

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra chemie**



**Antioxidační aktivita pšeníc s barevným zrnem**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Marie Míková**

**Vedoucí práce: Ing. Matyáš Orsák, Ph.D.**

© 2016 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Antioxidační aktivita pšenice s barevným zrnem“ jsem vypracovala 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 autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15. dubna 2016

---

### **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce Ing. Matyáši Orsákovi, Ph.D. za odborné konzultace, cenné připomínky, trpělivost a vstřícnost při vedení mé bakalářské práce.

# Antioxidační aktivita pšenice s barevným zrnem

## **Souhrn:**

Bakalářská práce zahrnuje literární rešerši informací o pšenici v souvislosti s antioxidační aktivitou jejich barevných variet. Teoretická část obsahuje charakteristiku pšenice, její původ, taxonomii, morfologickou stavbu a chemické složení. Dále se věnuje metodám zjišťování antioxidační aktivity - ABTS, DPPH a ORAC. Praktická část práce porovnává antioxidační aktivitu u vybraných vzorků pšenice s purpurově či modře zbarveným zrnem se zrnem pšenice klasického červeného zbarvení. Zjištěné výsledky přispěly k ověřování antioxidačně působících látek v pšenicích s barevným zrnem

**Klíčová slova:** Pšenice, zbarvené zrno, polyfenoly, anthokyany, antioxidanty, antioxidační aktivita

# **Antioxidant Activity of Wheat with Coloured Grain**

## **Summary**

The Bachelor's Thesis covers the literary review about wheat in the context of antioxidation activity of its coloured varieties. The theoretical part deals with wheat and its properties, its origin, taxonomy, morphological structure and chemical composition. Furthermore, it studies the methods of getting antioxidation activity data – ABTS, DPPH and ORAC. The aim of the practical part is to compare the antioxidation activity of the chosen wheat samples either with the purple-coloured or blue-coloured grain, with the ordinary red-coloured wheat grain. The outcomes contributed to verification of the antioxidant-active substances in case of the wheat types with the typically red-coloured grain.

**Keywords:** Wheat, Coloured Grain, Polyphenols, Anthocyanins, Antioxidants, Antioxidative Activity

## Obsah

1 Úvod .....	8
2 Cíl práce.....	9
3 Literární přehled.....	10
3.1 Pšenice setá ( <i>Triticum aestivum</i> L.) .....	10
3.1.1 Původ a historie pěstování pšenice .....	10
3.1.2 Taxonomie pšenice .....	11
3.1.3 Rod pšenice <i>Triticum</i> .....	12
3.1.4 Využití pšenice.....	13
3.2 Anatomická stavba a složení pšeničného zrna.....	14
3.2.1 Morfologie a anatomie pšeničné obilky .....	14
3.2.2 Chemické složení pšeničného zrna .....	16
3.3 Polyfenolické látky .....	17
3.3.1 Flavonoidy .....	18
3.3.2 Antokyany.....	18
3.3.3 Fenolové kyseliny .....	19
3.4 Antioxidační aktivita.....	20
3.4.1 Volné radikály .....	21
3.4.2 Antioxidanty .....	22
3.5 Pšenice s barevným zrnem .....	26
3.6 Základní metody stanovení antioxidační aktivity .....	30
4 Stanovení antioxidační aktivity pšeníc s barevným zrnem .....	32
4.1 Metodika .....	32
4.2 Rostlinný materiál.....	32
4.3 Stanovení antioxidační aktivity.....	32
5 Výsledky měření antioxidační aktivity.....	34
5.1 Diskuse .....	35
6 Závěr .....	36
7 Seznam použité literatury .....	37
8 Seznam obrázků, tabulek .....	42

# 1 ÚVOD

Největší význam mezi plodinami pěstovanými na orné půdě mají obiloviny, jež jsou v České republice nejdůležitější základní surovinou pro potravinářskou výrobu i krmivářský průmysl. Ročně se u nás vypěstuje 6,8 – 7,1 milionů tun obilovin, z toho 2,1 milionů tun se využije pro výrobu potravin (Kučerová, 2008). Obiloviny tvoří 60% rostlinné výroby, přičemž čtvrtina celkové produkce připadá na pšenici.

Potraviny z pšenice i pšenice samotná jsou v poslední době terčem ostré kritiky ze strany některých dietních odborníků díky vysokému obsahu lepku, nedostatku vlákniny, nebo minerálů. Přesto existují druhy pšenice, které jsou vysloveně prospěšné pro zdravou výživu, jako např. špalda či pšenice s modrým nebo purpurovým zbarvením obilek.

Téma Antioxidační aktivita pšenic s barevným zrnem jsem si vybrala proto, že mě zaujala především barevná rozmanitost obilek. Tyto druhy pšenic obsahují vyšší množství polyfenolických látek - antioxidantů, kterým se připisuje řada prospěšných účinků. Odborníci tvrdí, že mohou snížit riziko propuknutí více než 80% nemocí – rakoviny, srdečních problémů, mohou zpomalovat procesy stárnutí a podporovat hojení ran, rekonvalescenci aj.

Problematika potencionálních zdrojů antioxidantů právě v těchto pšenicích je pro zdraví konzumentů celé populace velmi zajímavá. Právě proto, že pšenice zabezpečuje převážnou část výživy lidstva, nabízí se možnost využívat pro potravinářský průmysl více barevné pšenice a tím zvýšit přísun antioxidantů, které jsou pro organismus dobře využitelné a předčí oblíbené doplňky stravy.

## 2 CÍL PRÁCE

**Cílem** bakalářské práce je stanovení antioxidační aktivity u vybraných druhů pšenice s barevnými zrny. Dále pak porovnání antioxidační aktivity pšenice s barevnými obilkami s antioxidační aktivitou klasicky zbarvené pšenice.

Dílčím cílem je vytvoření přehledu poznatků z odborné literatury s tématem antioxidačně působících látek v pšenici se zaměřením na barevné variety obilek. Dále pak nastudování problematiky volných radikálů, antioxidantů i prooxidantů a následné zjištění možnosti stanovení antioxidační kapacity/aktivity v různých matricích.

### **Výzkumné domněnky**

1. Barevné pšenice jsou potenciálním zdrojem antioxidantů ve stravě.
2. Fialové až modravé zbarvení zrna pšenice ovlivňuje antioxidační aktivitu.
3. Pšenice s barevnými zrny vykazují vyšší antioxidační aktivitu.



## 3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

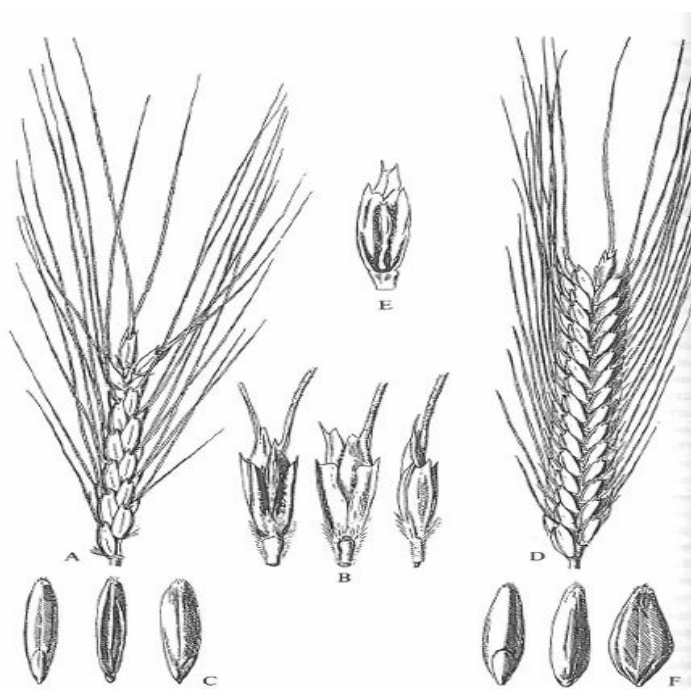
### 3.1 Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.)

#### 3.1.1 Původ a historie pěstování pšenice

Nejstarší pěstované kulturní rostliny jsou obilniny, někdy se označují jako obilí, obiloviny, obilniny, případně cereálie. Obilí se stalo se základem rostlinné stravy, díky tomu, že se dalo snadno pěstovat, poskytovalo relativně vysoké výnosy a především bylo dobře skladovatelné. Zemědělství se udrželo jako základ hospodářství od neolitu po novověk a dodnes jsou obilniny základem potravní pyramidy, díky tomu, že jsou kvalitním zdrojem energie a při vaření všestranně použitelnou surovinou (Beranová, 2005).

Botanicky obilniny náleží do čeledi lipnicovitých (Poaceae) a rozdělujeme je podle morfologických a fyziologických vlastností do dvou skupin. Pšenice, ječmen, žito, žitovec a oves jsou méně náročné na teplo a více na vodu a existují v jarních i ozimých formách. Obilniny více náročné na teplo a méně na vodu zastupuje kukuřice, proso, čirok, pohanka (Beranová, 2005).

Jednou z nejrozšířenějších plodin ve světě i u nás je pšenice. Je zároveň i nejstarší kulturní rostlinou s jedlými semeny (zrny), kterou člověk k zabezpečování potravy využívá. Nejstarší nalezená planá pšenice (obr. 1) pravděpodobně pochází z doby 16 000 před naším letopočtem z města Hajfa v Izraeli.



Obr. 1: Srovnání pšenice jednozrnky plané a domestikované

[archeologienadosah, online]

Dnes již obtížně rozlišujeme období pouhého sběru pšenice a období záměrného pěstování, které je spojeno se změnou získávání hlavního zdroje obživy a vznikem zemědělství (Gajdošová a Štrudlík, 2004). Archeologické nálezy potvrzují pěstování pšenice jednozrnky (*Triticum monococcum*) a pšenice dvouzrnky (*Triticum dicoccum*) v období neolitu 8 000 – 7 500 let před naším letopočtem na území tzv. Úrodného půlměsíce, což zahrnuje Přední východ od Palestiny, Jordánska, Sýrie přes Turecko, Írán až k Perskému zálivu (Čepička, 1995). V 6. století před naším letopočtem na území střední Evropy začali naši předkové pěstovat pšenici obecnou (*Triticum aestivum*). Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) vznikla dlouhodobým vývojem a šlechtěním z prapůvodních forem - pšenice jednozrnky a pšenice dvouzrnky.

### 3.1.2 Taxonomie pšenice

Během času a působením různých klimatických podmínek při šlechtění a pěstování se vytvářely rozdíly mezi jednotlivými botanickými rody a druhy i mezi jednotlivými odrůdami stejného druhu (např. ve složení, v obsahu tuku nebo v kvalitě bílkovin). Postupem doby jen některé druhy získaly dominantní postavení v potravinářské výrobě (Příhoda a kol., 2006).

Pšenice je rostlinná plodina, s níže uvedeným taxonomickým zařazením:

- Říše: rostliny (*Plantae*)
- Podříše: cévnaté rostliny (*Tracheobionta*)
- Oddělení: krytosemenné (*Magnoliophyta*)
- Třída: jednoděložné (*Liliopsita*)
- Čeleď: lipnicovité (*Poaceae*)
- Rod: pšenice (*Triticum*)

Pšenice mají duté kolénkaté stéblo. Květenstvím je kláskový lichoklas s obilkami s výraznou podélnou rýhou. Kvítek v klásku je 2 až 5. Plevy jsou široké, mnohožilnaté. Pluchy jsou hladké. Pluška je blanitá. Osina je přisedlá k vrcholu pluchy. Plodem je tedy obilka, která zůstává až do zralosti volná a nesrůstá s pluchou a pluškou – nahé pšenice. Pšenice, u kterých přirůstá obilka k pluše a plušce, jsou nazývány pšenicemi pluchatými (plevnatými). Barva vzházejících rostlin je zelená. Jazyček je krátký, po okraji vroubkovaný. Ouška jsou malá, ochmýřená.

### 3.1.3 Rod pšenice *Triticum*

Rod pšenice *Triticum* má několik planě rostoucích i kulturních druhů, největší význam má pšenice obecná (*Triticum vulgare*) a pšenice tvrdá (*Triticum durum*). Pšenice je charakteristická velkou genetickou rozmanitostí, její druhy se vytvářely rostoucím počtem chromozómů – rostoucí ploeditou ( $2n = 14-28-42$ ). Rod *Triticum* se člení podle počtu chromozómů a podle pluchatosti obilek na řadu druhů, z nichž nejznámější jsou uvedeny v tab. 1 (Pazdera 2010).

počet chromozómů	obilky nahé	obilky pluchaté
$2n = 14$		pšenice jednozrnka
$2n = 28$	pšenice tvrdá ( <i>T. durum</i> )	pšenice dvouzrnka ( <i>T. dicoccum</i> )
	pšenice perská ( <i>T. carthlicum</i> )	pšenice Timofejevova ( <i>T. timopheevi</i> )
	pšenice naduřelá ( <i>T. turgidum</i> L.)	
	pšenice polská ( <i>T. polonicum</i> L.)	
$2n = 42$	pšenice obecná ( <i>T. aestivum</i> L.)	pšenice špalda ( <i>T. spelta</i> L.)
	pšenice indická ( <i>T. sphaerococcum</i> )	pšenice macha ( <i>T. macha</i> L.)
	pšenice shloučená ( <i>T. compactum</i> L.)	

**Tab. 1: Významné kulturní druhy rodu *Triticum* (Pazdera, 2010)**

Pšenice špalda (*Triticum spelta*) je známá nejméně 8000 let a její pravlastí je Írán či Mezopotámie a do Evropy byla dovezena před 4000 lety. Její ořechová chuť dodává této obilovině na zvláštnosti. Špalda je ceněna pro vyšší obsah vitamínů, bílkovin a vlákniny. Má však nižší hektarové výnosy než např. pšenice obecná a je oblíbena výrobcí biopotravin.

Pšenice dvouzrnka je archaická obilovina a pochází z oblasti dnešního Iránu, Iráku, Sýrie a Palestiny. Hrála významnou úlohu ve výživě starobylých národů Babylónu a Egypta.

Pšenice jednozrnka je historicky starší než pšenice dvouzrnka. Je známa více jak 10000 let a dosud se na mnoha místech pěstuje. V Evropě dosáhla největšího rozšíření v Německu, vyznačuje se zlatožlutou barvou mouky.

Kamut (staroegyptsky „duše země“) byl znovuobjeven roku 1948 při archeologickém výzkumu v jedné z mnoha egyptských hrodek, později v roce 1977 byly nalezené vzorky zasety a rozmnoženy. Zrna kamutu mají stejný tvar jako běžné druhy pšenice, jsou ovšem dvakrát tak velká, mají v průměru o 30 % více bílkovin, esenciálních aminokyselin a zvýšený

obsah vitamínů E, thiaminu, riboflavinu, kyseliny pantotenové, fosforu, hořčíku, zinku a mědi. Mouka z této odrůdy je velmi lehce stravitelná s jemnou oříškovou příchutí (Michalová, Hutař, 1998).

Z výše uvedených druhů jsou komerčně nejrozšířenější pěstované druhy *Triticum durum* (těstárenská pšenice), *Triticum aestivum* (pekařská pšenice) a *Triticum spelta* (samopše) (Příhoda a kol., 2006).

Druhy pšenice je možné dále dělit na nižší taxonomické jednotky – variety a odrůdy (tab. 2). Odrůdy u nás nejrozšířenější pšenice obecně patří nejčastěji ke čtyřem varietám, u kterých se dále rozlišují z pěstitelského hlediska dvě formy. Pšenice se dělí na ozimé, které se vysévají na podzim a jsou sklizeny na začátku léta. Dále na pšenice jarní vysévané na jaře, sklizené na konci léta, které však mají obecně nižší výnosy než zimní (Pazdera 2010).

varieta	barevnost klasu	osinatost klasu
lutescens	bílý	bezosinatý, osinatý
milturum	červený	bezosinatý
ferrugineum	červený	osinatý
erythrosperrum	bílý	osinatý

Tab. 2: Variety pšenice obecné – základní rozdělení podle barvy a osinatosti klasu (Pazdera, 2010)

### 3.1.4 Využití pšenice

K největším producentům pšenice patří Rusko, USA, Kanada, Indie, Francie a Čína. Zrno pšenice se zpracovává na mouku, jež se využívá v potravinářství při pečení chleba a jiného sortimentu pečiva a těstovin. Také se zrno zpracovává na kroupy a krupici.

Mlýnské odpady (otruby a krmné mouky) a zrno jsou krmivem pro drůbež a mladá hospodářská zvířata. Zrno se také využívá i jako průmyslová surovina k výrobě lihu, škrobu a piva a plastů Sláma se využívá ke krmení, na podestýlku a zaorávání, také se různě upravuje pro výrobu celulózy, lepenek a desek. Uvažuje se o energetickém využití pšeničné biomasy jako obnovitelného zdroje energie.

## 3.2 Anatomická stavba a složení pšeničného zrna

### 3.2.1 Morfologie a anatomie pšeničné obilky

Plodem pšenice (obr. 2) je jednosemenná nažka – obilka (caryopsis). Skládá se ze tří částí (obr. 3): z obalů, vnitřního jádra (endospermu) a zárodku (embrya).



Obr. 2: Rostlina pšenice – *Triticum aestivum*, klas, obilka, zrno [Wikipedie, online]

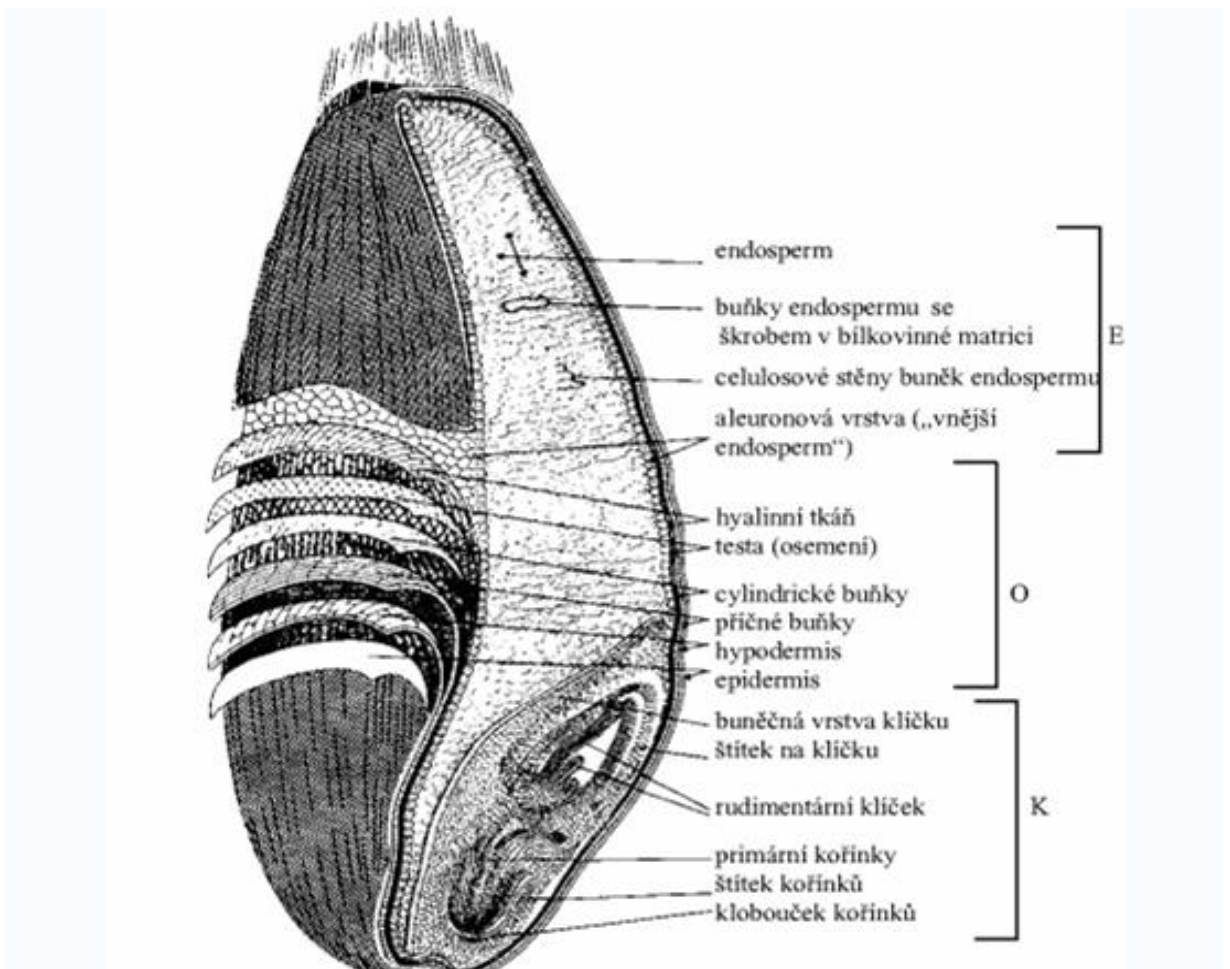
Obaly chrání obilku před nepříznivými vnějšími vlivy, v mlýnské technologii je označujeme jako otruby, které jsou v potravě zdrojem nestravitelné vlákniny. Jejich podíl na celkové hmotnosti zrna činí asi 8 - 12 % (Kučerová, 2010). Obaly jsou dva – vnější oplodí a vnitřní osemení.

Oplodí (perikarp) je tvořeno z jednovrstevné pokožky (epidermis), pod ní se nachází jedna nebo dvě vrstvy podpokožkových buněk (buňky podélné). Jeho prvotním úkolem je chránit zrno před mechanickým poškozením, krátkodobými účinky vody a škodlivými látkami. Oplodí je proto tvořeno nerozpustnými a obtížně bobtnajícími materiály (celulosa).

Osemení (testa) se nachází pod oplodím, ale nesrůstá s ním, obě vrstvy ale k sobě těsně přimykají. Osemení nese v buňkách barviva, která dávají obilce typickou barvu. Některé další vrstvy osemení obsahují polysacharidické látky, které přispívají k udržování rovnováhy vlhkosti zrna díky schopnosti zadržování vody bobtnáním škrobu.

Vnitřní jádro (endosperm) zaujímá asi 80 - 85 % hmotnosti obilky. Vnější část endospermu je tvořena jednou nebo více vrstvami aleuronových buněk, které mají vysoký obsah bílkovin. Vlastní endosperm je tvořen velkými tenkostěnnými buňkami se škrobovými zrny (obr. 3).

Zárodek (embryo) je uložen na bázi hřbetní strany obilky a jeho podíl na hmotnosti obilky činí asi 1,5 - 3 %. Svrchu je zárodek kryt oplodím a osemením. Štítkem (scutellum), což je první děloha, přiléhá k endospermu. Na apikální straně je vzrostný vrchol (plumula) se základy listů, krytý blanitou pochvou (koleoptile). Na bazální straně je hypokotyl se zárodky kořínků.



**O** – vrstva přicházející při mletí do otrub, **E** – vrstva přicházející do mouky, **K** – část odstraňovaná s klíčkem

**Obr. 3:** Podélný řez pšeničným zrnem se znázorněním jeho morfologických vrstev (Hoseney, R.C., 1984)

### 3.2.2 Chemické složení pšeničného zrna

Chemické složení zrna pšenice určují genetické i ekologické faktory, stejně jako fyzikální a chemické vlivy působící při zpracování nebo skladování. Základními stavebními kameny jsou sacharidy a lipidy, bílkoviny, minerální látky a vitamíny (Gajdošová a Štrudlík, 2004).

#### Sacharidy

Monosacharidy se v zrně pšenice nacházejí velmi málo převážně v klíčku a mezi nejdůležitějšími zástupci patří arabinóza, xylóza, glukóza, fruktóza, galaktóza a manóza. Oligosacharidy se vyskytují také ve velmi nízkých koncentracích. Z technologického hlediska jsou nejvýznamnější skupinou polysacharidy. Škrob se nachází převážně v endospermu a je zdrojem energie, představuje až 70 % hmotnosti zrna, obsahuje dva typy glukánů: amylosu (25%) rozpustnou ve vodě a amylopektin (75 %), který ve vodě pouze bobtná. Dalším polysacharidem je celulóza, která podporuje fyziologii trávení vlákninou a tím předchází cévním chorobám a některým nádorovým onemocněním. Vlákna je jedlá část rostliny, kterou tvoří komplexní sacharidy, někdy označované jako neškrobové polysacharidy. Do této skupiny řadíme celulózu, hemicelulózu, lignin, pektin a další. Hemicelulóza je uložena v obalových vrstvách a nachází se spolu s celulosou v buněčných stěnách. Strukturou jde o pentosan nerozpustný ve vodě. Dalším polysacharidem je arabinoxylan (max. 3%), který je ve vodě naopak rozpustný a vytváří tzv. slizy (Příhoda a kol., 2006).

#### Bílkoviny

Většinu bílkovin najdeme v endospermu a aleuronové vrstvě. Bílkoviny obsahují aminokyseliny glutamin, prolin, leucin, cystein, lysin a glutamovou kyselinu. Pšeničné bílkoviny rozdělujeme podle rozpustnosti v různých rozpouštědlech do čtyř skupin:

- Gliadiny (Prolaminy) - rozpustné v 70 % ethanolu
- Gluteniny - zčásti rozpustné ve zředěných roztocích kyselin a zásad
- Albuminy - rozpustné ve vodě
- Globuliny - rozpustné v roztocích solí

Gliadiny a gluteniny tvoří komplexní zásobní protein (lepek), který je uložen v endospermu vyvíjejícího se zrna a zásadně ovlivňuje konečné využití při zpracování.

#### Lipidy

Zárodek, klíček neboli embryo rostliny je zdrojem lipidů a minerálních látek, na něž jsou zrna poměrně chudá. Před mlýnským zpracováním se celý klíček odstraňuje, aby nedošlo k oxidačním a enzymatickým změnám lipidů, které by změnily případným žluknutím chuť i vůni mouky (Příhoda a kol., 2006).

### Vitaminy a minerální látky

Vitaminy jsou především v klíčku a aleuronové vrstvě. Většinou se jedná o vitaminy skupiny B: tiamin, riboflavin a niacin a též vitamin E. Minerální látky se nazývají popel a představují anorganický zbytek, který je získán po spálení rostlinného materiálu. Obsah popela v celých zrnech se pohybuje kolem 1,25 – 2,5 %, jeho koncentrace je nejvyšší v obalových vrstvách, nejnižší v endospermu. Nejvyšší podíl minerálií tvoří oxid fosforečný, draselný, hořečnatý a vápenatý. Cereálie mají nízký obsah sodíku, a jsou bohaté na draslík. Převládajícím mikroprvkem je železo, jehož obsah v pšenici činí 33 – 66 mg.kg<sup>-1</sup>.

Obsah jednotlivých složek pšeničného zrna v %				
chemické složky	zrno	aleuronová vrstva	zárodek	endosperm
bílkoviny	10 – 17	23 - 33	36 – 42	9 - 14
škrob	60 – 70	0	0	78 - 84
celulóza	2,5 – 3,3	12 – 20	3 – 5	0,13 – 0,18
jiné sacharidy	3,0 – 6,0	3,0 – 5,0	22 0 28	3,0 – 4,0
lipidy	2,0 – 2,5	7,0 – 8,5	12 - 16	0,5 – 0,7
minerální látky	1,4 – 2,3	9 – 11	5 – 6	0,3 – 0,5

Tab. 3: Obsah jednotlivých složek pšeničného zrna v % (Příhoda a kol., 2006)

### 3.3 Polyfenolické látky

Polyfenolické látky jsou látky přírodního původu, které jsou přítomny v každé vyšší rostlině a v každém jejím orgánu jako sekundární metabolity. Polyfenolické látky jsou obsaženy hlavně v obalových vrstvách – slupkách a osemení (Lachman a kol., 1999). Struktura a typ těchto látek jsou charakteristické pro jednotlivé druhy rostlin a představují mnoho typů sloučenin jako např. flavonoidy, které lze dále dělit na flavony, flavonoly, isoflavony, chalkony, aurony a anthokyanová barviva.



Nejčastěji se vyskytujícími polyfenoly v naší výživě jsou flavonoidy (Trna a Táborská, 2006). Rostlinné fenolické látky zvyšují biologickou hodnotu potravin, ve kterých se vyskytují a jsou nositeli jejich kvality (Gliszczyńska-Swigło, 2006).

### 3.3.1 Flavonoidy

Flavonoidy patří mezi významné antioxidanty, zabraňují peroxidaci lipidů, likvidují volné kyslíkové radikály. Flavonoidy se vyskytují v oplodí všech obilovin. V dnešní době je známo asi 6400 druhů flavonoidů. Hlavním faktorem, který ovlivňuje výzkum fenolických látek, je jejich značná různorodost a složitost chemických struktur (Scalbert a kol., 2005). V rostlinných materiálech se nejčastěji vyskytují ve formě glykosidů. Právě tato forma jim umožňuje větší rozpustnost v běžných fyziologických podmínkách. Vyskytují se převážně v listech, semenech, kořenech a květech rostlin, kde zajišťují ochranu proti ultrafialovému záření, patogenům a býložravcům (Marešová, 2013). Barva flavonoidů se odvíjí podle prostředí, ve kterém se nacházejí. V neutrálním a kyselém prostředí jsou bezbarvé. V zásaditém prostředí se zabarvují do žluté až žluto-oranžové barvy (Čepička a Karabín, 2002). Před tím, než mohou být flavonoidy z rostlinné stravy absorbovány, musí být uvolněny žvýkáním, činnostmi trávicích šťáv a nakonec mikroorganismy tlustého střeva (Hollman a Katan, 2004).

### 3.3.2 Antokyany

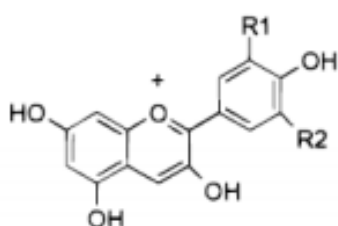
Antokyany jsou jednou z podskupin flavonoidů a představují nejrozšířenější a početně velice rozsáhlou skupinou rostlinných barviv. Nejčastěji se vyskytují ve formě glykosidů. Tato barviva jsou dobře rozpustná ve vodě a zodpovídají za červené, fialové a modré zbarvení rostlin a přispívají tak k výsledné barvě rostlinných potravin. Stupeň zbarvení je závislý na pH prostředí. Antokyanům jsou přisuzovány antioxidační účinky (Velíšek, 1999).

Antokyany se řadí do početně rozsáhlé skupiny rostlinných barviv. V potravinách rostlinného původu má význam následujících 6 antokyanů: kyanidin (fialový), delphinidin (purpurově modrý), pelargonidin (červený), malvidin (purpurový), peonidin (fialový) a petunidin (purpurově modrý) (Havrlentová a kol., 2014). Koncentrace antokyanů prudce vzrůstá v průběhu zrání zrna, zatímco v době zralosti zrna poklesne (Knievel a kol., 2009; Ragae a kol., 2006).

Bylo prokázáno, že konzumace potravin, které obsahují antokyany, snižuje riziko kardiovaskulárních chorob, chrání tělo před vznikem oxidačního stresu, brání poškození DNA, inhibují agregaci krevních destiček a oxidaci lipoproteinů, vykazují protizánětlivé účinky (Hrnčířová, 2011). Na jejich stabilitu má vliv nízká teplota a kyselé prostředí (Parkányová a kol., 2003).

Při purpurovém zbarvení převládá aglykon cyanidin, při modrém zbarvení se více vyskytuje delphinidin (Abdel-all et al., 2008). Produkce těchto pigmentů je podmíněna příslušnými biochemickými drahami a řízena skupinou genů, které byly pomocí klasických genetických metod detekovány a lokalizovány na chromozomech. Bylo prokázáno, že distribuce uvedených barviv je v obilce přesně lokalizována. Ze studií provedených u jiných genotypů vyplývá, že se při purpurovém zbarvení obilky pigmenty ukládají do perikarpu. Při modrém zbarvení jsou pigmenty v aleuronové vrstvě (Trojan et al. 2010).

Delphinidin-3-glukosid je dominantní v modré pšenici, kde zaujímá zhruba 41% z celkového obsahu antokyanů (Trojan a kol., 2010). Z chemického hlediska se molekula anthokyanů skládá z části necukerné (aglykonu), která se nazývá anthokyanidin (obr. 4) a jednoho nebo více cukerných zbytků. V zrně pšenice mohou dosahovat nejvyšší koncentrace v aleuronové vrstvě, nižší množství bývá v embryu a osemeni zrn. (Chabinová a kol., 2011)



<b>Anthokyanidin</b>	R1	R2
pelargonidin	H	H
kyanidin	OH	H
delfinidin	OH	OH
peonidin	OCH <sub>3</sub>	H
petunidin	OCH <sub>3</sub>	OH
malvidin	OCH <sub>3</sub>	OCH <sub>3</sub>

**Obr. 4: Anthokyanidin (Chabinová a kol., 2011)**

### 3.3.3 Fenolové kyseliny

Fenolové kyseliny se dělí na dvě třídy - deriváty kyseliny benzoové a deriváty kyseliny skořicové (Süli a kol., 2014). Deriváty kyseliny benzoové se v rostlinách vyskytují

jen velmi málo. Výjimkou je ovoce a některé druhy zeleniny, jako je černá ředkvička nebo cibule (Ondrejovič a kol. 2009). V přírodě jsou přítomné převážně vázané se sacharidy nebo s organickými kyselinami. Významným derivátem kyseliny benzoové je kyselina galová. Důležitým zdrojem kyseliny galové je čaj, který může obsahovat až 4,5 g/kg čerstvé hmotnosti. Kyselina galová a kyselina elagová jsou součástí tříslovin (např. galotaniny v mangu, elagotaniny v bobulovém ovoci – jahody, maliny, ostružiny) (Süli a kol., 2014).

Deriváty kyseliny skořicové se vyskytují častěji než deriváty kyseliny benzoové. Jen výjimečně se nacházejí ve volné formě, většinou jsou navázané na sacharidy nebo esterově vázané s kyselinou chinovou, šikimovou a tartarovou. Jablka spolu s borůvkami, švestkami patří mezi ovoce s nejvyššími koncentracemi derivátů kyseliny skořicové, mezi něž zařazujeme hlavně kyselinu ferulovou, kávovou a kyselinu chlorogenovou (Ondrejovič a kol., 2009). Kyselina kávová a kyselina chinová tvoří spolu kyselinu chlorogenovou, která se nachází v mnohých druzích ovoce v množství až do 0,25 %. Vysoké množství je obsažené v kávě (jeden šálek může obsahovat 70 - 350 mg). V potravinách je nejvíce zastoupená kyselina kávová. Představuje 75 - 100 % celkového obsahu derivátů skořicové kyselin ve většině druhů ovoce. Nejvyšší koncentrace je pod povrchem a ve slupce zralého ovoce.

V cereálních zrnech je nejvíce zastoupená kyselina ferulová, může představovat až 90 % z celkových fenolových kyselin. Obilniny jsou proto hlavním zdrojem kyseliny ferulové ve výživě. Kyselina ferulová se nachází hlavně ve vnějších částech zrna. Aleuronové vrstvy a oplodí pšeničného zrna obsahují 98 % z celkového obsahu kyseliny ferulové. Hlavním zdrojem fenolových kyselin jsou otruby (Süli a kol., 2014).

### **3.4 Antioxidační aktivita**

Antioxidační aktivita je definována jako schopnost sloučeniny nebo směsi látek inhibovat oxidační degradaci různých sloučenin (např. zabránit peroxidaci lipidů). Měly bychom rozlišovat dva pojmy, a to antioxidační kapacita a aktivita. Antioxidační kapacita poskytuje informaci o délce trvání antioxidačního účinku, zatímco aktivita charakterizuje počáteční dynamiku průběhu antioxidačního procesu při určité koncentraci antioxidantu. (Šulc, 2007).

Antioxidační aktivita potravin je schopnost bránit lidský organismus proti působení volných radikálů a zabránit vzniku degenerativních onemocnění, jež způsobuje oxidační stres (Majo et al., 2008).

Antioxidační účinek látek vyplývá z jejich specifické struktury. Kromě struktury ovlivňuje antioxidační aktivitu antioxidantů i pH systému a stabilita sloučenin během zpracování suroviny (teplota, fermentace). Důležitá je také přítomnost dalších látek v systému, které mohou působit synergicky nebo antagonicky (Parkányiová, 2003).

Na celkové antioxidační aktivitě organismu se uplatňují kyselina močová asi 50 %, plazmatické bílkoviny 12 %, vitamín C 24 %, vitamín E 7 % a ostatní antioxidanty 7 %. Z pohledu výživy jsou významné zejména vitamíny a stopové prvky (Béderová, 2000).

### **3.4.1 Volné radikály**

Volné radikály jsou velice nestabilní záporně nabitě částice a během krátké doby jsou schopny získat náhradní elektron z jiného atomu (Stone and Darington, 2003).

S problematikou antioxidantů úzce souvisí pojem volných radikálů, které jsou pro životní pochody zcela důležité. Podle Štípek (2000) se reaktivní formy kyslíku účastní uvolňování a přeměny energie nezbytné pro život. Jsou součástí enzymových mechanismů, některé jsou důležitými signálními molekulami v buněčném informačním systému. Škodící a nepříjemné jsou jen tehdy, pokud se vymknou přísné kontrole organismu, a nebo jsou přijaté z okolního prostředí. Vlivem okolního prostředí stoupá jejich produkce v těle a má ničivé účinky. Mezi tyto činitele patří UV a další ionizující (ionizační) záření, látky znečišťující ovzduší, toxické průmyslové chemikálie, pesticidy, kontaminované potraviny, cigaretový kouř a drogy. Také stres je jednou z mnoha příčin snižování hladiny antioxidantů v lidském těle. Tyto faktory přispívají k nemocnosti a stárnutí.

Reaktivní sloučeniny kyslíku, častěji nazývané jako „volné kyslíkové radikály“ jsou reaktivní sloučeniny, které vznikají z kyslíku. Nejčastější jsou uvedené v tabulce (tab.4). Tyto radikály působí na biologicky významné sloučeniny, především lipidy, bílkoviny a nukleové kyseliny, pozměňují jejich strukturu a tím přetvářejí jejich funkci (Valko et al., 2007).

Název	Vzorec
<b>Superoxidový radikál</b>	<b>•O–O<sup>-</sup></b>
<b>Hydroxylový radikál</b>	<b>•O–H</b>
<b>Peroxylový radikál</b>	<b>R–O–O•</b>
<b>Alkoxylový radikál</b>	<b>R–O–O•</b>
<b>Hydroperoxylový radikál</b>	<b>H–O–O•</b>
<b>Singletový kyslík</b>	<b>O–O</b>
<b>Peroxid vodíku</b>	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>

**Tab. 4: Přehled nejčastějších kyslíkových radikálů**

### **Oxidační stres**

Oxidační stres v těle poškozuje buňky (zejména buněčné membrány a proteiny), enzymy, genetický materiál, přispívá ke vzniku aterosklerózy, cukrovky, infekčních, nádorových a degenerativních nervových onemocnění aj. Reaktivní formy kyslíku jsou agresivní molekuly tj. volné radikály, reaktivní anionty obsahující atom kyslíku nebo molekuly s kyslíkem, které buď mohou vytvořit volné radikály, nebo jsou volnými radikály aktivovány (Paulová a kol., 2004).

Ochranu před oxidačním poškozením organismu aktivními formami kyslíku zajišťuje řada antioxidačních obranných systémů lokalizovaných v různých buněčných strukturách. Antioxidační obranné mechanismy zahrnují neenzymové a enzymové systémy. Mezi velmi účinné antioxidanty řadíme askorbát, β-karoten a α-tokoferol (Piterková a kol., 2005).

Oxidační stres je nerovnováhou mezi množstvím volných radikálů a antioxidantů v organismu, ale představa, že stálým podáváním antioxidantů tento proces zabrzdíme, je mylná (Opletal a kol., 2013).

### **3.4.2 Antioxidanty**

Termín „antioxidant“ pochází z potravinářské chemie ze 40. let, a je původně celkem úzce definován jako látka schopna zastavit řetězové radikálové reakce typu peroxidace lipidů (Pláteník, 2009).

Antioxidanty jsou z chemického hlediska látky, která zabrání oxidaci jiné sloučeniny reaktivním metabolitem (oxidantem) tím, že se sama oxiduje (Ďuračková a kol., 1998).

Antioxidanty představují jeden z mechanismů, kterým jsou v organizmech eliminovány reaktivní oxidační procesy (Opletal, 2013).

Antioxidanty rozdělujeme podle způsobu, jakým systémy inhibují radikály na enzymatické, jež přemění radikál na nereaktivní sloučeninu za přítomnosti kovu (zinek, měď, selen), např. superoxid dismutáza, glutathion peroxidáza a nízkomolekulární (neenzymatické), jež přeruší reakci vzniku volného radikálu. Příkladem je také vitamin C a flavonoidy.

Mezi přirozeně přítomné antioxidanty patří enzymy, které jsou přirozeně přítomné v lidském těle. Antioxidační enzymy jsou: superoxid dismutáza, glutathion peroxidáza, kataláza, laktoperoxidáza (Štípek, 2000).

Schopností antioxidantů je reagovat s volnými radikály autooxidačního řetězce, převážně s peroxylovými radikály. Důležitá úloha antioxidantu spočívá ve zkrácení autooxidačního řetězce a zvýšení rychlosti terminačních reakcí. Antioxidant se při této reakci spotřebovává. Po úplném spotřebování antioxidantu započne autooxidace. Autooxidační reakci tedy mohou antioxidanty zpomalit, ale nejsou schopni úplného zastavení (Velíšek, 2002).

Velké množství zdravotně prospěšných sloučenin se nachází v klíčku a otrubách. Proto by měla být preferována konzumace celozrnných výrobků. Společná konzumace ovoce, zeleniny a obilovin zajišťuje jejich aditivní a synergistické účinky a zdravotní prospěšnost (Liu, 2007).

Primárními zdroji přirozeně se vyskytujících antioxidantů jsou obiloviny, ovoce a zelenina. Antioxidační látky mají důležitou ochrannou funkci, snižují riziko chronických onemocnění, včetně rakoviny a srdečních chorob. Nejvýznamnějšími přírodními antioxidanty jsou tokoferoly a tokotrienoly (vitamin E), askorbová kyselina (vitamin C), fenolové látky (především flavonoidy, fenolové kyseliny, jednoduché fenoly, stilbeny) a karotenoidy. Nejvíce zastoupenými antioxidanty v potravě jsou flavonoidy a fenolové kyseliny. Hlavním úkolem antioxidantů je schopnost vychytávat volné radikály (Prakash et al., 2016).

Při výčtu antioxidantů je nutné připomenout dva prvky, které samy o sobě antioxidanty nejsou, plní však důležitou roli kofaktorů enzymů, které zasahují do antioxidačního statusu organismu. Jde o stopové prvky (kapitola 3.4.2.4) selen a zinek (Opletal a kol., 2013). Stopové prvky jsou významné esenciální látky s celou řadou funkcí

včetně podílu na antioxidační ochraně lidského organismu. Významnou roli v antioxidační ochraně má také měď a mangan. Suplementace stopovými prvky je nejčastější v komplexních přípravcích spolu s vitamíny (Štípek, 2000).

Strava bohatá na antioxidanty typu antokyanů, flavonoidů a karotenoidů působí preventivně mimo jiné na výskyt aterosklerózy, artritidy, ischemické choroby srdeční, zánětlivých procesů, některých druhů rakoviny, zlepšuje funkci zraku a pozitivně ovlivňuje ochranné procesy v organismu (Lachman a kol., 2003).

#### **3.4.2.1 Vitamín C**

Kyselina L-askorbová (vitamín C) je významná esenciální složka potravy, potřebná pro řadu dějů (Štípek, 2000). Tato bílá krystalická látka je velmi dobře rozpustná ve vodě (Klein, 2009). Zároveň je významným reduktantem mnoha volných radikálů, čímž minimalizuje poškození způsobené oxidačním stresem (Piterková a kol., 2005). Schopnost uvolnit elektrony v řadě enzymových a neenzymových reakcí způsobuje, že askorbát je jednou z hlavních detoxifikačních sloučenin aktivních forem kyslíku ve vodní fázi (Winston, 1990).

Velmi důležitými reakcemi souvisejícími s antioxidačními vlastnostmi vitamínu C jsou reakce s aktivními formami kyslíku, resp. s volnými radikály, a reakce s oxidovanými formami vitamínu E, které zabezpečují ochranu vitamínu E a lipidů membrán před oxidací.

Askorbát (vitamin C) je příkladem poměrně prozkoumaného a známého antioxidantu, přitom jeho hlavní funkci v těle je regenerovat Fe v aktivních centrech hydroxyláz (syntéza kolagenu, noradrenalinu), což je v principu činnost prooxidační.

Při poruše sekvestrace železa v těle se askorbát může teoreticky stát nebezpečným prooxidantem, ale konkrétní důkazy jsou zatím minimální (Pláteník, 2009).

Doporučená denní dávka vitamínu C je 60 mg, potřebná dávka na ochranu před vypuknutím určitých chorob (skorbut) je 10 mg. Při nadměrném užívání dochází k jeho vylučování z organismu (Klein, 2009).

#### **3.4.2.2 Tokoferoly**

Vitamín E je sumární název pro skupinu čtyřech derivátů tokoferolu a tokotrienolu (označované  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , a  $\delta$ ), z kterých je nejúčinnější  $\alpha$ -tokoferol (Klein, 2009). Dostatečný příjem vitamínu E je považován za prevenci oxidace membránových lipidů. Vitamin E je

proto faktorem zpomalujícím proces stárnutí organismu a uplatňujícím se v prevenci kardiovaskulárních chorob a vzniku rakoviny (Klein, 2008).

Vitamin E (zvláště  $\alpha$ -tokoferol) je nejvýznamnějším lipofilním antioxidantem uplatňujícím se u eukaryotických buněk jako ochrana nenasycených mastných kyselin v lipidech a fosolipidech před poškozením volnými radikály. Uplatňuje se také při ochraně lipoproteinů přítomných v plasmě. Každá částice LDL lipoproteinů obsahuje 6 molekul vitamínu E.

$\alpha$ -Tokoferol je nejdůležitějším antioxidantem lipidových membrán buněk a odstraňuje řetězově vznikající volné peroxylové radikály.  $\alpha$ -Tokoferol má v membráně také několik neantioxidačních funkcí, jednou z nich je stabilizace membránových struktur (Piterková a kol., 2005).

Na aktivitu tokoferolů působí hlavně teplota, přítomnost kyslíku a stabilita radikálů tokoferolů. Při teplotách okolo 80°C a přítomnosti kyslíku, působí antioxidačním efektem pouze  $\delta$ -tokoferol. Pořadí antioxidační aktivity:  $\delta$ -tokoferol >  $\gamma$ -tokoferol >  $\beta$ -tokoferol >  $\alpha$ -tokoferol (Davídek a kol., 1983).

Vitamin E se nachází v rostlinných olejích a olivách. Nachází se také v některých druzích vín. Denní potřeba vitamínu E je asi 30 mg, nadbytek se z organismu vyloučí (Klein, 2009). Opletal a kol. (2013) uvádí, že podávání nízkých dávek do 100 mg směsi L-askorbové kyseliny a tokoferolů jako extra intracelulárního antioxidantu zajišťuje svou regeneraci a delší setrvání v buněčném systému. Ve vysokých dávkách (nad 500 mg/den) vitamin E může působit prooxidačně a také může snižovat srážlivost krve.

### **3.4.2.3 Karotenoidy**

Karotenoidy jsou žluté, oranžové a výjimečně také žluto-zelené a červené, převážně lipofilní pigmenty rostlin, hub řas, mikroorganismů nebo živočichů (korýšů, ptáků, savců). Známe přibližně 700 přirozeně se vyskytujících karotenoidních pigmentů. Nejběžnější sloučeninou je  $\beta$ -karoten (provitamin A), který se při metabolismu štěpí na 2 molekuly retinolu. Jde o lipofilní látku s výrazným antioxidačním účinkem, není třeba se bát, že by po její aplikaci došlo k hypervitaminóze vitamínu A (Opletal a kol., 2013).

Karotenoidy působí podobně jako tokoferoly ve funkci membránových antioxidantů. Jsou účinné při zhášení singletového a reagují ochotně také s volnými radikály. Pro své antioxidační vlastnosti se karotenoidy uplatňují v prevenci degenerativních procesů jako



antikarcinogenní látky (Velíšek, 1999). Z obilovin je na karotenoidy bohatá pšenice tvrdá (Příhoda a kol., 2004).

B-karoten (provitamin A) je výborný inhibitor lipoperoxidace *in vitro*, jeho antioxidační působení v těle je nejpravděpodobnější v kůži, kde zháší singletový (aktivovaný) kyslík po UV ozáření (Pláteník, 2009). B-karoten v těle slouží především jako prekurzor syntézy dvou důležitých látek. Tvoří se z něho retinol nezbytný pro fotoreceptory sítnice a kyselina retinová - je tedy důležitým regulátorem genové exprese, růstu a diferenciaci buněk (Pláteník 2009).

„V poslední době jsou používány další karotenoidy jako zeaxanthin, kryptoxanthin a lutein (ovlivňování makulární degenerace a ochrana oční tkáně), lykopen (prevence zhoubných novotvarů) a astaxanthin – patrně antioxidačně nejúčinnější karotenoid (ovlivnění testikulární dysfunkce, (Opletal a kol., 2013, s. 136).“

#### 3.4.2.4 Stopové prvky

**Zinek** je významným esenciálním prvkem nutným pro růst a vývoj všech živých organizmů a v lidském organismu se uplatňuje jako součást enzymů. Má funkce strukturní a regulační, účastní se v imunitní odpovědi organismu (Powell, 2000). Zkracuje trvání infekcí a urychluje hojení ran, účastní se molekulárních mechanismů souvisejících s regulací oxidativního stresu a odstraňuje toxicitu dalších těžkých kovů (Gumulec a kol., 2011). Zinek v mikromolárních koncentracích je považován spíše za protektivní prvek, který zpomaluje tvorbu volných radikálů přes peroxid vodíku. V koncentracích v rozmezí 10–1000  $\mu\text{M}$  snižuje životnost karcinomových buněk, ale DNA normálních buněk nepoškozuje (Holeček, 2010).

**Selen** považuje Štípek (2000) za nejvýznamnější stopový prvek s antioxidační aktivitou. Podávání 300 $\mu\text{g}$  selenu denně působí jako prevence před vznikem karcinomu. Selen reaguje s glutathionem v buňce, dochází tím k poškození glutathionu, což může vyústit v smrt nádorové buňky. Holeček (2010) uvádí nižší výskyt karcinomu prostaty u pacientů s vysokou hladinou selenu v séru.

### 3.5 Pšenice s barevným zrnem

Pšenice setá (ozimá i jarní forma) může mít různou barvou zrna. Nejvíce je zastoupeno červené (červenohnědé) zbarvení, které způsobuje přítomnost anthokyanů a dalších

fenolických sloučenin v osemeni a oplodí (Martínek, 2011). Většina pšenic pěstovaných v Evropě má tzv. červenou barvu, která je spíše různými variantami barvy okrové. Někdy se objevuje bílé, modré nebo purpurové zbarvení zrn (obr. 5 až 9).

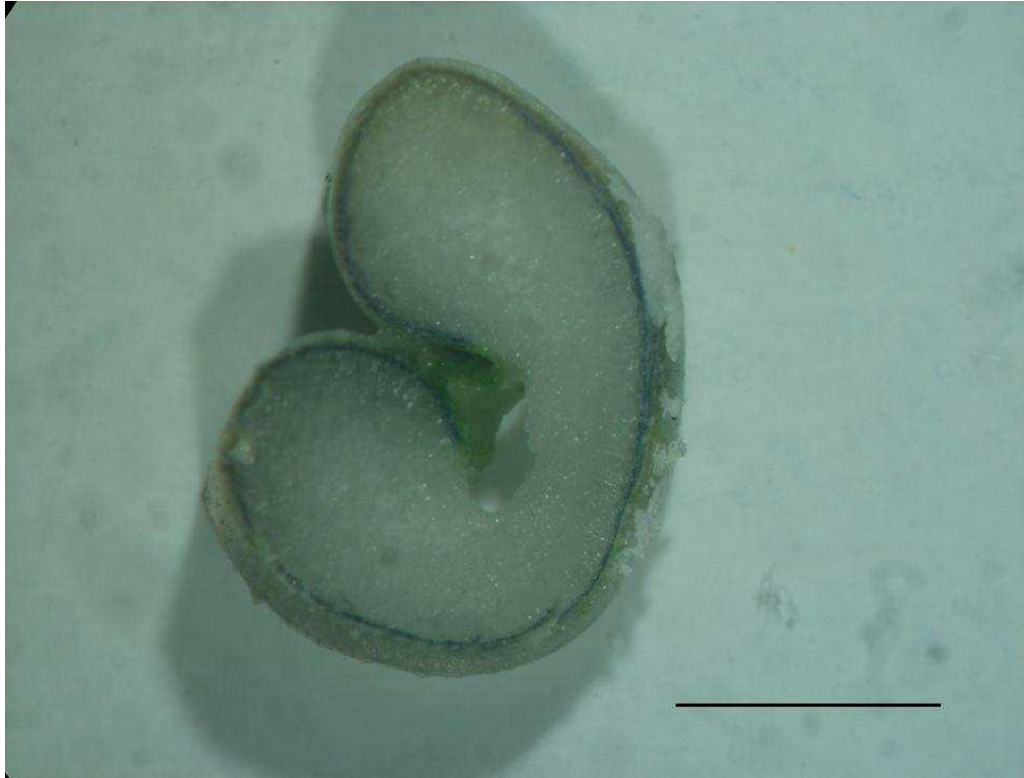


**Obr. 5: Barvy zrna: a – červené, odrůda Bohemia; b- bílé, odrůda Heroldo; c – se žlutým endospermem, odrůda Citrus; d – tritordeum, odrůda JB1; e – s purpurovým perikarpem, odrůda Indigo; f – s modrým aleuronem, odrůda Skorpion; g – tmavé díky kombinaci barev (Martínek a Vyhnálek 2014)**

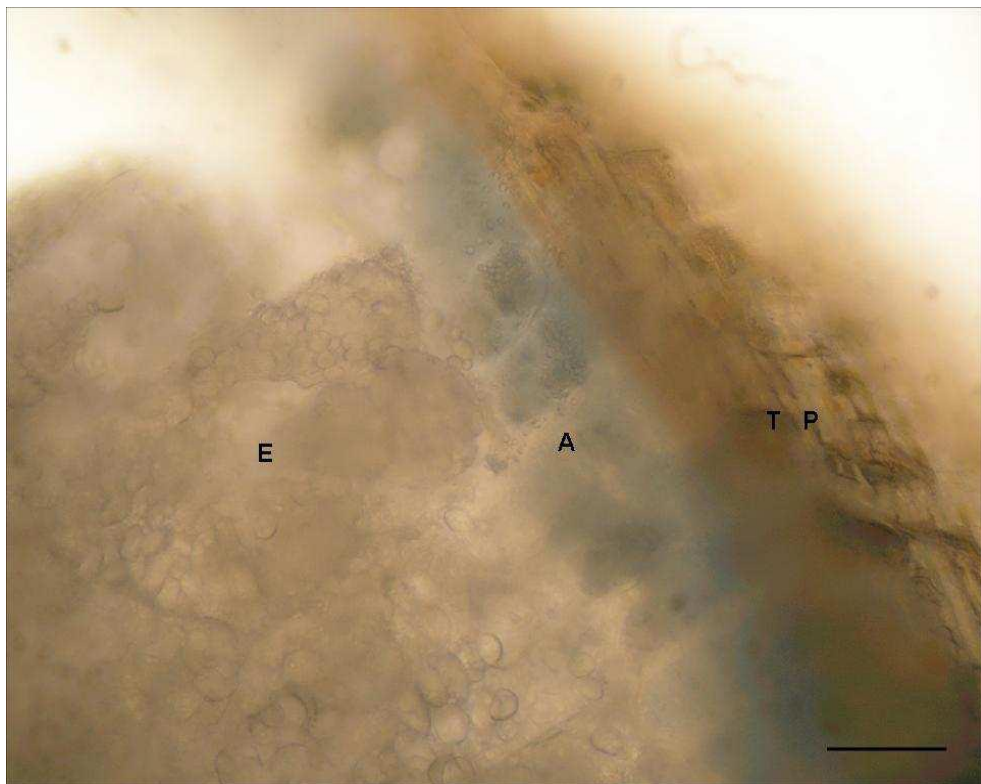
Žlutavé zbarvení pšenic způsobují karotenoidy, jejichž barevné pigmenty se nacházejí v ednospermu. Purpurové zbarvení pšenice způsobují barevné pigmenty kyanidin-3-glukosidu, které se ukládají v perikarpu (např. odrůdy Konini, Purple, Purple Feed, Abissinskaja Arrasajta). Geny pro purpurový perikarp obilek byly přeneseny z purpurových tetraploidních a hexaploidních pšenic, pocházejících z Etiopie.

Modravé zbarvení zrna je důsledkem ukládání barevných pigmentů do auleronové vrstvy mezi obalovými vrstvami a endospermem (např. odrůdy Tschermaks, Sommerweizen). Modrozrné pšenice obsahují více antokyanů než purpurové zbarvené obilky. Geny pro purpurový perikarp obilek byly přeneseny z purpurových tetraploidních a hexaploidních pšenic, pocházejících z Etiopie.

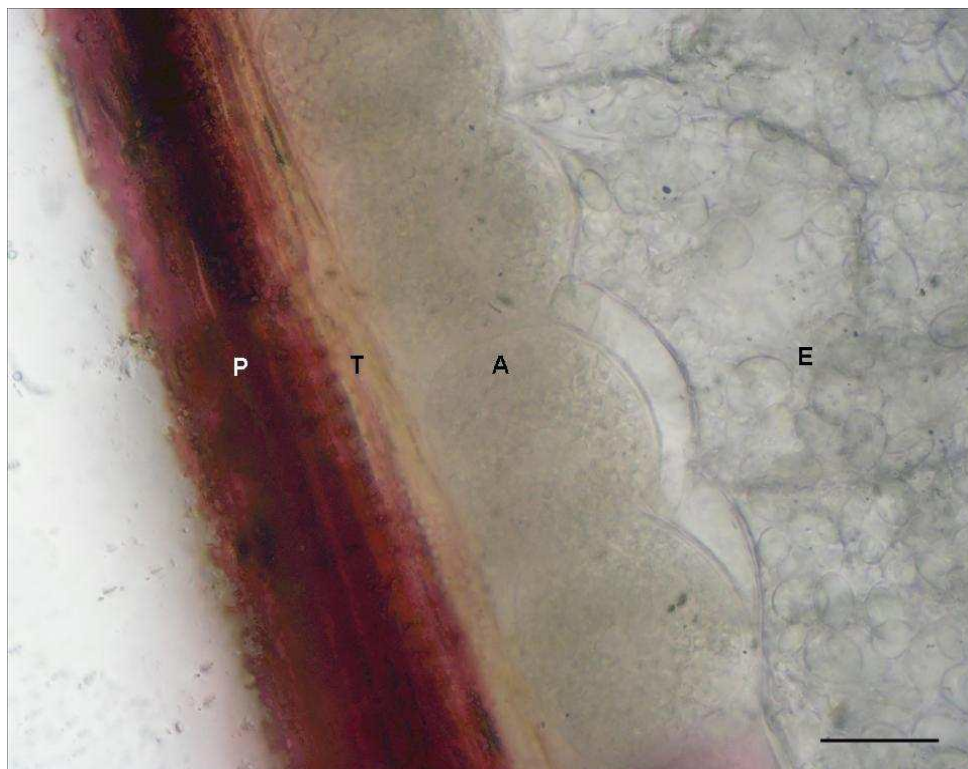
Přírodní pigmenty, antokyaniny a karotenoidy tedy ovlivňují specifické zbarvení zrna (obr. 4) a vyznačují se antioxidačními vlastnosti. Můžeme předpokládat, že jejich dlouhodobější užívání bude mít příznivý vliv na zdraví konzumentů (Kniewel a kol., 2009). Barevné odrůdy pšenice můžou značně ovlivnit nutriční hodnotu potravin, pokud se budou využívat při jejich výrobě (Chabinová a kol., 2011).



**Obr. 6:** Příčný řez obilkou genotypu Tschermaks Blaukörniger Sommerweizen, úsečka = 1 mm (Trojan a kol., 2010)



**Obr. 7:** Příčný řez obilkou genotypu UC66049. Oplodí (P) neobsahuje zelené pigmenty. Osemení (T) je zbarveno stejně jako oplodí. Buňky aleuronové (A) vrstvy jsou zbarveny modře. Buňky endospermu (E) jsou bez pigmentů, úsečka = 200  $\mu$ m (Trojan a kol., 2010)



**Obr. 8:** Příčný řez obilkou genotypu ANK-28B. Oplodí (P) obsahuje purpurové pigmenty. Osemení (T), které srůstá s oplodím, neobsahuje pigment. Buňky aleuronové (A) vrstvy a buňky endospermu nejsou zbarveny, úsečka = 200  $\mu\text{m}$  (Trojan a kol., 2010)



**Obr. 9:** Příčný řez obilkou genotypu Abyssinskaja arrasajta. Oplodí (P) obsahuje purpurové pigmenty, úsečka = 200  $\mu\text{m}$  (Trojan a kol., 2010)

Ozimá pšenice PS Karkulka s purpurovým zbarvením zrna je jedním ze vzorků využitých u experimentu (kapitola 4.2), u nichž šlechtitelé uvádí 20x vyšší obsah antokyanů než u běžné pšenice. Zároveň má vysoký obsah bílkovin i lepku.

Novozélandská odrůda pšenice Konini s purpurovým perikarpem, má vyšší obsah antokyanů (14,1 mg/g zrna) zastoupených ve formě kyanidin-3-glykosidu, kyanidin-3-rutinosidu a peonidin-3-glukosidu. Antokyaniny mají výrazné antioxidační účinky, zmírňují riziko oxidačního poškození a zvyšují schopnost vazby těžkých kovů (Paulová a kol., 2004).

### 3.6 Základní metody stanovení antioxidační aktivity

**Metoda ABTS** je běžně používaná spektrofotometrická metoda pro stanovení celkové antioxidační aktivity. Bývá označována také jako metoda TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) – výsledná antiradikálová aktivita vzorku je srovnávána s antiradikálovou aktivitou látky Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-karboxylová kyselina), což je rozpustný syntetický analog vitamínu E. Zhášení radikálu ABTS antioxidy se sleduje spektrofotometricky na základě změn absorpčního spektra ABTS.

Jde o optickou metodu stanovení látek absorbujících elektromagnetické záření (především z oblasti ultrafialové a viditelné, někdy z oblasti infračervené). Množství absorbovaného záření o určité vlnové délce závisí na charakteru a množství absorbující látky - vzorku.

Pro spektrofotometrickou metodu stanovení celkové antioxidační aktivity s ABTS jsou popsány aplikace měření v hydrofilním i lipofilním prostředí. Metoda stanovení TAA vzorků pomocí ABTS je jednoduchá, rychlá a má široké uplatnění, od hodnocení antioxidační aktivity látek různého původu až po směsné vzorky.

**Metoda DPPH** je považována za jednu ze základních metodik pro posouzení antiradikálové aktivity čistých látek i různých směsných vzorků. DPPH v metanolu vytváří fialové zbarvení, které antioxidantem odbarvuje. Odbarvení je snadno pozorovatelné. Rychlost a rozsah odbarvení je úměrný antioxidační účinnosti analyzované látky (extraktu). Spočívá v reakci testované látky se stabilním radikálem difenylpikrylhydrazylem – DPPH (1,1-difenyl-2-(2,4,6-trinitrofenyl) hydrazyl). Při reakci dochází k redukci radikálu za vzniku

DPPH-H (difenylpikrylhydrazin). U směsných vzorků se radikálová aktivita někdy vyjadřuje v jednotkách standardu Troloxu. Reakce je nejčastěji sledována spektrofotometricky.

**Metoda ORAC** (oxygen radical absorbance capacity) narozdíl od předcházejících metod, které byly založeny na eliminaci syntetických radikálů, generuje kyslíkové radikály a hodnotí schopnost testované látky zpomalit nebo zastavit radikálovou reakci. Detekce je sleduje úbytek fluorescence  $\beta$ -fykoerytrinu ( $\beta$ -PE) po ataku radikály. Čím má testovaný vzorek vyšší hodnotu ORAC, tím lepší má antioxidační vlastnosti (Paulová a kol., 2004).



## 4 STANOVENÍ ANTIOXIDAČNÍ AKTIVITY PŠENIC S BAREVNÝM ZRNEM

### 4.1 Metodika

V experimentální části této bakalářské práce jsou zjišťovány antioxidační aktivity vzorků (tab. 4) pšenice s modrými a purpurovými zrny pšenice. Míru účinnosti primárního antioxidantu lze určit např. při reakci s radikálem, jehož úbytek je možné snadno změřit. Byla použita spektrofotometrická metoda DPPH, která je specifikována v kapitole 3.6.

### 4.2 Rostlinný materiál

Pro účely experimentu bylo vybráno z genové banky v Praze celkem osm vzorků pšenice s purpurovým či modrým zrnem (kapitola 3.5):

#### Purpurové zbarvení zrn

- Abyssinskaja arrasajtaa,
- PS Karkulka,
- Konini

#### Modré zbarvení zrn

- Tschermak blaukorniger sommoerweizen,
- Indigo/Mironovskaya 808,
- UC 66049,
- RU 440-6/UC66049,
- Sommoerweizen

Pro kontrolní porovnání výsledků měření antioxidační aktivity byl použit vzorek pšenice Bohemia se standartním **červeným zbarvením zrna**.

### 4.3 Stanovení antioxidační aktivity

Antioxidační aktivita byla měřena radikálovým testem DPPH (kapitola 3.6). Antioxidační aktivita barevných vzorků pšenice byla vyjádřena ekvivalentním množstvím Troloxu vztaženého k 2,5 g extraktu.

**Sušina**

Zrno bylo rozemleto a naváženo do kovové váženky, hmotnost rozemletého zrna činila 5 gramů. Po 24 hodinovém sušení při 105°C byl stanoven úbytek hmotnosti a podle výsledku určen obsah sušiny v procentech.

**Extrakt**

Zrna jednotlivých vzorků pšenice byla namleta v mlýnku IKA. 2,5 gramu extraktu bylo naváženo a vloženo do 25 mililitrové odměrné baňky. Dále byl přidán do celkového objemu 25 mililitrů metanol (MeOH). Směs byla inkubována týden v temnu při pokojové teplotě a poté byla přefiltrována. Takto získaný extrakt byl použit pro měření.

**Měření**

Do 1 mililitru roztoku radikálu DPPH bylo přidáno 100 mikrolitrů extraktu pšenice. Měření proběhlo po 20 minutách reakce a výsledky byly vyjádřeny pro 100g na 100 $\mu$ g sušiny.



## 5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ ANTIOXIDAČNÍ AKTIVITY

Výsledky měření antioxidační aktivity (AA) metodou DPPH byly zhodnoceny a zaznamenány do níže uvedené tabulky. Získané hodnoty AA jednotlivých vzorků jsou vyznačeny žlutou barvou.

Vzorek pšenice	Rep.	515,0nm	navážka	na 100 g pšenice mg Trolox/ml	sušina %	mg Troloxu na 100 g sušiny
UC 66049	1	0,381	2,53	18,58	89,12	20,85
	2	0,371	2,52	19,80	89,12	22,22
	3	0,370	2,54	19,76	89,12	22,17
	Mean:	0,374		19,38	89,12	21,74
Tschermark blaukorniger sommelweizen	1	0,408	2,51	15,72	88,64	17,73
	2	0,413	2,50	15,20	88,64	17,15
	3	0,407	2,52	15,76	88,64	17,78
	Mean:	0,409		15,56	88,64	17,55
Abissinskaja arrasatja	1	0,393	2,53	17,16	87,92	19,51
	2	0,392	2,5	17,52	87,92	19,92
	3	0,388	2,50	17,95	87,92	20,42
	Mean:	0,391		17,54	87,92	19,95
Konini	1	0,387	2,50	18,03	88,51	20,37
	2	0,384	2,51	18,45	88,51	20,84
	3	0,391	2,53	17,42	88,51	19,67
	Mean:	0,387		17,96	88,51	20,29
<b>Bohemia</b>	<b>1</b>	<b>0,369</b>	<b>2,54</b>	<b>19,88</b>	<b>90,59</b>	<b>21,95</b>
	<b>2</b>	<b>0,368</b>	<b>2,50</b>	<b>20,25</b>	<b>90,59</b>	<b>22,35</b>
	<b>3</b>	<b>0,363</b>	<b>2,51</b>	<b>20,74</b>	<b>90,59</b>	<b>22,90</b>
	<b>Mean:</b>	<b>0,367</b>		<b>20,29</b>	<b>90,59</b>	<b>22,40</b>
RU 440-6/UC66049	1	0,353	2,50	21,95	90,99	24,12
	2	0,306	2,52	27,05	90,99	29,72
	3	0,303	2,52	27,49	90,99	30,21
	Mean:	0,321		25,49	90,99	28,02
RU 440-6/UC66049	1	0,300	2,51	27,88	90,96	30,64
	2	0,307	2,50	27,21	90,96	29,91
	3	0,306	2,51	27,24	90,96	29,94
	Mean:	0,304		27,44	90,96	30,17
Indigo/Mironovskaya 808	1	0,355	2,51	21,60	91,06	23,72
	2	0,347	2,53	22,38	91,06	24,57
	3	0,336	2,52	23,77	91,06	26,11
	Mean:	0,346		22,58	91,06	24,80
PS Karkulka	1	0,366	2,52	20,34	90,26	22,53
	2	0,309	2,51	26,88	90,26	29,78
	3	0,359	2,52	21,09	90,26	23,36
	Mean:	0,345		22,77	90,26	25,23

## Tab. 5: Výsledky měření antioxidační aktivity

### 5.1 Diskuse

Získané hodnoty měřené antioxidační aktivity částečně potvrzují očekávání vyšší antioxidační aktivity vzorků s purpurovým a modrým zbarvením, ovšem zároveň toto očekávání vyvrací.

Purpurová pšenice Koniny měla zjištěnu AA 20,29 a klasicky zbarvená pšenice Bohemia 22,40, což by prokazovala vyšší AA pšenice Bohemia.

Toto zjištění je v rozporu s výsledky experimentu (2015), který ve své diplomové práci popisuje Zindulková. Během experimentu byly dvě skupiny kohoutků krmeny monodietou, aby byl jasně prokázán vliv sledovaného krmiva na antioxidační aktivitu. Pro pokusnou skupinu byla použita purpurová pšenice Konini, která je charakterizovaná vyšším obsahem anthokyanů (celkový obsah anthokyanů 41,70 mg/kg). Kontrolní skupina byla krmena standardně zbarvenou pšenicí (odrůda Bohemia). U metod stanovujících antioxidační aktivitu z jater, byly naměřeny prokazatelně vyšší hodnoty u kuřat krmených pšenicí Konini. Výsledky výše popsaného experimentu dokázaly, že zkrmování pšenice Konini s vyšším obsahem anthokyanů zlepšuje antioxidační aktivitu a stav jaterní tkáně (Zindulková, 2015).

Výsledné měření AA (tab. 4) bylo negativně ovlivněno nižším počtem vzorků a nižším počtem provedených měření. Pro potvrzení výzkumné domněnky č. 3 by bylo třeba provést více měření.

## 6 ZÁVĚR

Cílem práce bylo stanovit antioxidační aktivitu u vybraných odrůd barevných pšeníc a porovnat ji s antioxidační aktivitou standardně zbarvené pšenice.

Nejvyšší antioxidační aktivita 30,17 byla zjištěna u modře zbarvené odrůdy RU 440-6/UC66049, nejnižší antioxidační aktivita 17,55 byla naměřena v modře zbarveném vzorku odrůdy Tschermak blaukorniger sommoerweizen.

Hodnota antioxidační aktivity červeně zbarvené pšenice odrůdy Bohemia se pohybovala spíše v nižších číslech 21,40 a nepotvrdila tak výzkumnou domněnku 3, podle níž měla její antioxidační aktivita být nejnižší nebo výrazně nižší než u ostatních barevných odrůd pšenice.

Z literární rešerše vyplývá, že potenciální vyšší zdroj antioxidantů se nachází v barevně zbarvených obilkách pšenice, čímž byla potvrzena výzkumná domněnka 1.

V praktické části byla prostřednictvím měření antioxidační aktivity vzorků barevných pšeníc potvrzena výzkumná domněnka 2 týkající se ovlivnění antioxidační aktivity fialovou a modrou barvou v zrně pšenice.

Měření antioxidační aktivity u několika vzorků pšeníc bylo malou sondou do problematiky potenciálních antioxidantů u barevných druhů pšeníc. Pro relevantní zjištění bude třeba provést mnohem více měření u vyššího počtu vzorků.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Abdel-Aall E. S. M., Abou-Arab A. A., Gamel T. H., Hucl P., Youngj. C., Rabalski, I. (2008): *Fractionation of blue wheat anthocyanin compounds and their contribution to antioxidant properties. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(23): 11171–11177

Analýza fenolických látek a flavonoidů metodou HPLC Biochemie.cz [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z <[http://biochemie.upol.cz/doc/skripta/emorr/1821\\_EMORR\\_protokoly.pdf](http://biochemie.upol.cz/doc/skripta/emorr/1821_EMORR_protokoly.pdf)>.

Bartl, P., Tremlová, B., Ošřádalová, M., Pokorná, J., Žďárský, M. Kvalitativní a kvantitativní stanovení anthokyanů v kultivarech pšenice s modrým a purpurovým zrnem. *Potravinářstvo* 2013. vol 7:145 – 148. [online]. [cit. 2016-03-06]. Beranová, M. Jídlo a pití v pravěku a ve středověku. Academia. Praha. 2005. 1.vyd. s. 359. ISBN 80-200-1340-7.

Čepička, J. *Obecná potravinářská technologie*. 1. vyd. Praha. VŠCHT, 1995. S. 246. ISBN 80-7080-239-1.

Čepička, J., Karabín, M.. Polyfenolové látky piva - přirozené antioxidanty. *Chemické listy*. 2002. č. 96. s. 90 – 95.

Davídek, J., Hajšlová, J., Pokorný, J. *Chemie potravin*. 2. vyd. Praha: VŠCHT, 1991. 142 s. ISBN 80-7080-097-6..

Ďuračková, Z. *Volné radikály a antioxidanty v medicíně*. Slovak Academic Press. 1998. 285 s. ISBN: 8088908116

Dykes, L., Rooney, L.W. Phenolic Compounds in Cereal Grains and Their Health Benefits. *Cereal foods World* [online]. 2007. vol. 52. s. 105-111 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z <[oilcrop.tamu.edu](http://oilcrop.tamu.edu)>.

Gajdošová, A. Šturdík, E. Biologické, chemické a nutrično-zdravotné charakteristiky pekárských cereálií. *Nova Biotechnologica*. 2004. IV-1. ISSN 1337-8783.

Gliszczynska-Świgło, A. Antioxidant activity of water soluble vitamins in the TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) and the FRAP (ferric reducing antioxidant power) assays. *Food Chemistry*, 2006, 96.1: 131-136.

Gumulec, J.Masařík, M., Křížková, S., Hrabec, R., Rovný, A., Masaříková, M., Kizrk, R. Zinek – molekulární mechanizmy u karcinomu prostaty. *Klinická onkologie*. 2011. 24.4: 249-

255. [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z < [http://www .linkos.cz/files/klinicka-onkologie/164/3837.pdf](http://www.linkos.cz/files/klinicka-onkologie/164/3837.pdf)>.

Havrlentová, M., Pšenáková, I., Žofajová, A., Ruckschloss I' & Hollman, P. C. H. Absorption, Bioavailability and Metabolism of Flavonoids. *Pharmaceutical Biology*. 2004. vol. 42. pp. 74 – 83.

Holeček, V. Oxidační stres u nádorových onemocnění. *Klinická biochemie a metabolismus 2010* [online]. [cit. 2016-03-04]. Dostupné z < <http://www.cskb.cz/res/file/KBM-pdf/2010/2010-4/2010-4-225-Holecek.pdf>>

Hollman PCH, Katan MB (1998): Absorption, metabolism, and bioavailability of flavonoids. In: Rice-Evans C, Packer L, eds., *Flavonoids in Health & Disease*. New York, Marcel Dekker, pp. 483–522.

Hrnčířová, K. Méně využívaná rostlinná barviva - chlorofyly a anthokyany: Anthokyany. *Výživa a potraviny: časopis Společnosti pro výživu*. 2011. Praha. Výživaservis s.r.o., roč. 66, č. 3, s. 64-65. ISSN 1211-846x.

Chabinová, J., Zítka, O., Húska, D., Klejdus, B. & Kizek, R. Optimization chromatographic isolation of anthocyanins. s. 1003-1010. 2011. ISBN 978-80-7375-563-8.

Kadlíková, M. Jirsa, O. Kurečka, R. Pšenice s odlišným zabarvením zrna a možnost jejich využití v potravinářství. *Úroda 12*. 2011. vědecká příloha. s. 117.

Kniewel, D. C., Abdel-aal, E. S. M., Rabalski, I., Nakamura, T., Hucl, P. Grain color development and the inheritance of high anthocyanin blue aleurone and purple pericarp in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) *J. Cereal Sci.* 50(1). 2009.

Kraic, J. Anthocyanins in Wheat Seed – A Mini Review. *Nova Biotechnologica et Chimica*. vol. 13, issue 1. s. 1-12. DOI. 10.2478/nbec. 2014.

Kučerová, J. *Technologie cereálií*, Brno. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 2008. ISBN 978-80-7157-811-6.

Lachman, J., Pivec, V., Orsák, M., Hosnedl, V., Prokinová, E., Lapčík, O. *Polyfenolické sloučeniny - antioxidanty ovlivňující biologickou kvalitu osiva*. 1999.

Lachman, J., Dudjak, J., Orsák, M., PIVEC, V., Effect of accelerated ageing on the content and composition of polyphenolic complex of wheat (*Triticum aestivum* L.) grains, *Plant, Soil Environ.* 49 (1) 2003. p. 1-7.

Liu, R. H. et al. Whole grain phytochemicals and health, *Journal of Cereal Science.* 2007. 46. pg.207-219.

Majo, D., Gurdia, M., Giammanco, S., Neve, L., Giammanco, M. 2008. The antioxidant capacity of red wine in relationship with its polyphenolic constituents. In *Food Chemistry* 111. 2008. p. 45-49.

Marešová, P., Stanovení flavonoidů v obilovinách spektrofotometricky, 2013

Martinek, P., Vyhnálek, T., Podhorná, J., Novotná, P., Vaculová, K., Michalová, A., Hutař, M. Pšenice špalda. *Výživa a potraviny.* 2014. roč. 53. č. 6. s. 186-188.

Mikešová, V. Srovnání pšenice jednozrnky plané a domestikované [online]. 24. února 2015 [cit. 2016-10-03]. Dostupné z <[http://www.archeologienadosah.cz/sites/default/files/clanky/plana\\_jednozrnka\\_a\\_domestikovana.jpg](http://www.archeologienadosah.cz/sites/default/files/clanky/plana_jednozrnka_a_domestikovana.jpg)>.

Ondrejovič, M., Maliar, T., Polívka, E., Šilhár, S. Polyfenoly jablk. *Chem. Listy*, 2009, 103: 394-400.

Opletal, L., Chlebek, J., Macáková, K., Benešová, N., Hošťálková, A., Cahlíková, L. Antioxidanty a degenerativní onemocnění. *Praktické lékařství.* 2013. 9 (3), 135-136.

Paulová, H. Bochořiková, H. Metody stanovení antioxidační aktivity přírodních látek in vitro. *Chemické listy.* 2004. 98: 174-179. [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z <[http://w.chemicke-listy.cz/docs/full/2004\\_04\\_03.pdf](http://w.chemicke-listy.cz/docs/full/2004_04_03.pdf)>.

Parkányová, J. Parkányová, L. Pokorný J. Rostliny jako zdroje přírodních antioxidantů. Praha. VŠCHT. Ústav chemie a analýzy potravin. FPBT 2003. ISBN 80-7194-549-8.

Pazdera, J. et al. Pěstování rostlin: Obilniny - cvičení [online]. Praha. ČZU, 2006 [cit. 2016-01-05]. Dostupné z <[http://etext.czu.cz/sekce.php?titul\\_key=81&id=detail](http://etext.czu.cz/sekce.php?titul_key=81&id=detail)>.

Pláteník, J. Volné radikály, antioxidanty a stárnutí. *Interní medicína pro praxi.* 2009. 11.1: 30-33. [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z <<http://www.solen.cz/pdfs/int/2009/01/06.pdf>>.

Piterková, J., Tománková, K., Luhová, L., Petřivalský, M., Peč, P. Oxidativní stres: lokalizace tvorby aktivních forem kyslíku a jejich degradace v rostlinném organismu. *Chemické listy*, 2005, 99: 455-466. [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z < [http://chemicke-listy.cz/docs/full/2005\\_07\\_455-466.pdf](http://chemicke-listy.cz/docs/full/2005_07_455-466.pdf)>.

Prakash, A. Rigelhof, F. Miller, E. Antioxidant Activity. Medallion Laboratories [online]. [cit. 2016-02-28]. Dostupné z < [http://www.medlabs.com/downloads/antiox\\_acti\\_.pdf](http://www.medlabs.com/downloads/antiox_acti_.pdf) >.

Příhoda, J., Skřivan, P., Hrušková, M. Cereální chemie a technologie I. Cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin. 1. vyd. Praha. VŠCHT, 2006. 202 s. ISBN 80-7080-530-7.

Ragae, S., Abdel-aal, E. M., Noaman, M. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use, *Food Chemistry*. 2006. vol. 98. pp. 32 – 38.

Stone, T., Darlinkton A. Léky, drogy, jedy. Vyd. 1. Praha: Academia, 2003, 440 s. ISBN 80-200-1065-3.

Scalbert, A., Johnson, I. T., Saltmarsh, M. Polyphenols. Antioxidants and beyond. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2005. vol. 81. pp. 215 – 217.

Süli, J., Homzová, K., Sobeková Z., Bujdošová, Z., Hrušková, T. Foods, polyphenolic compounds in. Polyfenolové látky v potravinách. [online] 2012 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z <[https://www.researchgate.net/profile/Anna\\_Sobekova2/publication/267032901\\_Polyphenolic\\_compounds\\_in\\_foods/links/5458aab80cf2cf5164829698.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Anna_Sobekova2/publication/267032901_Polyphenolic_compounds_in_foods/links/5458aab80cf2cf5164829698.pdf)>.

Süli, J., Homzová, K., Sobeková Z., Bujdošová, Z., Hrušková, T. Fyziologické účinky polyfenolů a jejich metabolitů v stravě. [online] 2014 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z [https://www.researchgate.net/profile/Judit\\_Suli/publication/267095368\\_Fyziologicky\\_ukinky\\_polyfenolov\\_a\\_ich\\_metabolitov\\_v\\_strave/links/5445158f0cf2dccb30b82ee3.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Judit_Suli/publication/267095368_Fyziologicky_ukinky_polyfenolov_a_ich_metabolitov_v_strave/links/5445158f0cf2dccb30b82ee3.pdf)

Štípek, S. et al. Antioxidanty a volné radikály ve zdraví a nemoci. Praha. 2000. ISBN: 8071697044

Trna, J. Táborská, E. Přírodní polyfenolické antioxidanty. [online]. 20. října 2006 [cit. 2016-03-11]. Dostupné z <<http://www.med.muni.cz/biochem/seminare/prirantiox.rtf>>.

Trojan, V. Musilová, M., Havel, L. The genetic variability of coloured grain wheat collection. *Mendel Net* 2010. 1-10. [online] 2010 [cit. 2016-04-10] Dostupné

z<[https://www.researchgate.net/profile/Tomas\\_Vyhnaneck3/publication/268511851\\_THE\\_GENETIC\\_VARIABILITY\\_OF\\_COLOURED\\_GRAIN\\_WHEAT/links/546de9a70cf26e95bc3d7f98.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Tomas_Vyhnaneck3/publication/268511851_THE_GENETIC_VARIABILITY_OF_COLOURED_GRAIN_WHEAT/links/546de9a70cf26e95bc3d7f98.pdf)>.

Valko, M.; Liebfriz, D.; Moncol, J.; Cronin, M.T., Mazur, M.; Telser, J., 2007, Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease, *Int. J. Biochem. Cell Biol.*, 39, p. 44-84

Velíšk, J. *Chemie potravin 2*. 2.vyd OSSIS Tábor, 2002. 320 s. ISBN 80-86659-01-1.

Velíšek, J. *Chemie potravin 3*. 1. vyd. Tábor. OSSIS.1999.ISBN 80-86799-01-1

Wikipedie. Obilniny.[online] 2016 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z <<https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%A1enice>>.

Winston G. W., v knize: *Stress Responses in Plants: Adaptation and Acclimation Mechanisms*, str. 57. Wiley-Liss, 1990.

Zimolka, J. *Pšenice, pěstování, hodnocení a užití zrna*. Praha. Profi Press. 2005. ISBN 80-86726-09-6.

Zindulková, L. *Sledování antioxidační aktivity u brojlerových kuřat při zkrmování pšenice s netradičním zabarvením*. Diplomová práce. Mendelova universita Brno. 2015



## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK

Obr. 1: Srovnání pšenice jednozrnky plané a domestikované

Obr. 2: Rostlina pšenice – *Triticum aestivum* (klas, obilka, zrno)

Obr. 3: Podélný řez pšeničným zrnem se znázorněním jeho morfologických vrstev

Obr. 4: Anthokyanidin

Obr. 5: Barvy zrna pšenice

Obr. 6: Příčný řez obilkou genotypu *Tschermaks Blaukörniger Sommerweizen*

Obr. 7: Příčný řez obilkou genotypu UC66049

Obr. 8: Příčný řez obilkou genotypu ANK-28B

Obr. 9: Příčný řez obilkou genotypu *Abyssinskaja arrasajta*

Tab. 1: Významné kulturní druhy rodu *Triticum*

Tab. 2: Variety pšenice obecné – základní rozdělení podle barvy a osinatosti klasu

Tab. 3: Obsah jednotlivých složek pšeničného zrna v %

Tab. 4: Přehled nejčastějších kyslíkových radikálů

Tab. 5: Výsledky měření antioxidační aktivity