

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BRNO 2015

EVA MUSILOVÁ

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav chemie a biochemie



Antioxidanty v bylinných čajích

Bakalářská práce

Vedoucí práce:
prof. RNDr. Bořivoj Klejdus, Ph.D.

Vypracovala:
Eva Musilová

Brno 2015

ZADÁNÍ PRÁCE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci: Antioxidanty v bylinných čajích 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

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat panu prof. RNDr. Bořivoji Klejdusovi, Ph.D. za cenné rady a vstřícný přístup při vedení bakalářské práce. Děkuji také své rodině za trpělivost a podporu během mého studia.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce na téma „Antioxidanty v bylinných čajích“ přináší formou literární rešerše přehled o látkách s antioxidačním účinkem, které jsou obsaženy v bylinách, z nichž se vyrábí bylinné čaje. V práci jsou nejprve vysvětleny základní pojmy, jako je oxidativní stres, antioxidant a volný radikál. Dále jsou popsány jednotlivé skupiny rostlinných antioxidantů (flavonoidy, fenolické kyseliny, terpenoidy, chlorofyly aj.) z hlediska své chemické struktury a výskytu. Část práce se krátce věnuje metodám, jimiž lze stanovovat antioxidační aktivitu (DPPH, TEAC, FRAP aj.). V další sekci jsou zmíněny části rostlin používané k výrobě bylinných čajů, způsoby jejich přípravy a charakteristika vybraných bylin z hlediska obsahových látek s antioxidačním účinkem. V závěru práce je uveden obecný význam antioxidantů pro lidské zdraví (působení proti oxidativnímu stresu) v návaznosti na některé významné choroby (rakovina, kardiovaskulární a neurodegenerativní onemocnění aj.).

Klíčová slova: bylinné čaje, antioxidanty, flavonoidy, oxidativní stres

ABSTRACT

This bachelor's thesis „Antioxidants in Herbal Teas“ brings a summary of substances with antioxidant properties contained in herbs used for production of herbal teas. The basic terms, e.g. oxidative stress, antioxidant, or free radical, are explained first. The individual groups of plant antioxidants (flavonoids, phenolic acids, terpenoids, chlorophylls etc.) are described in terms of their chemical structure and occurrence. There is also a brief introduction to methods for determining antioxidant activity (DPPH, TEAC, FRAP etc.). The next section focuses on the parts of plants used for production of herbal teas, tea preparation methods and characterization of selected herbs concerning their components with antioxidant effects. The final part of the thesis deals with the importance of antioxidants for human health in relation to particular diseases (cancer, cardiovascular and neurodegenerative diseases etc.).

Key words: herbal teas, antioxidants, flavonoids, oxidative stress

OBSAH

ÚVOD	8
CÍL PRÁCE	9
1 ANTIOXIDANTY – PŘEHLED A ROZDĚLENÍ	10
1.1 Pojmy a základní dělení antioxidantů	10
1.1.1 Volné radikály.....	10
1.1.2 Oxidativní stres.....	11
1.1.3 Antioxidanty	12
1.2 Rozdělení rostlinných antioxidantů z chemického hlediska	13
1.2.1 Fenolické antioxidanty	13
1.2.2 Nefenolické antioxidanty	25
2 METODY PRO STANOVENÍ ANTIOXIDAČNÍ AKTIVITY	31
2.1 Metoda FRAP	31
2.2 Metoda TEAC	31
2.3 Metoda DPPH	32
2.4 Metoda ORAC	32
2.5 Metoda DMPD	32
3 BYLINNÉ ČAJE	33
3.1 Úvod k bylinným čajům.....	33
3.1.1 Bylinné čaje a legislativa.....	33
3.1.2 Části bylin používané pro výrobu a přípravu čajů, tvorba čajových směsí, způsoby přípravy bylinných čajů	33
3.2 Charakteristika vybraných bylin používaných pro výrobu bylinných čajů	35
3.2.1 Heřmánek pravý (<i>Matricaria recutita</i> L.)	35
3.2.2 Šalvěj lékařská (<i>Salvia officinalis</i> L.).....	36
3.2.3 Kontryhel obecný (<i>Alchemilla vulgaris</i> L.).....	37
3.2.4 Borůvka černá (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.).....	38
3.2.5 Máta peprná (<i>Mentha × piperita</i> L.)	39
3.2.6 Meduňka lékařská (<i>Melissa officinalis</i> L.)	39
3.2.7 Mateřídouška úzkolistá (<i>Thymus serpyllum</i> L.)	40
3.2.8 Ostropestřec mariánský (<i>Silybum marianum</i> L.).....	40
3.2.9 Růže šípková (<i>Rosa canina</i> L.)	41

3.2.10 Třezalka tečkovaná (<i>Hypericum perforatum</i> L.)	41
4 VÝZNAM ANTIOXIDANTŮ ZE ZDRAVOTNÍHO HLEDISKA	43
4.1 Rakovina	45
4.2 Kardiovaskulární onemocnění a aterosklerosa.....	45
4.3 Diabetes.....	46
4.4 Neurodegenerativní onemocnění	46
4.5 Chronická zánětlivá onemocnění	47
4.6 Oční onemocnění	47
ZÁVĚR	48
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	49
SEZNAM ZKRATEK.....	57

ÚVOD

Antioxidanty jsou v současné době velice diskutovaným tématem. Předmětem diskuze jsou jejich interakce s tzv. volnými radikály či jinými látkami poškozujícími lidský organismus, dále jejich skutečný antioxidační efekt v těchto reakcích a v neposlední řadě i zdroje těchto antioxidantů. Vůbec nejsilnější externí přírodní antioxidanty se nacházejí v rostlinných materiálech, které jsou proto předmětem vědeckého bádání a slouží k různým účelům od výroby potravin po produkci léčiv využívaných v medicíně. Mezi tyto antioxidanty patří flavonoidy, fenolické kyseliny, tokoferoly, vitamin C a další.

Přestože je dostupný nespočet preparátů obsahujících antioxidanty, je nutné uvažovat, zda je vhodné či nevhodné užívat antioxidanty v tomto stavu, nebo zda existuje i jiná možnost, jak je přijímat do organismu, eventuálně je-li užitečná případná kombinace zdrojů a způsobů příjmu antioxidantů.

Jednou z možností jednoduchého a relativně levného příjmu látek s antioxidačním účinkem by mohla být konzumace čajů z bylin. Proto se předkládaná práce bude zabývat antioxidanty přítomnými v rostlinách a věnovat se bylinám, z nichž se vyrábějí čaje. Dále zde také budou popsány zdravotní účinky antioxidantů z obecné i konkrétní roviny a přehled metod zjišťování antioxidační aktivity.

CÍL PRÁCE

Cílem této práce na téma „Antioxidanty v bylinných čajích“ je vytvořit formou literární rešerše celkový pohled na bylinné čaje z hlediska obsahových látek s antioxidačními účinky. Co se týče dílčích cílů, jsou to: vytvoření přehledu vybraných bylin používaných k výrobě čajů, charakterizace jednotlivých bylinných antioxidantů a zpracování informací o antioxidantech v souvislosti s lidským zdravím.

1 ANTIOXIDANTY – PŘEHLED A ROZDĚLENÍ

1.1 Pojmy a základní dělení antioxidantů

1.1.1 Volné radikály

Volné radikály kyslíkové a dusíkové podstaty vznikají v organismu různými endogenními cestami. Rovnováha mezi volnými radikály a antioxidanty je nezbytná pro správný průběh fyziologických funkcí. Jestliže množství volných radikálů (příp. prooxidantů) přesahuje míru schopnosti jejich regulace organismem, nastává situace (imbalance), jež se označuje jako oxidativní stres (Lobo et al, 2010). Volné radikály pak nepříznivě pozměňují lipidy, proteiny a DNA a tímto se stávají spouštěči mnoha patofyziologických procesů (Dostálek, 2007). Právě z tohoto důvodu mohou antioxidanty z externích zdrojů pomoci organismu vyrovnat se s oxidativním stresem (Lobo et al, 2010).

Velkou roli v oxidativních procesech hraje kyslík, respektive jeho reaktivní formy (zkratka ROS z anglického *reactive oxygen species*). Za většinu potencionálně škodlivých efektů kyslíku je zodpovědná právě aktivita mnoha chemických sloučenin známých jako ROS, které mají tendenci poskytovat atom kyslíku ostatním sloučeninám (Lobo et al, 2010). Poškozovat organismus mohou kromě ROS také reaktivní formy dusíku (zkratka RNS z anglického *reactive nitrogen species*) nebo třeba reaktivní formy chloru (zkratka RCS z anglického *reactive chlorine species*) (Shahidi, Zhong, 2005).

Volný radikál může být definován jako jakákoli molekulární forma schopná nezávislé existence (Lobo et al, 2010) obsahující jeden nebo více nepárových elektronů v atomovém či molekulovém orbitalu (Dostálek, 2007). Přítomnost nepárového elektronu je klíčová pro projevy určitých vlastností společných pro většinu radikálů; ty jsou nestabilní a vysoce reaktivní. Mohou poskytovat elektron nebo jej naopak akceptovat od jiných molekul a mohou tedy vystupovat jako oxidanty i reduktanty (Lobo et al, 2010).

Z volných kyslíkových radikálů jsou v organismu nejreaktivnější radikál hydroxylový ($\text{OH}\cdot$) s poločasem rozpadu 10^{-9} sekund, radikál alkoxylový ($\text{RO}\cdot$) s poločasem rozpadu 10^{-6} sekund, dále pak singletový kyslík ($^1\text{O}_2$) s poločasem rozpadu 10^{-5} sekund, radikál peroxylový ($\text{ROO}\cdot$) s poločasem rozpadu 7 sekund, radikál superoxidový ($\text{O}\cdot^{2-}$), hydrogenperoxidový a peroxid vodíku (H_2O_2). Z řad RNS potom

peroxynitrit (ONOO^-) s poločasem rozpadu 0,05 – 1,0 sekunda, mající mnohokrát vyšší aktivitu než peroxid vodíku, a radikál oxidu dusnatého ($\text{NO}\bullet$) s poločasem rozpadu 110 sekund (Dostálek, 2007). Tyto vysoce reaktivní částice jsou schopny v jádře a membránách lidských buněk poškozovat biologicky významné (makro)molekuly, nejčastějšími cíli jsou DNA, proteiny, sacharidy a lipidy; toto nežádoucí působení vede k samotnému poškození buňky a narušení homeostázy (Alok et al, 2014; Lobo et al, 2010).

Volné radikály a jiné reaktivní formy molekul jsou odvozeny buď z normálních základních metabolických procesů, nebo z externích zdrojů (např. paprsky X, UV záření, řada léčiv, ozón, cigaretový kouř, znečištění vzduchu, pesticidy či jiné průmyslové chemikálie) (Dostálek, 2007). V buňkách probíhá formování volných radikálů nepřetržitě jako důsledek enzymatických i neenzymatických reakcí (Lobo et al, 2010). Enzymatické reakce sloužící jako zdroj radikálů jsou zahrnuty v průběhu dýchacího řetězce v mitochondriích (1 – 4 % kyslíku jsou při oxidativní fosforylaci přeměněna na superoxid a peroxid vodíku) (Dostálek, 2007), ve fagocytóze, v syntéze prostaglandinu, dále také v biotransformačních procesech na endoplazmatickém retikulu (systém cytochromu P-450), nebo reakcích v lysozomech a peroxisomech (ty jsou za fyziologických podmínek známé jako producenti H_2O_2) (Dostálek, 2007; Lobo et al, 2010). Formace neenzymatickou cestou probíhá při reakcích kyslíku s organickými složkami na stejném principu jako při ionizačních reakcích (Lobo et al, 2010).

1.1.2 Oxidativní stres

Oxidativní stres je stav, kdy dochází k porušení rovnováhy mezi produkcí nebo výskytem ROS (případně RNS → nitrosativní stres, a RCS) a antioxidačním systémem organismu (je limitována dostupnost antioxidantů) (Atoui et al, 2005). Je často diskutován z hlediska možného negativního vlivu na buňky a tkáň (Betteridge, Booz, 2000). Při tomto jevu dochází ke zvýšení koncentrace (kumulaci) kyslíkových radikálů. Během zvyšování koncentrace intracelulárních kyslíkových radikálů se zároveň snižuje buněčná aktivita v rámci přirozeného procesu stárnutí organismu (Dostálek, 2007).

Reakcemi charakteristickými pro oxidativní stres jsou oxidace nukleotidů (při oxidaci DNA jako první oxiduje deoxyribosa, následně dochází ke změně struktury dusíkatých bází a rozpadu dusíkové vazby), oxidace PUFA (významné změny způsobené radikálovou řetězovou reakcí, vznikají většinou toxické produkty, jako

isoprostany, 4-hydroxy-2-nonenal, malondialdehyd, dienaly, konjugované dieny nebo alkany), inhibice metabolické přeměny proteinů, inhibice syntézy některých enzymů a receptorů ústící v nadprodukcii příslušných genů, poškození funkce mitochondrií a buněčných membrán (dochází ke zvýšení propustnosti membrány následkem snížení fluidity fosfolipidové dvojvrstvy a zvýšení migrace fosfolipidů mezi vrstvami). Zmíněné reakce oxidativního stresu vyúsťují v tzv. buněčnou smrt (Dostálek, 2007).

1.1.3 Antioxidanty

Jako antioxidant můžeme označit jakoukoli substanci, která v nízké koncentraci ve srovnání s oxidovatelným substrátem, zdatelně zpomaluje nebo inhibuje oxidaci tohoto substrátu (Atoui et al, 2005).

1.1.3.1 Dělení dle mechanismu působení

Dle mechanismu působení mohou být antioxidanty klasifikovány jako primární a sekundární. V prvním případě primární antioxidant poskytuje volnému radikálu elektron (je donorem elektronu), čímž vzniká stabilnější forma radikálu (radikál je neutralizován) a dochází k přerušení řetězce oxidačních reakcí. Sekundární antioxidanty zpomalují rychlost oxidace a to různými mechanismy zahrnujícími mimo jiné chelataci kovů, regeneraci primárních antioxidantů, rozklad peroxidu vodíku, zhášení singletového kyslíku aj. (Shahidi, Zhong, 2005). Látky s antioxidačním účinkem tedy obecně oddalují nebo inhibují aktivitu vedoucí k poškození buňky. Interakcí s volnými radikály dochází k terminaci řetězce reakcí, než dojde k poškození životně důležitých molekul (Lobo et al, 2010).

1.1.3.2 Dělení dle původu

Antioxidanty se obecně dělí na přírodní a syntetické. Mezi syntetické antioxidanty patří látky uměle vyráběné, získávané a přidávané do potravin a to butylhydroxyanisol (BHA), butylhydroxytoluen (BHT), propylgallát (PG), oktylgallát, dodecylgallát, terc.-butylhydrochinon (TBHQ), chlorid cínatý, kyselina askorbová, citronová, erythorbová a její sodná sůl, oxid siřičitý, soli kyseliny siřičité, karoteny aj. (Bezkonzervantu.cz, 2009; Shahidi, Zhong, 2005). Přírodní antioxidanty nalézáme v živých organismech, kde vznikají přirozenou cestou (metabolismem).

1.1.3.3 Dělení přírodních antioxidantů z hlediska zdroje pro lidský organismus

Dále se dle zdroje pro organismus dělí přírodní antioxidanty na endogenní a exogenní. Endogenní antioxidační systém je tvořen enzymatickými a neenzymatickými mechanismy. Mezi ty enzymatické patří cytochrom c, kataláza, glutathion peroxidáza, superoxid dismutáza, ceruloplasmin; k neenzymatickým antioxidantům řadíme potom glutathion, sulfhydrylové skupiny, thioredoxin, vitamin A a provitamin A, vitamin C, vitamin E a vitamin K, koenzym-Q10, bilirubin či flavonoidy a další (Dostálek, 2007; Halliwell, 2007). Mezi antioxidanty patří rovněž stopové prvky (selen podporující absorpci antioxidačně působícího vitamínu E; zinek stabilizující membrány buněk; v malém množství měď, která však ve zvýšeném množství naopak oxidativní stres vyvolává; mangan). Exogenní antioxidanty se do organismu dostávají stravou (Dostálek, 2007).

1.2 Rozdělení rostlinných antioxidantů z chemického hlediska

1.2.1 Fenolické antioxidanty

Fenolické látky jsou charakteristické strukturou složenou nejméně z jednoho aromatického kruhu s jednou nebo více hydroxylovými skupinami. Jsou známy tím, že vykazují antioxidační aktivitu, působí i jako chelatační činidla (Crozier et al, 2006; Gharras, 2009). Bývají klasifikovány na základě počtu a uspořádání jejich uhlíkových atomů a většinou se vyskytují v konjugované formě s cukry a organickými kyselinami. Fenolické látky s větším počtem aromatických kruhů (polyfenoly) se dělí na dvě základní skupiny – flavonoidy a neflavonoidní fenolické látky (Crozier et al, 2006; Fraga, 2010).

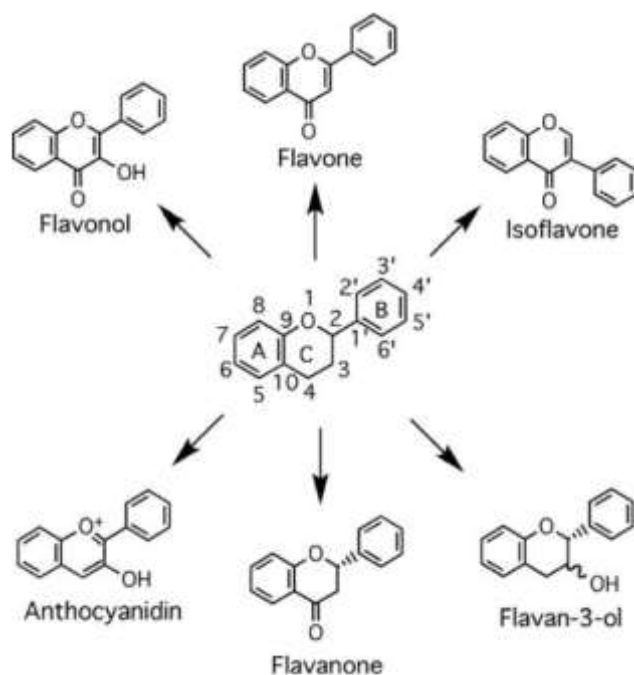
1.2.1.1 Flavonoidy

Flavonoidy jsou polyfenolické složky o nízké molekulové hmotnosti s významnými antioxidačními a chelatačními schopnostmi (Heim et al, 2002). Sestávají se ze dvou benzenových kruhů spojených tříuhlíkatým můstkem (uspořádání C6-C3-C6), který je u většiny flavonoidů součástí heterocyklického (pyranového) kruhu (Velíšek, Hajšlová, 2009). Základem je tedy molekula („flavanové jádro“) se třemi kruhy označenými A, B a C (viz obr. 1). V několika případech se šestičlenný heterocyklický kruh C vyskytuje v isomerické otevřené formě nebo je nahrazen pětičlenným cyklem jako v případě chalkonů (Fraga, 2010).

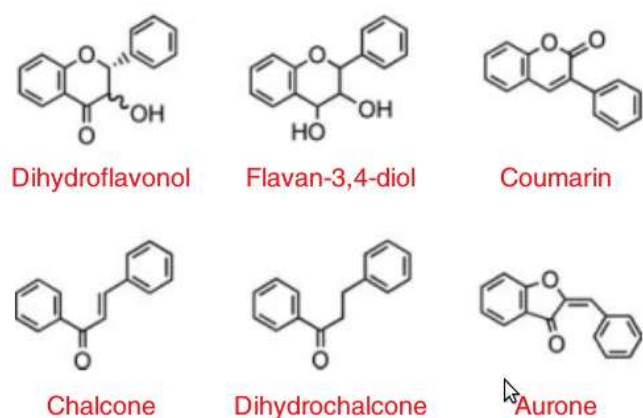
Na flavanovém jádře se mohou vyskytovat různé substituenty (případně i vazby), které dle svého počtu, pozice a typu ovlivňují zhášecí a chelatační aktivitu flavonoidů, tedy jejich antioxidační vlastnosti (Heim et al, 2002). Hydroxylové skupiny jsou obvykle vázány na pozicích 4, 5 a 7, cukerné složky jsou vázány glykosidicky. Oba tyto substituenty zvyšují u flavonoidů jejich rozpustnost ve vodě; metylové skupiny a isopentylové jednotky naopak zapříčiňují lipofilitu flavonoidů. Flavonoidy se primárně vyskytují jako glykosidy a polymery (Crozier et al, 2006; Heim et al, 2002).

Podle modifikací centrálního C-kruhu (stupně oxidace C3 řetězce) mohou být rozděleny do základních strukturních podskupin zahrnujících flavonoly, flavony, flavan-3-oly (katechiny), flavanony, isoflavony a anthokyanidiny (viz obr. 1) (Fraga, 2010; Velíšek, Hajšlová, 2009).

Méně početnými složkami stravy jsou skupiny flavonoidů jako dihydroflavonoly, flavan-3,4-dioly, kumariny, chalkony, dihydrochalkony a aurony (Crozier et al, 2006).



obr. 1 Obecná struktura hlavních skupin flavonoidů (Fraga, 2010).



obr. 2 Obecná struktura vedlejších skupin flavonoidů (Crozier et al, 2006).

Flavonoly

Flavonoly jsou nejvíce rozšířenou skupinou flavonoidů v rostlinných potravinách. Tyto látky, různící se barvami od bílé až po žlutou, blízce souvisejí s flavony (Fraga, 2010). Flavonoly jsou totiž hydroxyflavony, u nichž došlo k záměně vodíku v pozici C3 heterocyklického kruhu za hydroxyskupinu. Všechny významnější flavonoly vyskytující se v potravinách mají v poloze C3, C5, C7 a C4' hydroxyskupinu a vzájemně se liší substitucí v poloze C3' a C5' (Velíšek, Hajšlová, 2009). Jsou reprezentovány zejména kvercetinem, kemferolem a myricetinem, které se vyskytují převážně jako O-glykosidy a jako kopigmenty doprovázející anthokyany (Crozier et al, 2006; Velíšek, Hajšlová, 2009). Methylovaný derivát isorhamnetin je také poměrně běžný. Z mnoha různých flavonolů obsažených v potravě, kvercetin je takřka všudypřítomný (Fraga, 2010). Můžeme jej najít v různých druzích ovoce a zeleniny, v obzvláště vysokých koncentracích (200 – 1000 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ čerstvé hmotnosti) se vyskytuje například ve slupkách červených odrůd cibule kuchyňské (*Allium cepa* L.). V listech morušovníku (*Morus Alba* L.) se vyskytuje netypický flavonol morin, jenž je odvozen od kemferolu (s další hydroxyskupinou na C2' stejně jako datiscetin) (Gharras, 2009). Gosypetin s herbacetinem obsahují další hydroxyskupinu v poloze C8 (Velíšek, Hajšlová 2009).

Volné aglykony se vyskytují v poměrně malém množství, flavonoly se akumulují v rostlinných pletivech téměř vždy ve formě glykosylovaných konjugátů (Fraga, 2010). Z glykosidů se vyskytují převážně 3-O-glykosidy, 7-O-glykosidy méně (možné jsou i substituce C-kruhu na pozicích 5, 7, 3 a 4) (Crozier et al, 2006), přičemž glykosidy odvozené od kvercetinu a kemferolu jsou rozšířenější než ty odvozené od myricetinu

(Velíšek, Hajšlová, 2009). Mezi významné flavonoly dále patří (kromě kemferolu, kvercetin a myricetinu) také např. fisetin, galangin, herbacetin, robinetin a již zmiňovaný morin a mnoho dalších (Gharras, 2009). Jako příklad významných flavonolových methoxyderivátů (methylesterů) je vhodné zmínit rhamnetein, isorhamnetein (který se jako 3- β -rutinosid nachází z ovoce zejména v citrusových plodech), laricitrin a syringetin (Velíšek, Hajšlová, 2009). Flavonoly a jejich glykosidy se nacházejí ve významném množství v čaji (v listech keře *Camellia sinensis* L.). Čajové výluhy obsahují rozmanité spektrum flavonolů spojených s mono-, di- a trisacharidy (Fraga, 2010), přičemž převažujícími složkami jsou zejména 3-O-glukosidy, 3-O-galaktosidy a 3-O-rutinosidy, u kvercetin také 3-O-rhamnosid, u kvercetin a kemferolu také 3-O-rhamnoglukosidy a 3-O-glukorhamnogalaktosidy. Výluhy (na jejichž trpké chuti se glykosidy flavonolů významně podílejí) připravené z černých čajů obsahují od 0,4 do 1,7 % glykosidů, výluhy ze zelených čajů 1,5 – 1,7 % (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Nejběžnějším flavonolem (ale i flavonoidem) ve vyšších rostlinách je již mnohokrát zmiňovaný kvercetin. Obvykle se nachází ve formě glykosidů. V borůvkách (*Vaccinium myrtillus* L.) je avikularin, isokvercitrin a rutin, poměrně běžným je také myricitrin (myricetin-3-rhamnosid), rejnoutrin, kvercimeritrin, hyperin (hyperosid), kvercitrin, rutin. Kvercetin je ovšem nacházen i jako volný v listech, pupenech a plodech rostlin rodů *Compositae*, *Passiflorae*, *Rhamnaceae*, and *Solanaceae* (Alok et al, 2014; Velíšek, Hajšlová, 2009).

Flavony

Flavony jsou strukturně velmi podobné flavonolům, liší se jen v absenci hydroxylace na pozici 3 v kruhu C (Crozier et al, 2006; Fraga, 2010). Na rozdíl od flavonolů nejsou flavony široce rozšířeny a jejich významnější koncentrace se obecně nacházejí v rostlinách z čeledí *Asteraceae* (hvězdnicovité) a *Lamiaceae* (hluchavkovité), následovaných čeledí *Rutaceae* (routovité; zde patří např. citrusy) (Andersen, Markham, 2006). Z běžných potravin jsou významnějšími zdroji jen celer (*Apium graveolens* L.), petržel (*Petroselinum crispum* Mill.) a artyčok (*Cynara scolymus* L.) (Gharras, 2009); v důsledku toho je příjem flavonů ze stravy velice nízký (Fraga, 2010).

V potravinách běžnými flavony jsou ty substituované v poloze C5 a C7, méně často pak se substituenty na C6 kruhu a a C4' kruhu B. Nachází-li se substituent v poloze

C4', často bývají substituovány rovněž uhlíky C3' a C5', vzácně i uhlík C2'. Obvyklým substituentem je skupina hydroxylová a methoxylová (Velíšek, Hajšlová, 2009). Kromě hydroxylace a methoxylace je u flavonů možná také O- a C-alkylace a glykosylace (Crozier et al, 2006).

Flavony jsou ve stravě reprezentovány hlavně apigeninem a luteolinem (Fraga, 2010). Méně často se vyskytuje tricetin aj. Příkladem flavonů s methylovanými hydroxyskupinami v kruhu A mohou být cirisiliol, hispidulin a nepetin, v kruhu B pak diosmetin, chrysoeriol a akacetin. Mezi flavony s methoxyskupinami v kruhu A i B („polymethoxylované flavony“) patří např. limocitrin, nobiletin a tangeretin (Velíšek, Hajšlová, 2009), které se vyskytují v různých druzích citrusů (obsah v citrusových silicích až 6,5 g.l⁻¹) (Gharras, 2009). Nedávná pozorování ukazují, že v případě methoxylovaných flavonů se dramaticky zvyšuje jejich metabolická stabilita a membránový transport ve střevech (případně v játrech), čímž dochází ke zlepšení jejich biologické dostupnosti. Methoxyflavony rovněž vykazují ve srovnání s nemylovanými flavony zvýšené protinádorové účinky (Fraga, 2010).

Většina sacharidových jednotek (zejména D-glukosa, D-galaktosa a L-rhamnosa) je v O-glykosidech vázána přednostně na hydroxyskupinu v poloze C7 (Crozier et al, 2006). Např. glykosid diosmetin-7-rutinosid (diosmin) je obsažen v mátě klasnaté (*Mentha crispa* L.). Flavony (na rozdíl od anthokyanů) netvoří O-diglykosidy (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Zástupci C-glykosidů jsou orientin (glukosid luteolinu) a vitexin (glukosid apigeninu), dále isovitexin a isoorientin (Velíšek, Hajšlová, 2009). Isoorientin a orientin (oba glukosidy luteolinu) jsou obsaženy v čajovci kapském (*Aspalathus linearis* R. Dahlgren), z něhož se připravuje čaj rooibos. Tyto dva posledně jmenované C-glukosidy se spolu s isoscoparinem (glukosid chrysoeriolu) a swertiajaponinem (methyl-luteolin-6-C-glukosid) vyskytují také ve voňatce citronové (*Cymbopogon citratus* Stapf, „citronová tráva“) (Fraga, 2010). C-glykosidy flavonů můžeme také nalézt v prosu nebo pšenici (Gharras, 2009).

Od flavonů jsou dále odvozeny tzv. biflavonyly, což jsou obvykle dimery apigeninu. Některé z těchto (amentoflavon aj.) se nacházejí ve větším množství v listech jinanu dvoulaločného (*Ginkgo biloba* L.) (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Flavan-3-oly

Flavan-3-oly jsou strukturně nejkompexnější podskupinou flavonoidů zahrnující látky od jednoduchých monomerů (+)-katechinu a jeho isomeru (-)-epikatechinu k oligomerním a polymerním proanthokyanidinům, které jsou známy také pod názvem kondenzované taniny (Crozier et al, 2006).

Přítomnost dvou chirálních center na uhlících C2 a C3 v molekule flavan-3-olu umožňuje vznik čtyř isomerů pro každý stupeň hydroxylace B-kruhu, přičemž nejrozšířenější jsou již zmíněné (+)-katechin a (-)-epikatechin. Naproti tomu (-)-katechin a (+)-epikatechin jsou poměrně vzácné. Oligomerní a polymerní proanthokyanidiny mají v molekule kromě výše zmíněných dvou chirálních center ještě další chirální centrum na uhlíku C4 (Crozier et al, 2006). Nejhojněji se vyskytujícím typem proanthokyanidinů v rostlinách jsou prokyanidiny, které jsou složeny pouze z (epi)katechinových jednotek (až z padesáti jednotek). Méně běžné proanthokyanidiny obsahující (epi)afzelechinové a (epi)gallokatechinové podjednotky jsou nazývány propelargonidiny a prodelphinidiny (Fraga, 2010).

Flavan-3-oly se hojně vyskytují v ovoci, např. meruňkách (*Prunus armeniaca* L.), které obsahují až 250 mg flavan-3-olů na kg čerstvé hmotnosti (Gharras, 2009), višních (*Prunus cerasus* L.), vinných hroznech (*Vitis vinifera* L.) a ostružinách (*Rubus sp.* L.). I jablka jsou dobrým zdrojem flavan-3-olů a to konkrétně (-)-epikatechinu a prokyanidinových dimerů (Fraga, 2010).

Významná je přítomnost flavan-3-olů v bylinách, které mohou být užívány ve formě čajů, např. máte vonné (*Mentha × rotundifolia* Huds.), bazalce pravé (*Ocimum basilicum* L.), rozmarýnu lékařském (*Rosmarinus officinalis* L.) a šalvěji lékařské (*Salvia officinalis* L.) (Fraga, 2010).

Flavan-3-oly podléhají esterifikaci kyselinou gallovou za vzniku katechingallátů a hydroxylační reakci za vzniku gallokatechinů. Gallokatechiny jako (-)-epigallokatechin, (-)-epigallokatechin gallát a (-)-epikatechin gallát jsou hojné v nápojích ze zeleného čaje (Fraga, 2010). V průběhu fermentace při produkci černého čaje tyto složky polymerují a vytváří se z nich theaflaviny (dimery) a dále thearubiginy (polymery) o vysoké molekulové hmotnosti (Gharras, 2009).

Flavanony

Pro flavanony jsou charakteristické dva strukturální rysy – absence 2,3-dvojně vazby a přítomnost chirálního centra na uhlíku C2. Ve většině přirozeně se vyskytujících flavanonů je C-kruh připojen k B-kruhu skrze pozici C2 (Crozier et al, 2006). Flavanonová struktura je vysoce reaktivní a podléhá hydroxylaci, glykosylaci a O-methylaci (Fraga, 2010).

Ve zvláště vysokých koncentracích se flavanony vyskytují zejména v citrusových plodech, a to ve formě glykosidů odvozených od 5,7-dihydroxyflavanonů, které se odlišují substituenty na B-kruhu. Nejčastějšími flavanonovými aglykony těchto glykosidů jsou hesperetin (methoxylovaný flavanon; hlavní součástí glykosidů pomerančů a citronů) a naringenin (součástí glykosidů grapefruitů) (Velíšek, Hajšlová, 2009). Flavanony ale zahrnují i minoritní složky jako sakuranetin a isosakuranetin (Fraga, 2010).

Z glykosidů citrusů (jejichž součástmi jsou právě molekuly flavanonů) jsou známy např. narirutin, sakuranin, eriodiktin, ericitrin, neohesperidin, hesperidin (hesperetin-7-rutinosid) a naringin (naringenin-7-O-neohesperidosid). Šťáva z grepfruitu (*Citrus paradisi* Macfad.) obsahuje až 377 mg.l⁻¹ naringinu, šťáva z pomeranče 16 – 84 mg.l⁻¹ narirutinu (naringenin-7-O-rutinosid). Zatímco rutinosidy flavanonů jsou bez chuti, neohesperidin a naringin mají intenzivně hořkou chuť (Fraga, 2010). V bylinných čajových směsích často přítomná lékořice lysá (*Glycyrrhiza glabra* L.) obsahuje flavanonový glukosid likviritin a v některých léčivých rostlinách používaných při léčbě jater se vyskytuje butin (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Anthokyanidiny a anthokyany

Anthokyany (též zvané anthokyaniny) jsou ve vodě rozpustné rostlinné pigmenty patrné zejména v ovoci a rostlinných pletivech a orgánech, kde tvoří různé barevné odstíny červené, modré a fialové (Crozier et al, 2006).

Anthokyany se primárně (až 97 % forem) vyskytují ve formě glykosidů různých aglykonů (s cukerným zbytkem připojeným typicky na pozici 3 v C-kruhu nebo na pozici 5 v A-kruhu), jejichž název je anthokyanidiny. Volné molekuly anthokyanidinů se v rostlinách nacházejí jen zřídka. Příkladem mohou být např. 3-deoxyanthokyanidiny, sphagnorubiny a rosakyanin B (Andersen, Markham, 2006). Anthokyanidiny jsou vždy substituovány hydroxyskupinou v poloze C4' (Velíšek, Hajšlová, 2009), jednotlivě jsou

mezi nimi ale rozdíly v počtu a umístění hydroxylových a methoxyskupin na základním anthokyanidinovém skeletu (Benzie, Wachtel-Galor, 2011), dále se liší počtem, totožností a místem připojení sacharidických molekul, a v neposlední řadě rozsahem acylace sacharidů a typem uhlíkatých zbytků (Fraga, 2010). Nejrozšířenějšími anthokyanidiny (tvoří z hlediska četnosti asi 90 % všech anthokyanidinů) jsou kyanidin, delphinidin, petunidin, peonidin, pelargonidin a malvidin (Andersen, Markham, 2006).

Molekuly anthokyanidinů jsou nejčastěji glykosylovány glukosou, rhamnosou, galaktosou, xylosou a arabinosou v případě monosacharidů (Benzie, Wachtel-Galor, 2011). Pokud jsou navázány disacharidy jde často o rutinosu, soforosu, laminaribiosu, sambubiosu nebo gentiobiosu. Vedle mono- a disacharidů mohou být součástí molekul anthokyanů i trisacharidy (Velíšek, Hajšlová, 2009). Nejčastějším glykosidem anthokyanidinů je kyanidin-3-glykosid (nejvíce zastoupeným sacharidem je zde glukosa) (Fraga, 2010).

Anthokyaniny mohou také tvořit konjugáty s hydroxycinamáty a organickými kyselinami (acylovány jsou zde sacharidy skrze hydroxyskupiny v polohách C4 a C6 a to, až na výjimky, výhradně u 3-glykosidů) (Crozier et al, 2006). Zastoupena bývá kyselina kávová, p-hydroxybenzoová, ferulová, sinapová, p-kumarová nebo i malonová a octová (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Anthokyaniny se hojně vyskytují v rostlinách čeledi révovitých (*Vitaceae* Juss.); růžovitých (*Rosaceae* L.), kam patří třešně, švestky, maliny (*Rubus idaeus* L.), ostružiny (*Rubus sp.* L.) a jablka; dále lomikamenovitých (*Saxifragaceae* Juss.) – k této skupině náleží červený a černý rybíz (*Ribes nigrum* L.); a vřesovcovitých (*Ericaceae* Juss.), kam řadíme např. borůvku (*Vaccinium corymbosum* L.), brusinku (*Vaccinium vitis-idaea* L.), nebo třeba klikvu velkoplodou (*Vaccinium macrocarpon* Ait.). V bezinkách (*Sambucus nigra* L., v množství 2 – 10 g.kg⁻¹) a ostružinách jsou anthokyaniny zastoupeny pouze jako glykosidy kyanidinu, zatímco v borůvkách, plodech aronie černoplodé (*Aronia melanocarpa* Elliot, 10 g.kg⁻¹) a rybízu jsou přítomny deriváty kyanidinu i delphidinu (Fraga, 2010). Kromě bobulovitého ovoce jsou dobrým zdrojem anthokyanů i květy ibišku (*Hibiscus sp.* L., 15 g.kg⁻¹ v sušině) (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Chalkony, dihydrochalkony a aurony

Chalkony, dihydrochalkony a aurony jsou tři poměrně málo početné skupiny flavonoidů s barvami od žluté po oranžovou (Andersen, Markham, 2006). Nejběžnějším ze skupiny

chalkonů je butein, z něhož odvozený 4-glukosid je koreopsin a 4,3'-diglukosid isobutrin. Ve struktuře těchto látek je vždy obsažena hydroxylová skupina (původně z pyranového kruhu flavanonů) v pozici C2. V alkalickém prostředí tedy dochází k přeměně flavanonů na chalkony, v kyselém prostředí reakce probíhá naopak (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Jak již bylo zmíněno dříve, čaj rooibos obsahuje flavonové C-glukosidy orientin a isoorientin; kromě těchto se v něm však vyskytuje i řada vzácných C-glykosidů dihydrochalkonů (reprezentovaných zejména aspalathinem a nothofaginem). Během fermentace dochází k oxidaci aspalathinu za vzniku glukosidů eriodictyolu (Fraga, 2010).

Z minoritní skupiny auronů, biosyntetizovaných z chalkonů, je vhodné zmínit např. hispidol, jenž se ve formě glukosidu vyskytuje v sóji. Dalšími aurony bylin jsou sulfuretin, aureusidin a brakteatin (Velíšek, Hajšlová, 2009). U přírodních auronů i jejich syntetických analogů byla prokázána antioxidační, protinádorová i antimikrobiální aktivita (Roussaki et al, 2012).

Isoflavony

Isoflavony jsou poměrně kontroverzní skupinou flavonoidů a to díky svým estrogením účinkům (které je řadí na seznam přirozeně toxických látek) a antioxidační aktivitě (která je naopak brána pozitivně). Ovšem estrogení účinky nemusí za určitých podmínek nutně znamenat jen negativní dopady na lidský organismus, proto se isoflavony využívají i k léčebným účelům. Isoflavony (a od nich odvozené isoflavanony a pterokarpany) jsou představiteli tzv. isoflavonoidů (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Pro isoflavony je charakteristické připojení B-kruhu skrze pozici C3 (narozdíl od většiny flavonoidů, kde je dominantní poloha C2) (Crozier et al, 2006). Rostlinné isoflavony se vyskytují převážně ve formě β -glukosidů (od glyciteinu glycitin, od daidzeinu daidzin a z genisteinu genistin) nebo jako acetyl- β -glukosidy a malonyl- β -glukosidy, jedná se tedy o látky polární – rozpustné ve vodě (Fraga, 2010).

Isoflavony, stejně jako ostatní podskupiny flavonoidů, podléhají mnoha modifikačním reakcím, mezi něž patří methylace, hydroxylace nebo polymerace. Tyto procesy vedou jak ke vzniku jednoduchých struktur isoflavonoidů, jako jsou isoflavanony, isoflavany a isoflavanoly, tak k tvorbě komplexnějších molekul rotenoidů, pterokarpanů a kumestanů (Fraga, 2010).

Ve vyšších koncentracích byly isoflavony prokázány pouze v rostlinách čeledi bobovitých (*Fabaceae* Lindl.) (Crozier et al, 2006), ale nacházejí se v menších množstvích také v některých dalších čeledích, např. laskavcovité (*Amaranthaceae* Juss.), morušovníkovité (*Moraceae* Dumort.) a růžovité (*Rosaceae* L.) (Velíšek, Hajšlová, 2009). Z konkrétních rostlin je nejbohatším potravinovým zdrojem isoflavonů sója luštinatá (*Glycine max* L.). Ze zástupců aglykonů isoflavonů jsou běžné genistein, daidzein a glycitein, které se vyskytují (ale v nízkých koncentracích) také ve fazolích (*Phaseolus vulgaris* L.) a hrachu (*Pisum sativum* L.) (Fraga, 2010). Formononetin a biochanin ve formě svých glukosidů jsou majoritními isoflavony (v množství 1 až 30 g.kg⁻¹ sušiny) v jetelu lučním (*Trifolium pratense* L.) (Velíšek, Hajšlová, 2009), ze kterého se vyrábí extrakt používaný jako doplněk stravy. Jetel bývá také součástí bylinných čajů (Fraga, 2010).

Jak již bylo zmíněno výše, isoflavony jsou známy pro svou estrogení aktivitu díky schopnosti navázat se na estrogenový receptor (Fraga, 2010). Běžně se proto řadí spolu s dalšími takto působícími sloučeninami (pterokarpany, lignany) mezi tzv. fytoestrogeny. Pterokarpany vykazují vyšší estrogení aktivitu než isoflavony. Do této skupiny patří např. kumestrol (hlavní fytoestrogen jetelovin), lucernol, medikarpin, angolensin, sativol (Velíšek, Hajšlová, 2009). Z aglykonů lignanů jsou významnými matairesinol a sekoisolariciresinol (v semenech lnu) (Gharras, 2009). Lignany a pterokarpany jsou (stejně jako isoflavony) kromě svých estrogeních účinků významné jako antioxidanty, neboť jsou schopny zhaset volné radikály a tím zabraňovat poškození tkání. Tato jejich vlastnost může hrát roli např. při léčbě jaterních zánětů (Liu, 2011).

1.2.1.2 Neflavonoidní fenolické složky

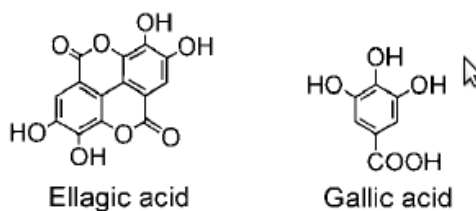
Hlavními představiteli skupiny neflavonoidních fenolických látek jsou C1-C6 hydroxybenzoáty, C6-C3 hydroxycinamáty a jejich konjugované deriváty, a polyfenolické C6-C2-C6 stilbeny (Fraga, 2010; Crozier et al, 2006).

Fenolické kyseliny

Tato skupina neflavonoidních fenolických látek je charakteristická přítomností jedné karboxylové skupiny v molekule a dělí se na podskupinu derivátů kyseliny benzoové (hydroxybenzoáty) a derivátů kyseliny cinamové (hydroxycinamáty), jejichž

výskyt je častější (Gharras, 2009).

Hydroxybenzoové kyseliny (dále jen HBA, z anglického *hydroxybenzoic acids*) mají základní strukturu typu C6-C1 odvozenou přímo z kyseliny benzoové. Mezi sebou se jednotlivé HBA liší rozdílnou hydroxylací a methoxylací aromatického jádra (Rice-Evans, Packer, 2003). Obvykle se vyskytují ve vázané formě a bývají součástí komplexních struktur, jako jsou ligniny a hydrolyzovatelné taniny. Mohou se v rostlinách také vyskytovat jako deriváty sacharidů a jiných organických kyselin. Skupina HBA je reprezentována zejména kyselinou gallovou, p-hydroxybenzoovou, protokatechovou, vanillovou, salicylovou a syringovou (Fraga, 2010).



obr. 3 Kyselina ellagová a kyselina gallová (Fraga, 2010).

Gallotaniny a ellagitaniny jsou souhrnně označovány jako hydrolyzovatelné taniny, které jsou (na rozdíl od kondenzovaných taninů) rozložitelné kyselinou hydrolyzou. Obě kategorie taninů (tříslovin) jsou zodpovědné za tzv. svíravou chuť (Crozier et al, 2006). Základní jednotkou gallotaninů a podjednotkou ellagitaninů je kyselina gallová (viz. obr. 3). Kyselina gallová byla kromě tříslovin nalezena i ve formě esterů s chinovou kyselinou (theogallin) nebo glukosou (glukogallin) a samozřejmě ve formě glukosidů (Rice-Evans, Packer, 2003).

Ellagová kyselina (dimer kyseliny gallové, základní jednotka ellagitaninů, viz obr. 3) je přítomna v bobulovitém ovoci (maliny, jahody a ostružiny). Glykosidy fenolických kyselin jsou rovněž charakteristické pro mnoho druhů ovoce i některé byliny a koření. 4-O-glukosid benzoové kyseliny je běžný v mnoha bylinách jako jsou bedrník anýz (*Pimpinella anisum* L.), badyán pravý (*Illicium verum* Hook.f.), kopr vonný (*Anethum graveolens* L.), fenykl obecný (*Foeniculum vulgare* Mill.), kmín (*Carum* sp. L.) a další (Fraga, 2010).

Hydroxycinamové kyseliny (dále jen HCA, z anglického *hydroxycinnamic acids*) jsou odvozeny od cinamové (skořicové) kyseliny a mají základní strukturu typu C6-C3 (Crozier et al, 2006; Rice-Evans, Packer, 2003). Nejběžnějšími (základními) HCA jsou

p-kumarová, kávová, sinapová a ferulová kyselina (Fraga, 2010). Tyto látky se nacházejí ve volné formě jen velice zřídka, takže drtivá většina je vázaná a to jako glykosylované deriváty nebo estery chinové, šikimové nebo tartarové kyseliny (vznik tzv. tartrátů – kumarové, kaftarové a fertarové kyseliny). Kyselina kávová a chinová společně tvoří 3-, 4- a 5-O-kafeoylchinové kyseliny náležející do skupiny chlorogenových kyselin nacházejících se zejména v ovoci a kávě (Fraga, 2010, Gharras, 2009).

Nejvyšší obsah (kolem 0,5 – 2 g.kg⁻¹ čerstvé hmotnosti) HCA je v různých druzích ovoce, např. borůvky, švestky, jablka, třešně atd., ale nachází se i v zelenině (Gharras, 2009). Společně s anthokyany se vyskytují v červeném bobulovitém ovoci chlorogenové kyseliny; tvoří tedy komplex se silnými antioxidačními vlastnostmi. Výskyt esterů tartarové kyseliny je limitován na rod *Vitis sp.* (L.) a některé rostliny čeledi *Asteraceae* (Martinov). v ovoci a zelenině byla zjištěna i přítomnost hydroxycinamoylamidů. Feruoylputrescin se nachází v grepfruitech, p-kumaroyl a kafeoylamidy v kakau. Kyselina rosmarinová (ester kyseliny kávové s kyselinou 2-hydroxy-3-(3,4-dihydroxyfenyl)-propionovou) se nalézá ve vysokých koncentracích v koření a léčivých rostlinách (např. v tymiánu až 1 g.kg⁻¹ čerstvé hmotnosti). Bulva červené řepy (*Beta vulgaris* L.) je rovněž bohatá na různé HCA estery a obsahuje také (ale jen v nízkých koncentracích) konjugáty HCA s betakyany – lampranthiny (Rice-Evans, Packer, 2003).

Do skupiny hydroxycinamátů patří také cinnamoylmethany (diarylheptanoidy) jinak známé pod pojmem kurkuminoidy, sloučeniny s významnými antioxidačními vlastnostmi, jež jsou charakteristické pro zázvor lékařský (*Zingiber officinale* Roscoe), kardamom (*Elettaria cardamomum* L.) a kurkumu dlouhou (*Curcuma longa* L.) (Fraga, 2010). Kurkumin (diferuloylmethan), demethoxykurkumin a bisdemethoxykurkumin jsou hlavními látkami kurkumu (obsah v sušině oddenků až 2 %) a podílí se na jejím charakteristickém žlutém zbarvení. Molekula kurkuminu je hydrofobní (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Stilbeny

Látky patřící do této minoritní skupiny mají polyfenolickou strukturu C6-C2-C6 (dva benzenové kruhy spojené alifatickým dvouuhlíkatým řetězcem) a jsou rostlinami produkovány jako reakce na onemocnění, zranění a stres (Fraga, 2010). Vykazují kromě

antioxidačních (inhibice oxidace LDL) i mnohé antimikrobiální vlastnosti a řadí se díky tomu k tzv. fytoalexinům (Burns et al, 2002). Obdobně jako flavonoidy i stilbeny se mohou v rostlinách nacházet jako glykosidy, i ve volné formě (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Nejznámějším zástupcem je resveratrol (3,5,4'-trihydroxystilben) přítomný nejvíce v červeném víně a arašíděch (*Arachis hypogaea* L.), dále pak v brusinkách, špenátu, křídlatce japonské (*Fallopia japonica* Houtt.), rostlinách z rodu kýchavice (*Veratrum* sp. L.), ale i v některých léčivých bylinách (Korač, Khambholja, 2011). Existují také polymery resveratrolu s názvem viniferiny. Trans-forma resveratrolu má (stejně jako isoflavony) estrogenní účinky a to kvůli podobnosti své molekuly s molekulou diethylstilbestrolu (Burns et al, 2002). Z barevných stilbenů je příkladem žlutý rhapontigenin, nacházející se v reveni (*Rheum* sp. L.) (Velíšek, Hajšlová, 2009).

1.2.2 Nefenolické antioxidanty

1.2.2.1 Terpenické látky

Karotenoidy

Karotenoidy jsou velmi strukturálně a funkčně různorodou skupinou přírodních pigmentů polyenového typu a jsou známy jako velice účinné antioxidanty, čímž působí v lidském organismu jako obranný faktor před oxidativním stresem (Fiedor, Burda, 2014). Většina těchto sloučenin se řadí mezi tetraterpeny (terpenoidy s osmi isoprenovými jednotkami, tedy se 40 uhlíkovými atomy). Ve své struktuře obsahují řetězec konjugovaných dvojných vazeb, který dává vzniknout několika základním strukturám a jejich modifikacím (Shahidi, Zhong, 2005; Velíšek, Hajšlová, 2009). Tyto modifikace se týkají změn ve stupni hydrogenace, cis-trans isomerace, cyklizace na jednom či obou koncích řetězce nebo připojení vedlejších skupin (často obsahujících kyslík) s jejich následnou acetylací či glykosylací. Složitějšími modifikačními změnami pak dochází ke zkracování nebo prodlužování uhlíkatého řetězce (Fiedor, Burda, 2014).

Při isomeraci se nejčastěji mění běžnější all-trans-struktury (tzv. E-formy) na cis-konfiguraci (tzv. Z-formy) na různých pozicích polyenového řetězce. K této isomerační reakci ale dochází zpravidla jen působením vysokých teplot (Crozier et al, 2006). Při cyklizaci konců polyenového řetězce vznikají β - nebo α -jononové struktury. Karoteny s β -jononovým cyklem jsou prekurzory retinolu (vitamin A); řadí se proto mezi retinoly (Velíšek, Hajšlová, 2009). Při substituci se k molekulám připojují např. hydroxylové nebo ketoskupiny. Hydroxylované karotenoidy se v přírodě nacházejí obvykle ve formě

glykosidů nebo esterů vyšších mastných kyselin, což je činí hydrofobnějšími. Pokud dojde k další oxidaci koncového kruhu, mohou vznikat mono- a diepoxidy. Příkladem karotenoidů, u nichž došlo ke ztrátě uhlíkových atomů z konců nebo jiného místa řetězce (tedy ke zkrácení) jsou apokarotenoidy a norkarotenoidy. Molekuly karotenoidů jsou nejstabilnější, jestliže jsou jejich polyenové řetězce lineární, v all-trans-konformaci, protože dvojně vazby jsou v rovině a sterická zábrana je na minimum (Cadenas, Packer, 2002; Crozier et al, 2006).

Co se týče již zmíněného systému konjugovaných dvojných vazeb (s nepárovými elektrony delokalizovanými po celé délce uhlíkového řetězce), je důležité zmínit, že právě tato struktura poskytuje karotenoidům obrovskou antioxidační kapacitu a tím jim umožňuje působit jako efektivní zhasiče singletového kyslíku a vylučovat volné radikály. Vysoká strukturní variabilita a rovněž variabilní antioxidační aktivita je odrazem cyklizace a oxygenace koncových skupin řetězce (Cadenas, Packer, 2002; Jomova, Valko, 2013; Sólyom et al, 2014). Systém konjugovaných dvojných vazeb bývá, za podmínek vysokých parciálních tlaků kyslíku a při vysokých koncentracích, také spojován s tzv. prooxidační aktivitou karotenoidů (Cadenas, Packer, 2002).

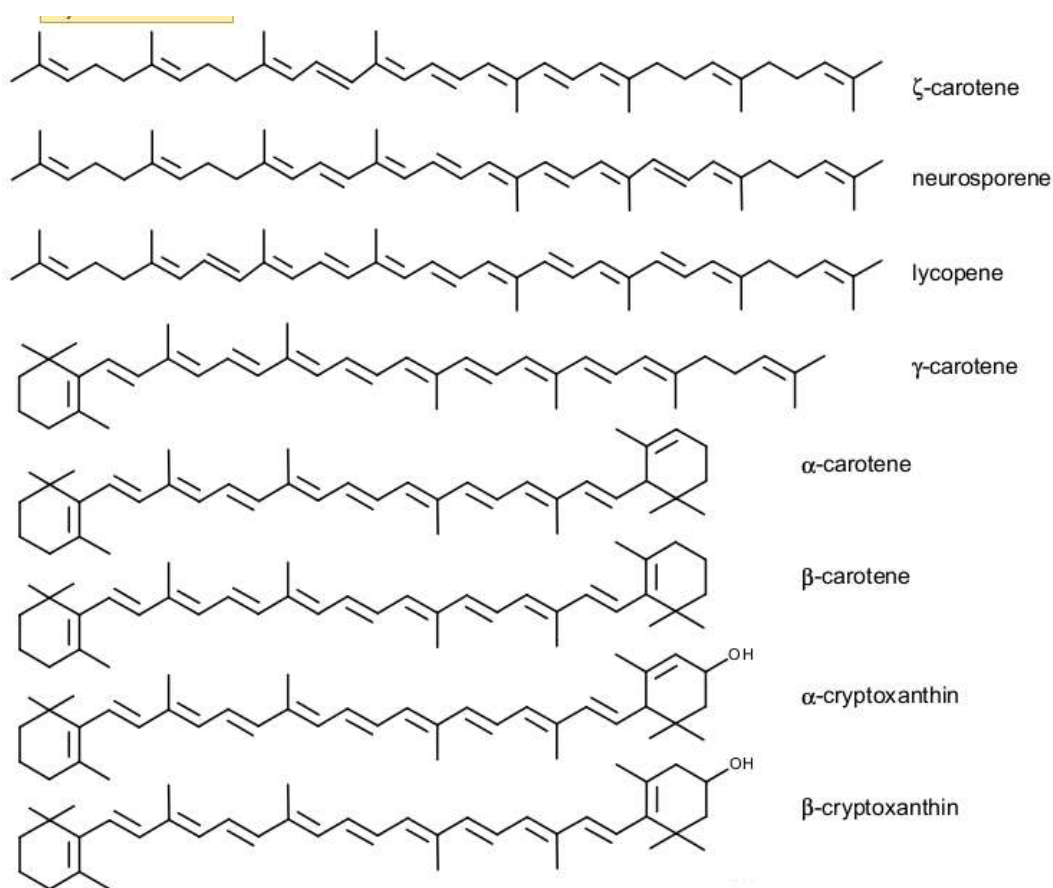
Důležitou obecnou vlastností molekul karotenoidů je také jejich vysoká lipofilita a tedy nízká rozpustnost ve vodě, přičemž cis-isomery vykazují vyšší rozpustnost (Fiedor, Burda, 2014; Jomova, Valko, 2013).

Ve většině druhů ovoce a zeleniny jsou přítomny karotenoidy v desítkách $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, v mrkvi, rajčatech a paprikách se nacházejí stovky $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. V jednom druhu ovoce se většinou nalézá větší počet karotenoidů (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Karotenoidy se dělí na dvě hlavní podskupiny – karoteny a kyslíkaté deriváty karotenů xanthofyly. Karoteny jsou nepolární lipofilní látky, které nejsou rozpustné ve vodě, ale jsou snadno rozpustné v organických rozpouštědlech a do určité míry i v tucích a olejích. Nejvýznamnějšími zástupci karotenů jsou lykopen (má nejjednodušší lineární molekulu, bez substituentů), β -karoten a α -karoten (cyklizace na obou koncích řetězce, rovněž bez substituentů) (Crozier et al, 2006). Tito zástupci jsou příkladem karotenoidů s vnitřní molekulární symetrií, kdy obě poloviny molekuly jsou identické (Cadenas, Packer, 2002). Běžné jsou i deriváty lykopenu jako 3,4-dehydrolykopen, neurosporen, fytofluen, fytoen a další (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Xanthofyly jsou kyslíkaté deriváty karotenů. Přítomnost hydroxy- nebo ketoskupiny uděluje jejich molekule určitou polaritu, avšak tyto sloučeniny zůstávají stále převážně

hydrofobní. Nejvýznamějšími zástupci této skupiny jsou tzv. kryptoxanthiny, monohydroxysubstituované deriváty acyklických karotenů. α -kryptoxanthin a β -kryptoxanthin (cyklizace na obou koncích řetězce, substituce v pozici 3) jsou prekurzory xanthofylů se dvěma hydroxylovými skupinami v molekule. β -kryptoxanthin, nacházející se v citrusových plodech, je důležitým prekurzorem vitamínu A. Kromě této biologické úlohy disponuje silnou antioxidační aktivitou z hlediska zhašení volných radikálů, potlačování tvorby lipidových peroxidů aj. Kombinací β -kryptoxanthinu s lykopenem vzniká hybridní struktura – rubixanthin (Crozier et al, 2006; Sólyom et al, 2014; Velíšek, Hajšlová, 2009).



obr. 4 Struktura některých karotenoidů (shora - ζ -karoten, neurosporen, lykopen, γ -karoten, α -karoten, β -karoten, α -kryptoxanthin, β -kryptoxanthin) (Fiedor, Burda, 2014).

Dihydroxysubstituovanými deriváty jsou zeaxanthin a lutein (cyklizace na obou koncích řetězce, substituce v pozicích 3 a 3'). Oxidací těchto sloučenin na jednom konci

molekuly dále vznikají 5,6-epoxydy (antheraxanthin a taraxanthin), oxidací na obou koncích 5,6,5',6'-diepoxidy (violaxanthin). Přesmykem 5,6-epoxidů vznikají κ -karoteny (kapsanthin a kapsorubin). Sloučeniny mající v molekule méně než 40 atomů uhlíku se nazývají degradované karotenoidy a řadí se mezi ně výše zmíněné apokarotenoidy (β -citraurin) (Crozier et al, 2006; Velíšek, Hajšlová, 2009).

Další terpenické látky

Antioxidační aktivitu vykazují i některé monoterpeny, diterpeny a seskviterpeny (zejména jejich kyslíkaté deriváty) přítomné v silicích rostlin. Příkladem acyklických monoterpenů jsou např. myrcen, geraniol, citral, limonen, menthol, karvon. Z bicyklických jsou významné α - a β -pinen z jehlic jehličnanů, dále bornan a jeho kyslíkaté deriváty borneol a isoborneol. Ze seskviterpenů α -bisabolol, zingiberen, farnesen, kurkumen (Grassmann, 2005; Brewer, 2011) a další.

1.2.2.2 Kyselina L-askorbová (vitamin C)

Kyselina L-askorbová je velice silným antioxidantem. Reaktivní formy kyslíku (ROS) oxidují askorbát nejprve na monodehydroaskorbát a poté na dehydroaskorbát (obě oxidované formy tvoří tzv. reversibilní redoxní systém), samy ROS jsou redukovány na vodu. Oxidované formy kyseliny askorbové jsou relativně chemicky stálé a nezpůsobují poškození buněk v organismu (jako by tomu bylo v případě ROS). Biologickou aktivitu vitamínu C vykazuje pouze právě L-enantiomer askorbové kyseliny. Chemicky se jedná o γ -lakton L-threo-2-hexenonové kyseliny, kde dvojná vazba vinylu poskytuje elektrony do prostoru mezi hydroxylovou a karbonylovou skupinou. Jako vitamin C se označuje celý reversibilní redoxní systém L-askorbové kyseliny, tedy i produkty její jedno- a dvouelektronové oxidace (Flora, 2009; Sichová, Jančář, 2005).

Kyselina L-askorbová se nachází v největších množstvích zejména v čerstvém ovoci a zelenině (červený rybíz, šípky, plody rakytníku aj.). Potravinové zdroje, ve kterých je přítomna ve velkém množství, ale nebývají příliš často konzumovány (Sichová, Jančář, 2005).

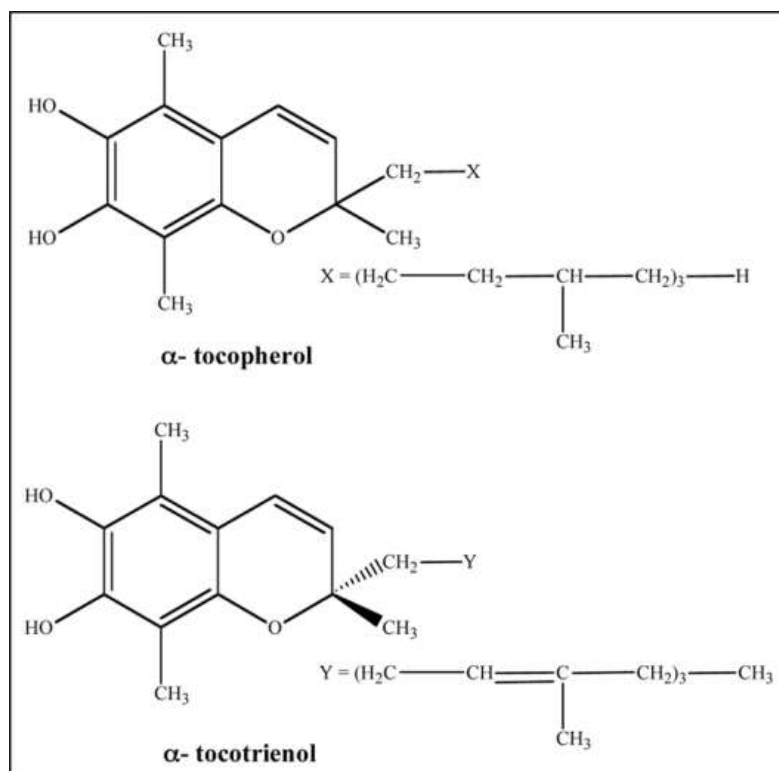
1.2.2.4 Chlorofyly a feofytiny

Chlorofyly jsou skupinou zelených fotosensitivních barviv vyskytujících se téměř u všech vyšších rostlin. Základem struktury je porfyrinový kruh (který je podstatou antioxidační aktivity chlorofylů) s chelatovaným atomem hořčíku (Hsu et al, 2013; Velíšek, Hajšlová, 2009). Chlorofyly mají částečně redukovaný cyklus D, cyklus E vzniklý cyklizací zbytku propionové kyseliny na C13 a hořečnatý ion jako centrální atom. Největší význam mají chlorofyly *a* a *b*, ale také jejich rozkladné produkty tzv. feofytiny *a* a *b*. Kromě feofytinů jsou dalšími rozkladnými produkty chlorofylů chlorofylidy a feoforbidy (Velíšek, Hajšlová, 2009).

Chlorofyl *a* je dihydroporfyrin substituovaný methylovými skupinami na C2, C7, C12 a C18, vinylovými skupinami na C3 a ethylovou skupinou na C8 (Velíšek, Hajšlová, 2009). Na uhlíku C17 se nachází zbytek kyseliny propionové esterifikovaný dvacetihlíkatým fytolem (který činí molekuly chlorofylů hydrofobními) a C13 cyklu E je umístěna karboxymethylová a oxoskupina. Totožnou strukturu má i chlorofyl *b* s rozdílem v substituci na C7, kde je navázána formylová skupina (Hsu et al, 2013; Velíšek, Hajšlová, 2009). Náhradou hořečnatého iontu vodíkovým vznikají z chlorofylů feofytiny, hydrolýzou fytolu chlorofylidy; z těch pak záměnou hořčíku za vodík vznikají feoforbidy. Všechny chlorofylové formy vykazují podobný mechanismus antioxidačního účinku; liší se ovšem jeho různou intenzitou. Chlorofyly vykazují antioxidační aktivitu vyšší než jejich nekovové deriváty. (Hsu et al, 2013; Lanfer-Marquez et al, 2005).

1.2.2.5 Tokoferoly a tokotrienoly (vitamin E)

Vitamin E je lipofilním antioxidantem (jedná se o monoethery hydrochinonů) a působí proti poškození nenasycených lipidů membrán volnými radikály. Se sigletovým kyslíkem reagují za vzniku různých oxidačních produktů nebo jej zhasíjí (Velíšek, Hajšlová, 2009). Tokotrienoly mají obecně silnější antioxidační efekt než tokoferoly. Základem struktury látek vykazujících aktivitu vitamínu E je tokol a tokotrienol. Tyto obsahují ve své molekule chromanový cyklus s hydroxyskupinou na C6 (tato skupina je esenciální pro antioxidační aktivitu) a isoprenoidní řetězec s methylovou skupinou na C2 odvozený od fytolu (Charles, 2012; Shahidi, Zhong, 2005; Velíšek, Hajšlová, 2009).



obr. 5 Struktura tokoferolu a tokotrienolu (Flora, 2009).

Tokoferoly jsou formy vitamínu E s nasyceným terpenoidním postranním řetězcem odvozené od tokolu. Formy s nenasyceným řetězcem (obsahuje tři dvojné vazby) odvozené od tokotrienolu se označují jako tokotrienoly. Tyto dvě skupiny vitamínu E se navzájem odlišují polohou a počtem methylových skupin v chromanovém cyklu (Velíšek, Hajšlová, 2009). Právě podle odlišností v jejich struktuře (rozdílný stupeň methylace chromanového cyklu) se dělí na typy α (tři methylové skupiny), β , γ (obojí se dvěma methylovými skupinami) a δ (s jednou methylovou skupinou) (Shahidi, Zhong, 2005). Nejvyšší obsah vitamínu E je v rostlinách obsahujících oleje (sója, ořechy), dále v zrnech cereálií; v zelenině, ovoci a bylinách je jeho obsah do 10 mg.kg^{-1} (Charles, 2012; Velíšek, Hajšlová, 2009).

2 METODY PRO STANOVENÍ ANTIOXIDAČNÍ AKTIVITY

Pro stanovení antioxidační aktivity existuje nesčetně mnoho postupů a metod díky široké škále možných antioxidačních mechanismů. V této kapitole je jich proto uvedeno jen několik jako příklad.

Metody mohou být obecně rozděleny na ty, které klasifikují schopnost eliminovat radikály, a ty, jenž posuzují redoxní vlastnosti látek. Do první skupiny patří metody hodnotící eliminaci syntetických radikálů (např. TEAC/ABTS, DPPH), kyslíkových radikálů (např. ORAC, metody pracující s hydroxylovými a superoxidovými radikály), a eliminaci lipidové peroxidace. Druhá skupina zahrnuje metody chemické (např. FRAP) a elektrochemické (např. cyklická voltametrie, HPLC s elektrochemickou detekcí) (Paulová et al, 2004) .

2.1 Metoda FRAP

Metoda FRAP (z anglického *ferric reducing antioxidant power*) je založena na měření schopnosti antioxidantů redukovat komplex $\text{Fe}(\text{TPTZ})^{3+}$ (Fe^{3+} a 2,4,6-tri(2-pyridyl-1,3,5-triazin)) na intenzivně modře zbarvený komplex $\text{Fe}(\text{TPTZ})^{2+}$ za nízkého pH, přičemž mírou antioxidační aktivity je nárůst absorbance (při vlnové délce 593 nm) odpovídající množství redukovaného komplexu (Alam et al, 2013; Antolovich et al, 2001; Paulová et al, 2004).

2.2 Metoda TEAC

TEAC (z anglického *Trolox equivalent antioxidant capacity*) je jednou ze základních a nejpoužívanějších metod pro stanovení celkové antioxidační aktivity (TAA, z anglického *total antioxidant activity*). Tato metoda hodnotí schopnost antioxidantů redukovat modrozeleně zbarvený radikál $\text{ABTS}^{\bullet+}$ (2,2'-azinobis(3-ethyl-2,3-dihydrobenzo-thiazol-6-sulfonát)) generovaný v reakční směsi oxidací ABTS (bezbarvý) (Alam et al, 2013; Ali et al, 2008; Antolovich et al, 2001; Paulová et al, 2004).

Antiradikálový efekt antioxidantů lze poté sledovat spektrofotometricky na základě změn absorpčního spektra (dochází k odbarvení reakční směsi) radikálu $\text{ABTS}^{\bullet+}$ (nejčastěji při vlnové délce 734 nm). Výsledná antioxidační aktivita vzorku se srovnává s aktivitou syntetického Troloxu (kyselina 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-karboxylová), který zde slouží jako antioxidační standard. Z chemického hlediska se

jedná se o ve vodě rozpustný analog vitamínu E (Alam et al, 2013; Antolovich et al, 2001; Krishnaiah et al, 2011; Paulová et al, 2004).

2.3 Metoda DPPH

Metoda DPPH je založena na reakci vzorku s intenzivně fialovým radikálem difenylpikrylhydrazylem (přesněji se jedná o 1,1-difenyl-2-(2,4,6-trinitrofenyl)hydrazyl), při níž dochází k redukci tohoto radikálu a vzniká difenylpikrylhydrazin (DPPH-H). U reakční směsi dochází k odbarvení. Spektrofotometricky se pak hodnotí pokles absorbance (při vlnové délce 515 nebo 517 nm). Reakci lze ale také hodnotit třeba pomocí HPLC, kdy se sleduje pík radikálu DPPH (Alam et al, 2013; Ali et al, 2008; Paulová et al, 2004).

2.4 Metoda ORAC

Metoda ORAC (z anglického *oxygen radical absorbance capacity*) je založena na hodnocení schopnosti vzorku zpomalit či zastavit radikálovou reakci za současné generace kyslíkových radikálů. Tyto atakují fluoreskující látku β -fykoerytrin, přičemž dochází k úbytku fluorescence, kterou lze detekovat. Ke generaci peroxylových radikálů se používá 2,2-azobis(2-amidinopropan)dihydrochlorid (AAPH), hydroxylové radikály se generují za použití systému $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Cu}^{2+}$ (Ali et al, 2008; Krishnaiah et al, 2011; Paulová et al, 2004).

2.5 Metoda DMPD

Metoda je založena na redukci a souběžné dekolorizaci (odbarvení) roztoku radikálu $\text{DMPD}\cdot^+$ (N,N-dimethyl-p-fenylendiamin dihydrochlorid) s acetátovým pufrům a chloridem železitým. Spektrofotometricky se poté měří pokles absorbance roztoku DMPD (při vlnové délce 505 nm) (Alam et al, 2013).

3 BYLINNÉ ČAJE

3.1 Úvod k bylinným čajům

3.1.1 Bylinné čaje a legislativa

Z legislativního hlediska je čaj obecně definován jako výrobek z rostlin, jenž slouží k přípravě nápoje určeného k přímé spotřebě nebo se jedná přímo o nápoj připravený z tohoto rostlinného výrobku. Bylinným čajem je pak čaj z různých částí bylin (jednodruhový nebo ze směsi různých bylin), či ze směsi bylin s pravým čajem nebo také z jejich směsi s ovocem. Obsah bylin ve směsi ovšem musí být minimálně 50 % hmotnosti. Byliny a jejich části (uvedené v příloze č. 2 k vyhlášce č. 330/1997 Sb. Mze ČR) lze použít pro výrobu bylinných čajů buď bez omezení, nebo do výše 30 %, nebo 5 % hmotnosti v závislosti na druhu byliny (Vyhláška Mze č. 330, 1997).

V případě výrobků určených pro přípravu bylinných čajů se uvádí na obale název druhu nebo druhů bylin, z nichž byly vyrobeny. Je-li v nich obsažen kofein, je nutné to uvést na obale. Upozornění na možnost fotosenzibilizace u citlivých osob se také uvádí při použití pohanky, třezalky nebo římského kmínu (Vyhláška Mze č. 330, 1997).

3.1.2 Části bylin používané pro výrobu a přípravu čajů, tvorba čajových směsí, způsoby přípravy bylinných čajů

3.1.2.1 Čaje z léčivých bylin

Velká část bylin používaných pro výrobu bylinných čajů je tvořena léčivými rostlinami obsahujícími terapeuticky účinné látky využívané v medicíně (Neugebauerová, 2006). Léčivé čaje a čajové směsi (*species*) se připravují z řezaných, mletých nebo jinak rozdrobněných drog (tj. usušených léčivých rostlin) a jsou určeny nejčastěji k přípravě vodných nálevů, macerátů nebo odvarů (stejně jako ostatní bylinné čaje). Léčivé čaje se většinou používají jako doplněk léčby u lehčích chorob (Šuk, Liška, 1998).

3.1.2.2 Části bylin pro výrobu čajů, tvorba směsí

Stejně jako ty léčivé i ostatní bylinné čaje jsou vyráběny z různě rozdrobněných (nejčastěji sušených) částí rostlin. Základními používanými morfologickými částmi rostlin jsou kořen (*radix*), kůra (*cortex*), nať (*herba*), květ i květenství (*flos*), list (*folium*), oddenek (*rhizoma*), plod (*fructus*), semeno (*semen*), šištice (*strobulus*), žláza

(*glandula*) a ojediněle se používá i celá rostlina (stélka puklěrky islandské) (Neugebauerová, 2006; Bühring, 2010).

Vhodné rozdrobnění částí bylin je důležité pro extrakci účinných látek při přípravě nálevů, odvarů apod. Pro určení správné velikosti částiček byliny se bere v úvahu lokalizace účinných látek, jejich rozpustnost ve vodě, anatomická stavba rostliny a permeabilita jejích částí (Rada, 1969). Samotná příprava čajové směsi spočívá ve smíchání rozřezaných nebo práškových částí bylin dle požadované receptury a to postupně v pořadí dle hmotnosti jednotlivých složek, počínaje těmi v největším množství, přičemž semena a plody se do směsi přidávají na závěr. Při míchání vzniklý prach je nutné odstranit odsítováním (Šuk, Liška, 1998). Vzniklá čajová směs má být homogenní, nemá obsahovat části příliš se lišící svou hmotností (např. kořeny, kůry a dřeva spolu s lehkými listy a květy), protože těžké částice mají tendenci se sesypávat na dno obalů, což vede k nestejnorodosti směsi (Rada, 1969).

Bylinná čajová směs se skládá z několika složek:

- bylina s hlavní účinnou látkou, která určuje výsledný požadovaný účinek čaje a je také rozhodující pro určení způsobu jeho přípravy,
- bylina vylepšující chuť čaje (např. rostliny obsahující silice nebo jiné aromatické látky, ale také částice ovoce či zeleniny),
- byliny výplňové či jinak esteticky působící (např. květy divizny, listy máty peprné a meduňky lékařské a další) (Bühring, 2010).

Jak již bylo zmíněno, tvorbě čajů či čajových směsí předchází většinou úprava bylin sušením. Sušení je proces zbavování rostliny vlhkosti a je také prostředkem k vhodnějšímu uchování požadovaných vlastností. Sušení má probíhat bez přímého působení světla za dostatečného proudění vzduchu při teplotách do 40 °C (Šuk, Liška, 1998).

3.1.2.3 Způsoby přípravy bylinných čajů

Abychom z byliny nebo z bylinné směsi získali nápoj (bylinný čaj) je nutné použít specifický způsob jeho přípravy. Je nutné ale brát v úvahu povahu čajové směsi a její složení, tj. rozlišovat např. je-li čaj z květů a listů, z kořenů, nebo obsahuje-li rostliny bohaté na slizovité látky (Bühring, 2010). Metodami přípravy bylinných čajů jsou vodný nálev (*infusum*), výluh za studena (*macerát*) a odvar (*decoctum*). Není-li výrobcem uvedeno jinak, používá se k přípravě jednoho šálku čaje (150 – 200 ml vody)

zhruba 5 – 10 g suché čajové směsi. V případě přípravy čaje z čerstvých bylin se dávka určená pro bylinu sušenou zdvojnásobuje (Rada, 1969; Šuk, Liška, 1998). Pro různé byliny, jejich části a bylinné směsi existuje také různé dávkování uváděné nejčastěji po lžičkách nebo lžících na objem vody. Jedna čajová lžička pak odpovídá asi 1,5 až 2 g směsi, jedna polévková lžice asi 5 g směsi, pro jednotlivé části 3 – 5 g květů nebo listů, 6 – 10 g kořenů, kůr, plodů nebo dřev a 5 – 10 g semen (Šuk, Liška, 1998).

Nálev (*infusum*) se připravuje ovlhčením bylin vodou pokojové teploty, následným přelitím bylin vroucí nebo horkou vodou (u bylin s těkavými silicemi) a jejich vyluhováním v přikryté nádobě po dobu 3 – 15 minut (Grešík, 2015; Šuk, Liška, 1998). Tento způsob je vhodný pro většinu čajů z květů, listů a natí. Výluh za studena (*macerát*) se připravuje vyluhováním rostlin bohatých na slizovité látky (např. sléz, proskurník, jitrocel), protože působením horké vody by došlo k nežádoucímu odbourávání těchto látek. Kromě prevence před rozkladem žádoucích látek se tento způsob využívá také u bylin, u nichž by působením tepla mohlo dojít k uvolnění některých naopak nežádoucích látek (např. viskotoxiny jmelí) (Bühning, 2010). Byliny se louhují 0,5 – 8 hodin dle použitých částí (jemné květy a listy, semena lnu 1 – 2 hodiny, kořeny proskurníku 3 – 5 hodin) a výsledný výluh se poté může ještě mírně zahřát na požadovanou teplotu. Odvar (*decoctum*) se připravuje varem z rostlinných částí jako jsou kořeny, plody, kůry a dřeva (jsou totiž tvořeny buňkami se silnou stěnou), nebo také z rostlin obsahujících obtížně rozpustné složky (např. přeslička). Bylinné směsi se vaří ve vodě po dobu 1 – 30 minut (Bühning, 2010; Grešík, 2015; Šuk, Liška, 1998).

3.2 Charakteristika vybraných bylin používaných pro výrobu bylinných čajů

V této podkapitole jsou popsány bližší specifikace jednotlivých vybraných bylin, které jsou častou součástí bylinných čajů. Ke každé bylině je uvedena základní botanická charakteristika, obsahové látky s antioxidačním charakterem, možnosti použití v souvislosti se zdravím člověka, popř. jiné významné vlastnosti.

3.2.1 Heřmánek pravý (*Matricaria recutita* L.)

Heřmánek pravý je známou, hojně využívanou léčivou rostlinou s významným antioxidačním účinkem (Sebai et al, 2014). Pro přípravu bylinných čajů se používají

především květy (*Matricariae flos*) a to v neomezeném množství (Bühning, 2010; Vyhláška Mze č. 330, 1997). Jedná se o jednoletou bylinu z čeledi hvědicovité (*Asteraceae*) s větveným kořenovým systémem kvetoucí od května do září. Lodyhy heřmánku dosahují výšky 20 – 90 cm a jsou charakteristické dvakrát až třikrát zpeřenými listy s nitkovitými úkrojky a květními úbory s dutým květním lůžkem. Jednotlivé chemokultivary heřmánku se liší obsahovými látkami (Bühning, 2010; Neugebauerová, 2006).

Heřmánek obsahuje velké množství terapeuticky zajímavých a aktivních složek. Jedná se zejména o flavonoidy (průměrný obsah 30 – 35 mg.g⁻¹), slizovité látky (muciny), kumariny a silice (průměrný obsah 6,7 – 7,3 mg.g⁻¹), ale přítomny jsou také fenolické kyseliny, fytoosteroly, cholin, aminokyseliny a minerální látky (Bühning, 2010). Silice (nebo též éterické oleje) heřmánku se skládají ze 75 – 90 % z derivátů seskviterpenů, monoterpeny se objevují jen ve stopách. Zástupci seskviterpenů jsou např. β-farnesen, α-bisabolol oxid A a B, α-bisabolol a prekurzor chamazulenu (proazulen) matricin (Franke, Schilcher, 2005). Čaje připravené z heřmánku obsahují průměrně 10 – 15 % silic dostupných v květech (Formisano et al, 2014). Flavonoidy ve formě svých glykosidů představují hlavní ve vodě rozpustnou frakci heřmánku. Zástupci této skupiny jsou zde především deriváty apigeninu, luteolinu, isorhamnetinu a kvercetinu, dále specifické látky jako jaceidin, eupaletin, jaceidin aj. Z kumarinů jsou přítomny hernianin (7-methoxykumarin) a umbeliferon (7-hydroxykumarin). Mezi fenolické kyseliny vyskytující se v heřmánku patří kyselina kávová, syringová, anisová a vanilová (Franke, Schilcher, 2005).

Heřmánek se používá na uklidnění, při nevolnostech, žaludečních vředech, gastritidě a křečích zažívacího traktu. Zevně působí hojivě na rány a popáleniny, a proti zánětům kůže a sliznic (Bühning, 2010).

3.2.2 Šalvěj lékařská (*Salvia officinalis* L.)

Šalvěj spolu s rozmarýnem disponuje jednou z největších antioxidačních aktivit mezi bylinami (Hamrouni-Sellami et al, 2013). Pro přípravu čajů se z této rostliny používají listy (*Salviae folium*) a nať (*Salviae herba*), které ve směsích mohou tvořit 5% hmotnostní podíl. Šalvěj je zástupcem čeledi hluchavkovité (*Lamiaceae*). Dorůstá v 30 – 100 cm vysoké polokeře s plstnatými listy, jež se sbírají krátce před rozkvětem v květnu a červnu, protože tehdy obsahují nejvyšší množství účinných látek (Bühning,

2010; Neugebauerová, 2006; Vyhláška Mze č. 330, 1997).

V šalvěži lékařské jsou přítomny v hojném množství silice (v množství až 2,5 %), flavonoidy, fenolové kyseliny, dále třísloviny (až 8 %), terpenoidní látky (zejména triterpeny a diterpeny) aj. (Bühning, 2010; Neugebauerová, 2006). V silicích jsou zastoupeny mnohé látky od monoterpenoidních α - a β -pinenu, kamfenu, limonenu, kafru, thujonu 1,8-cioneolu, β -ocimenu, α -terpineolu, borneolu a linaloolu, až po seskviterpeny α -humulen, karyofylen a další. Z triterpenů jsou přítomny, stejně jako ve většině rostlin z rodu *Salvia*, kyseliny ursolová a oleanolová. Rod *Salvia* obsahuje také diterpenoidní látky abietanového, klerodanového, pimaránového a labdanového typu, přičemž v nadzemních částech převažují diterpenoidy abietanového typu; pimaránové a labdanové diterpenoidy jsou relativně vzácné. Kyseliny kávová, rosmarinová a salvianolová jsou zástupci skupiny fenolických kyselin v šalvěži (Kintzios, 2000). Bohatě obsažené flavonoidy dávají šalvěži silné antioxidační účinky. Bylině mimo jiné propůjčují její obsahové látky i účinky dezinfekční, protizánětlivé, estrogenní a také adstringenční (Bühning, 2010).

Šalvěj lékařská se užívá vnitřně při zvýšené produkci potu, zažívacích potížích a průjmech. Působí také podobně jako estrogeny. Zevně působí proti zánětům sliznice v oblasti dutiny ústní a hltanu. I přes veškeré pozitivní účinky této byliny je nutné vyvarovat se dlouhodobému užívání nebo předávkování (při dávce nad 15 g listů denně), jinak se mohou objevit toxické účinky obsaženého thujonu (tachykardie, poruchy vidění, závrať aj.) (Bühning, 2010).

3.2.3 Kontryhel obecný (*Alchemilla vulgaris* L.)

Kontryhel obecný je znám jako ženská bylina pro své účinky podobné účinkům gestagenů. Čaj se připravuje z natě (*Alchemillae herba*), v čajových směsích tvoří až 30 % hmotnosti. Jedná se o víceletou bylinu z čeledi růžovité (*Rosaceae*) tvořící plazivý, dřevnatějící oddenek. Listy jsou v přízemní růžici, u mladých rostlin dlanitě laločnaté s typicky zubatými okraji, později okrouhlé. Předmětem zájmu jsou kvetoucí natě sklízené od května do srpna (Bühning, 2010; Vyhláška Mze č. 330, 1997).

V bylině jsou hojně obsaženy třísloviny (5 – 8 %), flavonoidní látky, karotenoidy, saponiny, fenolické kyseliny (salicylová, kávová, chlorogenová), kumariny, fytosterin, v květech silice a leukocyanidin (Bühning, 2010). Z triterpenů jsou přítomny kyselina ursolová, tormentová nebo třeba euskopová. Mezi třísloviny kontryhele patří např.

pedunculagin, agrimoniin a levigatin. Z flavonoidních látek jsou významné především sacharidické deriváty kemferolu a kvercetin, a dále i deriváty orientinu, vitexinu a rutinu (Ergene et al, 2013; Tobyn et al, 2011).

Čaje z kontryhele se užívají při poruchách menstruačního cyklu a při klimakteriu, ale nachází rovněž uplatnění jako podpora léčby lehkých zánětů sliznic a při nespecifických průjmových onemocněních. Obsažená tříslovina agrimonin aktivuje imunitní systém povzbuzením tvorby interleukinu. Vně se používá k ošetření ran, mokvavých ekzémů, na záněty sliznice dutiny ústní, při angínách, ale i na oční záněty (Bühning, 2010).

3.2.4 Borůvka černá (*Vaccinium myrtillus* L.)

Borůvka černá (nebo též brusnice borůvka) patří do čeledi vřesovcovité (*Ericaceae*) a pro přípravu čajů poskytuje plody (*Myrtilli fructus*, do směsí v neomezeném množství), listy (*Myrtilli folium*) a natě (*Myrtilli herba*, v čajových směsích v množství do 30 % hmotnosti). Jednotlivé, až 50 cm vysoké, keříky jsou tvořeny čtverhrannými lodyhami nesoucími drobné vejčité listy a plody s barvami od fialové přes tmavě modrou až po téměř černou (Bühning, 2010; Vučić et al, 2013; Vyhláška Mze č. 330, 1997).

Rostlina obsahuje velké množství významných biologicky aktivních látek jako jsou např. pektiny (v množství až 30 %), taniny (5 – 10 %), anthokyany (množství v rozmezí 300 – 700 mg.100 g⁻¹ čerstvé hmotnosti) a jiné flavonoidní látky, dále fenolické kyseliny, vitaminy A, C (3 mg.100 g⁻¹ čerstvé hmotnosti) a skupiny B (B₁, B₃, B₅, B₆ a B₉), volné sacharidy a minerální látky. V plodech se z flavonoidů vyskytují hyperin, kvercetin, proanthokyanidiny, katechin (až 20 mg.100 g⁻¹ čerst. hmot.), epikatechin a anthokyany. Listy zase obsahují fenolické kyseliny, hydrochinon a arbutin. Z anthokyanů jsou v borůvce zastoupeny glykosidy delphinidinu (v největším množství delphinidin-3-*O*-glukosid, 15,1 %), kyanidinu, petunidinu, malvidinu a peonidinu (Benzie, Wachtel-Galor, 2011; Bühning, 2010).

Sušené plody borůvky černé se vnitřně užívají při lehkých nespecifických průjmových onemocněních, poruchách trávení, při křehkosti a změně propustnosti cév a jako prevence očních onemocnění. Zevně působí pozitivně na hojení ran, popálenin a při zánětech sliznice ústní dutiny a dásní. Modré barvivo myrtillin působí jako antiseptikum tím, že zamezuje adhezi bakterií na buňky střevního epitelu. Listy působí

jako podpůrný prostředek pro snížení hladiny cukru v krvi (Bühning, 2010).

3.2.5 Máta peprná (*Mentha × piperita* L.)

Máta peprná z čeledi hluchavkovité (*Lamiaceae*) je pravděpodobným samovolným křížencem máty vodní (*Metha aquatica* L.) a máty klasnaté pravé (*Mentha spicata* subsp. *spicata* L.). Bylinné čaje se připravují z listů (*Menthae piperitae folium*) a natě (*Menthae piperitae herba*), které se mohou do směsí přidávat v neomezeném množství. Z botanického hlediska se jedná o vytrvalou bylinu s typicky čtverhrannými lodyhami (30 – 90 cm), rozmnožující se vegetativně skrze oddenky (netvoří semena). Čepele listů mají zpravidla kopinatý, ostře špičatý tvar s ostře pilovitým okrajem (Bühning, 2010; Neugebauerová, 2006; Vyhláška Mze č. 330, 1997).

Máta obsahuje poměrně velké množství silice (0,1 – 4 %, z čehož 29 – 50 % tvoří menthol), dále látky tříslovinné, flavonoidní (12 %), fenolické kyseliny (kyselina kávová), betain, tokoferoly, karotenoidy a další složky. V silici jsou kromě mentholu obsaženy např. menthon (20 – 31 %), menthofuran (6,8 %) a menthyl acetát (3 – 10 %). Z flavonoidních látek jsou zastoupeny např. eriocitrin, narirutin, hesperidin, luteolin-7-O-rutinosid, isorhoifolin, diosmin aj. (Inoue et al, 2002; Neugebauerová, 2006; Singh et al, 2011).

Čaj z máty peprné se užívá při žaludečních a střevních křečích, bolestech hlavy, při různých nevolnostech (i proti nevolnosti na začátku těhotenství) (Bühning, 2010).

3.2.6 Meduňka lékařská (*Melissa officinalis* L.)

Meduňka lékařská, stejně jako předchozí bylina, náleží do čeledi hluchavkovité (*Lamiaceae*) s typickou čtverhrannou lodyhou nesoucí listy vejčitého až srdčitého tvaru s hrubě vroubkovanými až pilovitými okraji čepelí (Bühning, 2010). Rostlina je na celém svém povrchu žláznatě chlupatá a jejím výrazným znakem je citronové aroma. Pro výrobu čajů se používá nať (*Melissae herba*) a listy (*Melissae folium*) a to v neomezeném množství (Neugebauerová, 2006; Vyhláška Mze č. 330, 1997).

Bylina obsahuje, ve srovnání s předchozími, menší množství silice (asi 0,02 – 0,45 %, nejvíce na začátku kvetení), jinak obsahuje v hojném množství látky flavonoidní, tříslovinné, fenolické kyseliny (zejména kyselina rosmarinová, ferulová a kávová), glykosid aukubin a další. Hlavními složkami silice jsou citral, linalool, neral, citronelal, geranial, α - a β -pinen a karyofylen. Zástupci flavonoidů jsou v meduňce

glykosidy luteolinu, isokvercitrinu, apigeninu a rhamnocitrinu (Bühning, 2010; Moradkhani et al, 2010; Neugebauerová, 2006).

Čaj s meduňkou se používá jako mírný uklidňující prostředek (nervinum), k uvolňování křečí žaludku a střev a při poruchách usínání (Bühning, 2010; Neugebauerová, 2006).

3.2.7 Mateřídouška úzkolistá (*Thymus serpyllum* L.)

Mateřídouška je cenným zdrojem silic, bohatých na terpenoidní sloučeniny, a jiných látek, které vykazují nejen antioxidační účinky. Tato vytrvalá bylina náležející do čeledi hluchavkovité (*Lamiaceae*) vyrůstá ve formě drobných keřů, jež na sobě mají úzké, špičaté, plstnatě chlupaté listy. Bylinné čaje se vyrábí z kvetoucí natě mateřídoušky (*Serpylli herba*), jenž se do směsí přidává v neomezeném množství (Bühning, 2010; Raal et al, 2004; Vyhláška Mze č. 330, 1997).

Nať mateřídoušky obsahuje kolem 0,1 – 1 % silice, dále flavonoidy, fenolické kyseliny (kyselina kávová a rosmarinová) a mimo jiné také třísloviny, hořčiny a saponiny. Hlavními složkami silice jsou thymol (20 – 56 %), methylester karvakrolu (15 %), p-cymen, γ -terpinen a borneol (Bühning, 2010; Verma et al, 2011).

Čaj z mateřídoušky úzkolisté se užívá jako doplněk léčby onemocnění dýchacích cest (nachlazení, astma, bronchitida), používá se pro uvolnění křečí žaludku a při nadýmání. Složky karvakrol s thymolem působí také antisepticky, proto se mateřídouškový čaj dá aplikovat při zánětech ústní dutiny (kloktadlo) a na akné (Bühning, 2010).

3.2.8 Ostropestřec mariánský (*Silybum marianum* L.)

Obsahové látky se silnými antioxidačními účinky řadí ostropestřec mezi významné byliny používané pro podporu léčby jaterních, ale i jiných onemocnění (Preedy et al, 2011). Lodyha této jednoleté až dvouleté rostliny patřící do čeledi hvězdnicovité (*Asteraceae*) dorůstá až do výšky 2,5 m. Listy jsou tmavé s typicky bílými skvrnami. Plodem je černohnědá nažka s bílým opadavým chmýřím. K přípravě čajů se využívají právě plody (*Silybi mariani fructus*), které v čajových směsích mohou tvořit až 5 % hmotnosti (Bühning, 2010; Vyhláška Mze č. 330, 1997).

Z obsahových látek jsou velice významné flavonoidy, slizovité sachary, nenasycené mastné kyseliny (kyselina linolová a linolenová) aj. Nejdůležitější složkou

flavo-noidních látek (skupina flavonolignanů) je tzv. silymarinový komplex (1,5 – 3 %) sestávající se zejména ze silybinu (benzodioxan), silidianinu (oxatricyklodecen) a silichristinu. Dalšími flavonoidy jsou v ostropestřci kvercitrin, taxifolin a apigenin (Leros, 2010; Neugebauerová, 2006; Preedy et al, 2011).

Čaj z plodů ostropestřce se vnitřně používá jako součást doplňkové léčby žlučových kamenů a migrény, dále při chorobách jater jako je cirhóza, fibróza a chronické záněty jater. Působí také preventivně proti poškození buněk jaterního parenchymu v případě intoxikace (Bühning, 2010; Preedy et al, 2011).

3.2.9 Růže šípková (*Rosa canina* L.)

Tato bylina patří do čeledi růžovité (*Rosaceae*) a vyznačuje se silným kořenovým systémem. Plodem (souplodím) jsou šípky (*Cynosbati fructus*), jež se právě využívají k přípravě bylinných čajů a čajových směsí v neomezeném množství (Bühning, 2010; Ercisli, 2007; Vyhláška Mze č. 330, 1997).

Šípky obsahují poměrně velké množství vitamínu C (300 – 4000 mg.100 g⁻¹ čerstvé hmotnosti), dále v nich najdeme také vitaminy skupiny B, vitaminy E a K. Z dalších významných látek jsou přítomny anthokyany (2,9 %), karotenoidy, minerální látky (zejm. hořčík, železo), fenolické (volná kyselina gallová) a ovocné kyseliny (kyselina jablečná, kyselina citronová), třísloviny aj. Kromě anthokyanů jsou v šípcích obsaženy také další flavonoidní látky a to zejména rutin, kvercitrin, myricetin a kemferol (Bühning, 2010; Ercisli, 2007; Tobbyn et al, 2011).

Co se týče účinků čajů obsahujících šípky, uplatňují se jako posilovače obranyschopnosti organismu, povzbuzovače metabolismu a jako tišící prostředky při revmatických bolestech kloubů. Vzhledem k vysokému obsahu fenolických látek vykazují významné účinky protizánětlivé a antioxidační (Bühning, 2010).

3.2.10 Třezalka tečkovaná (*Hypericum perforatum* L.)

Třezalka tečkovaná, známá svými antioxidačními a neuroprotektivními účinky, je vytrvalá bylina ze specifické čeledi třezalkovité (*Hypericaceae*) s typicky tečkovanými dvojhřannými lodyhami (40 až 80 cm vysokými) nesoucími listy s drobnými žlázkami, jež opticky vytváří dojem perforovanosti čepelí propouštěním světla. Červený hypericin obsažený v listech na jejich povrchu často vytváří charakteristické drobné skvrny. Bylinné čajové směsi se připravují z třezalkové natě (*Hyperici herba*), která

může tvořit až 5 % jejich hmotnosti (Benzie, Wachtel-Galor, 2011; Bühring, 2010; Neugebauerová, 2006; Vyhláška Mze č. 330, 1997).

Bylina obsahuje z významných složek hlavně flavonoidy (v množství 2 – 12 %), biflavonoidy (bi-apigenin, katechinové třísloviny (3 – 16 %), fenolické kyseliny (kávová, p-kumarová, chlorogenová), deriváty anthracenu hypericin (0,1 – 0,3 %) a hyperin, deriváty floroglucinu (zástupcem např. hyperforin 2 – 4,5 %), xanthony a silice (0,05 – 0,9 %). Z flavonoidů jsou důležitými hyperosid, kvercitrin, kemferol, luteolin, amentoflavon, myricetin, proanthokyanidiny a rutin (až 1,6 %). Silice obsahují převážně mono- a seskviterpeny, jmenovitě α - a β -pinen, α -terpioneol a ve stopovém množství myrcen, limonen, karyofylen aj (Benzie, Wachtel-Galor, 2011; Bühring, 2010; Neugebauerová, 2006).

Třezalka se užívá při stavech sklíčenosti, nervozitě, pocitech úzkosti a vyčerpání. Působí také proti pálení žáhy. Zevně lze použít na podporu hojení řezných ran, oděrek a popálenin, kdy působí protizánětlivě (Bühring, 2010). Možným nežádoucím účinkem při užívání čajů obsahujících třezalku je fotosenzibilita (zejména u citlivých jedinců) (Neugebauerová, 2006).

4 VÝZNAM ANTIOXIDANTŮ ZE ZDRAVOTNÍHO HLEDISKA

Všechny buňky lidského organismu jsou neustále vystavovány vlivu oxidantů z endogenních i exogenních zdrojů (Mayne, 2003). Radikály a jiné reaktivní formy kyslíku, případně dusíku, chloru aj. (např. xenobiotik) provázejí proces zvaný oxidativní stres (více popsán v kapitole Antioxidanty – přehled a rozdělení). Některé reaktivní formy (RS; z anglického *reactive species*) mají v nízké koncentraci nezastupitelnou roli v normálních fyziologických procesech buněk, kde působí např. jako růstové faktory, ovlivňují imunitní schopnosti (obrana proti patogenům), uplatňují se v nitrobuněčné signalizaci a iniciují apoptosu poškozených buněk (Rajendran et al, 2014; Seifried, Pilch, 2013; Young, Woodside, 2001). Navzdory těmto prospěšným vlastnostem a úlohám RS, jejich abnormální produkce nebo nehomeostatická regulace (neboli oxidativní stres) se zdají být klíčovým činitelem v etiologii mnoha chorob. Tyto choroby zahrnují rakovinu, aterosklerosu, kardiovaskulární choroby, diabetes, kataraktu, artritidu a další zánětlivé procesy, poruchy imunitního systému a endokrinních funkcí, neurodegenerativní onemocnění, věkem podmíněnou makulární degeneraci a také stárnutí obecně (Mayne, 2003; Rajendran et al, 2014). Byla totiž vypořádována zvýšená množství škodlivých produktů volných radikálů (nejvýznamnějšími radikály mnoha chorobných stavů jsou superoxidové a hydroxylové radikály) v tělních tekutinách u osob trpících nějakou z výše zmíněných chorob. V souvislosti s tímto jsou antioxidanty slibnými činiteli pro jejich prevenci a možnou léčbu (Seifried, Pilch, 2013; Young, Woodside, 2001).

Volné radikály mohou napadat různé látky v buňkách např. lipidy, sacharidy, nukleové kyseliny, enzymy, proteiny a jiné významné molekuly (adrenalin, flavinové nukleotidy, thiolové sloučeniny, glukosu). Nekontrolovaná oxidace některých z těchto látek může teoreticky přispět právě k rozvoji chronického onemocnění (Mayne, 2003; Young, Woodside, 2001). Oxidativně modifikovaný nízkodenzitní lipoprotein (jinak běžně označovaný LDL, z anglického *low density lipoprotein*), je předpokládánou příčinou rozvoje kardiovaskulárních chorob. Oxidativní poškození DNA způsobené volnými radikály produkovanými v rámci negativního vedlejšího efektu aerobního metabolismu může rovněž hrát roli v karcinogenezi. Fotooxidační poškození proteinů (jejich akumulace, agregace a precipitace) očních čoček, zase může vyústit v šedý zákal (Mayne, 2003; Pokorný et al, 2001).

Oxidační reakce (produkce volných radikálů) v buňkách jsou značně urychlovány přítomností prvků označovaných jako přechodné (tranzitivní) kovy (např. železo nebo měď). Obsahují jeden nebo více nepárových elektronů a jsou tak samy o sobě radikály i v základním stavu. Dalším činitelem, který ovlivňuje produkci volných radikálů, je ultrafialové světlo vedoucí k tvorbě singletového kyslíku a dalších reaktivních forem kyslíku a to zejména v lidské kůži. Atmosferické polutanty jako jsou ozon a oxid dusičitý zase vedou ke tvorbě radikálů a vyčerpávání antioxidantů v bronchoalveolární tekutině, což může zhoršovat určitá onemocnění respiračního traktu. Mnoho dalších xenobiotik rovněž způsobuje poškození tkání v důsledku tvorby volných radikálů (Young, Woodside, 2001).

Antioxidanty zabraňují oxidativnímu poškození buněk a tkání, které by mohlo vést ke vzniku patologických stavů tím, že v organismu udržují redoxní rovnováhu (rovnováhu mezi oxidačními a antioxidantními reakcemi). Nízké koncentrace antioxidantů mohou být pro tento rovnovážný stav výhodné, avšak příliš vysoké koncentrace je mohou naopak narušit (pak mluvíme o tzv. prooxidačním efektu) a paradoxně tak mohou vést ke zvýšení oxidativního poškození buněk (Rajendran et al, 2014; Young, Woodside, 2001). Udržování redoxní rovnováhy spočívá v zabraňování nadměrné tvorby a akumulace volných radikálů, jejich vychytávání nebo podpoře jejich rozkladu. V živých buňkách existuje celá řada antioxidantů (endogenních i exogenních), které mají zabránit poškození buněčných složek. Antioxidanty rozpustné v tucích (např. vitamin E, karotenoidy, fenolické antioxidanty) vychytávají radikály v membránách a lipoproteinových částicích a jsou klíčové v prevenci peroxidace lipidů. Biodostupnost některých flavonoidních látek a jejich koncentrace v lidské plasmě není nijak velká, avšak existují studie, které ukazují, že by příjem těchto látek mohl působit proti oxidačnímu poškození buněk. Kromě flavonoidů mohou i další fenolické látky přispívat k malému zvýšení celkové antioxidantní kapacity antioxidantních systémů buněk. Antioxidanty rozpustné ve vodě (např. vitamin C) zhasí radikály přítomné ve vodné fázi. Přestože se obvykle popisují účinky antioxidantů jednotlivě, je důležité zmínit, že v rámci živých organismů dochází k jejich komplexním interakcím (Young, Woodside, 2001). Je pravděpodobné, že odlišnosti v efektech jednotlivých antioxidantů záleží na hydrofilitě jejich molekul, která se také odráží v jejich rozdílné distribuci v různých tkáních a jejich částech (Rajendran et al, 2014).

4.1 Rakovina

Rakovina je souhrnné označení pro skupinu onemocnění, která jsou charakterizována nekontrolovatelným buněčným růstem v důsledku poškození a změn genetického materiálu buněk. Charakteristickými schopnostmi důležitými pro vznik nádorů jsou pro buňky – samostatnost v řízení růstových signálů, necitlivost na protirůstové signály, schopnost vyhnout se apoptose, dále neomezený replikační potenciál, možnost angiogeneze (proces novotvorby krevních kapilár), schopnost osidlovat různé tkáně a metastázovat. Nadbytečné RS (ROS a RNS) jsou zahrnuty do všech těchto procesů a tím přispívají k progresi rakoviny (Seifried, Pilch, 2013; Rajendran et al, 2014).

Některé látky s antioxidační aktivitou mohou inhibovat (ale i stimulovat) růst nádorových buněk a to v závislosti na typu nádoru, typu antioxidantu a na míře oxidativního stresu v organismu (Seifried, Pilch, 2013). Pozitivním příkladem může být protirakovinný účinek vitamínu C v souvislosti s rakovinou plic, konečníku a tlustého střeva aj. (Flora, 2009), dále účinek isoflavonů v souvislosti s hormonálně závislými nádory prsu, reprodukčních orgánů a prostaty. Významný může být také lokální protirakovinný efekt flavonoidů a dalších fenolických antioxidantů ve střevech (Crozier, 2006).

Příkladem negativního efektu může být prooxidační působení β -karotenu v plicní tkáni za přítomnosti vysoké koncentrace kyslíku a jiných radikálů, což může mít za následek iniciaci karcinogeneze a to zejména u kuřáků (Cadenas, Packer, 2002).

4.2 Kardiovaskulární onemocnění a aterosklerosa

Aterosklerosa je typickým příkladem procesu, ve kterém hraje roli oxidativní stres. Oxidativně pozměněné molekuly LDL jsou zřejmě, kromě dalších chemických reakcí, klíčové při tvorbě aterosklerotického plaku (Cadenas, Packer, 2002; Young, Woodside, 2001). Proces oxidace LDL probíhá hlavně ve stěnách arterií, kde také tímto dochází k vyčerpávání antioxidační kapacity antioxidantů, což dále může být rizikové v souvislosti s rozvojem kardiovaskulárních chorob (CVD, z anglického *cardiovascular diseases*). Volné radikály také přímo interagují se signálními mechanismy arteriálních stěn, které jsou zodpovědné za regulaci cévních funkcí (Young, Woodside, 2001). Aterogenezi rovněž často provází chronické zánětlivé procesy (zprostředkované právě volnými radikály), které mohou vést k poškození hladkého svalstva a endotheliálních

buněk (Seifried, Pilch, 2013; Rajendran et al, 2014).

Antioxidanty inhibují oxidaci molekul LDL, dalších lipidů a jiných látek a tak mohou působit preventivně proti rozvoji aterosklerosy i souvisejících CVD a mohou také představovat prostředek k podpoře léčby těchto patologických stavů. Potenciál antioxidantů však nemusí být jen ve schopnosti zabraňovat oxidaci. Některé z nich (např. rutin a další glykosidy flavonoidů) mají vliv také na pružnost a permeabilitu krevních kapilár (Young, Woodside, 2001; Velíšek, Hajšlová, 2009).

4.3 Diabetes

Bylo vyzorováno, že vysoké koncentrace glukosy mohou skrze oxidativní stres způsobovat poškození buněk. Tato poškození jsou pak zřejmě příčinou většiny komplikací při onemocnění diabetem. Oxidativní stres tedy hraje významnou roli v patogenezi obou typů tohoto onemocnění. Nadměrná tvorba volných radikálů při diabetu vychází z oxidace glukosy, neenzymatické glykace proteinů a jejich následné oxidativní degradace. Nicméně, antioxidanty zřejmě nehrají příliš velkou (a možná žádnou) roli v léčbě diabetických komplikací u lidí (Rajendran et al, 2014).

4.4 Neurodegenerativní onemocnění

Neurodegenerativní poruchy jsou heterogenní skupinou chorob nervového systému zahrnujícího mozek, míchu i periferní nervy. Radikálové částice a jiné reaktivní formy jsou v nervové tkáni bohatě vytvářeny jako vedlejší produkty metabolismu excitačních aminokyselin a neurotransmiterů (Rajendran et al, 2014). Zde pak napadají citlivé gliové buňky a neurony, což může vést k vážnému nervovému poškození. Výsledkem pak mohou být např. Alzheimerova choroba, Parkinsonova choroba, Huntingtonova choroba, amyotrofická laterální sklerosa nebo třeba mozková příhoda. Mozek je poměrně citlivý k oxidativnímu poškození, protože využívá ve svém metabolismu velké množství kyslíku a obsahuje v buňkách malé množství antioxidačních enzymů (zvláště ve stáří). Membrány některých jeho buněk navíc obsahují velký podíl poly-nenasycených mastných kyselin, které jsou velice náchylné k oxidaci. Antioxidanty mohou snížit oxidativní poškození a působit protizánětlivě, proto by mohlo být vhodné jejich využití v prevenci, případně i léčbě či zmírnění projevů některých neurodegenerativních onemocnění (Benzie, Wachtel-Galor, 2011).

4.5 Chronická zánětlivá onemocnění

Chronický autoimunitní zánět, který je běžně pozorován při revmatoidní artritidě, narušuje křehkou rovnováhu mezi resorpcí a kalcifikací kostí tak, že způsobuje destrukci kostní tkáně i kloubů. Volné radikály jsou zahrnuty v etiologii mnoha patologických stavů zahrnujících defektní strukturu a tvorbu kloubních chrupavek, vrozené a jiné vývojové vady, zánětlivé změny kloubů aj. Hydroxylové radikály zapříčiňují degradaci proteoglykanů, kyselina chlorná poškozují částice kolagenu a peroxid vodíku zase inhibuje syntézu chrupavkových proteoglykanů (Rajendran et al, 2014). Některé antioxidanty se kromě působení proti volným radikálům v těchto případech uplatňují i jako komponenty metabolických reakcí. Příkladem je vitamin C, který je kofaktorem v syntéze kolagenu (Young, Woodside, 2001).

4.6 Oční onemocnění

Makulární degenerace a katarakta (šedý zákal) jsou multifaktoriální oční onemocnění. Lidské oči jsou neustále vystavovány poškozujícímu efektu volných radikálů vznikajících účinkem záření či z jiných příčin. Výsledkem je pak např. atrofie očních fotoreceptorů a pigmentového epitelu v makulární oblasti sítnice. Látky s antioxidační aktivitou, zvláště pak lutein a zeaxanthin, jsou spojovány se sníženým rizikem rozvoje očních onemocnění. Právě zmínění zástupci karotenoidů nejen limitují tvorbu volných radikálů, ale také absorbují modré světlo, takže působí jako jakési ochranné filtry (Cadenas, Packer, 2002).

ZÁVĚR

Lidský organismus je každodenně vystavován negativním vlivům radikálů ať už vlivem znečištěného životního prostředí, slunečního záření, ale také i vlastního metabolismu, které vedou k oxidativnímu stresu. Jak je zmíněno v této práci, dlouhodobý oxidativní stres může vést ke vzniku a rozvoji mnoha onemocnění jako jsou rakovina, kardiovaskulární choroby, neurodegenerativní, zánětlivá onemocnění a mnoho dalších.

Úlohou antioxidantů je zabránit soustavnému poškozování důležitých komponentů lidských buněk, které by vedlo k výše zmíněným onemocněním. Lidské tělo má vytvořeno vlastní antioxidační systém, který ovšem není vždy sám schopen udržovat redoxní rovnováhu vnitřního prostředí. Proto je vhodné tuto rovnováhu podpořit příjmem antioxidačních látek stravou. Přírodních antioxidantů existuje opravdu velké množství, zahrnují jak látky flavonoidní (flavony, flavanony, anthokyanidiny aj.), tak neflavonoidní (fenolické kyseliny, stilbeny), dále karotenoidy, chlorofyly, tokoferoly, a vitamin C. Antioxidační aktivita těchto látek se stanovuje různými chemickými metodami jako např. metodou TEAC, DPPH a FRAP.

Čaje z bylin, které obsahují velké množství látek s významnými antioxidačními účinky, by mohly být vhodnými doplňky vyvážené stravy a pitného režimu. V této práci byly popsány některé byliny, které se často používají pro výrobu a přípravu bylinných čajů (heřmánek pravý, meduňka lékařská, třezalka tečkovaná, máta peprná aj.). Vytvořením přehledu jejich obsahových látek s antioxidačním účinkem bylo dosaženo cílů vytyčených pro zpracování této práce. Dále byly zmíněny mimo jiné i způsoby přípravy bylinných čajů a tvorba čajových směsí.

Vzhledem k tomu, že chemické a biochemické vlastnosti přírodních látek ve vztahu k lidskému zdraví byly vždy oblastí mého zájmu, bylo zpracování práce na téma „Antioxidanty v bylinných čajích“ pro mne velice dobrou příležitostí k rozšíření vědomostí. Můj zájem zpracovat práci na toto téma výrazně podpořilo také studium volitelného předmětu týkajícího se pěstování léčivých a kořeninových rostlin.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ALAM, M. N., N. J. BRISTI a M. RAFIQUZZAMAN, 2013. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal* [online]. Roč. 21, č. 2, s. 143-152 [cit. 2015-03-16]. DOI: 10.1016/j.jsps.2012.05.002. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319016412000357>

ALI, S. S. et al, 2008. Indian medicinal herbs as sources of antioxidants. *Food Research International* [online]. Roč. 41, č. 1, s. 1-15 [cit. 2015-01-31]. DOI: 10.1016/j.foodres.2007.10.001. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996907001779>

ALOK, S. et al, 2014. Herbal antioxidant in clinical practice: a review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* [online]. Roč. 4, č. 1, s. 78-84 [cit. 2014-11-16]. DOI: 10.1016/S2221-1691(14)60213-6. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2221169114602136>

ANDERSEN, Ø. M. a K. R. MARKHAM, 2006. *Flavonoids: chemistry, biochemistry, and applications*. Boca Raton, FL: CRC, Taylor, 1237 s., ISBN 08-493-2021-6.

ANTOLOVICH, M. et al, 2001. Methods for testing antioxidant activity. *The Analyst* [online]. Roč. 127, č. 1, s. 183-198 [cit. 2015-03-16]. DOI: 10.1039/b009171p. Dostupné z: <http://ucce.ucdavis.edu/files/datastore/608-46.pdf>

ATOUI, A. et al, 2005. Tea and herbal infusions: Their antioxidant activity and phenolic profile. *Food Chemistry* [online]. Roč. 89, č. 1, s. 27-36 [cit. 2014-01-31]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.01.075. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814604001670>

BENZIE, I. F. F. a S. WACHTEL-GALOR, 2011. *Herbal medicine: biomolecular and clinical aspects*. 2. vyd. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-143-9807-132.

BETTERIDGE, D. J. a G. BOOZ, 2000. What is oxidative stress?: what are we missing? *Metabolism* [online]. Roč. 49, č. 2 [cit. 2014-11-08]. DOI: 10.3410/f.718039739.793480474. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10693912>

BREWER, M.S., 2011. Natural Antioxidants: Sources, Compounds, Mechanisms of Action, and Potential Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. Roč. 10, č. 4, s. 221-247 [cit. 2015-02-09]. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x>

BÜHRING, U., 2010. *Léčivé rostliny: obsahové látky, zpracování, základní recepty*. Vyd. 1. Praha: Knižní klub, 360 s. ISBN 978-80-242-2474-9

BURNS, J. et al, 2002. Plant Foods and Herbal Sources of Resveratrol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. Roč. 50, č. 11, s. 3337-3340 [cit. 2014-11-08]. DOI: 10.1021/jf0112973. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf0112973>

CADENAS, E. a L. PACKER, 2002. *Handbook of antioxidants*. 2. vyd. New York: Marcel Dekker, 712 s. ISBN 08-247-0547-5.

CHARLES, D. J., 2012. *Antioxidant properties of spices, herbs and other sources*. New York: Springer. ISBN 978-146-1443-094.

CROZIER, A., M. CLIFFORD a H. ASHIHARA, 2006. *Plant secondary metabolites: occurrence, structure and role in the human diet*. Ames, Iowa: Blackwell Pub., 372 s. ISBN 978-140-5125-093.

Česká Republika, 1997. Vyhláška Mze č. 330/1997 Sb. In: *Sbírka zákonů*. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-330>

Databáze éček, 2009. *Bezkonzervantu.cz* [online]. [cit. 2014-11-16]. Dostupné z: <http://www.bezkonzervantu.cz/ecka-v-potravinach-seznam/>

DOSTÁLEK, M., 2007. Oxidativní stres, biomarkery oxidativního stresu. *Postgraduální medicína* [online]. Č. 4 [cit. 2014-11-08]. Dostupné z: <http://zdravi.e15.cz/clanek/postgradualni-medicina/oxidativni-stres-biomarkery-oxidativniho-stresu-300319>

ERCISLI, S., 2007. Chemical composition of fruits in some rose (*Rosa* spp.) species. *Food Chemistry* [online]. Roč. 104, č. 4, s. 1379-1384 [cit. 2015-03-01]. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.01.053. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814607001550>

- ERGENE, B., Ö. BAHADIR-ACIKARA, F. BAKAR, G. SALTAN a S. NEBDOĞLU, 2013. Antioxidant activity and phytochemical analysis of *Alchemilla persica* Rothm. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara* [online]. Roč. 39, č. 2, s. 145-154 [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/24/1857/19530.pdf
- FIEDOR, J., K. BURDA, 2014. Potential Role of Carotenoids as Antioxidants in Human Health and Disease: Modes of action and bioavailability of lycopene in the human. *Nutrients* [online]. Roč. 6, č. 2, s. 53-84 [cit. 2014-11-08]. DOI: 10.1201/9780203026649.ch3. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3942711/>
- FLORA, S. J., 2009. Structural, Chemical and Biological Aspects of Antioxidants for Strategies Against Metal and Metalloid Exposure. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* [online]. Roč. 2, č. 4, s. 191-206 [cit. 2015-02-09]. DOI: 10.4161/oxim.2.4.9112. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2763257/>
- FORMISANO, C. et al, 2015. Correlation among environmental factors, chemical composition and antioxidative properties of essential oil and extracts of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) collected in Molise (South-central Italy). *Industrial Crops and Products* [online]. Roč. 63, s. 256-263 [cit. 2015-02-21]. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.09.042. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669014005871>
- FRAGA, C. G a IUBMB, 2010. *Plant phenolics and human health: biochemistry, nutrition, and pharmacology*. 1. vyd. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, Inc., 593 s. Wiley-IUBMB series on biochemistry and molecular biology. ISBN 04-702-8721-7.
- FRANKE, R. a H. SCHILCHER, 2005. *Chamomile: industrial profiles*. Boca Raton: Taylor, 289 s. ISBN 978-041-5334-631.
- GHARRAS, H. E., 2009. Polyphenols: food sources, properties and applications - a review. *International Journal of Food Science* [online]. Roč. 44, č. 12, s. 2512-2518 [cit. 2015-01-27]. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2009.02077.x. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.2009.02077.x/pdf>

- GRASSMANN, J., 2005. Terpenoids as Plant Antioxidants. *Vitamines and Hormones* [online]. Roč. 70, s. 505-535 [cit. 2015-02-09]. DOI: 10.1016/S0083-6729(05)72015-X. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S008367290572015X>
- GREŠÍK, V., 2015. Způsoby přípravy bylin. *Grešík* [online]. [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: <http://www.gresik.cz/zpusoby-pripravy-bylin.html>
- HALLIWELL, B., 2007. Biochemistry of oxidative stress. *Biochemical Society Transactions* [online]. Roč. 35, č. 5, s. 1147-1257 [cit. 2014-11-08]. DOI: 10.1042/bst0351147. Dostupné z: <http://www.biochemsoctrans.org/bst/035/1147/0351147.pdf>
- HAMROUNI-SELLAMI, I. et al, 2013. Total Phenolics, Flavonoids, and Antioxidant Activity of Sage (*Salvia officinalis* L.) Plants as Affected by Different Drying Methods. *Food and Bioprocess Technology* [online]. Roč. 6, č. 3, s. 806-817 [cit. 2015-02-21]. DOI: 10.1007/s11947-012-0877-7. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11947-012-0877-7>
- HEIM, K. E., A. R. TAGLIAFERRO a D. J. BOBILYA, 2002. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *The Journal of Nutritional Biochemistry* [online]. Roč. 13, č. 10, s. 572-584 [cit. 2014-11-16]. DOI: 10.1016/s0955-2863(02)00208-5. Dostupné z: <http://europepmc.org/abstract/MED/12550068>
- HSU, C.-Y., P.-Y. CHAO, S.-P. HU a C.-M. YANG, 2013. The Antioxidant and Free Radical Scavenging Activities of Chlorophylls and Pheophytins. *Food and Nutrition Sciences* [online]. Roč. 4, č. 8, s. 1-8 [cit. 2015-02-16]. DOI: 10.4236/fns.2013.48A001. Dostupné z: <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/fns.2013.48A001>
- INOUE, T., Y. SUGIMOTO, H. MASUDA a Ch. KAMEI, 2002. Antiallergic Effect of Flavonoid Glycosides Obtained from *Mentha piperita* L. *Biological* [online]. Roč. 25, č. 2, s. 256-259 [cit. 2015-02-24]. DOI: 10.1248/bpb.25.256. Dostupné z: https://www.jstage.jst.go.jp/article/bpb/25/2/25_2_256/_pdf
- JOMOVA, K. a M. VALKO, 2013. Health protective effects of carotenoids and their interactions with other biological antioxidants. *European Journal of Medicinal Chemistry* [online]. Roč. 70, s. 102-110 [cit. 2015-02-08]. DOI:

10.1016/j.ejmech.2013.09.054. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejmech.2013.09.054>

KINTZIOS, S. E., 2000. *Sage: the genus Salvia*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 296 s. ISBN 90-582-3005-8.

KORAĆ, R. R. a K. M. KHAMBHOLJA, 2011. Potential of herbs in skin protection from ultraviolet radiation. *Pharmacognosy Reviews* [online]. Roč. 5, č. 10, s. 164-173 [cit. 2014-11-08]. DOI: 10.4103/0973-7847.91114. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3263051/#!po=1.78571>

KRISHNAIAH, D., R. SARBATLY a R. NITHYANANDAM, 2011. a review of the antioxidant potential of medicinal plant species. *Food and Bioproducts Processing* [online]. Roč. 89, č. 3, s. 217-233 [cit. 2014-11-08]. DOI: 10.1016/j.fbp.2010.04.008. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960308510000520>

LANFER-MARQUEZ, U. M., R. M.C. BARROS a P. SINNECKER, 2005. Antioxidant activity of chlorophylls and their derivatives. *Food Research International* [online]. Roč. 38, 8-9, s. 885-891 [cit. 2015-02-16]. DOI: 10.1016/j.foodres.2005.02.012. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996905000918>

LIU, W. J., 2011. *Traditional herbal medicine research methods: identification, analysis, bioassay, and pharmaceutical and clinical studies*. Hoboken, N.J.: John Wiley, 466 s. ISBN 04-701-4936-1.

LOBO, V. et al, 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews* [online]. Roč. 4, č. 8, s. 118-126 [cit. 2014-11-08]. DOI: 10.4103/0973-7847.70902. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3249911/>

MAYNE, S., 2003. Biomarkers of Nutritional Exposure and Nutritional Status: Antioxidant Nutrients and Chronic Disease: Use of Biomarkers of Exposure and Oxidative Stress Status in Epidemiologic Research. *The Journal of nutrition* [online]. Č. 3 [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <http://jn.nutrition.org/content/133/3/933S.full.pdf+html>

MORADKHANI, H. et al, 2003. Melissa officinalis L., a valuable medicine plant: a review. *Journal of Medicinal Plants Research* [online]. Roč. 4, č. 25, s. 2753-2759 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://www.academicjournals.org/article/article1380713061_Moradkhani%20et%20al.pdf

NEUGEBAUEROVÁ, Jarmila, 2006. *Pěstování léčivých a kořenových rostlin*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 122 s. ISBN 80-7157-997-1.

Ostropestřec mariánský. *Leros, s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://leros.cz/cs/component/content/article/86>

PAULOVÁ, H., H. BACHOŘÁKOVÁ a E. TÁBORSKÁ, 2004. Metody stanovení antioxidační aktivity přírodních látek in vitro. *Chemické listy* [online]. Praha: Česká společnost chemická, č. 98, s. 174-179 [cit. 2014-01-31]. Dostupné z: http://chemicke-listy.cz/docs/full/2004_04_03.pdf

POKORNY, J., N. YANISHLIEVA a M. GORDON, 2001. *Antioxidants in food: practical applications*. Abington: Woodhead Publishing Ltd. ISBN 18-557-3463-X

PREEDY, V. R., R. R. WATSON a V. B. PATEL, 2011. *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*. 1. vyd. Burlington, MA: Academic Press, s. 759-765. ISBN 012375688x.

RAAL, A., U. PAAVER, E. ARAK a A. ORAV, 2004. Content and composition of the essential oil of *Thymus serpyllum* L. growing wild in Estonia. *Medicina* [online]. Kaunas, Roč. 40, č. 8, s. 795-800 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15300002>

RADA, Karel, 1969. *Léčivé čaje*. 1. vyd. Bratislava: Osveta, 270 s.

RAJENDRAN, P. et al, 2014. Antioxidants and human diseases. *Clinica Chimica Acta* [online]. Elsevier B.V., Roč. 436, s. 332-347 [cit. 2015-03-13]. DOI: 10.1016/j.cca.2014.06.004. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009898114002629>

RICE-EVANS, C. a L. PACKER, 2003. *Flavonoids in health and disease*. New York: Marcel Dekker, 467 s. ISBN 08-247-4234-6.

ROUSSAKI, M. et al, 2012. Aurones: a Promising Heterocyclic Scaffold for the Development of Potent Antileishmanial Agents. *International Journal of Medicinal*

Chemistry [online]. S. 1-8 [cit. 2015-02-03]. DOI: 10.1155/2012/196921. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4207450/>

SEBAI, H. et al, 2014. Antidiarrheal and antioxidant activities of chamomile (*Matricaria recutita* L.) decoction extract in rats. *Journal of Ethnopharmacology* [online]. Roč. 152, č. 2, s. 327-332 [cit. 2015-02-21]. DOI: 10.1016/j.jep.2014.01.015. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378874114000610>

SEIFRIED, H. E. a S. M. PILCH, 2013. Antioxidants in Health and Disease. *Nutrition in the prevention and treatment of disease* [online]. Elsevier, s. 319-340 [cit. 2015-03-13]. DOI: 10.1016/B978-0-12-391884-0.00018-4. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123918840000184>

SHAHIDI, F., Y. ZHONG, 2005. Antioxidants: Regulatory Status. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products* [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., č. 6, s. 22 [cit. 2014-11-15]. DOI: 10.1002/047167849X.bio035. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/047167849X.bio035>

SICHOVÁ, L. a L. JANČÁŘ, 2005. Struktura a názvosloví vitamínu C. *Výukový systém vitamin C* [online]. [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/WCHEM/comenius2000/vitaminc/index.htm>

SINGH, R., M. A.M. SHUSHNI a A. BELKHEIR, 2011. Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. *Arabian Journal of Chemistry* [online]. [cit. 2015-02-24]. DOI: 10.1016/j.arabjc.2011.01.019. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535211000232>

SÓLYOM, K. et al, 2014. Structure–response relationship of carotenoid bioaccessibility and antioxidant activity as affected by the hydroxylation and cyclization of their terminal end groups. *Food Research International* [online]. Roč. 66, s. 107-114 [cit. 2015-02-08]. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.09.004. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996914005948>

ŠUK, Vratislav a Petr LIŠKA, 1998. *Léčivé rostliny a čajové směsi*. Vyd. 2. Praha: X-Egem. ISBN 80-719-9031-0.

TOBYN, G., A. DENHAM a M. WHITELEGG, 2011. *The Western herbal tradition: 2000 years of medicinal plant knowledge*. Edinburgh: Elsevier, 379 s. ISBN 978-044-3103-445.

VELÍŠEK, J. a J. HAJŠLOVÁ, 2009. *Chemie potravin*. Rozš. a přeprac. 3. vyd. Tábor: OSSIS, 2 sv., s 29-38. ISBN 978-80-86659-17-6.

VERMA, R.S., A. CHAUHAN, R.K. VERMA a A.K. YADAV, 2011. Seasonal variation in essential oil content and composition of thyme, *thymus serpyllum* l. cultivated in Uttarakhand hills. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences* [online]. Roč. 73, č. 2 [cit. 2015-02-28]. DOI: 10.4103/0250-474x.91570. Dostupné z: http://www.researchgate.net/publication/221803784_Seasonal_Variation_in_Essential_Oil_Content_and_Composition_of_Thyme_Thymus_serpyllum_L._Cultivated_in_Uttarakhand_Hills

VUČIĆ, D. M. et al, 2013. Antibacterial and antioxidant activities of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in vitro. *African Journal of Microbiology Research* [online]. Roč. 7, č. 45, 5130-5136 [cit. 2015-02-22]. DOI: 10.5897/AJMR2013.2524. Dostupné z: http://www.academicjournals.org/article/article1383674455_Vu%C4%8Di%C4%87%20et%20al.pdf

YOUNG, I. S. a J. V. WOODSIDE, 2001. Antioxidants in health and disease. *Journal of clinical pathology* [online]. Roč. 54, č. 3, s. 176-186 [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <http://jcp.bmj.com/content/54/3/176.full.pdf+html>

SEZNAM ZKRATEK

DNA – deoxyribonukleová kyselina

ROS – reaktivní formy kyslíku

RNS – reaktivní formy dusíku

RCS – reaktivní formy chloru

PUFA – polynenasycené mastné kyseliny

BHA – butylhydroxyanisol

BHT – butylhydroxytoluen

PG – propylgallát

TBHQ – terc.-butylhydrochinon

HBA – hydroxybenzoové kyseliny

HCA – hydroxycinamové kyseliny

LDL – nízkodenzitní lipoproteiny

FRAP – ferric reducing antioxidant power

TEAC – Trolox equivalent antioxidant capacity

ABTS – 2,2'-azinobis(3-ethyl-2,3-dihydrobenzo-thiazol-6-sulfonát)

DPPH – 1,1-difenyl-2-(2,4,6-trinitrofenyl)hydrazyl

ORAC – oxygen radical absorbance capacity

DMPD – N,N-dimethyl-p-fenylendiamindihydrochlorid

HPLC – vysokoúčinná kapalinová chromatografie

TPTZ – 2,4,6-tri(2-pyridyl-1,3,5-triazin)

TAA – total antioxidant activity

AAPH – 2,2-azobis(2-amidinopropan)dihydrochlorid

RS – reaktivní formy látek

CVD – kardiovaskulární onemocnění