

Mendelova univerzita v Brně
Zahradnická fakulta v Lednici

Bakalářská práce

Lednice 2016

Kristýna Hvězdová

Mendelova univerzita v Brně

Zahradnická fakulta

Výskyt a význam fenolových sloučenin v potravinách

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Josef Balík, Ph.D.

Vypracovala:

Kristýna Hvězdová

Brno 2014

Zadání

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci:

.....
.....

vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny 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 vysokých 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 o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazují se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Lednici dne:

.....

Podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat doc. Ing. Josefu Balíkovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu, vstřícnost, konzultace a cenné rady při vypracování této bakalářské práce.

Kristýna Hvězdová

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíl	10
3	Současný stav řešené problematiky	11
3.1	Rozdělení fenolových sloučenin.....	11
3.1.1	Jednoduché fenoly, benzochinony	12
3.1.2	Benzoové kyseliny	13
3.1.3	Acetofenony, fenylacetové kyseliny.....	14
3.1.4	Skořicové kyseliny, fenylpropeny, kumariny, chromony.....	15
3.1.5	Naftochinony	16
3.1.6	Stilbeny, antrachinony.....	17
3.1.7	Flavonoidy, isoflavonoidy	18
3.1.8	Lignany, neolignany	21
3.1.9	Terfenylchinony	22
3.1.10	Diarylheptanoidy, kurkuminoidy	22
3.1.11	Bianthrony	22
3.1.12	Biflavonoidy	23
3.1.13	Lignin	24
3.1.14	Kondenzované tanniny, flavolany	24
3.1.15	Hydrolyzovatelné tanniny.....	24
3.2	Reakce fenolových sloučenin v potravinách.....	25
3.2.1	Oxidace fenolů.....	25
3.2.2	Neenzymové hnědnutí	28
3.2.3	Antioxidační aktivita	28
3.3	Význam fenolových sloučenin v potravinách.....	29
3.4	Vliv fenolových sloučenin na lidské zdraví	31
3.4.1	Polyfenoly.....	31
3.4.2	Fenolové hormony	33
4	Vlastní komentář k řešené problematice.....	35
5	Závěr	40
6	Souhrn	41
7	Literatura.....	42

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Arbutin (html č. 1)	13
Obrázek č. 2: Benzoová kyselina (html č. 2)	13
Obrázek č. 3: Acetofenon (html č. 3).....	15
Obrázek č. 4: Kumarin (html č. 4)	15
Obrázek č. 5: Isoeugenol (html č. 5).....	16
Obrázek č. 6: Lawson (html č. 6).....	17
Obrázek č. 7: Juglon (html č. 7).....	17
Obrázek č. 8: Purpurin (html č. 8).....	18
Obrázek č. 9: Flavonoidy (Hohnová, 2010).....	19
Obrázek č. 10: 1 Enterodiol; 2 Enterolakton (html č. 9).....	21
Obrázek č. 11: Muskarufin (html č. 10).....	22
Obrázek č. 12: Fagopyrin (Velíšek, 2009).....	23
Obrázek č. 13: Amentoflavon (html č. 11).....	23
Obrázek č. 14: Produkty autooxidace gallové kyseliny v alkalické prostředí (Velíšek, 2009).....	28
Obrázek č. 15: Adrenalin (html č. 12).....	33
Obrázek č. 16: Thyroxin (html č. 13).....	34

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Rozdělení fenolových sloučenin (Velíšek, 2009)	12
Tabulka č. 2: Obsah flavonoidů v některých druzích ovoce, zeleniny a nápojů (mg/100g) (Zloch, 2003).....	19
Tabulka č. 3: Anthokyanidiny (Michlovský, 2014).....	20

Tabulka č. 4: Obsah fenolových sloučenin v odrůdách cibule ($\text{mg}\cdot\text{Kg}\cdot 1000\text{ g}^{-1}$ čerstvé hmoty) (Golisová a kol., 2009).....	31
Tabulka č. 5: Obsah fenolových sloučenin ve vybraných druzích ovoce a zeleniny (v $\text{mg}/100\text{g}$) (Straka, 2006).....	32
Tabulka č. 6: Původ a množství diosminu v některých doplňcích stravy (Hanušiak a kol., 2007)	33
Tabulka č. 7: Obsah <i>trans</i> -resveratrolu v listech interspecifických odrůd (mg/kg čerstvého materiálu) (Bábíková a kol, 2008).....	35
Tabulka č. 8: Obsah <i>trans</i> -resveratrolu v bobulích interspecifických odrůd (mg/kg čerstvého materiálu) (Bábíková, 2008).....	36
Tabulka č. 9: Celkový obsah fenolových sloučenin v hroznovém moštu, slupce a semenech (O'Byrne, 2009).....	37
Tabulka č. 10: Hlavní anthokyany vybraných potravinářských materiálů (Gritzová, 2010).....	38
Tabulka č. 11: Změny hmotnosti bobulí, obsahu rozpustné sušiny a veškerých anthokyaninů v průběhu zrání hroznů odrůdy Nebbiolo (Balík, 2010).....	38

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1: Efekt kyseliny benzoové na <i>Escherichia coli</i> a <i>Stafilococcus aureus</i> (Němcová, 2015)	14
---	----

1 ÚVOD

Oblast výskytu metod chemické struktury, fyziologického významu a metabolismu fenolů, které můžeme nalézt v potravinách rostlinného původu, za poslední dobu dosáhla velkého pokroku. (Zloch, 2003)

Chemicky jsou fenolické látky definovány jako látky nesoucí aromatický kruh, který má navázanou jednu nebo více hydroxylových skupin. Více jak 8000 fenolových sloučenin vykazujících rozšíření jak v živočišné, tak rostlinné podobě. (Velíšek a Cejpek, 2008)

Rostliny a potraviny obsahují mnoho kombinací fenolických derivátů, flavonoidů, stilbenů, taninů, lignanů a ligninů. Společně s dlouhým řetězcem karboxylových kyselin, jsou také fenoly součástí suberinu a kutinu. Tyto varianty látek jsou převážně základními složkami pro růst a rozmnožování rostlin, ale také působí proti patogenům. (Shahidy a Naczka, 1992)

Fenoly jsou obsaženy téměř ve všech potravinách, jsou součástí různorodých skupin sloučenin a některé z nich jsou využívány jako vonné nebo chuťové látky či barviva. Velká část těchto látek také projevuje biologické účinky, proto bývají řazeny mezi přírodní antioxidanty. (Velíšek, 1999)

V metabolismu fenolů a polyfenolů je bohaté zastoupení molekul tříslovin, ligninů a flavonoidů. (Brady, 2013) Některé jednoduché fenoly vykazují antioxidační a antimikrobní účinky a mohou být složkami aromatického koření. (Velíšek, 1999)

2 CÍL

Cílem bakalářské práce je popsat rozdělení a definovat fenolové sloučeniny v potravinách. Charakterizovat vznikající chemické reakce fenolových látek v potravinách. Ve vlastním komentáři zdokumentovat kvalitativní i kvantitativní zastoupení fenolových sloučenin ve vybraných potravinách. Závěrem pak zhodnotit význam a vliv fenolových látek na lidské zdraví.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

3.1 Rozdělení fenolových sloučenin

Fenolové sloučeniny můžeme nalézt téměř ve všech potravinách rostlinného původu. Jsou to různorodé skupiny látek, které se využívají jako vonné látky. Jednoduché fenoly, dále pak snižují produkty fenolových kyselin a deriváty hydroxyfenolových kyselin. (Velíšek, 1999)

Fenoly jsou obsaženy v plodech borůvek, ostružin, angreštu a dalšího ovoce jako rybízu a rozinek. Tyto druhy ovoce jsou bohaté na flavonoidy a další fenoly zobrazující eventuální zdravotní efekty. (Shahidy a Naczka, 1992)

Fenoly také využíváme jako chuťové látky a to zvláště jednoduché fenoly a tzv. polyfenoly, jako např.: kondenzované třísloviny, takzvané flavolany. Tyto látky mají za následek trpkou chuť. Fenoly zahrnují i přírodní barviva a to chinony, lignany, flavonoidy a z nich stilbeny a xantiny aj. (Velíšek, 1999)

Tabulka č. 1: Rozdělení fenolových sloučenin (Velíšek, 2009)

Počet uhlíků	Základní skelet	Skupina fenolů
6	C_6	jednoduché fenoly, benzochinony
7	$C_6 - C_1$	fenolové (benzoové) kyseliny
8	$C_6 - C_2$	acetofenony, fenolctové kyseliny
9	$C_6 - C_3$	fenolové (skořicové) kyseliny, fenylpropeny, kumariny, chromony
10	$C_6 - C_4$	naftochinony
13	$C_6 - C_1 - C_6$	xanthony
14	$C_6 - C_2 - C_6$	stilbeny, anthrachinony
15	$C_6 - C_3 - C_6$	flavonoidy, isoflavonoidy
18	$(C_6 - C_3)_2$	lignany, neolignany
18	$C_6 - C_6 - C_6$	terfenylchinony
19	$C_6 - C_7 - C_6$	diarylheptanoidy, kurkuminoidy
28	$(C_6 - C_2 - C_6)_2$	bianthrony
30	$(C_6 - C_3 - C_6)_2$	biflavonoidy
n	$(C_6 - C_3)_n$	lignin
n	$(C_6 - C_3 - C_6)_n$	kondenzované tanniny, flavolany
n	$(C_6 - C_1 - C_6 - C_1)_n$, $(C_6 - C_1 - C_1 - C_6)_n$, $(C_1 - C_6 - C_6 - C_1)_n$	hydrolyzovatelné tanniny

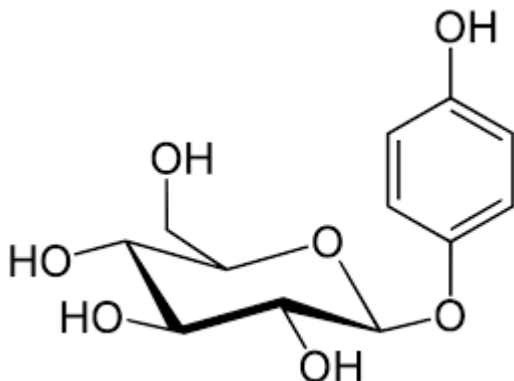
3.1.1 Jednoduché fenoly, benzochinony

Některé jednoduché fenoly vykazují antioxidační a antimikrobní účinky a to převážně hydrochinon, guajakol, isoeugenol a salicylaldehyd. (Velíšek, 1999)

Majoritní část jednoduchých benzochinonů je obsažena u mikroorganismů vyšších hub, minoritní část u vyšších rostlin a některého hmyzu. (Velíšek, 1999) Hlavní sloučeninou je arbutin, který je obsažen v rostlinách jako bezbarvý β -D-glukosid hydrochinon. Dále se také v malém poměru vykazuje obsah v obilovinách, jako je pšenice a rýže, a z ovoce zvláště v hruškách. (Velíšek, 1999)

Jednoduché fenoly se vyznačují silným zápachem, který je odporně sladký a dráždivý. Jsou silným desinfekčním prostředkem a využívají se také jako lokální anestetikum, konzervační látky či chemické činidlo. Jejich použití pro přímé přídavky do potra-

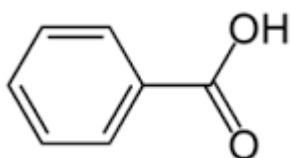
vin je omezeno na roli aromatických přísad na maximální úrovni pod 10 ppm. (Burdock, 2010)



Obrázek č. 1: Arbutin (html č. 1)

3.1.2 Benzoové kyseliny

Benzoové kyseliny a jejich deriváty se představují svou strukturou $C_6 - C_1$ a bývají také nazývány jako fenolové kyseliny. Struktura $C_6 - C_3$ poukazuje na kyselinu skořicovou a její deriváty. Obě tyto kyseliny jsou častou složkou všech rostlinných materiálů. (Velíšek, 1999) V malém množství se také nachází v přírodních složkách ve formě esterů. Vyskytují se jak v ovoci, tak v mléčných výrobcích. (Velíšek, 2009)

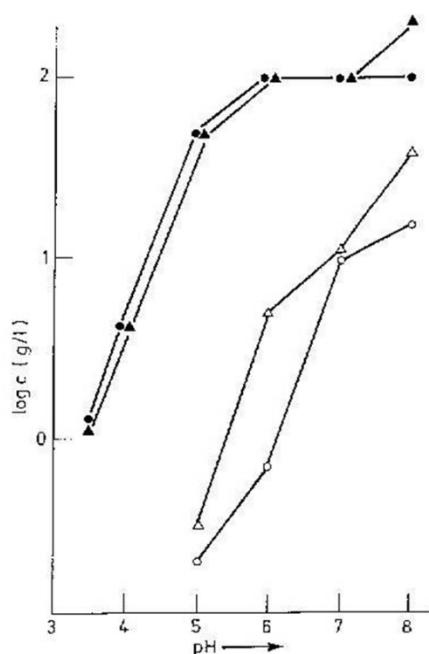


Obrázek č. 2: Benzoová kyselina (html č. 2)

Benzoové kyseliny se využívají v potravinářství jako jeden z hlavních konzervantů. Dokážou inhibovat plísně a kvasinky, ale je zde zapotřebí ve vyšší koncentraci, než u některých bakterií. (Velíšek, 2009)

Kyselina gallová je nejvýznamnějším zástupcem hydrobenzoových kyselin. V potravinách rostlinného původu se vyskytuje jako kyselina volná a to v malém množství. Převážně je složkou hydrolyzovatelných tanninů, takže se nachází i v pevných částech bobulí vína. Spíše se setkáváme s dimerem kyseliny gallové a to s kyselinou ellagovou. (Velíšek, 2009, O'Byrne, 2009)

U nedisociované kyseliny benzoové, se sníženým pH pod 4, vzniká vysoký antimikrobní účinek. Smyslový vjem zanechává palčivou chuť a práh vnímavosti je 500 – 1000 ppm. Hlavní využití kyseliny je jako aditivum, či chemické konzervovadlo, které se aplikuje ve formách draselných nebo sodných solí. Můžeme je znát pod označením E 210 jako kyselinu benzoovou, E 211 jako benzoan sodný, E 212 benzoan draselný. Jejich koncentrace je stanovena Evropskou unií na hodnoty pod 1 %. (Němcová, 2015)



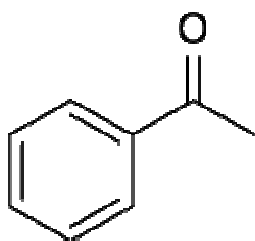
Graf č. 1: Efekt kyseliny benzoové na *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus* (Němcová, 2015)

- – Bakteriocidní aktivity *Escherichia c.*,
- – Bakteriostatická aktivity *Escherichia c.*,
- ▲ – Bakteriocidní aktivity *Staphylococcus a.*
- △ - Bakteriostatická aktivity *Staphylococcus a.*

3.1.3 Acetofenony, fenylctové kyseliny

Acetofenony nebo-li fenyl(methyl)ketony patří do základních látek aromatických ketonů. Jejich výskyt se nalézá v malém množství v silicích a to rostlin fenylku a badyánu. Do potravin se přidávají jako přírodní malinové barvivo. (Velíšek, 2009) Jedná se o bezbarvou látku, která je meziproduktem organické syntézy při výrobě léčiv. Dříve se používala jako hypnotikum, nyní se využívá v parfumerii. (html č. 14)

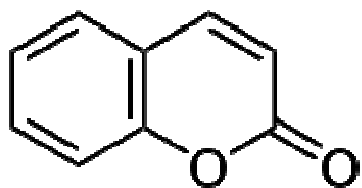
Fenylacetová kyselina se při fenylketonurii vyskytuje v moči jako škodlivý produkt katabolismu. (html č. 15) Fenylketonurie je dědičná nemoc, která je způsobena mutací genu pro enzym fenylalaninhydroxylázu. Osoby s tímto postižením nemohou enzym fenylalanin strávit, proto se jim hromadí v tkáních a následně poškozuje nervový systém. Jediné zmírnění této nemoci je správná úprava jídelníčku, aby byl fenylalanin v potravě jen minimálně. V ČR je dostupnost těchto potravin dostačující, ale jelikož jsou dováženy ze zahraničí, jejich cena je poměrně vysoká. (Peroutková a kol., 2011)



Obrázek č. 3: Acetofenon (html č. 3)

3.1.4 Skořicové kyseliny, fenylpropeny, kumariny, chromony

V přírodě velmi rozšířenou rostlinnou látkou je lakton cis-o-hydroxyskořicové kyseliny a kumariny. Vytvářejí se při poranění rostlinných buněk a to cyklizací glukózy. Dále se pak skladují jako glykosidy, když rostlina vadne. (Vodrážka, 1996)

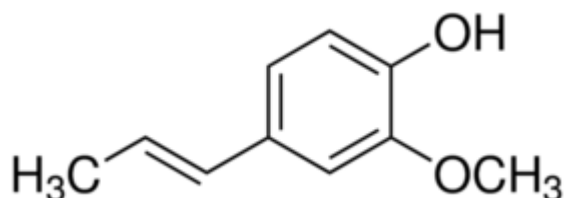


Obrázek č. 4: Kumarin (html č. 4)

V rostlinných pletivech jsou přítomny látky skořicové kyseliny jako vonné látky, ve větší míře se pak objevují v esterech, amidech a glykosidech. Příkladem může být glykosid sinapoyl- β -D-glukopyranosa, který je obsažen v klíčovících semenech brukvovitých rostlin (Brassicaceae). Tento glykosid má rozsáhlé antioxidační účinky a vzniká ze sinapinu. (Velíšek, 2009)

Kyselina kávová se v menším množství nalézá v čaji, kakau, jablkách, hruškách, ale i v zelenině a v bramborech. Celá škála esterů kyseliny kávové je obsažena v aromatických a léčivých rostlinách, převážně u hluchavkovitých, kde má antioxidační a biologické účinky. Ferulové kyseliny vznikají během procesů pražení kávy, oříšků, při sušení sladu nebo při pečení chleba. Když teplota stoupne ke 200 °C, začínají vznikat produkty, tzv. fragmenty, postupnou degradací tříuhlíkatého postraního řetězce. Jak z kyseliny kávové, tak i z ferulové vznikají analogické produkty. (Velíšek, 2009)

Isoeugenol neboli fenylpropen se vyskytuje v silicích některých rostlin jako je bazalka a kananga vonná (*Cananga odorata*). Pro výrobu vanilinu se isoeugenol uměle vyrábí z eugenolu. (Merck a kol., 1996)



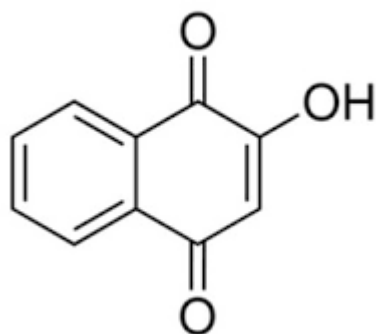
Obrázek č. 5: Isoeugenol (html č. 5)

Chromony jsou izomery kumarinu. Jsou to deriváty benzopyranu, který má na pyranovém jádru navázanou ketonovou skupinu. Většina z nich má význam v lékařství. (Tschesche a kol., 1979)

3.1.5 Naftochinony

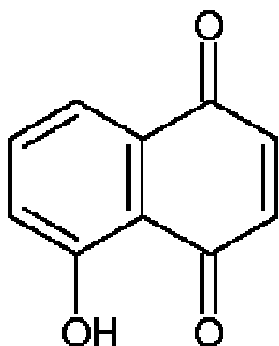
Naftochinony vyšších rostlin se neobjevují jinak než v nebarevných redukovaných formách glykosidu, podobné je to i u benzochinonů. (Velíšek, 1999)

Mezi nejjednodušší naftochinony řadíme lawson. Je to žlutooranžová látka, která se vyskytuje v barvivu henna spolu s dalšími látkami směsí naftochinonů. (Velíšek, 1999)



Obrázek č. 6: Lawson (html č. 6)

Druhý nejznámější naftochinon je obsažen v listech a nezralých plodech ořešáku královského (*Juglans regia*) a nazývá se juglon. Tato látka může být obsažena i v jiných druzích ořešáků. (Velíšek, 1999) Juglon, jak již víme, je obsažen v nezralých plodech vlašských ořechů a způsobuje tak barvení pokožky při manipulaci do žluto-hněda. Jeho další účinky se projevuje v trávicím traktu, kde má za následek projímavé účinky. (Velíšek, 1999)



Obrázek č. 7: Juglon (html č. 7)

3.1.6 Stilbeny, antrachinony

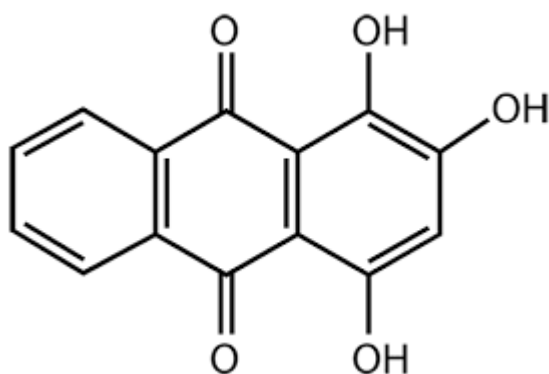
Hlavním představitelem stilbenů je resveratrol. Jeho účinky jsou jak antimikrobní, tak antifungicidní. (Velíšek, 1999)

Představitelem stilbenů není pouze resveratrol, řadíme sem i pterostilben a piceatannol. Resveratrol můžeme nalézt v některých druzích potravin, patří sem arašídy, moruše, borůvky, maliny a některé piniové oříšky. Nachází se i v hroznech (Vi-

tis vinifera) ve slupce, semenech, ale i v kořenech révy vinné. Vysoké koncentrace nacházíme ve vylisované šťávě a také v červeném víně, kde je koncentrace resveratrolu 1,5 až 3,0 mg/ liter. (Brady, 2013)

Mezi antrachinony také řadíme deriváty anthranolu, anthrahydrochimonu a jejich oxoformu anthron a oxanthron, které jsou také obsaženy v rostlinných materiálech. (Velíšek, 1999)

K nejznámějším antrachinonům řadíme žlutooranžový alizarin a červený purpurin. Alizarin má strukturu tří benzoových jader a na třetím kruhovém jádru jsou navázány 2 hydroxylové skupiny. (Velíšek, 1999) Purpurin je rychlé barvivo pro tisk bavlny a komplexů s kovovými prvky. Nicméně jeho odolnost při vystavení slunečnímu záření je menší, než u alizarinu. (html: 15)



Obrázek č. 8: Purpurin (html č. 8)

3.1.7 Flavonoidy, isoflavonoidy

Flavonoidy jsou velice rozsáhlou skupinou rostlinných látek. (Vodrážka, 1996) Skupina flavonoidů se odhaduje na 5000 a stále se nacházejí nové. (Velíšek, 2009) Byl zjištěn jejich aditivní, ale i synergický účinek. Uvádí se, že antioxidační potenciál obsažen ve flavonoidech, má vyšší antioxidační kapacitu jak vitamíny C, E. (Zloch, 2003) Obsah flavonoidů v různých druzích ovoce, zeleniny a nápojích, je uveden v Tabulce č. 2. Nejvyšší obsah flavonoidů obsahuje cibule, obzvláště pak Kvercetin, kde bylo zjištěno 34 – 35 mg/100g. Naopak nejméně flavonoidů bylo obsaženo v jablečné šťávě a to převážně Myricetinu a Luteolinu 0,05 mg/100g.

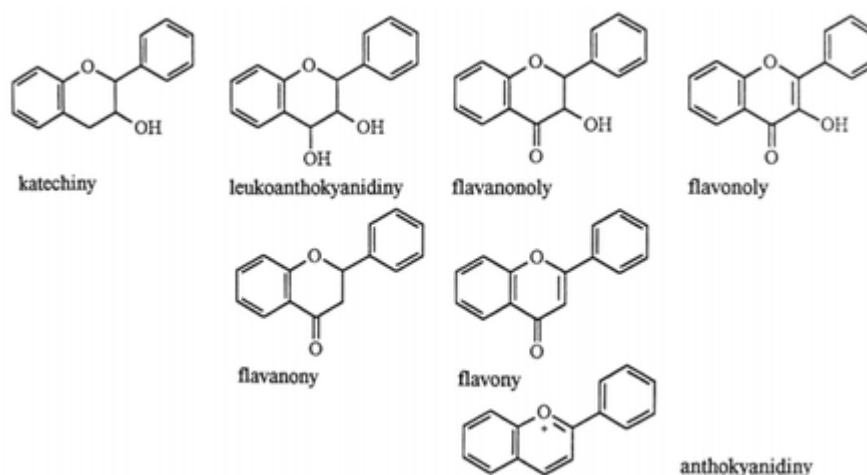
Tabulka č. 2: Obsah flavonoidů v některých druzích ovoce, zeleniny a nápojů (mg/100g) (Zloch, 2003)

	Myricetin	Kvercetin	Kaempferol	Luteolin	Apigenin
Cibule	0,1	34 – 35	0,2	0,1	0,2
Salát	0,1	1,5 – 8,0	0,2	0,1	0,2
Jablka	0,1	2,0 – 3,5	0,2	0,1	0,2
Jablečná šťáva	0,05	0,3	0,1	0,05	0,1
Červené víno	0,9	1,1	0,1	0,05	0,1
Černý čaj	0,3	1,5	1,5	0,05	0,1

Jejich atributy jsou velice odlišné od ostatních fenolových pigmentů. Proto jsou uváděny jako nezávislá skupina rostlinných barviv. (Velíšek, 1999)

Rozděluje je podle základní struktury, kde jejich stupeň oxidace roste zleva doprava a to na katechiny, leukoanthokyanidiny, flavanony, flavanonoly, flavony, flavonoly, anthokyanidiny. (Velíšek, 2009)

Chemickou strukturu flavonoidů zobrazujeme v molekule dvěma benzoovými jádry, které nazýváme kruh A a C, ty jsou nadále spojeny tříuhlíkatým řetězcem. V některých případech jako jsou chalkony, dihydrochalkony a aurony, se navíc zobrazuje šestičlenný heterocyklický kruh B, který se v izomerní formě nahrazuje pětičlenným heterocyklickým kruhem. (Velíšek, 2009)



Obrázek č. 9: Flavonoidy (Hohnová, 2010)

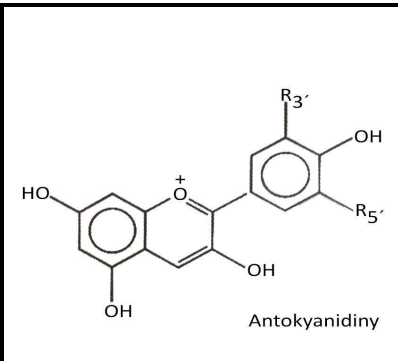
Z flavonoidních látek používáme několik jako přírodní barviva, jiné se spíše vyznačují svou trpkou chutí nebo nesou významné biologické účinky. Podle barev flavonoidy

rozlišujeme na dvě skupiny. Červené až modré barvivo anthokyany a žluté barvivo antoxanthiny. (Velíšek, 2009)

Anthokyany

Jiným názvem anthokyaniny, bývají řazeny mezi nejčetnější rostlinná barviva. Do dnešní doby jich bylo identifikováno na 300. Můžeme je nalézt v nejrůznějších druzích ovoce, zeleniny a květin. Jde o pestrou škálu barev od oranžové, červené přes fialovou, až do modrého zbarvení. Tyto barviva získávají na oblibě, jelikož jsou vodou ředitelné. (Velíšek, 2009) I když známe 17 antokyanidinů, pouze 6 z nich je více rozšířených. (Tabulka č. 3) (O'Byrne, 2009)

Tabulka č. 3: Anthokyanidiny (Michlovský, 2014)

 Antokyanidiny	R_{3'}	R_{5'}	Název
		H	H
	OH	H	kyanidin
	OCH ₃	H	peonidin
	OH	OH	delfinidin
	OCH ₃	OCH ₃	malyidin
	OH	OCH ₃	petunidin

Xanthony

Jsou méně četná skupina asi 70 barviv žlutého charakteru, která biologicky souvisí s flavonoidy. Od pradávna se využívaly jako potravinářské barvivo, avšak v posledních letech farmaceutické výzkumy dokazují účinky v kardiovaskulární medicíně. (Velíšek, 2009)

Isoflavonoidy jsou méně běžné sloučeniny s kruhem B spojeným s pyranovým kruhem C. Známo je jich kolem 200 a převážně se vyskytují v luštěninách čeledi bobovitých (Fabaceae), hlavně v sóji luštinaté (*Glycine max*). V menší míře isoflavonoidy můžeme nalézt i v dalších rostlinných čeledích a to čeledi laskavcovitých, nosatcovitých, růžovitých a morušovníkovitých. Hlavním představitelem isoflavonoidů jsou isoflavony. Nejznámější isoflavony, které se nachází v sójových bobech je daidzen, dále genistein, formononetin, glycitein a biochanin A. Pouze daidzen je nejaktivnější estrogenním isoflavonem. (Velíšek, 2009)

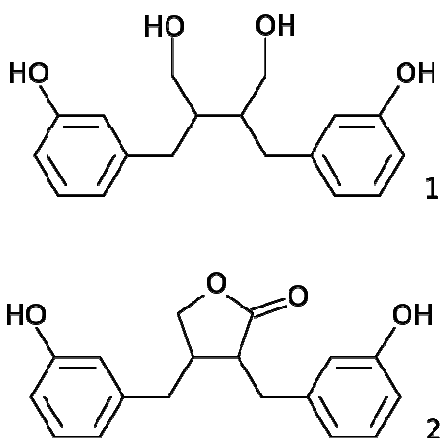
3.1.8 Lignany, neolignany

Termínem lignany nazýváme sloučeniny, které jsou vázány na centrální atom uhlíku postranního řetězce. Strukturně vyznačuje rozlišnou škálu sloučenin. (Velíšek a Cejpek, 2008)

Lignany jsou rostlinné produkty, které jsou tvořeny dvěma fenylypropanovými zbytky spojenými centrálními atomy jejich postranních řetězců. (Vodrážka, 1996)

Lignany můžeme nalézt ve více než 55 druzích cévních svazků. Nachází se ve všech částech rostliny, převážně v dřevu a pryskyřicích. Kromě výskytu v rostlinách objevili vědci lignany i v moči primátů. (Vodrážka, 1996)

Majoritním potravinovým zdrojem lignanů jsou lněná semínka, hlavně lignan di-*O*- β -D-glukopyranosid. Když je spotřebován, jeho prekurzory jsou převedeny na savčí lignany, enterodiol a enterolakton, čili bakterie které převládají v lidském střevě. Enterodiol a enterolakton jsou tvořeny dehydratací slabé aktivity estrogenu, ale mohou mít i biologické účinky díky neestrogenním mechanismům. (Velíšek a Cejpek, 2008)

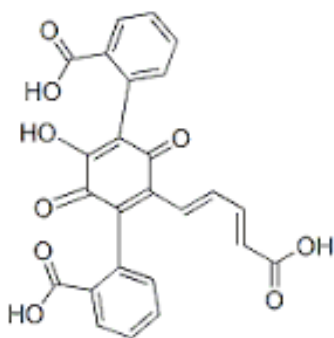


Obrázek č. 10: 1 Enterodiol; 2 Enterolakton (html č. 9)

Neolignany jsou látky, které se strukturně odlišují od definice lignanů, jako například spojení fenylylů jednou nebo dvěma etherovými vazbami. V kombinaci se snížením počtu vazeb a cyklizací mohou vznikat další varianty, které vychází z fenylypropanových jednotek. Z toho můžeme usoudit, že by mohlo být neolignanů v přírodě mnohem více než lignanů, ale zatím tomu tak není. Jejich význam oproti lignanům ještě není řádně znám. (Harmatha, 2005)

3.1.9 Terfenylchinony

Terfenylchinony neboli benzo-1,4-chinony jsou obsaženy v mnoha druzích lišejníků a plísní, převážně v leukoformě a alkylderivátů jsou červené, fialové až hnědé barvy. Hlavním terfenylchinonem je polyporová kyselina, která se nachází v houbách. Hydroxyderiváty jsou například atromentin a variegatin, který je bronzově hnědý, ale i muskarufin, který se nachází v klobouku muchomůrky červené. (Velíšek, 2009)



Obrázek č. 11: Muskarufin (html č. 10)

Polyporová kyselina je příčinou spojení dvou molekul fenylpyrohroznové kyseliny a oxidací benzochinonu. Způsobuje charakteristické pigmenty u lišejníků a hub. (Velíšek, 2009)

3.1.10 Diarylheptanoidy, kurkuminoidy

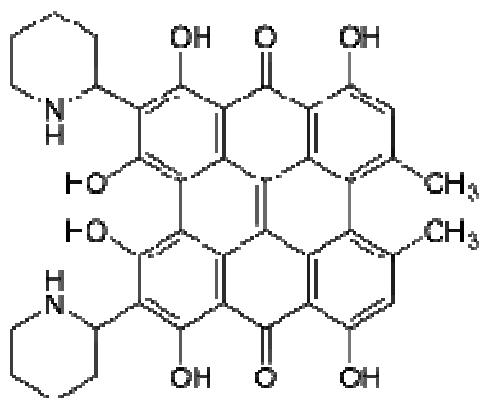
Kurkuminoidy jsou řazeny do skupiny zvané diarylheptanoidy. Skupina je velice podomná lignanům. Zástupcem z této skupiny je kurkuma. Ta se získává z oddenků tropické rostliny kurkumovníku dlouhého (*Curcuma longa*), ve formě žlutého extraktu. Tato rostlina je známá především v jihovýchodní Asii, kde je rozšířeně pěstována. Využívá se jako dochucovadlo a je hlavní součástí koření kari. Kurkuma je nerozpustná ve vodě, za to výborně v alkoholu a v tucích. Používá se i při barvení mléčných a pekařských výrobků. (Velíšek, 2009)

3.1.11 Bianthrony

Bianthrony a jejich dimerní redukované formy se vyskytují v kořeni revení. Nalézáme je i jako homobianthrony a heterobianthrony. V sennesu úzkolistého se nacházejí

příbuzné glykosidy zvané sennosidy, tyto keře se pěstují převážně v Indii a v lékařském odvětví se využívá jako projímadlo a lék na povzbuzení trávení. (Velíšek, 2009)

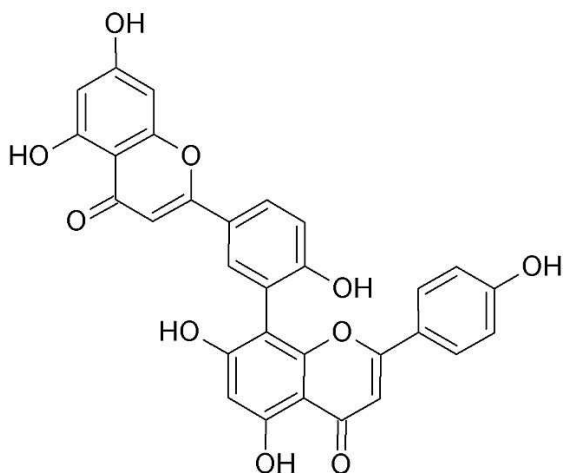
Jedním z mnoha derivátů je strukturně příbuzný fagopyrin, který barví červeně a nachází se převážně v květech a nati pohanky obecné (*Fagopyrum esculentum*). (Velíšek, 2009)



Obrázek č. 12: Fagopyrin (Velíšek, 2009)

3.1.12 Biflavonoidy

Mezi biflavonoidy řadíme asi 60 pigmentů odvozených od flavonů. Většinou se bavíme o dimerech apigenimu, jejich molekula je spojena vazbami C₈→C₈, C₈→C₃' nebo C₈→C₄'. Biflavonoidy se v potravinářství nevyužívají. Nejznámější biflavonoid je amentoflavon a můžeme ho nalézt ve stromu jinanu dvoulaločnatého (*Ginkgo biloba*), využívaného v lékařství. (Velíšek, 1999)



Obrázek č. 13: Amentoflavon (html č. 11)

3.1.13 Lignin

Lignin lat. lignum, nebo-li dřevo, je obsažen v buněčné stěně rostlinných buněk, kde zaujímá funkci vyztužující a zpevňující. Lignin nejde chemicky definovat, jelikož jeho chemické složení se mění podle rostlinného druhu. Jediným z ligninu, který byl více prozkoumaný, je bukový lignin. (Vodrážka, 1996)

Rostlinný polymer ligninu posiluje rostlinnou buněčnou stěnu, která je základem pro celulózová mikrovlákná. (Velíšek a Cejpek, 2008)

3.1.14 Kondenzované tanniny, flavolany

Flavolany, nebo také proanthokyanidiny jsou kondenzované tanniny, neboli třísloviny. Tyto látky jsou oligomery a polymery některých flavonoidních látek, což znamená, že jejich struktura je velmi rozlišná. (Velíšek, 1999) Třísloviny mají velký význam při chuťovém vnímání vlastnosti potravin. Žádoucí jsou třísloviny v čaji, kávě, červeném víně nebo u piva a naopak nežádoucí jsou v nezralém ovoci. Z potravin se odstraňují pomocí aditivních látek. (Velíšek, 2009)

3.1.15 Hydrolyzovatelné tanniny

Hydrolyzovatelné tanniny dělíme na skupiny:

Gallotanniny vycházejí z aktivované formy glukózy kyseliny gallové. O těchto tříslovinách můžeme slyšet v potravinářství, jelikož se využívá jako aditivum a to k prevenci vzniku bílkovinných zákalů. Využívají se i ve víně, pivu a octu. (Velíšek, 2009)

Ellagotanniny se nacházejí v čířidlech na bázi třísloviny, ale také v extraktech či nálevech. V některých alkoholických nápojích zrajících v sudech jsou ellagotanniny obsaženy, jelikož jsou přirozenými složkami dubových sudů. Při stárnutí vína nebo lihoviny dochází k degradaci extrahovaných složek ze dřeva a vznikají tak všelijaké fenolové sloučeniny. Tyto fenolové sloučeniny uplatňujeme jako aromatické látky. (Velíšek, 2009)

Obě tyto skupiny jsou deriváty kyseliny gallové. Gallová kyselina má schopnost navázat další svoje kyseliny a vytvářet 2 až 5 molekulové dlouhé řetězce. (Velíšek, 2009)

3.2 Reakce fenolových sloučenin v potravinách

Mnoho fenolů je meziproduktem biosyntézy živočišných, rostlinných reakcí. Metabolismus fenolových sloučenin zahrnuje komplexní řadu rozdělení biochemické dráhy, které jsou specifické pro určité druhy. Výchozí sloučeniny fenolů u živočichů, rostlin a mikroorganismů jsou zejména aromatické aminokyseliny L-fenylalanin a L-tyrosin. (Velíšek a Cejpek, 2008)

3.2.1 Oxidace fenolů

Tento proces bývá označován jako enzymová oxidace látkových složek rostlinných pletiv neboli enzymatické hnědnutí. (Kyzlink, 1988) Existuje mnoho zpráv o oxidaci enzymů v různých druzích ovoce a zeleniny, ale jen u některých z nich je jasný vztah mezi oxidativními enzymy a hnědnutím vzorků. Existuje nedostatek důkazů o vlivu zpracování a skladovacích podmínek na aktivitu polyfenoloxidázy a peroxidázy. (Zhang a Shao, 2015) Ve většině případů nepříznivě ovlivňuje kvalitu potravin. Při hnědnutí působí většinou enzym polyfenoloxidáza, která za přístupu kyslíku mění bezbarvé O-difenoly na barevné o-chinony. (Piližota a Šubarić, 1998)

Tyto reakce jsou známy více jak 100 let a zakládají se na enzymové reakci fenolových látek s oxidoreduktázami za přítomnosti vzdušného kyslíku. (Velíšek, 2009) Oxidoreduktázy dále pak dělíme na katecholoxidázy a laktázy. Aktivita enzymů v potravině nezávisí pouze na teplotě a kyselosti prostředí, ale také na odrůdě plodiny. (Straka, 2006) Ve svých molekulách zahrnuje atomová skupenství typická pro jedno nebo více fenolů. Enzymově katalyzované dehydrogenace bývají pravidelně velmi rychlé. Při těchto reakcích vznikají o-chinony, jejich zbarvení bývá hnědé, snadno se polymerují a mají vysokou reakční aktivitu. (Kyzlink, 1988) Jsou známy jak u rostlin, tak u živočichů, kde mají za následek poškození buněk. (Velíšek, 2009)

Při tomto procesu převážně probíhají barevné změny. Tyto změny můžeme vypočítat hlavně u ovoce, dále pak u hub a brambor, jelikož v těchto potravinách jsou fenolické látky čteně zastoupeny. (Kyzlink, 1988) V některých případech jsou tyto reakce

velice potřebné, a to i za takových podmínek, že se změní nejen barva, ale i vůně produktu. Při fermentaci čajů, kakaových bobů, dozrávání datlí, výrobě černých oliv a při výrově vína typu sherry. Je možná i autooxidace a to za přítomnosti peroxidu vodíku. (Velíšek, 2009)

V hojných případech oxidační změny fenolových sloučenin vystupují z monofenolů. Oxidačním produktem je difenol, který zaujímá funkci donoru. (Kyzlink, 1988)

Abychom zabránily nechtěným reakcím enzymatického hnědnutí, využívá se inhibujících prostředků, které se také využívají při zpracování a skladování potravin. Tento proces probíhá díky třem mechanismům:

- 1) přímá inhibice využitím enzymu polyfenoloxidázy
- 2) snížení o-chinonů, které jsou tvořeny enzymatickou oxidací o-fenolů s deriváty o-difenolů
- 3) chemická přeměna nebo odstranění fenolových substrátů polyfenoloxidázy (Piližota a Šubarić, 1998)

Toxické pro enzymy jsou např. sloučeniny, které reagují s proteinovým nosičem a které jsou významné pro katalytickou aktivitu. Škodlivý je pro enzymy formaldehyd, chinony, fluoridy, fluoracetáty a kyanidy. Kyanidové ionty, oxid uhelnatý a sulfan jsou významné inhibitory. (Doubrava, 1984) Využívá se i sulfhydryl, který obsahuje aminokyseliny, zejména cystein a redukovaný glutation a anorganické soli. Zajímavostí je med, který dokáže zabránit zhnědnutí bílých hroznů. Pro ovoce a zeleninu se využívá účinku kyseliny erythorbové, která se za sníženého tlaku nebo vakua aplikuje na plodinu. (Piližota a Šubarić, 1998)

Proti enzymatickému hnědnutí se v potravinářství využívá následných operací:

- tepelné opracování (termosterilace)
- chlazení (psychroanabióza)
- mrazení (kryoanabióza)
- odnímání vody (xeroanabióza)
- záření (ionizační, ultrafialové, rentgenovo, β -záření)
- přidavek aditivních látek (chemoanabióza)

Termosterilace spočívá ve využití vysoké teploty na podporu odstranění a zabránění nežádoucích procesů v potravině a řadíme sem tyto metody:

- praktickou sterilitu
- absolutní sterilitu
- blanšírování – spaření plodiny, navzdory krátké době spaření si potravina uchovává svoji barvu, inaktivace enzymů oxidázy
- pasteraci – záhřev do 100 °C a provádí se u potravin kyselého původu
- sterilaci – záhřev nad 100 °C a provádí se u nekyselých potravin (UHT „ultra high temperature“ – 121,1 °C, se provádí například u mléčných výrobků)
- tyndalaci – opakovaný záhřev na teploty do 100 °C po dobu několika dnů, nekyselé potraviny

Psychroanabióza znamená snížení teploty produktu na hodnoty kolem 0 °C, ale nejedná se o pokles hluboko pod bod mrazu. Při těchto teplotách je omezen růst některých mikroorganismů a zpomalení chemických, enzymových a fyzikálních procesů a reakcí v potravinách.

Kryoanabióza je hluboké zmrazení potraviny pod bod mrazu za pomoci vzduchu, roztoku, za hlubokého podtlaku, kapalného odpařujícího se chladiva nebo kontaktním způsobem. Je nutné, aby ke zmrazení došlo co nejrychleji, díky zabránění velkých nežádoucích krystalků vody v potravině.

Xeroanabióza je odjímání vlhkosti, neboli sušení, kdy se potravině dodá potřebné množství tepla na odpaření vody. Teplo se dodává pomocí vzduchu, ohřevu vzduchu nebo kontaktním ohřevem.

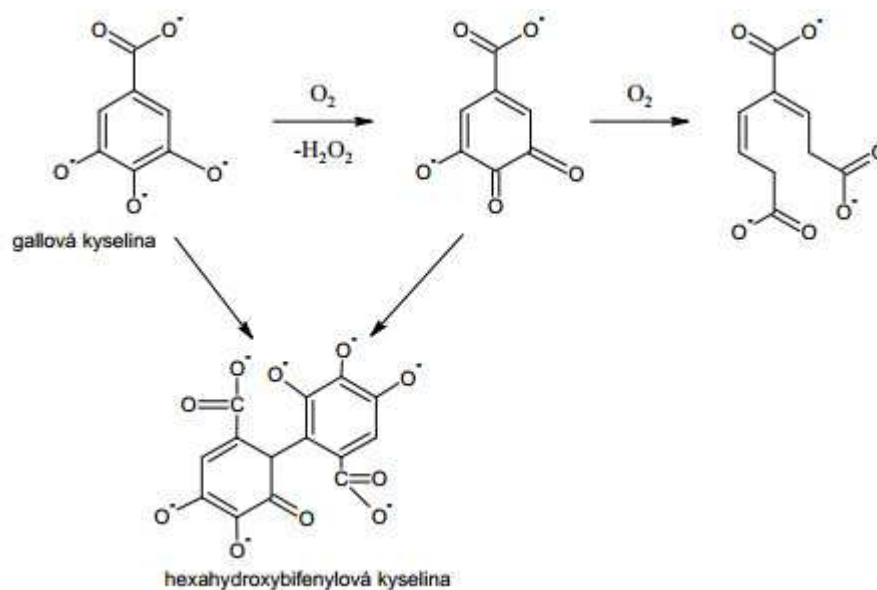
Záření využíváme mnoho druhů, ale převážně ultrafialové světlo, Rentgenovo, ionizující a dále pak β -záření. Podstatou je smrtící účinek na zdraví škodlivé živé organismy, ale také na ochromení enzymových reakcí.

Chemoanabióza je proces, ve kterém dochází k paralýze mikroorganismu, nezabíjí je, ale snižuje růst, zabraňuje množení a postupně mohou hynout. Používají se chemická konzervovadla, antibiotika a fytoncidy nebo úprava potravin ve formě nakládání, solení, uzení atd. Mezi chemické konzervovadla často řadíme kyselinu benzoovou nebo sorbovou, které dokážou potlačit produkci aflatoxinů v potravině. (Němcová, 2015)

3.2.2 Neenzymové hnědnutí

Spontánní oxidací u fenolů probíhají za neutrálního a v alkalickém prostředí běžně za působením vzdušného kyslíku. Znázornění reakce kyseliny gallové, kde jako produkt vzniká hexahydroxybifenylová kyselina. (Obrázek č. 14) Ta je zároveň prekurzorem ellagové kyseliny. Další produkty vznikají autooxidací kyseliny skořicové, nebo kávové v zásaditém prostředí a za vyšších teplot. Tyto dimery řadíme mezi lignany a nazýváme je kaffeiciny. Podobné produkty vznikají z ostatních skořicových kyselin. (Velíšek, 2009)

Pomocí oxidace se z fenolů stávají *o*-chinony a *o*-difenoly za přístupu peroxidu vodíku a to při oxidaci kyseliny askorbové, autooxidaci *o*-difenolů nebo autooxidací měďných iontů). V kyselém prostředí u ovocných šťáv oxidují přednostně jiné látky, např. ve víně se za přítomnosti peroxidu vodíku oxiduje etanol na acetaldehyd. (Velíšek, 2009)



Obrázek č. 14: Produkty autooxidace gallové kyseliny v alkalické prostředí (Velíšek, 2009)

3.2.3 Antioxidační aktivita

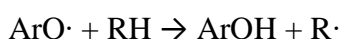
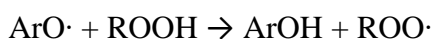
Antioxidanty rozdělujeme do dvou skupin a to do přírodních a syntetických. Za přírodní antioxidant považujeme tokoferol, jedná se o aditivní látku, která se v dnešní době vyrábí synteticky. Další antioxidanty přírodního charakteru můžeme nalézt v tucích a olejích. Jejich účinnost, je ve srovnání se syntetickými antioxidanty velice nízká, ale cena zase vysoká.

Rozdělujeme je podle struktury:

- fenolové (patří sem tokoferoly, fenolové antioxidanty, galláty a řada dalších)
- endioly (řadíme sem kyselinu askorbovou a erythorbovou, jejich soli)
- jiné látky

Fenolové sloučeniny (ArOH) projevující se jako primární antioxidant, společně s oxidací lipidů (R-H) v autooxidační reakci, reagují s radikály hydroperoxidů (ROO·), které vznikly oxidací lipidů nebo s alkoxylovými radikály (RO·) a ty vznikly rozkladem hydroperoxidů.

Fenoxylové reakce nesmí vstupovat do řetězové radikálové reakce ani vyvolávat štěpení lipidů. K těmto reakcím může docházet za vysoké koncentrace antioxidantu, následně působí jako prooxidant:



Antioxidační aktivita u fenolů bývá zvyšována přítomností hydroxylové skupiny. Jednotlivé fenoly jako antioxidanty nejsou účinné, ovšem za přítomnosti alkylových skupin v *o*- nebo v *p*- poloze. Tímto se zvyšuje koagulační hustota elektronů na hydroxylové skupině, a díky tomu mají fenoly schopnost reagovat s volnými radikály. (Velíšek, 2009)

3.3 Význam fenolových sloučenin v potravinách

Význam jednoduchých fenolů v potravinách není tak význačný, jelikož většina z nich jsou látky toxické nebo zdraví škodlivé. Naopak polyfenoly jsou zastoupeny ve většině rostlinných produktů.

Polyfenoly jsou látky velice rozšířené v plodinách rostlinného původu, převážně v listech, květech, semenech, plodech a také v rostlinných produktech např. v medu nebo víně. (Timoracká, 2008) Obsah polyfenolů ve všech druzích ovoce a zeleniny není nikde přesně uveden, jelikož je ovlivněn celou škálou faktorů jako je typ odrůdy, pěstování, zralost při sběru a následné zpracování nebo skladování plodiny. (Mandlová.

2006) Ovšem v Tabulce č. 5 jsou uvedeny pouze obsahy u vybraných druhů ovoce a zeleniny bez ohledu na jejich odrůdu nebo typu pěstování.

Celkově jsou polyfenoly více obsaženy v ovoci než v zelenině. Čerstvé ovoce zaujímá celkový obsah polyfenolů kolem $10 - 20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. U ovoce převládají proanthokyanidiny v jablcích, švestkách, hroznech. Anthokyaniny se vyskytují pouze u ovoce například v třešních, v zelenině vůbec nenajdeme. (Mandlová, 2006)

Některé fenolické látky se nachází ve složkách kouře, který se používal při uzení potravin. (Velíšek, 1999) Základem konzervace potravin je znemožnit množení mikroorganismů a tím znehodnotit potravinu na zdravotně závadnou. Tento princip využívá i u konzervace uzením. Mimo to umožňuje potravině delší dobu uchovatelnosti a následného skladování. (Kyzlink, 1988)

Skutečný důsledek dehydrogenace můžeme zpozorovat například u konzervace surovin. Při vystavení ovoce krátkodobému volnému kyslíku, se barva dužniny změní barvu na hnědou. (Kyzlink, 1988)

Fenoly jsou všudypřítomné sekundární metabolity obsažené v rostlinách. Skládají se z velké skupiny biologicky aktivních složek od jednoduchých fenolů až po polymerní strukturu. Koncentrace fenolových antioxidantů jsou citlivé na environmentální podmínky před i po sběru plodiny. Bohatým zdrojem fenolů, s příznivými antioxidačními vlastnostmi a schopností ochránit DNA proti poškození, je červená cibule. Byl zkoumán vliv hnojení na celkový obsah fenolů v cibuli kuchyňské (*Allium cepa* L.). Tento pokus byl založený v letech 2007 a 2008. Prokázalo se, že hnojení má významný vliv na obsah fenolických sloučenin v cibuli. (Golisoová a kol., 2009)

Tabulka č. 4: Obsah fenolových sloučenin v odrůdách cibule (mg·Kg·1000 g⁻¹ čerstvé hmoty) (Golisoá a kol., 2009)

Variant (1)	Odrůda			
	‘Kamai’	‘Robin’	‘Pueblo’	‘Mundo’
1 (O)	808,8	775,6	394,6	752,3
2 (N)	929,4	864,7	457,7	857,5
3 (N+S)	861,3	842,3	452,7	858,0
4 (N+S+Fe)	855,6	849,0	499,9	920,8
HD _{0,05}	88,84	98,42	36,93	93,37

3.4 Vliv fenolových sloučenin na lidské zdraví

3.4.1 Polyfenoly

Většina lidí se v současné době snaží konzumovat ovoce a zeleninu, kvůli obsahu velkého množství výživných a zdraví prospěšných látek. Jednou z nich je i skupina látek označována jako polyfenoly. Konzument si ji může zaměnit s názvem fenoly, některé z nich jsou toxické a jejich hodnota se měří jak u pitné, tak u odpadní vody. Polyfenolů je celá řada a účinek na lidský organismus je velmi rozdílný. Obecně polyfenoly mají vliv jako antioxidant, jež z organismu člověka odstraňují toxické ionty kyslíku v radikálové formě. Bylo zjištěno, že tlumí projevy kardiovaskulárních onemocnění, onemocnění trávicího traktu, ale i napomáhá proti stárnutí organismu. (Straka, 2006)

Na zemědělské univerzitě u Krakově, zkoumali vědci obsah polyfenolů ve vybraných druzích ovoce a zeleniny. Plodiny byly jak ve stavu čerstvém, tak ve stavu skladovaném. Posuzovali výskyt různých chorob, po konzumaci určitého ovoce. Tato studie prokázala pozitivní účinky čerstvých jablek, hrušek a hlávkového zelí. (Straka, 2006) Po srovnání vybraných druhů ovoce a zeleniny bylo zjištěno, že nejvíce fenolů zaujímá černý rybíz 1540 mg/100g, dále pak grapefruit 425 g/100g. Naopak nejméně fenolů je v cuketě 38 g/100g (Tabulka č. 5).

Tabulka č. 5: Obsah fenolových sloučenin ve vybraných druzích ovoce a zeleniny (v mg/100g) (Straka, 2006)

Ovoce / zelenina	fenoly v mg/100g
brokolice	290
celer	59
cibule	150
cuketa	38
černý rybíz	1540
grapefruit	425
hlávkové zelí bílé	108
hrozny bílého vína	95
hrozny červeného vína	93
hrušky	115
jablka	132
kiwi	273
kořen petržele	67
mrkev	156
nektarinky	57
pomeranč	217
rajčata	62
růžičková kapusta	91
švestky	200

U pokusů na zvířatech bylo zjištěno, že flavonoidy mají značný protinádorový účinek, bohužel v epidemiologických studiích toto zjištění nebylo prokázáno. Předkládá se, že antikarcinogenní působení lze odvodit z chemické struktury. Navzdory tomu existují vědci, kteří se touto problematikou zabývají a kteří jsou přesvědčeni, že působení některých flavonoidů má karcinogenní účinky. Mluví se o flavonoidu zvaném diosmin, ten se vyskytuje v citrusových plodech. V tabulce č. 6 jsou uvedeny hodnoty diosminu, který je obsažen v doplňcích stravy. Nejvíce jsou obsaženy ve Varixinalu až 800 mg v jedné tabletě. Tento doplněk stravy je určen pro lidi, kteří trpí na problémy s nedostatečným prokrvením končetin. Vysoké dávky tohoto flavonoidu působí v tlustém střevě karcinogenně. Tím se ovšem netvrdí, že citrusové plody nejsou zdravé nebo snad zdraví škodli-

vé. Na světě jsou flavonoidy, které mají jak pozitivní tak negativní vliv na lidský organismus. (Hanušiak a kol., 2007)

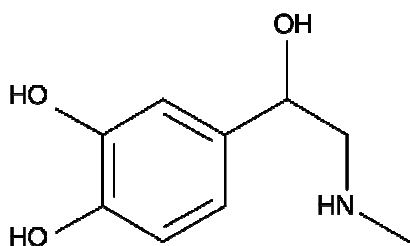
Tabulka č. 6: Původ a množství diosminu v některých doplňcích stravy (Hanušiak a kol., 2007)

Doplňěk stravy	Původ (forma) diosminu	Množství v tableť
Antivarix	Mikronizovaný s hesperidinem	70 mg
Detralex	Mikronizovaný s hesperidinem	450 mg
Menstrual Support	<i>Barosma betulina</i>	50 mg
Varixinal	Listnazec bodlinatý	800 mg

3.4.2 Fenolové hormony

Adrenalin jiným slovem epinefrin, řadíme ho do skupiny biogenních aminů. Chemická struktura adrenalinu je 1-(3,4-dihydroxyfenyl)-1-hydroxy-2-methylaminoethyn. Byl v lidském organismu objeven v nadledvinkách, později zde byl nalezen i další hormon noradrenalin neboli arterenol. (Doubrava a kol., 1984)

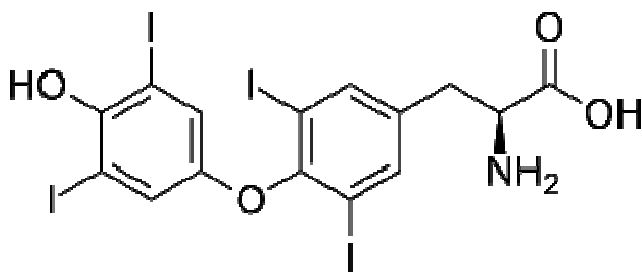
Ve vyšších dávkách působí na cévní systém, zvyšuje krevní tlak a podílí se také na termoregulaci těla. Což znamená, že se při ochlazení vylučuje, periferní kapiláry se zmenšují a tím se zastaví unikání tepla z těla. Podílí se také na odbourávání glykogenu v játrech. Při zvýšení adrenalinu, se ve svalech mění glykogen v laktát a tím se převádí glykogen do jater. (Doubrava a kol., 1984)



Obrázek č. 15: Adrenalin (html č. 12)

Thyroxin je obsažen ve štítné žláze. Chemická struktura thyroxinu je 4-hydroxy-3',5'-dijodfenylether-3,5-dijodtyrosin,

Ve štítné žláze má funkci biochemie jodu, a to řízení látkové přeměny. S tímto jsou spojovány i nemoci. V případě nedostatku tvorby Thyroxinu a tím způsobený nedostatek jodu nazýváme hypothyroidismus, nebo naopak nadměrnou tvorbu hormonu a produkcí sekretu hyperthyroidismus. Následkem nedostatku hormonu se snižuje růst a vývoj jedince a vzniká na krku tzv. vole, tím se vyrovnává tělo s nedostatkem produkce hormonu. Hyperthyroidismus naopak zvyšuje bazální metabolismus. To způsobuje ztrátu jaterního glykogenu, hubnutí a zvýšený srdeční tep. (Doubrava a kol., 1984)



Obrázek č. 16: Thyroxin (html č. 13)

4 VLASTNÍ KOMENTÁŘ K ŘEŠENÉ PROBLEMATICE

Ve vlastním komentáři se zabývám určitými fenolovými sloučeninami ve vybraných potravinách. Jedním z fenolových sloučenin se budu zabývat resveratrolem ve vybraných částech révy vinné, ve víně a anthokyany v potravinách.

Resveratrol se považuje za jednu z hlavních složek stilbenů. Při výrobě vína se navrhuje delší dobu macerace, aby při louhování lépe extrahoval do vína. Je známo, že v kombinaci s alkoholem působí účinně. Kromě resveratrolu jsou přítomny i další látky a ty přispívají k celkovému množství fenolových látek ve víně. Podílejí se na organoleptických vlastnostech a antioxidační aktivitě. (Burnus a kol., 2000) V poslední době se na resveratrol kladla pozornost. Tato sloučenina vzniká buď v *cis*, nebo *trans* formě. V hroznech se považuje za hlavní stilben *trans*-resveratrol. Je známo, že při zamoření rostliny révy vinné patogenem *Botryotinia fuckeliana* se zvyšuje syntéza *trans*-resveratrolu ve formě, která chrání a zabraňuje šíření infekcí. Byl proveden i výzkum, zaměřený na detekci *trans*-resveratrolu. Je zřejmé, že po zamoření určité části rostliny se biosyntéza *trans*-resveratrolu zvýšila. U zamořených listů bílých odrůd proběhla vyšší biosyntéza než u modrých odrůd (Tabulka č. 7). (Bábíková a kol, 2008)

Tabulka č. 7: Obsah *trans*-resveratrolu v listech interspecifických odrůd (mg/kg čerstvého materiálu) (Bábíková a kol, 2008)

Odebrané vzorky			
		22. srpna	3. října
Hibernal	Zdravé listy	0,96	6,84
	Zamořené listy	8,88	14,51
Malverina	Zdravé listy	1,20	11,90
	Zamořené listy	8,08	13,06
Laurot	Zdravé listy	1,91	5,79
	Zamořené listy	2,63	6,41
Cerason	Zdravé listy	1,57	4,69
	Zamořené listy	1,56	5,95

Pokus byl proveden také u bobulí stejných odrůd. Tak výrazné rozdíly, jako byly u listů, se na bobulích neprokázaly. Bobule bílých odrůd obsahovaly méně *trans*-resveratrolu, než u modrých. Odebrané vzorky listů a plodů byly odebrané v různou do-

bu, jelikož opad listu proběhl dřív, než dozrání ovoce. (Tabulka č. 8) (Bábíková a kol., 2008)

Tabulka č. 8: Obsah *trans*-resveratrolu v bobulích interspecifických odrůd (mg/kg čerstvého materiálu) (Bábíková, 2008)

Bobule	Odebrané vzorky	
	22. srpna	3. října
Hibernal	0,23	0,14
Malverina	0,31	0,25
Laurot	0,65	0,53
Cerason	1,33	0,54

Tyto látky mají zásadní vliv na barvu vína i na sensorické vlastnosti, ale jsou významné díky pozitivním vlastnostem na lidský organismus. V hroznovém víně je obsažen nejen resveratrol, ale i piceid, pterostilben, astringinin, pallidol, piaceatannol a mnoho dalších. (Pavloušek, 2011)

Antioxodační aktivita ve víně působí i na lidský LDL oxidativně a s tímto jsou spojeny s dalšími fenoly, které jsou zde obsaženy. (O'Byrne, 2009)

Vědci v roce 2006 provedli pokus na Myši krmné, jejíž strava obsahovala jídlo s vyšším obsahem tuku. Velké dávky resveratrolu podávané vzápětí myši zabránily výskytu cukrovky a tím ovlivnili její délku života. Ta se dala porovnat s délkou života myši, které se podávala strava výhradně bez vyššího množství obsaženého tuku. Tyto výsledky provedené na myši jsou zajímavé, ovšem neprokazatelné u lidí, jelikož dávka resveratrolu spotřebovaná na myši odpovídá 750 až 1500 lahví červeného vína na den. (Brady, 2013)

Výzkum poukázal, že konzumace resveratrolu má příznivý vliv na lidské zdraví. Prokázal se tzv. francouzský paradox, že konzumaci jídel s vysokým obsahem tuků, lze vyvážit červeným vínem. Proto mají Francouzi zřetelně nižší míru srdečních chorob, než Američané. (Brady, 2013)

V Tabulce č. 9 můžeme vidět obsahy fenolů v různých odrůdách hroznového vína. Je zřejmé, že v jakémkoliv roce i v závislosti na odrůdě jsou hodnoty obsahu fenolů nevyšší v semenech a nejnižší v hroznovém moštu. Tím si můžeme zdůvodnit i to, že

čím delší bude macerace hroznů, tím se více fenolových látek ze semen vyextrahují do moštu a následně je můžeme nalézt i ve vyrobeném víně.

Tabulka č. 9: Celkový obsah fenolových sloučenin v hroznovém moštu, slupce a semenech (O'Byrne, 2009)

Bílá odrůdy	Mošt (g/l)		Slupka (g/kg)			Semena (g/kg)	
	2001	2002	2001	2002	průměr	2001	2002
Aurelius	0,174	0,302	3,19	10,16	6,675	90,49	133,9
Bacchus	0,116	nd	4,14	nd	4,140	75,56	nd
Kerner	0,116	0,390	2,98	8,98	5,980	67,40	78,4
Muškrát Ottonel	0,268	0,266	6,98	13,90	10,440	85,4	102,2
Ryzlink vlašský	0,344	0,132	6,40	11,90	9,150	76,99	78,9
Sylvánské zelené	0,059	0,338	7,74	7,8	7,770	98,71	105,8
Veltlínské zelené	0,232	0,104	10,20	10,78	10,490	94,88	114,0
Veltlínské červené rané	0,074	0,245	3,57	7,47	5,520	86,95	103,9
Modré odrůdy							
Royal	0,267	0,587	14,30	24,09	19,20	98,8	129,6
Rulandské modré	0,114	0,348	8,57	20,42	14,50	124,1	116,8
Svatovavřínecké	0,086	0,385	10,52	25,25	17,89	107,9	106,7
Zweigeltrebe	0,196	0,468	11,02	30,87	20,95	90,6	111,8
nd – není stanoveno							

Anthokyany jsou obsaženy v mnoha rostlinných druzích. Hlavním zdrojem anthokyanů jsou rostliny čeledi révovitých (Vitaceae) a růžovitých (Rosaceae). Méně významné druhy jsou lilkovité (Solanaceae), srstkovité (Grossulariaceae), vřasovité (Ericaceae). Počty anthokyanů se pohybují od několika málo jako například u jahod až po více než 10. Tyto hodnoty jsou u hroznů modrých odrůd a borůvek. (Velíšek, 2009)

Tabulka č. 10: Hlavní anthokyany vybraných potravinářských materiálů (Gritzová, 2010)

Název	Hlavní anthokyanová barviva
Rybíz červený	Cy 3-glukosid, 3-rutinosid, 3-sambubiosid, 3-soforosid
Jahoda	Pg a Cy 3-glukosidy
Jablko	Cya Pn 3-glukosid, 3-xylosid, 3-galaktosid, 3- a 7-
Švestka	Cy a Pn 3-glykosidy, 3-rutinosidy
Vinné hrozny	Cy, Pn, Dp, Pt, Mv 3- <i>p</i> -kumaryol, 3-acetyl-glykosidy aj.
Kukuřice	Cy, Pg, Pn 3-glukosidy, Cy 3-galaktosidy
Cibule	Cy 3-glukosid, 3-galaktosid, 3-diglukosid, Pn 3-glukosid
Cy – kyanidin, Pg – pelargonidin, Pn – peonidin, Dp – delfinidin, Pt – petunidin, Mv – malvinidin.	

Obsah anthokyanů v červených hroznech révy vinné (*Vitis vinifera*) je různorodá a mění se v závislosti na druhu, odrůdě, slunečním svitu a řadě dalších podnětů. Šířitelem červené barvy v mladém víně jsou pigmenty, které jsou obsaženy v hroznech, a které se při fermentaci vyluhovaly. Při zrání vína se barva pigmentu mění. Množství anthokyanů vyluhované při fermentaci klesá a vyvíjejí se specifické tmavší a stabilnější pigmenty. Tvoření pigmentu v hroznech začíná při cukernatosti 40 až 60 g/l a pokračuje s růstem cukru v bobulích. (Velíšek, 2009; Balík, 2010)

Tabulka č. 11: Změny hmotnosti bobulí, obsahu rozpustné sušiny a veškerých anthokyaninů v průběhu zrání hroznů odrůdy Nebbiolo (Balík, 2010)

*Čas (dny)	Hmotnost bobule (g)	Rozpustná sušina (%)	Anthokyaniny (mg/kg)
0	**1,78 ± 0,02	**13,3 ± 0,3	**122 ± 13
17	1,7 ± 0,18	15,5 ± 0,7	249 ± 33
30	2,10 ± 0,10	19,2 ± 0,4	475 ± 22
45	1,84 ± 0,06	24,1 ± 0,6	692 ± 29
56	1,99 ± 0,03	23,6 ± 0,2	672 ± 20
66	2,11 ± 0,10	23,9 ± 0,1	624 ± 26
* po začátku zrání, ** průměr ± směrodatná odchylka			

U jablek a hrušek jsou anthokyany nositelem barvy na slupce a jsou odvozeny od sanidinu. Převážně u červených odrůd hrušek, ale ty nejsou na rozdíl od jablek acylovány fenolovými skupinami, se jejich koncentrace pohybuje okolo 50 – 100 mg·kg⁻¹.

U višní jsou anthokyaniny odvozeny také od kyanidinu. Celkový obsah se pohybuje od 350 – 820 mg·kg⁻¹. Anthokyaniny obsahují i plody oliv. V nezralých zelených plodech se vyskytuje barvivo chlorofyl, až při dozrávání převažují pigmenty anthokyanů. (Velíšek, 2009)

Anthokyaniny využíváme především v potravinářství a to jako barvivo. Jejich nevýhodou je, že s nižším pH je sytost barvy intenzivnější. Toto barvivo vhodné pro barvení kyselých potravin. K barvení používáme barviva z hroznů révy vinné. Dalším zdrojem barviva aronie černoplodé (*Aronia melanocarpa*), ale i z hlávky červeného zelí a květů ibišku. (Velíšek, 2009)

5 ZÁVĚR

V současnosti se fenolové sloučeniny rozdělují podle chemické struktury, počtu uhlíku a základního skeletu. Podle těchto kritérií se jednotlivé fenoly dělí do 16 základních skupin. Skupiny jsou to různorodé a pohybují se od vonných látek, přes barviva, až po toxické látky.

Mezi nejznámější reakce fenolových sloučenin patří enzymatické hnědnutí a neenzymatické hnědnutí. Tyto reakce jsou velice důležitou součástí potravin rostlinného původu. Projevení těchto reakcí bývá většinou znakem jakosti znehodnocení potravin, ale nebývá ovlivněna jejich zdravotní nezávadnost. Ovlivňují hlavně organoleptické vlastnosti, jako je chuť, vůně a mění se i barva. Antioxidační aktivita je velice důležitou součástí reakcí fenolových sloučenin, která dokáže zabránit vzniku některých onemocnění. Schopností těchto fenolů je reakce s volnými radikály.

Fenoly jsou součástí listů, květů, plodů, semen plodin, ale i produktů rostlinného původu. Význam v potravinách je podstatný a to nejen kvůli antioxidační aktivitě. Dříve se využívali při uzení potravin.

Fenoly mají vliv na naše zdraví a zaujímají funkci antioxidantu. Důsledkem využití antioxidantu je odstranění toxických látek ve formě volných radikálů. Fenolické látky můžeme najít i v lidském těle jako hormony adrenalin a thyroxin.

Zabývala jsem se resveratolem ve vybraných částech révy vinné a anthokyaniny ve vybraných potravinách. Literatura udává u višně celkový obsah anthokyaninů od 350 – 820 mg·kg⁻¹. U červených odrůd hrušek, se koncentrace anthokyaninů pohybuje okolo 50 – 100 mg·kg⁻¹. Studovala jsem literaturu pojednávající o zamoření révy vinné rostlinným patogenem *Botryotinia fuckeliana*, který zvyšuje syntézu *trans*-resveratrolu v listech. U zamořených listů bílých odrůd proběhla vyšší biosyntéza než u modrých odrůd. Naměřené hodnoty *trans*-resveratrolu v bílé odrůdě Hibernál byla u zdravých listů 0,96 mg/kg a u zamořených listů 8,88 mg/kg.

6 SOUHRN

Výskyt a význam fenolových sloučenin v potravinách

Bakalářskou práci jsem vypracovala v letech 2015/2016 na Mendelově univerzitě v Brně na Zahradnické fakultě na Ústavu posklizňové technologie zahradnických produktů. Práce obsahuje rozdělení a definování fenolových sloučenin v potravinách a charakteristiku vzniklých chemických reakcí fenolových sloučenin v potravinách. Ve vlastním komentáři je popsáno kvalitativní i kvantitativní zastoupení fenolových sloučenin ve vybraných potravinách, a to resveratrolu ve víně a anthokyanů v rostlinných produktech, a také zhodnocení významu a vlivu fenolových sloučenin na lidské zdraví.

Klíčová slova: fenolové sloučeniny, resveratrol, anthokynany, potraviny, lidské zdraví

RESUME

Occurrence and significance of phenolic compounds in foodstuff

This Bachelor thesis I wrote in the years 2015/2016 at Mendel University in Brno Faculty of Horticulture at Department of Post-Harvest Technology of Horticulture Products. The work contains division and definition of phenolic compounds in foodstuff and their characteristics chemical reaction of phenolic compounds. Qualitative and quantitative agency phenolic compounds in chosen foodstuff, resveratrol in wine and anthokyanans in plants product, is describe in my own comments. The comments also includes assessment occurrence and leverage of phenolic compounds on human health.

Keywords: phenolic compounds, resveratrol, anthokyanans, foodstuff, health

7 LITERATURA

BÁBÍKOVÁ, Petra, Naděžda VRCHOTOVÁ, Jan TRÍSKA a Marie KYSELÁKOVÁ. Content of *Trans-resveratrol* in Leaves and Berries of Interspecific Grapevine (*Vitis* sp.) Varieties. *Czech Journal of FOOD SCIENCE*. 2008, (26), 13-17. ISSN 1212-1800.

BALÍK, Josef. *Anthokyaninová barviva v hroznech a vínech: Anthocyanin pigments in grapes and wines*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. ISBN 978-80-7375-412-9.

BAYINDIRLI, Alev. *Enzymes in fruit and vegetable processing: chemistry and engineering applications*. Boca Raton, FL: CRC Press, c2010. ISBN 1420094335.

BRADY, John W. *Introductory food chemistry*. 1st pub. Ithaca: Comstock Publishing Associates, 2013. ISBN 978-0-8014-5075-4.

BURDOCK, George A. *Fenaroli's handbook of flavor ingredients*. 6th ed. Boca Raton: CRC Press, c2010. ISBN 978-1-4200-9077-2.

BURNS, Jennifer, GARDNER, Peter T., O'NEIL, Jennifer, CRAWFORD, Sharon, MORECROFT, Ian, MCPHAIL, Donald B., LISTER, Carolyn, MATHEWS, David, MACLEAN, Margaret R., LEAN, Michael E., DUTHIE, Garry C. a Alan CROZIER. Relationship among antioxidant activity, vasodilation capacity, and phenolic content of red wines. *J.Agric.Food Chem.* 2000, 48(2), 220-230.

DOUBRAVA, Jaroslav, Josef KOŠTÍŘ a Jiří POSPÍŠIL. *Základy biochemie: Učebnice pro vysoké školy*. 1. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. 1984.

GOLISOVÁ, Andrea, Pavol SLAMKA, Otto LOŽEK a Eva HANÁČKOVÁ. Obsah fenolov v cibuli kuchynskej (*Allium cepa* L.) hnojenej dusíkom, sírou a železom. *AGRO chémia*. 2009, 8(3), 14-17. ISSN 1335-2415.

GRITZOVÁ, Jana. *Stanovení fenolových látek a antioxidační aktivity v zelenině a ovoci a jejich šťáv pěstovaných bio a tradičně*. Brno, 2010. Diplomová práce. Mendelova univerzita, Agronomická fakulta.

HANUŠTIAK, Pavel, Radka MIKELOVÁ, Vojtěch ADAM, Petr HODEN a René KIZEK. Funkční potraviny - také s flavonoidy? *Kvalita potravin*. 2007, 7(1), 20-21. ISSN 1213-6859.

HARMATHA, Juraj. Strukturní bohatství a biologický význam lignanů a jim příbuzných rostlinných fenylpropanoidů. *Chemické listy*, 2005, 99, 622 – 623.

HOHNOVÁ, Barbora. *Studium přírodních látek obsažených ve vybraných bylínách a méně obvyklých druzích drobného ovoce*. Brno, 2010. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně.

KYZLINK, Vladimír. *Teoretické základy konzervace potravin*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1988.

MANDELOVÁ, Lucie. *Antimutagenní aktivita obsahových látek v zelenině a ovoci*. Brno, 2006. Disertační práce. Masarykova univerzita.

MICHLOVSKÝ, Miloš. *Lexikon chemického složení vína: příručka praktického vinaře*. Vyd. 1. Rakvice: Vinselekt Michlovský, 2014. ISBN 978-80-905319-2-5.

NĚMCOVÁ, Anna. *Konzervační metody*. Zápisky z přednášek. 2015

O'BYRNE, Paul. *Red wine and health*. New York: Nova Science Publishers, c2009. Food and beverage consumption and health series. ISBN 1606927183.

PAVLOUŠEK, Pavel. *Pěstování révy vinné*. Grada Publishing a. s., 2011 ISBN 978-80-247-3314-2.

PEROUTKOVÁ, Jitka, Michael BINDER, Marta PECHÁČOVÁ, Irena NĚMEČKOVÁ, Ivana LAKNEROVÁ, Jana RYSOVÁ a Dana GABROVSKÁ. Vývoj funkčních potravin pro osoby nemocné fenylketonurií. *Výživa a potravin*. 2011, 1, 7-9. ISSN 1211-846X.

MERCK a kol., *The Merck Index*, 12th edition, Whitehouse Station, New Jersey, USA, 1996.

PILIŽOTA, Vlasta a Drago ŠUBARIĆ. Enzymatic browning of foods. *Food technology and biotechnology*, 1998, 36, 219-227.

SHAHIDI, Fereidoon a Marian NACZK. *Phenolics in food and nutraceuticals*. Boca Raton: CRC Press, 2003. ISBN 1587161389.

STRAKA, Ivan. Hnědnutí brambor po jejich oloupaní. *Kvalita potravin*. 2006, 6(1), 5-6. ISSN 1213-6859.

STRAKA, Ivan. Výskyt polyfenolů v ovoci a zelenině. *Kvalita potravin*. 2006, 6(2), 8-9. ISSN 1213-6859.

TIMORACKÁ, Mária, Alena VOLLMANNOVÁ a Daniel BAJČAN. Analýza polyfenolických látek v rostlinnom materiáli. *Kvalita potravin*. 2008, 8(2), 14-15. ISSN 1213-6859.

TSCHESCHE, R. et al. Eucryphin, a new chromone rhamnoside from the bark of *Eucryphia cordifolia*. *Phytochemistry*. 1979, 5(18), 867-869.

VELÍŠEK, Jan. *Chemie potravin*. Vyd. 1. Tábor: OSSIS, 1999. ISBN 80-902391-4-5.

VELÍŠEK, Jan. *Chemie potravin*. 1. vyd. Tábor: OSSIS, 1999. ISBN 80-902391-5-3.

VELÍŠEK, Jan a Jana HAJŠLOVÁ. *Chemie potravin*. Rozš. a přeprac. 3. vyd. Tábor: OSSIS, 2009. ISBN 978-80-86659-17-6.

VELÍŠEK, Jan a Karel CEJPEK. *Biosynthesis of food components*. 1st ed. Tábor: OSSIS, 2008. ISBN 978-80-86659-12-1.

ZHANG, Xinglong a Xingfeng SHAO. Characterization of polyphenol oxidase and peroxidase and the role in browning of loquat fruit. *Czech Journal of Food Sciences*. Prague, 2015, (2), 109-115. ISSN 1212-1800.

ZLOCH, Zdeněk. Zdravotní efekt polyfenolů z hlediska jejich příjmu a využitelnosti. *Vojenské zdravotnické listy*, 72, 2003, 225 – 229.

Internetové zdroje:

Html č. 1: Wikipedie, 2015: *Arbutin*. Encyklopedie online [cit. 2016-03-25]. Dostupné na: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Arbutin>>

Html č. 2: Wikipedie, 2016: *Benzoová kyselina*. Encyklopedie online [cit. 2016-03-25]. Dostupné na: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina_benzoová>

Html č. 3: Wikipedie, 2016: *Acetofenon*. Encyklopedie online [cit. 2016-03-25]. Dostupné na: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Acetofenon>>

Html č. 4: Wikipedie, 2015: *Kumarin*. Encyklopedie online [cit. 2016-03-25]. Dostupné na: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Kumarin>>

Html č. 5: Wikipedie, 2015: *Isoeugenol*. Encyklopedie online [cit. 2016-03-25]. Dostupné na: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Isoeugenol>>

Html č. 6: Wikipedie, 2015: *Lawson*. Encyklopedie online [cit. 2016-03-25]. Dostupné na:

Html č. 7: Wikipedie, 2015: *Juglon*. Encyklopedie online [cit. 2016-03-25]. Dostupné na: <<https://de.wikipedia.org/wiki/Juglon>>

Html č. 8: Wikipedie, 2012: *Purpurin*. Encyklopedie online [cit. 2016-03-25]. Dostupné na: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Purpurin>>

Html č. 9: Wikipedie, 2015: *Enterodiol a Enterolacton*. Encyklopedie online [cit. 2016-03-25]. Dostupné na:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Enterodiol_and_Enterlactone.svg>

Html č. 10: Wikipedie, 2015: *Amentoflavon*. Encyklopedie online [cit. 2016-03-25]. Dostupné na: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Amentoflavone>>

Html č. 11: Chemicalbook, 2016: *Muscarufin*. Encyklopedie online [cit. 2016-04-26]. Dostupné na:

<http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB01480737.htm>

Html č. 12: Pasricha, Neil, 2008: *Adrenalin*. Databáze online [cit. 2016-03-25]. Dostupné na: <<http://1000awesomethings.com/2008/09/22/93-adrenaline/>>

Html č. 13: Wikipedie, 2016: *Thyroxin*. Encyklopedie online [cit. 2016-03-25]. Dostupné na: <<https://de.wikipedia.org/wiki/Thyroxin>>

Html č. 14: <<https://leporelo.info/acetofenon>>

Html č. 15: <<http://lekarske.slovniky.cz/lexikon-pojem/fenyloctova-kyselina-1>>