

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra chemie**



**Významné antioxidanty a antioxidační aktivita ve  
vybraných druzích obilovin**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Martin Liška**

**Obor studia: Výživa a potraviny (ATZD)**

**Vedoucí práce: prof. Ing. Jaromír Lachman, CSc.**

© 2019 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Významné antioxidanty a antioxidační aktivita ve vybraných druzích obilovin" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího 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 autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18. 4. 2019

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Jaromíru Lachmanovi, CSc. za vstřícný přístup, cenné rady, připomínky a především čas, který mi věnoval. Velké poděkování patří také mé rodině a přátelům, za obrovskou podporu po celou dobu studia.

# Významné antioxidanty a antioxidační aktivita ve vybraných druzích obilovin

## Souhrn

Funkce antioxidantů spočívá v minimalizaci oxidačního poškození a způsobilosti podporovat imunitní systém v lidském organismu. V tomto směru hraje právě složení potravy zásadní roli, protože člověk přijímá antioxidanty především v ovoci, zelenině, obilovinách, čaji a např. víně. Jejich dostačující příjem potravou koreluje se snížením rizika vzniku kardiovaskulárních onemocnění, aterosklerózy, některých typů nádorů, šedého očního zákalu, poruch obranyschopnosti nebo stárnutí a poškození buněk. To je důvod, proč je v dnešní době antioxidantům v potravinách věnována výrazná pozornost.

Obiloviny patří k základním pilířům stravy. Jsou hlavním zdrojem sacharidů a vlákniny. Celosvětový podíl obilovin ve stravě se odhaduje na 60-70 %.

Obiloviny jsou uznávány jako dobrý zdroj potenciaálně zdraví prospěšných antioxidantů. Jsou dobrým zdrojem vitamínu E, folátů, fenolických kyselin, selenu, karotenoidů, kyseliny fytové, lignanů a alkylresorcinolů, z nichž všechny mají signifikantní antioxidační potenciál.

Některé bioaktivní látky výrazně ovlivňují barvu zrna. Barva obilných zrn přitahuje pozornost díky jejich potenciálním antioxidačním vlastnostem a zdravotním přínosům. Některé druhy pšenice obsahují jak lipofilní antioxidanty (karotenoidy, tokoly, alkylresorcinoly), tak i hydrofilní antioxidanty (fenoly, fenolické kyseliny, antokyaniny). Pšeničná zrna černé, fialové a modré barvy obsahují vysoké hladiny antokyaninů a fenolických kyselin s předpokládanými vlastnostmi zlepšující zdraví. Antokyaniny jsou nahromaděny v aleuronové vrstvě nebo v oplodí a poskytují modré a fialové zbarvení, nebo kombinaci těchto barev, což vede k velmi tmavé barvě zrna. Akumulace těchto pigmentů v obilí proto může představovat důležitý cíl v některých šlechtitelských programech, zaměřených na zlepšení nutriční hodnoty obilného zrna a jeho produktů.

K dispozici je silný epidemiologický důkaz, že celozrnné obilniny chrání tělo před nemocemi souvisejícími s věkem, jako je diabetes, kardiovaskulární onemocnění a některé druhy rakoviny.

**Klíčová slova:** antioxidanty, celkové polyfenoly, fenolické kyseliny, antokyaniny, karotenoidy, tokoly, antioxidační aktivita, obiloviny

# Antioxidants and antioxidant activity in selected types of cereals

## Summary

The function of antioxidants is to minimize oxidative damage and the ability to support the immune system in the human body. In this respect, the composition of the food plays an essential role, as one accepts antioxidants, especially in fruits, vegetables, cereals, tea and wine. Sufficient food intake correlates with a reduction in the risk of developing cardiovascular disease, atherosclerosis, some types of tumors, gray eye cataract, defences or aging and cell damage. That is why, today, significant attention is paid to antioxidants in food.

Cereals are one of the basic sources of diet, they are the main source of carbohydrates. The worldwide share of cereals in the diet is estimated at 60 – 70 %.

Cereals are recognized as a good source of potentially beneficial antioxidants. They are a good source of vitamin E, folate, phenolic acids, selenium, carotenoids, phytic acid, lignans and alkylresorcinols, all of which have significant antioxidant potential.

Some bioactive substances significantly affect the color of the grain. The grain color attracts attention due to their potential antioxidant properties and health benefits. Some wheat species contain both, lipophilic antioxidants (carotenoids, tocopherols, alkylresorcinols) as well as hydrophilic antioxidants (phenols, phenolic acids, anthocyanins). Black, purple and blue wheat grains contain high levels of anthocyanins and phenolic acids with expected health enhancing properties. Anthocyanins are accumulated in the aleurone layer or in the pericarp and provide blue, purple color or a combination of these colors results in a very dark grain color. Therefore, the accumulation of these grain pigments can be an important target in some breeding programs aimed at improving the nutritional value of the cereal grain and its products.

There is strong epidemiological evidence that whole grain cereals can protect the body from age-related diseases such as diabetes, cardiovascular disease and some cancers.

**Keywords:** antioxidants, total polyphenols, phenolic acids, anthocyanins, carotenoids, tocopherols, antioxidant activity, cereals

# Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2. Cíl práce .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Charakteristika obilovin.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Stavba a složení obilného zrna .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2. Význam obilovin ve výživě .....</b>	<b>12</b>
<b>3.3. Vybrané druhy obilovin.....</b>	<b>12</b>
3.3.1. Pšenice .....	12
3.3.2. Ječmen .....	13
3.3.3. Oves .....	14
3.3.4. Žito.....	15
3.3.5. Žitovec ( <i>Triticale</i> ).....	16
3.3.6. Kukuřice.....	16
3.3.7. Proso .....	17
3.3.8. Čirok .....	17
<b>4. Antioxidanty .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1. Eliminace volných radikálů.....</b>	<b>18</b>
<b>4.2. Rozdělení antioxidantů .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3. Vliv antioxidantů v cereáliích na zdraví .....</b>	<b>20</b>
<b>5. Významné antioxidanty v obilovinách .....</b>	<b>21</b>
<b>5.1. Polyfenolické sloučeniny .....</b>	<b>21</b>
5.3.2. Fenolické kyseliny .....	21
5.3.3. Alkylresorcinoly .....	23
5.3.4. Lignany .....	24
5.3.5. Taniny .....	25
5.1.5. Flavonoidy .....	25
<b>5.3. Tokoly.....</b>	<b>28</b>
<b>5.4. Karotenoidy .....</b>	<b>29</b>
<b>5.5. Kyselina fytová .....</b>	<b>31</b>
<b>5.6. Fytosteroly .....</b>	<b>31</b>
<b>5.7. Selen.....</b>	<b>32</b>
<b>6. Faktory ovlivňující obsah antioxidantů v obilkách .....</b>	<b>33</b>
<b>6.1. Půdně-klimatické faktory .....</b>	<b>33</b>
6.1.1. Povětrnostní podmínky .....	33
6.1.2. Systém pěstování rostlin .....	34
<b>6.2. Genotypové faktory.....</b>	<b>35</b>

<b>7. Antioxidanty v potravinářských produktech .....</b>	<b>37</b>
<b>7.1. Mouka.....</b>	<b>37</b>
<b>7.2. Těsto .....</b>	<b>37</b>
<b>7.3. Pečivo.....</b>	<b>38</b>
<b>8. Metody stanovení .....</b>	<b>39</b>
<b>8.1. Spektrofotometrické metody .....</b>	<b>39</b>
<b>9. Závěr.....</b>	<b>41</b>
<b>10. Literatura .....</b>	<b>42</b>
<b>11. Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>

# 1 Úvod

Obiloviny hrají zásadní roli v lidské stravě. Zejména pšenice, která je druhou nejvíce pěstovanou obilovinou na světě. V Evropě je pšenice nejběžnější používanou obilovinou pro výrobu mouky a jejích výsledných potravinářských výrobků, kterými jsou chléb, pečivo a těstoviny. V ekosystému mají na orné půdě rozhodující postavení. Osévají se na více jak 50 % orné půdy a lidstvu dodávají téměř polovinu energetické hodnoty a polovinu bílkovin konzumovaných ve stravě. Vzhledem k rostoucímu celosvětovému výskytu civilizačních chorob se zvyšuje celková poptávka po nutričně hodnotných potravinách. Kromě tradičních obilnin je zde také možnost kultivace a zpracování netradičních moderních i starověkých obilovin, jako je pšenice jednozrnka, špalda a pšenice s barevným zrnem. Tyto plodiny jsou cenné nejen jako zdroj základních živin, ale také jako zdroj široké škály biologicky aktivních látek, včetně antokyanů, karotenoidů a fenolických kyselin. Tyto sloučeniny se vyznačují jejich biologickými funkcemi, zejména jejich vysokou antioxidační aktivitou.

Cereálie a celozrnné výrobky jsou kromě vlákniny dobrým zdrojem vitamínu E, folátů, fenolických kyselin, zinku, železa, selenu, mědi, manganu, karotenoidů, kyseliny fytové, ligninů, lignanů a alkylnesorcinolů, z nichž všechny mají významný antioxidační potenciál *in vitro*. Fenolické kyseliny, jako je kyselina ferulová, jsou pro obiloviny charakteristické. Mohou likvidovat radikálové formy kyslíku, jak *in vivo*, tak *in vitro*. *In vitro* antioxidační kapacita obilovin a jejich jednotlivých frakcí významně koreluje s jejich obsahem polyfenolů, s výjimkou kukuřice. Konzumace celozrnných produktů je spojena s celou řadou zdravotních benefitů, které se částečně mohou týkat obsahu fotochemikálií. Ty ukazují výrazné rozdíly mezi jednotlivými druhy pšenice a jejich liniemi, jak je známo z analýzy programu HEALTHGRAIN. Vysoké hladiny lipofilních karotenoidů (lutein, zeaxantin,  $\beta$ -karoten) jsou charakteristické pro pšenici jednozrnku a tvrdou pšenici. Antokyaniny zase vedou k pigmentaci zrna, která se liší širokou paletou odstínů a kombinace genů různých barev vede k velmi tmavé barvě, která je v literatuře nazývána jako „černá barva“. Mezi důležité vlastnosti černě, fialově a modře zbarvených zrn patří to, že obsahují přírodní antokyaniny ve větší míře než pšenice s bílou či červenou barvou zrna.

Rozdíly v barevných složkách v obilí a obilných výrobcích závisí na genetických faktorech, růstových podmínkách a technologických procesech. Odrůdy barevné pšenice mohou být zdrojem antokyanů a karotenoidů při výrobě pekařských výrobků vyrobených zejména z celozrnné mouky.

Výzkumy prokázaly, že konzumace celozrnných výrobků pomáhá snížit riziko kardiovaskulárních onemocnění, ischemické mrtvice, diabetu II. typu, metabolického syndromu a gastrointestinální rakoviny.



## **2 Cíl práce**

Cílem práce je literární rešerše zaměřená na obsah, chemickou charakteristiku a význam antioxidantů (celkových polyfenolů, fenolických kyselin, karotenoidů, anthokyanů, tokoferolů) a antioxidační aktivity v zrnech vybraných nejvýznamnějších obilovin a faktorů ovlivňujících jejich obsah v obilkách a produktech.

### 3 Charakteristika obilovin

Ze systematického hlediska většinu obilovin můžeme zařadit do třídy jednoděložných rostlin (*Monocotyledones*), do čeledi lipnicovitých (trávy – *Poaceae, Graminae*).

Obiloviny (cereálie), jako je pšenice, žito, žitovec (*Triticale*), ječmen, oves, proso, čirok, rýže, kukuřice a jiné, patří mezi vyšlechtěné jednoleté trávy. Víceleté trávy, které ukládají část zásobních látek do vegetativních orgánů na újmu semen, se jako obiloviny neprosadily a ani energetická úspora při výsevu, či ošetřování porostů tento vzniklý úbytek výnosu nevykompenzuje (Benda et al. 2010).

Jednotný botanický původ obilovin z čeledi lipnicovitých zajišťuje jejich podobnost jak ve struktuře a utváření zrna, tak i v chemickém složení, tj. např. umístění obalových a podobalových vrstev zrn nebo obsah jednotlivých aminokyselin v obilných bílkovinách či obsah mastných kyselin v tukových složkách (Zgaražová 2010).

Pohanka, patřící do čeledi rdesnovitých, laskavec, patřící do čeledi laskavcovitých a merlíky, patřící do příbuzné čeledi merlíkovitých, jsou jednoleté rostliny, které můžeme zařadit do dvouděložných rostlin (*Dicotyledones*). Kvůli jejich potravinářskému významu a technologii pěstování jsou také považovány za obiloviny a jsou vyčleněny do skupiny nazývané pseudocereálie. Do obilovin se řadí i bér, mohár a čumíza. To jsou ale rostliny, které jsou využívány především jako píce pro zvěř a obilky jsou zkrmovány. Co se týče obecné charakterizace, odlišuje se i rýže, jejíž pěstování je velice náročné ohledně ruční práce a vyžaduje speciální prostředí k pěstování se zajištěním velkého množství vody (Benda et al. 2010).

Faktory, kvůli kterým jsou obiloviny považovány za nejvýznamnější potravinářskou skupinu, jsou zejména tyto:

- Obilniny dokáží vytvořit adekvátní a hodnotný energetický zdroj, díky obsahu škrobu v endospermu a dokáží zajistit i velké množství potřebných bílkovin a některých vitaminů v potravě.
- Jsou to velice adaptivní rostliny, vzhledem k různým klimatickým poměrům. Obiloviny jsou pěstovány od tropů (kukuřice), přes mírné pásmo (pšenice) až do míst za polárním kruhem (žito). Jsou schopny růst na zamokřených (rýže), suchých (čirok) i běžných (pšenice) stanovištích.
- Pěstování obilovin je málo pracné, s možností použití mechanizace, tudíž je snazší dosáhnout velkých výnosů konzumních částí na velkých plochách.
- Za konzumní část je považován suchý plod (obilka), jejímž benefitem je snadná přeprava a dlouhodobá skladovatelnost (Mrázová 2011).

#### 3.1. Stavba a složení obilného zrna

Morfologická stavba zrna všech obilovin je prakticky stejná. Zrna různých druhů obilovin se odlišují převážně tvarem, velikostí, podílem jednotlivých vrstev a přítomností pluchy na obilce. Zrna můžeme rozdělit na pluchatá nebo bez pluchy (nahá zrna). Maximální rozměry zrn záleží na několika faktorech, především na klimatických podmínkách, kvalitě půdy, použité agrotechnice apod. (Sluková et al. 2016).

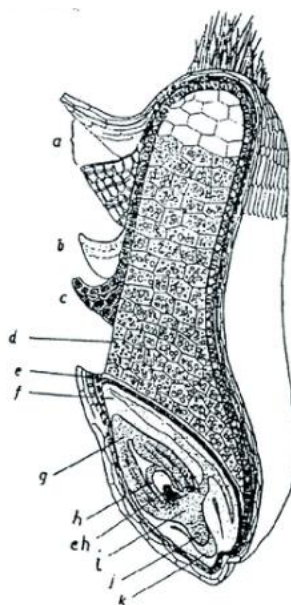
Jednotlivé vrstvy zrna se skládají z několika částí: obalová vrstva obilky, aleuronová vrstva, endosperm a klíček.

**Obalové vrstvy obilky.** U nahých obilek je obal tvořen oplodím a osemením, u pluchatých obilek je navíc ještě tvořen pluchou a pluškou. Obaly obsahují hlavně celulózu, navíc plucha a pluška obsahují i hemicelulózu a lignin. Důležitý je i obsah minerálních látek, který se pohybuje v rozmezí od 1,5 % (kukuřice) do 5,9 % (rýže). Obsaženy jsou biogenní prvky, jako P, K, Mg, Ca, Na, S, Fe a v menší míře jsou zastoupeny B, Mn, Sn, Zn, Mo a Co. V mlýnské technologii jsou obalové vrstvy obilek nazývány jako otruby (Benda et al. 2010).

**Aleuronová vrstva** se skládá z velkých parenchymatických buněk krychlového nebo kvádrového tvaru, umístěných v jedné vrstvě (pšenice) nebo ve více vrstvách (u ječmene až čtyři vrstvy), nad endospermem. Buňky jsou vyplněné malými a kulatými zrny (aleurony), což jsou bílkovinné krystaloidy globulinového typu. Globuliny obsahují velké množství P, Mg a Ca. V aleuronové vrstvě jsou také obsaženy nukleoproteiny. Jsou umístěny v buněčném jádře a jejich součástí je vázaná kyselina fosforečná. Obsah lipidů je srovnatelný s obsahem v klíčku, je jen o málo nižší. Škrob v aleuronové vrstvě obsažen není (Zgaražová 2010).

**Endosperm** tvoří 84-86 % hmotnosti zrna a je v něm obsažen zejména škrob (55-69 %), zásobní bílkoviny, gliadiny a gluteniny. Tyto bílkoviny jsou velice významné pro pekařskou kvalitu pšenice, protože tvoří lepek a při výrobě pečiva zajišťují tvar a kyprost. Hlavní funkcí endospermu je výživa zárodku a při zpracovávání zrna tvoří podstatné procento finálního výrobku (Mrázová 2011).

**Klíček** (embryo) obsahuje tuk, jehož hladina se pohybuje od 0,5-5 % v závislosti na druhu obilniny. Nejvíce je zastoupena kyselina palmitová, stearová a u ovsa navíc kyselina eruková. Dále se v klíčku nacházejí bílkoviny, jednoduché cukry, minerální látky a vitamin E. Ani klíček neobsahuje škrob (Benda et al. 2010).



Obrázek 1: Řez obilkou: a - oplodí, b - osemení, c - aleuronová vrstva, d - endosperm, e - vrstva palisádových buněk, f - štítek, g - pochva listu, h - základ 1. pravého listu, ch - vzrostný vrchol, i - mezokotyl, j - základ kořínku, k - kořenová čepička (Benda et al. 2010)

### 3.2. Význam obilovin ve výživě

Obiloviny jsou významným zdrojem všech výživově důležitých látek. Nicméně z výživového hlediska jsou v obilném zrně jednotlivé živiny obsaženy v nevyváženém poměru. V zrně jsou obsaženy sacharidy (60-70 %, zejména škrob, neškrobové poly- a oligosacharidy a cukry), bílkoviny (8-14 %, z výživového hlediska považovány za neplnohodnotné, tj. neobsahují veškeré esenciální aminokyseliny v dostačujícím množství) a lipidy (1-5 %, obsažen minoritní podíl, ve větším množství jsou obsaženy v obilném klíčku (Sluková et al. 2016).

Ohledně minerálních látek, obilná zrna obsahují především vápník, železo, hořčík, měď, mangan, zinek a fosfor. Neopomenutelný význam ve výživě a zdraví člověka hrají karotenoidy (především lutein), polyfenolové složky (fenolické kyseliny, alkylresorcinoly, lignany), fytoosteroly, vitaminy (vitaminy skupiny B a vitamin E) a ostatní biologicky aktivní látky (cholin, betain a jiné), z nichž skoro všechny splňují funkci antioxidantů (Bajerová et al., 2016).

Rafinované moučné výrobky mají mnohem nižší antioxidační aktivitu než celé zrně obilovin, jelikož látky s antioxidačními vlastnostmi jsou obsaženy především v otrubách a klíčcích v aleuronové vrstvě. Obsah antioxidantů v zrnech a jejich výrobcích se odlišuje v závislosti na obilném typu, odrůdě, způsobu pěstování, obsahu polyfenolických látek, zpracování a prostředí, ve kterém je rostlina pěstována (Mrázová 2011).

### 3.3. Vybrané druhy obilovin

#### 3.3.1. Pšenice

Z potravinářského hlediska má největší význam pšenice obecná (*Triticum aestivum L.*). Jde o základní a nejpoužívanější surovinu pro výrobu pekařských mouk. Při pekárenském zpracování pšeničné mouky hrají důležitou roli (hned po škrobu) dvě frakce bílkovin, tj. prolaminy a gluteliny, tj. gliadin a glutenin (Sluková et al. 2016). Při hnětení pšeničné mouky s vodou vzniká pružný a tažný hydratovaný gel-lepek. Ten je kritériem pekařské jakosti pšeničné mouky. Vlastnosti lepku ovlivňují strukturu, nakypření a objem těsta a finálního výrobku. Tyto bílkoviny jsou běžně obsaženy v rozmezí od 10 do 15 %, za pekařský standard je považováno 12 %. Z ostatních obilovin, jako je žito, ječmen a oves tento gel vyprat nelze (Bajerová et al. 2016). Z dietetického hlediska jsou velice významné rozpustné nízkomolekulární bílkoviny pšenice (albuminy a globuliny), které mají vyrovnaný poměr esenciálních a neesenciálních aminokyselin. V porovnání s ostatními druhy obilovin má pšenice obecná poměrně nízký obsah vlákniny a vitaminů (Benda et al. 2010). Ohledně vitaminů, v pšeničném zrně jsou obsaženy zejména vitaminy skupiny B, vitamin E a v malém množství také  $\beta$ -karoten. Z minerálních látek má největší zastoupení draslík a fosfor (Zgaražová 2010).

Pšenice durum (*Triticum durum Desf.*), někdy označována jako „tvrdá“ pšenice, je význačná tvrdým endospermem žlutočervené barvy, vysokou tvrdostí a sklovitostí zrna, velkým obsahem bílkovin (12-16 %). S tím souvisí také rozdílné vlastnosti složek zrna a rozdílný postup zpracování a využití. Jemná krupice světle žluté barvy, vyrobená z pšenice durum je označována jako semolina a je hlavní surovinou pro výrobu běžných těstovin a kuskusu (Sluková et al. 2016).

Další druhy pšenice, jako pšenice špalda (*Triticum spelta* L.) a pšenice kamut (*Triticum turanicum*) jsou velice staré, v dnešní době už minoritní druhy, nejčastěji pěstované v ekologickém zemědělství. Stejně jako pšenice obecná obsahují vysokomolekulární bílkoviny podobného složení, nicméně s nižší schopností vytvářet elastickou a tažnou prostorovou strukturu těsta. Z dietetického hlediska mají tyto druhy výrazně vyšší obsah minerálních látek, vitaminů, esenciálních aminokyselin a polyfenolů ve srovnání s pšenicí obecnou. Tyto historicky starší druhy pšenice jsou mnohdy považovány za suroviny vhodné pro výrobu bezlepkových potravin. Skutečností zůstává, že pšenice špalda a kamut představují pro celiaky a alergiky naprosto stejné zdravotní riziko jako pšenice setá, či pšenice durum (Bajerová et al. 2016).



Obrázek 2: Klasy různých typů pšenice: 1 - jednozrnka, 2 - polská, 3 - špalda, 4 - dvouzrnka, 5 - tvrdá, 6 - obecná, osinatá, 7 - obecná bezosinatá (Benda et al. 2010)

### 3.3.2. Ječmen

Ječmen (rod *Hordeum* L.) je jednou z nejvýznamnějších obilovin už od dob starověku. Mezi obilovinami se řadí na čtvrté místo, co se týče vyprodukovaného množství a oblastí pěstování na světě. Pěstuje se již po staletí, kvůli své univerzálnosti, schopnosti přizpůsobit se nepříznivým klimatickým a půdním podmínkám (Arendt & Zanini 2014).

Celkový obsah dusíkatých látek ječného zrna kolísá mezi 8,1-18 %. Běžně pěstovaný ječmen jen zřídka překročí hranici 4 g lyzinu na 100 g proteinu. Obsah tuku v zrna se pohybuje mezi 1,9-7 %, v závislosti na odrůdě a pěstitelských podmínkách. Podstatný je obsah kyseliny palmitové a především nenasycených mastných kyselin, hlavně kyseliny olejové, linolové a linolenové. Ječmen je dobrým zdrojem vitaminů skupiny B, zejména B1, B6, kyseliny pantotenové, dále biotinu a kyseliny listové. Z minerálních látek je v zrna obsažen zejména fosfor, vápník, draslík, hořčík, železo a selen (Zgařarová 2010).

Dle Arendta & Zaniniho (2014) je ječmen vynikajícím zdrojem vlákniny, zejména  $\beta$ -glukanů, mají nízký obsah tuku, jsou poměrně dobře vyvážené, pokud jde o bílkoviny. Zrna obsahují komplexní sacharidy (zejména škrob), minerální látky, vitaminy (především vitamin E) a polyfenoly, které mají antioxidační aktivitu.

Zásadní podíl potravinářského ječmene (hlavně ječmene jarního) se zpracovává pro výrobu sladu pro pivní a alkoholový průmysl (whisky, vodka). Dále jsou z ječmene vyráběny kroupy, krupky, lámanka, světlá a celozrnná mouka, vločky, lupínky, kávové náhražky a jiné. Moderním trendem v dietetice jsou výtažky z naklíčeného ječmene nebo konzumace mladého zeleného ječmene. Byly vyšlechtěny nové zvláštní odrůdy bezpluchého ječmene, které obsahují velké množství beta-glukanů a vlákniny a rozšiřují tím celkový sortiment výrobků s ječnou složkou, jako je např. celozrnná ječná mouka v sušenkách nebo ječné kvasy ve speciálním pečivu (Sluková et al. 2016).



Obrázek 3: Ječmen (Zgařarová 2010)

### 3.3.3. Oves

Oves (*Avena sativa*) můžeme zařadit k dieteticky a zdravotně nejzajímavějším obilovinám. Oves a ovesné výrobky (vločky, musli, cereální tyčinky, sušenky, dětské mléčné kaše aj.) se staly předmětem zájmu především ve skandinávských zemích a ve Velké Británii (Sluková et al. 2016). U nás se oves pěstuje především v bramborářských a horských oblastech. Prospívá mu vlhčí a chladnější klima. V potravinářském průmyslu se zpracovává loupáním na kroupy a krupici. Z ovesné mouky se vyrábí dětské moučky, některé dietetické přípravky a z mírně opražených oloupaných obilek se rozmačkáním získávají ovesné vločky (Benda et al. 2010).

Ve srovnání s jinými obilovinami je v ovsu obsažen největší podíl bílkovin s vysokou biologickou hodnotou. To je dáno zejména výskytem vyššího obsahu esenciálních aminokyselin lysinu a methioninu, vlákniny a jejích složek beta-glukanů a příznivým poměrem nasycených a polyenových mastných kyselin v tucích. V klíčku obsahuje trojnásobně větší množství oleje (5-6 %) než ostatní obiloviny. Avšak kvůli vyššímu obsahu lipidů a zvýšené aktivitě enzymů lipáz je těžší zajistit udržitelnost ovesné mouky, jelikož mouka žlukne a tím se snižuje kvalita (Sluková et al. 2016).

Dle Martínez-Villaluenga & Penas (2017) tato obilovina poskytuje důležité množství sacharidů (hlavně škrob), rozpustnou vlákninu, lipidy, dobře vyvážené proteiny a několik vitaminů skupiny B. V poslední době se ovsu věnuje zvýšená pozornost, kvůli jeho souvislosti s prospěchem se zdravím. Konzumace ovesných výrobků je spojena se snížením cholesterolu a kardiovaskulárních onemocnění, jakožto i prevencí rakoviny, diabetu a gastrointestinálních poruch.

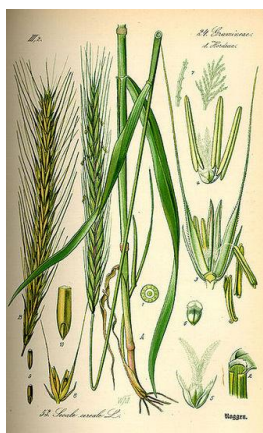


Obrázek 4: Oves (Zgazarová 2010)

### 3.3.4. Žito

Žito (*Secale cereale L.*) je obilovina nenáročná a odolná, často pěstovaná v ekologickém zemědělství. V polních podmínkách dochází k situaci, kdy jsou květy žita sprášeny cizím pylem a tím dochází ke ztrátám odrůdových vlastností. To je důvod, proč se pěstuje jen několik málo odrůd žita. V pěstitelství je však velice dobře využitelný heterózní efekt, kdy první filiální generace vykazuje mnohem lepší vlastnosti než klasická odrůda. Pro získání těchto hybridních odrůd se využívá linií s geneticky podmíněnou pylovou sterilitou (Benda et al. 2010).

Žito je pěstováno především v zemích s tradicí žitného a žitnopšeničného chleba a pečiva (Německo, Rakousko, skandinávské země, Česko, Slovensko, Polsko, Rusko, Bělorusko a Ukrajina). Dalšími výrobky, kde je žitná mouka hlavní složkou, jsou perníky nebo speciální chleby jako knackerbrot či pumpernickel (Sluková et al. 2016).



Obrázek 5: Žito (Zgazarová 2010)

Žito obsahuje asi 9 % bílkovin, z nichž je většina tvořena gliadiny (prolamin) a gluteliny a nemají tak dobré vlastnosti v pekárenském průmyslu jako pšeničné bílkoviny. Celkový obsah sacharidů tvoří asi 70 % pšeničného zrna, z nichž nejzastoupenější je škrob. Podobně jako u pšenice, tvoří tuk 1,4 % hmotnosti zrna a objevují se zde i stejné nenasycené mastné kyseliny – olejová, linolová a linolenová. Z minerálních látek je v zrně největší zastoupení draslíku,

fosforu, vápníku, fluoru a hořčíku. Žito se vyznačuje celou řadou bioaktivních látek, z nichž nejvýznamnější jsou  $\beta$ -glukany, maltodextriny, tokotrienoly, flavonoidy, lignany, proteázové inhibitory, saponiny a další (Zgařarová 2010).

V žitě je zastoupena vláknina (až 17 %), u které je důležitá rozpustná vláknina (až 5 %), která je tvořena arabinoxylany, jenž mají vliv na dietetickou hodnotu potravin a technologickou úpravu. Výrobky s obsahem žitné mouky vykazují pozitivní zdravotní účinky, jelikož ovlivňují viskozitu střevního obsahu a snižují zvýšený obsah glukózy v krvi po jídle. Žito je také významným zdrojem řady biologicky aktivních látek, jako jsou lignany, taniny a fytoestrogeny (Sluková et al. 2016).

### 3.3.5. Žitovec (*Triticale*)

Žitovec byl původně vnímán jako prostředník pro přemístění žitného genetického materiálu do pšenice nebo jako alternativa pšenice pro potravinové účely. Nicméně v 70. letech 19. století se zvýšil zájem o využití žitovce v podobě podávané píce. Dnes se stále více pěstuje pro chov dobytka a pro siláž (Baron et al. 2015).

Obilka obsahuje o 1-3 % více bílkovin než pšenice (12,8-17,9 %). Má větší obsah lysinu, který je u obilnin nedostatkovou aminokyselinou. Některé kultivary nemají geny, které zapříčiňují tvorbu lepku, proto se nehodí pro pekárství, ale jiní kříženci tyto geny obsahují. Obilky všech kultivarů žitovce se využívají pro výrobu různě upravených vloček, kaší a obilných snídaní. V současné době je ale nejvýznamnější výroba whisky a nijak to neubírá na kvalitě, jako při použití tradiční suroviny ječmene. Naopak žitovec poskytuje větší výtěžnost etanolu z obilek (Benda et al. 2010).

### 3.3.6. Kukuřice

Kukuřice (*Zea mays*) má ze všech obilnin nejvyšší energetickou hodnotu, kvůli jejímu vysokému obsahu škrobu (73 %). Obsah škrobu v zrnech je různý, v závislosti na různých faktorech, jako je posklizňová úprava zrna. Dusíkaté látky jsou v kukuřici obsaženy jen málo (asi 9-9,5 %). Bílkovina v kukuřici se nazývá zein a je složena z těchto látek: 5 % albumin, 6 % globulin, 50 % prolamin, 39 % glutelin. Obsahuje až 5 % tuků, nejvíce v klíčku (Zgařarová 2010).

Je pěstována ve více druzích a odrůdách, například kukuřice cukrová (vyšší obsah sacharózy), pukancová (s tuhou slupkou), škrobnatá (vyšší obsah amylozy), vosková (vyšší obsah amylopektinu). Zrno žluté barvy obsahuje i  $\beta$ -karoteny, vitamin A a karotenoid lutein (Sluková et al. 2016). Kukuřice cukrová obsahuje poměrně hodně oleje (8-9 %), který je až z 50 % složen z kyseliny linolové, která je v lidské výživě velice žádaná, živočišný organismus si ji totiž nedokáže syntetizovat. Nutriční hodnota kukuřice je vysoká díky biologicky aktivním látkám, jako jsou karoteny a vitamin E. Na druhou stranu, co se týče minerálů, které jsou u kukuřice soustředěné v klíčcích, jejich obsah je nejnižší ze všech obilovin (Zgařarová 2010). Pokud povaříme kukuřici s vápnem či jinou zásaditou látkou, pomůžeme tím oddělit slupku a tím zvýšíme biologickou dostupnost tryptofanu a niacinu a zvýšíme dietetickou a senzorickou hodnotu kukuřice. Nejdůležitějšími výrobky z kukuřice je kukuřičná krupice a mouka (vhodná pro celiaky), snack výrobky (cornflakes), crackery a extrudované výrobky (křupky) nebo popcorn (Sluková et al. 2016).





Obrázek 6: Kukuřice (Zgažarová 2010)

### 3.3.7. Proso

Proso je pěstováno převážně v afrických zemích. Jde o obilovinu s dieteticky optimálním poměrem bílkovin, sacharidů a lipidů. V zrna je přítomno 70-73 % sacharidů, z nichž největší zastoupení má škrob. Množství bílkovin fluktuuje od 11,3 do 12,7 % a jsou deficitní obzvláště v obsahu lyzinu, threoninu a tryptofanu. I přesto je ale obsah lyzinu větší než u pšenice. Na druhou stranu má zrno největší díl leucinu, valinu, izoleucinu a fenylalaninu. Obsah tuku je také vyšší než u pšenice (3,7-4,6 %), z něhož je 24 % soustředěno v klíčku. Pokud jde o minerální látky, proso má vysoký obsah železa, hořčíku, fosforu a vápníku, dále jsou bohaté na vitaminy A, B<sub>1</sub> a B<sub>2</sub> (Zgažarová 2010).

Vyčištěná zrna prosa upravená loupáním a leštěním se využívají pro přípravu kaší a nákypů (jáhlová kaše). Proso také bývá součástí dětské výživy a bezlepkových výrobků (Sluková et al. 2016).

### 3.3.8. Čirok

Čirok je ústřední obilovinou pro řadu zemí Afriky, Asie, Středního východu i Latinské Ameriky. Některé druhy čiroku se vyznačují vysokým obsahem tříslovin (zejména proantokyanidin), čímž jsou nevhodné pro lidskou spotřebu, protože mohou nepříznivě ovlivňovat stravitelnost (Sluková et al. 2016). Zrna mají značnou energetickou hodnotu, ale nízký obsah bílkovin, tuku a vlákniny. Množství škrobu se pohybuje okolo 70 %, obsah bílkovin kolísá v rozmezí 8-16 %, tuky tvoří 3,3 % a popeloviny 1,9 %. Mladé rostlinky v zelené materii obsahují glykosid dhurin, který je toxický, protože se z něj rozkladem uvolňuje kyanovodík. To je důvod, proč je možné čirok sklízet až po dosažení určité výšky, kdy riziko intoxikace již nehrozí (Zgažarová 2010).

Nejčastěji pěstovaný druh pro potravinářské využití je čirok cukrový, který se využívá zejména pro výrobu škrobu a škrobových sirupů. Mouka z čiroku slouží jako surovina pro přípravu kaší a placek a slouží také jako náhrada pšeničné mouky, většinou ale maximálně do 20 % podílu mouk (Sluková et al. 2016).

## 4. Antioxidanty

Slovo „antioxidant“ je nám známé jako termín, pocházející z chemie 40. let. Původně jsou antioxidanty definovány jako látky, které mají schopnost zastavit řetězové radikálové reakce, jako je peroxidace lipidů. Dokáží zabránit oxidačnímu procesu, nebo ho alespoň zpomalují. Podmínkou pro to, aby látky mohly být označené za antioxidanty, je schopnost potlačení destrukční činnosti volných radikálů tím, že se stanou donorem chybějícího elektronu (Mrázová 2011). Při řetězových reakcích, zahrnujících volné radikály, může dojít k poškození nebo smrti buňky. Antioxidanty dokáží ukončit tyto řetězové reakce odstraněním radikálových meziproductů následnou inhibicí kontinuálních oxidačních reakcí. (Higuchi 2014).

V pozdním 19. století se antioxidanty zpravidla používali v průmyslových procesech, jako je zabránění korozi kovů nebo vulkanizaci kaučuku. Později se stala převládajícím užitím jedna vlastnost antioxidantů, tedy prevence proti žluknutí tuků, způsobeného oxidací nenasycených lipidů (Cömert & Gökmen, 2018). Velký počet antioxidantních látek byl objeven a izolován z přírodních zdrojů, jako jsou bylinky, koření, zelenina, ovoce a celozrnné výrobky. Poté výzkumníci identifikovali některé antioxidanty, jako je vitamin E a vitamin C v krvi a moči a uvědomili si jejich význam v biochemických procesech (Jacob 1996).

Antioxidanty obsažené v potravinách mají důležitou úlohu v oblasti týkající se jídla nebo lidského těla. Působí totiž proti oxidačním procesům a jsou prevencí před chronickými onemocněními, souvisejícími s oxidačním stresem (Cömert & Gökmen 2018). Epidemiologické studie jasně prokázaly, že strava obsahující celozrnné obilniny, může chránit před metabolickými poruchami, jako jsou kardiovaskulární onemocnění, rakovina, diabetes (Fardet et al. 2008) a navíc dokáží snížit tlak či hladinu LDL cholesterolu (Czerwinski et al. 2004). Tento účinek je přisuzován zejména vláknině a mikronutrientům, které se vyskytují ve vnější vrstvě zrna a ve frakci klíčků obilovin (Fardet et al. 2008).

### 4.1. Eliminace volných radikálů

Z chemického hlediska můžeme za „volný radikál“ označit jakoukoliv molekulu, atom nebo ion s nepárovými elektrony, umístěnými ve valenční sféře, která je schopná samostatné, i krátkodobé existence. Volné radikály jsou charakteristické svou nestálostí, reaktivností a tendencí vyhledávat další elektron za účelem vytvoření nového páru. V tom spočívá jejich negativní účinek na organismus, jelikož se váží na elektrony tělesných buněk. V lidském organismu vzniká mnoho reaktivních forem kyslíku, které jsou uvedeny v Tabulce 1 (Mrázová 2011).

Tabulka 1: Příslušné reaktivní kyslíkové druhy (Mrázová 2011).

<b>Radikální</b>	
Superoxidový anion	$O_2^{\bullet-}$
Hydroxyl	$OH^{\bullet}$
Peroxyl	$LOO^{\bullet}$
Alkoxyl	$LO^{\bullet}$

## Neradikální

Peroxid vodíku	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Hydroperoxid lipidu	LOOH
Kyselina chlorná	HClO
Ozon	O <sub>3</sub>
Singletový kyslík	<sup>1</sup> O <sub>2</sub>

Reaktivní kyslík, který se tvoří pomocí metabolismu kyslíku, hraje důležitou roli v udržování života v procesech, jako je signální transdukcce a sterilizace. Avšak situace, kdy je reaktivní kyslík vyráběn v přebytku, je spojena s velkým rizikem toxicity v živých organismech. Vzhledem k existenci ochranných mechanismů pro odstranění přebytečného reaktivního kyslíku se s tím žijící organismy mohou účinně vypořádat. Nicméně, poškození a selhání vyplývající z rakoviny, diabetu a arteriosklerózy tkáně jsou způsobeny narušením v homeostatické rovnováze mezi úrovní reaktivního kyslíku a ochrannými mechanismy těla. (Higuchi 2014). Radikálové sloučeniny vznikají z běžné metabolické aktivity, ale i ze způsobu stravování a životního prostředí. Nadbytečné množství těchto reaktivních látek může způsobit oxidativní poškození biomolekul, jako jsou lipidy, bílkoviny a DNA (Masisi et al. 2016).

Antioxidanty projevují svou aktivitu několika mechanismy: (1) zhášení volných radikálů, (2) vyčytávání singletového kyslíku, nebo (3) chelatují činidla kovových iontů, katalyzující oxidační reakce (Cömert & Gökmen 2018). Jejich účinek můžeme shrnout do několika bodů. Antioxidanty ovlivňují proces oxidace lipidů a jiných oxylabilních sloučenin redukcí vzniklých peroxidů, navázáním katalyticky působících kovů do komplexů, eliminací přítomného kyslíku nebo reakcí primárních antioxidantů s volnými radikály či sekundárními antioxidanty (Velíšek 1999).

## 4.2. Rozdělení antioxidantů

Pokud jde o jejich chemickou strukturu, mohou být antioxidanty rozděleny do polyfenolů (flavonoidy, anthokyany, fenolkarboxylové kyseliny), karotenoidů (karoteny – prekurzory vitamínu A a xantofyly) a tokoferolů (vitamin E). Kyselina askorbová (vitamin C) a selen mají rovněž silnou antioxidační aktivitu. Z hlediska obecného třídění, antioxidanty byly seskupeny do vitaminů (kyselina askorbová, tokoferoly), karotenoidů (kondenzované taniny, xantofyly a karoteny), flavonoidů (flavony, isoflavony, flavonoly, flavanoly, flavanony), fenolové kyseliny (hydroxybenzoové kyseliny a hydroxykořičové kyseliny), fenolových alkoholů, stilbenů, lignanů, tříslovin, síru obsahujících antioxidantů a nově zformovaných sloučenin (melanoidiny) (Cömert & Gökmen 2018).

Podle Higuchiho (2014) můžeme rozdělit antioxidanty na enzymatické a neenzymatické. Buňky jsou před oxidačním stresem chráněny prostřednictvím interagující sítě antioxidačních enzymů. Do těchto enzymů můžeme zařadit superoxiddismutázu, která katalyzuje dismutaci, tedy rozdělení O<sub>2</sub><sup>•</sup> na kyslík a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a je přítomna téměř ve všech aerobních buňkách, extracelulárních tekutinách. Kataláza, jejíž antioxidační vlastnost spočívá v přeměně H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na vodu a kyslík, je lokalizována v poroxisomech většiny eukaryotických buněk. Glutathionperoxidáza, obsahující selen v aktivním centru, má vyšší stupeň afinity pro

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> než kataláza. Neredukuje a rozkládá pouze H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ale i lipidové peroxidy (LOOH) katalýzou redoxní reakce s redukovaným glutathionem, který slouží jako donor elektronu. Je přítomen v cytosolu a mitochondriích buněk.

Neenzymatickými antioxidanty, jako je vitamin C, vitamin E, karotenoidy, flavonoidy a jiné, se budeme zabývat v další části bakalářské práce. Jednotlivé enzymatické a neenzymatické antioxidanty jsou vyobrazeny v Tabulce 2.

Podle Lachmana et al. (2016) můžeme dále rozdělit neenzymatické antioxidanty na lipofilní, tedy rozpustné v tucích (např. karotenoidy, tokoly, alkylresorcinoly) a na hydrofilní, tedy rozpustné ve vodě (např. fenoly, fenolové kyseliny, anthokyany).

*Tabulka 2: Enzymatické a neenzymatické antioxidanty (Mrázová 2011)*

<b>Enzymatické</b>			
Superoxiddismutáza	Glutathionperoxidáza	Kataláza	Glutathiontransferáza
<b>Neenzymatické</b>			
Vitamin C, E, A	Kyselina lipoová	Flavonoidy	Transferin
Lykopen	Kyselina močová	Polyfenoly	Feritin
Koenzym Q	Bilirubin	Fytoestrogeny	Ceruloplasmin
Glutathion	Selen	Albumin	

#### **4.3. Vliv antioxidantů v cereáliích na zdraví**

V poslední době získaly antioxidanty v obilí, zelenině a ovoci značnou pozornost pro jejich potenciál v různých směrech, zahrnující zlepšení kvality a bezpečnosti potravin, prevenci před chronickými onemocněními a podporu lidského zdraví obecně (Higuchi 2014). Výzkumy prokázaly, že konzumace celozrnných výrobků pomáhá snížit riziko kardiovaskulárních onemocnění, ischemické mrtvice, diabetu II. typu, metabolického syndromu a gastrointestinální rakoviny (Dykes & Rooney 2007). Kromě již zmíněných antioxidantů, pšeničné otruby obsahují fytochemikálie, jako je například kyselina fytová a fenolové kyseliny (např. kyselina ferulová) a své účinky projevují tím, že podporují vychytávání radikálů, chelataci kovových iontů a aktivují antioxidantní enzymy. Některé studie uvádějí, že kromě fytochemikálií, pšeničné otruby hrají roli v aktivaci antioxidantních enzymů, včetně superoxid-dismutázy a glutathionperoxidázy (Higuchi 2014).

## 5. Významné antioxidanty v obilovinách

Nedávný výzkum ukázal, že celkový obsah fotochemikálií a antioxidační aktivity celozrnných výrobků byl v literatuře často podceňován, a že celozrnné výrobky obsahují více fotochemikálií, než bylo zjištěno dříve. Většina celozrnných fenolických látek jsou ve vázané formě, v kukuřici 85 %, 76 % v pšenici a 75 % v ovsu. Obiloviny jsou hlavním zdrojem polyfenolů, zejména fenolových kyselin, jako je ferulová, vanilová, kávová, syringová, sinapová a *p*-kumarová kyselina. Primární fenoly v obilí jsou také flavonoidy a taniny (celkový obsah 0,7 až 1,6 g/kg). Koncentrace fenolických sloučenin v celých zrnech je ovlivněna typy zrn, odrůdou a částí zrna, ze které vzorek pochází (Adom et al. 2005; Liu 2007).

### 5.1. Polyfenolické sloučeniny

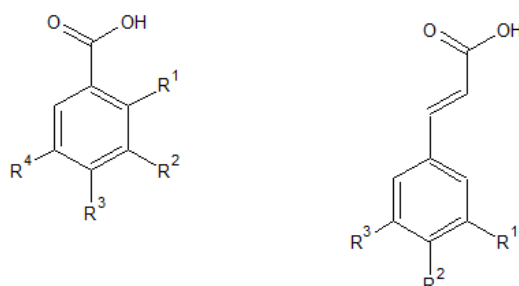
Fenolové sloučeniny, nejpočetnější a všudypřítomné skupiny sekundárních metabolitů rostlin, by mohly být rozděleny do 6 obecných skupin: flavonoidy, fenolové kyseliny, fenolické alkoholy, stilbeny, lignany a taniny. Bylo prokázáno, že mají antioxidační vlastnosti možné díky jejich aromatickým kruhům, které mohou stabilizovat a delokalizovat nepárový elektron ve své struktuře (Cömert & Gökmen 2018).

#### 5.3.2. Fenolické kyseliny

Fenolické kyseliny jsou deriváty kyseliny benzoové a skořicových kyselin, které jsou u většiny rostlin syntetizovány prostřednictvím dráhy kyseliny šikimové. Jsou přítomny ve dvou formách: hydroxybenzoové a hydroxyskořicové kyseliny (Obrázek 3). Mezi nejčastější hydroxybenzoové kyseliny patří *p*-hydroxybenzoová, vanilová a syringová kyselina, zatímco odpovídající hydroxyskořicové kyseliny zahrnují kumarovou, ferulovou, kávovou a sinapovou kyselinu (Andersson et al. 2014). Tyto fenolové kyseliny uvedené v obilovinách se vyskytují v obou formách, jak volné, tak vázané. Volné fenolické kyseliny jsou umístěny ve vnější vrstvě oplodí a jsou extrahovány za použití organických rozpouštědel. Vázané fenolické kyseliny jsou esterifikovány na buněčné stěny a tyto sloučeniny je nutné uvolnit z buněčné matrice kyselou nebo bazickou hydrolýzou (Dykes & Rooney 2007). Malá část fenolických kyselin v obilovinách je přítomna v podobě volných sloučenin nebo v podobě glykosidů, ale většina (cca 90 %) je přítomna ve vázané formě a mohou být spojeny s polysacharidy, proteiny nebo steroly a zároveň mohou být součástí struktury ligninu (Andersson et al. 2014).

V obilí je obsažena hlavně kyselina ferulová, následně *p*-kumarová kyselina. Celkový obsah a složení fenolických kyselin v obilovinách mění faktory, jako je typ obilovin, podmínky pěstování, morfologické frakce a doba sklizně (Andersson et al. 2014). Nejširší škálu fenolických kyselin má čirok a proso (Dykes & Rooney 2007). V projektu HEALTHGRAIN bylo zjištěno, že se obsah fenolických kyselin pohyboval mezi 326 a 1171 mg/g sušiny u pšenice a mezi 491 a 1082 mg/g sušiny u žita. Další studie ukázaly, že celková koncentrace fenolických kyselin jsou typicky v rozmezí 200-900 mg/g a 200-1080 mg/g v celozrnné pšenici a žitě, v daném pořadí. Fenolické kyseliny jsou přítomny převážně v otrubách, tj. aleuronové vrstvy a nejbližším oplodí a osemení tkání (Andersson et al. 2014).

Obsah fenolických kyselin u otrub a klíčků je až 18krát vyšší než u odpovídajících vzorků endospermu. Kromě toho, obsah navázaných fenolických látek je vyšší než ve volných a esterifikovaných frakcích, zejména v případě pšeničných otrub, což vede k silnější vychytávací kapacitě a chelatační aktivitě (Higuchi 2014). Rovněž Zhou et al. (2005) uvádějí, že kyselina ferulová s koncentračním rozmezím 99-231 mg/kg, je převládající fenolovou kyselinou. Tvoří asi 46-76 % z celkových fenolických kyselin v pšeničných otrubách. Sladování zrn obilovin obvykle vede ke zvýšenému množství volných fenolických kyselin (Andersson et al. 2014).



Obrázek 7: Hydroxybenzoová a hydroxyskořicová kyselina (Vlastní zpracování 2019).

Role fenolických kyselin v obilovinách není zcela známá, ale z toho, co víme, fungují jako stabilizátory konstrukcí buněčné stěny. Mohou být také zapojeny do fyzikální a chemické obrany proti různým mikroorganismům, škůdcům a dalším vetřelcům, například proti hmyzu. Bylo také zjištěno, že inhibují biosyntézu trichothecenů z houby *Fusarium*. To je důležitá reakce, protože tyto sloučeniny jsou velice silným lidským toxinem (Andersson et al. 2014). Kyselina ferulová může být prospěšná v prevenci, nebo v léčení různých poruch spojených s oxidačním stresem, jako je například Alzheimerova choroba, diabetes, rakovina, kardiovaskulární choroby a ateroskleróza. Vysoké hladiny kyseliny ferulové se nalézají jak ve volných, tak ve vázaných formách a koncentrují se v obilných otrubách, ve slupce ovoce a v kůře zeleniny. Obsah v pšeničných otrubách je ale mnohem vyšší, než v jiných potravinách (Higuchi 2014). Obsah fenolických kyselin v jednotlivých obilných zrnech je vyobrazen v Tabulce 3.

Tabulka 3: Obsah fenolických kyselin v obilných zrnech (Dykes et Rooney 2007).

Vzorek	Množství (mg / kg)
<u>Celá zrna</u>	
Ječmen	450-1346
Proso Finger a Foxtail	612 a 3907
Kukuřice	601
Oves	472
Rýže	197-376
Žito	1362-1366
Čirok	385-746
Pšenice	1342
<u>Otruby</u>	
Oves	651
Žito	4190
Pšenice	4527

### 5.3.3. Alkylresorcinoly

Alkylresorcinoly (Obrázek 4) jsou skupiny fenolických lipidů přítomných v různých organismech, jako jsou rostliny, řasy, mechy, houby, bakterie a mořské houby. Pšenice a žito jsou hlavními známými zdroji alkylresorcinoly. Chemicky, alkylresorcinoly zahrnují homology 3,5-dihydroxy-5-n-alkylbenzenu. Nicméně, existují i deriváty, které mají nenasycené a oksyložené vedlejší řetězce (Andersson et al. 2014).

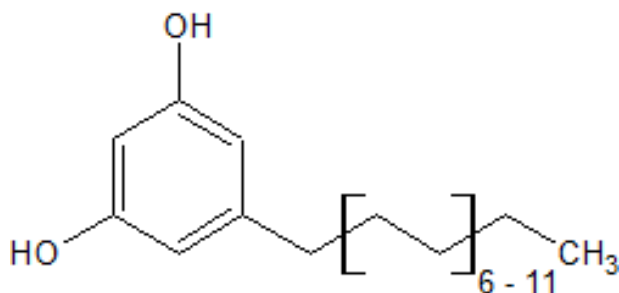
Tyto sloučeniny jsou obsaženy v otrubách pšenice, žita, tritikale a ječmene. Pšenice, žito a ječmen obsahují 339-759 mg/kg, 575-1008 mg/kg a 8 mg/kg alkylresorcinolů, v uvedeném pořadí (Dykes & Rooney 2007).

Obsah alkylresorcinolů v obilovinách je vysoce dědičná fytochemická složka, ale je to také ovlivněno faktory prostředí, jako je složení půdy, hnojení rostlin a aplikace pesticidů. Studie ukazují, že různé homology alkylresorcinolů jsou ve velké míře absorbovány v tenkém střevě (asi 60 % u prasat, 54-60 % u potkanů, 68 % u lidí dle Anderssona et al. 2014).

Alkylresorcinoly byly testovány na různých biologických aktivitách v několika in vitro modelech, včetně přímých antioxidačních vlastností, inhibice lipoxygenázy, inhibice indukované mědi na oxidaci LDL, rozštěpení vlákna DNA, inhibice růstu buněk rakoviny tlustého dřeva a inhibice aktivity lipázy v tukové tkáni buněk. Dále byly zkoumány vlastnosti inhibice růstu nádorů alkylresorcinolů C17:0 - C25:0 v rozsahu 5-50 mg/l a bylo zjištěno, že se inhibice snižuje se zvyšující se délkou homologního postranního řetězce alkylresorcinolů. K těmto alkylresorcinolům byly později přidány i další, s kratšími homology, jako je C15:0 a některé další homology, které nejsou přítomny v obilovinách, u nichž byla zjištěna mnohem silnější inhibice (Andersson et al. 2014).

Tyto sloučeniny mají antioxidační vlastnosti in vitro kvůli jejich vlastnosti stát se donorem vodíku a schopnosti vychytávat radikály, ale jsou méně účinné než vitamin E. Alkylresorcinoly jsou považovány za antioxidanty, nacházející se v membránách buněk. Jsou snadno absorbovatelné (až 80 %) a mohou být biologicky aktivní. Proto jsou potencionálními antioxidanty in vivo. Jejich antioxidační potenciál závisí na délce řetězce a na jejich začlenění do buněčných membrán (Ross et al. 2003).

Alkylresorcinoly mají antibakteriální a protiplísňové vlastnosti a antioxidační aktivitu in vitro. Tyto sloučeniny jsou zajímavé jako biomarkery příjmu celozrnných výrobků, což nám pomáhá pochopit vztah mezi spotřebou celozrnných výrobků a zdravím (Dykes & Rooney 2007).



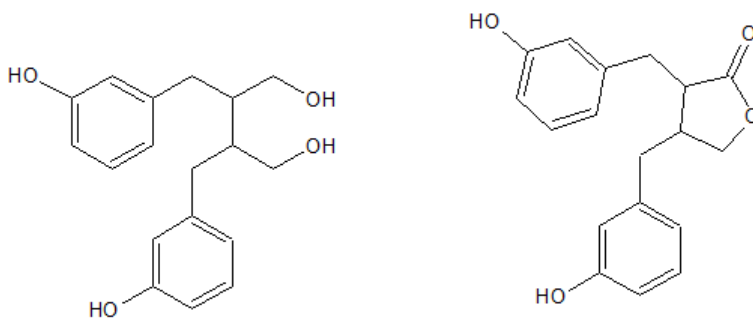
Obrázek 8: Alkylresorcinoly (Vlastní zpracování 2019)

### 5.3.4. Lignany

Lignany jsou skupinou sloučenin s fytoestrogenní aktivitou, u kterých bylo prokázáno, že jsou spojeny se sníženým rizikem nežádoucích stavů a chronických onemocnění, jako jsou symptomy menopauzy, hormonálně-dependentní rakoviny a kardiovaskulárních onemocnění. Lignany jsou fenolické sloučeniny nacházející se v rostlinách a některé jsou přeměněny na savčí lignany u lidí. Ty se nacházejí ve všech obilovinách a koncentrují se ve vnějších vrstvách zrna. Nejběžnější rostlinné lignany nalezené v žitu a v pšenici jsou syringaresinol (SYR), lariciresinol (LAR), pinoresinol (PIN), secoisolariciresinol (SECO), medioresinol (MED), matairesinol (MAT), and 7-hydroxymatairesinol (HMR) (Andersson et al. 2014). SECO a MAT jsou při požití přeměněny mikrobiálními enzymy v tlustém střevě na savčí lignany enterodiol a enterolakton (Obrázek 5), v uvedeném pořadí. Tyto sloučeniny jsou biologicky dostupné a předpokládá se, že snižují riziko rakoviny prsu, prostaty, tlustého střeva, onemocnění srdce a také mají antioxidantní vlastnosti (Dykes & Rooney 2007).

Celkový obsah lignanů u pšenice a žita je poměrně vysoký, v rozmezí od 0,34-2,3 mg / 100 g a 2,5-6,7 mg / 100 g v tomto pořadí. V žitě je dominantním lignanem SYR (973 mg / 100 g) a následně PIN (381 mg / 100 g), LAR (324 mg / 100 g) a MED (148 mg / 100 g). V menším množství je také přítomen SECO a MAT. Stejně hlavní lignany byly nalezeny i v žitných otrubách. V pšenici je hlavním lignanem SYR (372 mg / 100 g), následně LAR (62 mg / 100 g), PIN (37 mg / 100 g), SECO (35 mg / 100 g) a MED (30 mg / 100 g). MAT se vyskytuje jen ve velmi malém množství (Andersson et al. 2014).

Výzkumy bylo prokázáno, že enterolakton má funkci antioxidantu proti oxidaci lidskému LDL. Navíc bylo prokázáno, že je schopen zabránit růstu buněk rakoviny tlustého střeva. U lignanů v pšeničných otrubách bylo prokázáno, že mají protinádorové vlastnosti, které mohou být zprostředkovány cytostatickými a apoptotickými mechanismy. Kromě toho, pšeničné otruby inhibují vývoj střevní neoplazie, i když stupeň inhibice mezi různými odrůdami pšenice se výrazně liší (Higuchi 2014).



Obrázek 9: Enterodiol a enterolakton (Vlastní zpracování 2019)



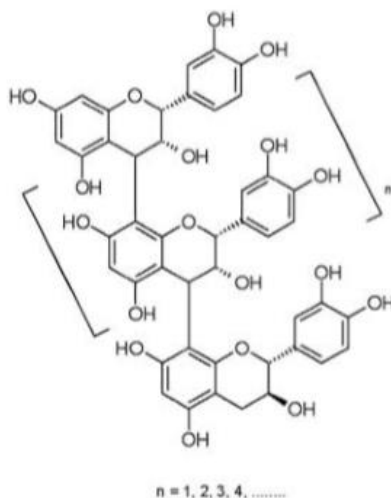
### 5.3.5. Taniny

Kondenzované třísloviny (taniny), které jsou také známé jako proanthokyanidiny nebo flavolany, jsou zařazeny do skupiny flavonoidních látek, majících strukturu flavan-3-olu. Tvoří polymery, které se skládají ze 2-50, i více flavonoidních jednotek. Tyto jednotky obsahují molekulu flavan-3-olu, katechinu, epikatechinu a jsou spojeny C-C vazbami, které jsou odolné vůči hydrolytickému štěpení (Záblacká 2016).

Tyto sloučeniny se vyskytují v široku s pigmentovanou vrstvou testa, v červeném prosu a v ječmeni. Hladina taninu v ječmeni a v široku je 0,74 mg/g a 7,88 až 21,97 mg/g, v uvedeném pořadí. Třísloviny v ječmeni jsou monomery, dimery a trimery, zatímco taniny v široku jsou polymery (Dykes & Rooney 2007).

Taniny v široku a v černé rýži měly nejvyšší hladiny fenolů a nejvyšší antioxidační aktivitu, zatímco nepigmentované obiloviny (tj. bílá rýže, pšenice a voskový ječmen) měly nejnižší hladinu. Tyto výsledky naznačují, že kondenzované taniny a pigmentu přispívající sloučeniny jako jsou anthokyaniny zvyšují hladinu fenolů a antioxidační aktivitu (Dykes et al. 2005).

Kondenzované taniny (Obrázek 6) mají vysokou antioxidační aktivitu in vitro ve srovnání s monomerními fenolickými látkami. Kromě toho, tyto sloučeniny mohou mít antikarcinogenní, kardiovaskulární, gastroprotektivní a antiulcerogenní účinky, snižují hladinu cholesterolu a také podporují zdraví močového ústrojí (Dykes & Rooney 2007).

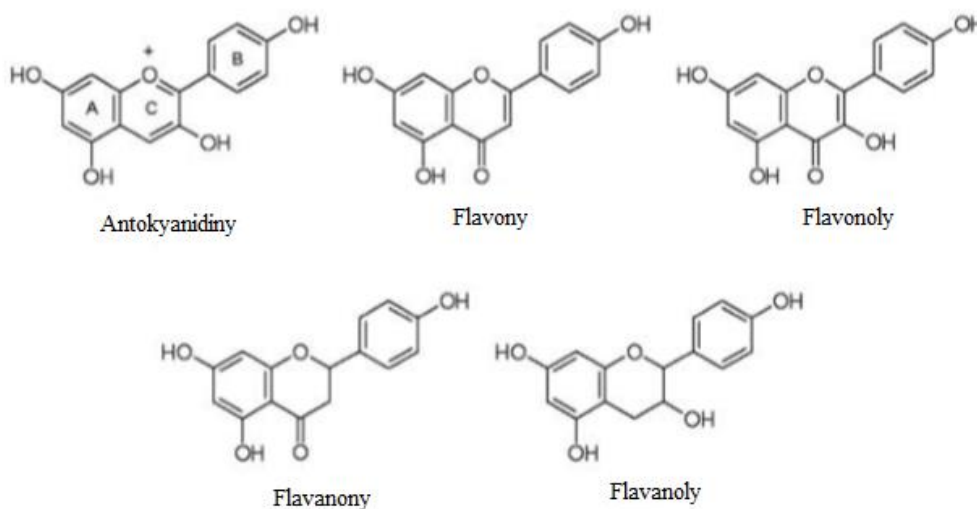


Obrázek 10: Kondenzované taniny (Dykes et Rooney 2007).

### 5.1.5 Flavonoidy

Flavonoidy (Obrázek 7) patří do skupiny přírodních látek s různými fenolickými strukturami a nachází se v ovoci, zelenině, obilí, kůře, kořenech, stoncích, květinách, čaji a vínu (Nijveldt et al. 2011). Jsou to sloučeniny s C6-C3-C6 skeletem, který se skládá ze dvou aromatických kruhů, spojených vazbou přes tři uhlíkové atomy. Zahrnují anthokyaniny, flavanoly, flavony, flavanony a flavonoly (Dykes & Rooney 2007). Flavonoidy se obvykle hromadí v rostlinách jako O-glykosilované deriváty, ale u několika druhů, včetně hlavních obilovin, převážně syntetizují flavon-C-glykosidy, které jsou hydrolyticky stabilní a jsou

biologicky aktivní (Brazier-Hicks et al. 2009). V přírodě bylo identifikováno více než 5000 flavonoidů. Jsou umístěny v oplodí všech obilovin a doposud má nejširší paletu zjištěných flavonoidů čirok (Dykes & Rooney 2007).



Obrázek 11: Flavonoidy (Dykes et Rooney 2007).

Antokyany jsou ve vodě rozpustné pigmenty, které přispívají modrání, fialovění a červenání v rostlinných potravinách (tj. borůvky, ostružiny, jahody) a jsou hlavními flavonoidy studovanými v obilovinách. Šest v přírodě běžných anthokyanidinů jsou kyanidin, delphinidin, mavinidin, pelargonidin, petunidin a peonidin. Tyto sloučeniny byly zaznamenány v oplodí pigmentovaných odrůd ječmene, kukuřice, rýže, žita a pšenice. Mletí těchto obilovin zvyšuje množství anthokyanů. Například modré a fialové celozrnné otruby obsahují 93-152 a 236-453 mg/kg, v uvedeném pořadí. Čirok obsahuje jedinečné anthokyany, zvané 3-deoxyanthokyaniny, které postrádají hydroxylovou skupinu ve třetí poloze uhlíkatého kruhu. Hlavní 3-deoxyanthokyanidiny v čiroku je žlutý apigenidin a oranžový luteolinidin. Čirok s černým oplodím obsahuje větší množství 3-deoxyanthokyanidinů než červený čirok (Dykes & Rooney 2007).

Další flavonoidy nalezené v ovoci a zelenině jsou rovněž přítomny v obilovinách. Z flavonů je to například apigenin, látka nalezená v petrželi a celeru, která je obsažena i v prosu, ovsu a čiroku. Flavanony, sloučeniny, u kterých je uváděno, že jsou obsaženy hlavně v citrusových plodech, jsou právě tak obsaženy v obilovinách, jako je čirok a oves (Yao et al. 2004). Přehled všech flavonoidů nalezených v zrnech obilovin je vyobrazen v Tabulce 4 (Dykes & Rooney 2007)

In vitro experimentální systémy také ukázaly, že flavonoidy mají protizánětlivé, antialergenní, antivirové a antikarcinogenní vlastnosti (Nijveldt et al. 2011).

Tabulka 4: Flavonoidy obsažené v různých druzích obilovin (Dykes et Rooney 2007)

<b>Antokyany</b>	
Apigeninidin	Čirok
Apigeninidin 5-glukosid	Čirok
Kyanidin	Ječmen
Kyanidin 3-galaktosid	Kukuřice, pšenice
Kyanidin 3-glukosid	Ječmen, kukuřice, rýže, žito, pšenice
Kyanidin 3-rutinosid	Kukuřice, rýže, pšenice
Delfinidin	Ječmen
Delfinidin 3-glukosid	Pšenice
Delfinidin 3-rutinosid	Žito, pšenice
Luteolinidin	Čirok
Luteolinidin 5-glukosid	Čirok
5-Methoxyapigeninidin	Čirok
7-Methoxyapigeninidin 5-glukosid	Čirok
5-Methoxyluteolinidin	Čirok
5-Methoxyluteolinidin 7-glukosid	Čirok
7-Methoxyluteolinidin	Čirok
Pelargonidin	Ječmen
Pelargonidin 3-glukosid	Kukuřice
Pelargonidin glykosid	Ječmen, kukuřice
Peonidin 3-glukosid	Kukuřice, rýže, žito, pšenice
Petunidin 3-glukosid	Ječmen, pšenice
Petunidin 3-rutinosid	Pšenice
<b>Flavony</b>	
Apigenin	Proso, oves, čirok
Apigenin glykosid	Pšenice
Glukosylorientin	Proso
Glukosylvitexin	Proso
Luteolin	Proso, oves, čirok
Isovitexin	Oves
Tricin	Proso, oves, pšenice
Vitexin	Proso, oves
<b>Flavanoly</b>	
Eriodictyol	Čirok
Eriodictyol 5-glukosid	Čirok
Homoeriodictyol	Oves
Naringenin	Čirok
<b>Flavonoly</b>	
Chrysoeriol	Ječmen
Kemferol	Kukuřice
Kemferol 3-rutinosid	Oves
Kemferol 3- rutinosid-7-glukuronid	Čirok
Kvercetin	Kukuřice, oves
Kvercetin 3-rutinosid	Oves
<b>Dihydroflavonoly</b>	
Taxifolin	Čirok
Taxifolin 7-glukosid	Čirok

<b>Flavan-4-oly</b>	
Apiforol	Čirok
Luteoforol	Čirok
<b>Flavanoly (monomery/dimery)</b>	
Katechin	Ječmen, čirok
Leukokyanidin	Ječmen, kukuřice
Leukodelfinidin	Ječmen
Leukopelargonidin	Kukuřice
Prokyanidin B-1	Čirok
Prokyanidin B-3	Ječmen
Prodelfinidin B-3	Ječmen

### 5.3. Tokoly

Tokoferoly a tokotrienoly jsou látky rozpustné v tucích, obecně označované jako tokoly, také známé jako vitamin E. Skládají se z polárního chromanolového kruhu a hydrofobního řetězce 16 atomů uhlíku. Postranní řetězec tokolů se skládá z isoprenoidní skupiny, která je u tokoferolů plně nasycená, zatímco u tokotrienolů má tři dvojně vazby (Andersson et al. 2014). Existují čtyři typy tokoferolů (alfa, beta, gama, delta) a čtyři typy tokotrienolů (alfa, beta, gama, delta), které se liší v počtu a poloze methylových skupin navázaných na 6-chromanolový kruh (Hejtmánková et al. 2010).

Tokoly jsou přirozeně se vyskytující antioxidanty, které jsou přítomny ve všech obilných zrnech a jsou známé pro svou účinnost vitaminu E (Obrázek 8). Tokoly chrání biologické membrány před oxidací a zachovávají imunologické funkce. Jsou to relativně stabilní sloučeniny za nepřítomnosti kyslíku, přičemž v přítomnosti kyslíku působí jako primární antioxidanty, tedy působí jako dárci atomu vodíku peroxidovým radikálům lipidů a tím inhibují množení oxidace lipidů. Jsou to také účinní zhášeci radikálů singletového kyslíku a oxidů dusíku. Tokotrienoly mají menší aktivitu vitaminu E, ale vyšší antioxidační aktivitu, než tokoferoly (Andersson et al. 2014).

I přesto, že obsah tokolů v obilovinách je mnohem nižší než v rostlinných olejích, cereálie jsou důležitým zdrojem tokolů, protože jsou konzumovány ve velkém množství (Andersson et al. 2014). V obilovinách jsou tokoferoly a  $\beta$ -tokotrienoly soustředěny převážně v klíčku, zatímco ostatní tokotrienoly jsou přítomny v oplodí, aleuronové, subaleuronové vrstvě a frakci endospermu. Obsah tokolů v obilných zrnech je ovlivněn genotypem, životním prostředím, agronomickými vstupy a interakcemi těchto faktorů (Lachman et al. 2018).

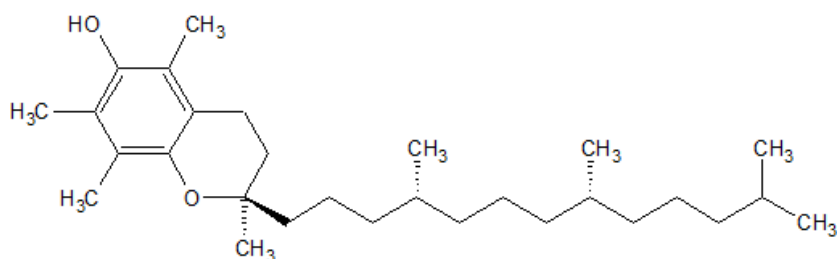
V drobnozrnných obilovinách, jako je oves, ječmen a pšenice, jsou tokotrienoly hlavními tokoly a jejich koncentrace se pohybuje mezi 40 a 60 mg/g sušiny, v závislosti na typu obiloviny a odrůdy (Lachman et al. 2018). Přibližně 85 % tokochromanolů jsou tokotrienoly, v případě tokoferolů je 80 % přítomno ve frakci zárodků. Koncentrace pro  $\alpha$ -,  $\gamma$ - a  $\delta$ - tokoferoly v pšeničných otrubách byla 1,28-21,29, 0,23-7,0 a 0,92-6,90 mg/kg a pšeničné klíčky obsahují přibližně 20 mg vitaminu E (Zhou et al. 2004). V projektu HEALTHGRAIN bylo zjištěno, že obsah tokolů ve vzorcích pšenice se pohyboval mezi 28-80 mg/g sušiny. Výsledky také ukázaly, že množství tokolů ovlivňuje geografický původ genotypů. Ve vzorcích ze západní Evropy byl zjištěn větší obsah tokolů, než ve vzorcích z východních částí. Také se ukázalo, že je rozdíl

v obsahu tokolů mezi různými druhy pšenice. Nejvyšší obsah byl objeven v pšenici jednozrnce (67 mg/g sušiny) a nejnižší obsah v pšenici špaldě (36 mg/g sušiny). Průměrný obsah v pšenici seté, tvrdé pšenici a ve špaldě se pohyboval okolo 50 mg/g sušiny (Andersson et al. 2014). Také Lachman et al., (2018) zjistil vyšší obsah tokolů v pšenici jednozrnce (50 mg/g sušiny), než u jiných druhů pšenice (32-37 mg/g sušiny).

Celkový obsah tokolů v 10 žitných genotypech byl také analyzován v projektu HEALTHGRAIN a pohyboval se v rozmezí 44-62 mg/g sušiny. Mezi hlavní formy tokolů v žitě patří  $\alpha$ -tokoferol,  $\alpha$ -tokotrienol s obsahem 17 mg/g sušiny (38 % z celkového počtu tokolů) a 20 mg/g sušiny (32 % z celkového počtu tokolů), v uvedeném pořadí. Obsah gama- a delta-tokolů je jen velmi malý.

Již dříve bylo zjištěno, že pšeničné otruby mají nejvyšší antioxidační kapacitu důsledkem nejvyšší koncentrace  $\alpha$ -tokoferolů. Vyšší obsah těchto látek v otrubách přispívá k vyšším antioxidačním vlastnostem (Engelsen & Hansen 2009).

In vivo studie ukázaly, že vitamin E zlepšuje různé parametry oxidačního stresu. Navíc co se týče antioxidačních vlastností, obsah tokolů v obilovinách prospívá lidskému zdraví tím, že reguluje rakovinu, kardiovaskulární onemocnění a má ochranný efekt na snížení LDL cholesterolu tím, že inhibuje biosyntézu cholesterolu (Hejtmánková et al. 2010).



Obrázek 12: Vitamin E (Vlastní zpracování 2019).

#### 5.4. Karotenoidy

Karotenoidy jsou organické pigmenty obsažené v chloroplastech a chromoplastech rostlin a jiných fotosyntetických organismech, jako jsou řasy, bakterie a houby. Mohou být produkovány tuky nebo jinými základními organickými metabolickými stavebními kameny všech těchto organismů (Higuchi 2014). Jsou to žluté, oranžové a červené pigmenty odpovědné za barvu většiny ovoce a zeleniny. Tyto látky jsou  $C_{40}$  isoprenoidy s dlouhým konjugovaným polyenovým řetězcem, který je odpovědný za jejich barvu a biologickou aktivitu (Paznocht et al. 2018).

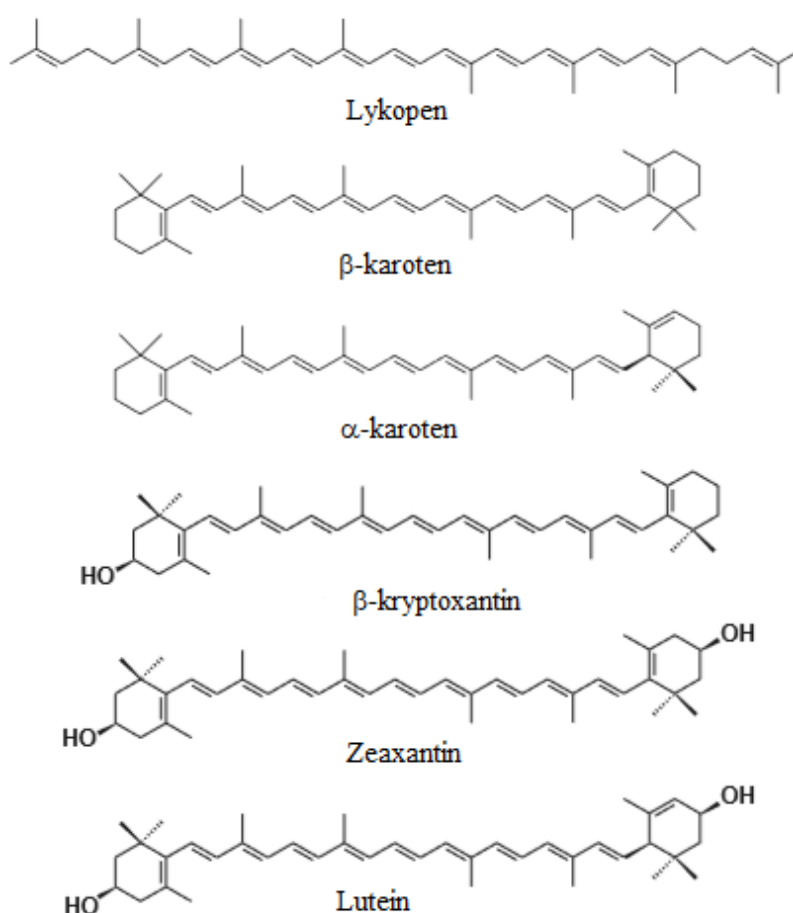
Karotenoidy jsou rozděleny do dvou tříd, karoteny a xantofyly. Karoteny, včetně  $\beta$ -karotenu a lycopenu jsou čistě uhlovodíky. Xantofyly, jako je lutein a zeaxanthin obsahují kromě uhlíku a vodíku také kyslík. U lidí, čtyři karotenoidy –  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -karoten a  $\beta$ -kryptoxanthin – mají aktivitu vitamínu A (Higuchi 2014). Strukturu těchto sloučenin nalezneme na Obrázku 9.

V obilovinách se karotenoidy vyskytují buď ve volné nebo v esterické formě (většinou s palmitovou a linolovou kyselinou), v závislosti na genotypu obilovin. Lachman et al. (2017)

zjistili nízkou hladinu celkových karotenoidů v pšeničné mouce (1,94 mg/kg), ve srovnání s vyššími hodnotami nalezenými ve špaldě (4,01 mg/kg), pšenici dvouzrnce (5,76 mg/kg), tvrdé pšenici (6,27 mg/kg) a pšenici jednozrnce (9,62 mg/kg). Jarní a ozimá pšenice obsahuje převážně lutein (2,17 mg/kg sušiny) a zeaxanthin (0,50 mg/kg), následující  $\alpha$ - a  $\beta$ -karotenem (0,04 a 0,07 mg/kg sušiny).

Ve vzorcích otrub pšenice byl v největším množství obsažen zeaxanthin (2,19 mg/kg), a  $\beta$ -karoten v rozmezí 0,09-0,40 mg/kg. Obdobně jako v případě ferulové a vanilové kyseliny, také koncentrace  $\alpha$ -tokoferolu,  $\beta$ -karotenu a kyseliny askorbové se zvyšuje s delším časem klíčení a dosahují svých maximálních hodnot po 7 dnech (10,92, 3,1 a 550 mg/kg) (Yang et al. 2001).

Nové odrůdy tritordea (x *Tritordeum martinii* A. Pujadas nothosp. nov.), které jsou bohaté na celkový obsah karotenoidů, jsou hexaploidní hybridy vzniklé křížením divokého ječmene a tvrdé pšenice. Z xanthofylů je zde v největším množství obsažen lutein a to v 5-8krát vyšším množství, než v tvrdé pšenici. Stejně je to u ječmene, kde je zeaxanthin hlavním karotenoidem, přestože celková hladina karotenoidů je u něj nízká. Žlutá zrna ječmene obsahují 2,25 mg/kg karotenoidů, zatímco fialová zrna jich obsahují dvakrát tolik (Paznocht et al. 2018).



Obrázek 13: Karoteny (Higuchi 2014).

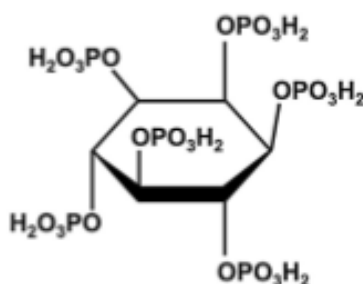
Jedním z hlavních mechanismů antioxidační aktivity karotenoidů je schopnost zhášet singletový kyslík. Karotenoidy, které zreagovaly, se mohou vrátit do původního stavu tím, že

uvolňují malé množství tepla a stávají se tím stabilnějšími. Kromě toho  $\beta$ -karoten reaguje s volnými radikály jako  $LO\cdot$  a  $LOO\cdot$  a je schopen stát se donorem elektronů, tím redukuje volné radikály na neradikálové sloučeniny a produkují karotenoidní radikálové kationty. I přestože jsou v antioxidačním systému méně důležité než vitamin E,  $\beta$ -karoten a vitamin A, spolupracují s vitamínem C a E a chrání buňky před oxidačním stresem (Higuchi 2014). Karotenoidy mohou zabránit degradaci sítnice, slunečnímu spálení, rakovině jater a posilují imunitní systém (Paznocht et al. 2018). Některé výzkumy prokázaly antiproliferativní účinky karotenoidů na různých rakovinných buněčných liniích a v prsu, plicích a prostatě byl zjištěn progres v inhibici buněčného cyklu lykopenu (Higuchi 2014).

### 5.5. Kyselina fytová

Kyselina fytová (Obrázek 10), také známá jako inositol-6-fosfát, je hlavní zásobní formou fosforu v mnoha rostlinných tkáních a je lokalizován především ve vnějších částech pšeničné obilky, což vysvětluje její vysoký obsah v otrubách.

Kyselina fytová uplatňuje svůj největší biologický účinek prostřednictvím svých antioxidačních vlastností (Higuchi 2014). Může snížit výskyt rakoviny tlustého střeva a chrání před dalšími zánětlivými onemocněními střev. Také inhibuje xanthinoxidázu, oxidací indukovaný superoxid, zodpovědný za poškození DNA. Kyselina fytová působí tím, že tvoří cheláty a potlačuje železo katalyzované škodlivými redoxními reakcemi (Zhou et al. 2004). Jedna studie rovněž popsala korelaci mezi snížením rizika osteoporózy a spotřebou kyseliny fytové. Naproti tomu, fytové kyseliny tvoří komplexy s četnými kationty, zejména se zinkem, vápníkem a železem a vytváří nerozpustné soli, které není střevní trakt schopen absorbovat. Proto je kyselina fytová označována jako antinutrient, i přes její léčebné účinky (Higuchi 2014).



Obrázek 14: Kyselina fytová (Higuchi 2014).

### 5.6. Fytosteroly

Steroly a stanoly (nasycené steroly) v rostlinách patří do různorodé skupiny sekundárních metabolitů rostlinných sterolů nebo fytosterolů. Ty jsou přítomny především v ořechách, ovoci a semenech a jsou to přírodní složky obsažené v potravě v množství podobnému cholesterolu (200-400 mg/den). Fytosteroly se většinou vyskytují ve volné nebo v esterické formě, včetně esterů mastných kyselin a fenolických kyselin, stejně jako glykosidy nebo acyklické glykosidy (Andersson et al. 2014). Obiloviny jsou hlavním zdrojem rostlinných

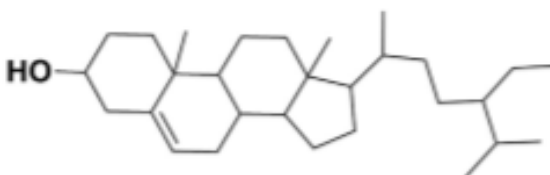
sterolů a společně s rostlinnými oleji přispívají až k 40 % denního příjmu fytosterolů (Idehen et al. 2017).

Vyšší hladiny fytosterolů byly nalezeny ve vnějších vrstvách jádra. Ve studii Idehena, 2017 je porovnán obsah fytosterolů v hlavních obilných zrnech. Nejvyšší obsah byl nalezen v žitě (966 mg/g), následně v ječmeni (761 mg/g), pšenici (690 mg/g) a ovsu (447 mg/g).

Celkový obsah fytosterolů je 670-969 mg/g sušiny v celém zrně pšenice ozimé a 797-949 mg/g sušiny u pšenice jarní. Sitosterol (Obrázek 11) je nejhojnější fytosterol ve všech typech pšenice, zahrnutých ve studii Anderssona et al. 2014. Celkový obsah rostlinných sterolů se tedy pohyboval v rozmezí od 717 do 1039 mg/g sušiny, se sitosterolem jako hlavní složkou (asi 25 %). Sitosterol je nejhojnější forma sterolu ve všech obilovinách, včetně ječmene, kde zaujímá 53-61 % celkových sterolů, následovaný kampesterolem, zaujímajícím 14-20 % (Idehen et al. 2017).

Nejvyšší obsah fytosterolů byl nalezen v pšeničných klíčcích. Množství sterylferulátů bylo vysoké v otrubách a přispělo až k 17 % celkových fytosterolů, zatímco sterylglykosidy přispěly k méně než 10 % (Andersson et al. 2014).

Nedávné studie ukázaly, že přirozený příjem rostlinných sterolů může mít pozitivní účinek na snížení hladiny cholesterolu v séru, chrání před kardiovaskulárními chorobami a je prevencí před rakovinou tlustého střeva (Idehen et al. 2017).



Obrázek 15: Sitosterol (Idehen et al. 2017).

## 5.7. Selen

Selen, který se přirozeně vyskytuje v přírodě, je esenciální stopový prvek v živých organismech. I když jsou nadměrné hladiny selenu velmi toxické, stopové množství je nezbytné pro funkci buněk v mnoha organismech, včetně všech zvířat. Selen je součástí neobvyklých aminokyselin, jako je selenocystein a selenomethionin (Higuchi 2014).

Minerály, jako je selen, se nacházejí hlavně ve frakci otrub, a to zejména v aleuronové vrstvě. Zásadní otázkou u těchto sloučenin je jejich biologická dostupnost, protože je snížena přítomností kyseliny fytové, která je v celozrnných výrobcích přítomna ve velkém množství (Leenhardt et al. 2005). Množství selenu v pšeničných otrubách (cca 0,6 mg/kg) je pětikrát vyšší než v okaře a rýžových otrubách. Proto může být přidání pšeničných otrub do stravování efektivní způsob, jak řešit nedostatek selenu (Higuchi 2014). Ekholm et al. (2007) uvádí, že nejvyšší obsah selenu byl nalezen v žitné mouce (0,05 mg / 100 g sušiny), v menší míře v prosu a ovesných otrubách (0,022 mg / 100 g sušiny), dále ve válčovaném ovsu a pšeničných otrubách (0,016 mg / 100 g sušiny) a nejmenší množství v pšeničné mouce (0,011 mg / 100 g sušiny). V pšenicích s barevným zrnem se jeho obsah pohybuje v rozmezí 0,039-0,235 mg/kg sušiny (Le Minh et al. 2017).



## 6. Faktory ovlivňující obsah antioxidantů v obilkách

Zrcková et al. (2018) uvádí, že i přes relativně vysokou váhu genetiky, přítomnost antioxidantů ovlivňují i jiné faktory. Je známo, že mnoho antioxidantů je v rostlinách produkováno jako odezva na abiotické (např. zranění, teplota, voda a živiny) a biotické faktory (napadení škůdci a nemoci).

### 6.1. Půdně-klimatické faktory

Dle Bajerové et al. (2016), se kvůli klimatickým změnám prohlubuje hojnost a frekvence především abiotických fyzikálních (sucho, vysoké či nízké teploty) a chemických stresů (oxidativní stres, strádání kyslíku v půdě, vysoké či nízké pH půdy, nadbytek či nedostatek světla, nadměrné množství ozonu atd.).

Na molekulární a biologické úrovni má vysoká teplota záporný vliv na aktivitu enzymatických systémů, protože za této situace dochází k denaturaci bílkovin a rostliny se brání zvýšenou tvorbou fytoestrogenů (zejména kyseliny abscisové) a antioxidantů. Z fyziologického hlediska dochází k redukcii listové plochy, zvýší se ztráta vody v průduších listů, nastane nerovnováha mezi fotosyntézou a dýcháním, sníží se účinnost fotosystému a dojde ke změně organizace buněčných struktur. Tyto projevy reakce C3 obilnin (s horším využitím CO<sub>2</sub>) na zvýšenou teplotu odpovídají nestandardním růstem a vývojem rostlin, který se ve finální fázi růstu projeví změnou kvality zrna a snížením výnosu rostlin (Bajerová et al. 2016).

#### 6.1.1. Povětrnostní podmínky

Kromě genotypu byl zjištěn významný vliv povětrnostních podmínek u všech hodnocených antioxidačních sloučenin a převažoval v množství celkového obsahu fenolů, fenolických kyselin a karotenoidů. Sezóna 2016 byla poznamenána mírně vyššími průměrnými teplotami a podstatně nižšími srážkami ve srovnání s rokem 2017. Proto je možné předpokládat, že v roce 2016, kdy byl obsah všech hodnocených antioxidačních sloučenin vyšší, hodnocená pšenice byla vystavena vyššímu stresu. Tím je dána skutečnost, že rostlina produkuje mnoho antioxidantů jako odezvu na abiotický stres, jako je například vodní nebo teplotní stres (Zrcková et al. 2018). Paznocht et al. (2018) uvádí, že byla zpozorována zvýšená syntéza karotenoidů v pšenici s barevným zrnem, která trpěla vodním deficitem a také zaregistroval zvýšený obsah rozpustných fenolů a antokyanů v pšenici vystavené suchu.

Při hodnocení více než 200 linií pšenice byly hladiny  $\alpha$ -tokoferolu ovlivněny nejen rozdíly v odrůdách, ale také ročním obdobím a místem produkce. Fertilizace a půdní typ neměly na množství antioxidantů v zrnech žádný vliv. Navíc, když bylo osm kontrolovaných genotypů pšenice ozimé pěstováno za kontrolovaných podmínek, hladiny  $\alpha$ -tokoferolu se lišily až trojnásobně, což zvýraznilo důležitý přínos genetické variace. Studie v Evropě však ukazují, že hladiny tokoferolu a tokotrienolu jsou v některých odrůdách pšenice náchylnější k sezónním výkyvům než jiné (Belobrajdic & Bird 2013). Také Mareček (2015) uvádí, že obsah jednotlivých izomerů a celková aktivita vitamínu E v zrně značně závisí na ročníku pěstování, počasí a povětrnostních podmínkách dané pěstební lokality. Dále uvádí, že aktivitu vitamínu E

průkazně zvyšuje aplikace pesticidů. Větší náchylnost k sezónním změnám je také patrná u některých genotypů pšenice pro hladinu volných a konjugovaných fenolů. Nicméně vázané fenoly, které tvoří největší podíl celkových fenolických kyselin v pšenici, jsou většinou stabilní napříč různými pěstitelskými podmínkami. Celkový obsah fenolických kyselin v pšenici je tedy většinou ovlivněn genotypem. Například zimní odrůdy obsahují až dvakrát více celkových fenolických kyselin (1171 mg/kg) než průměrná hladina 175 genotypů pšenice s 658 mg/kg (Belobrajdic & Bird 2013). Stanoviště s drsnějšími povětrnostními podmínkami, vyšší nadmořskou výškou a větším množstvím srážek korelovali s vyšším obsahem celkových polyfenolových látek (Mareček 2015).

Paznocht et al. (2018) předpokládají, že kultivary pocházející z podnebí podobnému v České republice, by mohly reagovat na vysokou teplotu a snížení srážek odlišněji ve srovnání s kultivary různého původu. Tato zjištění by mohla být užitečná pro výběr genotypů pšenice, které jsou přirozeně bohaté na antioxidanty, také ve vztahu k výběru vhodnějších pěstebních oblastí.

### **6.1.2. Systém pěstování rostlin**

Kultivační systém také může ovlivnit obsah antioxidantů v plodinách. Existují důkazy o tom, že rozdíly v režimech hnojení mezi organickými a konvenčními produkčními systémy (zejména nepoužíváním hnojiv s vysokým obsahem minerálního dusíku) jsou významným faktorem pro vyšší koncentraci antioxidantů v ekologicky pěstovaných plodinách (Zrcková et al. 2018).

Výsledky Zrckové et al. (2018) ukazují, že systém pěstování významně ovlivňuje obsah všech antioxidantů, i když stále na nižší úrovni ve srovnání s genotypem. Uvádí, že byl zjištěn vyšší obsah antioxidantů v systému ekologického pěstování, zejména v obsahu fenolických kyselin. Ve svém výzkumu zjistili, že úroveň fenolických látek v organickém prostředí je vyšší než při konvenčním způsobu pěstování.

Jejich studie ukazuje, že klimatické faktory mají větší vliv na koncentraci fotochemikálií v zrna než produkční metoda (organická/produkční). Zvýšenou koncentraci antioxidantů v organických produktech lze vysvětlit změnami v metabolismu rostlin, způsobenými rozdíly v dostupnosti půdního dusíku v organických a konvenčních metodách pěstování. V ekologické produkci, ve které se nepoužívají syntetická hnojiva, lze očekávat nižší dostupnost dusíku. To vede k intenzifikaci biosyntézy sloučenin obsahující uhlík, včetně nedusíkatých sekundárních metabolitů. Pokud je dusík snadněji dostupný, rostliny intenzivněji syntetizují proteiny a jiné sloučeniny obsahující dusík (Zuchowski et al. 2011). Pravděpodobný nedostatek dusíku u ekologicky pěstovaných polí může vést k nižším hodnotám HTS u organických obilných zrn. Čím je ale zrno menší, jádra pšenice mají větší poměr povrch/objem, mají tudíž větší procento oplodí a aleuronové vrstvy, tedy části, které většinou obsahují většinu antioxidantů. I přes skutečnost, že neexistují dostatečné údaje k porovnání potencionálního vlivu dostupnosti dusíku na obsah antioxidantů v pšeničném zrna na bázi parametrů půdy, lze předpokládat, že dostupnost dusíku je v konvenčním pěstování vyšší. To znamená, že výťažnost obilí v konvenčním způsobu pěstování byla o 17 % u genotypů AF

Jumiko a PS Karkulka, o 18 % v genotypu Annie, o 20 % v genotypu Citrus a o 26 % v genotypu Skorpion a KM 53-14 vyšší v porovnání s genotypy, pěstovanými organicky.

Navíc je dobře známo, že mnoho antioxidantů, které se nacházejí ve vyšších koncentracích v organickém prostředí, rostliny produkují v reakci na biotické účinky (napadení škůdci a chorobami). Nicméně není známá žádná úzká korelace mezi vyšším výskytem škůdců a chorob a antioxidanty v ekologických plodinách (Zrcková et al. 2018).

## 6.2. Genotypové faktory

Vysoké hladiny lipofilních karotenoidů (lutein, zeaxantin,  $\beta$ -karoten), jsou charakteristické pro pšenici jednozrnu a tvrdou pšenici. Antokyany vedou k pigmentaci zrna, které se široce liší v odstínech a kombinace genů různých barev vede k velmi tmavé barvě, která je označována jako „černá barva“. Mezi důležité vlastnosti černě, fialově a modře zrnité pšenice patří to, že obsahují přírodní antokyanové sloučeniny ve větším množství, než červeně a bíle zrnité pšenice. Rozdíly v barevných složkách v obilí a obilných výrobcích závisí na genetických faktorech, růstových podmínkách a technologických procesech. Podobná řada barev zrn u pšenice existují i u žita, tritikale, ječmene, ovsa, rýže a kukuřice (Lachman et al. 2017).

Výsledky ANOVA týkající se šesti genotypů pšenice, pěstovaných během dvou let ve dvou různých systémech pěstování (organický a konvenční). Analýza ukazuje, že genotyp a jeho interakce s plodinovým rokem a systémem pěstování významně ovlivňuje množství antioxidantů v zrnech. Nicméně pouze hodnota antokyanů byla ovlivněna genotypem, vliv roku a systému pěstování byl menší. V případě celkové antioxidační aktivity byly pozorovány podobné dopady genotypu a roku. Dopad systému pěstování byl menší, ale stále velice významný. Fenoly, fenolické kyseliny a karotenoidy jsou většinou ovlivňovány rokem, méně genotypem a systémem pěstování a jejich interakcemi (Zrcková et al. 2018).

Podle Martini et al. (2015), žlutě zbarvené pigmenty a celková antioxidační kapacita u tvrdé pšenice byly především ovlivněny genotypem, odlišně od obsahu fenolických kyselin a celkových fenolů, které se zdají být více ovlivněny faktory prostředí. Žlutý endosperm je podmíněn přítomností žlutých pigmentů, luteinem a zeaxantinem, proto byla tvrdá pšenice široce studována (Lachman et al. 2017).

Lachman et al. (2017) uvedli, že hladiny antokyaninu jsou vysoce významně ovlivněny genotypem, přičemž vlivy prostředí jsou také významné. Výsledky Zrckové et al. (2018) potvrzují vysokou dědičnost pro antokyany, stejně jako významné účinky roku a systému pěstování plodin.

Bílá barva zrna je určena kombinací tří recesivních alel a proantokyanidiny, které jsou syntetizovány prostřednictvím biosyntetické cesty flavonoidů a jsou spojeny s hořkou chutí, nižší aktivitou hydrolytických enzymů a lepší odolností proti klíčení (Lachman et al. 2017).

Podle Garga et al. (2016), nejvyšší obsah antokyanů je přítomen v zrnech černě zbarvené pšenice, následované zrny s modrou barvou a pšenicí s fialovým oplodím. Nicméně, některé fialové pšenice mohou obsahovat vyšší hladiny antokyanu než modrá pšenice. Výsledky Zrckové et al. (2018) ukazují, že celkový obsah polyfenolů byl podstatně vyšší u genotypů s modrou aleuronovou vrstvou, ve srovnání s fialovým perikarpem. Nejvyšší antioxidační aktivita byla stanovena v genotypech s fialovým oplodím a modrou aleuronovou vrstvou, ale

rozdíly mezi nimi a kultivarem se žlutým endospermem byl v některých případech nevýznamný.

Výsledky Zrckové et al. (2018) ukazují, že obsah celkových polyfenolů v tradičních kultivarech pšenice může být na stejné nebo podobné úrovni, jako obsah v pšenici s barevným obilím.

## 7. Antioxidanty v potravinářských produktech

### 7.1. Mouka

Celozrnná mouka se skládá z 10 až 14 % otrub, 2,5-3 % klíčků a 80-85 % endospermu. Bioaktivní látky jsou distribuovány v rámci těchto částí a koncentrují se ve vnější vrstvě zrna. Tím je dáno, že celozrnná mouka obsahuje podstatně více fytonutrientů, včetně karotenoidů, než rafinované pšeničné mouky (Paznocht et al. 2018).

Holtekjolen et al. (2008) ve své studii zkoumal antioxidační vlastnosti dvou různých obilovin (pšenice a ječmen), jakožto i různé odrůdy ječmene. Ve všech směsích mouky bylo podstatně více volných než vázaných fenolů. U těchto obilovin rozpustná frakce (volné fenoly) obsahuje převážně flavanoly a tokoferoly, zatímco nerozpustná frakce (vázané fenoly) zahrnuje hlavně fenolické kyseliny. U pšenice je hlášeno až pětikrát větší množství volných než vázaných fenolů.

Tokoly identifikované v bílé a semolinové mouce byly v sestupném pořadí podle hojnosti  $\beta$ -tokotrienol,  $\alpha$ -tokoferol,  $\alpha$ -tokotrienol, a  $\beta$ -tokoferol (Hidalgo et Brandolini, 2010).

Paznocht et al. (2019) uvádí, že při použití běžné a fialové tvrdé pšenice na výrobu čerstvých těstovin, byl největší celkový obsah karotenoidů přítomen v celozrnné mouce (7,3 mg/kg sušiny), následované semi – celozrnnou moukou (6,30 mg/kg sušiny) a nejnižší v krupici (5,25 mg/kg sušiny). Dále uvádí, že celkový obsah karotenoidů ve fialové tvrdé pšenicí (7,38 mg/kg sušiny) byl o něco nižší v porovnání s celozrnnou moukou žluté tvrdé pšenice (7,68 mg/kg sušiny). Nicméně, některé ze zkoumaných pigmentových odrůd, zejména ty fialové, dosáhly srovnatelné nebo dokonce vyšší hodnoty celkových karotenoidů než konvenční modré odrůdy. Tyto výsledky byly zjištěny i ve studii Paznocht et al. (2018), některé genotypy s fialovým oplodím jsou cennými zdroji karotenoidů, jakožto i antokyanů, které jsou rovněž důležité bioaktivní sloučeniny ve fialových a modrých odrůdách pšenice.

Složení jednotlivých karotenoidů v celozrnné mouce u genotypů analyzovaných Paznochtem et al. (2019), bylo velmi podobné. Nejvyšší obsah byl typický pro celkový lutein (v průměru 0,695 mg/kg sušiny), dále jeho estery, zeaxantin,  $\beta$ -karoten,  $\alpha$ -karoten a antheraxantin (0,244, 0,061, 0,033, 0,010 a 0,010 mg/kg sušiny, v uvedeném pořadí).

### 7.2. Těsto

Paznocht et al. (2019) uvádí, že při přípravě těsta se obsah celkových karotenoidů snížil na 38,5 % v porovnání s jejich původním obsahem v celozrnné mouce. Největší pokles byl zaznamenán u žlutých odrůd pšenice (až na 24,9 %). Z jednotlivých karotenoidů, nejvyšší ztráty byly zaznamenány pro  $\alpha$ -karoten a  $\beta$ -karoten. Ve výchozím stavu v mouce pouze ve stopovém množství se  $\alpha$ -karoten zcela rozloží a těstě není detekován vůbec. Hladina  $\beta$ -karotenu klesla na 34,2 % počáteční hodnoty v mouce. Estery luteinu se zdají být více stabilní ve srovnání s volným luteinem, o čemž svědčí jejich menší pokles (až 43,9 %). Zeaxantin a antheraxantin byly vyhodnoceny jako nejodolnější karotenoidy, co se týče přípravy těsta, s nejnižším snížením jejich obsahu (na 54,0 % a 53,6 %, v uvedeném pořadí).

Karotenoidy jsou náchylné na řadu exogenních faktorů, jako je světlo, kyslík, teplo a extrémní hodnoty pH, jakožto i endogenní enzymatické aktivity. Jejich ztráty při přípravě těsta se uskuteční v důsledku přítomnosti oxidačních enzymů, jako jsou lipoxygenázy, peroxidázy a polyfenoloxidázy v mouce, které se stávají aktivní, když se přidá voda a do průběhu procesu je začleněn kyslík (Paznocht et al. 2019).

Celková degradace tokolů během hnětení těsta byla relevantní, s průměrnými ztrátami u všech druhů mouk 21,4, 28,2 a 44,2 % v chlebu, sušenkách a těstovinách, v uvedeném pořadí. Procento degradovaných tokolů během hnětení je vyšší než u jiných antioxidačních látek (karotenoidů). V průměru 21,4 vs. 15,2, 28,2 vs. 12,0 a 44,2 vs. 30,4 % v chlebu, sušenkách a těstovinách, v uvedeném pořadí. Toto chování pravděpodobně souvisí s vyšší mírou degradace konstantní míry rozkladu bílé mouky a vyšší aktivitou vychytávání radikálů tokolů ve srovnání s karotenoidy (Hidalgo & Brandolini 2010).

### 7.3. Pečivo

Paznocht et al. (2019) uvádí, že pečení housek způsobilo další degradaci karotenoidů (o 11,1 %), tudíž celkový obsah karotenoidů klesl na 27,4 % celkového obsahu v mouce. To znamená, že pečení vedlo k podstatně menšímu snížení karotenoidů v porovnání s přípravou těsta. K výrazně vyšší redukci celkových karotenoidů (o 29 %) došlo v chlebové kůrce během pečení, ale karotenoidy přítomné v chlebové drti byly podstatně stabilnější (dochází ke snížení o pouhé 3 %). Celkový lutein se snížil o 10,6 %. Pečení způsobilo významné snížení esterů luteinu (o 22,2 %),  $\beta$ -karotenu a anteraxantinu (o 23,8 % a 30,8 %, v uvedeném pořadí). Na druhou stranu, došlo ke zvýšení obsahu jednotlivých karotenoidů, jako je zeaxantin, jehož hladina se zvedla na 89 % (nárůst o 35 %), ze svého původního stavu v mouce.

Porovnání vlivu pečení na tokoly a karotenoidy ukazuje, že karotenoidy jsou více náchylné k tepelné úpravě (Hidalgo & Brandolini 2010).

Holtekjolen et al. (2008) ve své studii uvádí, že během pečení se obsah volných fenolů snížil o 23,5 %. Ječmen obsahuje více proantokyanidinů, což se také může snížit degradací v důsledku tepelného procesu během pečení. V závěru svého výzkumu uvádí, že spíše než pečení a skladování chleba měly na celkovou antioxidační aktivitu vliv odrůdy ječmene.

## 8. Metody stanovení

V oblasti chemické analýzy a biologického hodnocení potravin byly v posledních letech vyhotoveny metody, které poskytují stanovení tzv. celkové antioxidační aktivity vzorků. Metody jsou v zásadě odlišné a jejich modifikace se postupně vyvíjejí. Jejich základním významem je charakterizace antioxidační účinnosti jako souhrn vlastnosti potravin v podmínkách blízkých fyziologickému prostředí (Mrázová 2011).

### 8.1. Spektrofotometrické metody

Spektrofotometrické techniky spoléhají na reakci radikálu nebo komplexu s antioxidační molekulou, která je schopná stát se donorem atomu vodíku.

**Metoda DPPH** (2,2-difenyl-1-pikrylhydrazyl) je stabilní volný radikál, který se díky své struktuře může stát akceptorem vodíku a tím přechází do formy stabilní molekuly. Přemístěním na DPPH molekulu vznikne purpurová barva s absorpčním pásmem s maximem okolo 520 nm. Když DPPH reaguje s dárce vodíku, vytvoří se redukovaná forma DPPH, který doprovází zmizení fialové barvy. Proto snížení absorbance lineárně závisí na koncentraci antioxidantů. Jako standard může být použita kyselina askorbová, gallová, izoaskorbová, epikatechin nebo Trolox, na jehož ekvivalentní množství se přepočítává antioxidační aktivita vzorku nejčastěji (Pisoschi & Negulescu 2011).

**Metoda ABTS.** Kationtový radikál ABTS, který se absorbuje při 743 nm (modrozelená barva), je vytvořen ztrátou elektronu atomem dusíku ABTS (2,2'-azobis(2-amidinopropan)dihydrochlorid). Za přítomnosti Troloxu (nebo jiného antioxidantu darující vodík), atom dusíku zpomalí atom vodíku, který odbarví roztok. ABTS může být oxidován oxidem manganatým, vyvolávajícím ABTS kationtové radikály ( $ABTS^{\bullet+}$ ), jehož absorbance při 743 nm byla monitorována v přítomnosti Troloxu. Jedním omezením této metody je malá selektivita při reakci s dárce vodíkových atomů. Metoda umožňuje změřit antioxidační činnost řady karotenoidů, fenolů a některých antioxidantů obsažených v plazmě (Mrázová 2011).

**Metoda FRAP** spoléhá na redukci železitých komplexů, jako je TPTZ (2,4,6-tripirydyl-S-triazin), který je téměř bezbarvý a po redukci a příležitostně reakci s dalším činidlem vytváří barevné produkty, jako je námořnická modř.

**Metoda ORAC** měří antioxidační činnost při likvidaci peroxylových radikálů, indukovaných 2,2-azobis-(2-amidino-propan)dihydrochloridem (AAPH) při 37 stupních Celsia. Fluorescein je využíván jako fluorescenční sonda. Ztráta fluorescence je ukazatelem rozsahu rozkladu jeho reakce s peroxylovými radikály.

**Metoda HORAC.** Tato technika závisí na měření činnosti s kovovou chelatační aktivitou antioxidantů. Metoda využívá komplex kobaltnatých iontů a vyhodnocuje tak ochrannou schopnost proti tvorbě hydroxylových radikálů. Po naměření počáteční fluorescence se údaje odečítají každou minutu po protřepání.

**Fluorimetrie.** Fluorescence je emise světla látkou, která pohlcuje světlo nebo jiné elektromagnetické záření o jiné vlnové délce. Ve většině případů má vyzářované světlo delší vlnovou délku, a proto nižší energii než absorbovaná radiace. K fluorescenční emisi dochází, když se oběžný elektron molekuly dostane do základního stavu tím, že vyzářuje foton světla

poté, co je excitován do vyššího kvantového stavu díky nějakému typu energie. Fluorescenční test se využívá ke stanovení obsahu antioxidantů (Pisoschi & Negulescu 2011).

**Lipidově peroxidační metody** se provádějí v pufovaných modelových systémech, které obsahují nenasycené mastné kyseliny a testovací vzorek. Často je přidáván homogenát živočišné tkáně, např. jater nebo mozku. Lipidová peroxidace je v ní iniciována tetrachlormetanem nebo peroxidem (Mrázová 2011).



## 9. Závěr

Obiloviny patří zcela právem mezi zajímavé potraviny. Kromě toho, že jsou výborným zdrojem sacharidů, zejména škrobu a vlákniny, jsou obiloviny dobrým zdrojem antioxidantů podporujících zdraví, jako jsou fenoly, tokoferoly a karotenoidy. Hlavními antioxidanty obsaženými v obilovinách jsou polyfenolické sloučeniny, zejména estery fenolkarboxylových kyselin, flavonoidy a antokyaniny.

Antioxidanty obsažené v potravinách mají důležitou úlohu v oblasti týkající se jídla nebo lidského těla. Působí totiž proti oxidačním procesům a jsou prevencí před chronickými onemocněními, souvisejícími s oxidačním stresem. Epidemiologické studie jasně prokázaly, že strava obsahující celozrnné obilniny, může chránit před metabolickými poruchami, jako jsou kardiovaskulární onemocnění, rakovina, diabetes a navíc dokáže snížit tlak či hladinu LDL cholesterolu. Tento účinek je přisuzován zejména vláknině a mikronutrientům, které se vyskytují ve vnější vrstvě zrna a ve frakci klíčků obilovin.

Míra antioxidační aktivity v zrnech obilovin závisí na mnoha faktorech. Všechny hodnocené parametry byly významně ovlivněny jak genotypem, tak hodnocenými faktory prostředí. V obsahu polyfenolů, fenolických kyselin a karotenoidů převažuje vliv let, zatímco obsah antokyanů ovlivňuje hlavně genotyp. Vliv genotypu a roku na celkovou antioxidační aktivitu je srovnatelný. Vyšší míra celkové antioxidační aktivity je také pozorovatelná v systému organicky pěstovaných plodin, které soupeří s nepříznivými biotickými faktory (teplota, sucho).

Kvalitativní a kvantitativní rozdíly ve složení antokyanů barevných obilovin s modrým aleuronem nebo purpurovým perikarpem, může mít vliv na benefiční vlastnosti chleba a jiných potravin. Rozvíjením zvláštních druhů obilovin s vysokým obsahem antokyanů může poskytnout linie s vysokými hladinami těchto složek. Zrna pšenice se žlutou barvou, jako je tvrdá pšenice či pšenice jednozrnka, jsou bohaté na karotenoidy a jsou vhodné pro výrobu těstovin. Nicméně obsah a složení antokyanů a karotenoidů v černých, fialových a modrých zrnech, by měly být dále zkoumány a vyhodnocovány.

Byly vyšlechtěny nové odrůdy pšenice, jako AF Oxana s modře zbarveným aleuronem nebo AF Jumiko s purpurovým perikarpem, jejichž zbarvení je způsobeno antokyaniny, které mají antioxidační účinky. Pro svůj vysoký obsah antokyanů a luteinu jsou tyto odrůdy využitelné pro specifické potravinářské a krmné účely. Mimo tradiční zpracování mouky pro pekařské (pekárenské) výrobky je možné využít produkci AF Jumiko pro výrobu vloček (cereálií), těstovin (vřetena), nealkoholických nápojů nebo speciálních piv.

Lze říci, že genotypy nových odrůd pšenice s barevným zrnem, linie a šlechtitelské materiály, jakožto i různé faktory přípravy, skladování a pečení mohou významně ovlivnit hladinu karotenoidů a dalších zdravotně významných komponentů pšeničné mouky a výrobků z nich. Proto by mohlo být dobrým cílem, aby šlechtitelé pšenice vybrali genotypy, které optimalizují hladinu vybraných zdravotních komponent.

## 10. Literatura

Adom KK, Sorrells M, Liu RH. 2005. Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **53**:2297–2306.

Andersson AAM, Dimberg L, Åman P, Landberg R. 2014. Recent findings on certain bioactive components in whole grain wheat. *Journal of Cereal Science* **59**:294-314.

Arendt KE, Zannini E. 2013. *Barley. Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*. Woodhead Publishing. Ireland. ISBN: 978-08-57094-13-1.

Bajerová E, Gabrovská D, Havelková D, Havelková V, Hrušková M, Jurkaninová L, Polišínská I, Sluková M, Vaculová K, Faměra O, Jirčík L, Příhoda J, Skřivan P, Švec I, Tláškal P. 2016. *Obiloviny v lidské výživě 2016; Moderní trendy v mlýnské a pekárenské technologii. Česká technologická platforma pro potraviny*. Praha. ISBN: 978-80-88019-16-9.

Belobrajdic DP, Bird AR. 2013. The potential role of phytochemicals in wholegrain cereals for the prevention of type-2 diabetes. *Nutrition Journal* **12**:194-216.

Benda V, Babůrek I, Žďárský J. 2010. *Biologie II. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze*. Praha. ISBN: 80-708-0402-5.

Brazier-Hicks M, Evans KM, Gershater MC, Puschmann H, Steel PG. 2009. The C-Glycosylation of Flavonoids in Cereals. *The Journal of Biological Chemistry* **284**:17926-17934.

Cömert ED, Gökmen V. 2018. Evolution of food antioxidants as a core topic of food science for a century. *Food Research International* **105**:76-93.

Czerwinski J, Bartnikowska E, Leontowicz H, Lange E, Leontowicz M, Katrich E, Trakhtenberg S, Gorinstein S. 2004. Oat (*Avena sativa* L.) and amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) meals positively affect plasma lipid profile in rats fed cholesterol-containing diets. *The Journal of Nutritional Biochemistry* **15**:622-629.

Dykes L, Rooney LW. 2007. Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. *Cereal Foods World* **52**:105-111.

Dykes L, Rooney LW, Waniska RD. 2005. Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**:6813 – 6818.

Ekholm P, Reinivuo H, Mattila P, Pakkala H, Koponen J, Happonen A, Hellström J, Ovaskainen ML. 2007. Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland. *Journal of Food Composition and Analysis* **20**:487-495.

Engelsen MM, Hansen Å. 2009. Tocopherol and Tocotrienol Content in Commercial Wheat Mill Streams. *Cereal Chemistry* **86**:499-502

Fardet A, Rock E, Rémésy Ch. 2008. Is the in vitro antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal product well reflected in vivo? *Journal of Cereal Science* **48**:258-276.

Garg M, Chawla M, Chunduri V, Kumar R, Sharma S, Sharma NK, Kaur N, Kumar A, Munday JK, Saini MK, Singh SP. 2016. Transfer of grain colors to elite wheat cultivars and their characterization. *Journal of Cereal Science* **71**:138-144.

Gershoff SN. 1993. Vitamin C (ascorbic acid): new roles, new requirements? *Nutrition Review* **51**:313-326.

Hejtmánková K, Lachman J, Hejtmánková A, Pivec V, Janovská D. 2010. Tocols of selected spring wheat (*Triticum aestivum* L.), einkorn wheat (*Triticum monococcum* L.) and wild emmer (*Triticum dicoccum* Schuebl. [Schrack]) varieties. *Food Chemistry* **123**:1267-1274.

Hidalgo A, Brandolini A. 2010. Tocols stability during bread, water biscuit and pasta processing from wheat flours. *Journal of Cereal Science* **52**:254-259.

Higuchi M. 2014. Antioxidant Properties of Wheat Bran against Oxidative Stress. Pages 181-199 in: Watson RR, Preedy VR, Zibadi S. editors. *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health*. Academic Press. London. ISBN 9780124017160.

Holtekjolen KA, Baevre BA, Rodbotten M, Berg H, Knutsen HS. 2008. Antioxidant properties and sensory profiles of breads containing barley flour. *Food Chemistry* **110**:414-421.

Idehen E, Tang Y, Sang S. 2017. Bioactive phytochemicals in barley. *Journal of Food and Drug Analysis* **25**:148-161.

Jacob RA. 1996. Three eras of vitamin C discovery. *Sub-Cellular Biochemistry* **25**:1-16.

Lachman J, Hejtmánková A, Orsák M, Popov M. 2018. Tocotrienols and tocopherols in colored-grain wheat, tritordeum and barley. *Food Chemistry* **240**:725-735.

Lachman J, Martínek P, Kotíková Z, Orsák M, Šulc M. 2017. Genetics and chemistry of pigments in wheat grain – A review. *Journal of Cereal Science* **74**:145-154.

Le Minh P, Lachman J, Kotíková Z, Orsák M, Michlová T, Martinek P. 2017. Selenium in colour-grained winter wheat and spring tritordeum. *Plant, Soil and Environment* **63**:315-321.

Leenhardt F, Levrat-Verny MA, Chanliaud E, Remesy C. 2005. Moderate decrease of pH by sourdough fermentation is sufficient to reduce phytate content of whole wheat flour through endogenous phytase activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**:98-102.

- Liu RH. 2007. Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science* **46**:207-219.
- Mareček V. 2015. Studium antioxidační kapacity zrna ječmene a sladu. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně. Agronomická fakulta. Brno.
- Martínez-Villaluenga C, Penas E. 2017. Health benefits of oat: current evidence and molecular mechanism. *Current Opinion in Food Science* **14**:26-31.
- Martini D, Taddei F, Ciccoritti R, Pasquini M, Nicoletti I, Corradini D, Egidio MG. 2015. Variation of total antioxidant activity and of phenolic acid, total phenolic and yellow coloured pigments in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) as a function of genotype, crop year and growing area. *Journal of Cereal Science* **56**:175-185.
- Masisi K, Beta T, Moghadasian HM. 2016. Antioxidant properties of diverse cereal grains: A review on in vitro and in vivo studies. *Food Chemistry* **196**:90-97.
- Mrázová E. 2011. Stanovení fenolických látek a antioxidační aktivity u cereálií. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická. Zlín.
- Nijveldt RJ, Nood E, Hoorn D, Boelens PG, Norren K, Leeuwen PAM. 2011. Flavonoids: a review of probable mechanism of action and potential applications. *The American Journal of Clinical Nutrition* **74**:418-425.
- Paznocht L, Kotíková Z, Orsák M, Lachman J, Martinek P. 2019. Carotenoid changes of colored-grain wheat flours during bun-making. *Food Chemistry* **277**:725-734.
- Paznocht L, Kotíková Z, Šulc M, Lachman J, Orsák M, Eliášová M, Martinek P. 2018. Free and esterified carotenoids in pigmented wheat, tritordeum and barley grains. *Food Chemistry* **240**:670-678.
- Pisoschi M A, Negulescu PG. 2011. Methods for Total Antioxidant Activity Determination: A Review. *Biochemistry and Analytical Biochemistry* **1**:1-10.
- Ross AB, Shepherd MJ, Knudsen KEB, Glitso LV, Bowey E, Phillips J, Rowland I, Guo ZX, Massy DJR, Aman P, Kamal-Eldin A. 2003. Absorption of dietary alkylresorcinols in ileal-cannulated pigs and rats. *British Journal of Nutrition* **90**:787-794.
- Sluková M, Skřivan P, Dostálová R, Horáček J. 2016. Obiloviny a luštěniny. Česká technologická platforma pro potraviny. Praha. ISBN: 978-80-88019-16-9.
- Velíšek J. 1999. *Chemie potravin*. Tábor ISBN: 80-902391-5-3.
- Yang F, Basu TK, Ooraikul B. 2001. Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* **52**:319-330.

- Yao LH, Jian YM, Shi J, Tomás-Barberán FA, Datta N, Singanusong R, Chen SS. 2004. Flavonoids in food and their health benefits. *Plant Foods for Human Nutrition* **59**:113-122.
- Záblacká E. 2016. Taniny a jiné trpce působící složky v produktech rostlinného původu. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická. Zlín.
- Zgařarová M. 2010. Základní technologické rozborů obilovin pro lidskou výživu. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická. Zlín.
- Zhou K, Su L, Yu LL. 2004. Phytochemicals and antioxidant properties in wheat bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **52**:6108-6114.
- Zhou KQ, Yin JJ, Yu LL. 2005. Phenolic acid, tocopherol and carotenoid compositions, and antioxidant functions of hard red winter wheat bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**:3916-3922.
- Zrcková M, Capouchová I, Eliášová M, Paznocht L, Pazderů K, Dvořák P, Konvalina P, Orsák M, Štěřba Z. 2018. The effect of genotype, weather conditions and cropping system on antioxidant activity and content of selected antioxidant compounds in wheat with coloured grain. *Plant Soil and Environment* **64**:530-538.
- Zuchowski J, Jonczyk K, Pecio L, Oleszek W. 2011. Phenolic acid concentrations in organically and conventionally cultivated spring and winter wheat. *Journal of the Sciences of Food and Agriculture* **91**:1089-1095.



## 11. Samostatné přílohy

Obrázek 1: Řez obilkou (Benda et al., 2010).....	11
Obrázek 2: Klasy různých typů pšenice (Benda et al., 2010).....	13
Obrázek 3: Ječmen (Zgažarová, 2010).....	14
Obrázek 4: Oves (Zgažarová, 2010).....	15
Obrázek 5: Žito (Zgažarová, 2010).....	15
Obrázek 7: Kukuřice (Zgažarová, 2010).....	17
Obrázek 8: Hydroxybenzoová a hydroxyskořicová kyselina (Vlastní zpracování, 2019). .....	22
Obrázek 9: Alkylresorcinoly (Vlastní zpracování, 2019).....	23
Obrázek 10: Enterodiol a enterolakton (Vlastní zpracování, 2019).....	24
Obrázek 11: Kondenzované taniny (Dykes et Rooney, 2007).....	25
Obrázek 12: Flavonoidy (Dykes et Rooney, 2007). .....	26
Obrázek 13: Vitamin E (Vlastní zpracování, 2019). .....	29
Obrázek 14: Karoteny (Higuchi, 2014). .....	30
Obrázek 15: Kyselina fytová (Higuchi, 2014).....	31
Obrázek 16: Sitosterol (Idehen et al., 2017). .....	32

**Tabulka 1:** Příslušné reaktivní kyslíkové druhy (Mrázová, 2011)

<b>Radikální</b>	
Superoxidový anion	$O_2^{\bullet-}$
Hydroxyl	$OH^{\bullet}$
Peroxy	$LOO^{\bullet}$
Alkoxy	$LO^{\bullet}$
<b>Neradikální</b>	
Peroxid vodíku	$H_2O_2$
Hydroperoxid lipidu	$LOOH$
Kyselina chlorná	$HClO$
Ozon	$O_3$
Singletový kyslík	$^1O_2$

**Tabulka 2:** Enzymatické a neenzymatické antioxidanty (Mrázová, 2011)

<b>Enzymatické</b>			
Superoxiddismutáza	Glutathionperoxidáza	Kataláza	Glutathiontransferáza
<b>Neenzymatické</b>			
Vitamin C, E, A	Kyselina lipoová	Flavonoidy	Transferin
Lykopen	Kyselina močová	Polyfenoly	Feritin
Koenzym Q	Bilirubin	Fytoestrogeny	Ceruloplasmin
Glutathion	Selen	Albumin	

**Tabulka 3:** Obsah fenolických kyselin v obilných zrnech (Dykes et Rooney, 2007)

<b>Vzorek</b>	<b>Množství (mg / kg)</b>
<u>Celá zrna</u>	
Ječmen	450-1346
Proso Finger a Foxtail	612 a 3907
Kukuřice	601
Oves	472
Rýže	197-376
Žito	1362-1366
Čirok	385-746
Pšenice	1342
<u>Otruby</u>	
Oves	651
Žito	4190
Pšenice	4527

**Tabulka 4:** Flavonoidy obsažené v různých druzích obilovin (Dykes et Rooney, 2007)

<b>Antokyany</b>	
Apigeninidin	Čirok
Apigeninidin 5-glukosid	Čirok
Kyanidin	Ječmen
Kyanidin 3-galaktosid	Kukuřice, pšenice
Kyanidin 3-glukosid	Ječmen, kukuřice, rýže, žito, pšenice
Kyanidin 3-rutinosid	Kukuřice, rýže, pšenice
Delfinidin	Ječmen
Delfinidin 3-glukosid	Pšenice
Delfinidin 3-rutinosid	Žito, pšenice
Luteolinidin	Čirok
Luteolinidin 5-glukosid	Čirok
5-Methoxyapigeninidin	Čirok
7-Methoxyapigeninidin 5-glukosid	Čirok
5-Methoxyluteolinidin	Čirok
5-Methoxyluteolinidin 7-glukosid	Čirok
7-Methoxyluteolinidin	Čirok
Pelargonidin	Ječmen
Pelargonidin 3-glukosid	Kukuřice
Pelargonidin glykosid	Ječmen, kukuřice
Peonidin 3-glukosid	Kukuřice, rýže, žito, pšenice
Petunidin 3-glukosid	Ječmen, pšenice
Petunidin 3-rutinosid	Pšenice
<b>Flavony</b>	
Apigenin	Proso, oves, čirok
Apigenin glykosid	Pšenice
Glukosylorientin	Proso
Glukosylvitexin	Proso
Luteolin	Proso, oves, čirok
Isovitexin	Oves
Tricin	Proso, oves, pšenice



Vitexin	Proso, oves
<b>Flavanony</b>	
Eriodictyol	Čirok
Eriodictyol 5-glukosid	Čirok
Homoeriodictyol	Oves
Naringenin	Čirok
<b>Flavanoly</b>	
Chrysoeriol	Ječmen
Kemferol	Kukuřice
Kemferol 3-rutinosid	Oves
Kemferol 3- rutinosid-7-glukuronid	Čirok
Kvercetin	Kukuřice, oves
Kvercetin 3-rutinosid	Oves
<b>Dihydroflavanoly</b>	
Taxifolin	Čirok
Taxifolin 7-glukosid	Čirok
<b>Flavan-4-oly</b>	
Apiforol	Čirok
Luteoforol	Čirok
<b>Flavanoly (monomery/dimery)</b>	
Katechin	Ječmen, čirok
Leukokyanidin	Ječmen, kukuřice
Leukodelfinidin	Ječmen
Leukopelargonidin	Kukuřice
Prokyanidin B-1	Čirok
Prokyanidin B-3	Ječmen
Prodelfinidin B-3	Ječmen

---