékařská plodina a jako krmivo pro koně a další hospodářská zvířata. V současnosti se využívá nejen jako krmivo pro hospodářská zvířata, ale také v potravinářství, zdravotnictví, v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu.

Některé studie uvádějí, že je oves jedinečný oproti ostatním obilovinám díky svému složení. Oves má vyšší obsah bílkovin a lipidů než ostatní obiloviny. Je také zdrojem minerálních látek, vitaminů, rozpustné i nerozpustné vlákniny zejména  $\beta$ -glukanů. Dále obsahuje antioxidanty jako jsou tokoly, steroly, fytová kyselina, fenolové sloučeniny a jedinečné avenanthramidy.

Složení mastných kyselin je důležité z nutričního hlediska, ale také z hlediska stability lipidů, jelikož nenasycené mastné kyseliny jsou více náchylné k oxidaci než nasycené mastné kyseliny. To může mít negativní vliv na trvanlivost produktů. Oxidace lipidů vede ke snížení nutriční hodnoty a ke zhoršení sensorických vlastností. Protože oves obsahuje více lipidů než ostatní obiloviny a skládá se převážně z nenasycených mastných kyselin, může být náchylný k oxidaci, a to může vést k problémům při zpracování a skladování ovsu a ovesných výrobků. Na druhou stranu oves obsahuje řadu antioxidantů, které mohou přispívat ke stabilitě lipidů.

Oves v poslední době získává větší pozornost díky svým zdravotním přínosům. Ovesný  $\beta$ -glukan například přispívá k snížení LDL-cholesterolu v krvi, k snížení postprandiální glykemie a inzulinové reakce. Avenanthramidy mají protizánětlivé vlastnosti a mohou pomoci při prevenci kardiovaskulárních onemocnění.

## **2 Cíl práce**

Cílem práce bylo na základě literatury zhodnotit oxidační stabilitu oleje z ovsu a porovnat ji s jinými obilovinami. Podkladem pro vypracování byla hypotéza, že ovesný olej je svým složením mastných kyselin méně náchylný k oxidaci a obsahuje významné množství antioxidantů v porovnání s jinými běžně konzumovanými cereáliemi.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Charakteristika ovsa

Oves patří do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) a je to jednoletá rostlina (Chen et al. 2016). Nejrozšířenějším druhem je oves setý (*Avena sativa L.*), který má loupané zrno, jež lze rozdělit podle barvy pluchy na bílé, žluté a černé odrůdy (Kouřimská et al. 2018). Morfologicky můžeme oves klasifikovat jako loupaný a nahý. Zrno běžného ovsa se skládá z pluchy, která obklopuje jádro, jež je známé pod botanickým názvem caryopsis neboli obilka (Zhou et al. 1999). Nahý oves má na vnější straně zrna tenkou nelignifikovanou slupku, která při sklizni odpadáva (Berga & Zute 2012). Nahé zrno má větší energetickou hodnotu, obsahuje více bílkovin a lipidů, ale méně vlákniny ve srovnání s běžným ovsem (Tiwari & Cummins 2009)

Oves se pěstuje v mírných oblastech. Má nižší nároky na letní teplo a lépe snáší déšť než jiné obiloviny, takže je důležitý zejména v oblastech s chladným a vlhkým létem. Pěstuje se převážně v Evropě a Severní Americe (Varma et al. 2016).

Oves se již od starověku používá jako potrava pro hospodářská zvířata a lidi. Dnes se využívá jako krmivo pro zvířata, potrava pro lidi a surovina pro výrobu potravin, zdravotnických a kosmetických výrobků (Varma et al. 2016). Většina ovesných mlýnských výrobků jsou celozrné produkty obsahující celé jádro se všemi jeho složkami. Mezi typické výrobky patří ovesné vločky, ovesné kroupy, ovesná mouka a ovesné otruby. Oves se používá především v teplých snídaňových cereáliích, také jako základní složka studených cereálních směsí jako je musli a v cereálních tyčinkách (Ganßmann & Vorwerck 1995).

Celozrnný oves obsahuje značné množství cenných živin, jako jsou bílkoviny, škrob, nenasycené mastné kyseliny a vláknina v rozpustné i nerozpustné formě (Varma et al. 2016). Oves se běžně konzumuje jako celozrnná obilovina. Zařazením otrub do ovesných potravinářských výrobků se zachová část zrna bohatá na antioxidanty (Peterson 2001).

Ovesná zrna jsou důležitou, rozpoznatelnou a doporučovanou složkou každodenní lidské stravy (Rakić et al. 2014). Oves je již dlouho považován za zdravý zdroj bílkovin, vitamínů a minerálních látek (Peterson 2001). Nedávné observační a intervenční studie na lidech ukazují, že oves může mít vliv na různé nepřenosné nemoci, jako jsou kardiovaskulární choroby, cukrovka, obezita a hypertenze atd. V roce 1997 schválila USFDA (Americký Úřad pro kontrolu potravin a léčiv) používání zdravotního tvrzení "3 g/den ovesného beta-glukanu mohou přispět ke snížení celkového cholesterolu a cholesterolu v lipoproteinech o nízké hustotě (LDL-C) v krvi". Celková spotřeba ovsa se v posledních letech zvýšila díky jeho nutričním výhodám; přítomnosti beta-glukanů, antioxidantů, jako jsou avenanthramidy, vitamínu E (tokotrienoly a tokoferoly) a dalších látek, které se v ovsu vyskytují (Varma et al. 2016). Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) v roce 2011 zveřejnila zdravotní tvrzení, že vláknina z ovsa přispívá k zvýšení objemu stolice (European Food Safety Authority 2011). A v roce 2010 EFSA schválila zdravotní tvrzení, že ovesný beta-glukan může aktivně snižovat hladinu krevního LDL a celkového cholesterolu, to je považováno za příznivý fyziologický účinek snižující riziko koronární srdeční choroby, přičemž by denní dávka ovesného beta-glukanu měla být alespoň 3 g za den (European Food Safety Authority 2010).

## 3.2 Složení ovsa

Celozrnný oves obsahuje hojné zastoupení živin, jako jsou proteiny (asi 15 %, třikrát více než rýže), škrob, tuk (nad 5 %, čtyřikrát více než pšenice). Oves je zdrojem mnoha sloučenin, o nichž je známo, že vykazují antioxidační aktivitu, jako jsou vitamin E, fytová kyselina, fenolové sloučeniny, avenanthramidy, flavonoidy a steroly (Chen et al. 2016). Také je dobrým zdrojem rozpustné vlákniny (Ibrahim et al. 2020). Obsahuje také mikroživiny, jako jsou foláty, zinek, železo, selen, měď, mangan, karotenoidy, betain, cholin, aminokyseliny obsahující síru, kyselina fytová, lignin, lignan a alkylresorcinoly (Varma et al. 2016).

U většiny odrůd ovsa nejrozšířenější složkou zrna je škrob 55-60 % v ovesném zrně (Banaš et al. 2007). Škrob je známý jako zásobní polysacharid přítomný v hlízách a semenech různých rostlin, skládá se ze dvou složek, amylosy a amylopektinu. Amylosa je lineární polymer glukosy s vazbami  $\alpha$ -1,4, zatímco amylopektin je rozvětvený polymer, v němž jsou lineární řetězce  $\alpha$ -1,4 glukosových zbytků propojeny vazbami  $\alpha$ -1,6 (Halima et al. 2015).

Vláknina je důležitou složkou ovesných zrn. Rozpustná vláknina je účinná proti hypercholesterolemii, a tak působí preventivně proti kardiovaskulárním onemocněním. Obsah hrubé vlákniny se pohybuje od 12,37 do 17,83 g·100 g<sup>-1</sup> (Ibrahim et al. 2020). Sterna et al. (2016) ve své studii uvádí, že průměrný obsah rozpustné vlákniny v loupaných vzorcích ovsa byl stanoven na 14,32 g·100 g<sup>-1</sup> a ve vzorních nádech zrn na 17,63 g·100 g<sup>-1</sup>.

Ovesné bílkoviny obsahují 80 % globulinů, 15 % prolaminu, 4 % glutelinu a 1 % albuminu (Ibrahim et al. 2020). Obsah bílkovin se pohybuje od 9,70 % do 17,30 % (Sterna et al. 2016).

## 3.3 Ovesný olej

Ovesný olej je považován za dobrý zdroj polyenových esenciálních mastných kyselin (Biel et al. 2009). V porovnání s ostatními obilovinami obsahují ovesná zrna 2 až 18 % oleje (Halima et al. 2015). Obsah lipidů ovlivňuje z velké části genetika rostlin, ale mírně působí i vliv prostředí (Frey & Hammond 1975). Banaš et al. (2007) ve své studii zjistili, že většina oleje z ovesných zrn se nachází v endospermu, což potvrzuje také dřívější studie Price et Parsons (1979). Složení lipidů ovsa se skládá přibližně z 51 % triacylglycerolů, 7 % volných mastných kyselin, 3 % sterolů, 3 % esterů sterolů, 8 % glykolipidů a 20 % fosfolipidů (Sahasrabudhe 1979).

Kouřimská et al. (2018) uvádí, že celkový obsah tuku se ve vzorcích pohyboval od 2,9 g/100 g do 6,1 g/100 g. Odrůdy nahého ovsa měly významně vyšší obsah tuku než odrůdy ovsa loupaného. To souhlasí se studií Sykut-Domamska et al. (2013), která uvádí, že průměrný obsah tuku u nahých odrůd se pohyboval od 7,61 % hm. do 8,74 % hm., zatímco u loupaných odrůd se obsah tuku pohyboval od 5,54 % hm. do 7,23 % hm.

Lipidy v potravinách jsou důležitým nutričním faktorem a jejich profil může hrát zásadní roli, pokud jde o stabilitu obilných výrobků (Brindzová et al. 2008). Lipidová frakce ovesného zrna z velké části určuje jeho energetický obsah a má významný vliv na nutriční kvalitu (Zhou et al. 1999), protože obsahuje vysoký podíl nenasycených mastných kyselin, včetně esenciálních mastných kyselin (Sykut-Domamska et al. 2013). Lipidy se podílejí na chuti a vůni

ovsa (Zhou et al. 1999) Vysoký obsah lipidů vede k problémům při zpracování, jako jsou špatné prosévání mouky, nežádoucí chuť a nadměrné hnědnutí pekařských výrobků (Zhou et al. 1998).

### **3.3.1 Polární lipidy**

Polární lipidy jsou převážně tvořeny glykolipidy a fosfolipidy (Sahasrabudhe, 1979). Kaimainen et al. (2012) uvádí, že polární lipidy mohou tvořit až 34 % ovesné oleje. Polární lipidy jsou potenciálními emulgátory vzhledem ke své amfifilní struktuře.

#### **3.3.1.1 Fosfolipidy**

Fosfolipidy jsou důležité strukturní lipidy v potravinách a buněčných membránách (Jacobsen 2019). Struktura těchto sloučenin je založena především na fosfatidových kyselinách, což jsou estery 1,2-diacyl-sn-glycerol-3-fosforečné kyseliny spojené s organickými bázemi nebo jinými skupinami (Banaš & Harasym 2021). Fosfatidylcholin, fosfatidyletanolamin a lysofosfatidylcholin jsou nejhojněji zastoupenými fosfolipidy obilných zrn (Price & Parsons 1975). Sahasrabudhe (1979) stanovil profil fosfolipidů následovně: fosfatidylcholin (29,9 %), lysofosfatidyletanolamin (20,4 %), fosfatidyletanolamin (14,8 %), fosfatidylglycerol (9,5 %), fosfatidylinositol (3,9 %) a fosfatidylserin (3,9 %). Fosfolipidy jsou náchylnější k oxidaci než triacylglyceroly, částečně proto, že jsou více nenasyčené (Jacobsen 2019).

#### **3.3.1.2 Glykolipidy**

V této skupině lipidů lze rozlišit zejména tyto sloučeniny: monogalaktosyl-diacylglyceroly (MGDG), digalaktosyl-diacylglyceroly (DGDG) a sulfolipidy (SQDG). Obsah glykolipidů v ovesném oleji se pohybuje od 7 % do 12 %. Digalaktosylglyceroly tvoří membrány chloroplastů vyšších rostlin a dalších organel v buňce (Banaš & Harasym 2021).

### **3.3.2 Neutrální lipidy**

Neutrální lipidy tvoří asi 80 % všech lipidů v ovsu, obsahují nutričně cenné mastné kyseliny a antioxidanty rozpustné v tucích. Skládají se především z triacylglycerolů, volných mastných kyselin, částí glyceridů a volných sterolů (Banaš & Harasym 2021).

#### **3.3.2.1 Triacylglyceroly**

Neutrální lipidy jsou tvořeny především triacylglyceroly a tvoří 50–60 % celkových lipidů ovsu (Montealegre et al. 2012).

## **3.4 Srovnání oleje z ovsu s ostatními rostlinnými oleji**

Obsah oleje v deseti zrnech obilovin byl ve srovnání s luštěninami a olejnatými semeny relativně nižší, a to v rozmezí od 2,18 % do 6,38 % (Liu 2011). U většiny obilovin jsou lipidy soustředěny v oblasti klíčku a aleuronu, ale u jiných, jako je oves, je značné množství v endospermové tkáni (Banaš et al. 2007). Z 5 druhů obilovin měl nejvyšší obsah lipidů oves, následovaný čirokem a zbylými 3 druhy (ječmen, rýže a pšenice), které měly podobný obsah

oleje (Liu 2011) Tyto hodnoty jsou podobné jako ve studii Slama et al. (2021), kde se obsah lipidů v obilných zrnech pohyboval od 1,44 % do 5,95 % (viz. tabulka č.1), přičemž nejvyšší procento celkových lipidů bylo zaznamenáno u ovsu (5,95 %), zatímco nejnižší obsah byl zjištěn u tritikale (1,44 %). Odrůdy kukuřice a prosa měly významně vyšší obsah lipidů (4,71 % a 5,06 %) než odrůdy pšenice (1,81 %), ječmene (1,84 %) a tritikale (1,44 %) (Slama et al. 2021). Kukuřice a čirok, mají vysoký obsah neutrálních lipidů (91,9 % a 86,2 %) a nízký obsah glykolipidů. Ječmen, oves, žito, tritikale a pšenice obsahovaly 62 až 78 % neutrálních lipidů a vyšší množství polárních lipidů (viz tabulka č. 2) (Price & Parsons 1975).

Tabulka č. 1 – Celkový obsah lipidů v obilovinách (Slama et al. 2021)

Druh	Oves	Proso perlové	Kukuřice	Ječmen	Pšenice tvrdá	Pšenice chlebová	Tritikale
Celkový obsah lipidů	5,95	5,06	4,71	1,84	1,81	1,69	1,44

Tabulka č. 2 – Složení lipidů v obilovinách (Price & Parsons 1975)

Druh	Složení (%)		
	Neutrální lipidy	Glykolipidy	Fosfolipidy
Ječmen	78,2	7,3	14,5
Kukuřice	91,9	2,1	6,0
Oves	72,9	17,0	10,1
Rýže	71,0	10,7	18,3
Čirok	86,2	3,1	10,7
Triticale	66,9	16,0	17,1
Pšenice	61,9	21,6	16,5

### 3.5 Mastné kyseliny

Složení mastných kyselin v olejích je důležité jak z technologického, tak z nutričního hlediska (Zhou et al. 1999). Obilné lipidy jsou bohaté na esenciální mastné kyseliny, které si lidský organismus nedokáže syntetizovat a jsou nezbytné pro buněčné membrány a nervový systém (Slama et al. 2021).

Sykut-Domamska et al. (2013) uvádí, že tuk studovaných odrůd linií ovsu obsahoval přibližně 80 % nenasycených mastných kyselin, kde největší množství tvořila linolová kyselina (C18:2 *cis*-9,12) a olejová kyselina (C18:1 *cis*-9). Přibližně polovinu nenasycených mastných kyselin ve studovaných vzorcích tvořily esenciální mastné kyseliny. K podobným výsledkům došli ve svých studiích Bityutskii et al. (2020) a Brindzová et al. (2008), kteří zjistili, že lipidy ve studovaných odrůdách byly přibližně ze 75% nenasycené a skládaly se hlavně z olejové a linolové kyseliny. Linolová kyselina je prekurzorem dalších omega 6 mastných kyselin, jako jsou  $\gamma$ -linolenová kyselina (6,9,12 all *cis* C18:3,  $\omega$ 6) a arachidonová kyselina (C20:4);  $\alpha$ -linolenová kyselina je prekurzorem dalších mastných kyselin omega 3, jako jsou eikosapentaenová kyselina (C20:5) a dokosahexaenová kyselina (C22:6) (Hildebrand 1989).

Mastné kyseliny, které obsahují dvě nebo více nenasycených vazeb, jsou obvykle méně stabilní a na vzduchu nebo při vystavení světlu a vysoké teplotě snadno oxidují (Brindzová et



al. 2008), což nepříznivě ovlivňuje chuť a skladovatelnost ovsa. To ale může způsobit i nadměrné množství volných mastných kyselin (Zhou et al. 1998). Pro zpracování ovsa na potravinářské výrobky bylo navrženo maximální množství volných mastných kyselin 5 % z celkových lipidů extrahovatelných hexanem (Galliard 1983).

### 3.5.1 Složení mastných kyselin v ovsu

V různých odrůdách *A. sativa* bylo identifikováno a kvantifikováno devět mastných kyselin v rozmezí C14:0 až C20:1. Hlavními mastnými kyselinami v ovesném oleji byly linolová kyselina (C18:2) a olejová kyselina (C18:1), přičemž linolová kyselina se vyskytovala ve větších koncentracích než olejová kyselina, a také bylo obsaženo malé množství linolenové kyseliny (C18:3). Tyto kyseliny se řadí mezi nenasycené (Bityutskii et al. 2020). Kouřimská et al. (2018) zjistili, že linolová, olejová a palmitová kyselina patří k dominantním mastným kyselinám v ovsu. Zhou et al. (1998) uvádí složení 13 mastných kyselin takto: olejová a linolová kyselina (37,9 % až 42,6 %), poté palmitová kyselina (17 % až 19 %), v menším množství se vyskytovala myristová, stearová a linolenová kyselina. Mezi méně významné mastné kyseliny patřily palmitoolejová, arachidová, gadolejová, behenová, eruková, lignocerová a nervová kyselina. Přičemž kyseliny linolová, olejová a palmitová tvořily 95 % všech mastných kyselin, a palmitová kyselina se uvádí jako hlavní nasycená kyselina.

### 3.5.2 Srovnání složení mastných kyselin v ovsu a dalších rostlinách

Hlavní mastné kyseliny v obilovinách jsou linolová, olejová, palmitová a linolenová kyselina. V menším množství byly zjištěny také stearová, myristová a palmitoolejová kyselina. Linolová kyselina je převládající nenasycenou mastnou kyselinou, která je přítomna v množství 55-64 % celkového množství u všech druhů kromě ovsa a čiroku. U ovsa a čiroku byl vyšší obsah olejové kyseliny (36 % a 28 %) než u ostatních druhů a obsah linolové kyseliny činil 42 % (Price & Parsons 1975), s čímž souhlasí i další studie. Slama et al. (2021) uvádějí, že hlavní mastnou kyselinou zaznamenanou u všech studovaných druhů obilovin, s výjimkou ovsa, byla linolová kyselina, zatímco u ovsa byla hlavní mastnou kyselinou olejová kyselina (viz tabulka č. 3). K podobným výsledkům došla i studie od Liu (2011), která uvádí, že rýže, oves a čirok měly vyšší relativní obsah olejové kyseliny než ječmen a pšenice a nižší relativní obsah linolové kyseliny (viz tabulka č. 3). Studie Szterk et al. (2010) uvádí složení mastných kyselin v řepkovém, pupalkovém, lněném, dýňovém, amarantovém a brutnákovém oleji a v oleji z lničky seté (viz tabulka č. 3), kde nejvyšší obsah olejové kyseliny měl řepkový olej, zatímco nejmenší obsah olejové kyseliny měl pupalkový olej. Nejvyšší obsah linolové kyseliny byl v pupalkovém oleji a nejnižší obsah byl v lněném oleji.

Obsah nenasycených mastných kyselin se u všech studovaných druhů pohyboval od 77,22 do 81,89 %. Pokud jde o esenciální mastné kyseliny linolovou a linolenovou, olej všech studovaných druhů, s výjimkou ovsa, byl bohatý na  $\omega$ -6 mastné kyseliny (47,50 až 60,13 %) a chudý na  $\omega$ -3 mastné kyseliny (0,45 až 5,33 %) (Slama et al. 2021).

Tabulka č. 3 - Složení mastných kyselin [%] (Slama et al. 2021; Liu 2011; Szterk et al. 2010)

Vzorek	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	Studie
Pšenice tvrdá	15,05-19,00	1,20-1,56	15,70-22,98	54,43-55,69	4,03-5,33	(Slama et al. 2021)
Pšenice chlebová	15,50-17,19	0,97-1,28	17,24-19,27	57,10-60,13	3,68-4,20	
Ječmen	16,23-19,05	1,02-1,56	15,70-17,43	57,45-59,94	3,92-5,33	
Oves	22,73	2,60	49,07	23,47	0,45	
Triticale	19,05	1,56	15,70	57,45	5,33	
Kukuřice	16,79	5,02	27,07	47,50	2,15	
Proso	16,79	5,02	27,07	47,50	2,15	
Ječmen	24,58-24,96	1,80-2,01	12,80-15,61	50,79-52,70	2,95-3,30	(Liu 2011)
Oves	18,81-19,63	1,29-1,55	32,35-36,52	40,32-42,25	1,02-1,47	
Rýže	21,92-23,74	1,96-1,98	32,88-34,46	35,69-36,66	0,88-1,39	
Čirok	16,83-17,21	1,85-2,44	31,6-36,64	40,10-45,44	2,16-2,27	
Pšenice	19,81-20,78	1,02-1,05	12,15-12,36	57,85-61,50	2,96-4,12	
Řepkový olej	2,5	0,7	71,8	15,4	5,9	(Szterk et al. 2010)
Pupalkový olej	3,4	0,8	3,0	86,0	0,1	
Lněný olej	3,5	1,3	17,5	12,2	-	
Dýňový olej	6,24	1,95	32,64	58,17	0,17	
Amarantový olej	6,5	1,4	24,0	65,4	0,6	
Brutnákový olej	5,7	1,4	16,1	46,3	0,1	
Olej z lničky seté	4,5	1,3	11,1	21,6	-	

### 3.6 Antioxidanty a antioxidační aktivita

Oves (*Avena sativa* L.) je zdrojem mnoha sloučenin, které vykazují antioxidační aktivitu. Vitamin E (tokoly), fytová kyselina, fenolové sloučeniny a avenanthramidy jsou nejrozšířenějšími antioxidanty ovsa, přítomny jsou také flavonoidy a steroly. Tyto antioxidanty jsou koncentrovány ve vnějších vrstvách obilky (Chen et al. 2016). Antioxidanty pomáhají udržovat stabilitu zpracovaných ovesných produktů a ovsa a můžou stabilizovat oleje a tuky proti žluklosti. Tím mohou přispívat také ke stabilitě a chuti potravin. Avenanthramidy a kyselina kávová souvisely s nízkou hodnotou žluknutí a hořkosti, zatímco u většiny jednoduchých fenolových látek byl zjištěn opak (Peterson 2001).

Tyto bioaktivní látky mají různé zdravotní účinky a hrají roli v prevenci a léčbě různých metabolických poruch (Ibrahim et al. 2020). Také se předpokládá, že antioxidanty hrají důležitou roli v prevenci nebo zmírnění chronických onemocnění tím, že snižují oxidační poškození buněčných složek způsobené reaktivními oxidanty (Peterson et al. 2002).

Endogenní antioxidanty se podílejí na udržování stability ovesných potravin tak, že zabraňují oxidaci volných mastných kyselin nebo ji zpomalují (Peterson 2001). To je založeno na schopnosti antioxidantů darovat atom vodíku (Bondet et al. 1997) nebo elektrony, chelátovat ionty kovů nebo vychytávat volné radikály (Rakić et al. 2014).

Antioxidanty můžeme rozdělit podle mechanismu účinku na primární, sekundární a víceúčelové antioxidanty. Primární antioxidanty jsou schopny přímo reagovat s volnými radikály a přeměňovat je na stabilnější neradikálové produkty. Sekundární antioxidanty inhibují oxidaci lipidů různými mechanismy, jako jsou chelatace přechodných kovů, vychytávání kyslíku a zhašení singletového kyslíku. Některé sekundární antioxidanty jsou schopny regenerovat primární antioxidanty synergickým způsobem. Víceúčelové antioxidanty mají více než jeden mechanismus účinku (Jacobsen 2019).

### 3.6.1 Stanovení antioxidační aktivity

Pro stanovení celkové antioxidační kapacity extraktů ovesa je možné použít například testy ABTS a DPPH. DPPH test měří ztrátu absorbance, ke které dochází při redukcí DPPH (2,2-difenyl-1-pikrylhydrazyl) radikálu antioxidantem. Metoda je oblíbená pro svou jednoduchost (Peterson et al. 2002). DPPH radikál je velmi stabilní. Při přijetí elektronu nebo při spojení s jiným volným radikálem se jeho vizuální absorpční spektrum výrazně změní a barva analyzovaného vzorku se změní z fialové na žlutou (Chen et al. 2016). Nejsilnější aktivitu zachycování DPPH radikálů vykazoval extrakt z ovesného oleje získaný ethanolem. Se zvyšující se polaritou extrakčního rozpouštědla se také postupně zvyšovala schopnost vychytávat DPPH radikály; pořadí zvyšující se schopnosti vychytávání bylo u extraktů získaných: petroletherem < hexanem < isopropanolem < ethylacetátem < ethanolem (Chen et al. 2016).

Celková antioxidační kapacita ovesa se lišila mezi nahým a pluchatým ovsem a také mezi pluchatým ovsem s různou barvou pluchy zvyšovaly se takto: nahý oves < žlutý oves < černý oves. Za daných experimentálních podmínek černý oves vychytil v průměru 74 % ABTS radikálů, zatímco žlutý oves vychytil 48 % a nahý oves pouze 26 %. Všechny vzorky také výrazně snížily koncentraci DPPH radikálů – v průměru o 82 % (černý oves), 53 % (žlutý oves) a 29 % (nahý oves) (Brindzová et al. 2008). Byla zjištěna významná korelace mezi celkovým obsahem polyfenolů, jednotlivých fenolových kyselin,  $\alpha$ -tokoferolu a antioxidační aktivitou stanovenou pomocí DPPH radikálu (Chen et al. 2016).

### 3.6.2 Tokoly

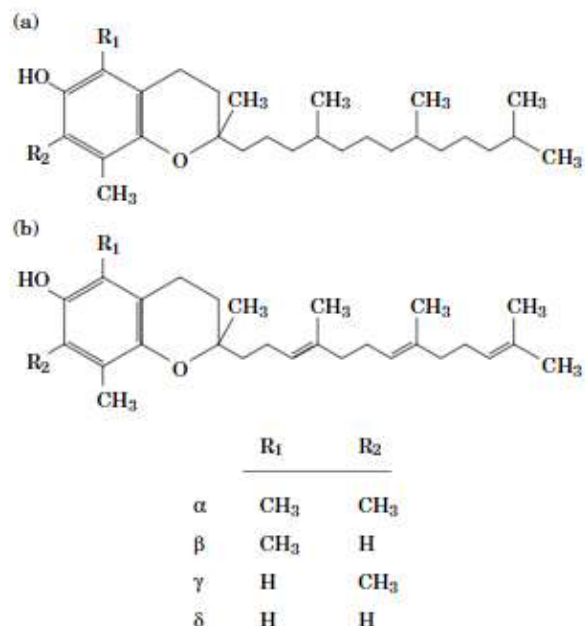
Tokoly jsou známé také jako vitamin E a zahrnují tokoferoly i tokotrienoly (viz obr. 1) (Varma et al. 2016). Vitamin E je obecný termín pro látky, které vykazují biologickou aktivitu  $\alpha$ -tokoferolu. Biologicky aktivní jsou díky své schopnosti předávat fenolové atomy vodíku volným radikálům, což umožňuje přerušit destruktivní řetězové reakce (Kamal-Eldin & Appelqvist 1996; Halima et al. 2015). Tokoly jsou rozpustné v tucích a tvoří součást celkových lipidů (Berga & Zute 2012). Skládají se vždy ze čtyř homologů tokoferolu a tokotrienolu, které se liší počtem a polohou methylových skupin ve struktuře chromanového kruhu (Peterson 2001). Tokotrienoly a tokoferoly se liší svými prenylovými postranními řetězci; tokotrienoly mají nenasycený geranyllový postranní řetězec a tokoferoly mají nasycený fitylový postranní

řetězec. Každá třída se skládá ze čtyř homologů, označovaných jako alfa, beta, gama a delta, v závislosti na způsobu metylace na chromanovém kruhu (Berga & Zute 2012).

Ovesné tokoferoly a tokotrienoly podléhají degradaci při zpracování za zvýšené teploty, jako je například pečení (Decker et al. 2014). Tokoly ovsa byly stabilní v nezpracovaných kroupách, ale při jakékoliv formě zpracování docházelo k degradaci tokolů po dobu několika měsíců skladování při pokojové teplotě. To naznačuje, že tokoly jsou spotřebovávány, protože chrání lipidy před oxidací, která probíhá pomalu v průběhu času. Degradace byla rychlejší, když byly materiály skladovány v obalech vystavených vzduchu než v uzavřených nádobách, což naznačuje roli kyslíku v reakcích (Peterson 1995).

Celková koncentrace tokolů se u 12 ovesných zrn v průměru pohybovala v rozmezí od 19 do 30 mg/kg (Peterson & Qureshi 1993). Shewry et al. (2008) uvádí, že se celkový obsah tokolů v pěti genotypech ovsa pohyboval od 16,1 do 36,1  $\mu\text{g/g}$  v celozrnných potravinách.

Berga et Zute (2012) studovali obsah  $\alpha$ -tokoferolu po dobu dvou let v nahém a pluchatém ovsu. V prvním roce zjistili, že koncentrace  $\alpha$ -tokoferolu se pohybovala od 5,6 do 8,8 mg/kg v pluchatém zrnu ovsa a od 3,2 do 8,4 mg/kg v nahém ovsu, v druhém roce se koncentrace  $\alpha$ -tokoferolu u pluchatých geotypů ovsa pohybovala od 4,6 do 7,7 mg/kg a u nahých geotypů ovsa od 5,5 do 7,9 mg/kg. Vzorky ovsa obsahovaly převážně  $\alpha$ -tokotrienol a  $\alpha$ -tokoferol (86-91 % celkového množství), s menším množstvím,  $\beta$ -izomerů,  $\gamma$ -tokoferolu a  $\delta$ -tokotrienolu (Peterson & Qureshi 1993). S tím souhlasí studie Shewry et al. (2008), která uvádí, že hlavním tokolem byl  $\alpha$ -tokotrienol, který se na celkovém obsahu tokolů podílel 57-69 %, následovaný  $\alpha$ -tokoferolem s 23-32 % celkového obsahu tokolů.



Obr. 1 Struktura tokolů a) tokoferoly, b) tokotrienoly (Peterson 2001)

### 3.6.3 Avenantramidy

Nejcharakterističtější skupinou antioxidantů obsažených v ovsu jsou avenantramidy (AVA) (Banaš & Harasym 2021). Tyto sloučeniny jsou fenolové deriváty sestávající z amidů kyseliny hydroxyskořicové a kyseliny hydroxyanthranilové. V ovsu existuje více než

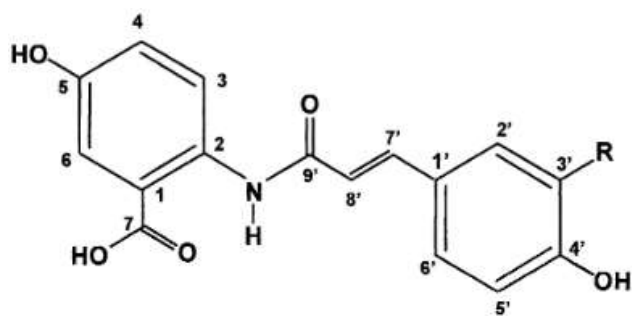
20 různých forem avenanthramidů (AVE), které se liší substituenty v kruzích kyselin, ale tři hlavní formy jsou A (Bp, 2p), B (Bf, 2f) a C (Bc, 2c) (vzorci viz obr. 2) (Varma et al. 2016). Bylo prokázáno, že tyto avenanthramidy souvisejí se svěží chutí ovesných výrobků (Molteberg et al., 1996), a mohou tedy fungovat jako antioxidanty chránící před žluknutím. (Bratt et al. 2003).

Avenanthramidy jsou sekundární metabolity, které se nacházejí v ovesných zrnech a pluchách (Halima et al. 2015). Hrají v ovsu roli fytoalexinů, protože vykazují protiplísňovou aktivitu a jejich syntéza je indukována infekcí patogenními organismy a působením elicitorů. Kromě toho bylo prokázáno, že se avenanthramidy při infekci patogeny zabudovávají do buněčných stěn. Předpokládá se, že zabudování avenanthramidů posiluje buněčné stěny proti enzymům rozkládajícím buněčné stěny, které patogeny vylučují (Ishihara et al. 2014).

Avenanthramidy pomáhají snižovat výskyt aterosklerózy a ischemické choroby srdeční (ICHS), protože mají protizánětlivé a antiproliferativní vlastnosti a také způsobují vazodilatační, protisvědivé a cytoprotektivní účinky (Meydani 2009; Varma et al. 2016). Předpokládá se, že avenanthramidy mohou u savců inhibovat lipoxygenázu a/nebo cyklooxygenázu, a tím snižovat produkci prozánětlivých látek, jako jsou prostaglandiny a leukotrieny (Landberg et al. 2020).

Analýza výchozího celozrnného materiálu ukázala celkový obsah avenanthramidů 187 mg/kg, zatímco koncentrace avenanthramidů v extrahované frakci otrub byla 520 mg/kg, což představuje téměř trojnásobný nárůst oproti mletí (Liu et al. 2004). Shewry et al. (2008) uvádí, že celkový obsah tří hlavních avenanthramidů se v pěti různých odrůdách pohyboval od 42 do 91 µg/g. Průměrné koncentrace u studovaných tří odrůd, které byly pěstovány na různých místech, se pohybovaly v rozmezí 9-52 mg/kg pro avenanthramid Bf, 13-78 mg/kg pro avenanthramid Bp a 25-145 mg/kg avenanthramid Bc (Peterson et al. 2002). Soykan et al. (2019) a Chen et al. (2018) ve svých studiích uvádějí, že avenanthramid-B byl převažujícím avenanthramidem, to nesouhlasí se studií Shewry et al. (2008), kde největší podíl připadal na avenanthramid C. Je však také známo, že obsah a složení avenanthramidů se značně liší např. s vývojovým stadiem semen a různými postupy v oblasti životního prostředí a pěstování, jako jsou hnojení, lokalita a rok (Shewry et al. 2008).

Bylo zjištěno, že AVA obsahující kyseliny kávovou nebo sinapovou vykazují významnou inhibici lipoxygenázy (60-90 %), zatímco u AVA obsahujících kyseliny p-kumarovou nebo ferulovou byla inhibice nízká nebo žádná. Při porovnání AVA s jejich volnými odpovídajícími skořicovými kyselinami nebyl pozorován žádný rozdíl v inhibici, což znamená, že anthranilová část molekuly avenanthramidu nemá na inhibici vliv (Landberg et al. 2020). Peterson et al. (2002) stanovoval antioxidantní aktivitu avenanthramidů *in vitro*, z výsledků vyplývá, že avenanthramid Bc přispívá k celkové antioxidantní aktivitě měřené v extraktech ovesných zrn podstatně více než ostatní avenanthramidy.



Avenanthramide	R
Bp	H
Bf	OCH <sub>3</sub>
Bc	OH

Obr. 2 Struktura avenanthramidů Bc, Bp a Bf (Peterson et al. 2002)

### 3.6.4 Fenolové sloučeniny

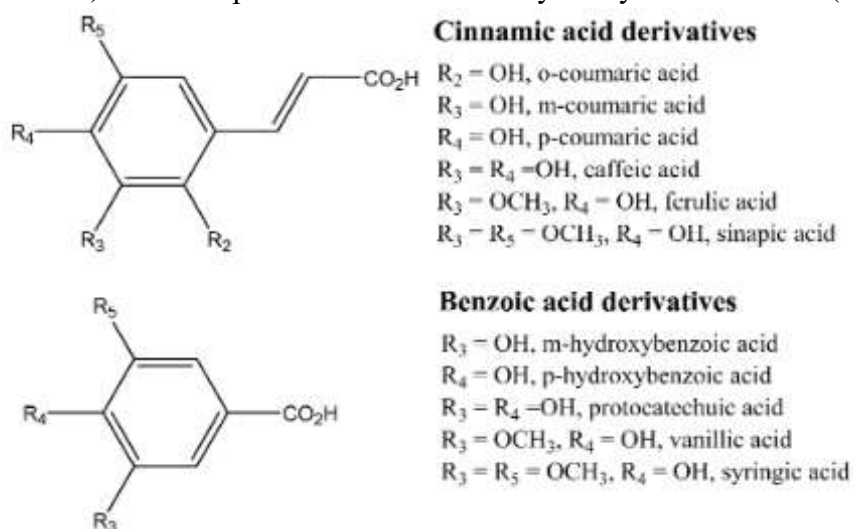
Fenolové kyseliny obsahují jeden aromatický kruh s kyselou skupinou a jednu nebo více hydroxylových skupin. Fenolové kyseliny představují nejběžnější formu fenolových sloučenin v celých zrnech a představují jednu z hlavních a nejkompexnějších skupin fytochemikálií v obilném zrně s řadou typů, které existují ve třech formách: jako rozpustné volné kyseliny, rozpustné konjugáty, které jsou esterifikovány na cukry a jiné nízkomolekulární složky, a nerozpustné vázané formy (Li et al. 2008). Hlavní třídy polyfenolů jsou definovány podle povahy jejich uhlíkového skeletu: fenolové kyseliny, flavonoidy a méně obvyklé stilbeny a lignany (Scalbert & Williamson 2000). Fenolové kyseliny lze rozdělit do dvou skupin a jsou to deriváty buď hydroxyskořicové kyseliny, nebo hydroxybenzoové kyseliny (obr. 3). Mezi deriváty hydroxybenzoové kyseliny patří p-hydroxybenzoová, protokatechová, vanilová, syringová a galová kyselina. Tyto kyseliny jsou běžně přítomny v nerozpustných vázaných formách a jsou typicky součástí složitějších tříslovin a ligninů. Mezi deriváty hydroxyskořicové kyseliny patří p-kumarová, kávová, ferulová a sinapová kyselina. Tyto kyseliny jsou opět přítomny hlavně ve vázaných formách, vázaných na strukturní složky buněčné stěny, jako je celulóza, lignin a bílkoviny, prostřednictvím esterových vazeb (Li et al. 2008).

Fenolové sloučeniny obsažené v ovsu mohou přispívat k funkčním a výživovým vlastnostem zrna (Emmons & Peterson 1999). Jsou schopny zachycovat volné radikály vznikající v lidském těle, pokud je jejich konzumace podporována (Brindzová et al. 2008). Díky svým protizánětlivým a antioxidačním účinkům mají zdraví prospěšný potenciál (Banaš & Harasym 2021). Je však třeba vzít v úvahu i antioxidační aktivitu nefenolových sloučenin (Pilarski et al. 2006).

Celkový obsah fenolových látek se pohyboval od 36,07 do 101,56 mg GAE/100 g (Ibrahim et al. 2020). Celkový obsah fenolových látek ve studovaném ovsu se mezi jednotlivými odrůdami výrazně lišil, přičemž hodnoty se pohybovaly v rozmezí 239-662 μg GAE/g hmotnosti. Obecně byl obsah fenolových látek v černém ovsu 1,3krát vyšší než ve žlutých odrůdách a 2,3krát vyšší než v nahém ovsu (Brindzová et al. 2008). Ze všech fenolových látek extrahovaných z ovesného oleje různými rozpouštědly byla nejméně zastoupena kávová kyselina (0,3-14,23 μg/g), zatímco nejvíce vanilová kyselina (1,41-62,99

µg/g) (Chen et al. 2016). Pomocí GC-MS a GC byly v extraktech z ovesné krupice identifikovány a kvantifikovány ferulová, p-kumarová, kávová, vanilová, p-hydroxybenzoová a 4-hydroxyfenyloctová kyselina, vanilin a katechol a v extraktech z pluch byly identifikovány a kvantifikovány ferulová, p-kumarová, p-hydroxybenzoová, vanilová, o-kumarová, sinapová, 4-hydroxyfenyloctová a salicylová kyselina, vanilin a katechol. Nejhojněji byla zastoupena ferulová kyselina (Xing & White 1997). Podle Soyacan et al. (2019) byly nejhojněji zastoupenými vázanými fenolovými kyselinami ve všech analyzovaných produktech z ovsa ferulová kyselina, kávová kyselina a sinapová kyselina.

Fenolové antioxidanty působí především tak, že radikálu darují atom vodíku, tj. vychytávají volné radikály (Fagerlund et al. 2009), čímž brání šíření radikálových řetězových reakcí. Některé fenoly navíc působí jako chelátory kovových iontů (Bratt et al. 2003). Účinnost fenolových sloučenin závisí na počtu hydroxylových skupin donujících vodík, na strukturních vlastnostech stabilizujících vzniklý radikál, např. na rezonanci a hyperkonjugaci (Fagerlund et al. 2009) a také na povaze substituentů v cyklických strukturách (Bratt et al. 2003).

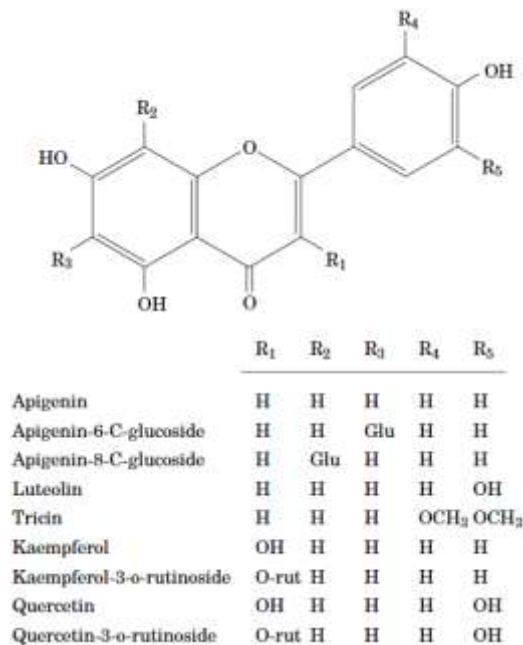


Obr. 3 Struktura běžných derivátů kyseliny benzoové a skořicové (Li et al. 2008)

### 3.6.5 Flavonoidy

Flavonoidy lze rozdělit do několika tříd podle stupně oxidace kyslíkového heterocyklu: flavony, flavonoly, isoflavony, antokyany, flavanoly, proanthokyany a flavanony (Scalbert & Williamson 2000).

V ovesné mouce byly identifikovány tři hlavní flavony, apigenin, luteolin a tricetin, které byly nalezeny také ve vegetativních částech rostlin jako glykosidy. Mezi identifikované glykosidické deriváty patřily 6-C a 8-C-glukosid apigeninu a 3-O-rutinosidy kvercetinu a kempferolu. Flavonoly, kempferol a kvercetin, byly nalezeny pouze v mouce (Obr. 4) (Peterson 2001). Celkový obsah flavonoidů se mezi odrůdami významně lišil od 754,16 do 1147,08 GAE/100 g (Ibrahim et al. 2020).

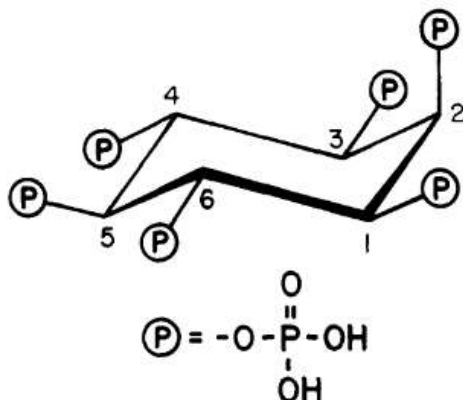


Obr. 4 Struktura flavonoidů identifikovaných v ovsu (Peterson 2001)

### 3.6.6 Fytová kyselina

Fytová kyselina (myoinositol-hexa-fosforečná kyselina, IP6) (obr. 5) je hlavní zásobní sloučeninou fosforu ve většině semen a zrn obilovin, může tvořit více než 70 % celkového fosforu (Garcõ Á a-Esteba et al., 1999). Může tvořit až 80 % celkového fosforu v semenech a zbývající fosfor je zastoupen rozpustným anorganickým fosforečnanem a buněčným fosforem (Lopez et al. 2002).

Fytová kyselina je považována za antinutriční sloučeninu, protože má schopnost tvořit silné cheláty s kationty kovů, zejména s  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$  a  $\text{Fe}^{+2}$ , a vytvářet tak fylát a snižovat biologickou dostupnost těchto důležitých mikroprvků v lidském střevě (Bektaş & Ertop 2021). Zároveň je fytová kyselina přírodní rostlinný antioxidant. Fytová kyselina udržuje železo v oxidačním stavu  $\text{Fe}^{(III)}$  a brání vzniku hydroxylového radikálu a dalších aktivovaných forem kyslíku tím, že obsazuje všechna dostupná koordinační místa železa, takže potlačuje oxidační reakce katalyzované železem a může plnit silnou antioxidační funkci při konzervaci semen. Stejným mechanismem může fytová kyselina ve stravě snižovat výskyt rakoviny tlustého střeva a chránit před dalšími zánětlivými střevními onemocněními (Graf & Eaton 1990).

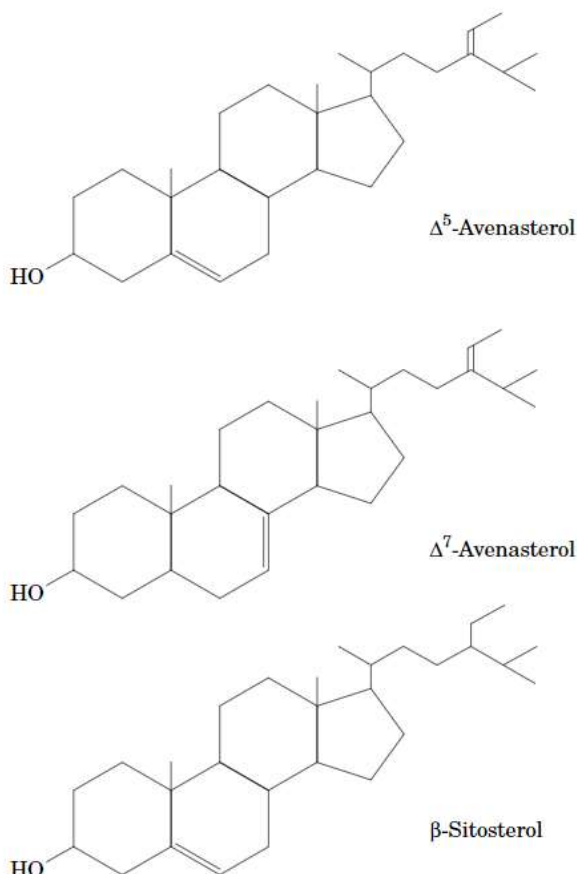


Obr. 5 – Struktura fytové kyseliny v roztoku (Graf & Eaton 1990)



### 3.6.7 Steroly

Oves obsahuje řadu sterolů, z nichž u některých byla prokázána antioxidační aktivita (Peterson 2001). Hlavním steroidem v ovsu je  $\beta$ -sitosterol, ve významném množství jsou přítomny také  $\Delta^5$ -avenasterol a  $\Delta^7$ -avenasterol (viz obr. 6) (Knights 1965)



Obr. 6 Struktura tří nejběžnějších sterolů ovsa (Peterson 2001)

### 3.6.8 Porovnání antioxidantů a antioxidační aktivity v obilovinách

Za zrna s vysokou antioxidační aktivitou se považují kukuřice, pšenice, rýže a oves (Jideani et al. 2014). Studie (Hodzic et al. 2009) uvádí, že nejvyšší antioxidační aktivita byla naměřena u pohanky, tu následovaly žito, oves, ječmen, kukuřice, pšenice a rýže. Toto pořadí odpovídá také obsahu celkových fenolových látek (viz tabulka č. 4). Nejvyšší obsah antioxidantů v pohance byl zjištěn i ve studii (Halvorsen et al. 2002), ale další pořadí již bylo odlišné. Tato studie stanovovala obsah celkových antioxidantů v celozrnných a bílých moukách, přičemž v celozrnných moukách byl obsah antioxidantů vyšší než v bílých moukách (tabulka č. 4). Nejvíce antioxidantů obsahovala celozrnná mouka z ječmene, poté z prosa, ovsa, žita, pšenice a nejméně obsahovala celozrnná mouka z čiroku. Z bílých mouk nejvíce antioxidantů obsahovala kukuřičná bílá mouka, následovaná moukami z ječmene, ovsa, prosa, žita a pšenice. Nejnižší obsah antioxidantů byl zjištěn v bílé mouce z rýže, přičemž rýžová zrna měla nižší obsah antioxidantů než bílá mouka ze žita. Podle studie (Adom & Liu 2002) nejvyšší celkový obsah fenolových látek měla kukuřice  $1560 \pm 60$   $\mu\text{mol}$  ekvivalentů kyseliny gallové/100 g,

následovala pšenice  $800 \pm 40$   $\mu\text{mol}$  ekvivalentů kyseliny gallové/100 g, oves  $650 \pm 20$   $\mu\text{mol}$  ekvivalentů kyseliny gallové/100 g a rýže  $560 \pm 20$   $\mu\text{mol}$  ekvivalentů kyseliny gallové/100 g (Adom & Liu 2002).

Tabulka č. 4 – Celkový obsah antioxidantů a fenolových látek (Halvorsen et al. 2002; Hodzic et al. 2009)

Vzorek	Celkový obsah fenolových látek (mg GAE/L)	Studie
Pohanka	20,35	
Žito	18	
Oves	17,1	
Ječmen	13,56	(Hodzic et al. 2009)
Kukuřice	11,29	
Pšenice	9,26	
Hnědá rýže	7,48	
Bílá rýže	2,95	
Vzorek	Celková koncentrace antioxidantů (mmol/100 g)	
Ječmen, celozrnná mouka	1,09	
Proso, celozrnná mouka	0,82	
Kukuřice, bílá mouka	0,62	
Oves, rough oatmeal	0,59	
Ječmen, bílá mouka	0,58	
Žito, celozrnná mouka	0,47	
Pšenice, celozrnná mouka	0,33	
Oves, bílá mouka	0,32	(Halvorsen et al. 2002)
Čirok, celozrnná mouka	0,30	
Proso, bílá mouka	0,25	
Žito, bílá mouka	0,23	
Rýže, zrna	0,17	
Pšenice, bílá mouka	0,13	
Rýže, bílá mouka	0,04	
Pohanka, celozrnná mouka	1,99	
Pohanka, bílá mouka	1,23	

### 3.7 Stabilita ovesného oleje

Obsah a složení lipidů v potravinách, zejména stupeň nenasycení mastných kyselin a obsah linolenové kyseliny, jsou důležitými faktory pro určení pravděpodobnosti oxidace potravin (Viscidi et al. 2004), protože polyenové mastné kyseliny mohou být snadno oxidovány, což vede ke vzniku produktů s charakteristickými příchutěmi (Peterson 2001)

Oves má vyšší obsah lipidů než většina ostatních obilovin, společně s aktivitou lipázy to může vést k problémům s chutí při zpracování a skladování ovsa (Yang et al. 2019). Na druhou stranu oves také obsahuje řadu antioxidantů, například tokoferoly a fenolové kyseliny (Kalbasi-Ashtari & Hammond 1977), proto může být považován za poměrně stabilní vůči neenzymatické oxidaci, zároveň ale vysoké hladiny nenasycených mastných kyselin a přítomnost lipoxygenázy

oxidaci lipidů podporují (Molteberg et al. 1996). Změny fyzikálně-chemických podmínek během manipulace, zpracování nebo skladování potravin mohou způsobit změny v oxidaci lipidů (Croguennec 2016). Například enzymovou oxidaci může podpořit vysoká vlhkost a neenzymovou oxidaci může urychlit působení tepla, kyslíku, katalyzátoru anebo světla (Molteberg et al. 1996).

Podle studie (Jaksics et al. 2023) probíhá hydrolýza i oxidace v nezpracovaném ovsu pomalu, protože aktivita enzymů je za správných skladovacích podmínek nízká a tvorba volných radikálů je díky vysoké antioxidační kapacitě pomalá. Při loupání a mletí dochází ke kontaktu lipidů s enzymy a k jejich reakci, která může být podpořena vysokou vlhkostí a teplotou, tím dochází k uvolnění volných mastných kyselin, které jsou mnohem náchylnější k oxidaci než původní lipidy (Molteberg et al. 1996; Jaksics et al. 2023). Navzdory inaktivaci enzymů rozkládajících lipidy tepelnou úpravou a relativně vysokému obsahu antioxidantů v ovsu může stále docházet k neenzymové oxidaci lipidů. Dokonce tepelné zpracování může neenzymatickou oxidaci podporovat, a to v důsledku destrukce antioxidantů a zvýšené expozice kyslíku a katalyzátorům (Molteberg et al. 1996). Head et al. (2011) uvádí, že optimální skladovací stability lze dosáhnout, pokud je tepelné ošetření ovesných zrn dostatečné k inaktivaci lipolytických enzymů, ale zároveň dostatečně mírné, aby chránilo přirozené antioxidanty ovsu a minimalizovalo rozpad a oxidaci lipidů.

Reakce lipidů v ovesných výrobcích vedou ke dvěma nežádoucím vlastnostem: hořké, svíravé chuti nebo žluklé příchuti (Lehtinen & Laakso 2004), přičemž žluklá chuť je nejvýznamnější nepříjemnou chutí ovsu, která je způsobena buď těkavými sloučeninami, jako jsou aldehydy, ketony a alkoholy, nebo vysokým množstvím volných mastných kyselin, popřípadě fenolových sloučenin (Heiniö et al. 2002).

### 3.7.1 Měření stability olejů

Rozsah oxidace lipidů lze určit pomocí senzoričkových a/nebo chemických analýz, tj. pomocí hodnocení intenzity žluklého zápachu a chuti a/nebo měřením množství hexanalů, vedlejšího produktu oxidace lipidů, který se uvolňuje z výrobku během skladování (Head et al. 2011). Hexanal se běžně používá jako indikátor oxidace lipidů v obilovinách (Molteberg et al. 1996). Jensen et al. (2005) uvádí, že měřením těkavých sekundárních oxidačních sloučenin, pomocí laboratorní analýzy např. head-space plynovou chromatografií, můžeme určit oxidační znehodnocení arašídů, ovsu a bramborových lupínků. Oxidační poškození se také může kvantifikovat pomocí peroxidového čísla (Jensen & Risbo 2007), nebo také číslem kyselosti a anisidinovým číslem (Maszewska et al. 2018). Hodnocení stability se může kombinovat se senzoričkovou analýzou. Před vznikem hydroperoxidů lze detekovat volné radikály. Poměrný obsah volných radikálů může tedy sloužit jako časný ukazatel oxidace lipidů (Jensen et al. 2005).

Například (Molteberg et al. 1996) po každé době skladování provedli popisnou senzoričkovou analýzu a analýzu celkových mastných kyselin, volných mastných kyselin a těkavých produktů oxidace lipidů. Zatímco Lampi et al. (2015) měřili oxidaci lipidů pomocí HS-SPME-GC-MS a za indikátor intenzivní oxidace ve studii o stabilitě snídaňových cereálií byla považována hexanová kyselina.

### 3.7.2 Zpracování

Zpracování potravin je nezbytné pro přeměnu zemědělských produktů na potraviny, které mohou spotřebitelé konzumovat. Prostřednictvím různých fyzikálních a chemických operací může zpracování potravin prodloužit trvanlivost, zlepšit biologickou dostupnost živin, stabilizovat barvu a chuť, zvýšit ekonomickou hodnotu a usnadnit přípravu potravinových surovin (Decker et al. 2014).

Pro zachování přijatelné kvality ovesných výrobků musí být snížena enzymová aktivita. Enzymy ovsa se běžně deaktivují pomocí hydrotermických úprav, zejména pečením nebo napařováním (Yang et al. 2019). Typická metoda tepelného zpracování ovsa v Evropě zahrnuje stabilizaci parou, která inaktivuje většinu enzymů, a následné sušení v sušárně, které přispívá především k rozvoji chuti. Uvádí se, že zpracování má různé účinky na obsah FFA v obilovinách (Molteberg et al. 1995). Různé tepelné úpravy mohou částečně nebo zcela zastavit enzymaticky katalyzované procesy denaturací enzymů (Jaksics et al. 2023). Jako nejlepší ukazatel pro účinné tepelné zpracování byla navržena aktivita peroxidázy, nejtermostabilnějšího degradačního enzymu (Molteberg et al. 1995). Zároveň ale tepelné zpracování, nemůže zastavit oxidaci katalyzovanou fyzikálními vlivy (např. fotolýzou) nebo chemickými látkami (např. ionty kovů, metaloproteiny), dokonce ji může zvýšit (Jaksics et al. 2023)), protože mnoho antioxidantů, které pomáhají udržovat oxidační stabilitu během zpracování a skladování, je denaturováno nadměrným zahříváním (Heiniö et al. 2002).

Výhodou tepelného zpracování je, že se podpoří Maillardova reakce, což je reakce mezi bílkovinami a sacharidy, při níž vznikají žádoucí chutě, dochází k hnědnutí a tvorbě antioxidantních sloučenin, které dále zvyšují stabilitu lipidů (Decker et al. 2014). Tepelné ošetření zrn mělo zásadní vliv na většinu sensorických vlastností, ale téměř žádný vliv na hladiny analyzovaných těkavých složek. Zvýšená úroveň vnímané kyselosti, vůně a chuti ovsa u tepelně ošetřených ovesných mouk spolu se sníženou úrovní syrové chuti a hořkosti naznačují celkově příjemnější chutě (Molteberg et al. 1996).

### 3.7.3 Skladování

Doba skladování u vzorků ovesných zrn, skladovaných v uzavřených nádobách při teplotě cca 25 °C, způsobila významné snížení koncentrace surových lipidů ovsa o 7,55 % po 12 měsících a o 11,82 % po 24 měsících skladování (Rakić et al. 2014). V moukách vyrobených z neošetřených ovesných zrn (NHT) začala hydrolyza lipidů na volné mastné kyseliny ihned po mletí, což navíc podpořilo oxidaci lipidů během skladování. U zrn NHT se obsah FFA během jednotýdenní standardizace při relativní vlhkosti 33 % a teplotě 22 °C zvyšoval vysokou rychlostí a obsah TAG se odpovídajícím způsobem snižoval. Změny pokračovaly i během skladování při teplotě 40 °C, přičemž se současně začaly snižovat obsahy olejové a linolové kyseliny, a to pravděpodobně v důsledku oxidace, ale obsah palmitové kyseliny zůstal relativně konstantní (Lampi et al. 2015). Molteberg et al. (1996) ve své studii uvedli, že u tepelně neošetřených mouk tvořily FFA 66 % celkových mastných kyselin po pěti týdnech skladování a po 18 týdnech se jejich podíl zvýšil na 85 %. Po 18 týdnech skladování byla patrná oxidace nenasycených FFA, to se projevilo zvýšeným obsahem těkavých látek, sníženým obsahem celkových mastných kyselin a sníženým poměrem nenasycených a nasycených volných

mastných kyselin a mastných kyselin. Zatímco studie Lampi et al. (2015) uvádí, že množství těkavých látek se výrazně zvýšilo již během 15týdenního skladování.

Změny během skladování byly doprovázeny zřetelným nárůstem chuti a vůně po malbě a trávě, kdy k největším změnám došlo mezi 18. a 42. týdnem skladování (Molteberg et al. 1996). Ve studii Heiniö et al. (2002) žluknutí a hořkost pozitivně korelovali mezi sebou a zároveň také s množstvím volných mastných kyselin a některými těkavými sloučeninami, jako jsou pentanal, 2-ethylfuran, 1-pentanol, hexanal, 1-hexanol, 2-heptanon, n-butylfuran, heptanal a pentylfuran. Výrazné sensorické změny se u nativního ovsa projeví již po jednom měsíci skladování. Zhoršení kvality ovsa bylo vnímáno jako zatuchlý, zemitý zápach a hořká, žluklá chuť. Tyto vjemy vyvolané skladováním korelovaly s produkty hydrolýzy skladovacích lipidů a s těkavými sloučeninami pocházejícími z oxidace nenasycených mastných kyselin.

Senzorická a chemická stabilita ovesných mouk během skladování se tepelným ošetřením výrazně zlepšila. Lipolytické enzymy byly během zahřívání deaktivovány, což snížilo uvolňování FFA během skladování tepelně ošetřených mouk na minimum, s hladinami <3 % celkových mastných kyselin i po 42 týdnech skladování (Molteberg et al. 1996). Heiniö et al. (2002) uvedli, že k nástupu znehodnocení a hořké chuti u zpracovaného ovsa došlo podstatně později než u ovsa nativního. Ve studii Lampi et al. (2015) neutrální lipidové profily zůstaly během skladování mouky z ošetřených ovesných (HT) zrn poměrně konstantní a nárůst těkavých látek byl pouze mírný, proto ji lze považovat za relativně stabilní.

Podle výsledků studie Lampi et al. (2015) je mouka z HT ovesných zrn mnohem stabilnější vůči oxidaci než mouka z NHT ovesných zrn, což podporuje předpoklad, že volné mastné kyseliny vzniklé během hydrolýzy jsou náchylnější k oxidaci než acyly vázané na glycerol a že napařování a sušení inaktivovalo enzymy podporující oxidaci lipidů. K podobným výsledkům došla studie Heiniö et al. (2002), kde použité tepelné ošetření účinně zachovalo původní sensorický profil zpracované ovesné krupice po dobu skladování nejméně tři měsíců, zatímco u nativní ovesné krupice bylo pozorováno výrazné zhoršení kvality již během jednoho měsíce. Jaksics et al. (2023) uvedli, že tepelné ošetření bylo vhodné ke zpomalení a zastavení hydrolýzy lipidů katalyzované především enzymy. Zároveň však neinhibovalo oxidační procesy, protože se jedná především o radikálové reakce ovlivněné chemickým prostředím (pH, iontová síla, antioxidanty atd.) a fyzikálními faktory (teplota, světlo atd.). Podle Rakicá et al. (2014) by se ovesná zrna neměla skladovat déle než 12 měsíců, protože během této doby dochází k poklesu obsahu celkových fenolických látek a kyseliny kávové, které přispívají k zdravotním přínosům ovsa.

#### **3.7.4 Oxidace**

Při výrobě potravin může oxidace lipidů představovat problém při zpracování surovin a/nebo skladování potravin (Bryngelsson et al. 2002). Oxidace lipidů může zároveň snižovat nutriční kvalitu, měnit strukturu a barvu potravin a produkovat sloučeniny, které jsou škodlivé pro lidské zdraví. Oxidace je jedna z hlavních příčin kažení potravin (Croguennec 2016) a jedním z nejdůležitějších faktorů omezujících jejich trvanlivost (Jacobsen 2019).

Oxidační reakce lipidů probíhá nejčastěji mezi polyenovými mastnými kyselinami a kyslíkem. Současně probíhá několik rozkladných a polymerizačních reakcí, které způsobují vznik složité směsi reakčních produktů: aldehydů, ketonů, alkoholů, uhlovodíků a polymerů

odpovědných za fyzikálně-chemické a senzorické vlastnosti oxidovaných lipidů. Ve většině případů je nežádoucí vznik sloučenin, které vydávají nepříjemné chutě nebo pachy, běžně označované jako žluknutí (Croguennec 2016). Při oxidačních reakcích vznikají reaktivní radikály a oxosloučeniny (ketony, aldehydy, epoxidové sloučeniny) (Jaksics et al. 2023). Oxidační žluknutí je tedy oxidační znehodnocení olejů/tuků nebo potravin obsahujících oleje/tuky během zpracování a skladování potravin (Jacobsen 2019). Žluknutí může také nastat v důsledku hydrolýzy lipidů a následném vzniku volných mastných kyselin, v tomto případě používáme termín hydrolytické žluknutí (Jacobsen 2019; Jaksics et al. 2023).

Nenasycené mastné kyseliny vázané v molekulách lipidů (TAG nebo PL) nebo jako volné mastné kyseliny jsou základním substrátem oxidace lipidů. Mohou nastat tři různé typy oxidačních reakcí lipidů: 1) enzymatická oxidace lipidů, 2) autooxidace, což je reakce mezi volnými lipidovými radikály s kyslíkem, a 3) fotooxidace, ke které dochází, když jsou lipidy vystaveny světlu v přítomnosti fotosenzibilizátorů (Jacobsen 2019). K zahájení oxidační reakce lipidů je třeba aktivovat mastné kyseliny nebo kyslík. Aktivace molekuly mastné kyseliny na volný radikál je známá jako mechanismus autooxidace lipidů (Croguennec 2016). Když je oxidace lipidů iniciována autoxidací, není tvorba epoxidových a hydroxidových mastných kyselin rychlá a je pravděpodobnější, že k ní dojde při delším skladování ovsu nebo u ovesných produktů s enzymovou aktivitou (Yang et al. 2017)

### 3.7.5 Enzymatická oxidace

Předpokládá se, že hydrolytický proces je iniciován endogenními enzymy, lipázami, které se uvolňují při poškození buněk (Zhou et al. 1999). Když se lipáza dostane do kontaktu se substráty, zejména v mletém ovsu, začne rozsáhle hydrolyzovat acylestery a uvolňovat volné mastné kyseliny (FFA). Obecně jsou FFA náchylnější k oxidaci než acylestery, a to jak chemickou, tak enzymatickou cestou (Yang et al. 2019). V ovsu podléhají mastné kyseliny vzhledem k velmi nízké aktivitě lipoxygénázy (LOX) především autoxidaci za vzniku hydroperoxidů a jejich dalších reakcí. Hydroperoxydy mastných kyselin jsou dobrými substráty pro peroxyoxygénázy (POX) ovsu, což by mohlo vést k produkci epoxidových a hydroxymastných kyselin a možným hořkým pachutím v ovesných produktech (Yang et al. 2017)

Pochopení a ovlivnění enzymů modifikujících lipidy je zásadní pro prodloužení trvanlivosti produktů a zvýšení jejich přijatelnosti ze strany spotřebitelů (Yang et al. 2017). Lampi et al. (2015) uvádí, že oxidace ovesných lipidů probíhala mnohem rychleji, když byly jeho lipidy hydrolyzovány lipázou, tedy u tepelně neošetřených ovesných zrn.

#### 3.7.5.1 Lipázy

Jedním z enzymů modifikujících lipidy je lipáza, která uvolňuje volné mastné kyseliny z jejich esterů (Yang et al. 2017). Oves má vyšší lipázovou aktivitu než jiné obiloviny (viz tabulka č. 5). Uvolněné mastné kyseliny mohou reagovat s lipoxygénázami, které katalyzují přeměnu nenasycených mastných kyselin (nejčastěji linolové kyseliny) na hydroperoxydy mastných kyselin (Decker et al. 2014).

Tabulka č. 5 Aktivita a optimální pH a teplota lipázy ve vybraných celých zrnech (Decker et al. 2014)

Druh	Aktivita lipázy (jednotka*/g)
Rýže	11–13
Oves	20
Pšenice	2–4,5

\* Jedna jednotka byla definována jako množství mmol mastných kyselin uvolněných za hodinu, za specifických podmínek testu

### 3.7.5.2 Lipoxygenázy

Lipoxygenáza (LOX) je enzym zodpovědný za tvorbu hydroperoxidů, které mohou dále reagovat za vzniku těkavých látek, jako je hexanal, nebo netěkavých produktů, jako jsou oxokyseliny a dimery, několika chemickými a enzymatickými cestami (Yang et al. 2017). Ve srovnání s jinými obilovinami je aktivita lipoxygenázy u ova velmi nízká (Molteberg et al. 1996). Lipoxygenázy katalyzují tvorbu hydroperoxidů procesem podobným procesu autooxidace lipidů. Substrátem lipoxygenáz je systém cis, cis-1,4 pentadienových dvojných vazeb, který se nachází v polyenových mastných kyselinách, jako jsou linolová, linolenová nebo arachidonová kyselina (Croguennec 2016).

### 3.7.5.3 Peroxygenázy

Peroxygenáza (POX) je membránově vázaný hemový protein, který katalyzuje hydroxylaci závislou na hydroperoxidu a peroxidu vodíku, sulfoxidaci a epoxidaci. Peroxygenáza katalyzuje přeměnu hydroperoxidů mastných kyselin na epoxy- a hydroxymastné kyseliny (Hamberg & Hamberg 1996). Cesta POX začíná, když je jeden z kyslíků hydroperoxidu mastné kyseliny převeden na nenasycenou mastnou kyselinu, čímž se získá hydroxymastná kyselina a epoxidová mastná kyselina. Předpokládá se, že tyto sloučeniny jsou zodpovědné za tvorbu hořké chuti (Yang et al. 2017).

Oves měl vysokou aktivitu POX, která je schopna přeměnit hydroperoxydy na epoxy- a hydroxymastné kyseliny, které by mohly významně přispívat k nepříjemným příchuťím (Yang et al. 2017). POX ve vzorcích ova mohly jako substráty používat methylestery mastných kyselin a FFA, zatímco z trioleinu nebyly vytvořeny žádné epoxidy, což znamená, že TAG nebyly vhodnými substráty pro ovesné POX. V souladu s těmito výsledky byly FFA a methylestery uváděny jako preferovanější substráty pro ovesné POX než fosfolipidy i ve studii Meesapyodsuk et Qiu (2011). Protože však oves obsahuje lipázovou aktivitu, nenasycené mastné kyseliny z acylglycerolů mohou být po hydrolýze podrobeny peroxygenaci (Yang et al. 2017).

### 3.7.6 Neenzymatická oxidace

Autoxidace polyenových mastných kyselin snižuje nutriční hodnotu potravin (Bratt et al. 2003). Autoxidace lipidů je autokatalytická radikálová řetězová reakce (Croguennec 2016). Přítomnost iniciátorů (např. iontů kovů, tepla, bílkovin nebo již existujících lipidových radikálů) způsobuje, že nenasycené mastné kyseliny tvoří alkylové radikály. Tyto radikály rychle reagují s kyslíkem za vzniku peroxylových radikálů. Peroxylový radikál reaguje s novou

nenasycenou mastnou kyselinou za vzniku hydroperoxidů a nového lipidového radikálu, který následně rozšíří řetězovou reakci. Lipidové hydroperoxydy jsou primárními produkty autooxidace. Vzhledem k jejich nízké těkavosti jsou bez chuti a zápachu. Řetězová reakce volných radikálů probíhá, dokud se dva volné radikály nespojí a nevytvoří neradikálový produkt, který řetězovou reakci ukončí (Jacobsen 2019).

### 3.8 Porovnání stability ovesného oleje s ostatními oleji

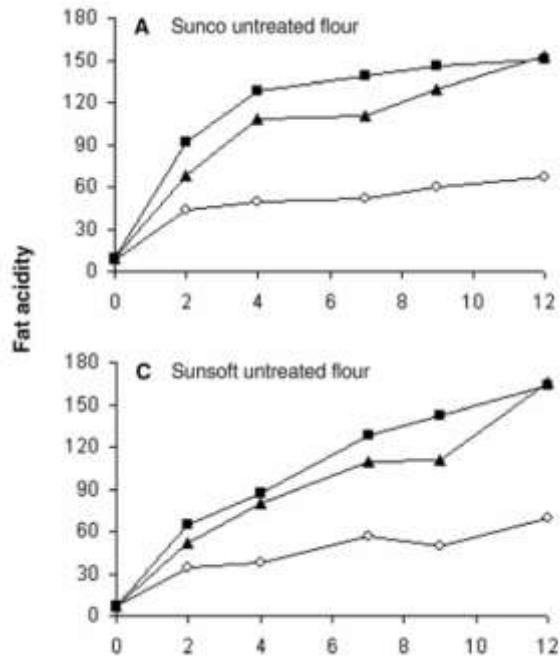
Jedlé oleje mají tendenci podléhat oxidačnímu žluknutí během dlouhodobého skladování (Xu et al. 2018). Oxidační stabilita závisí na řadě vnitřních i vnějších faktorů (Fereidoon & Ying 2010), jako je složení mastných kyselin, přičemž čím je tuk více nenasyčený a méně nasycený, tím rychleji probíhá oxidační reakce a nejrychleji se oxiduje kyselina linolenová, následovaná linolovou a olejovou kyselinou (Maszewska et al. 2018). Dále například složení minoritních složek může oxidační stabilitu ovlivnit pozitivním i negativním způsobem (Fereidoon & Ying 2010). A také může záviset na rozdílném obsahu pro- a antioxidačních sloučenin (Maszewska et al. 2018). Mezi vnější faktory můžeme zařadit podmínky prostředí při skladování, jako jsou vlhkost semen, kyslík a teplota (Fereidoon & Ying 2010; Zhang et al. 2021).

#### 3.8.1 Porovnání stability olejů pomocí čísla kyselosti

U ovsu skladovaného při teplotě 20 °C a při 80% relativní vlhkosti vzduchu došlo během 1 roku k 1,3 až 1,8násobnému nárůstu čísla kyselosti, přičemž k nejrychlejšímu nárůstu došlo při 30 °C, zejména při 80% relativní vlhkosti (White et al. 1999). Podle studie Jaksicse et al. (2023) byla hodnota čísla kyselosti naměřená na konci sedmiměsíčního skladování více než třikrát vyšší než počáteční hodnota, avšak u tepelně ošetřených vzorků se hodnota čísla kyselosti v průběhu skladování neměnila. White et al. (1999) uvedli, že u ječmene byl pozorován podobný průběh nárůstu čísla kyselosti jako u ovsu (tabulka č. 6). Přičemž u vzorků ovsu a ječmene skladovaných při teplotě 10 °C a při všech relativních vlhkostech (35 %, 50 %, 65 % a 80 %) došlo k nejmenším změnám čísla kyselosti. K nejrychlejšímu nárůstu došlo při 30 °C, zejména při 80% relativní vlhkosti. Během tříměsíčního skladování neošetřené rýže hnědé při teplotě 25 °C a relativní vlhkosti 60 % se číslo kyselosti zvýšilo z počáteční hodnoty 24,9 mg KOH/100 g rýže na necelých 50 mg KOH/100 g rýže (Wang et al. 2018). Ve studii Maszewska et al. (2018) stanovili číslo kyselosti u oleje z rýžových otrub na začátku skladování na 0,22 mg KOH/g a po 12 měsících skladování při pokojové teplotě (20±2 °C) se hodnota zvýšila na 0,34 mg KOH/g. Salman & Copeland (2007) studovali číslo kyselosti u dvou odrůd pšenice Sunco a Sunsoft. V neošetřené mouce Sunco se číslo kyselosti po 2 měsících skladování zvýšilo z 8,8 na 48, 81 a 92 mg KOH/100 g sušiny mouky při 4, 20 a 30 °C, k podobným nárůstům došlo i u neošetřené mouky Sunsoft, kde se číslo kyselosti zvýšilo z 6,7 na 34, 52 a 64 mg KOH/100 g sušiny mouky při 4, 20 a 30 °C. Po dvanácti měsících skladování u neošetřené mouky Sunco došlo ke zvýšení čísla kyselosti při 4 °C na 74 mg KOH/100 g, při 20 °C na 153 mg KOH a při 30 °C na 150 mg KOH/100 g suché mouky, přičemž u neošetřené mouky Sunsoft byly pozorovány podobné výsledky (obr. 7). Tato studie uvedla, že lepší výsledky vykazovaly vzorky, které byly uchovány jako zrno, přičemž po dvouměsíčním skladování u vzorků Sunco došlo k nárůstu čísla kyselosti z 8 na 16, 19 a 19 mg KOH/100 g sušiny mouky při 4, 20 a 30



°C a u vzorků Sunsoft uchovávaných při 4, 20 a 30 °C z 6,7 na 20, 21 a 23 mg KOH/100 g sušiny mouky. Ve studii Maszewska et al. (2018) dále stanovovali číslo kyselosti u arašídového, kukuřičného, hroznového a řepkového oleje (viz tabulka č. 6). Po dvanáctiměsíčním skladování při pokojové teplotě (20±2 °C) se číslo kyselosti nejvíce zvýšilo u řepkového oleje a to z 0,17 na 0,33 mg KOH/g, k nejmenšímu nárustu došlo u kukuřičného oleje a to z 0,22 na 0,25 mg KOH/g.



Obr. 7 – Číslo kyselosti během skladování u pšeničné mouky Sunco a Sunsoft (Salman & Copeland 2007)

Tabulka č. 6 – Srovnání čísla kyselosti vzorků během skladování (White et al. 1999; Maszewska et al. 2018)

Vzorek	RH %	Teplota °C	Doba skladování (měsíce)						Studie
			1 M/R/B*	3 M/R/B	5 M/R/B	7 M/R/B	9 M/R/B	12 M/R/B	
Oves	50	10	66/44/42	56/51/46	54/41/45	57/45/54	70/50/58	65/47/47	(White et al. 1999)
		20	57/35/43	60/41/47	56/44/48	61/50/57	68/52/61	67/50/56	
		30	55/43/41	63/43/53	63/51/48	72/57/65	75/58/73	83/67/74	
	65	10	52/44/45	62/45/48	58/45/44	58/50/54	70/46/58	66/51/58	
		20	53/38/45	67/50/53	62/48/50	63/52/57	71/54/62	75/50/63	
		30	58/44/45	72/40/58	68/53/58	71/63/72	85/68/89	67/74/97	
	80	10	67/39/44	60/50/55	60/44/44	72/54/61	73/53/61	73/54/62	
		20	60/39/44	62/48/58	65/52/55	78/55/66	87/73/67	80/64/81	
		30	64/41/44	77/56/70	81/61/80	102/78/95	110/86/114	140/94/172	
Ječmen	50	10	B/C*	B/C	B/C	B/C	B/C	B/C	(Maszewska et al. 2018)
		20	10/10	11/13	13/12	13/14	14/13	13/15	
		30	11/8	11/14	13/13	15/16	13/10	15/17	
	65	10	10/11	17/17	17/19	20/29	18/21	23/28	
		20	11/10	11/13	13/13	13/14	15/15	14/18	
		30	11/10	12/15	14/14	16/17	13/20	14/23	
	80	10	11/12	13/17	18/21	21/26	28/29	28/37	
		20	10/9	12/12	13/14	14/15	16/17	32/19	
		30	10/9	16/17	16/18	21/22	28/26	35/28	
30	12/14	17/29	23/45	29/48	29/44	36/41			
	Vzorek oleje	Teplota	RH	Doba skladování (měsíc)					
				1	12				
Arašídový	25 °C	60 %	0,11	0,17					
Kukuřičný	25 °C	60 %	0,22	0,25					
Z rýžových otrub	25 °C	60 %	0,22	0,34					
Řepkový	25 °C	60 %	0,17	0,33					
Z hroznových semínek	25 °C	60 %	0,30	0,39					

\*Odrůdy: oves M = AC Marie, R= Robert, B = AC Belmont; ječmen B = Bedford, C = Condor

### 3.8.2 Porovnání stability olejů pomocí obsahu FFA

U nativního ovsa se hodnota volných mastných kyselin z 3,6 mg mastných kyselin/mg sušiny drceného ovsa zvýšila na 26,3 mg mastných kyselin/mg sušiny drceného ovsa po 12 měsících skladování (tabulka č. 7) (Heiniö et al. 2002). Podle studie Molteberg et al. (1996) docházelo k hlavnímu uvolňování FFA během prvních pěti týdnů, přičemž nejvyšší množství FFA (6,4 g/100 g sušiny) bylo zjištěno po 18 týdnech skladování (viz tabulka č. 7). Další skladování až do 42 týdnů snížilo průměrný obsah FFA na 5,3 g/100 g sušiny. Během

skladování syrových rýžových otrub se sledoval obsah volných mastných kyselin u vzorků uložených v obalech se zipem a ve vakuových obalech při teplotách 4-5 °C a 25 °C. Výsledky ukázaly, že nejnižší nárůst obsahu FFA po 4 týdnech byl zaznamenán u vzorků skladovaných při 4-5 °C v obalu se zipem, a to z 2,5 % na 8,9 %. Poté u vzorků skladovaných ve vakuových obalech při stejných podmínkách se obsah FFA zvýšil z 2,5 % na 9,3 %. U vzorků skladovaných při teplotě 25 °C došlo po 4 týdnech v obalech se zipem ke zvýšení obsahu FFA na 34,4 % a v vakuových obalech na 38,8 %. V průběhu 16týdenního skladování se obsah FFA dále zvyšoval, nejvýrazněji u vzorků skladovaných při 25 °C, kde dosáhl 48,0 % v sáčkích se zipem a 54,3 % ve vakuových obalech. U vzorků skladovaných při 4-5 °C byl obsah FFA nižší, dosáhl 19,5 % v sáčkích se zipem a 25,4 % ve vakuových obalech (tabulka č. 7) (Ramezanzadeh et al. 1999). Studie Yadav et al. (2012) uvádí, že u neošetřené mouky z prosa se hodnota FFA z 20,11 % po 30 dnech skladování při teplotě 15–35 °C a relativní vlhkosti 45–85 % zvýšila na 32,43 % (tabulka č. 7).

U tepelně zpracovaných ovesných mouk došlo během skladování pouze k nízkému zvýšení FFA (tabulka č. 7) (Molteberg et al. 1996). Naproti tomu Heiniö et al. (2002) uvedli, že u zpracovaného ovsa se po dvanáctiměsíčním skladování hodnota FFA z 3,2 mg mastných kyselin/mg sušiny drceného ovsa zvýšila na 30,0 mg mastných kyselin/mg sušiny drceného ovsa, což je hodnota vyšší než u nativního ovsa (tabulka č. 7). U mikrovlnně ošetřených rýžových otrub v obalu se zipem a ve vakuovém obalu došlo během 16týdenního skladování při 25 °C k malému, ale stálému nárůstu hladiny FFA. Zatímco při teplotě 4-5 °C během 16 týdnů nedošlo v podstatě k žádné změně koncentrace FFA v obou typech obalů (Ramezanzadeh et al. 1999). Hodnota FFA se u mikrovlnně ošetřených vzorků mouky z prosa se po 30 dnech při teplotě 15–35 °C a relativní vlhkosti 45–85 % zvýšila z 20,80 na 22,25 % (tabulka č. 7) (Yadav et al. 2012).

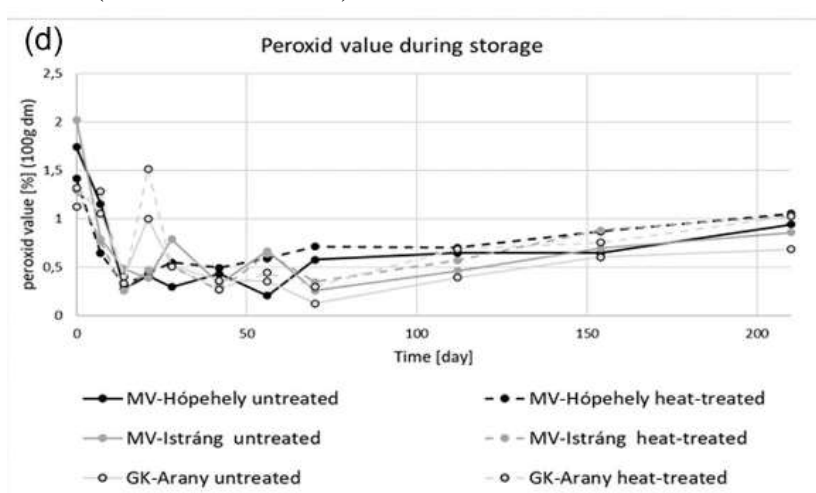
Tabulka č. 7 – Srovnání obsahu volných mastných kyselin v obilovinách během skladování (Heiniö et al., 2002; Molteberg et al. 1996; Ramezanzadeh et al., 1999; Yadav et al., 2012)

Vzorek	Obsah FFA v mg/ mg sušiny drceného ovsa						Studie
	Doba skladování						
	0. den	1. měsíc	2. měsíc	6. měsíc	9. měsíc	12. měsíc	
Oves nativní	3,6	12,8	14,7	28,2	28,9	26,3	(Heiniö et al., 2002)
Oves ošetřený	3,2	8,5	11,9	31,1	33,2	30,0	
Vzorek	Obsah FFA v g/100 g sušiny						
	Doba skladování (týdny)						
	0	5	18	42			
Syrová ovesná mouka	0,45	5,07	6,41	5,28			(Molteberg et al. 1996)
Tepelně ošetřená ovesná mouka	0,084	0,087	0,172	0,216			
Vzorek	Teplota	Obsah FFA v neošetřených rýžových otrubách (%)					
		Doba skladování v týdnech					
		0	4	16			
Obal se zipem	25 °C	2,5	34,4	48,0	(Ramezanzadeh et al. 1999)		
	4-5 °C	2,5	8,9	19,5			
Vakuový obal	25 °C	2,5	38,8	54,3			
	4-5 °C	2,5	9,3	25,4			
Vzorek	Obsah FFA (%)						
	Doba skladování (dny)						
	0	30					
Neošetřená mouka z prosa perlového	20,11	32,43			(Yadav et al. 2012)		
Mikrovlně ošetřená mouka z prosa perlového	20,80	22,25					

### 3.8.3 Porovnání stability olejů pomocí peroxidového čísla

Nejnižší hodnota peroxidového čísla byla zjištěna ve studii Maszewska et al. (2018) u řepkového oleje v 1. i 12. měsíci skladování (0,3-1,0 mEq O<sub>2</sub>/kg). V této studii byl zaznamenán i nejnižší nárůst peroxidového čísla, a to u vzorků oleje z rýžových otrub (z 4,4 na 4,5 mEq O<sub>2</sub>/kg) (tabulka č. 7). Podle studie Rudnik et al. (2001) se peroxidové číslo lněného oleje po 9 měsících skladování zvýšilo z 2 mEq O<sub>2</sub>/kg na 12,3 mEq O<sub>2</sub>/kg (viz tabulka č. 8). U neošetřené mouky z prosa se peroxidové číslo z počátečních 11,23 meq O<sub>2</sub>/kg tuku po 30 dnech při teplotě 15-35 °C a relativní vlhkosti 45-85 % zvýšilo na 28,96 meq O<sub>2</sub>/kg tuku (Yadav et al. 2012). U arašídového oleje se peroxidové číslo z 1,2 mEq O<sub>2</sub>/kg po 12 měsících

skladování zvýšilo na 1,6 mEq O<sub>2</sub>/kg, k podobnému nárůstu peroxidového čísla došlo u kukuřičného oleje, a to z 1,2 mEq O<sub>2</sub>/kg na 1,7 mEq O<sub>2</sub>/kg (tabulka č. 8) (Maszewska et al. 2018). Xu et al. (2018) stanovili pořadí oxidační stability takto: řepkový olej > podzemnicový olej > sójový olej > lněný olej. Zatímco u ovsa v den 0 byla hodnota peroxidového čísla u neošetřených vzorků 1,4-2,1 %, během prvních 14 dnů bylo pozorováno postupné snižování peroxidového čísla, které se však po druhém týdnu začalo mírně a kontinuálně zvyšovat (obr. 8). To naznačuje, že oxidace lipidů probíhala pomalu, ale nepřetržitě. Mezi ošetřenými a neošetřenými vzorky ani mezi odrůdami nebyl zjištěn rozdíl v naměřené hodnotě peroxidového čísla, což naznačuje, že procesy oxidace nebyly ovlivněny ani ošetřením teplem, ani odrůdami (Jaksics et al. 2023).



Obr. 8 – Peroxidové číslo u ošetřeného a neošetřeného ovsa během skladování (Jaksics et al. 2023)

Tabulka č. 8 – Srovnání peroxidového čísla vzorků během skladování (Rudnik et al. 2001; Yadav et al. 2012; Maszewska et al. 2018)

Vzorek	Peroxidové číslo (mEq O <sub>2</sub> /kg)		Studie					
	Doba skladování							
	1. měsíc	12. měsíc						
Arašidový olej	1,2	1,6	(Maszewska et al. 2018)					
Kukuřičný olej	1,2	1,7						
Olej z rýžových otrub	4,4	4,5						
Řepkový olej	0,3	1,0						
Hroznový olej	2,6	3,0						
Vzorek	Peroxidové číslo (mEq O <sub>2</sub> /kg)							(Rudnik et al. 2001)
	Doba skladování (měsíce)							
	0	1	2	3	5	7	9	
Lněný olej	2,0	2,0	2,2	2,7	3,8	6,2	12,3	
Vzorek	Peroxidové číslo (mEq O <sub>2</sub> /kg)		(Yadav et al. 2012)					
	Doba skladování (dny)							
	0	30						
Neošetřená mouka z prosa	11,23	28,96						

### 3.9 Oves a jeho vliv na zdraví člověka

Celozrnné ovesné výrobky mají pozitivní vliv na mnoho zdravotních potíží spojených s ischemickou chorobou srdeční, cukrovkou, regulací sytosti/váhy, fungováním střev a krevním tlakem (Smulders et al. 2018). Oves je bohatý na polyfenoly, saponiny a flavonoidy, které účinně odbourávají volné kyslíkové radikály a vykazují vysokou antioxidační kapacitu, čímž zabraňují vzniku nádorového onemocnění (Bratt et al. 2003; Tang et al. 2022).

Oves je známý jako potravina zdravá pro srdce. Snižuje celkový cholesterol a LDL cholesterol díky obsahu  $\beta$ -glukanů a potlačuje zánět, uvolňuje tepny a inhibuje proliferaci buněk hladkých svalů; tyto účinky jsou způsobeny jedinečným obsahem polyfenolů v ovsu, avenanthramidů, které potenciálně přispívají ke snížení rizika ischemické choroby srdeční (Meydani 2009).

Ovesné  $\beta$ -glukany mohou významně zpomalit vstřebávání glukózy a snížit postprandiální hladinu glukózy v krvi. Po jídle mohou zpomalit trávení a vstřebávání škrobu snížením aktivity amylázy, čímž se dosáhne účinku snižujícího hladinu cukru v krvi. Oves obsahuje rozpustnou vlákninu s vysokou viskozitou, která zpomaluje vyprazdňování žaludku a zvyšuje pocit sytosti, čímž snižují četnost a množství jídel, což zabraňuje přibývání na váze (Tang et al. 2022). Ovesné polyfenoly mají protizánětlivé účinky a antiproliferační vlastnosti, které v kombinaci s vysokým obsahem vlákniny mohou přispívat ke snížení rizika rakoviny tlustého střeva (Meydani 2009).

Ovesné vločky se již po staletí používají jako zklidňující prostředek ke zmírnění svědění a podráždění spojeného s různými xerotickými dermatózami. Koloidní ovesné vločky se v dermatologii hojně využívají k lokální léčbě kožních onemocnění, jako jsou atopická dermatitida a ekzémy (Sur et al. 2008).

Současné důkazy naznačují, že pravidelné zařazování potravin obsahujících oves do každodenní stravy může snížit riziko několika onemocnění spojených se zánětem (Meydani 2009).

## 4 Závěr

Na základě vědecké literatury bylo popsáno složení ovsa, obsah a složení lipidů, složení mastných kyselin a antioxidantů v ovsu a porovnáno s ostatními obilovinami a některými oleji. Dále byla popsána oxidace a oxidační stabilita oleje během skladování, jak ji lze ovlivnit zpracováním, a nakonec byla oxidační stabilita porovnána s jinými obilovinami a oleji.

Nenasycené mastné kyseliny tvoří v ovsu i více než 75 % lipidů. Mezi hlavní mastné kyseliny v ovsu patří linolová, olejová a palmitová kyselina, přičemž většina studií uvádí, že linolová kyselina byla v ovsu ve větším množství než olejová kyselina. Zároveň oves, čirok a rýže obsahovaly více olejové kyseliny než ostatní obiloviny a méně linolenové a linolové kyseliny. Na základě složení mastných kyselin by se dalo říct, že oves je oxidačně stabilnější, protože obsahuje menší množství linolenové kyseliny a obvykle i menší obsah linolové kyseliny.

Co se týče antioxidantů a antioxidační aktivity bylo zjištěno, že nahý oves má menší antioxidační aktivitu a obsah fenolových látek než oves pluchatý. Nejvyšší obsah fenolických látek, celkových antioxidantů a antioxidační aktivity byl zjištěn u pohanky a nejnižší u rýže, přičemž v dalším pořadí se jednotlivé studie neshodovaly. Obsah antioxidantů může být ovlivněn vnitřními a vnějšími faktory. Rozdíly také mohly být způsobeny použitím různých metod extrakce a stanovení antioxidantů a antioxidační stability.

Celá zrna jsou stabilnější než mouka, protože při mletí dochází ke kontaktu enzymů s lipidy. Tepelné zpracování je účinné pro snížení či zastavení enzymů, které oxidaci podporují, zároveň ale může dojít k destrukci antioxidantů, které zabraňují neenzymatické oxidaci. Stabilita ovsa závisí z velké části na zpracování a podmínkách skladování. Většina studií uvádí že tepelně ošetřený oves je stabilnější než nativní oves. Ovšem oxidační reakce nemuseli být úplně zastaveny, protože dále mohli probíhat neenzymatická oxidace, které ale může ovlivnit obsah antioxidantů.

Během skladování se ve všech vzorcích zvýšilo číslo kyselosti. Nejmenší nárůst byl sledován u kukuřičného oleje a následně u ječmene a ovsa. Pomocí měření volných mastných kyselin a peroxidového čísla nelze přesně určit, který vzorek měl nejlepší stabilitu kvůli odlišné délce a způsobu skladování. Většina studií se shodla, že tepelné ošetření snížilo oxidaci lipidů během skladování.

Na otázku, zda je ovesný olej stabilnější než ostatní obiloviny nelze podle literatury jednoznačně odpovědět, protože ve studiích nebyly provedeny stejné postupy při měření, způsoby měření a zpracování ani doba a způsob skladování. Stabilita závisí na řadě faktorů, jako je odrůda rostliny, lokalita pěstování, pěstební postupy a klimatické podmínky, což může ovlivnit obsah lipidů, složení mastných kyselin a obsah antioxidantů. Dále závisí na zpracování daného výrobku a v poslední řadě na podmínkách při skladování jako je vlhkost, teplota, přístup vzduchu a světla. Pro získání přesnějších výsledků by bylo nezbytné provést výzkum oxidační stability ovsa a dalších obilovin, kde by byly dodrženy stejné postupy se vzorky a provedena byla by stejná stanovení.

## 5 Literatura

- Adom KK, Liu RH. 2002. Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**:6182–6187.
- Banaś A et al. 2007. Lipids in grain tissues of oat (*Avena sativa*): differences in content, time of deposition, and fatty acid composition. *Journal of Experimental Botany* **58**:2463–2470. Oxford Academic. Available from <https://academic.oup.com/jxb/article/58/10/2463/577149> (accessed June 19, 2022).
- Banaś K, Harasym J. 2021. Current Knowledge of Content and Composition of Oat Oil — Future Perspectives of Oat as Oil Source. *Food and Bioprocess Technology* **14**:232–247. Springer.
- Bektaş M, Ertop MH. 2021. Phytic acid content and in-vitro digestibility of several cereal and legume types treated with different processes. — *Food Technology* — — *Ukrainian Food Journal*. 2021 **10**.
- ben Halima N, ben Saad R, Khemakhem B, Fendri I, Abdelkafi S. 2015. Oat (*Avena sativa* L.): Oil and Nutrient Compounds Valorization for Potential Use in Industrial Applications. *Journal of oleo science* **64**:915–932. *J Oleo Sci*. Available from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26250424/> (accessed June 27, 2022).
- Berga L, Zute S. 2012. Variability in  $\alpha$ -tocopherol concentration of husked and naked oat genotypes. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences* **66**:26–29.
- Biel W, Bobko K, Maciorowski R. 2009. Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. *Journal of Cereal Science* **49**:413–418. Academic Press.
- Bityutskii NP, Loskutov I, Yakkonen K, Konarev A, Shelenga T, Khoreva V, Blinova E, Ryumin A. 2020. Screening of *Avena sativa* cultivars for iron, zinc, manganese, protein and oil content and fatty acid composition in whole grains. *Cereal Research Communications* **48**:87–94. *Akademiai Kiado*. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/s42976-019-00002-2> (accessed June 19, 2022).
- Bondet V, Brand-Williams W, Berset C. 1997. Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH• free radical method. *LWT - Food Science and Technology* **30**:609–615. Academic Press.
- Bratt K, Sunnerheim K, Bryngelsson S, Fagerlund A, Engman L, Andersson RE, Dimberg LH. 2003. Avenanthramides in oats (*Avena sativa* L.) and structure-antioxidant activity relationships. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**:594–600. *American Chemical Society*. Available from <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/jf020544f> (accessed November 5, 2022).
- Brindzová L, Čertík M, Rapta P, Zalibera M, Mikulajová A, Takácsová M. 2008. Antioxidant Activity,  $\beta$ -Glucan and Lipid Contents of Oat Varieties. *Czech J. Food Sci* **26**:163–173.
- Bryngelsson S, Mannerstedt-Fogelfors B, Kamal-Eldin A, Andersson R, Dimberg LH. 2002. Lipids and antioxidants in groats and hulls of Swedish oats (*Avena sativa* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* **82**:606–614.
- Chen H, Qiu S, Gan J, Li Z, Nirasawa S, Yin L. 2016. New insights into the antioxidant activity and components in crude oat oil and soybean oil. *Journal of Food Science and Technology* **53**:808–815. Springer India.



- Croguennec T. 2016. Lipid Oxidation. Handbook of Food Science and Technology 1:99–131. John Wiley & Sons, Ltd, Hoboken, NJ, USA. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/9781119268659.ch4> (accessed November 7, 2022).
- DAVID M. PETERSON, ASAF A. QURESHI. 1993. Genotype and Environment Effects on Tocols of Barley and Oats.
- Decker EA, Rose DJ, Stewart D. 2014. Processing of oats and the impact of processing operations on nutrition and health benefits. *The British journal of nutrition* **112 Suppl 2**:S58–S64. *Br J Nutr*. Available from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25267246/> (accessed June 22, 2022).
- Emmons CL, Peterson DM. 1999. Antioxidant Activity and Phenolic Contents of Oat Groats and Hulls. *Cereal Chemistry Journal* **76**:902–906. American Association of Cereal Chemists. Available from <http://doi.wiley.com/10.1094/CHEM.1999.76.6.902> (accessed May 31, 2022).
- European Food Safety Authority. 2010. Scientific Opinion on the substantiation of a health claim related to oat beta glucan and lowering blood cholesterol and reduced risk of (coronary) heart disease pursuant to Article 14 of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal* **8**. Wiley-Blackwell Publishing Ltd.
- European Food Safety Authority. 2011, June 1. Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to oat and barley grain fibre and increase in faecal bulk (ID 819, 822) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. Wiley-Blackwell Publishing Ltd.
- Fagerlund A, Sunnerheim K, Dimberg LH. 2009. Radical-scavenging and antioxidant activity of avenanthramides. *Food Chemistry* **113**:550–556. Elsevier.
- Fereidoon S, Ying Z. 2010. Lipid oxidation and improving the oxidative stability. *Chemical Society Reviews* **39**:4067–4079.
- Frey KJ, Hammond EG. 1975. Genetics, characteristics, and utilization of oil in caryopses of oat species. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **52**:358–362. John Wiley & Sons, Ltd. Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1007/BF02639196> (accessed October 17, 2022).
- Gaca A, Kludská E, Hradecký J, Hajšlová J, Jeleň HH. 2021. Changes in volatile compound profiles in cold-pressed oils obtained from various seeds during accelerated storage. *Molecules* **26**. MDPI AG.
- GALLIARD T. 1983. Enzymic Degradation of Cereal Lipids. Pages 111–147 *Lipids in Cereal Technology*. Elsevier.
- Ganßmann W, Vorwerck K. 1995. Oat milling, processing and storage. *The Oat Crop*:369–408. Springer, Dordrecht. Available from [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-0015-1\\_12](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-0015-1_12) (accessed July 15, 2022).
- Garcõ Â a-Estepa RM, Guerra-HernaÂ ndez E, Garcõ Â a-Villanova B. 1999. Phytic acid content in milled cereal products and breads. Available from [www.elsevier.com/locate/foodres](http://www.elsevier.com/locate/foodres).
- Graf E, Eaton JW. 1990. Antioxidant functions of phytic acid. *Free Radical Biology and Medicine* **8**:61–69.
- Halvorsen BL et al. 2002. Nutrient Requirements A Systematic Screening of Total Antioxidants in Dietary Plants 1.

- Hamberg M, Hamberg C. 1996. Peroxygenase-Catalyzed Fatty Acid Epoxidation in Cereal Seeds' Sequential Oxidation of linoleic Acid into. *Plant Physiol.* **1**:807–81. Available from <https://academic.oup.com/plphys/article/110/3/807/6070090> (accessed January 24, 2023).
- Head D, Cenkowski S, Arntfield S, Henderson K. 2011. Storage stability of oat groats processed commercially and with superheated steam. *LWT - Food Science and Technology* **44**:261–268. Academic Press.
- Heiniö RL, Lehtinen P, Oksman-Caldentey KM, Poutanen K. 2002. Differences between sensory profiles and development of rancidity during long-term storage of native and processed oat. *Cereal Chemistry* **79**:367–375. American Association of Cereal Chemists.
- Hildebrand DF. 1989. Lipoxygenases. *Physiologia Plantarum* **76**:249–253.
- Hodzic Z, Srabovic M, Saletovic M, Pasalic H, Memisevic A, Poljakovic M. 2009. The Influence of Total Phenols Content on Antioxidant Capacity in the Whole Grain Extracts The Influence of Total Phenols Content on Antioxidant Capacity in the Whole Grain Extract. *Page European Journal of Scientific Research*. Available from <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm>.
- Ibrahim MS, Ahmad A, Sohail A, Asad MJ. 2020. Nutritional and functional characterization of different oat (*Avena sativa* L.) cultivars. *International Journal of Food Properties* **23**:1373–1385. Taylor and Francis Inc.
- Ishihara A, Kojima K, Fujita T, Yamamoto Y, Nakajima H. 2014. New series of avenanthramides in oat seed. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* **78**:1975–1983. Japan Society for Bioscience Biotechnology and Agrochemistry.
- Jacobsen C. 2019. Oxidative Rancidity. *Encyclopedia of Food Chemistry*:261–269. Academic Press.
- Jaksics E, Németh R, Schall E, Szentmiklóssy MKJ, Bidló G, Simon K, Tömösközi S. 2023. STUDY OF THE EFFECTS OF HEAT TREATMENT ON THE COMPOSITION, FUNCTIONALITY, AND OXIDATIVE AND HYDROLYTIC STABILITY OF OAT. *Cereal Chemistry* DOI: 10.1002/CCHE.10646. Wiley.
- Jensen PN, Bertelsen G, Van Den Berg F. 2005. Monitoring oxidative quality of pork scratchings, peanuts, oatmeal and muesli by sensor array. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **85**:206–212.
- Jensen PN, Risbo J. 2007. Oxidative stability of snack and cereal products in relation to moisture sorption. *Food Chemistry* **103**:717–724.
- Jideani IOA, Silungwe H, Takalani T, A. Anyasi T, Udeh H, Omolol A. 2014. Antioxidant-Rich Natural Grain Products and Human Health. *Page Antioxidant-Antidiabetic Agents and Human Health*. InTech.
- Kaimainen M, Ahvenainen S, Kaariste M, Järvenpää E, Kaasalainen M, Salomäki M, Salonen J, Huopalahti R. 2012. Polar lipid fraction from oat (*Avena sativa*): Characterization and use as an o/w emulsifier. *European Food Research and Technology* **235**:507–515. Springer. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-012-1780-1> (accessed June 19, 2022).
- Kalbasi-Ashtari A, Hammond EG. 1977. Oat Oil: Refining and stability. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **54**:305–307. Springer. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02672430> (accessed June 22, 2022).
- Kamal-Eldin A, Appelqvist LÅ. 1996. The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. *Lipids* **31**:671–701. *Lipids*. Available from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8827691/> (accessed October 31, 2022).

- Knights BA. 1965. Identification of the sterols of oat seed. *Phytochemistry* **4**:857–862.
- Kouřimská L, Sabolová M, Horčíčka P, Rys S, Božik M. 2018. Lipid content, fatty acid profile, and nutritional value of new oat cultivars. *Journal of Cereal Science* **84**:44–48. Academic Press.
- Lampi AM, Damerau A, Li J, Moisio T, Partanen R, Forssell P, Piironen V. 2015. Changes in lipids and volatile compounds of oat flours and extrudates during processing and storage. *Journal of Cereal Science* **62**:102–109. Academic Press.
- Landberg R, Sunnerheim K, Dimberg LH. 2020. Avenanthramides as lipoxygenase inhibitors. *Heliyon* **6**:e04304. Elsevier.
- Lehtinen P, Laakso S. 2004. Role of lipid reactions in quality of oat products. *Agricultural and Food Science* **13**:88–99.
- Lein Molteberg E, Vogt G, Nilsson, A, Frølich W. 1995. Effects of Storage and Heat Processing on the Content and Composition of Free Fatty Acids in Oats.
- Li L, Shewry PR, Ward JL. 2008. Phenolic Acids in Wheat Varieties in the HEALTHGRAIN Diversity Screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **56**:9732–9739. American Chemical Society. Available from <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf801069s> (accessed November 5, 2022).
- Liu KS. 2011. Comparison of Lipid Content and Fatty Acid Composition and Their Distribution within Seeds of 5 Small Grain Species. *Journal of Food Science* **76**:C334–C342. Blackwell Publishing Inc.
- Liu L, Zubik L, Collins FW, Marko M, Meydani M. 2004. The antiatherogenic potential of oat phenolic compounds. *Atherosclerosis* **175**:39–49.
- Lopez HW, Leenhardt F, Coudray C, Remesy C. 2002. Minerals and phytic acid interactions: Is it a real problem for human nutrition? *International Journal of Food Science and Technology* **37**:727–739.
- Maszewska M, Florowska A, Dłuzewska E, Wroniak M, Marciniak-Lukasiak K, Zbikowska A. 2018. Oxidative stability of selected edible oils. *Molecules* **23**. MDPI AG.
- Meesapyodsuk D, Qiu X. 2011. A Peroxygenase Pathway Involved in the Biosynthesis of Epoxy Fatty Acids in Oat. *Plant Physiology* **157**:454–463. Oxford Academic. Available from <https://academic.oup.com/plphys/article/157/1/454/6108922> (accessed January 26, 2023).
- Meydani M. 2009. Potential health benefits of avenanthramides of oats. *Nutrition Reviews* **67**:731–735. Oxford Academic. Available from <https://academic.oup.com/nutritionreviews/article/67/12/731/1938740> (accessed November 3, 2022).
- Molteberg EL, Magnus EM, Margrete Bjørge, J, Nilsson A. 1996. Sensory and Chemical Studies of Lipid Oxidation in Raw and Heat-Treated Oat Flours.
- Molteberg EL, Solheim R, Dimberg LH, Frølich W. 1996. Variation in oat groats due to variety, storage and heat treatment. II: Sensory quality. *Journal of Cereal Science* **24**:273–282. Academic Press.
- Montealegre C, Verardo V, Gómez-Caravaca AM, García-Ruiz C, Marina ML, Caboni MF. 2012. Molecular characterization of phospholipids by high-performance liquid chromatography combined with an evaporative light scattering detector, high-performance liquid chromatography combined with mass spectrometry, and gas chromatography combined with a flame ionization detector in different oat varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **60**:10963–10969. American Chemical

- Society. Available from <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/jf302579j> (accessed October 18, 2022).
- Peterson DM. 1995. Oat Tocols: Concentration and Stability in Oat Products and Distribution Within the Kernel.
- Peterson DM. 2001. Oat Antioxidants. *Journal of Cereal Science* **33**:115–129. Academic Press.
- Peterson DM, Hahn MJ, Emmons CL. 2002. Oat avenanthramides exhibit antioxidant activities in vitro. *Food Chemistry* **79**:473–478. Elsevier.
- Pilarski R, Zieliński H, Ciesiołka D, Gulewicz K. 2006. Antioxidant activity of ethanolic and aqueous extracts of *Uncaria tomentosa* (Willd.) DC. *Journal of Ethnopharmacology* **104**:18–23.
- Price PB, Parsons J. 1979. Distribution of lipids in embryonic axis, bran-endosperm, and hull fractions of hulless barley and hulless oat grain. Available from <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19800528377> (accessed November 7, 2022).
- Price PB, Parsons JG. 1975. Lipids of seven cereal grains. *Journal of the American Oil Chemists Society* 1975 52:12 **52**:490–493. Springer. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02640738> (accessed June 24, 2022).
- Rakić S, Janković S, Marčetić M, Živković D, Kuzevski J. 2014. The impact of storage on the primary and secondary metabolites, antioxidant activity and digestibility of oat grains (*Avena sativa*). *Journal of Functional Foods* **7**:373–380. Elsevier Ltd.
- Rakić S, Janković S, Marčetić M, Živković D, Kuzevski J. 2014. The impact of storage on the primary and secondary metabolites, antioxidant activity and digestibility of oat grains (*Avena sativa*) DOI: 10.1016/j.jff.2014.01.022. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2014.01.022> (accessed March 31, 2022).
- Ramezanzadeh FM, Rao RM, Windhauser M, Prinyawiwatkul W, Tulley R, Marshall WE. 1999. Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **47**:3050–3052.
- Rudnik E, Szczucinska A, Gwardiak H, Szulc A, Winiarska A. 2001. Comparative studies of oxidative stability of linseed oil.
- Sahasrabudhe MR. 1979. Lipid composition of oats (*Avena sativa* L.). *Journal of the American Oil Chemists' Society* 1979 56:2 **56**:80–84. Springer. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02914274> (accessed June 24, 2022).
- Salman H, Copeland L. 2007. Effect of storage on fat acidity and pasting characteristics of wheat flour. *Cereal Chemistry* **84**:600–606.
- Scalbert A, Williamson G. 2000. Chocolate: Modern Science Investigates an Ancient Medicine Dietary Intake and Bioavailability of Polyphenols 1. *J. Nutr* **130**:2073–2085. Available from <https://academic.oup.com/jn/article/130/8/2073S/4686322> (accessed January 23, 2023).
- Shewry PR et al. 2008. Phytochemical and fiber components in oat varieties in the healthgrain diversity screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **56**:9777–9784.
- Slama A, Cherif A, Boukhchina S. 2021. Importance of New Edible Oil Extracted from Seeds of Seven Cereals Species. *Journal of Food Quality* **2021**. Hindawi Limited.
- Smulders MJM, van de Wiel CCM, van den Broeck HC, van der Meer IM, Israel-Hoewelaken TPM, Timmer RD, van Dinter B-J, Braun S, Gilissen LJWJ. 2018. Oats in healthy gluten-free and regular diets: A perspective. *Food Research International* **110**:3–10. Elsevier

- Ltd. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996917308037> (accessed May 31, 2022).
- Soycan G, Schär MY, Kristek A, Boberska J, Alsharif SNS, Corona G, Shewry PR, Spencer JPE. 2019. Composition and content of phenolic acids and avenanthramides in commercial oat products: Are oats an important polyphenol source for consumers? *Food Chemistry: X* **3**. Elsevier Ltd.
- Sterna V, Zute S, Brunava L. 2016. Oat Grain Composition and its Nutrition Benefice. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* **8**:252–256. Elsevier BV.
- Sur R, Nigam A, Grote D, Liebel F, Southall MD. 2008. Avenanthramides, polyphenols from oats, exhibit anti-inflammatory and anti-itch activity. *Archives of Dermatological Research* **300**:569–574. Springer. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/s00403-008-0858-x> (accessed November 3, 2022).
- Sykut-Domamska E, Rzedzicki Z, Nita Z. 2013. Chemical Composition Variability of Naked and Husked Oat Grain (*Avena sativa* L.) DOI: 10.1556/CRC.2013.0007.
- Szterk A, Roszko M, Sosińska E, Derewiaka D, Lewicki PP. 2010. Chemical composition and oxidative stability of selected plant oils. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society* **87**:637–645.
- Tang Y, Li S, Yan J, Peng Y, Weng W, Yao X, Gao A, Cheng J, Ruan J, Xu B. 2022. Bioactive Components and Health Functions of Oat. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2029477> DOI: 10.1080/87559129.2022.2029477. Taylor & Francis. Available from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/87559129.2022.2029477> (accessed May 31, 2022).
- Tiwari U, Cummins E. 2009. Simulation of the factors affecting  $\beta$ -glucan levels during the cultivation of oats. *Journal of Cereal Science* **50**:175–183. Academic Press.
- Varma P, Bhankharia H, Bhatia S. 2016. Oats: A multi-functional grain. *Journal of Clinical and Preventive Cardiology* **5**:9. Medknow.
- Viscidi KA, Dougherty MP, Briggs J, Camire ME. 2004. Complex phenolic compounds reduce lipid oxidation in extruded oat cereals. *LWT* **37**:789–796. Academic Press.
- White NDG, Hulasare RB, Jayas DS. 1999. Effects of storage conditions on quality loss of hull-less and hulled oats and barley.
- Xing Y, White PJ. 1997. Identification and function of antioxidants from oat groats and hulls. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 1997 **74**:303–307. Springer. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11746-997-0141-x> (accessed June 22, 2022).
- Xu L, Yu X, Li M, Chen J, Wang X. 2018. Monitoring oxidative stability and changes in key volatile compounds in edible oils during ambient storage through HS-SPME/GC–MS. *International Journal of Food Properties* **20**:S2926–S2938. Taylor and Francis Inc.
- Yadav DN, Anand T, Kaur J, Singh AK. 2012. Improved Storage Stability of Pearl Millet Flour Through Microwave Treatment. *Agricultural Research* **1**:399–404. Springer.
- Yang Z, Piironen V, Lampi AM. 2017. Lipid-modifying enzymes in oat and faba bean. *Food Research International* **100**:335–343. Elsevier.
- Yang Z, Piironen V, Lampi AM. 2019. Epoxy and hydroxy fatty acids as non-volatile lipid oxidation products in oat. *Food Chemistry* **295**:82–93. Elsevier Ltd.
- Zhang Y, Truzzi F, D'amen E, Dinelli G. 2021. Effect of storage conditions and time on the polyphenol content of wheat flours. *Processes* **9**:1–11. MDPI AG.

- Zhou M, Robards K, Glennie-Holmes M, Helliwell S. 1999. Oat Lipids. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society* **76**:159–169. American Oil Chemists' Society.
- Zhou MX, Holmes MG, Robards K, Helliwell S. 1998. Fatty acid composition of lipids of Australian oats. *Journal of Cereal Science* **28**:311–319. Academic Press.

## 6 Seznam použitých zkratek a symbolů

- AVE Bc – N-(3',4'-dihydroxy-(E)-cinnamoyl-5-hydroxy-anthranilová kyselina)  
AVE Bf – N-(4'-hydroxy-3'-methoxy)-(E)-cinnamoyl-5-hydroxy-anthranilová kyselina  
AVE Bp – N-(4'-hydroxy)-(E)-cinnamoyl-5-hydroxy-anthranilová kyselina  
C16:0 – palmitová kyselina  
C18:0 – stearová kyselina  
C18:1- olejová kyselina  
C18:2- linolová kyselina  
C18:3- linolenová kyselina  
EFSA – Evropský úřad pro kontrolu léčiv  
FFA – volné mastné kyseliny  
GAE – ekvivalent gallové kyseliny  
GC – plynová chromatografie  
GC-MS – plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií  
HS-SPME-GC-MS – mikroextrakce pevnou fází z head-space spojená s plynovou chromatografií a hmotnostní spektrometrií  
HT – tepelně ošetřený vzorek  
LDL cholesterol – lipoprotein s nízkou hustotou  
LOX – lipoxygenáza  
NHT – tepelně neošetřený vzorek  
PL – fosfolipid  
POX – peroxygenáza  
RH – relativní vlhkost  
TAG – triacylglycerol  
USFDA – Americký Úřad pro kontrolu potravin a léčiv