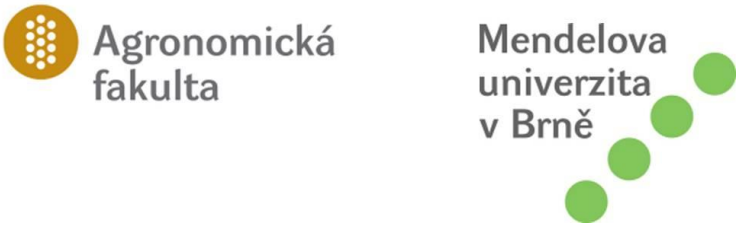
Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav technologie potravin



Antioxidanty v obilovinách a pseudocereáliích

Bakalářská práce

Vedoucí práce:
Ing. Viera Šottníková, Ph.D.

Vypracoval:
Erika Pavelková

Brno 2016

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Vieře Šottníkové, Ph.D. za odborné vedení při vypracování bakalářské práce, za cenné rady a připomínky k dané problematice.

Děkuji také své rodině a přátelům za podporu a pochopení v průběhu mého studia.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Antioxidanty v obilovinách a pseudocereáliích vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.*

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:……..

……..

podpis

ABSTRAKT

Antioxidanty v obilovinách a pseudocereáliích

Cílem bakalářské práce bylo vypracování literárního přehledu o zastoupení a významu antioxidantů v obilovinách a pseudocereáliích. První kapitola je věnovaná charakteristice, rozdělení, mechanismu působení a biologickému účinku antioxidantů. Obsah je zaměřen především na přírodní antioxidanty, které se vyskytují v rostlinách. Přírodní formy vitaminu E se vyznačují významným antioxidačním působením. Přerušují řetězovou reakci peroxidace lipidů, chrání buněčné membrány a zastavují oxidaci LDL cholesterolu. Rutin má důležitou úlohu jako antioxidant kyseliny askorbové. Zabraňuje vzniku cukrovky, vysokého krevního tlaku a cévních chorob. Další část pojednává o zastoupení a významu antioxidantů v pšenici, ječmenu, pohance a amarantu. Zelený ječmen má pozitivní účinky při prevenci a léčbě onemocnění. Chlorofyl obsažený ve šťávě z mladého ječmene zlepšuje krevní obraz, urychluje hojení ran a chrání tělo před infekcí. V poslední kapitole jsou shrnuty metody analýzy antioxidantů.

Klíčová slova: antioxidanty, charakteristika, rozdělení, výskyt, obiloviny, pseudocereálie, stanovení

ABSTRACT

Antioxidants in Cereals and Pseudocereals

The objective of the Bachelor Thesis is developing a review of the literature dealing with content and significance of antioxidants in cereals and pseudocereals. The first chapter is focused on characteristics, categorization, mechanisms of action and biological effect of antioxidants. Its content targets mainly natural antioxidants present in plants. Natural forms of vitamin E feature important antioxidant properties. They interrupt chain reaction of lipids, protect cell membranes and stop LDL cholesterol oxidation. Rutin plays an important role as ascorbic acid antioxidant. It prevents emergence of diabetes, high blood pressure and vascular diseases. The next part deals with content and significance of antioxidants in wheat, barley, buckwheat and amaranth. Green barley has positive effects in prevention and treatment. Chlorophyll contained in young barley juice improves blood picture, speeds up healing of injuries and protects body from infection. The last chapter summarizes antioxidant analysis methods.

Key words: antioxidants, characteristic, categorization, occurrence, cereals, pseudocereals, assessment

OBSAH

1 ÚVOD 7
2 CÍL PRÁCE 8
3 LITERÁRNÍ PŘEHLED 9
3.1 Antioxidanty 9
3.1.1 Mechanismus působení antioxidantů 9
3.1.2 Rozdělení antioxidantů 10
3.1.3 Syntetické antioxidanty 11
3.1.3.1 BHA (butylhydroxyanisol) 11
3.1.3.2 BHT (butylhydroxytoluen) 12
3.1.3.3 TBHQ 12
3.1.3.4 Galláty 12
3.1.3.5 Kyselina erytorbová (kyselina D-askorbová) 13
3.1.3.6 Askorbylpalmitát, askorbylstearát 13
3.1.4 Přírodní antioxidanty 13
3.1.4.1 Jednoduché fenoly 14
3.1.4.2 Fenolové kyseliny a jejich deriváty 14
3.1.4.3 Flavonoidy 15
3.1.4.4 Tokoferoly a tokotrienoly 16
3.1.4.5 Vitamin C (Kyselina askorbová) 16
3.1.4.6 Karotenoidy 17
3.1.4.7 Taniny (třísloviny) 18
3.1.4.8 Lignany 19
3.1.4.9 Kurkuminoidy 20
3.1.4.10 Terpenoidy 20
3.1.4.11 Proteiny 21
3.1.4.12 Steroly 21
3.1.4.13 β-glukany 21
3.1.4.14 Enzymové antioxidanty 22
3.1.4.15 Koenzym Q10 23
3.2 Antioxidanty v obilovinách 23
3.2.1 Vitamin E 25
3.2.2 Rutin (quercetin 3-β-rutinosid) 29

3.3 Obilniny ... 32
3.3.1 Pšenice *(Triticum)* ... 32
3.3.2 Ječmen (*Hordeum*) ... 34
3.4 Pseudocereálie ... 37
3.4.1 Pohanka (*Fagopyrum*) ... 37
3.4.2 Amarant *(Amaranthus*) ... 39
3.5 Zelený ječmen ... 41
3.5.1 Zpracování zeleného ječmene ... 41
3.5.2 Chemické složení zeleného ječmene ... 42
3.5.3 Účinky zeleného ječmene na organismus člověka ... 44
3.6 Analýza antioxidantů ... 46
3.6.1 Stanovení antioxidační aktivity ... 46
3.6.2 Stanovení obsahu antioxidantů ... 49
4 ZÁVĚR ... 50
5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY ... 51
6 SEZNAM TABULEK ... 60

1 ÚVOD

V dnešní době lidé spěchají a zbytečně se tak vystavují stresu. Pokud člověk vnímá stres negativně, tak může podporovat rozvoj onemocnění. V takových situacích je určitě nezbytné eliminovat zátěž organismu správnou životosprávou, kam se řadí především zdravá a vyvážená strava.

Pro zmírnění stresu a eliminaci volných radikálů je důležitá konzumace potravin obsahujících antioxidanty. Mezi takové potraviny se řadí např. mladý ječmen, který obsahuje celou řadu antioxidantů a dalších biologicky aktivních látek. Ve šťávě z mladého ječmene můžeme najít např. β-glukany, které pozitivně ovlivňuji imunitní systém a chrání buňky sleziny nebo chlorofyl, který zlepšuje krevní obraz a má protizánětlivé účinky. Rostliny díky chlorofylu žijí a lidé dýchají. Z toho se dá usoudit, že je pro život nezbytný.

Mistrem mezi antioxidanty je bezpochyby vitamin E. Žádná jiná přírodní ani syntetická látka ho nemůže nahradit. Jeho dokonalost spočívá v souhře jeho osmi přírodních forem. Nejdůležitější úloha vitaminu E v organismu je ochrana buněčných membrán a lipidů před oxidací. Důležitou vlastností je také účast na syntéze chlesterolu.

Rutin je méně známý antioxidant, který se vyskytuje především v pohance. Jeho největší koncentrace se nachází v květech. Chrání tělo před rozvojem cévních chorob, může pomáhat při léčbě diabetes melitus např. tak, že zlepšuje funkci poškozené sítnice a zabraňuje oxidačnímu poškození buněk. Jako prevence kardiovaskulárních onemocnění je vhodné užívat čaj z květů pohanky nebo pohankové vločky.

Obiloviny jsou součástí každodenní výživy člověka. Mají vysokou nutriční hodnotu, díky které by měli být pravidelně zařazovány do jídelníčku. Pseudocereálie neobsahují lepek, a proto jsou vhodné i pro osoby trpící celiakií. Jsou ceněny také pro svůj příznivý poměr esenciálních aminokyselin.

Zastoupení antioxidantů v obilovinách a pseudocereáliích je různé. Pšenice obsahuje fenolové kyseliny, flavonoidy a žluté pigmenty. Ječmen se vyznačuje obsahem β-glukanů, tokoferolů a tokotrienolů. V pohance najdeme především rutin, quercetin a kyselinu kávovou a amarant je bohatý na kofein, squalen a kyselinu vanilinovou.

Většina antioxidačních sloučenin působí jako antiokarcinogenní látky. Proto rostlinné potraviny mohou lidem prodloužit nebo dokonce zachránit život. Věřím, že pokud člověk preferuje zdravou a přírodní stravu, dokáže celkem úspěšně chránit organismus před oxidačním stresem.

2 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce na téma Antioxidanty v obilovinách a pseudocereáliích bylo:

- popsat charakteristiku a rozdělení antioxidantů,
- prostudovat účinky antioxidantů na lidský organismus,
- zjistit a popsat nejdůležitější antioxidanty v obilovinách a pseudocereáliích,
- seznámit se s možnostmi stanovení obsahu antioxidantů a antioxidační aktivity,
- popsat zdravotní tvrzení konzumace antioxidantů.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Antioxidanty

Antioxidanty jsou sloučeniny, které se podílejí na inaktivaci a odstranění volných radikálů z buněk (Jordán a Hemzalová, 2001). Jsou to látky, které brání substrát před oxidací (Schmidt, 2011). Prodlužují údržnost potravin a chrání je před znehodnocením. Projevem oxidace je žluknutí tuků a dalších, snadno se oxidujících složek potravin (Velíšek, 2002).

Antioxidanty zabraňují nebo brzdí oxidační kažení potravin a mají významnou funkci v metabolizmu živých organismů. V porovnání s oxidovatelným substrátem se antioxidanty v živých systémech vyskytují v nízké koncentraci. Většina potravin představují výborný materiál pro antioxidační kažení. Nejčastější cílové molekuly jsou lipidy, vitaminy, proteiny a DNA (Schmidt, 2011).

Při ochraně organismu proti oxidačnímu poškození antioxidanty vzájemně spolupracují a vytváří systém. Funkce jednoho antioxidantu často ovlivňují účinek další aktivní látky (Štípek et al., 2000).

Další významnou schopností antioxidantů je udržování původní nutriční hodnoty potravin. Umožňují také používání tuků s vysokým obsahem nenasycených mastných kyselin (Schmidt, 2011).

3.1.1 Mechanismus působení antioxidantů

Fenolové sloučeniny mohou jako primární antioxidanty reagovat s radikály hydroperoxidů (ROO•), které vznikají při oxidaci lipidů nebo s alkoxylovými radikály (RO•), které vznikají rozkladem hydroperoxidů. Poskytují jim atom vodíku, čímž přerušují řetězovou radikálovou reakci. Jako produkty vznikají fenoxylové radikály antioxidantu: ArOH + R-O-O• → R-O-OH + ArO• nebo ArOH + R-O• → R-OH + ArO•. Tyto radikály reagují s volným hydroperoxylovým nebo alkoxylovým radikálem oxidované mastné kyseliny v terminační fázi reakce (Velíšek, 2002).

Komplexotvorné látky (sekvestranty) vážou do neúčinných komplexů iony některých prooxidačně působících kovů (např. železo, měď, mangan, chrom, nikl, vanad). Tyto kovy mají důležitou funkci v propagačním stupni oxidace lipidů. Katalyzují vznik a reakci volných radikálů (Schmidt, 2011).

Lapače kyslíku (oxygen scavengers) podléhají přednostně oxidaci kyslíkem, čímž chrání lipidy v potravinách (Ozdemir a Floros, 2004 in Schmidt, 2011).

Zhášeče singletového kyslíku inaktivují kyslík chemicky nebo fyzikálně tak, že odebírají singletovému kyslíku přebytečnou energii. Tato energie poté přechází do prostředí ve formě tepla.

Některé antioxidanty, např. fenolové látky, tokoferoly, trolox nebo síra rozkládají hydroperoxidy na alkoholy nebo jiné neradikálové produkty.

Světelné filtry absorbují světlo v UV a viditelné oblasti, čímž chrání tuky před oxidací iniciovanou světlem (Schmidt, 2011).

Enzymové antioxidanty inaktivují aktivní formy kyslíku pomocí mechanismu biochemické přeměny na neaktivní produkty. Příkladem je systém superoxid dismutasa – katalasa, ve kterém dochází k přeměně superoxidu na peroxid vodíku a následně na vodu a tripletový kyslík (Gordon, 1990 in Schmidt, 2011).

3.1.2 Rozdělení antioxidantů

Antioxidanty se rozdělují podle mechanismu působení na primární a sekundární (Velíšek, 2002). Primární antioxidanty reagují s volnými radikály. Inhibují nebo oddalují řetězovou radikálovou oxidaci v iniciační fázi a přerušují v propagační fázi odevzdáním protonu za vzniku radikálových produktů. (Frankel, 1998 in Schmidt, 2011). Nejčastějšími zástupci primárních antioxidantů jsou mono- nebo polyhydroxyfenoly (Schmidt, 2011). Sekundární antioxidanty redukují vzniklé hydroperoxidy (Velíšek, 2002). Působí tak, že zpomalují rychlost oxidace různými mechanismy. Mohou také deaktivovat prooxidačně působící kovy chelatací, dodávat vodík primárním antioxidantům, rozkládat hydroperoxidy na neradikálové formy, deaktivovat singletový kyslík a absorbovat UV záření. Mezi nejznámější sekundární antioxidanty patří kyselina citronová, askorbová, askorbylpalmitát a lecitiny (Schmidt, 2011).

Podle rozpustnosti se rozlišují hydrofilní, lipofilní a amfofitní antioxidanty. Mezi amfofilní antioxidanty se řadí např. kyselina lipoová, melatonin a některé polyfenolické bioflavonoidy (Racek, 2003 in Bulková, 2011).

Antioxidanty se rozdělují také podle původu na přírodní a syntetické. Z přírodních antioxidantů jsou jako aditiva povoleny pouze tokoferoly, ale i ty se dnes získávají převážně syntézami (Velíšek, 2002).

3.1.3 Syntetické antioxidanty

Nejčastěji používané syntetické antioxidanty v potravinách jsou fenolové sloučeniny. Jejich účinnost závisí na struktuře molekuly. Jsou účinné již při nízké koncentraci. Při vysoké koncentraci se stávají prooxidanty. Komerční přípravky se dodávají v tuhých a kapalných směsích. Výhodnější jsou většinou kapalné směsi díky rozpustnosti antioxidantu v potravině (Schmidt, 2011). Seznam povolených syntetických antioxidantů najdeme v tabulce č. 1.

Tab. 1 Seznam antioxidantů povolených v ČR při výrobě potravin (http://cit.vfu.cz/vetleg/).

Číslo E	**Antioxidant**
E 310	Propylgalát
E 311	Oktylgalát
E 312	Dodecylgalát
E 319	Terciární butylhydrochinon (TBHQ)
E 320	Butylhydroxyanisol (BHA)
E 321	Butylhydroxytoluen (BHT)
E 315	Kyselina erythorbová (kyselina isoaskorbová)
E 316	Erythorban sodný (isoaskorbát sodný)
E 392	Rozmarýnové extrakty
E 586	4-hexylresorcinol

3.1.3.1 BHA (butylhydroxyanisol)

BHA je tvořen směsí dvou isomerů a má voskovitou konzistenci. Asi 90 % představuje 3-*terc*-butyl-4-hydroxyanisol (3-BHA) a 10 % jeho isomer 2-*terc*-butyl-4-hydroxyanisol (2-BHA). Chrání tuky obsahující mastné kyseliny s kratším řetězcem (kokosový, palmojádrový olej). Často se používá v obalových materiálech, odkud může migrovat do potraviny.

BHA vykazuje synergismus s BHT a galláty. Během oxidace lipidů dochází k degradaci BHA. Nejčastější produkty jsou dimery, bifenyly a jejich ethery (Velíšek, 2002). BHA je účinný v rostlinných olejích a je vhodný na použití v pekárenství a při výrobě cukrovinek (Schmidt, 2011).

3.1.3.2 BHT (butylhydroxytoluen)

BHT je 3,5-di-*terc*-butyl-4-hydroxytoluen. Má krystalickou konzistenci (Schmidt, 2011). Ve srovnání s BHA je účinnější jako antioxidant živočišných tuků. Produkty degradace BHT jsou rovněž aktivní jako antioxidanty. Mezi významné produkty patří fenoly, chinony a stilbeny. Při použití směsí antioxidantů BHA a BHT vznikají kromě uvedených také smíšené produkty (Velíšek, 2002).

3.1.3.3 TBHQ

TBHQ je 2-*terc*-butylhydrochinon. Je to jediný difenol mezi antioxidanty. Patří k nejlepším antioxidantům tuků určeným na smažení. Další zvýšení antioxidační aktivity, speciálně pro ocharnu rostlinných olejů, je možné v kombinaci s chelatačními činidly (např. kyselina citronová). TBHQ reaguje s hydroperoxylovými radikály za vzniku semichinonových radikálů stabilizovaných rezonancí. Z těchto meziproduktů se tvoří dimery a dismutcí se regeneruje původní hydrochinon. Všechny degradační produkty TBHQ vykazují antioxidační aktivitu (Velíšek, 2002).

Ze všech syntetických antioxidantů je TBHQ termicky nejstabilnější. Jeho účinnost podporuje kyselina citronová synergickým efektem (Schmidt, 2011).

3.1.3.4 Galláty

Galláty jsou estery gallové kyseliny, která se v malém množství nachází v potravinách rostlinného původu. Účinnost gallátů je vyšší v bezvodých tucích, např. propyl-gallát je vhodný pro stabilizaci živočišných tuků, ale je to relativně nestálá sloučenina, a není proto vhodný pro tuky určené ke smažení. S ionty železa tvoří modročerné komplexy, proto se vždy používá v kombinaci s chelatačními činidly (např. kyselina citronová). Galláty vykazují synergismus s BHA a BHT. Použití gallátů s TBHQ není povoleno. Jako jeden z hlavních produktů degradace propylgallátu vzniká ellagová kyselina,která má rovněž antioxidační vlastnosti (Velíšek, 2002).

Oktylgalát a dodecylgalát jsou tepelně stabilnější a více rozpustné v lipidech. Hlavní produkt degradace propylgalátu je kyselina elagová, která má také antioxidační účinky (Schmidt, 2011).

3.1.3.5 Kyselina erytorbová (kyselina D-askorbová)

Používá se především jako antioxidant ovoce a při uzení masa (Giese, 1996 in Schmidt, 2011). Stabilizuje barvu, chuť a aroma uzených potravin. Je dobře rozpustná ve vodě a nerozpustná v oleji. Aktivitu vitaminu C vykazuje pouze z 5 % (Schmidt, 2011).

3.1.3.6 Askorbylpalmitát, askorbylstearát

Jsou to syntetické deriváty kyseliny askorbové. Mají vyšší rozpustnost v hydrofobním prostředí než kyselina askorbová, a proto se přidávají do potravin obsahujících tuk (Coppen, 1994). Askorbylpalmitát se v zažívacím traktu hydrolyzuje a vzniká hodnotná kyselina askorbová a kyselina palmitová. Antioxidační působení askorbylpalmitátu je významné až při koncentraci nad 100 $mg.kg^{-1}$ tuku. Pokud se askorbylpalmitát přidá k podzemnicovému oleji určenému ke smažení, tak dojde k prodloužení trvanlivosti bramborových hranolků a ke zpomalení oxidace oleje (Schmidt, 2011).

3.1.4 Přírodní antioxidanty

Antioxidační vlastnosti mají různé rostlinné potravinářské materiály. Byliny a koření se používají už dlouhá léta k prodloužení údržnosti potravin. Mezi nejúčinnější patří rozmarýn, šalvěj, oregáno, tymián, hřebíček, kurkuma a ovesná mouka. Přírodní antioxidanty se používají omezeně, protože mohou mít vůni po použitých rostlinách nebo hořkou chuť (Velíšek, 2002).

Nejvýznamnější přírodní antioxidanty jsou tokoferoly a kyselina askorbová. Mezi další patří karotenoidy, flavonoidy, fenolové kyseliny, polyfenolové sloučeniny, sloučeniny ze šrotů olejnin, aminokyseliny, proteiny, některé produkty Maillardovy reakce, enzymy, fosfolipidy a steroly. Nejvíce fenolových antioxidantů se vyskytuje v rostlinných zdrojích.

Antioxidační fotochemikálie lze nalézt v mnoha potravinách a rostlinách. Mají důležitou roli při prevenci a léčbě chronických onemocnění způsobených oxidačním

stresem. Antioxidanty vykazují také antikarcinogenní a ochranné účinky a působí proti stárnutí buněk (Zhang et al., 2015).

Antioxidanty se mohou tvořit při reakcích vznikajících při zpracování potravin. Vznikají tak např. produkty Maillardovy reakce nebo proteinové hydrolyzáty. Uplatňují se především v procesu uzení potravin. Výhodou přírodních antioxidantů, které se vyskytují v potravinách je jejich neškodnost v organismu, což je potvrzeno letitou praxí (Schmidt, 2011).

Antioxidační ochranu tvoří také reparační mechanismy poškozených biomolekul. Fosfolipázy odstraňují poškozené mastné kyseliny z fosfolipidů, oxidačně modifikované proteiny se proteolyticky rozkládají a specifické reparační enzymy opravují poškozenou DNA (Štípek et al., 2000).

3.1.4.1 Jednoduché fenoly

Antioxidační účinky mají především hydrochinon, guajakol, isoeugenol a salicylaldehyd. Jsou to složky kouře, který se používá k uzení potravin. Vysokou antioxidační aktivitu mají fenoly, které se nachází v některých druzích koření. V mateřídoušce obecné je to např. Thymol a karvakrol (Velíšek, 2002).

3.1.4.2 Fenolové kyseliny a jejich deriváty

Fenolové kyseliny se běžně nachází ve všech rostlinných materiálech. Mají strukturu C_6-C_1 (kyselina benzoová a její deriváty) a C_6-C_3 (kyselina skořicová a její deriváty). Některé kyseliny jsou složky kouře, který se používá pro uzení potravin, např. kyselina salicylová.

Podle mechanismu účinku jsou to primární antioxidanty. Aktivita závisí na počtu hydroxylových skupin v molekule. Obecně jsou aktivnější skořicové kyseliny a *o*-difenoly (např. kyselina kávová a její ester chlorogenová kyselina nebo ester kyseliny kávové a 3,4-dihydroxyfenylmléčné kyseliny známý jako rosmarinová kyselina) (Velíšek, 2002).

Fenolové kyseliny fungují jako prekurzory biosyntézy flavonoidů. Většinou se vyskytují v konjugované nebo esterifikované formě, vázané na sacharidy nebo proteiny a jen v malém množství se vyskytují ve volné formě (Tomas-Barberan a Clifford, 2000 in Schmidt, 2011).

V bavlníkových semenech, arašídech a v sóji se nachází kyselina syringová, ferulová a vanilková. Řepková semena obsahují kyselinu sinapovou a slunečnicová semena obsahují kyselinu kávovou a chlorogenovou. Kyselina ferulová se nachází v obilninách a je to důležitá antioxidační sloučenina v pivě (Chen a Ho, 1997 in Schmidt, 2011).

Více antioxidačně účinnější jsou polyfenoly. Druhá hydroxylová skupina v poloze *orto* nebo *para* zvyšuje antioxidační účinek fenolové kyseliny. Účinek také zvyšuje substituce jedné nebo dvou metoxylových skupin v *orto* poloze za hydroxylovou skupinu (Larson, 1997 in Schmidt, 2011).

3.1.4.3 Flavonoidy

Vznikají jako sekundární produkty rostlinného metabolismu. Vyskytují se především v ovoci a zelenině. Jsou odvozeny od kyslíkaté heterocyklické sloučeniny, která se nazývá flavan. Základní chemická struktura je tvořena z 15 atomů uhlíku, které tvoří dva benzenové kruhy spojené trojuhlíkovým řetězcem (Schmidt, 2011).

Flavonoidní látky jsou primárními antioxidanty. Flavonoly a 5-hydroxysubstituované flavony tvoří s kovy neúčinné komplexy. Antioxidační aktivitu ovlivňuje počet hydroxylových skupin v molekule a jejich poloha. Aktivní jsou dihydroxyderiváty s hydroxyskupinami v polohách C-3´ a C-4´ a aktivitu zvyšuje přítomnost další hydroxyskupiny v kruhu B (např. robinetin a myricetin). Flavonoidy s jednou hydroxyskupinou v kruhu B vykazují malou aktivitu (např. naringerin a hesperetin) (Velíšek, 2002). Flavonoidy působí jako zhášeče hydroxylových, hydroperoxylových a superoxidových radikálů (Pietta, 2000 in Schmidt, 2011).

Flavonoidy se rozdělují do podskupin. Z potravinářského hlediska jsou nejdůležitější podskupiny flavony, flavonoly, flavanoly, 3-flavanoly, izoflavony a antokyanidiny (Schmidt, 2011). Příjem a metabolizmus falvonoidů v organismu ovlivňují i ostatní složky potravin. Alkohol v červeném víně zvyšuje biologickou aktivitu flavonoidů (Miyagi et al., 1997 in Schmidt, 2011). Nejvýznamnější schopností flavonoidů je poskytování vodíkových atomů jiným molekulám, vázání kovů do komplexů a redukce α-tokoferoxylových radikálů (Goulas et al., 2010 in Schmidt, 2011).

Velmi účinný antioxidant je kvercetin, který účinkuje především v rostlinných olejích, kde inhibuje tvorbu hydroperoxidů (Wanasundara a Shahidi, 1998 in Schmidt, 2011).

Flavonoidy chrání vitamin C před předčasným poškozením a až dvacetinásobně zvyšují jeho účinnost a využití (Jordán a Hemzalová, 2001).

3.1.4.4 Tokoferoly a tokotrienoly

Tokoferoly a tokotrienoly jsou deriváty 6-hydroxy-chromanu a jsou rozpustné v tucích. Mají vysokou biologickou a antioxidační aktivitu, což především představuje vitamin E. Jsou syntetizovány rostlinami a jsou velmi důležité ve výživě člověka (Watson a Preedy, 2009 in Schmidt, 2011).

Největší koncentrace tokoferolů se vyskytuje v rostlinných olejích. Tokotrienoly se ve vyšší koncentraci nachází v palmovém oleji, oleji z rýžových otrub a v cereáliích (Choi a Lee, 2009 in Schmidt, 2011). V procesu rafinace jedlých olejů v dezodorizačním kroku tokoferoly a tokotrienoly částečně degradují. Hlavní komerční zdroj přírodních tokoferolů je dezodorizační koncentrát získaný při rafinaci sójového oleje (Buczenko et al., 2003 in Schmidt, 2011).

Důležitá je optimální koncentrace tokoferolů v rostlinných olejích, což je 250 – 500 $mg\text{-}kg^{-1}$. Při vyšší koncentraci by tokoferoly měli prooxidační účinek (Frankel, 1998 in Schmidt, 2011).

Při antioxidačním působení tokoferoly soutěží s nenasycenými tuky o lipidické peroxylové radikály. Radikály reagují rychleji s tokoferoly. Jedna molekula tokoferolu ochrání před oxidací 10^3 až 10^9 molekul polynenasycených mastných kyselin s nízkým peroxidovým číslem (Kamal-Eldin a Appelqvist, 1996 in Schmidt, 2011).

3.1.4.5 Vitamin C (Kyselina askorbová)

Kyselina askorbová je slabá organická kyselina, která se vyskytuje v rostlinných tkáních a ve velkém množství se vyrábí i synteticky. Člověk a primáti postrádají enzym gulonolakton oxidasy, a proto si sami nedokáží kyselinu askorbovou syntetizovat. Proto se ve velké míře vyrábí identický produkt, který je spotřebiteli vysoce ceněný.

Při tepelném zpracování potravin se tato kyselina degraduje působením tepla a Maillardových reakcí. Kyselina askorbová působí jako primární i sekundární

antioxidant. Biologickou aktivitu vitaminu C vykazuje kyselina L-askorbová. Existují dva enantiomerní páry: kyselina L- a D-askorbová a kyselina L- a D-izoaskorbová. Aktivitu vitaminu C nemají kyseliny D-askorbová a L-izoaskorbová (Schmidt, 2011).

V lidském organismu vitamin C stabilizuje imunitu a psychiku. Psychické výbuchy spotřebují během dvaceti minut až 300 mg a jedna cigareta až 100 mg vitaminu C (Jordán a Hemzalová, 2001).

Kyselina L-askorbová je synergista pro tokoferoly. Při fyziologickém pH se nachází ve formě askorbátového aniontu. Další funkcí této kyseliny je vychytávání radikálů přeměnou hydroperoxidů na stabilní produkty. V rostlinných tkáních chrání buňky před působením peroxidu vodíku (Naidu, 2003 in Schmidt, 2011).

Jako sekundární antioxidant se kyselina askorbová uplatňuje v potravinách. Působí tak, že vychytává kyslík, posunuje redox potenciál potravinářské matrice do redukční oblasti, působí synergicky s komplexotvornými látkami, regeneruje primární antioxidanty a redukuje tokoferolové radikály zpět na tokoferol (Schmidt, 2011).

Dehydroaskorbátreduktasa regeneruje dehydroaskorbát na askorbát za účasti GSH. Při oxidačním stresu se askorbylové radikály mohou hromadit v extracelulární tekutině a ničit biomolekuly, protože GSH je intracelulární antioxidant (Štípek et al., 2000).

Vitamin C přispívá k udržení normální funkce imunitního systému během a po tělesném cvičení (http://ec.europa.eu/).

Fyziologická potřeba vitaminu C pro člověka je 50-80 mg/den. V plazmě se nachází asi 10 mg v 1 litru krve (Havlík a Marounek, 2012). Nedostatek způsobuje praskání kapilárních cév, objevují se příznaky stáří kůže a u dětí vede ke zpomalení nebo dočasnému zastavení růstu zubů. Úplný nedostatek vyvolá onemocnění kurděje (skorbut). Nadbytek není možný, protože přebytečný vitamin C se z těla vylučuje močí (Jordán a Hemzalová, 2011).

3.1.4.6 Karotenoidy

Jsou to žluté, oranžové a červené lipofilní pigmenty přítomné ve všech zelených částech rostlin, v houbách, řasách, mikroorganismech, savcích, ptácích, korýších a rybách. V rostlinách jsou asociovány s chlorofyly v chloroplastech. V přírodě se vyskytuje více než 700 lipofilních karotenoidů a z nich asi 50 vykazuje biologickou aktivitu vitaminu A. Většina karotenoidnách látek patří mezi terpenoidy. Jejich barevnost způsobuje

řetězec konjugovaných dvojných vazeb, který má různé kombinace. Karotenoidy se rozdělují na dvě hlavní skupiny: karoteny a xantofyly (Velíšek, 2002).

Barva karotenoidů v listech se projevuje až po rozkladu chlorofylu na podzim, kdy obsah chlorofylu klesá a do popředí se dostávají karotenoidy. Karotenoidy fungují jako sekundární antioxidanty a za určitých podmínek i jako primární antioxidanty. Lykopen a β-karoten inhibují oxidaci lipidů v prostředí *in vitro* (Rao a Rao, 2007 in Schmidt, 2011).

V potravinách se antioxidační účinek karotenoidů projevuje třemi možnými mechanismy: lapače radikálů, zhášeče excitovaných forem fotosenzibilizátorů a zhášeče singletového kyslíku (Edge et al., 1997 in Schmidt, 2011). Jsou důležité především při fotokatalyzované oxidaci citlivých složek potravin na světlo (Bradley a Min, 1992 in Schmidt, 2011).

β-karoten je účinný při fyzikálním zhášení singletového kyslíku. Jedna molekula zháší až tisíc molekul kyslíku (Reische et al., 2002). Při vzniku tripletového kyslíku dodává β-karotenu energii singletový kyslík. Excitovaný tripletový β-karoten uvolňuje energii ve formě tepla a současně se tak vrací do normálního energetického stavu. Schopnost karotenoidů zhášet singletový kyslík přímo souvisí s počtem dvojných vazeb ve struktuře. Pokud mají devět a více konjugovaných dvojných vazeb, tak jsou to velmi účinné antioxidanty.

Karotenoidy jako primární antioxidanty vychytávají volné radikály při nízkém tlaku kyslíku (Schmidt, 2011). Lutein, lykopen a β-karoten působí jako inhibitory fotooxidace rafinovaných jedlých olejů (Viljanen et al., 2002 in Schmidt, 2011). Vajdák a kol. (2004) porovnávali účinek vybraných komerčních antioxidantů a extrahovaného rostlinného lykopenu na stabilitu slunečnicového a řepkového oleje v průběhu skladování. Nejvyšší antioxidační účinek měly rozmarýnové extrakty s přídavkem extraktu lykopenu z rajčat.

3.1.4.7 Taniny (třísloviny)

Taniny jsou složité polyfenolické látky. Rozdělují se na hydrolyzovatelné a kondenzované taniny. Hydrolyzovatelné taniny jsou složené ze sacharidů, které mají částeěné nebo úplně esterifikované hydroxylové skupiny kyselinou galovou nebo kyselinou elagovou. Při jejich hydrolýze za mírných podmínek se uvolňují fenolové kyseliny a sacharidy (Schmidt, 2011).

Příčinou trpké, svíravé a adstrigentní chuti jsou interakce proteinů slin s některými fenolovými sloučeninami. Dochází k denaturaci proteinů slin, což vede ke ztrátě jejich ochranného vlivu a dochází k interakci s proteiny ústní dutiny. Třísloviny často ovlivňují chuťové vlastnosti potravin (Velíšek, 2002).

Antioxidační aktivitu taninů ovlivňuje počet konjugovaných násobných vazeb, počet a uspořádání hydroxylových skupin a molekulová hmotnost (Naczk et al., 1996 in Schmidt, 2011). Velmi účinné jsou epikatechin, epikatechingalát, epigalokatechin a epigalokatechingalát. Tyto sloučeniny se nachází především v zeleném čaji (Hidgon a Frei, 2003 in Schmidt, 2011).

Taniny zhášejí hydroxylové a superoxidové radikály, inhibují tvorbu sekundárních oxidačních produktů a podílí se na vázání kovových iontů do neaktivních komplexů (Kumamoto et al., in Schmidt, 2011).

3.1.4.8 Lignany

Lignany jsou fenolové dimerní sloučeniny, jejichž struktura je tvořena fenylpropanovými jednotkami spojenými uhlíky postranních řetězců. (Frankel, 2007 in Schmidt, 2011). Lignany se rozdělují podle stupně oxidace základního strukturního skeletu do podskupin: lignany, lignalolidy, monoepoxylignany, bisepoxylignany a cyklolignany (Crosby, 2005 in Schmidt, 2011).

Stanovuje se především antioxidační aktivita lignanových fenolů ze sezamových semen. Bylo zjištěno, že sezamová semena a olej obsahují rozpustný sezamin, sezamolín, glukosidy sezaminolu a sezamolinolu. Sezamový olej má vyšší antioxidační stabilitu než srovnatelné rostlinné oleje (Mohamed a Awatif, 1998 in Schmidt, 2011). Celkový obsah lignanů v sezamových semenech je 4,0 až 11,8 $mg.g^{-1}$ (Moazzami et al., 2007 in Schmidt, 2011).

Vysoký obsah lignanů je také v semenu lnu setého. Významný je obsah sekoiso laricirezinolu, který má dobrý antioxidační potenciál (Touré a Xueming, 2010 in Schmidt, 2011).

Lignany vykazují také další různé biologické účinky. Některé lignany se uplatňují i jako fytoestrogeny a antikarcinogenní látky (Velíšek, 2002).

3.1.4.9 Kurkuminoidy

Významné antioxidanty jsou žluté pigmenty kurkumovníku dlouhého (*Curcuma longa)* z čeledi zázvorovitých (*Zingiberaceae)*. Pálivé gineroly, shogaoly a zingeron se zase nachází v zázvoru lékařském. Jsou přítomny i komplexnější sloučeniny, např. kassumunin A a B patřící mezi fenylbutenoidy (Velíšek, 2002).

Kurkuminoidy mají antioxidační vlastnosti díky fenolové struktuře (Shang et al, 2010 in Schmidt, 2011). Kurkumin rozpustný v oleji reaguje se čtyřmi radikály etylesteru kyseliny linolové a vzniká šest reakčních produktů. Kurkumin se oxidačně spojuje s lipidovými radikály a vznikají konečné produkty při intramolekulové Diels-Alderově reakci (Masuda a kol., 2001 in Schmidt, 2011).

Kurkumin vykazuje neuroprotektivní účinky např. u Alzheimerovy choroby. Chrání neurony v mozečku před poškozením oxidovanou formou hemu. Byla provedena studie, kde ženy po menopauze denně užívaly 150 mg kurkuminu. Výsledky ukázaly, že pravidelná konzumace by mohla zlepšit endoteliální funkci (Conti et al., 2016).

3.1.4.10 Terpenoidy

Nejvyšší antioxidační aktivitu mají diterpeny. Jsou to cyklické fenolové fytolátky, které se nachází především v rostlinách z čeledi *Labiatae* (Kolak et al., 2009 in Schmidt, 2011). Nejvýznamnějšími zdroji fenolových diterpenů jsou šalvěj a rozmarýn. Antioxidační aktivitu v rozmarýnových extraktech vykazují především karnosol, kyselina karnosová, rosmanol, epirosmanol, isorosmanol, rosmadial, rosmarichinon a rosmaridifenol. Kromě antioxidačních účinků mají tyto sloučeniny také antimikrobiální, antikoagulační a protizánětlivé účinky (Schmidt, 2011). V hluchavkovitých rostlinách, např. v tymiánu, se nachází *o*-chinony a *p*-chinony substituovaných bifenylů (Velíšek, 2002).

Antioxidační potenciál kyseliny karnosové je dvojnásobně vyšší než mají ostatní fenolové složky v sójovém oleji a je několikanásobně vyšší než u BHT a BHA (Ramalho a Jorge, 2008 in Schmidt, 2011).

V rostlinných materiálech se také vyskytují některé triterpenové kyseliny, jako např. betulinová, oleanolová a ursulová kyselina a triterpenové alkoholy a od nich odvozené saponiny. Slabou antioxidační aktivitu vykazují fytosteroly. Nejaktivnější sloučeninou je Δ^5-avenasterol (Velíšek, 2002).

3.1.4.11 Proteiny

Antioxidační aktivitu vykazují např. peptidy, proteinové hydrolyzáty a kasein. Aminy spermin a spermidin se používají na zpomalení oxidace rybího oleje (Sasaki et al., 1996 in Schmidt, 2011). Aminokyseliny mají antioxidační účinky pokud se používají samostatně. V lipofilním prostředí je účinný glycin, methionin, histidin, tryptofan, prolin a lyzin (Ralajakshmi a Narasimhan, 1996 in Schmidt, 2011). Karnosin a anserin vážou železo a složené peptidy obsahující histidin (Zhou a Decker, 1999 in Schmidt, 2011).

Proteiny s dostatečnou koncentrací účinného peptidu a pH prostředí, které podporuje disociaci karboxylových skupin a odštěpení vodíkových iontů z aminoskupin koncových aminokyselin mají předpoklad vysokého antioxidačního působení. Aminoskupina $-NH^{+}_{3}$ se mění na $-NH_2$ (ztrácí kladný náboj a získává elektronový pár) (Belitz a Grosch, 1999 in Schmidt, 2011).

Tripeptid glutathion (GSH) reguluje buněčnou redoxní homeostázu (Masella et al., 2005 in Schmidt, 2011). Glutathion je kofaktor některých enzymů uplatňujících se při detoxikaci organismu poškozeného oxidačním stresem, je důležitý při transferu aminokyselin přes buněčnou membránu, ničí hydroxylové radikály a singletový kyslík, likviduje peroxid vodíku a lipoperoxidy při vzájemném působení s glutathion peroxidasou a redukuje tokoferylový radikál a kyselinu semidehydroaskorbovou (Pruijn et al., 1991 in Schmidt, 2011).

3.1.4.12 Steroly

Na povrchu olejů steroly oxidují a inhibují tak propagační stupeň autooxidace. Vysoce antioxidačně účinné jsou fytosteroly nacházející se především v ovesných vločkách. Mezi tyto fytosteroly patří Δ7-avenasterol, citrostadienol a fukosterol (Kochhar, 2000 in Schmidt, 2011).

Rostlinné steroly mají také antikarcinogenní účinky a snižují hladinu cholesterolu v organismu (Dutta, 2004 in Schmidt,2011).

3.1.4.13 β-glukany

Beta-glukany patří mezi polysacharidy, které ovlivňují některé parametry imunitního systému. Jsou součástí buněčných stěn. Glukany se mohou vázat a tvořit tak komplexy

s proteiny. V rostlinách se vyskytují především 1,3-β-D-glukany a 1,4-β-D-glukany. V obilovinách se nachází až 7 g/100 g potraviny.

Beta-glukany interreagují se specifickými receptory leukocytů (Havlík a Marounek, 2012). Vykazují přímé antikarcinogenní účinky a proliferativní účinky na buňky sleziny a kostní dřeně. Cytostaticky působí na buňky sarkomu (Bulková, 2011). Konzumace β-glukanů během jídla přispívá k omezení nárůstu hladiny glukózy v krvi (http://ec.europa.eu/). Dlouhodobý příjem β-glukanů způsobuje snížení hladiny cholesterolu a zmírnění oxidačního stresu (Barera et al., 2016). Výsledky studie ukázaly, že β-glukany ničí lipidové superoxidy chrání buňky sleziny před oxidací (Błaszczyk et al., 2015).

3.1.4.14 Enzymové antioxidanty

Superoxiddismutasa (SOD) katalyzuje dismutaci superoxidu na peroxid vodíku a tripletový kyslík (Schmidt, 2011). Chrání buněčné membrány před oxidačním stresem, který je způsobený zvýšenou přítomností reaktivních forem kyslíku či volných radikálů. Tyto formy mohou způsobit porušení buněk. Za normálních podmínek je tvorba reaktivních forem kyslíku v rovnováze s mechanismy vedoucími k jejich odstraňování. Tento systém se označuje jako scavengerový. Právě SOD patří mezi nejdůležitější scavengery, podobně jako např. katalasa a glutathionperoxidasa. SOD katalyzuje dismutační reakci superoxidu a vodíku na méně reaktivní peroxid vodíku, který je dále odstraňují enzymy katalasa a peroxidasy (Březinová Belcredi a Ehrenbergerová, 2009). Enzym SOD je obsažen v každé buňce a existuje od doby, kdy nastala přeměna redukční atmosféry na oxidační (Štípek et al., 2000).

Katalasa působí tak, že přeměňuje peroxid vodíku na vodu, což se uplatňuje například při produkci sýrů.

Glukosooxidasa a katalasa je nejúčinnější antioxidační systém v potravinách. Glukózooxidasa katalyzuje oxidaci β-D-glukosy za vzniku 2-δ-glukonolaktonu a peroxidu vodíku. Glukonolakton se samovolně hydrolyzuje na kyselinu D-glukonovou a peroxid vodíku odstraňuje katalasa.

Glutathionperoxidasa katalyzuje reakci peroxidu s glutathionem (GSH) a tím inaktivuje peroxid vodíku. Oxidovaný glutathion (GSSG) tvoří s proteiny disulfidové vazby, a proto je pro buňky škodlivý. Pomocí glutathionreduktasy se redukuje zpět na GSH. Glutathionreduktasa také chrání rostlinná pletiva před peroxidací lipidů.

Glutathiondehydrogenasa v přítomnosti kyseliny dehydroaskorbové katalyzuje oxidaci glutathionu. Kyselina dehydroaskorbová působí jako akceptor vodíku a vrací se na kyselinu askorbovou (Schmidt, 2011).

3.1.4.15 Koenzym Q10

Koenzym Q10 je důležitý nitrobuněčný antioxidant, který přerušuje řetězovou reakci autooxidace. Pomáhá při léčbě srdečních chorob a působí preventivně proti svalové dystrofii (Bulková, 2011).

3.2 Antioxidanty v obilovinách

Antioxidační vlastnosti obilovin a cereálních výrobků tvoří tokoferoly, tokotrienoly a karotenoidy (Charles, 2013). V tabulce č. 2 je uvedena biologická aktivita látek s antioxidačními vlastnostmi v různých obilovinách. Studie prováděné na hlodavcích dokázaly, že obiloviny bohaté na fenolové látky snižují obsah oxidovaných lipidů v krvi, játrech a mozkové tkáni a zvyšují aktivitu antioxidačních enzymů v krvi, včetně činnosti glutathionperoxidasy a superoxiddismutasy.

Fenolové kyseliny jsou nejdůležitější a největší skupina antioxidantů z hlediska výskytu v obilných zrnech. Skládají se ze dvou podskupin, a to hydroxybenzoová a hydroxyskořicová kyselina. Pro obiloviny jsou charakteristické O- a C- glykosidy flavonů odvozené od apigeninu a luteolinu (Charles, 2013).

V obilovinách převládá kyselina kávová, pro ječmen je typická kyselina protokatechinová, isoferulová a vanilinová, pro oves je typická kyselina ferulová a mandlová, pro žito je typická kyselina isoferulová a veratrová a pro triticale je typická sinapová kyselina. Pohanka je bohatá na rutin a quercetin, které mají příznivý účinek na cévy (Lachman et al., 1998).

V různých studiích bylo zjištěno, že antioxidační potenciál obilovin závisí na jejich biologické dostupnosti a absorpci v gastrointestinálním traktu. Při gastrointestinálním trávení a fermentaci obilných zrn se zvyšuje jejich antioxidační potenciál (Masisi, 2016). Zvýšení koncentrace ozonu v atmosféře je přímým zdrojem reaktivních forem kyslíku a vede ke snížení výtěžku ze zemědělských plodin. Cílem studie provedené v roce 2015 bylo zjistit zda působení ozonu na pšenici, oves a ječmen ovlivňuje jejich oxidační toleranci vůči stresu. Kontrolní vzorky celozrnných výrobků pocházejících z

obilovin, které mají citlivý genotyp obsahovaly vyšší množství stabilních organických radikálů (semichinon, fenoxy a některé sacharidy) (Labanowska et al., 2015).

Tab. 2 Antioxidační aktivita obilných zrn *iv vivo* (Masisi et al., 2016).

Obilná zrna	**Potenciální bioaktivní sloučeniny**	**Pozorovaná biologická aktivita**	**Živý model**
proso	fenoly	odstranění hydroxylových a superoxidových radikálů, vysoká redukční síla a ochrana makromolekul před oxidací	stárnutí myší indukované D-galaktosou
	fenoly, taniny a fytáty	zlepšení aktivity enzymatických a neenzymatických antioxidantů	diabetické krysy indukované aloxanem
oves	avenanthramidy a fenoly	sérová superoxiddismutasa a redukované glutathionové hormony vzrostly o 8,4 a 17,9 % v uvedeném pořadí; malondialdehyd vzrostl o 28 %; TC, TAG a LDL chlesterol zlepšil o 11,1 %, 28,1 % a 15,1 % v uvedeném pořadí antioxidační kapacitu	BioF1B křeček
žito	ferulová kyselina	zvýšená odolnost proti oxidaci LDL cholesterolu	zdravý člověk
		významné snížení hladiny 8-OhdG v játrech, ledvinách a slinivce břišní	diabetické krysy indukované streptozotocinem
		zvýšení ferulové kyseliny v	zdravý člověk

		moči	
pšenice (otruby a mouka)	fenoly	zlepšení poměru GSSG/GSH a aktivity katalasy a snížení oxidace lipidů	zdravé myši
		zvýšení superoxiddismutasy a snížení malondialdehydu v krevním séru a játrech	samci krys

3.2.1 Vitamin E

- ***Struktura a charakteristika***

Aktivitu vitaminu E vykazuje osm základních strukturně příbuzných derivátů chromanu. Základní strukturu tvoří tokol a tokotrienol, které obsahují chromanový cyklus s nasyceným nebo nenasyceným isoprenoidním postranním řetězcem s 16 atomy uhlíku.

Tokoferoly jsou čtyři formy vitaminu E s nasyceným postranním řetězcem odvozené od tokolu. Tokotrienoly jsou čtyři formy vitaminu E s nenasyceným postranním řetězcem odvozené od tokotrienolu (Velíšek, 2002). Mezi tokoferoly patří α-tokoferol, β-tokoferol, γ-tokoferol a δ-tokoferol a mezi tokotrienoly patří α-tokotrienol, β-tokortienol, γ-tokotrienol a δ-tokotrienol (Papas, 2001). Jednotlivé tokoferoly a tokotrienoly se liší polohou a počtem methylových skupin v chromanovém cyklu a biologickou aktivitou. V tabulce č. 3 je znázorněno zastoupení jednotlivých forem vitaminu E v obilovinách a pseudocereáliích.

Tokoferoly mají tři chirální centra, a proto mohou existovat v osmi diastereoisomerních formách. V přírodě se však nachází pouze (2R, 4´R, 8´R)-isomery tokoferolů. Tokotrienoly, které obsahují tři dvojné vazby v postranním řetězci se mohou vyskytovat v osmi různých cis nebo trans isomerech a jejich kombinacích. V přírodě se vyskytují pouze all-*trans*-geometrické isomery (Velíšek, 2002).

Všechny formy vitaminu E mají aktivní hydroxylovou skupinu. V řetězci tokotrienolů se nachází tři dvojné vazby, zatímco řetězec tokoferolů je nasycený. Forma alfa má na chromanový kruh připojeny tři methylové skupiny, forma beta a gama mají připojeny dvě methylové skupiny a forma delta má připojenu pouze jednu methylovou skupinu (Papas, 2001).

Tab. 3 Tokoferoly a tokotrienoly v obilovinách a pseudocereáliích (mg/100 g) (Eitenmiller, Lee, 2004).

	α-T[a]	**β-T**	**γ-T**	**δ-T**	**α-T3[b]**	**β-T3**	**γ-T3**	**δ-T3**	**Celkem**
Amarant	1,7	2,2	0,3	0,8	-	-	-	-	5,0
Ječmen	0,7	0,1	0,2	-	2,0	0,4	0,3	-	3,7
Ječmen, endosperm	0,1	-	-	-	2,3	0,5	0,4	-	3,3
Ječmen, klíček	17,5	-	1,0	0,2	-	2,0	-	-	20,7
Pohanka, celé zrno	0,2	-	5,8	0,3	-	-	-	-	6,3
Kukuřice	0,7	0,1	2,3	-	0,4	-	0,7	-	4,1
Proso, celé zrno	0,1	0,1	1,7	0,6	-	-	-	-	2,5
Oves	0,8	0,6	0,7	-	2,0	0,1	0,6	-	4,6
Oves, otruby	1,0	0,1	-	0,1	2,2	0,1	-	-	3,5
Žito	1,6	0,4	-	-	1,5	0,8	-	-	4,3
Pšenice	1,0	0,5	1,2	-	0,3	1,7	-	-	4,8

Pšenice, otruby	1,3	0,8	-	-	1,3	6,3	-	-	9,7
Pšenice, endosperm	0,4	-	0,1	-	3,8	0,2	-	-	4,5
Pšenice, klíček	15,2	5,5	0,5	-	0,3	1,1	-	-	21,3

[a] T = tokoferol; [b] T3 = tokotrienol

- ***Antioxidační působení vitaminu E***

Každý den člověk zkonzumuje přibližně 3,5 kg kyslíku. Z toho pouze 2,8 % kyslíku není řádně využito a tvoří volné radikály. Lidské tělo také produkuje každý rok několik kilogramů peroxidů. Vitamin E je mistrem přírody v kategorii antioxidantů (Papas, 2001). Jeho výskyt v cereálních produktech uvádí tabulka č. 4.

Vitamin E má tři důležité antioxidační vlastnosti: přerušuje řetězovou reakci peroxidace lipidů, což je proces, při kterém lipidy žluknou, díky své struktuře chrání buněčné membrány, zastavuje oxidaci LDL cholesterolu, čímž brání vzniku aterosklerózy, srdeční příhody a infarktu.

Polynenasycené mastné kyseliny jsou velmi náchylné k oxidaci volnými radikály, což může odstartovat peroxidaci lipidů. Při oxidaci volný radikál odejme z vedlejšího řetězce nenasycené mastné kyseliny vodíkový atom a volná mastná kyselina má poté nepárový elektron, čímž se sama stává peroxylovým radikálem. Takto může napadat další mastnou kyselinu a nastartovat tak ničivou řetězovou reakci. Peroxylové radikály mohou také napadat proteiny, DNA, cukry a hormony. Vitamin E tyto řetězové reakce přerušuje, proto je pro organismus velmi důležitý.

V membránách je vitamin E strategicky umístěn. Svým hydrofobním řetězcem je uchycen ve vnitřní části membrány. Hydrofilní centrální část je umístěna v hydrofilním prostředí membrány. Membrána musí být pohyblivá, proto nenasycené řetězce mastných kyselin musí být chráněné před oxidací. Pokud by řetězce byly zoxidované, tak by byly více hydrofilní a snažily by se dostat na povrch struktury membrány, aby mohly reagovat s vodou. Tento proces by mohl zničit pohyblivost membrány, která by

začala být propustná, což by způsobilo smrt buňky. Vitamin E tedy chrání lipidy, které zabezpečují pohyblivost membrány. Ostatní antioxidanty tuto schopnost nemají.

Volné radikály oxidují LDL cholesterol. Pro buňky je zoxidovaný (žluklý) LDL cholesterol extrémně toxický. Organismu zaktivuje makrofágy, které mají na své membráně speciální místo, kam se zachycuje zoxidovaný LDL cholesterol. Ten je vtažen do buňky a zlikvidován. Makrofágy však zachycují také určité množství nezoxidovaného LDL cholesterolu. Pokud je výskyt zoxidovaného LDL příliš velký, tak se makrofágy začnou nafukovat a pohybovat velmi pomalu. Nahromadí se přímo pod endotelem arterií a způsobují drobná poranění. Vlivem krvácení se začnou hromadit krevní destičky. Krevní plak velmi rychle roste a může ucpat artérii a spustit tak mechanismus srdeční příhody. LDL je hlavní transportní částice vitaminu E. Každá obsahuje asi sedm molekul tokoferolů. Hlavní a aktivní část se nachází blízko povrchu LDL molekuly, čímž je chráněno nejzranitelnější místo (Papas, 2001).

Tab. 4 Obsah vitaminu E v cereálních produktech (Belitz, et. al, 2009).

Cereální produkty	**mg/100 g**
Pšeničná mouka, typ 550	0,34
Olej z pšeničných klíčků	27,6
Kukuřičné lupínky	0,18
Ovesné vločky	1,5
Rýže neleštěná	0,74
Rýže leštěná	0,18

- ***Účinky vitaminu E na organismus člověka***

Dokonalý účinek zaručuje pouze kompletní řada vitaminu E, což je osm strukturně podobných složek. Potrava obsahuje všech osm sloučenin, ale většina doplňků výživy obsahuje pouze α-tokoferol. Podle výsledků studií je přírodní vitamin E asi dvakrát užitečnější než syntetická forma vitaminu E. Světovými organizacemi FDA a WHO bylo oficiálně stanoveno, že přírodní forma je o 30 % účinnější než forma syntetická. Podle nových studií, při kterých byla použita nová technika vyvinutá vědci se zjistilo, že přírodní forma je oproti syntetické stoprocentní (Papas, 2001).

Vitamin E zamezuje srážení krve a tvorbě krevních sraženin. Předchází tvorbě křečových žil a zánětu žil. Působí preventivně proti vzniku srdeční a mozkové mrtvice (Jordán a Hemzalová, 2001).

Tokotrienoly zpomalují účinek jaterního enzymu, který se účastní syntézy cholesterolu. Tuto schopnost postrádají tokoferoly. Klinické testy prokázaly, že směs tokoferolů a tokotrienolů zpomaluje zužování krční tepny. γ-tokoferol účinně odstraňuje radikály dusíku, které mohou způsobovat artritidu, roztroušenou sklerózu a mozkové choroby jako je např. Alzheimerova choroba. γ-tokoferol také pomáhá v organismu udržovat hladinu α-tokoferolu. Směs tokoferolů a tokotrienolů poskytuje pokožce delší ochranu před volnými radikály než α-tokoferol (Papas, 2001).

γ-tokoferol inhibuje cyklooxigenasu a brzdí syntézu prostaglandinu E_2. Chrání také před karcinomem prostaty (Havlík a Marounek, 2012).

Tokotrienoly mají silné neuroprotektivní a antikarcinogenní účinky. Alfa-tokotrienol v nanomolární koncentraci zabraňuje neurodegeneraci (Sen et al., 2006).

Vitamin E má protizánětlivé účinky, inhibuje cyklooxigenasu a moduluje expresi genů kódujících proteiny účastnící se signalizací. Podílí se na ukládání a transportu lipidů. Po jednom roce užívání α-tokoferolu se snižuje výskyt infaktu myokardu (Conti et al., 2016).

Potřeba vitaminu E je 8-20 mg/den. Zvyšuje se při vyšším příjmu nenasycených mastných kyselin, záření a tělesné námaze až na 50 mg/den. V tkáních se vitamin E nehromadí (Havlík a Marounek, 2012). K nedostatku dochází, pokud je ve 100 ccm krve koncentrace vitaminu E méně než 0,5 mg. Objevuje se hnědý periodní pigment v děloze, mízních uzlinách, slezině, játrech aj. Nedostatek také způsobuje kýlu, poruchy zraku, kornatění cév a zhoršuje únavu a nervovou dráždivost. U dětí dochází k depigmentaci zubů, krátkozrakosti a chudokrevnosti. Nadbytek vitaminu E nezpůsobuje žádné závažné problémy. Vzácně se mohou objevit bolesti hlavy nebo průjem (Jordán a Hemzalová, 2011).

3.2.2 Rutin (quercetin 3-β-rutinosid)

- ***Struktura a charakteristika***

Rutin se dříve označoval jako vitamin P. Patří mezi bioflavonoidy, což je skupina biologicky aktivních flavonoidů. Jejich biologickou funkcí je ovlivňování permeability

a pružnosti krevních kapilár (Velíšek, 2002). Významným zdrojem rutinu je rod *Fagopyrum*. Proto v zemích s nízkým průměrným příjmem flavonoidů by mohla být pohanka setá jejich zdrojem (Moudrý et al., 2005). Rutin má vysokou antioxidační aktivitu ve vodním prostředí (Wanasundara a Shahidi, 1998 in Schmidt, 2011).

- ***Účinky rutinu na organismus člověka***

Rutin vykazuje významné pozitivní účinky na lidský organismus. Snižuje křehkost krevních kapilár, má antioxidační aktivitu, protizánětlivé, antimutagenní a antikarcinogenní účinky a působí na uvolnění hladkého svalstva. Pravděpodobně má i antialergické účinky. Rutin působí především jako antioxidant kyseliny askorbové, která je důležitá v prevenci cukrovky, vysokého krevního tlaku a cévních chorob (Kreft et al., 1994 in Moudrý et al., 2005).

Spolu s dalšími bioflavonoidy zvyšuje rutin hladinu kyseliny askorbové v živočišných orgánech, tak že ji chrání před oxidací nebo zvyšuje její utilizaci v organismu. V přirozených zdrojích kyseliny askorbové jsou obsaženy i bioflavonoidy, proto jsou účinější než syntetický vitamin C. Mezi významné zdroje se řadí pohanka, šípky, citrusové plody a chřest (Velíšek, 2002).

Rutin a quercetin mohou být potenciálními antikarcinogeny proti rakovině střeva a jiných orgánů, mají významný ochranný účinek vůči UV záření a mohou snižovat hladinu krevního cukru. Rutin společně s dalšími polyfenoly může ovlivňovat stravitelnost škrobu tak, že se vytvoří pomalu stravitelný škrob a část nestravitelného škrobu (Kreft et al., 1994 in Moudrý et al., 2005).

Je prokázáno, že rutin a taniny snižují obsah jaterního cholesterolu a plazmových lipidů. Díky těmto vlastnostem se rutin se využívá na výrobu farmaceutických preparátů a kosmetických přípravků (Moudrý et al., 2005).

Rutin a isoquercitrin výrazně zvyšují antioxidační působení katalasy, superoxiddismutasy a glutathionperoxidasy, dále potlačují peroxidaci lipidů a brání oxidačnímu poškození buněk. Quercetin, rutin a isoquercitrin mají neuroprotektivní účinek proti 6-OHDA toxicitě buněk (Magalingam et al., 2016). Komplex rutin-zinek působí pozitivně při léčbě leukémie (Ikeda et al., 2015).

Výsledky studie ukazují, že rutin má antidiabetickou účinnost. U diabetických krys snížil hladinu glukózy, zvýšil hladinu inzulinu v krvi a zlepšil funkci poškozené sítnice (Ola et al., 2015).

- ***Obsah rutinu v pohance***

Pohanka obsahuje průměrně 1,8 % rutinu. Obsah v rostlině může být různý z důvodu rozdílných povětrnostních podmínek v jednotlivých letech (Moudrý et al., 2005). Obsah rutinu v různých druzích pohanky najdeme v tabulce č. 5. Biogeneze rutinu hodně závisí na světelných podmínkách. Pokud je intenzita UV-B záření nižší, tak dojde k nižší koncentraci rutinu v rostlině (Kreft et al., 1994 in Moudrý et al., 2005). Pokud se rostlina delší dobu vystaví dennímu světlu, tak se část polyfenolických látek přemění na barviva a obsah rutinu plynule klesne (Hradecká, 1997 in Moudrý et al., 2005). Negativní vliv na syntézu a ukládání rutinu v zrnu mají vyšší teploty, což se projevuje především během přechodu z mléčné do plné zralosti. Obsah rutinu v zrnu vzrůstá při konstantní teplotě 15 °C (Luthar, Kreft, 1999 in Moudrý et al., 2005). Tvorbu rutinu ve stonku může zvýšit hnojení dusíkem.

V semenech a listech pohanky tatarské je obsaženo vyšší množství rutinu než v pohance obecné. Nejvyšší koncentrace rutinu je na počátku kvetení rostliny. V době květu se v květech nachází 68 % rutinu. Pro farmaceutické účely je optimální doba sklizně ve fázi plného květu. V listech se nachází největší množství rutinu na počátku jejich vývoje (Moudrý et al., 2005). Vysoká koncentrace rutinu v nažce je především ve slupce. V mouce vyrobené z neloupaných nažek se nachází asi 60 % z celkového obsahu rutinu (Couch et al., 1946 in Moudrý et al., 2005). Nejmenší ztráty jsou při krátkodobém sušení při vysoké teplotě. Loupání a zároveň tepelné ošetření nažek snižuje obsah rutinu o 1 až 21 % ve slupkách a o 17 až 75 % v kroupách (Dietrych-Szostak, Oleszek, 1999 in Moudrý et al., 2005).

Obsah rutinu a bílkovin v nažce je v negativní korelaci. Největší obsah rutinu byl zaznamenán v čaji z květů pohanky (Park et al., 2000 in Moudrý et al., 2005).

Tab. 5 Obsah flavonoidů a rutinu v různých druzích pohanky (Jiang et al., 2007).

	Flavonoidy celkem (%)	**Rutin (%)**
Pohanka setá *(F. esculentum)*	0,037 ± 0,008	0,020 ± 0,004
Pohanka divoká *(F. homotropicum)*	0,351 ± 0,061	0,101 ± 0,036
Pohanka tatarská *(F. tataricum)*	2,038 ± 0,083	1,669 ± 0,093

3.3 Obilniny

Obilniny jsou nejstarší kulturní rostliny pěstované lidmi. První nálezy pochází z mladší doby kamenné z oblastí Efratu a Tigridu, z Číny a povodí Nilu (Bulková, 2001). Botanicky se obilniny řadí mezi jednoleté zušlechtěné traviny (Bulková, 2011). Patří do čeledi Lipnicovitých *(Poaceae).* Plodem obilniny je obilovina, která se botanicky nazývá obilka nebo zrno (Burešová a Lorencová, 2013).

Obilniny ovlivňují výživovou bilanci světové populace. Podle údajů FAO dodávají lidstvu téměř polovinu energetické hodnoty ve stravě. Tvoří jednu z hlavních položek světového obchodu. Cereálie se řadí mezi funkční potraviny, protože obsahují i biologicky účinné látky jako např. flavonoidy, karotenoidy, fytáty a glukanáty (Moudrý et al., 2005). V současnosti se pěstují po celém světě, všude tam, kde jsou pro ně vhodné podmínky (Bulková, 2011).

3.3.1 Pšenice *(Triticum)*

- ***Botanická charakteristika***

Rod pšenice patří do čeledi Lipnicovitých *(Polygonaceae).* Nejdůležitější druhy jsou pšenice obecná *(Triticum aestivum)* a pšenice tvrdá *(Triticum durum).* Pšenice je rostlina jednoděložná a má dvě formy: ozimou a jarní (Bulková, 2011). Listy pšenice jsou přisedlé, složené z čepele a pochvy. Květenství je složený klas (Zimolka et al., 2005). Obilky mají výraznou podélnou rýhu (Bulková, 2011). Pšenice špalda má pluchatou obilku (Zimolka et al., 2005).

- ***Chemické složení pšenice***

Z pšeničných bílkovin jsou nejdůležitější lepkové bílkoviny: gliadin a glutein. Lepek má schopnost tvořit pružný gel, který drží strukturu těsta. Bílkoviny pšenice mají významný obsah cysteinu, fenylalaninu, izoleucinu, leucinu, lysinu, methioninu,, treoninu a tryptofanu. Významné nenasycené mastné kyseliny jsou linolová, linolenová a olejová. Největší podíl ze sacharidů tvoří zásobní polysacharid škrob. Škrob a lepek vytváří koloidně-chemickou strukturu těsta. Pšenice obsahuje vitaminy skupiny B a

tokoferoly a z antioxidantů např. fenolové kyseliny, glykosidy, flavonoidy a fosfolipidy. Zastoupení sloučenin v zrnu pšenice je znázorněno v tabulce č. 6.

Pšenice špalda má vyšší obsah bílkovin, esenciálních aminokyselin a lepku než klasická pšenice (Bulková, 2011).

Tab. 6 Chemické složení zrna pšenice (Serna-Saldivar, 2010).

Sloučeniny	**%**
Sacharidy	
Škrob	67,5
Amylóza	24,9
Rozpustné cukry	2,3
Vláknina celkem	12,1
Rozpustná vláknina	1,7
β-glukany	0,8
Pentosany	4,9
Proteinové frakce	
Albuminy	16
Gluteliny	35
Aminokyseliny	
Lysin	2,3
Leucin	6,5

- ***Antioxidanty v pšenici***

Mezi hlavní fenolické látky v zrnech pšenice patří fenolové kyseliny, flavonoidy a antokyany. V největší koncentraci se vyskytuje kyselina ferulová (74-87 mg/100g). V malém množství se nachází kyselina vanilinová, p-kumarová a sinapová. Otruby pšenice obsahují především kyselinu fenolovou, flavonoidy a žluté pigmenty, které jsou poměrně dobře stravitelné. Tabulka č. 2 uvádí celkový obsah lipofilních antioxidantů v extraktech různých druhů pšenice.

Sloučeniny z aleuronové vrstvy zrna mají nejvyšší antioxidační kapacitu a prodloužený protizánětlivý účinek. Při fermentaci zrn pšenice dochází ke zvyšování obsahu fenolových kyselin (Masisi et al., 2015).

Tab. 7 Celkový obsah lipofilních antioxidantů v extraktech různých druhů pšenice (Ziegler et al., 2016).

Kultivar	Celkový obsah (nmol/ml extraktu)			
	Lutein	tokochromanol	alkylresorcinol	sterylferulát
Julius (chlebová pšenice)	0,05	5,31	132,4	11,2
Skalmeje (chlebová pšenice)	0,20	8,13	112,9	12,1
Lupidur (chlebová pšenice)	0,08	3,03	78,7	5,8
Karur (durum)	0,09	3,98	59,9	7,2
Wintergold (durum)	0,23	6,91	231,2	4,1
Terzino (einkorn)	0,64	10,55	123,7	16,3
Monlis (einkorn)	0,61	6,46	112,0	17,9

3.3.2 Ječmen (*Hordeum*)

- ***Botanická charakteristika***

Ječmen patří mezi nejstarší kulturní rostliny. Předchůdcem dnešních druhů je ječmen víceřadý *(Hordeum agriocrithon)* (Zimolka et al., 2006). Patří do čeledi Lipnicovitých *(Polygonaceae).* Ječmen má různé formy: bezpluché, dvouřadé, čtyřřadé a šestiřadé. Tyto formy se liší také svým složením (Bulková, 2011). Ječmen setý se člení na

convariety: ječmen setý, víceřadý (*Hordeum vulgare convar. vulgare)*, ječmen setý, přechodný *(Hordeum vulgare convar. intermedium),* ječmen setý, dvouřadý *(Hordeum vulgare convar. distichon)* a ječmen setý, různotvarý, labilní *(Hordeum vulgare convar. labile).* U ječmene setého, víceřadého se rozlišuje typ šestiřadý a čtyřřadý. Květenství ječmene je složený nerozvětvený klas (lichoklas). Obilka může mít světle žlutou, oranžovou, hnědou, fialovou až modročernou barvu (Zimolka et al., 2006).

- ***Chemické složení ječmene***

Bílkoviny ječmene tvoří albuminy, globuliny a gliadin. Významný je vyšší obsah leucinu, fenylalaninu, valinu, tryptofanu a lysinu. V zrnu je menší podíl lepkových bílkovin než v pšenici, proto těsto z ječné mouky špatně drží strukturu a pečivo je málo nadýchané. Z nenasycených mastných kyselin má ječmen vyšší obsah kyseliny olejové, linolové a linolenové. Velkou část zrna tvoří škrob. Mezi důležité polysacharidy patří β-D-glukany, které tvoří rozpustnou vlákninu. Ječmen obsahuje vitaminy skupiny B a tokoferoly. Důležité jsou antioxidanty, jako např. lignany, fenolové kyseliny, glykosidy a flavonoidy (Bulková, 2011). Chemické složení zrna ječmene je popsáno v tabulce č. 7.

Tab. 8 Chemické složení zrna ječmene (MacGregor a Bhatty, 1996).

Složky	**%**
Sacharidy	78-83
Škrob	63-65
Sacharóza	1-2
Ostatní cukry	1
Celulóza	4-5
Lipidy	2-3
Proteiny	10-12
Albuminy a globuliny	3,5
Hordeiny	3-4
Gluteliny	3 - 4
Nukleové kyseliny	0,2–0,3
Minerální látky	2
Ostatní látky	5-6

- ***Antioxidanty v ječmenu***

Za antioxidační působení ječmene v závisloti na odrůdě jsou zodpovědné tři fenolické skupiny: flavan-3-oly, hydroxyskořicové kyseliny a flavony. Hlavní antioxidační aktivitu mají flavan-3-oly. Během dormance jsou obilky ječmene bohaté na volné fenolové kyseliny (Lachman et al., 1998). V zrnech ječmene byly identifikovány formy salicylové, *p*-hydroxybenzoové, vanilinové, protokatechinové, *p*-kumarové, syringové, ferulové a sinapové kyseliny (Charles, 2013).

V ječmenu se vyskytuje vyšší obsah tokotrienolů než tokoferolů, což znázorňuje tabulka č. 9. Nižší obsah vitaminu E a antioxidační kapacity byl pozorován u genotypu hulles a barevných genotypů (Do et al., 2015). Odrůda Highland je vynikajícím zdrojem fenolických sloučenin, z nichž dominantní je kyselina ferulová. Volné fenolické látky mají vyšší buněčnou dostupnost a antioxidační aktivitu než vázané. Vykazují antiproliferativní účinky vůči rakovinným buňkám lidských jater (Zhu et al., 2015).

Ječmen je hlavním zdrojem β-glukanů, které mají pozitivní vliv na lidský organismus a jsou důležité pro technologické vlastnosti potravin (Limberger-Bayer et al., 2014).

Tab. 9 Celkový obsah tokoferolů a tokotrienolů v různých genotypech ječmene v době sklizně (Do et al., 2015).

	Obsah (µg/g suché hmotnosti)	
Genotyp	Tokoferoly	Tokotrienoly
Jet	5,25	15,4
Sumire mochi	10,04	50,05
Macumba	9,73	47,57
Finniss	10,29	58,98
Tadmor	12,37	54,90
Vlamingh	14,33	66,55
Commander	14,94	73,66
Buloke	17,55	67,98
Fleet	14,42	67,74
Harrington	15,20	87,23
Chebec	15,50	76,22
Alexis	16,89	66,60

3.4 Pseudocereálie

Pseudocereálie se liší od obilovin tím, že botanicky nepatří do čeledi lipnicovitých *(Poaceae)* a patří mezi dvouděložné rostliny. Mají vyšší nutriční hodnotu než obiloviny, a protože neobsahují lepkové bílkoviny, používají se na výrobu bezlepkových potravin (Burešová a Lorencová, 2013). Alternativní plodiny se uplatňují v racionální výživě, při dietách a ve farmaceutickém průmyslu (Moudrý et al., 2005).

3.4.1 Pohanka (*Fagopyrum*)

- ***Botanická charakteristika***

Pohanka pochází z oblastí střední Asie a na naše území se dostala ve středověku. Pěstuje se více druhů: pohanka setá (*Fagopyrum eskulentum)*, pohanka tatarská *(Fagopyrum tataricum)* a pohanka divoká *(Fagopyrum homotropicum)* (Bulková, 2011). Pohanka patří do čeledi rdesnovitých *(Polygonaceae).* Je to dvouděložná, jednoletá rostlina s načervenalým stonkem. Podle typu fotosyntézy se jedná o rostlinu C_3. Květy jsou bílé nebo narůžovělé. Plodem pohanky je trojboká nažka o velikosti 4 – 7 x 3 – 4 mm. Barva nažky může být stříbřitě šedá, hnědá, až fialově černá. U oloupaných nažek se stárnutím mění barva ze světle zelené na hnědou (Moudrý et al., 2011).

- ***Chemické složení pohanky***

Energetická hodnota jednoho zrna je 335 kcal (Campbell, 1997). Bílkoviny jsou tvořeny převážně albuminy a globuliny a mají vyváženou skladbu aminokyselin. Z esenciálních aminokyselin mají semena vyšší obsah valinu, leucinu, lysinu, fenylalaninu, methioninu a cysteinu. Biologická hodnota pohankové bílkoviny je 93 %. Vysoký je také obsah nenasycených mastných kyselin, a to především kyseliny linolové a α-linolenové. Sacharidy jsou nejvíce zastoupeny škrobem. Z minerálních látek tvoří významný obsah fosfor. Pohanka se vyznačuje obsahem bioflavonoidních antioxidantů, z nichž je důležitý hlavně rutin. Nejvyšší koncentrace rutinu je v zelené nati a květech. Významné je také množství vitaminu B_1, B_2, B_3 a E (Bulková, 2011). Obsah nejdůležitějších složek v zrnu pohanky je shrnutý v tabulce č. 8.

Tab. 10 Chemické složení zrna pohanky (Wrigley et al., 2015).

Složky	**%**
Sacharidy	58,5–73,5
Proteiny	10,0–14,5
Lipidy	2,0–2,6
Vláknina	9,3–10,9
Popeloviny	2,0–2,5
Vlhkost	12,0–14,0

- ***Antioxidanty v pohance***

V aleuronové vrstvě pohanky je obsažena vázaná kyselina syringová, *p*-hydroxybenzoová, vanilinová, a *p*-kumarová (Charles, 2013). Rostliny pohanky obsahují i další látky ze skupiny polyfenolů, které se nachází hlavně v reprodukčních orgánech. Jsou to orienrin, vitexin, isovitexin a isoorientin. V tabulce č. 11 je znázorněno zastoupení fenolických látek v semenech pohanky.

Anthokyany se nachází v hypokotylu. Květy pohanky obsahují především fenolové kyseliny, mezi které patří kyselina ferulová, vanilinová, chlorogenová, p-kumarová, trans-ferulová, p-anisová, salicylová a methoxyskořicová (Sytar, 2015). Ve studii byl identifikován kyanidin-3 glukosid, kyanidin-3-galaktosid, ze kterých pravděpodobně vzniká kyanidin-3-rhamnosylgalaktosid v hypokotylu pohanky (Moudrý et al., 2005).

V čaji z pohanky tatarské je nižší obsah rutinu, ale vyšší obsah kvercetinu. Koncentrace kvercetinu je přímo úměrná antioxidační aktivitě (Peng et al., 2015).

Tab. 11 Fenolické látky v semenech pohanky (Karamac et al., 2015).

Fenolové kyseliny	5-*O*-caffeoylquiniová kyselina kávová kyselina *p*-kumarová kyselina gallová kyselina
Flavonoly	rutin hyperosid quercitrin

	quercetin
Flavony	homoorientin orientin vitexin isovitexin
Flavan-3-oly	katechin epikatechin epikatechin gallát

3.4.2 Amarant *(Amaranthus)*

- ***Botanická charakteristika***

Amarant (laskavec) pochází ze střední Ameriky (Bulková, 2011). Patří do čeledi laskavcovité *(Amaranthaceae).* Jedná se o jednoletou dvouděložnou kulturní rostlinu s typem fotosyntézy C_4. Listy amarantu jsou ploché, řapíkaté, většinou kosníkovitého tvaru (Zadák, Matušová et al., 2011). Nejvíce se pěstují tři druhy: *Amaranthus hypochonriacus, Amaranthus caudatus* a *Amaranthus cruentus.* Pro potravinářské účely se také pěstují druhy: *Amaranthus edulis* a *Amaranthus hybridus,* které mají žlutá nebo béžová semena (Bulková, 2011).

- ***Chemické složení amarantu***

Amarant se vyznačuje nezvykle vysokým obsahem lysinu a methioninu. Proteiny, které poskytuje jsou dobře stravitelné (Murray, Pizzorno, 2011). Amarant obsahuje především albuminy a globuliny a minimální množství prolaminů, které nejsou toxické pro pacienty s celiakií. Mezi aminokyselinami dominují lysin, treonin, tryptofan a sirné aminokyseliny. V pohance se nachází vysoký obsah kyseliny palmitové a linolenové. Hlavní polysacharid pohanky je škrob. Jeho kvalita ovlivňuje konzistenci a chuť pohankové kaše. Vláknina se v pohance nachází především rozpustná. Pohanková mouka je významným zdrojem zinku a mědi. Zásaditá reakce pohankové kroupy příznivě ovlivňuje rovnováhu v trávicím traktu (Moudrý et al., 2005). Obsah látek v zrnech amarantu najdeme v tabulce č. 10.

Tab. 12 Chemické složení zrna amarantu (ve 100 g) (Campbell, 1997, Murray, Pizzorno, 2011).

Energetická hodnota (kcal)	374
Vlhkost (%)	9,3
Proteiny (g)	15,3
Lipidy (g)	7,1
Kyselina linoleová (g)	2,834
Sacharidy (g)	63,1
Vláknina (g)	15,2
Vápník (mg)	490
Železo (mg)	22,4
Fosfor (mg)	453
Lysin (mg)	747
Methionin (mg)	226
Vitamin C (mg)	4,2
Vitamin B_2 (mg)	0,208
Kyselina listová (μg)	49
Fytosteroly (mg)	24

- ***Antioxidanty v amarantu***

Výtažky z listů amarantu vykazují větší antioxidační účinky než výtažky ze semen (López-Mejía et al., 2014). Zastoupení antioxidačních sloučenin v extraktu ze semen a listů amarantu je znázorněno v tabulce č. 13.

Při hydrolýze proteinů amarantu dochází ke vzniku produktů, které mají vysokou antioxidační aktivitu (Masisi et al., 2015). Ve studii z roku 2016 byly vystaveny proteiny amarantu simulovanému gastrointestinálnímu trávení. Čtyři peptidy vykazovaly zajímavé antioxidační účinky (Orsini Delgado et al., 2015). Podle výsledků studie z roku 2015 mají sušenky vyrobené z naklíčených semen amarantu mnohem vyšší antioxidační aktivitu než sušenky vyrobené z mouky (Chauhan et al., 2015).

Tab. 13 Antioxidační sloučeniny v extraktu ze semen a listů amarantu (López-Mejía et al., 2014).

Extrakt ze semen amarantu	Kofein
	Squalen
	Kyselina vanilinová
	4-methyl-1-naftalenol
	24,25-dihydroxyvitamin D
	Methyl ester kyseliny 9-oktadecenové (2-fenyl-1,3-dioxolan-4-yl)
	2H-1,2-oxazine, 6-(-4chlorofenyl) tetrahydro-2-methyl
Extrakt z listů amarantu	Fenol-4-(2-(dimethylamino)ethyl)
	Kyselina 2-propenová, 3-(2,3-dimethoxyfenyl)
	2-methoxy-4-vinylfenol
	24,25-dihydroxyvitamin D
	5-methyl-2-(N-ethyl-p-chlofenylamino)-2-thiazolin
	Methyl ester kyseliny retinové

3.5 Zelený ječmen

3.5.1 Zpracování zeleného ječmene

Jsou tři způsoby zpracování. První způsob je nejjednodušší a také nejlevnější. Ječné listy se sklidí, opláchnou, co nejdříve vysuší a velice jemně se nadrtí. Prášek však obsahuje i vlákninu, která je pro lidský organismus nestravitelná a drsným způsobem čistí střeva jako „kartáč“. Nutričně významné složky tak odchází z těla ven stolicí.

Při druhém způsobu se sklidí ječné listy, opláchnou se a zmrazí se. Spotřebitel si produkt rozmrazí a na speciálních odšťavňovačích si trávu vylisuje.

Třetí způsob zpracování je nejnáročnější. Ječná tráva se sklidí, opláchne a vylisuje. Vylisovaná šťáva se ve speciálním zařízení při teplotě maximálně 31 °C rychle vysuší. Vznikne 100% čistý, nepasterizovaný prášek pro přípravu ječné šťávy. Zpracování

probíhá pouze několik hodin, proto jsou zachovány účinné složky. Prášek je sám o sobě světle zelený, ale po rozpuštění ve vodě získá sytě zelenou barvu. Prášek se musí skladovat v suchu a temnu při pokojové teplotě.

O obsahu živých složek v prášku je možné se přesvědčit pomocí testu horkou vodou. Prášek se rozmíchá v horké vodě a pozoruje se reakce. Živá, dosud nedenaturovaná bílkovina se shlukne a na hladině vytvoří vysrážený povlak. (Rathouský, 2009).

3.5.2 Chemické složení zeleného ječmene

Zelený ječmen obsahuje velké množství vitaminů. β-karoten je prekurzor vitaminu A. Má silné antioxidační vlastnosti a podílí se na opravách genu P53, který ochraňuje organismus před rakovinou. Zelený ječmen obsahuje dvakrát více β-karotenu než mrkev. Vitaminy skupiny B jsou nezbytné pro správnou funkci nervové soustavy. Vitamin C se v zeleném ječmeni nachází ve velkém množství, které je sedmkrát vyšší než v pomerančích. Je to silný antioxidant a chrání vitamin A a E před degradací. Vitamin E také vykazuje silnou antioxidační aktivitu a zlepšuje reprodukční funkci. Vitamin H je důležitý pro správnou funkci některých enzymů.

Minerální látky se v mladém ječmeni nachází v organické formě, což zajišťuje lepší využitelnost v organismu. Minerály se také nachází v příznivých vzájemných poměrech. Významný je především jeho obsah vápníku a draslíku. Draslík je důležitý pro funkci různých enzymů. Hořčík je nezbytný pro vstřebávání vitaminu C a B. Kobalt je významnou součástí některých enzymů a vitaminů. Mangan se uplatňuje v enzymatickém systému. Selen je důležitý antioxidant, který zpomaluje stárnutí a podílí se na vylučování karcinogenních látek z těla. Zinek je součástí řady enzymů.

Zelený ječmen obsahuje všechny esenciální aminokyseliny, které jsou navíc vázány v proteinech s nízkou molekulovou hmotností. Tyto bílkoviny jsou lépe stravitelné než živočišné. Obsažené aminokyseliny mají také příznivý vzájemný poměr.

V ječných listech se nachází velké množství vlákniny, která je důležitá pro správnou peristaltiku střev a preventivně působí proti rozvoji rakoviny střev (Dallen, 2010). V tabulce č. 11 je znázorněno zastoupení a obsah nutričně významných složek ve šťávě ze zeleného ječmene.

V extraktu zeleného ječmene je obsaženo více než 20 enzymů (Rathouský, 2009). Enzymy tvoří asi 40 % jeho hmotnosti (Dallen, 2010). Mezi významné enzymy patří

superoxiddismutasa (SOD), která likviduje volné radikály, cytochromoxidasa urychluje oxidaci a redukci, katalasa rozkládá peroxid vodíku na kyslík a vodu, oxidasa řídí využití mastných kyselin, transhydrogenasa udržuje funkci srdeční tkáně (Rathouský, 2009). Biofyzik Richard Cufe zjistil, že množství superoxiddismutasy v organismu některých savců ovlivňuje délku jejich života (Dallen, 2010).

Profesor Osawa a kolektiv v roce 1992 izoloval z ječných lístků antioxidant 2“-O-glykosyl isovitexin. Profesor Shibamota uvádí, že tento antioxidant v buňkách tlumí peroxidaci lipidů (Rathouský, 2009).

Tab. 14 Složení zeleného nápoje z mladého ječmene (Rathouský, 2009).

Chlorofyl	300 mg/100 g
Proteiny	280 mg/g
Sacharidy	500 mg/g
Vitaminy	
β-karoten	1370 IU/g
Vitamin A	50 IU/100 g
Vitamin B_1	0,43 mg/100 g
Vitamin B_2	2,41 mg/100 g
Vitamin B_3	3,63 mg/100 g
Vitamin B_5	5,1 mg/100 g
Vitamin B_6	17,8 mg/100 g
Vitamin H	0,8 mg/100 g
Vitamin C	457 mg/100 g
Vitamin E	22,5 IU/100 g
Vitamin K	0,78 mg/100 g
Kyselina listová	1,5 mg/100 g
Aminokyseliny	
Alanin	16,9 mg/g
Methionin	3,6 mg/g
Arginin	13,4 mg/g
Fenylalanin	13,0 mg/g
Prolin	14,8 mg/g

Serin	11,4 mg/g
Glycin	12,4 mg/g
Threonin	11,5 mg/g
Histidin	5,22 mg/g
Tyrosin	8,29 mg/g
Isoleucin	18,2 mg/g
Valin	13 mg/g
Leucin	18,2 mg/g
Lysin	14,6 mg/g
Kyselina asparagová	19,7 mg/g
Kyselina glutamová	26,1 mg/g
Minerální látky	
Vápník	6,8 mg/g
Draslík	40,5 mg/g
Hořčík	0,03 mg/g
Železo	0,37 mg/g
Křemík	0,04 mg/g
Sodík	6,41 mg/g
Fosfor	3,94 mg/g
Bór	58 mcg/g
Mangan	0,14 mg/g
Měď	0,09 mg/g
Stříbro	0,50 mcg/g
Chróm	1,09 mcg/g

3.5.3 Účinky zeleného ječmene na organismus člověka

Kvalitu zeleného ječmene vytváří především obsah chlorofylového pigmentu. Krevní barvivo hemoglobin má podobnou chemickou strukturu jako chlorofyl (Rathouský, 2009). Organická struktura je totožná a liší se pouze atomem kovu ve svém středu. Centrální atom hemoglobinu je železo, u chlorofylu je to hořčík (Dallen, 2010). Podle

Dr. Swopeové chlorofyl mění zelenou krev rostlin v lidském těle na červenou krev. Rostliny díky chlorofylu žijí a lidé dýchají.

Chlorofyl má mnoho pozitivních účinků na zdraví: zlepšuje krevní obraz, urychluje hojení ran a popálenin a chrání tělo před infekcí a záněty tím, že zlepšuje přenos kyslíku. Léčitelé tvrdí, že v chlorofylu je zakoncentrováno sluneční světlo a energie (Rathouský, 2009). Zelené nápoje léčí lidi trpící poruchou krvetvorby nebo anémií a pokud užívají železo spolu s chlorofylem je tento účinek mnohonásobně vyšší. V roce 1936 lékař Arthur Patek léčil 15 pacientů trpících anémií kombinací železa a nápoje obsahujícího chlorofyl. Zjistil, že u těchto lidí se zvyšuje počet červených krvinek a hladina hemoglobinu mnohem rychleji než u lidí, kteří užívali pouze železo. Chlorofyl také pomáhá odstranit chronické akné vnitřním i vnějším užíváním. Donald Frye z Kalifornské univerzity zkoumal účinky zelených potravin na mužskou plodnost. Zjistil, že chlorofyl a další obsažené látky podporují zvýšení počtu spermií. Chlorofyl je také účinný v prevenci nádorových onemocnění. V roce 1994 byl publikovaný výzkum odborníků z Havajské univerzity, který u laboratorních potkanů prokázal, že užívání chlorofylu snižuje vstřebávání rakovinotvorných látek, které se vyskytují v grilovaném mase a uzeninách (Dallen, 2010).

Zelené nápoje se vyznačují vysokou přirozenou antioxidační aktivitou a chrání před různými druhy záření. Šťáva z mladého ječmene je přínosná pro děti, protože má stejné pH jako mateřské mléko. (Rathouský, 2009).

V roce 2016 byla studována antioxidační kapacita polyfenolů in vitro a in vivo získaných z černého horského ječmene. Bylo zjištěno, že obsahuje významný antioxidant BHLPE. Tento antioxidant byl podávaný myším, u kterých došlo ke snížení celkového cholesterolu, snížení hladiny LDL cholesterolu, poklesu aterosklerózy a ke zvýšení hladiny HDL cholesterolu. Výsledky naznačují, že BHLPE má velký potenciál jako přírodní antioxidant na podporu zdraví a snížení rizika onemocnění (Shen, et. al, 2016). V jiném výzkumu z roku 2016 bylo také zjištěno, že obsah polyfenolů v ječmeni se několikanásobně zvyšuje v průběhu výroby sladu, kdy intenzita se liší podle odrůdy. Zvýšilo se především množství kyseliny ferulové (Tomková-Drábková, et. al, 2016). Studie z roku 2007 se zabývala působením šťávy z mladého ječmene na roztroušenou sklerózu. Ječná šťáva nejvíce působila v I. - III. stádiu onemocnění, kdy došlo k výraznému zlepšení a upravení klinických projevů, a také se docílilo zlepšení

subjektivních příznaků. Ve IV. a V. stádiu došlo ke stabilizaci stávajícího stavu a zpomalení postupu onemocnění (Rathouský, 2009).

3.6 Analýza antioxidantů

3.6.1 Stanovení antioxidační aktivity

Pro měření antioxidační aktivity látek nebo extraktů se využívají chemické a fyzikální metody. Základním principem chemických metod je použití činidel, které poskytují barevné produkty s volnými kyslíkovými radikály. Intenzita zbarvení se potom většinou měří spektrofotometricky (Karadag et al., 2009 in Schmidt, 2011). Fyzikální metody sledují změny fyzikálních vlastností, např. elektronová paramagnetická rezonance nebo chemiluminescence (Elias et al., 2009 in Schmidt, 2011). Metody jsou založeny na schopnosti antioxidantů zhášet volné radikály. Stanovuje se aktivita látek při zhášení iniciátorů řetězových reakcí (Schmidt, 2011).

- ***Metoda ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity)***

Metoda ORAC se používá na stanovení antioxidační kapacity. Je založena na zhášení fluorescence. Vyjadřuje schopnost antioxidantů chránit proteiny před poškozením volnými radikály (Bisby et al., 2008 in Schmidt, 2011).

- ***Metoda FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)***

Pomocí metody FRAP se stanovuje spektrofotometricky antioxidační aktivita. Vyjadřuje schopnost antioxidantů redukovat Fe^{3+} ionty. Železito-tripyridyltriazinový komplex je při nízkém pH a v přítomnosti antioxidantu redukovaný na železnatou formu. Redukce se projeví vznikem intenzivně modrého zbarvení (Smet et al., 2006 in Schmidt, 2011). Metoda je jednoduchá a ekonomicky nenáročná, ale nezahrnuje antioxidanty obsahující -SH skupiny (Cao a Prior, 1998 in Schmidt, 2011).

- ***Metoda TRAP (Total Radical trapping Parameter)***

Metoda TRAP se používá na stanovení celkové antioxidační aktivity krevního séra a biologických tkání. Stanovuje se rychlost peroxidace vzorku vyvolané 2,2-diazobisdihydrochlorid. Po přídavku iniciátoru je je průběh oxidace monitorovaný

měřením spotřeby kyslíku. Během indukční periody je oxidace inhibovaná přítomnými antioxidanty (Schmidt, 2011).

- ***Metoda TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity)***

Tato metoda stanovuje celkovou antioxidační kapacitu. Principem je použití činidla, které iniciací jiných látek přechází na barevnou a stabilní radikálovou formu. Pokud jsou v potravině přítomny antioxidační látky, tak se radikálová forma redukuje a odbarvuje. Relativní antioxidační kapacita se vyjadřuje jako koncentrace Troloxu se stejnou antioxidační kapacitou jako má 1 mmol, 1 ml nebo 1 g stanovovaného vzorku. Trolox je rozpustný analog vitaminu E (Kaur a Geetha, 2006 in Schmidt, 2011).

Používá se také metoda ABTS. Principem je inhibice vzniku radikálového kationtu 2,2-azinobis pomocí $ABTS^{+}$ antioxidantů, které se nachází v biologickém materiálu. Nevýhodou je ovlivnění změnami koncentrací albuminu, bilirubinu, kyseliny močové a askorbátu (Štípek et al., 2000).

- ***Metoda CUPRAC (Cupric Reducing Antioxidant Capacity)***

Metoda se využívá pro stanovení celkové antioxidační kapacity poživatin. Principem je redukce Cu^{2+} na Cu^{+}. Redukovadla jsou antioxidanty přítomné ve vzorku. Jako činidlo se používá měďnatý komplex neokuproin. Prekurzorem radikálu může být i látka ABTS. Metoda je rychlá a dostatečně citlivá na hydrofilní i lipofilní antioxidanty (Apak et al., 2007 in Schmidt, 2011).

- ***Elektronický nos***

Metoda elektrický nos stanovuje oxidační poškození potravin. Plynový senzor analyzuje prchavé produkty oxidace lipidů, které vznikají např. při skladování. Kalibrace se provádí pomocí senzorické analýzy (Haugen a Undeland, 2003 in Schmidt, 2011). Metoda se využívá např. Pro identifikaci chuťových přísad do potravin. Výhodou je rychlost a skutečnost, že analyzovaný vzorek se nezničí. V budoucnu může mít tato metoda uplatnění v terénu (Schmidt, 2011).

- ***Stanovení peroxidovatelnosti lipoproteinů***

Účelem metody je posouzení antioxidační kapacity LDL, popřípadě VLDL. Principem je indukce peroxidace lipidů v suspenzi izolovaných lipoproteinů ve spektrometru pomocí Cu^{2+}. Po několik hodin se poté sleduje při 234 nm kinetika tvorby konjugovaných dienů (Štípek et al., 2000).

- ***Stanovení aktivity enzymu superoxiddismutasy (SOD) v ječmenu***

SOD se nachází především v embriu zrna ječmene a menším množství se nachází i v aleuronové vrstvě. SOD je důležitý i ve sladu, kde zabraňuje žluknutí během skladování, což se může pozitivně odrážet na pivu. Byla zjištěna vyšší aktivita SOD ve sladu a v zelené hmotě než v zrnu.

Cílem metodiky je spektrofotometrické stanovení antioxidačního enzymu superoxiddismutasy v ječmenu pomocí kitu Ransod původně určeného pro stanovení SOD v krvi. Toto stanovení poskytuje v kratším čase plnohodnotné výsledky ve srovnání s dříve používanou metodikou dle Bamfortha.

Princip metody je založen na využití xanthinu a xanthinoxidasy, vytvářející superoxidový radikál, který reaguje s tetrazoliovou solí na červeně zabarvený formazán. Aktivita SOD se měří na základě stupně inhibice této reakce. K reakci dochází při teplotě 37 °C a absorbanci 505 nm.

Vzorky se musí zhomogenizovat a pomlet. Poté se rmutují 15 minut při teplotě 45 °C ve rmutovacím přístroji. Po uplynutí této doby se vzorky samovolně nechají zchladit 30 minut na teplotu 25 °C a poté se jednu hodinu filtrují. Takto upravené vzorky se skladují 18 hodin při teplotě 4 °C a jsou zředěny fosfátovým pufrem. Dále se provede měření absorbance, kdy se do kyvety napipetuje vzorek a substrát. Směs se opatrně promíchá, vloží do spektofotometru a inkubuje se 2 min při 37 °C. Poté se přidá xanthinoxidasa, která odstartuje reakci.

Aktivita se vypočte pomocí vzorce a procenta inhibice se vynesou do grafu kalibrační křivky, kde se odečte odpovídající logaritmus koncentrace při základu deset. Po odlogaritmování se hodnota vynásobí ředícím koeficientem a tento výsledek se uvádí v mezinárodních jednotkách U/ml (Březinová Belcredi a Ehrenbergerová, 2009).

3.6.2 Stanovení obsahu antioxidantů

- ***Stanovení tokoferolů, karotenoidů a retinoidů***

Pro stanovení tokoferolů, karotenoidů a retinoidů existuje celá řada metod. Před stanovením musí být vzorky uchovány v temnu při teplotě nejlépe -80 °C. Nejdříve se pomocí hexanu anaerobně extrahuje plazma nebo lipoproteiny. Hexan se poté odpaří a extrakt rozpustí v propanolu. Poté se extrakt analyzuje pomocí HPLC (Štípek et al., 2000).

- ***Stanovení glutathionu***

Ke stanovení se používají jednoduché enzymové metody s použitím GSSG-rekuktasy. Lze použít také kolonové metody. Glutathion se musí nejdříve derivatizovat spolu s jinými thioly pomocí 2-vinylpyridinu. Vzorek se pak zpracuje na iontoměničové koloně v analyzátoru aminokyselin. Využívají se také fluorescenční metody (Štípek et al., 2000).

- ***Stanovení stopových prvků***

Účelem stanovení je hodnocení významných složek antioxidačních enzymů a katalyzátorů radikálových reakcí. Hodnotí se zejména selen, zinek železo a měď. Nejčastěji se používá atomová absorpční spektrometrie, hmotnostní spektrometrie s induktivně vázaným plazmatem, optická emisní spektrometrie a neutronová aktivační analýza. Před stanovením je důležitá především příprava materiálu a zamezení možné kontaminace. Jedná se o ekonomicky a technicky náročné metody (Štípek et al., 2000).

4 ZÁVĚR

Bakalářská práce je rozdělena do čtyř částí. V první části jsou obecně charakterizovány antioxidanty. Dále je popsaný mechanismus účinku, rozdělení a biologická aktivita antioxidantů. Práce je zaměřena především na přírodní antioxidanty, které se nachází v rostlinách. Mezi nejvýznamnější patří fenoly, flavonoidy, tokoferoly, tokotrienoly, karotenoidy a steroly. Vitamin E je velmi důležitý pro ochranu buněčných membrán a lipidů před oxidací. Rutin působí jako antioxidant kyseliny askorbové a snižuje křehkost krevních kapilár. Beta-glukany snižují hladinu glukózy v krvi a pozitivně ovlivňují imunitní systém.

V další části je vypracováno chemické složení a zastoupení antioxidantů v obilovinách a pseudocereáliích. Pšenice obsahuje fenolové kyseliny, flavonoidy a žluté pigmenty. Ječmen se vyznačuje obsahem β-glukanů, tokoferolů a tokotrienolů. V pohance najdeme především rutin, quercetin a kyselinu kávovou a amarant je bohatý na kofein, squalen a kyselinu vanilinovou.

Třetí část je věnována zpracování, chemickému složení a působení zeleného ječmene na organismus člověka. Chlorofyl obsažený ve šťávě ze zeleného ječmene má pozitivní účinky při prevenci a léčbě onemocnění, např. roztroušené sklerózy, zlepšuje krevní obraz a chrání tělo před infekcí. V extraktu se nachází téměř všechny lipofilní i hydrofilní vitaminy.

V poslední části jsou shrnuty metody analýzy antioxidantů, kde je popsáno stanovení antioxidační aktivity a stanovení obsahu tokoferolů, karotenoidů, retinoidů, glutathionu a stopových prvků. V ječmenu se stanovuje aktivita enzymu superoxiddismutasy. Tento enzym chrání oragnismus před oxidačním poškozením buněk.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BARERA, A., BUSCEMI, S., MONASTERO, R., CARUSO, C., CALDARELLA, R., CIACCIO, M., VASTO, S. β-glucans: ex vivo inflammatory and oxidative stress results after pasta intake. *Immunity & Ageing* [online]. 2016 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.1186/s12979-016-0068-x. Available from http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=2&sid=53dd5642-8469-474b-8bc3-7bf8c852d461%40sessionmgr4001&hid=4208&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=114454345&db=a9h . ISSN 1742-4933.

BELITZ, H. D., GROSCH, W., SCHIEBERLE, P. *Food chemistry*. 4th ed. Berlin: Springer, 2009. ISBN 978-3-540-69933-0.

BŁASZCZYK, K., WILCZAK, J., HARASYM, J., GUDEJ, S., SUCHECKA, D., KRÓLIKOWSKI, T., LANGE, E., GROMADZKA-OSTROWSKA, J. Impact of low and high molecular weight oat beta-glucan on oxidative stress and antioxidant defense in spleen of rats with LPS induced enteritis.. *Food Hydrocolloids* [online]. 2015 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.05.025. Available from http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=4&sid=53dd5642-8469-474b-8bc3-7bf8c852d461%40sessionmgr4001&hid=4208&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=S0268005X1500226X&db=edselp . ISSN 0268-005X.

BŘEZINOVÁ BELCREDI, N., EHRENBERGEROVÁ, J. *Modifikace metodiky stanovení aktivity enzymu superoxiddismutasy na vzorky ječmene (zrno, slad): uplatněná metodika*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009. ISBN 978-80-7375-275-0.

BULKOVÁ, V. *Rostlinné potraviny*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2011. ISBN 978-80-7013-532-7.

BUREŠOVÁ, I., LORENCOVÁ, E. *Výroba potravin rostlinného původu: zpracování obilovin*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013. ISBN 978-80-7454-278-7.

CAMPBELL, C. G. *Buckwheat: Fagopyrum Esculentum Moench*. Bioversity International, 1997. ISBN 92-9043-345-0.

CONTI, V., IZZO, V., CORBI, G., RUSSOMANNO, G., MANZO, V., LISE, F. D., DONATO, A. D., FILIPPELLI, A. Antioxidant Supplementation in the Treatment of Aging-Associated Diseases. *Front Pharmacol* [online]. 2016 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.3389/fphar.2016.00024. Available from http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4751263/.

DALLEN, M. *Zelené potraviny: když jídlo je naším lékem: mladá pšenice, mladý ječmen, alfalfa, chlorela, spirulina, mořské řasy, zelenina*. Praha: Ratio Bona, 2010. ISBN 978-80-254-4590-7.

DO, T. D. T., COZZOLINO, D., MUHLHAUSLER, B., BOX, A., ABLE, A. Antioxidant capacity and vitamin E in barley: Effect of genotype and storage. *Science direct* [online]. 2015 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.04.028. Available from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615005749 .

EITENMILLER, R., LEE, J. *Vitamin E: Food chemistry, composition, and analysis*. New York: Marcel Dekker, 2004. ISBN 978-0-203-97014-0.

European commission: EU Register on nutrition and health claims [online]. 2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: *http://ec.europa.eu/nuhclaims/?event=search&CFID=2149258&CFTOKEN=6e22c1df8b275778-3B7C0B9C-F059-DB0B-9431BC4BD35489A1&jsessionid=92129b4c037ad563cb4b13e782a7aa4d328fTR.*

HAVLÍK, J., MAROUNEK, M. *Živiny a živinové potřeby člověka: Učebnice ČZU v Praze* [online]. Praha, 2012 [cited 18 April 2016]. Available from: https://books.google.cz/books?id=KiuHqlF4E0kC&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. ISBN 978-80-213-2269-1.

CHARLES, Denys J. *Antioxidant properties of spices, herbs and other sources*. New York: Springer, 2013. ISBN 978-1-4614-4309-4.

JAROŠOVÁ, J., MICHALOVÁ, A., MOUDRÝ, J. *Pěstování a využití amarantu*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1999. ISBN 80-7271-042-7.

CHAUHAN, A., SAXENA, D. C., SINGH, S. Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (Amaranthus spp.) flour. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2015 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.03.115. Available from http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=20&sid=9ad023bb-9360-4287-835a-373036381272%40sessionmgr105&hid=103&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=S0023643815002698&db=edselp . ISSN 0023-6438.

IKEDA, N. E., NOVAK, E. M., MARIA, D. A., VELOSA, A. S., PEREIRA, R. M. Synthesis, characterization and biological evaluation of Rutin–zinc(II) flavonoid -metal complex. *Chemico-Biological Interactions* [online]. 2015 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.1016/j.cbi.2015.06.011. Available from http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0009279715002392 . ISSN 00092797.

JIANG, P., BURCZYNSKI, F., CAMPBELL, C., PIERCE, G., AUSTRIA, J. A., BRIGGS, C. J. Rutin and flavonoid contents in three buckwheat species Fagopyrum esculentum, F. tataricum, and F. homotropicum and their protective effects against lipid peroxidation. *Food Research International* [online]. 2007 [cited 2016-04-05]. DOI: 10.1016/j.foodres.2006.10.009. Available from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996906001773.

JORDÁN, V., HEMZALOVÁ, M. *Antioxidanty: zázračné zbraně: vitaminy, minerály, stopové prvky, aminokyseliny a jejich využití pro zdravý život*. Brno: Jota, 2001. ISBN 80-7217-156-9.

KARAMAC, M., BISCUP, I., KULCZYK, A. Fractionation of Buckwheat Seed Phenolics and Analysis of Their Antioxidant Activity. [online]. 2015 [cited 2016-02-

28]. Available from http://www.degruyter.com/view/j/pjfns.2015.65.issue-4/pjfns-2015-0050/pjfns-2015-0050.xml

LABANOWSKA, M., KURDZIEL, M., FILEK, M. Changes of paramagnetic species in cereal grains upon short-term ozone action as a marker of oxidative stress tolerance. [online]. 2016 [cited 2016-02-28]. Available from http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=2&SID=X2SsaEkV6ON5IPMGP5C&page=2&doc=20

LACHMAN, J., HOSNEDL, V., PIVEC, V., ORSÁK, M. *Cereals for human healt and preventive nutrition: proceedings of the conference held on July 7 - 11,2008 in Brno, Czech Republic*. Brno: Mendel University of Agriculture and Forestry, 1998. Polyphenols in cerealsand their positive and negative role in human and animal nutrition, p. 118–125. ISBN 80-902545-0-0.

LIMBERGER-BAYER, V. M., DE FRANCISCO, A., CHAN, A., ORO, T., OGLIARI, P. J., BARRETO, P. L. M. Barley beta-glucans extraction and partial characterization. *Food Chem.* [online]. 2014 [cited 2016-04-20]. Available from http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=13&sid=53dd5642-8469-474b-8bc3-7bf8c852d461%40sessionmgr4001&hid=4208&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=000332430800013&db=edswsc . ISSN 03088146.

LÓPEZ-MEJÍA, O. A., LÓPEZ-MALO, A., PALOU, E. Antioxidant capacity of extracts from amaranth (Amaranthus hypochondriacus L.) seeds or leaves. *Industrial Crops and Products* [online]. 2014 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.12.017. Available from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669013006948.

MAGALINGAM, K. B., RADHAKRISHNAN, A., HALEAGRAHARA, N. Protective effects of quercetin glycosides, rutin, and isoquercetrin against 6-hydroxydopamine (6-OHDA)-induced neurotoxicity in rat pheochromocytoma (PC-12) cells. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology* [online]. 2016 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.1177/0394632015613039. Available from

http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=8&sid=9ad023bb-9360-4287-835a-373036381272%40sessionmgr105&hid=103&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=26542606&db=cmedm.

MASISI, K., BETA, T., MOGHADASIAN, M. Antioxidant properties of diverse cereal grains: A review on in vitro and in vivo studies. [online]. 2015 [cited 2016-02-28]. Available from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615013643.

MACGREGOR, A. W., BHATTY, R. S. *Barley: Chemistry and Technology*. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 1996. ISBN 0-913250-80-5.

MOUDRÝ, J., KALINOVÁ, J., PETR, J., MICHALOVÁ, A. *Pohanka a proso*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2005. ISBN 80-7271-162-8.

MOUDRÝ, J., BÁRTA, J., BÁRTOVÁ, V., BUBENÍK, J., DIVIŠ, J., DOSTÁLOVÁ, R., HÝBL, M., KONVALINA, P., ONDŘEJ, M., PETERKA, J., PEXOVÁ KALINOVÁ, J., PONÍŽIL, A., SEIDENGLANZ, M., STRAŠIL, Z., ŠMIROUS, P., ŠTOLCOVÁ, M., VACULÍK, A. *Alternativní plodiny*. Praha: Profi Press, 2011. ISBN 978-80-86726-40-3.

MURRAY, M. T., PIZZORNO, J. E., PIZZORNO, L. *The Encyclopedia of Healing Foods* [online]. New York: ATRIA BOOKS, 2005 [cited 13 April 2016]. Available from: https://books.google.cz/books?id=LLFLfbiWpqgC&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false. ISBN 978-0-7434-7402-3.

OLA, M. S., AHMED, M. M., AHMAD, R., ABUOHASHISH, H. M., AL-REJAIE, S. S., ALHOMIDA, A. S. Neuroprotective Effects of Rutin in Streptozotocin-Induced Diabetic Rat Retina. *Journal of Molecular Neuroscience* [online]. 2015 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.1007/s12031-015-0561-2. Available from http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=11&sid=9ad023bb-9360-4287-835a-373036381272%40sessionmgr105&hid=103&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=25929832&db=cmedm .

ORSINI DELGADO, M. C., NARDO, A., PAVLOVIC, M., ROGNIAUX, H., AÑÓN, M. C., TIRONI, V. A. Identification and characterization of antioxidant peptides obtained by gastrointestinal digestion of amaranth proteins. *Food Chemistry* [online]. 2016 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.11.092. Available from http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=21&sid=9ad023bb-9360-4287-835a-373036381272%40sessionmgr105&hid=103&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=S0308814615302375&db=edselp . ISSN 0308-8146.

PAPAS, A. *Vitamin E: Zázračný antioxidant při prevenci a léčbě srdečních chorob, rakoviny a stárnutí*. Praha: Pragma, 2001. ISBN 80-7205-773-1.

PENG, L. X., ZOU, L., WANG, J. B., ZHAO, J. L., XIANG, D. B., ZHAO, G. Flavonoids, Antioxidant Activity and Aroma Compounds Analysis from Different Kinds of Tartary Buckwheat Tea.. *Indian J Pharm Sci* [online]. 2015 [cited 2016-04-20]. Available from http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=24&sid=9ad023bb-9360-4287-835a-373036381272%40sessionmgr105&hid=103&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=112637223&db=a9h . ISSN 0250-474X.

PETR, J., HRADECKÁ, D. *Základy pěstování pohanky a prosa*. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1997. ISBN 80-7105-141-1.

RATHOUSKÝ, V. *Kniha o nápoji z trávy III*. Staré Město: Green Ways, 2009. ISBN 978-80-904166-1-1.

SEN, C. K., KHANNA, S., ROY, S. Tocotrienols: Vitamin E beyond tocopherols. *National Institutes of Health* [online]. 2006 [cited 2016-04-14]. DOI: 10.1016/j.lfs.2005.12.001. Available from http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1790869/.

SHEN, Y., ZHANG, H., CHENG, L., WANG, L., QIAN, H., QI, X. In vitro and in vivo antioxidant activity of polyphenols extracted from black highland barley. [online]. 2016

[cited 2016-02-28]. Available from http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=7&SID=X2SsaEkV6ON5IPMGP5C&page=1&doc=3.

SCHMIDT, Š. *Antioxidanty a oxidačné zmeny tukov v potravinách*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2011. ISBN 978-80-227-3491-2.

SYTAR, O. Phenolic acids in the inflorescences of different varieties of buckwheat and their antioxidant aktivity. *Journal of King Saud University - Science* [online]. 2015 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.1016/j.jksus.2014.07.001. Available from http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=25&sid=9ad023bb-9360-4287-835a-373036381272%40sessionmgr105&hid=103&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=S1018364714000585&db=edselp . ISSN 1018-3647.

ŠTÍPEK, S., BOROVANSKÝ, J., ČEJKOVÁ, J., HOMOLKA, J., KLENER, P., LUKÁŠ, M., ŠPIČÁK, J., TESAŘ, V., ZEMAN, M., ZIMA, T., ŽÁK, A. *Antioxidanty a volné rádikály ve zdraví a nemoci*. Praha: Grada, 2000. ISBN 80-7169-704-4.

TOMKOVÁ-DRÁBKOVÁ, L., PSOTA, V., SACHAMBULA, L., LEISOVÁ-SVOBODOVÁ, L., MIKYSKA, A., KUCERA, L. Changes in polyphenol compounds and barley laccase expression during the malting proces. [online]. 2016 [cited 2016-02-28]. Available from http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=7&SID=X2SsaEkV6ON5IPMGP5C&page=1&doc=9.

VELÍŠEK, J. *Chemie potravin 2*. 2.nd ed. Tábor: OSSIS - Ing. Václav Šedivý, 2002. ISBN 80-86659-01-1.

Vyhláška č. 4/2008 Sb., o použití přídatných látek a rozpouštědel při výrobě potravin. 2015. Available from http://cit.vfu.cz/vetleg/CD/prehled.htm#Potraviny.

WRIGLEY, C. W., CORKE, H., SEETHARAMAN, K., FAUBION, J. *Encyclopedia of Food Grains: The World of Food Grains* [online]. 2nd ed. Oxford: Elsevier, 17. 12.

2015 [cited 13 April 2016]. Available from: https://books.google.cz/books?id=ce7tBgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false. ISBN 978-0-12-803537-5.

ZADÁK, Z., MATUŠOVÁ, K., BERAN, M., HYŠPLER, R., JANOVSKÁ, D., MATUŠOVÁ, Ľ., TICHÁ, A., URBÁNEK, M. *Amarant - zdroj výživy v 21. století*. Praha: Forsapi, 2011. ISBN 978-80-87250-15-0.

ZHANG, Y. J., GAN, R. Y., LI, S., ZHOU, Y., LI, A. N., XU, D. P., LI, H. B. Antioxidant Phytochemicals for the Prevention and Treatment of Chronic Diseases. [online]. 2015 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.3390/molecules201219753. Available from http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=41&sid=9ad023bb-9360-4287-835a-373036381272%40sessionmgr105&hid=103&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=111970828&db=a9h . ISSN 1420-3049.

ZHU, Y., LI, T., FU, X., ABBASI, A. M., ZHENG, B., LIU, R. H. Phenolics content, antioxidant and antiproliferative activities of dehulled highland barley (Hordeum vulgare L.). *Journal of Functional Foods* [online]. 2015 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.1016/j.jff.2015.09.053. Available from http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=33&sid=9ad023bb-9360-4287-835a-373036381272%40sessionmgr105&hid=103&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=S1756464615004715&db=edselp . ISSN 1756-4646.

ZIEGLER, J. U., SCHWEIGGERT, R. M., WÜRSCHUM, T., LONGIN, C. F. H., CARLE, R. Lipophilic antioxidants in wheat (Triticum spp.): A target for breeding new varieties for future functional cereal products. *Science direct* [online]. 2016 [cited 2016-04-20]. DOI: 10.1016/j.jff.2015.11.022. Available from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464615005691 . ISSN 1756-4646.

ZIMOLKA, J., EDLER, S., HŘIVNA, L., JÁNSKÝ, J., KRAUS, P., MAREČEK, J., NOVOTNÝ, F., RICHTER, R., ŘÍHA, K., TICHÝ, F. *Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna*. Praha: Profi Press, s.r.o., 2005. ISBN 80-86726-09-6.

ZIMOLKA, J., CERKAL, R., DVOŘÁK, J., EDLER, S., EHRENBERGEROVÁ, J., HŘIVNA, L., KAMLER, J., KLEM, K., MILOTOVÁ, J., MÍŠA, P., PROCHÁZKOVÁ, B., PSOTA, V., RICHTER, R., RYANT, P., TICHÝ, F., VACULOVÁ, K., VÁŇOVÁ, M., VEJRAŽKA, K. *Ječmen: Formy a užitkové směry v České republice*. Praha: Profi Press, s.r.o., 2006. ISBN 80-86726-18-5.

6 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Seznam antioxidantů povolených v ČR při výrobě potravin (http://cit.vfu.cz/vetleg/).

Tabulka 2: Antioxidační aktivita obilných zrn *iv vivo* (Masisi et al., 2016).

Tabulka 3: Tokoferoly a tokotrienoly v obilovinách a pseudocereáliích (mg/100 g) (Eitenmiller, Lee, 2004).

Tabulka 4: Obsah vitaminu E v cereálních produktech (Belitz, et. al, 2009).

Tabulka 5: Obsah flavonoidů a rutinu v různých druzích pohanky (Jiang et al., 2007).

Tabulka 6: Chemické složení zrna pšenice (Serna-Saldivar, 2010).

Tabulka 7: Celkový obsah lipofilních antioxidantů v extraktech různých druhů pšenice (Ziegler et al., 2016).

Tabulka 8: Chemické složení zrna ječmene (MacGregor a Bhatty, 1996).

Tabulka 9: Celkový obsah tokoferolů a tokotrienolů v různých genotypech ječmene v době sklizně (Do et al., 2015).

Tabulka 10: Chemické složení zrna pohanky (Wrigley et al., 2015).

Tabulka 11: Fenolické látky v semenech pohanky (Karamac et al., 2015).

Tabulka 12: Chemické složení zrna amarantu (ve 100 g) (Campbell, 1997, Murray, Pizzorno, 2011).

Tabulka 13: Antioxidační sloučeniny v extraktu ze semen a listů amarantu (López-Mejía et al., 2014).

Tabulka 14: Složení zeleného nápoje z mladého ječmene (Rathouský, 2009).