

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V
NITRE
FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH
ZDROJOV**

1131252

**PRIRODZENÉ ANTIOXIDANTY V RASTLINNÝCH
PRODUKTOCH**

2011

Adriana Janíková

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V
NITRE
FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH
ZDROJOV**

**PRIRODZENÉ ANTIOXIDANTY V RASTLINNÝCH
PRODUKTOCH**

(Bakalárska práca)

Študijný program:	Výživa ľudí
Študijný odbor:	4188700 Výživa
Školiace pracovisko:	Katedra fyziológie rastlín
Školiteľ:	Filová Angelika Ing., PhD.

2011

Adriana Janíková

Čestné vyhlásenie

Podpísaná Adriana Janíková vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Prirodzené antioxidanty v rastlinných produktoch“ vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomá zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 13.mája 2011

Pod'akovanie

Touto cestou vyslovujem pod'akovanie pani Ing. Angelike Filovej, PhD. za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej bakalárskej práce.

Zároveň ďakujem rodine a priateľovi za podporu.

V Nitre 13.mája 2011

Abstrakt

Rastliny sú dôležitými prvkami prírody. Ich liečivé účinky sú známe od nepamäti. Sú významným zdrojom prírodných antioxidantov, ktorých úlohou je ochrana pred voľnými radikálmi. Voľné radikály sa v ľudskom organizme uplatňujú pri niekoľkých vitálne dôležitých dejoch. Na druhej strane ich nadmerná tvorba môže byť pre organizmus škodlivá a zohráva významnú úlohu v patogenéze ochorení typu diabetes mellitus, ateroskleróza, rakovina, srdcový infarkt, atď. Ochranu buniek pred pôsobením škodlivých voľných radikálov tvoria endogénne a exogénne antiooxidanty, ktoré sú produkované našim telom, alebo ich prijímame z potravy, predovšetkým rastlinného pôvodu. Najvýznamnejšie sú antioxidantné enzýmy (SOD, kataláza, peroxidáza), vitamíny, prírodné farbivá ako sú karotenoidy, flavonoidy a iné. Ich obsah v jednotlivých rastlinných druhoch je pomerne nízky, no dokážu byť účinné už aj v nepatrných koncentráciách. Ak dôjde k porušeniu rovnováhy medzi antioxidantami a voľnými radikálmi, nastáva oxidačný stres. Tento fyziologický stav, ktorý sa vyskytuje tam, kde dochádza k významnej nerovnováhe medzi vznikom ROS a antioxidantnými obrannými mechanizmami. Jeho príčinami môže byť spôsob životného štýlu, stabilita životného prostredia ale aj iné faktory. Antioxidanty sú taktiež dôležité látky používané v potravinárskom priemysle. Keďže zabraňujú oxidácii, sú využívané na predĺženie trvanlivosti výrobkov, ako stabilizátory. V moderných vedných disciplínach sú súčasťou funkčných potravín. Na základe poznatkov z literatúry o výskume sekundárnych metabolitov a ich antioxidantnom účinku boli v práci uvedené vybrané 3 druhy rastlín: ovos siaty (*Avena sativa*), ruža šíповá (*Rosa canina*) a jablň domáca (*Malus domestica*).

Kľúčové slová: antioxidanty, voľné radikály, flavonoidy, oxidačný stres

Abstract

Plants are important elements of nature. Their medicinal properties have been known since time immemorial. Are an important source of natural antioxidants, whose role is to protect against free radicals. Free radicals in the human body to apply a few vitally important. On the other side, their excessive production may be harmful to the body and plays an important role in the pathogenesis of diseases such as diabetes mellitus, atherosclerosis, cancer, heart attack, etc. Protect cells against the effects of harmful free radicals are endogenous and exogenous antioxidant, which are produced by our body, or a lot of food, mainly of plant origin. Are the most important antioxidant enzymes (SOD, catalase, peroxidase), vitamins, natural colorants such as carotenoids, flavonoids and others. Their content in different plant species is relatively low, but can be effective even in minute concentrations. If an unbalance between antioxidants and free radicals, oxidative stress occurs. This physiological state that occurs where there is a significant imbalance between the formation of ROS and antioxidative defense mechanisms. Its causes may be a way of lifestyle, environmental stability as well as other factors. Antioxidants are also important substances used in food industry. Since preventing oxidation, are used to extend the shelf life of products as stabilizers. The modern sciences are part of functional foods. Drawing from literature on research of secondary metabolites and their antioxidant effects have been selected to work the 3 kinds of products: oats (*Avena sativa*), Sleeping rose (*Rosa canina*) and domestic apple (*Malus domestica*).

Key words: antioxidants, free radicals, flavonoids and oxidative stress

Obsah

ZOZNAM ILUSTRÁCIÍ.....	8
ZOZNAM TABULIEK	9
ÚVOD.....	10
1 PREHLAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY	11
1.1 <i>História voľných radikálov a antioxidantov</i>	<i>11</i>
1.2 <i>Voľné radikály – vznik a význam</i>	<i>11</i>
1.2.1 Chemická podstata vzniku voľného radikálu	12
1.2.2 Rozdelenie voľných radikálov	12
1.2.2.1 Voľné radikály odvodené od kyslíka	13
1.2.2.2 Voľné radikály odvodené od dusíka	13
1.2.2.3 Voľné radikály odvodené od organických kyselín	13
1.2.3 Teória voľného radikálu	13
1.2.4 Oxidačný stres.....	14
1.2.4.1 Poškodenie biologických membrán lipoperoxidáciou	15
1.2.4.2 Oxidačný stres a proteíny	17
1.2.4.3 Poškodenie DNA voľnými radikálmi a ich metabolitmi	17
1.2.5 Následky oxidačného stresu.....	18
1.2.5.1 Voľné radikály v živých systémoch.....	18
1.2.5.2 Produkcia voľných radikálov v aeróbnej bunke	19
1.2.6 Účinky voľných radikálov v organizme	20
1.2.6.1 Pozitívne účinky voľných radikálov	21
1.2.6.2 Toxický účinok voľných radikálov	21
1.2.6.3 Orgány, ktoré ovplyvňujú voľné radikály	22
1.3 <i>Antioxidanty.....</i>	<i>23</i>
1.3.1 Rozdelenie antioxidantov	25
1.3.2 Mechanizmus účinku antioxidantov	26
1.3.3 Charakteristika vybraných druhov antioxidantov	26
1.3.3.1 Kyselina askorbová (vitamín C)	26
1.3.3.2 Vitamín E (α -tokoferol)	28
1.4 <i>Prirodzené antioxidanty v rastlinách.....</i>	<i>30</i>
1.4.1 Karotenoidy	31
1.4.1.1 Účinky karotenoidov.....	32
1.4.1.2 Vitamín A	32
1.4.1.3 Lykopen	32
1.4.2 Polyfenoly	33
1.4.3 Flavonoidy	34
1.4.3.1 Chemické zloženie	35
1.4.3.2 Druhy flavonoidov	36
1.4.3.3 Účinky flavonoidov	37
1.4.3.3.1 Antioxidačné účinky flavonoidov	37
1.4.3.3.2 Antimikrobiálne účinky flavonoidov	38
1.4.3.4 Zdroje najdôležitejších antioxidantov	39
1.5 <i>Botanická charakteristika vybraných druhov rastlín.....</i>	<i>41</i>
1.5.1 Ovos siaty (<i>Avena sativa</i>)	41
1.5.2 Ruža šípková (Šípka) (<i>Rosa canina L.</i>)	42
1.5.3 Jablň domáca (<i>Malus domestica</i>).....	44

2	CIEĽ PRÁCE	46
3	MATERIÁL A METÓDY SPRACOVANIA	47
	ZÁVER	48
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	49

Zoznam ilustrácií

Obr.1	[Chemická štruktúra voľného radikálu]	12
Obr.2	[Teória voľného radikálu]	14
Obr.3	[Súvislosti medzi oxidačným stresom a poškodením buniek]	15
Obr.4	[Poškodenie DNA]	17
Obr.5	[Faktory ovplyvňujúce integritu bunky]	19
Obr.6	[Neutralizácia voľných radikálov antioxidantmi]	24
Obr.7	[Významné antioxidanty v extra- a intracelulárnom priestore a membránových útvaroch]	25
Obr.8	[Kyselina askorbová]	26
Obr.9	[Vitamín E]	28
Obr.10	[Štruktúra derivátov α -tokoferolu]	28
Obr.11	[Vitamín A]	32
Obr.12	[Chemická štruktúra epigalokatechínu a epigalokatechín galátu]	37
Obr.13	[Chemická štruktúra resveratrolu]	38
Obr.14	[Červené víno- zdroj antioxidantov (resveratrolu)]	38
Obr.15	[Zelený čaj]	38
Obr.16	[Zdroje fenolov v jednotlivých druhoch ovocia a zeleniny]	39
Obr.17	[Ovos siaty]	41
Obr.18	[Produkcia ovsa v krajinách za rok 2005 v percentuálnom zastúpení]	41
Obr.19	[Ruža šípová]	41
Obr.20	[Šípky]	42
Obr.21	[Jabloň domáca]	43

Zoznam tabuliek

Tab.1 [Zdroje voľných radikálov podľa Ďuračkovej (1999)]	20
Tab.2 [Najčastejšie sa vyskytujúce flavonoidy (Mojžiš, 2001)]	34
Tab.3 [Zdroje jednotlivých druhov antioxidantov]	39

ÚVOD

Rastliny sú dôležitými prvkami prírody. Ich hlavnou a primárnou úlohou je produkcia kyslíka – prvku nevyhnutného pre dýchanie všetkých živých organizmov. Okrem toho sa rastliny podieľajú aj na tvorbe ekosystémov a slúžia ako potrava. Liečivé účinky rastlín sú známe od nepamäti. Rastliny sú ale aj výrazným zdrojom prírodných antioxidantov. V súčasnosti sa čoraz častejšie stretávame s pojmom antioxidant a voľný radikál. Moderné vedy sa v posledných rokoch zaoberajú štúdiom týchto látok stále viac. Antioxidanty sú súčasťou rozličných krémov, potravinových produktov, minerálnych vôd. Za posledných pár rokov sa stali veľmi diskutovanou a obľúbenou témou. Jednoducho povedané, antioxidanty sú zlúčeniny, ktorých úlohou je ochrana pred voľnými radikálmi. Už v malej koncentrácii dokážu zabráňovať oxidácii, ktorá je nepriaznivá. Voľnými radikálmi nazývame atómy, alebo molekuly od ktorých sa odtrhol elektrón. Sú veľmi reaktívne. Vyhľadávajú ďalší elektrón pre vytvorenie elektrónového páru a tak poškadzujú bunkové membrány. Poškodenie, ktoré spôsobia, môže byť prechodného ale aj trvalého charakteru. Ich prítomnosť ovplyvňuje stálosť vnútorného prostredia bunky. V prípade nepriaznivých podmienok môže tento stav vyústiť až do smrti bunky. Okrem negatívnych vplyvov majú voľné radikály aj niektoré pozitívne účinky, ako je obrana buniek, ktorú zabezpečujú antioxidanty. Ich pôsobenie závisí od kombinácie mnohých faktorov. Antioxidanty môžeme rozdeliť podľa viacerých kritérií. Z hľadiska výskytu rozdelíme antioxidanty na endogénne a exogénne. Endogénne antioxidanty sú produkované našim telom a majú rozličné špecifické funkcie. Väčšinou sa jedná o rozličné enzýmy nevyhnutné pre správne fungovanie biochemických pochodov v bunkách. Exogénne musíme prijímať z potravy, predovšetkým rastlinného pôvodu. Exogénne antioxidanty tvoria veľmi širokú skupinu látok prítomných v rastlinných produktoch. Najznámejšie sú vitamíny, a prírodné farbivá ako karotenoidy, flavonoidy. Ich obsah v jednotlivých rastlinných druhoch je pomerne nízky, no dokážu byť účinné už aj v takýchto malých množstvách. V súčasnosti sú antioxidanty spájané s pozitívnym účinkom na mnohé patologické stavy. Majú význam pri ochrane pred vznikom degeneratívnych, kardiovaskulárnych ochorení, alebo rakoviny. Popisujú sa rozličné pozitívne vplyvy antioxidantov na jednotlivé orgány. Sú dôležitými látkami používanými v potravinárskom priemysle. Keďže zabráňujú oxidácii, sú využívané na predlžovanie trvanlivosti výrobkov, ako stabilizátory. V moderných vedných disciplínach sú antioxidanty súčasťou funkčných potravín.

1 PREHĽAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

1.1 História voľných radikálov a antioxidantov

Objav voľných radikálov sa datuje do začiatku 19. storočia. Nemeckí chemici Justus von Liebig a Friedrich Wohler objavili, že sa určité skupiny v priebehu chemickej reakcie oproti pôvodným predpokladom nerozpadávajú na jednotlivé atómy, z ktorých sú zložené, ale majú tendenciu sa chovať ako samostatné molekuly a zachovávajú svoju skupinovú identitu a viažu sa na iné molekuly. Zistili, že v tomto stave nezostávajú neobmedzene dlhú dobu, ale vždy sa snažia vytvoriť novú väzbu čo najrýchlejšie. Tieto chemické látky potom dostali názov radikály (Youngson, 1995).

Antioxidanty boli používané v 19. storočí ako prevencia kovov pred koróziou. Až v 20. storočí sa vedci pokúsili pomocou antioxidantov predĺžiť životnosť potravín. Aplikovali antioxidanty do potravín s vysokým obsahom nenasýtených mastných tukov a podarilo sa im zabrániť žltnutiu tukov. Pri ďalších štúdiách vedci zistili, že množstvo esenciálnych živín konzumovaných ľuďmi boli naozaj antioxidantmi. Významnú plohu v histórii výskumu voľných radikálov a antioxidantov zohral doktor Denham Harman, ktorý objasnil úlohu voľných radikálov v procese starnutia. Teória, ako mnoho iných bola spočiatku spochybňovaná. Vďaka inžinierom 19. storočia ako Denham Harman vieme, že antioxidanty sú schopné prispieť k zlepšeniu kvality nášho života [URL 1].

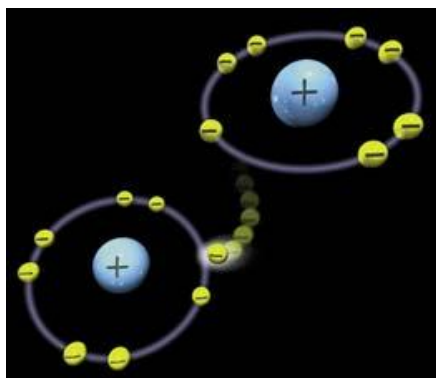
1.2 Voľné radikály – vznik a význam

Voľné radikály sú atómy, molekuly, alebo ich fragmenty, ktoré majú jeden alebo viac nespárených elektrónov a sú schopné, hoci krátky čas, samostatnej existencie. Sú buď elektroneutrálne, ale môžu mať aj aniónový alebo kationový charakter (Ďuračková, 1998).

Youngson (1995) definuje voľné radikály ako radikály, ktoré sa odštiepili od pôvodnej molekuly a ešte sa nestačili naviazať na inú. V tomto stave sú veľmi nestabilné a neustále napádajú okolité molekuly v snahe získať väčšiu stabilitu. Je pre ne charakteristická mimoriadna reaktivita a môžu byť nebezpečné pre ľudský organizmus.

Voľné radikály obsahujú jeden alebo viac nepárových elektrónov a sú schopné nezávislej existencie. Tieto radikály sú rôznorodé a existujú kdekoľvek, kde prebiehajú patologické procesy a kde dochádza k bunkovému poškodzovaniu, ale aj v normálnych podmienkach. Sú vytvárané mnohými mechanizmami. Vo veľkom množstve vznikajú v priebehu infekcií a ochorení (Mandelker, 2009).

Voľné radikály patria medzi reaktívne intermediáty. Obsahujú vo svojej molekule atóm, ktorý má jeden orbitál obsadený jedným nespárovaným elektrónom. Molekula nemá



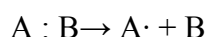
náboj. Jednoduché alkylové radikály sú mimoriadne reaktívne, pričom pod pojmom stabilita rozumieme existenciu v nezmenenom stave dlhší čas. Stabilita alkylových radikálov je podobná ako stabilita karbkatiónov a stúpa v rade primárny < sekundárny < terciárny (Devínsky, 2001).

Obr. 1 Chemická štruktúra voľného radikálu [URL2]

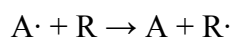
1.2.1 Chemická podstata vzniku voľného radikálu

Podľa Kyseloviča (2009) môžu voľné radikály vznikať nasledujúcimi spôsobmi:

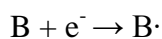
- a) Homolyticky – dochádza k rozpadu kovalentnej väzby vplyvom radiačného, ultrafialového, alebo ionizačného žiarenia



- b) Oxidáciou látky A – dochádza pri nej k strate elektrónu a vzniku radikálu R \cdot . Častejšie sa vyskytuje v biologických systémoch.



- c) Redukciou látky B – za vzniku radikálu B \cdot



1.2.2 Rozdelenie voľných radikálov

Ďuračková (1998) uvádza nasledovné skupiny voľných radikálov:

1. Voľné radikály odvodené od kyslíka
2. Voľné radikály odvodené od dusíka
3. Voľné radikály odvodené od organických zlúčenín

1.2.2.1 Voľné radikály odvodené od kyslíka

Takto označované voľné radikály vznikajú oxidáciou kyslíka. Patria sem:

- superoxid ($O_2^{\cdot-}$) tvorený autooxidačnými reakciami a v mitochondriálnom elektrónovom reťazci. Nie je reaktívny pokým nepríde do styku s inými voľnými radikálmi, alebo s kovmi ako napr. železo ,
- hydroxylový radikál (HO^{\cdot}) - tvorí sa v priebehu Fentonovej reakcie. Reakciou kyslíka s kyselinou hypochlórovou a ionizačným žiarením vytvára peroxynitrit, ktorý poškodzuje väčšinu bunkových komponentov.
- Neradikálové molekuly: peroxid vodíka (H_2O_2) – produkovaný každým biologickým systémom, vysoko reaktívna kyselina chlórna ($HOCl$) tvorená z H_2O_2 a enzýmu myeloperoxidázy, nebezpečná je pre proteínové štruktúry, ktoré môže okysličovať a poškodzovať, biomolekuly, sigletový kyslík ($1O_2$) a ozón (O_3) (Ďuračková, 1998).

1.2.2.2 Voľné radikály odvodené od dusíka

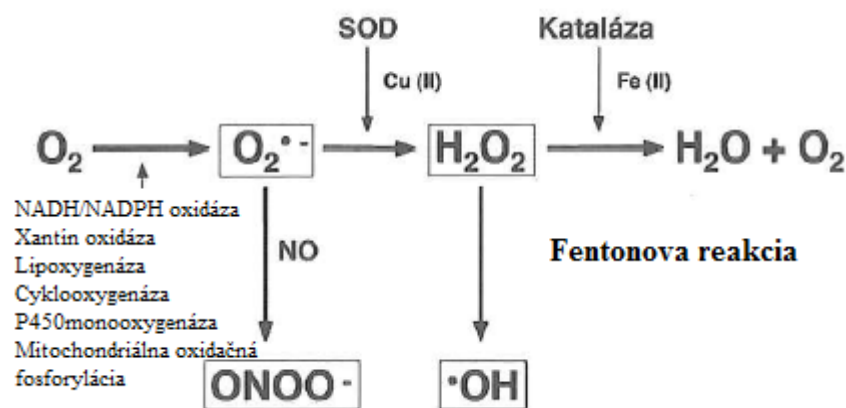
Do tejto skupiny radikálov patrí hlavne nitrózoperoxylový anión ($ONOO^-$). Nitrózoperoxylový anión ($ONOO^-$) poškodzuje široké spektrum biomolekúl, vrátane bielkovín a DNA. Oxid dusnatý (nitroxid) (NO^{\cdot}) - je škodlivý iba keď sa uvoľňuje v nadmernom množstve, ako nitrózoperoxylový radikál ($ONOO^{\cdot}$) (Mandelker, 2009).

1.2.2.3 Voľné radikály odvodené od organických kyselín

Medzi voľné radikály odvodené od organických kyselín zaradujeme alkoxylový (RO^{\cdot}) a peroxylový (ROO^{\cdot}) anión (Ďuračková, 1998).

1.2.3 Teória voľného radikálu

Teória známa od roku 1956 je založená na predpoklade, že jeden jednoduchý proces modifikovaný genetickými faktormi a faktormi vonkajšieho prostredia je zodpovedný za starnutie a smrť všetkých organizmov. Teória tvrdí, že starnutie je vyvolané voľnými radikálmi. Oxidačný stres a poškodenie vyvolané voľnými radikálmi poškodzuje tkanivá, obzvlášť bielkoviny, DNA a tuky a to je súčasť starnutia a rôznych chemických ochorení (Mandelker, 2009).



Obr. 2 Teória voľného radikálu (Mandelker, 2009)

Superoxidový anión vzniká ako prvý voľný radikál pri redukcii kyslíka. Na jeho odstraňovaní sa podieľa enzým superoxidodismutáza(SOD). Zistilo sa, že priemerná dĺžka života rozličných druhov cicavcov je priamo úmerná pomeru SOD/superoxidový anión. Čím je pomer v bunkách vyšší, tým je lepšia ochrana pred superoxidovým radikálom a dlhší priemerný vek (Ferenčík, 2000).

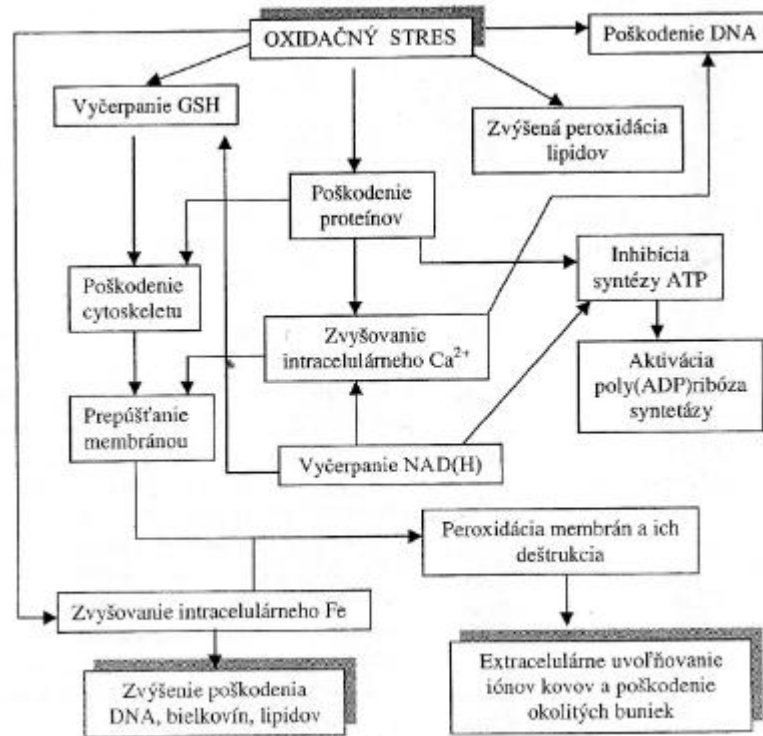
1.2.4 Oxidačný stres

Oxidačný stres vzniká ako dôsledok negatívneho pôsobenia voľných radikálov a reaktívnych metabolitov kyslíka alebo dusíka. Môžeme ho definovať ako nerovnováhu medzi tvorbou a odstraňovaním reaktívnych metabolitov kyslíka a dusíka v prospech ich tvorby, z ktorej vyplýva potenciálne poškodenie. Je to také narušenie rovnováhy dvojice systémov oxidant-antioxidant, v prospech peroxidanta, ktoré spôsobuje poškodenie (Sies, 1997).

Oxidačný stres je vzostup hladiny voľných radikálov v bunkách, kde sa hromadia vo väčšom ako normálnom množstve. Je to fyziologický stav, v miestach nerovnováhy medzi výrobou reaktívnych metabolitov a antioxidatívnymi obrannými mechanizmami (Mandelker, 2009).

Za bežných podmienok vzniká najväčšie množstvo voľných radikálov nedokonalým prenosom elektrónov na kyslík v dýchacom reťazci. Približne v 1-3% prípadoch neprebehne redukcia kyslíka v mitochondriách úplne na vodu, ale vznikne niektorý z medziproduktov, predovšetkým superoxidový anión. Tento je relatívne málo nebezpečný, ale po naviazaní protónu z neho vzniká reaktívnejší hydroperoxidový radikál a peroxid vodíka (Réblová, 2010).

Príčinami oxidačného stresu môže byť spôsob životného štýlu, životné prostredie ale aj iné faktory. Voľné radikály vyvolávajú kaskádovité reakcie, výsledkom ktorých môžu byť poškodené bunky, celé tkanivá aj orgány. Voľné radikály môžu negatívne ovplyvňovať integritu buniek ale aj tkanív, pletív (Mojžiš, Mojžišová, 2001).



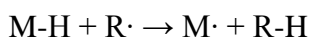
Obr. 3 Súvislosti medzi oxidačným stresom a poškodením buniek (Ďuračková, 1998)

1.2.4.1 Poškodenie biologických membrán lipoperoxidáciou

Ak sa reaktívne metabolity kyslíka tvoria vo vnútri buniek môže dôjsť k iniciácii peroxidácie lipidov prítomných v bunkových membránach, čo je veľmi toxický proces. Takto je poškodzovaná celá bunková membrána a narušuje sa integrita bunky. Peroxidáciou lipidov rozumieme oxidačné poškodzovanie polynenasýtených vyšších karboxylových kyselín počas nekontrolovaného procesu, ktorého výsledkom je tvorba hydroperoxidov lipidov membrán, sekundárnych metabolitov a rôznych aldehydov. Na lipoperoxidáciu sú obzvlášť citlivé biologické membrány a lipoproteíny, pretože vo veľkej miere obsahujú substrát potrebný pre oxidačné napadnutie. Platí, že čím je vyššia karboxylova kyselina viac nenasýtená, tým je na oxidačné poškodenie citlivejšia. Peroxidáciu lipidov môžeme rozčleniť do troch fáz: iniciácie, propagácie a terminácie.

Iniciácia (začiatok)

Iniciátorom môže byť každý reaktívny metabolit s dostatočnou oxidačnou kapacitou, schopný reagovať vyššou nenasýtenou mastnou kyselinou (hydroxylový, peroxylový, alebo alkoxylový radikál). Najcitlivejším miestom na vyšších nenasýtených karboxylových kyselinách je metylénová skupina (-CH₂-). Primárnym produktom peroxidácie lipidov sú hydroperoxydy (Ďuračková, 1998). Pospíšil (1968) popisuje nasledujúce typy iniciácie: priama fotochemická, fotosenzibilizovaná, iniciácia ionizačným žiarením, iniciácia ozónom.

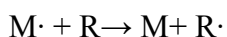
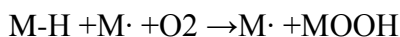


Propagácia (vetvenie)

V druhej fáze dochádza k iniciácii nového reťazca oxidácie vyšších nenasýtených karboxylových kyselín. Po vytrhnutí vodíka z vyššej nenasýtenej karboxylovej kyseliny sa môžu tvoriť rôzne izoméry, ktorých počet stúpa s počtom dvojitých väzieb. Hydroperoxydy lipidov sú nestále a rýchlo reagujú a iónmi prechodných prvkov, osobitne s iónmi železa a medi :

$$LOOH + Fe^{2+} \rightarrow LO\cdot + Fe^{3+} \quad LOOH + Fe^{3+} \rightarrow LOO\cdot + Fe^{2+}$$

Železnaté ióny reagujú s hydroxy peroxidmi veľmi rýchlo a dávajú veľmi reaktívne lipidové alkoxylové radikály (LO·), zatiaľ čo železité ióny reagujú pomalšie za vzniku menej reaktívnych lipoperoxylových radikálov (LOO·). Prítomnosť redukčných činidiel preto zvyšuje rýchlosť lipoperoxidácie tým, že sa redukujú ióny Fe³⁺ na Fe²⁺.



Terminácia (ukončenie)

V procese terminácie sa reťazové reakcie ukončujú. Terminácia nastane ak sa vyčerpajú substráty, alebo ak spolu zreagujú dva radikály: L· + L· → neradikálový produkt
LOO· + L· → neradikálový produkt (Ďuračková, 1998).

K ukončeniu dochádza aj pôsobením antioxidantov, pričom za koncový produkt peroxidácie lipidov sa považuje malondialdehyd (MDA). Sekundárnymi produktmi lipoperoxidácie sú aldehydy (Ďuračková, 1998).

Ak lipoperoxidácia prebieha v živom systéme nekontrolovateľne, je to veľmi deštruktívny proces. Priamo poškodzuje biologické membrány a nepriamo produkuje reaktívne metabolity schopné poškodzovať membrány sekundárne, alebo môžu poškodzovať látky v extracelulárnom priestore, napr. lipoproteíny. Priame poškodenie membrány ovplyvňuje jej biofyzikálne vlastnosti. Zníži sa priepustnosť, elektrická

rezistencia a odolnosť k termodenaturácii, mobilita membránových proteínov. Klesá schopnosť membrány pôsobiť ako bariéra. Poškodené membrány umožňujú nekontrolovaný pohyb iónov. Koncentrácia Ca^{2+} v bunke zväčšuje, čím sa aktivujú mnohé enzýmy vymykajúce sa spod fyziologickej kontroly. Narušená homeostáza má letálne účinky na bunku (Sevanian, 1988).

1.2.4.2 Oxidačný stres a proteíny

Oxidačné poškodenie proteínov bolo menej študované ako peroxidácia lipidov. Je to pravdepodobne spôsobené veľkým množstvom proteínov a aminokyselín. Reaktívne metabolity kyslíka modifikujú aminokyselinové jednotky v proteínoch, mení sa ich konformácia, čo má za následok zmenu alebo stratu biologickej funkcie. Zmeny konformácie po oxidačnom poškodení môžu spôsobiť zvýšenie hydrofóbnosti a následnú agregáciu proteínov. Mení sa citlivosť na proteolytické enzýmy. Karbonylové zlúčeniny môžu ďalej, oxidačne alebo redukčne, poškodzovať nové molekuly. Poškodený proteín môže pôsobiť aj ako reduktant. Oxidačne poškodené proteíny sa odstraňujú hydrolýzou proteolytickými enzýmami. Poškodené enzýmy sa vo vnútri bunky môžu rozkladať priamo v mieste ich pôsobenia, alebo sa spájajú s lyzozómami, ktorými sú degradujú. Nahromadené poškodené proteíny môžu pôsobiť peroxidačne a spôsobovať následné poškodenia ďalších makromolekúl, a to proteínov, DNA aj iných molekúl (Ďuračková, 1998).

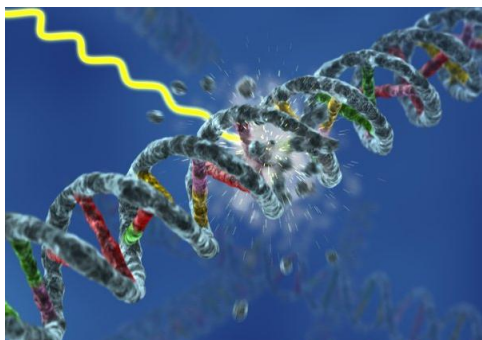
1.2.4.3 Poškodenie DNA voľnými radikálmi a ich metabolitmi

Nukleové kyseliny sú na toto poškodenie osobitne citlivé. Poškodzovanie sa môže uskutočňovať ionizujúcim žiarením, fotooxidáciou, peroxidmi aktivovanými iónmi prechodných kovov, hydroxylovým radikálom (Sonntag, 2005).

Odohráva sa na purínovej, pyrimidínovej heterocyklickej zložke, alebo na sacharidovej jednotke. Oxidácia dusíkových zásad je príčinou mutácií a oxidačné poškodenie deoxyribózy môže indukovať štiepenie buď jedného, alebo oboch reťazcov DNA. Oxidačné poškodenie DNA indukované radiáciou - rádiolýzou vody gama žiarením sa tvorí niekoľko reaktívnych metabolitov. Atómy vodíka sa

vychytávajú okamžite molekulovým kyslíkom a tvorí sa superoxid (O_2^-) alebo jeho protónová forma (HO_2^\cdot) (Ďuračková, 1998).

Hoci podrobnosti nie sú zatiaľ presne známe, predpokladá sa, že poškodenie DNA je základným mechanizmom karcinogenity radiačnej energie. Okrem tohto pôsobenia



dochádza aj k tvorbe voľných radikálov v tkanivách. Následne vznikajú $\cdot\text{OH}$, superoxidové a ďalšie radikály reagujúce s DNA a ostatnými makromolekulami, čo vedie k poškodzovaniu molekúl (Murray et al., 2002).

Obr. 4 Poškodenie DNA [URL3]

1.2.5 Následky oxidačného stresu

Bunky za obvyklých podmienok znášajú mierny oxidačný stres, ktorý ale často vyústi do zosilnenej regulácie syntézy antioxidantov pri pokusoch obnoviť bunkový redox-potenciál alebo rovnováhu antioxidantov. Mierny oxidačný stres môže zosilniť obranné mechanizmy tak, aby chránili pred silnejším oxidačným stresom. Tieto adaptačné mechanizmy často vyústia do zmeny v génovej expresii, ktorá má za následok zvýšenie antioxidačnej ochrany (Mandelker, 2009).

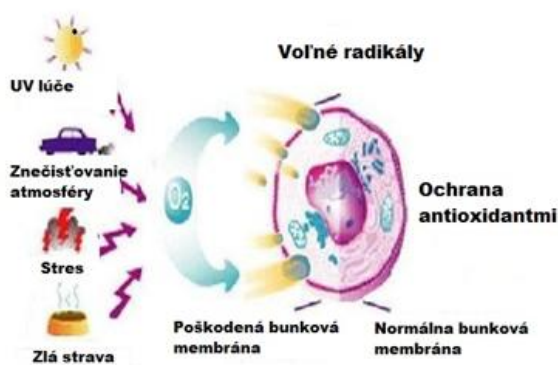
Adaptácia niekedy nepomáha zlepšiť antioxidačnú ochranu. V mnohých prípadoch stále poškodzovanie ovplyvňuje homeostázu buniek a môže, alebo nemusí viesť k bunkovej smrti. Bunkové poškodenia môžu byť prechodné, alebo môžu smerovať až k nezvratnému poškodeniu a smrti bunky. To znamená, že ak je oxidačný stres nadmerný, bunka môže zomrieť (Cheeseman, 1993).

1.2.5.1 Voľné radikály v živých systémoch

Voľné radikály sú mimoriadne dôležité pri životných procesoch. Sú zodpovedné za ochranu pred infekciami, ale majú aj negatívny vplyv. Spôsobujú niektoré kardiopulmonárne komplikácie, pri iniciácii malígnych procesov radikálovým poškodením DNA, zápal, ochorenia z ožiarenia ako aj za degeneratívne ochorenia napr. starobu, artritídu a imunitnú nedostatočnosť. Pri normálnych podmienkach sú však radikály

organizmom efektívne blokované antioxidantnými enzýmami typu superoxidodismutázy, glutatión peroxidázy, katalázy, ako aj vitamínov E a selénom (Devínsky, 2001).

Účinok voľných radikálov je v živých organizmoch väčšinou závislý od kyslíka, je teda spojený s procesom fotosyntézy a u ostatných organizmov s aeróbnou premenou metabolitov. V aeróbnej fáze je prítomných mnoho miest kedy sa môžu stať premeny kyslíka nekontrolované a následne sa začnú tvoriť voľné radikály odvodené od kyslíka. Zdrojmi tvorby superoxidového radikálu sú napríklad: mitochondrie, fagocyty, peroxizómy, rozličné zápalové procesy, ischemické stavy alebo intenzívne cvičenie. Vonkajšími zdrojmi môžu byť napríklad nikotín (fajčenie), znečistené životné prostredie, rádiácia, chemoterapeutiká, UV svetlo, ozón, pesticídy a mnohé ďalšie (Kyselovič, 2009).



Obr. 5 Faktory ovplyvňujúce integritu bunky [URL4]

1.2.5.2 Produkcia voľných radikálov v aeróbnej bunke

V dýchanom reťazci sa spotrebuje 95% kyslíka. Zostávajúcich 5% môže byť substrátom pre tvorbu jeho reaktívnych metabolitov v procesoch autooxidácie, alebo fotooxidácie. Bunky a tkanivá, v ktorých môže prebiehať tvorba voľných radikálov podľa Kyseloviča (2009) :

- Reprodukčné tkanivá (spermie, *testis*, *uterus*, *ovariá*) pri procese oplodnenia
- Štítna žľaza - ich tvorba závisí od NADPH, Ca a ATP za vzniku O_2^- a následne H_2O_2
- Nádorové bunky- redoxný systém je závislý od NADH alebo NADPH, ktorý produkuje superoxid

- Bunkové štruktúry obsahujúce enzýmové i neenzýmové štruktúry aktivujúce kyslík s následnou tvorbou voľných radikálov. Túto tvorbu môže iniciovať napr. infekcia, rádiácia, žiarenie, podvýživa, zmrazovanie, zahrievanie.
- Mitochondrie- dýchací reťazec, kedy sa okolo 5% O₂ podieľa na tvorbe voľných radikálov a H₂O₂. Tvorba je podporovaná ťažkou prácou, nadmerným športovaním, vysokou teplotou...
- Endoplazmatické retikulum sa podieľa na transporte elektrónov za prítomnosti hémového proteínu (P450), železa a NADPH a môže byť zdrojom voľných radikálov s následkom nefyziologického uvoľňovania železa a peroxidácie lipidov
- Peroxizómy- majú jednoduchú membránovú jednotku a obsahujú enzým xantínooxidázu, ktorá produkuje superoxid a H₂O₂
- Cytoplazmová membrána všetkých fagocytov a lymfocytov obsahuje elektrónovo transportný reťazec NADPH- oxidázu a redukuje molekuly kyslíka na superoxid, ktorý sa využíva pri procesoch fagocytózy (Kyselovič, 2009).

Tab. 1 Zdroje voľných radikálov podľa Ďuračkovej (1999)

Vnútorne zdroje	Vonkajšie zdroje
Fagocyty	cigaretový dym
Mitochondrie	znečistené ovzdušie, ozón
Peroxizómy	niektoré lieky
Xantínooxidáza	chemoterapeutiká, anestetiká
Zápal	UV žiarenie, rádiácia
intenzívne cvičenie	pesticídy, organické rozpúšťadlá

1.2.6 Účinky voľných radikálov v organizme

Okrem mnohých negatívnych účinkov môžu pôsobiť voľné radikály v niektorých prípadoch aj pozitívne. Existuje mnoho systémov pre ktoré majú reaktívne metabolity kyslíka veľký význam. Ich tvorba a účinok musia byť ale kontrolované rozličnými ochrannými antioxidantnými systémami.

Voľné radikály majú v organizme dvojité úlohu:

- a) pozitívnu – sú nevyhnutnou súčasťou fyziologických pochodov
- b) negatívnu – poškodzovanie biomolekúl (Kyselovič, 2009).

1.2.6.1 Pozitívne účinky voľných radikálov

Pozitívny účinok v jednom systéme, nemusí pôsobiť rovnako v inom. Na strane druhej nadmerná ochrana organizmu antioxidantmi môže spôsobiť nefunkčnosť tých systémov, v ktorých majú voľné radikály dôležitú úlohu (Kyselovič, 2008)

Voľné radikály vznikajú neustále a sú nevyhnutne potrebné pre vznik energie. Nebezpečné je až ich nadmerné množstvo (Benhaim, 2001).

Voľné radikály majú významnú úlohu na nasledujúcich procesoch:

- Fagocytóza- pri ochrane hostiteľa pred patogénnymi mikroorganizmami dochádza k zvýšenej spotrebe kyslíka. Vzniká metabolické vzplanutie pri ktorom vzniká superoxid a iné voľné radikály kyslíka. Rozhodujúci význam má enzýmový komplex NADPH-oxidáza
- Oxidačné, hydroxylačné a karboxylačné reakcie sú sprevádzané tvorbou voľných radikálov, ktoré sa podieľajú na aktivácii potrebných oxygenáz. Koncentrácia SOD zasahuje do aktivácie resp. inhibície týchto reakcií
- Peroxidačné reakcie- H_2O_2 je substrát oxidačných reakcií napr. pri biosyntéze tyroidného hormónu, pri reprodukčných pochodoch, narušené membrány vajíčka a prieniku spermie so vajíčka, autoochrannú funkciu proti peroxidácii.
- Redukcia ribonukleotidov- sú to prekurzory pre syntézu DNA a tvoria sa redukciou ribonukleozidov za prítomnosti tiolovej skupiny a atómu železa, čo vedie k tvorbe enzýmového radikálu $RR-S\cdot$. Zároveň má úlohu v regulácii rastu buniek, čo sa využíva pri výrobe protinádorových a protivírusových chemoterapeutík
- Využitie voľných radikálov v medicíne a v terapii - pri liečení genitálnych vírusových vredov, eliminácii novorodeneckej žltacky, psoriáze, nádorových ochoreniach kože a pľúc (Kyselovič, 2008).

1.2.6.2 Toxický účinok voľných radikálov

Zmeny, vyvolávajúce tvorbu reaktívnych metabolitov kyslíka (RMO), môžu byť iniciované z vonkajšieho prostredia, radiáciou, toxínmi, liekmi alebo znečistením životného prostredia. RMO sa produkujú za fyziologických podmienok a sú nevyhnutnou súčasťou niektorých procesov, ale zohrávajú aj negatívnu úlohu v patogenéze mnohých ochorení. Poškodzujú biologické membrány tým, že ich oxidujú. Zachovanie integrity bunky a jej fyziologických funkcií vyžaduje rovnováhu systémov prooxidant-antioxidant.

Jej narušenie vedie k oxidačnému poškodeniu biomakromolekúl, čo môže vyústiť do patologického stavu (Halliwell, 1989).

Okrem voľných radikálov môžu toxicky pôsobiť aj prechodné prvky (kovy), okrem zinku, obsahujúce nespárený elektrón. Sú kofaktormi a preto majú katalytické a redoxné vlastnosti, teda zmena ich mocenstva vedie k tvorbe voľných radikálov.

Ich toxickosť sa prejavuje týmito spôsobmi:

- priame oxidačné poškodenie dôležitých biomolekúl
- nepriamy účinok prostredníctvom katalytickej tvorby RMO, najmä hydroxylového radikálu (Mojžiš, 2001).

1.2.6.3 Orgány, ktoré ovplyvňujú voľné radikály

Keďže sú voľné radikály tvorené aj v ľudskom organizme a zúčastňujú sa rozličných procesov, majú vplyv na jednotlivé orgány.

Srdce a cievy

Proces kôrnatenia tepien je spojený so zvýšeným príjmom cholesterolu a tukov na poškodené miesto. Vnútná stena tepny, alebo srdca je poškodzovaná, hromadí sa LDL cholesterol. LDL cholesterol sa na stenách tepien môže uchýtiť iba vtedy, keď mu bol pri útoku voľných radikálov odobraný jeden elektrón.

Mozog

Pri Alzheimerovej a Parkinsonovej chorobe dochádza k postupnej degenerácii mozgových buniek, čo je spojené s dlhodobým pôsobením voľných radikálov. Voľné radikály pôsobia na nenasýtené tuky bunkových membrán, a ak toto pôsobenie trvá niekoľko rokov, vytvorí sa sediment.

Oči

Šošovka a sietnica sú veľmi citlivé na voľné radikály, tvoriace sa z exogénnych zdrojov (predovšetkým z UV a ionizačného žiarenia). Ich poškodením môže vzniknúť starecký očný zákal.

Koža

Najviac môžeme vplyv voľných radikálov pozorovať na koži. Pôsobia na ňu rozličné exogénne činitele ako znečistené ovzdušie, nadmerné vystavovanie slnečným lúčom, tabak. Voľné radikály zbavujú kožu pružnosti, sú príčinou predčasného vzniku vrások, škvŕn na koži. Voľné radikály môžu prenikať do jemných vlákien kože, do elastínu,

kolagénu, retikulárneho tkaniva, glykoproteínov a ničiť ich chemické proteínové väzby (Ortembergová, 2003).

1.3 Antioxidanty

Jednou zo základných podmienok prežitia organizmov bolo vybudovanie si celého systému antioxidačnej ochrany. Jeho súčasťou sú enzýmy (superoxiddismutáza, glutatiónpoxidáza, kataláza, D-T diaforáza a glutatión regenerujúci systém) zhášače a lapače voľných radikálov (α -tokoferol, kyselina askorbová, kyselina močová, karotenoidy, ubichinón, glutatión) ale môžeme sem zaradiť aj reparačné mechanizmy poškodenia DNA. Oprava oxidatívneho poškodenia organizmu nemusí byť stále efektívna a je náročná. Efektívnejšou cestou je prevencia, minimalizovanie zdrojov tvorby voľných radikálov a posilnenie prirodzeného antioxidačného mechanizmu podávaním látok, ktoré pôsobia antioxidačne (Mojžiš, Mojžišová, 2001).

Antioxidanty sú látky, ktoré keď sú prítomné v potravinách alebo v živých organizmoch už pri nízkych koncentráciách dokážu výrazne oddialiť, či zabrániť oxidácii substrátu (Shahidi, 1997).

Proti toxickému pôsobeniu voľných radikálov a RMO má organizmus ochranné mechanizmy, ktorými sa znemožňuje tvorba voľných radikálov, alebo ak sa už vytvorili znižuje ich negatívne účinky. Z chemického hľadiska považujeme za antioxidant každú látku, ktorá zabráni oxidácii inej tým, že sa sama oxiduje. Z biologického hľadiska je antioxidant taká zlúčenina, ktorá z malej koncentrácie v reakcii s voľnými radikálmi tvorí relatívne stabilné a netoxické produkty, ktoré by nemali spúšťať ďalšie radikálové reakcie, pri ktorých by sa tvorili nové voľné radikály alebo RMO (Ďuračková, 1998).

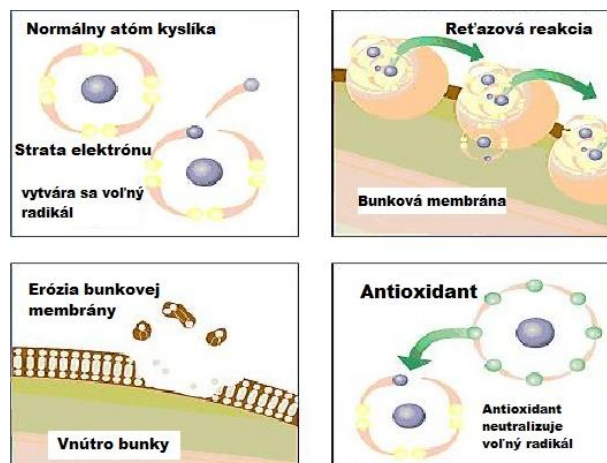
Zachar (2004) uvádza, že existuje skupina vitamínov, minerálnych látok, enzýmov a iných látok, ktoré pomáhajú organizmu pred vznikom voľných radikálov. Voľné radikály spôsobujú starnutie, skracovanie života, antioxidanty voľné radikály blokujú, ničia.

Antioxidanty sú látky, ktoré chránia bunky pred účinkom voľných radikálov a ďalších reaktívnych oxidačných činidiel. Delia sa na antioxidačné enzýmy (SOD, kataláza, peroxidáza) a antioxidačné (nízkomolekulové) substráty, ktoré sú buď lipofilné (vitamín E) alebo hydrofilné (vitamín C, glutatión, flavonoidy, kyselina močová) (Kodíček, 2004).

Antioxidanty a niektoré enzýmy ako peroxidáza, kataláza a SOD tvoria obranný mechanizmus proti voľným radikálom, ktoré sú už prebytočné. Správnu funkciu týchto enzýmov zaisťujú minerály. Ak trpí organizmus nedostatkom príslušných minerálnych látok, zostávajú tieto enzýmy inaktivované a neúčinné. Dôležitou súčasťou týchto enzýmov je napríklad selén, ktorý sa zúčastňuje na ochranných antioxidačných pochodoch, ale aj na metabolizme hormónov štítnej žľazy (Benhaim, 2001).

Antioxidanty sa v potravinárstve využívajú ako aditívne látky, ktorých použitie musí byť deklarované. Používajú sa na uchovanie farby potravín, obmedzenie oxidácie tukov. Najčastejšie sú to deriváty kyseliny askorbovej, ale aj prirodzené antioxidanty v extraktoch z korenín (rozmarín, šalvia, nové korenie) (Pipek, 2010).

Antioxidanty, ako prídavné látky konzervujú, dochucujú, zmiešavajú, zahusťujú a farbivá potraviny. Pochádzajú z rôznych zdrojov. Môžu byť vyrobené z prírodne identických látok syntézou a biosyntézou, táto kategória zahŕňa antioxidanty ako kyselina askorbová prítomná v ovocí a tokoferol, nachádzajúci sa v rastlinných olejoch a farbivách ako karotenoidy, nájdené v mnohých druhoch ovocia a zeleniny. Okrem prírodných antioxidantov existujú aj umelo vyrobené antioxidanty používané ako prídavné látky. Takýmto antioxidantom je napr. butyl hydroxy anizol (BHA). V európskej únii sú prídavné látky regulované smernicou o prírodných látkach. Vedecký výbor poskytuje informácie o ich bezpečnosti. Medzinárodné organizácie, ako napríklad Codex Alimentarius priebežne prehodnocujú bezpečnosť používania prídavných látok [URL 5].



Obr. 6 Neutralizácia voľných radikálov antioxidantmi [URL6]

1.3.1 Rozdelenie antioxidantov

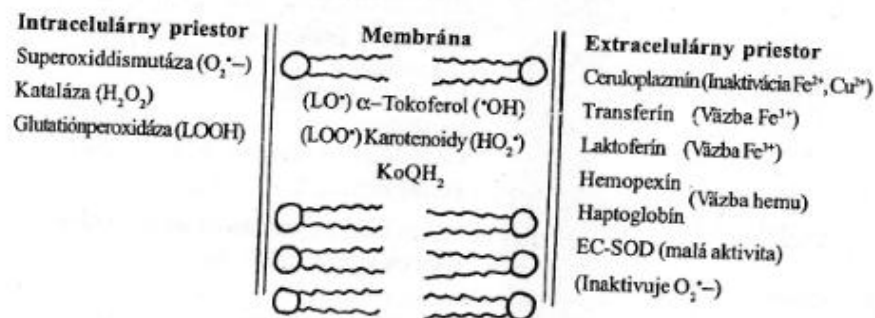
Zachovanie bunkovej celistvosti vyžaduje ochranné mechanizmy, čo zabezpečujú antioxidantný systém. Tento systém zahŕňa aj skupinu vitamínov a enzýmov, ktoré obsahujú stopové prvky pracujúce v sériách. Začiatok obrany je v enzýmoch superoxid dismutázy (obsahujúca meď), glutatión peroxidázy (obsahujúca selén) a katalázy (Bíro, 2009).

Ďuračková (1998) rozdeľuje antioxidanty do nasledujúcich skupín:

- a) mechanizmy zabráňujúce tvorbe voľných radikálov:
 - eliminácia voľných iónov Fe a Cu chelatačnými činidlami (transferín, albumín)
 - inhibícia enzýmov, ktoré katalyzujú tvorbu voľných radikálov (xantínoxidáza)
 - odstránením peroxidov (kataláza, peroxidáza)
- b) systémy, ktoré eliminujú voľné radikály, t.j. antioxidanty v užšom slova zmysle:
 - vychytávače (scavengers), napr. SOD vychytáva $O_2\cdot-$ a mení ho na kyslík a peroxid vodíka
 - lapače (trappers), napr. vitamín E lapá $\cdot OH$ a mení ho na relatívne stabilný radikál
 - zhášače (quenchers), napr. karotén zháša sigletový kyslík
- c) reparačné systémy, ktoré odstraňujú poškodené molekuly z organizmu:
 - lipofilné enzýmy (fosfopiláza) pre VKK
 - proteolytické enzýmy pre proteíny
 - reparačné endonukleázy pre DNA

Okrem tohto základného rozdelenia Ďuračková (1998) uvádza aj nasledovné:

- | | |
|---|---|
| 1. Podľa molekulovej hmotnosti antioxidantov: | 2. Podľa miesta najčastejšieho výskytu antioxidantov: |
| a) Vysokomolekulové - enzýmové a neenzýmové | a) Cytoplazmové (hydrofilné) |
| b) Nízkomolekulové - prírodné a syntetické | b) Membránové (lipofilné) |



Obr. 7 Významné antioxidanty v extra- a intracelulárnom priestore a membránových útvaroch (Ďuračková, 1998)

1.3.2 Mechanizmus účinku antioxidantov

- Enzýmové antioxidanty – na určitom stupni enzýmovo riadenej reakcie blokujú tvorbu voľných radikálov, resp. eliminujú jeho negatívne účinky (superoxiddismutáza (SOD), kataláza, glutationperoxidáza, koenzým Q) (Kyselovič, 2009).
- Neenzýmové antioxidanty – vysokomolekulové, proteíny, ktoré viažu atómy prechodných kovov a proteíny s tiolovými skupinami, čím vyradujú kovy z toxikologicky významných reakcií, resp. blokujú určité reakcie (transferín, laktoferín, feritín, hemopexín, haptoglobín, albumín, ceruloplazmín, metalotioneíny) (Lopéz-Torres et al., 1993)
- Nízkomolekulové antioxidanty – napr. kyselina askorbová (vitamín C) je dôležitý kofaktor oxidoredukčných reakcií (Kyselovič, 2009).

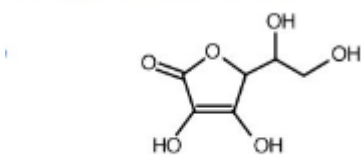
1.3.3 Charakteristika vybraných druhov antioxidantov

1.3.3.1 Kyselina askorbová (vitamín C)

Kyselina askorbová (vitamín C) patrí medzi hydrofílné vitamíny. Je známa ako antiskorbutický faktor. Môže sa vyskytovať v 4 opticky aktívnych formách. Enolové hydroxyskupiny podmieňujú jej kyslý charakter a redukčné vlastnosti. Kyselina L-askorbová a kyselina L-dehydroaskorbová tvoria významný oxidačno-redukčný systém živej bunky, ktorý podmieňuje priebeh a rýchlosť biochemických reakcií. Askorbioxidáza (antivitamínC) katalyzuje oxidáciu kyseliny askorbovej na kyselinu dioxoglukurónovú, kyselinu šŕavelovú a ďalšie oxidačné produkty. Jej negatívne účinky znižujú flavonoidy, ktoré chránia kyselinu askorbovú (Hudec et al., 2002).

Vitamín C je citlivý na zásadité látky a kyslík. Sušením a varením sa obvykle ničí, čo sa netýka varenia v pare. Telo ho nedokáže ukladať do zásoby, preto by mal byť dopĺňaný denne (Benhaim, 2001).

Je to biela, vodorozpustná kryštalická látka. Je zložkou koenzýmu oxidoreduktáz. Patrí medzi zachytávače voľných radikálov, ale na strane druhej, v prítomnosti Fe^{3+} zvyšuje ich tvorbu. Spomedzi cicavcov nedokáže vitamín C syntetizovať len človek, opica, netopier a morča. Bioflavonoidy, napríklad vitamín P, sa v živočíšnom organizme



Vitamín C (kyselina askorbová)

pravdepodobne viažu s kyselinou L-askorbovou, pričom je askorbát antioxidantne stabilizovaný (Ferenčík et al., 2000). Vitamín C môžeme pridávať vo forme aditívnej látky ako E-300 do ovocných štiav a podobných výrobkov, čím zvyšujeme ich nutričnú hodnotu (Pipek, 2010).

Obr. 8 Kyselina askorbová (Pipek, 2010)

Kyselina askorbová je jedným z najznámejších prírodných nízkomolekulových, hydrofilných antioxidantov. Rastliny a väčšina živočíchov ju dokážu syntetizovať z glukózy cez kyselinu glukurónovú. Redukuje atóm Fe(III) na Fe(II) a má význam pre resorbciu železa v črevách, pretože železo v oxidačnom stupni(III) sa len málo rozpúšťa. Askorbát redukuje atóm Cu(II) na Cu(I) . Jeho významnou funkciou je antioxidantná schopnosť. Regeneračné enzýmy kyseliny askorbovej sú lokalizované viac v intracelulárnom priestore, preto v priebehu oxidačného stresu sa askorbát v extracelulárnom priestore rýchlo vyčerpá. Syntéza kyseliny askorbovej u živočíchov závisí od metabolizmu glykogénu a uskutočňuje sa v erytrocytoch prostredníctvom interorgánového cyklu (Ďuračková, 1998).

Antioxidačná schopnosť askorbátu

Antioxidačný účinok kyseliny askorbovej prísne obmedzuje prítomnosť iónov chelátovo viazaných atómov prechodných prvkov. V ich prítomnosti je kyselina askorbová vo vodnom roztoku veľmi nestabilná (Ďuračková, 1998).

- Lapač $\text{O}\cdot$ a HO_2 , peroxylového radikálu $\text{ROO}\cdot$, alkoxylového radikálu $\text{RO}\cdot$, alkylsulfanylového radikálu, nitroxylového radikálu $\text{NO}\cdot$, $\cdot\text{OH}$ radikálu,
- Regenerácia radikálu kyseliny močovej
- Zhášač sigletového kyslíka 1O_2 vo vodnom roztoku

-
- Inhibícia lipoperoxidácie iniciovaná zmesou Hb-H₂O₂ alebo Mb-H₂O₂. Ochrana Hb pred deštrukciou a uvoľnením Fe(II) z hemu
 - Regenerácia α -tokoferolového radikálu na rozhraní cytosol-membrána
 - Ochrana plazmových lipidov pred lipoperoxidáciou iniciovanou aktivovanými neutrofilmi
 - Ochrana pred organickými radikálmi prítomnými v cigaretovom dyme
 - Alternatívny substrát pre H₂O₂ v myeloperoxidázou katalyzovanej tvorbe HOCl, čím je prooxidačne pôsobiaca HOCl (napr. na α 1-antiproteinázu) tvorená pomalšie (Ďuračková, 1998).

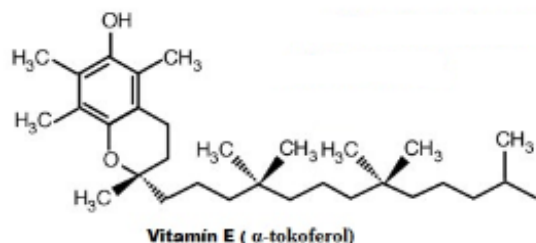
Pri niektorých ochoreniach, ako napr. reumatoidná artritída, syndróm dychovej tiesne dospelých (ARDS), kosáčiková anémia alebo idiopatická monochromatóza sa zistila v telových tekutinách výrazne znížená koncentrácia askorbátu. Doplnenie nedostatočnosti askorbátu pri týchto ochoreniach nemusí byť vždy prospešné, nakoľko „katalyticky účinné“ železo môže v prítomnosti askorbátu katalyzovať tvorbu hydroxylového radikálu. Za toxikologicky nebezpečnú hranicu sa označuje koncentrácia „katalyticky účinného“ železa v plazme 3 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ (Ďuračková, 1999).

Pri nedostatku vitamínu E vysychá koža, človek chudne, má pocit únavy, neskôr sa prejavujú príznaky skorbutu a organizmus je náchylný k infekciám. Nachádza sa najmä v tekvici, špenáte, v zelených rajčiakoch (Hudec et al., 2002). Vo veľkom množstve sú zdrojmi vitamínu C aj šípky, čierne ríbezle, zelená paprika, kôpor, citróny, pomaranče. Denná dávka predstavuje 40-70 mg (Ferenčík et al., 2000).

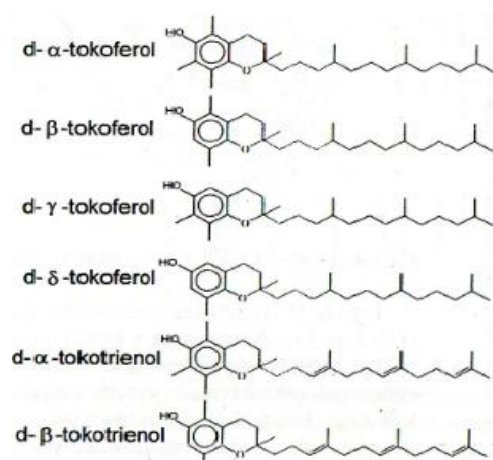
1.3.3.2 Vitamín E (α -tokoferol)

Vitamín E je názov používaný pre skupinu látok, pozostávajúcich z derivátov vykazujúcich aktivitu α -tokoferolu. Vitamín E obsahuje: D- α , D- β , D- λ , D- δ -tokoferol a D- α , D- β , D- λ , D- δ - tokotrienol, pričom najúčinnjšou formou vitamínu E je α -tokoferol. Denne sa vstrebáva okolo 10mg vitamínu E. Za fyziologických podmienok sa len 20-40% prijatého vitamínu E vstrebáva enterocytmi a prostredníctvom chilomikrónov sa dostáva do pečene, kde sa naviaže na LDL lipoproteíny a uvoľňuje späť do cirkulácie. Prebytočný vitamín E je z tela vylučovaný fekáliami.

Najvyšší obsah vitamínu E je v tukovom tkanive, kde predstavuje 80-90%, ďalej sa nachádza v pečeni a vo svaloch (Ďuračková, 1998).



Obr.k 9 Vitamín E (Volf, 2008)



Obr. 10 Štruktúra derivátov α-tokoferolu (Ďuračková, 1998)

Antioxidačná schopnosť vitamínu E

Najdôležitejšou vlastnosťou vitamínu E je jeho antioxidačná schopnosť. Pôsobí ako obrana proti peroxidácii polyénových kyselín. Jeho potreba sa zvyšuje so súčasným zvýšením príjmu nenasýtených tukov. Hromadí sa v miestach s afinitou k α-tokoferolu ako sú fosfolipidy mitochondrií, endoplazmatického retikula a plazmatických membrán. Ako antioxidant pôsobí tak, že prerušuje reťazové reakcie voľných radikálov vďaka schopnosti prenášať vodík z fenolovej skupiny na voľný peroxyradikál peroxidovanej polyénovej kyseliny. Vytvorené voľné fenoxo-radikály môžu reagovať s vitamínom C, aby sa mohol regenerovať. Spolu so selénom pôsobí synergicky. Vitamín E znižuje nároky na príjem selénu tým, že bráni stratám selénu z organizmu, alebo ho udržuje v aktívnej forme (Murray, 2002).

Zlúčeniny vitamínu E (tokoferoly a tokotrienoly) inhibujú peroxidáciu lipidov v biologických membránach a starajú sa tak o odstraňovanie voľných radikálov (Serbitova et al., 1991).

Vitamín E má hypocholesterolemické účinky (Quereshi et al., 1989) a antitrombotické účinky (Gaby & Machlin, 1991, Deshpande et al., 1996). Vzhľadom na to, že škoricové kyseliny majú schopnosť znižovať hladinu cholesterolu v krvi, stimulujú odtok žlče (Singleton, 1981).

Ferenčík et al. (2000), Ďuračková (1998), Horniaková a Pajtáš(2007) uvádzajú ako dobré zdroje vitamínu E rastlinné oleje, najmä slnečnicový, olivy, zeleninu, strukoviny, orechy ale aj v masle a vajciach. Vysoké koncentrácie tokoferolu boli vytážené v klíčkoch (Peterson, 1995). Jeho obsah v rastlinách môžeme ovplyvňovať aj hnojením dusíkom (Mozafar, 1994).

Ďuračková (1998) udáva odporúčanú dennú dávku 30mg. Škodlivá dávka predstavuje 200 mg a letálna je okolo 500 mg. Experimentálne štúdie uvádzajú nasledujúce vedľajšie príznaky pri denných dávkach 3200 mg: vaskulopatický a hepatotoxický efekt, nekrotizujúce enterokolitídy a sepsy, koagulopatie, tromboflebitídy a problémy tráviaceho traktu. Podľa Ferenčík (2000) dostatočná denná dávka predstavuje asi 5 mg na deň. K tejto však treba prirátat' 0,6 mg na každý gram nenasýtených karboxylových kyselín, nachádzajúcich sa v potrave.

Ďalšou veľkou prednosťou vitamínu E je jeho synergizmus s vitamínom C. Umožňuje to pravdepodobne poloha vitamínu E v membráne, kde sa na rozhraní dvoch fáz môže stretnúť s kyselinou askorbovou, ktorá ho potom regeneruje. Orientácia hydrofóbnej časti (fytolový zvyšok) vitamínu E dovnútra membrány zabezpečuje kontakt vitamínu E s koenzýmom Q10, ktorý môže vitamín E tiež regenerovať. Pretrvávajúci nedostatok vitamínu E sa spája s viacerými ochoreniami ako neuropatie, hemolytické anémie, (Ďuračková, 1998). Nedostatok vitamínu E sa prejavuje iba u ľudí s neschopnosťou vstrebávať tuk a u nedonosených detí (Horniaková, Pajtáš, 2007).

1.4 Prírodné antioxidanty v rastlinách

Prírodné antioxidanty sú primárne rastlinné fenolické zložky, ktoré sa môžu nachádzať vo všetkých častiach rastliny. Nefenolické zahŕňajú karotenoidy a fosfolipidy, ktoré za určitých podmienok môžu tiež vykazovať antioxidačnú aktivitu. Rastlinné fenolické zložky sú multifunkčné. Môžu pôsobiť ako vychytávače voľných radikálov, chelátov kovov, zhasače sigletového kyslíka alebo ako redukujúce činidlá (Howlett, 2008).

V poslednej dobe sa vedci stále viac zaujímajú o aplikáciu prírodných antioxidantov v medicíne a biológii. Najnovšie výskumy poukazujú na priaznivé pôsobenie niektorých antioxidantov pri rozličných ochoreniach (Volf, 2008).

1.4.1 Karotenoidy

Karotenoidy sú pigmenty rastlinného alebo mikrobiálneho pôvodu. V súčasnosti poznáme asi 600 druhov karotenoidov, z toho približne 10% má aktivitu provitamínu A a môže sa metabolizovať na retinol. Živočíchy karotenoidy syntetizovať nedokážu. Biologicky aktívne sú trans-izoméry. Z potravy sa vstrebáva len asi 10-30% karotenoidov. Na ich vstrebávanie má vplyv obsah lipidov v potrave - karotenoidy potrebujú na vstrebávanie soli žľových kyselín (Ďuračková, 1998).

Karotenoidy, izoprenoidy, patria medzi organické látky zo skupiny tetraterpenoidov, ktorých základný skelet obsahuje 40 atómov uhlíka. Sú to buď uhľovodíky (karotény), alebo ich kyslíkaté deriváty (xyntofyly). Majú výrazné antioxidantné účinky. Xantofyly sú akcesorické pigmenty, žlté farbivá zo skupiny karotenoidov, predstavujúce kyslíkaté deriváty karoténov. Najvýznamnejšími zástupcami sú luteín, violaxantín a zeaxantín (Olšovská, Brestič, 2009). Štruktúra karotenoidov určuje ich farbu, fotochemické vlastnosti molekuly, vyplýva z nej chemická reaktivita k voľným radikálom. (Hlúbik, Opltová, 2004).

Karotenoidy sú súčasťou fotosyntetických procesov. Sú to pigmenty od žltej, cez oranžovú, až po červenú farbu. Absorbujú lúče v spektrálnej oblasti s vlnovou dĺžkou okolo 450-480 nm. Neabsorbujú lúče v červenej časti spektra, tam kde maximum pripadá na absorpciu chlorofylu. Bez karotenoidov by nemohol byť normálny priebeh fotosyntézy, pretože dopĺňajú funkciu chlorofylu a (Švihra, 1989). Sú prítomné u všetkých organizmov schopných fotosyntézy (Hejnák et al., 2007). Samostatne však fotosyntézu uskutočňovať nemôžu, tento proces len zosilňujú. Farbivá môžeme extrahovať z látky, na ktorú sú viazané (Grdičová, 1967).

Fotosyntézu možno charakterizovať ako súbor fotofyzikálnych, fotochemických a biochemických procesov v rastlinnej bunke obsahujúcej asimilačné pigmenty (chlorofyly, akcesorické pigmenty karotenoidy a fykobilíny), pomocou ktorých rastlina vytvára za účasti energie žiarenia z anorganických látok organické. V posledných rokoch sme svedkami významných negatívnych vplyvov prostredia na rastliny. Aktívne formy kyslíka spúšťajú v rastlinných ako i v živočíšnych bunkách nekontrolovateľné procesy. β -karotén má schopnosť zachytávať aktívne formy kyslíka, a tak eliminovať ich negatívny vplyv). Podobne xantofylový cyklus má ochrannú funkciu voči fotodeštrukcii a fotoinhibícii. V listoch vyšších rastlín sa vyskytujú najčastejšie β -karotén, luteín, violaxantín, anteraxantín, neoxantín a zeaxantín (Masarovičová et al., 2002).

V rastlinách sú karotenoidy viazané na bielkoviny v chloroplastoch, v živočíšnom organizme sú lokalizované a viazané na lipidy. Fyziologicky účinné sú tie, ktoré obsahujú β -jónový kruh a all-trans konfiguráciu. Preto ako vitamín A je najdôležitejší β -karotén, obsahujúci 2 β -jónové kruhy. Menej účinným (53%, v porovnaní s β -karoténom 100% je α -karotén, ktorý má jeden β -jónový cyklus a jeden α -jónový cyklus). Základným karotenoidom je lykopén- červené farbivo šípok, rajčiakov. Oxidačným produktom β -karoténu je zeaxantín, neoxantín a violaxantín. Na uchovanie karotenoidov vplýva celý rad faktorov, napr. pri zohrievaní surovín obsahujúcich karotenoidy bez prístupu vzduchu sú straty karotenoidov malé, v prítomnosti vzdušného kyslíka je ich úbytok pri zahrievaní výrazný. Niektoré kovy, najmä meď a železo negatívne vplývajú na obsah karotenoidov. Karotenoidy sú antioxidanty rovnako ako vitamín A, E, C a na ich ochranu sa využívajú najmä deriváty kyseliny askorbovej. Stabilitu negatívne ovplyvňuje červené svetlo, najmä UV žiarenie (Hudec et al., 2002).

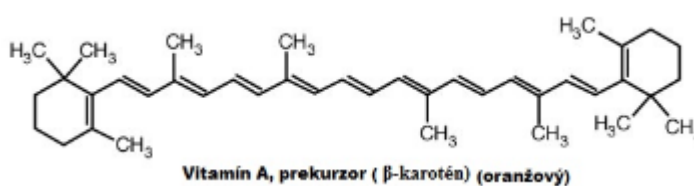
1.4.1.1 Účinky karotenoidov

Karotény, rovnako ako flavonoidy patria medzi najdôležitejšie antioxidanty vyskytujúce sa v našej výžive. β -karotén, najvýznamnejší prekurzor vitamínu A, je prijímaný potravou a následne pretváraný na vitamín A. Karotény zohrávajú významnú úlohu v spojení s voľnými radikálmi. Sú nevyhnutné pre rast organizmu, počas tehotenstva stimulujú činnosť nadobličiek, ovplyvňujú tvorbu hormónov, pozitívne pôsobia na náš imunitný systém a významnú úlohu hrajú v prípadoch poklesu sexuálnej výkonnosti a impotencie. Je dokázané, že vysoké dávky β -karoténu zvyšujú množstvo T-buniek. Tieto poznatky by sa dali využiť pri liečení ochorení ako napr. únavový syndróm, AIDS alebo rakovina. Karotény sú dôležité pre posilnenie imunitného systému, udržiavanie dobrého stavu epitelových tkanív a slizníc, pľúcnej a prieduškovej výstelky, neutralizáciu voľných radikálov, ochranu zraku (Ortembergová, 2003).

1.4.1.2 Vitamín A

Vitamín A (retinol) je jedným z najdlhšie známych vitamínov. Patrí do skupiny lipofilných vitamínov, prijímaných v potrave ako provitamín β -karotén. Chemicky sú tokoferoly metylované deriváty alkoholu tokolu (Kvalténiová, 1986). Účinnou formou je 11-cis-retinal, ktorý je súčasťou fotorecepčného pigmentu tyčínok očnej sliznice. Vstrebáva sa v tenkom čreve. Zasahuje do rozličných fyziologických pochodov

v organizme. K jednej zo základných funkcií patrí ovplyvňovanie metabolizmu rodopsínu, teda metabolizmu videnia. Pôsobí na diferenciáciu a rast epitelových buniek, pohlavných buniek, pre vývoj plodu, je nevyhnutný pre udržanie stability biologických membrán, zasahuje do syntézy bielkovín, nukleových kyselín a lipoproteínov. Má aj mierne antioxidantné vlastnosti - pôsobí ako zhášač. Absorbuje energiu bez chemickej zmeny a excitovaný kyslík vráti späť do pôvodného stavu bez poškodenia okolitých tkanív. Najrozšírenejším provitamínom v prírode je β -karotén. Tepelné opracovanie surovín pred konzumáciou zlepšuje využiteľnosť karotenoidov v organizme, pretože sa rozrušujú ich väzby na bielkoviny (Hlúbik, Opltová, 2004).



Obr. 11 Vitamín A (Volf, 2008)

Vitamín A, ako provitamín β -karotén, obsahuje mrkva, špenát, hlávkový šalát, kapusta a rajčiaky. Denná potreba je asi 1-5 mg vitamínu A. Fyziologicky najúčinnější je α -tokoferol, ktorého hlavnými zdrojmi sú obilné klíčky, rastlinné oleje, zelenina, strukoviny. Denná dávka vitamínu A je pre človeka asi 100 mg (Kvalténiová, 1986).

1.4.1.3 Lykopén

Lykopén je acyklický karotenoid tvorený 8 izoprénovými jednotkami. Nachádza sa v malom množstve potravín. Viac ako 80% lykopénu v ľudskej potrave pochádza z paradajok a produktov z nich vyrobených. Je pomerne stabilný aj pri spracovaní za tepla - pri varení. V tomatových produktoch jeho podiel predstavuje až 64% všetkých karotenoidov, zatiaľ čo karotény iba 15 %. Najnovšie výskumy poukazujú na to, že lykopén je účinnejší vychytávač (scavenger) kyslíkových radikálov ako ostatné karotenoidy. Lykopén vo významnej miere posilňuje obranný mechanizmus ľudského organizmu proti nepriaznivému pôsobeniu reaktívnych foriem kyslíka (Hlúbik, 2004).

1.4.2 Polyfenoly

Polyfenoly sú amorfné látky fenolickej povahy nachádzajúce sa v rôznych častiach rastlín ako sú plody, listy, korene a kôra. Rastlinám dodávajú charakteristické sfarbenie

a plodom chuť. Hlavnými predstaviteľmi sú flavonoidy, deriváty kyseliny chlorogénovej a voľné fenolové kyseliny. Majú široké spektrum priaznivých účinkov na ľudský organizmus (Čepička, 2002).

Za jeden z najsilnejších antioxidantov je považovaná bobuľová káva, známa ako Coffee berry. Rovnako ako zelený čaj obsahuje vysoký obsah polyfenolov. Extrakt z tejto kávy obsahuje polyfenolické látky, pohlcujúce škodlivé voľné radikály, ktoré sú výsledkom pôsobenia UV žiarenia [URL 7].

1.4.3 Flavonoidy

Flavonoidy sú skupina polyfenolových zlúčením bežne sa vyskytujúcich v rastlinách, kde sú často zodpovedné za ich základné fyziologické funkcie ako farba, opelenie, ochrana pred UV žiarením, pred patogénmi a predátormi (Mojžiš, 2001).

Flavonoidy sú fenolové látky, ktoré sú široko rozšírené v rastlinnej ríši. Zahŕňajú vyše 4000 rôznych derivátov a ich zoznam sa stále rozrastá. Sú to farebné látky. Ich denný obsah v potrave predstavuje asi 23mg. Vzájomné pôsobenie flavonoidov na biologických aktivitách s vitamínom C bolo známe už okolo roku 1930. Flavonoidy inhibujú lipoperoxidáciu, vykazujú protinádorovú, protiischemickú, protialergickú a protizápalovú aktivitu (Ďuračková, 1998).

Flavonoidy okrem oxidačného účinku, ovplyvňujú tvorbu radikálov aj nepriamo – aktiváciou alebo deaktiváciou antioxidantných enzýmov podieľajúcich sa na vzniku voľných radikálov. Flavonoidy môžu napomáhať endogénnym antioxidantom v tele k deaktivácii vzniknutých radikálov a zabráňovať poškodeniu dôležitých látok (Volf, Andrs, 2007)

Nachádzajú sa v zelenine, ovocí, orechoch, semenách korení, kvetoch. Dobrými zdrojmi je cibuľa, citrusové plody, jablká, hlávková kapusta, ale aj káva či kvalitné víno. Denný príjem potravou predstavuje 50mg – 1g, pričom kvercetín a kemferol patria medzi najviac sa vyskytujúce karotenoidy. Je pre ne typická široká škála biochemických a farmakologických účinkov (Mojžiš, 2001).

V tabuľke 2 si môžeme všimnúť najčastejšie sa vyskytujúcich zástupcov jednotlivých druhov flavonoidov podľa Mojžiša (2001).

Tab. 2 Najčastejšie sa vyskytujúce flavonoidy (Mojžiš, 2001)

Flavonoly	Flavonóny	Flavóny	Flavanoly	Flaván-3-oly	Izoflanóny
Kempferol	Herperidín	Apigenín	Silibín	Katechín	Genisteín
Morfín	Naringín	Tangeretín	Silymarín		Daidazín
Rutín	Naringenín	Baikaleín	Taxifolín		
Myricetín	Hesperidín	Luteolín	Pinobanksín		
Kvercetin	Pinocembrín	Chrysín			
Myricitrín	Likvirtín	Diosmetín			
Kvercitrín		Diosmín			
Galangín					
Fisetín					
Ramnetín					

Z flavonoidov je nutrične hodnotný rutín, prítomný najmä v čiernych ríbezliach, pohánke a agátových kvetoch. Výrazne ovplyvňuje chuťové vlastnosti niektorých plodov. Flavonoidy sú prítomné vo všetkých častiach rastlín. Najvýznamnejším flavónovým aglykonom je kvercetin. Z ďalších je známy morín (v moruši), apigenín (petržlen, zeler). Izoflavóny tvoria jednu z najväčších tried prírodných látok. Z nich najvýznamnejšie sú genisteín (*Soja hispida*) a prunetín (*Prunus avium*). Kumaríny a chromóny, bohaté na zdroje izoflavonoidov, sa vyznačujú horkastou príchuťou. Ich množstvo sa zvyšuje v ovocí a zelenine pôsobením mikroorganizmov. Chinóny sú väčšinou prítomné v hubách. Antrachinóny sa vyskytujú najmä v rode *Rubiaceae*, alebo *Aloe*. Medzi betalaíny patria červené betakyaníny a žlté betaxantíny. Betakyanová frakcia tvorí v repe červenej 80% celkového obsahu betalaínov (Hudec et al., 2002).

1.4.3.1 Chemické zloženie

Flavonoidy sú deriváty difenylpropánu, alebo látok odvodených od fenylnchrómanu. Majú dva substituované benzénové kruhy A, B a pyránový kruh C kondenzovaný s kruhom A. Ďalšia klasifikácia je založená na stupni oxidácie pyránového kruhu. Takto sa rozlišujú – flavány, flavanoly, flavanony, flavoly, flavonoly, anthokyanidíny, bioflavonoidy, neoflavóny (kumaríny) a ich isoderiváty (Volf, 2007).

Flavonoidy sú syntetizované v rastlinách z aromatických aminokyselín fenylalanínu a tyrozínu, ktoré sú konvertované na kyselinu cinamovú a kyselinu parahydroxycinamovú. Kondenzáciou cinamových kyselín s acetátom vzniká cinamoylová štruktúra flavonoidov (Mojžiš, 2001).

1.4.3.2 Druhy flavonoidov

Oligomerové proantokyanidíny

Sú veľmi účinné. Ich schopnosť neutralizovať voľné radikály je až 50-násobne vyššia ako neutralizačná schopnosť vitamínu E a 20-násobne vyššia ako vitamínu C. Súčasne bránia v tele ubúdaniu vitamínu C, karotenoidov a vitamínu E, ktoré aj pomáhajú obnovovať. Najčastejšie sa získavajú z kôry píniových borovíc a zo zrníček hroznového viniča. Majú využitie v kozmetike ako ochrana pleti pred tvorbou vrások.

Antokyanidíny

Neutralizujú škody spôsobené voľnými radikálmi, zabraňujú úbytku vitamínu C v organizme a zlepšujú jeho vstrebávanie. V spojení s kolagénom sú súčasťou spojivového tkaniva. Majú preventívne účinky v ochrane organizmu pred kardiovaskulárnymi ochoreniami, žalúdočnými vredmi, mozgovou toxicitou, artritídou, chránia zrak, zabraňujú hyperglykémii. Jedným z najlepších zdrojov antokyanidínov sú čučoriedky, ale aj picnogenol, výťažok zo zrníček hroznového vína.

Katechíny

Podľa rozličných štúdií sú to práve katechíny, ktoré majú najvyšší vplyv na neutralizáciu voľných radikálov. Jedna štúdia dokonca popisuje druh katechínov s najsilnejšími účinkami. Tieto sa podieľali pri ochrane mozgových tukov pred oxidáciou a údajne pôsobia 200-násobne účinnejšie ako vitamín E. Katechíny zabraňujú vzniku kardiovaskulárných ochorení, chránia organizmus pred vírusovými a bakteriálnymi infekciami. Zdroje: Zelený čaj, červené víno.

Kvercetín (oxo-flavonoid)

Pôsobí ako antioxidant, ale má aj protizápalové a protialergické účinky a stabilizuje hladinu kolagénu – prispieva k udržiavaniu pružnosti tkanív (Volf, 2007).

1.4.3.3 Účinky flavonoidov

Flavonoidy pôsobia na:

- protinádorové vlastnosti (protivírusové, proliferácia buniek, antioxidačné vlastnosti)
- ovplyvňovanie kardiovaskulárnych ochorení (antioxidačné vlastnosti, antitrombogénne vlastnosti, zníženie množstva cholesterolu)
- ovplyvňovanie zápalových stavov - ovplyvňovanie alergií (imobilizácia leukocytov, chelatacia železa, aktivácia komplementov, myeloperoxidácia, ovplyvňovanie cyklooxygenáz a 5-lipoxygenázy)
- priaznivé ovplyvňovanie perfúzie (reperfúzie) pri ischemickej chorobe (inhibícia NO, imobilizácia leukocytov, chelatacia železa, aktivácia komplementov, myeloperoxidácia, ovplyvnenie cyklooxygenáz a 5-lipoxygenázy) (Nijveldt, 2001)
- zlepšujú sexuálnu výkonnosť u mužov
- odd'ávajú proces starnutia
- zlepšovanie pamäti a schopnosti koncentrácie (Ortembergová, 2003)

Ako terapeutické by mali byť používané antioxidanty s optimálnou antioxidačnou aktivitou, ale nie vyššou (Volf, 2007). Treba zdôrazniť, že len malé dávky alkoholu (1-2 dl červeného vína) pôsobia priaznivo. Väčšie dávky pôsobia už naopak, veľmi negatívne – vyvolávajú tvorbu voľných radikálov [URL 8].

1.4.3.3.1 Antioxidačné účinky flavonoidov

Antioxidačným účinkom flavonoidov sa v posledných rokoch venuje zvýšená pozornosť. Reagujú s radikálmi rôzneho pôvodu, vytvárajúc tzv. mezo-formu, ktorá je dostatočne stabilná aby zabránila rozvoju reťazovej reakcie lipidovej peroxidácie. Pri antioxidačnom účinku flavonoidov, okrem štruktúry, zohráva úlohu ich schopnosť interkalácie do membrány buniek a schopnosť ich interakcie s membránovými fosfolipidmi. Flavonoidy patria medzi exogénne nízkomolekulové, ktoré ovplyvňujú účinok bioreaktívnych foriem kyslíka na rôznych úrovniach: ako lapače inhibujú lipidovú peroxidáciu, chelatačné účinky, inhibujú enzýmy kaskády kyseliny arachidonovej, kooperujú s antioxidačnými vitamínmi (A, E, β -karotén). Medzi najčastejšie sa vyskytujúce prirodzené flavonoidy patrí kvercetín. Spolu s myricetínom má inhibičný účinok na železom indukovanej lipidovej peroxidácii v mikrozómoch. Na lipidovú

peroxidaáciu majú inhibičný vplyv aj flavonoidy ako wogonín, oroxygén A, chrysin, baikaleín, rutin, morfin, naringén a hesperidín. Jednou z ciest antioxidačného pôsobenia flavonoidov, je ich schopnosť vychytávať ióny prechodných kovov, viazať ich a vyradiť z procesu tvorby voľných radikálov. Z klinického hľadiska majú schopnosť inhibovať oxidáciu VLDL a LDL. Majú aj prooxidačný účinok (Mojžiš, 2001).

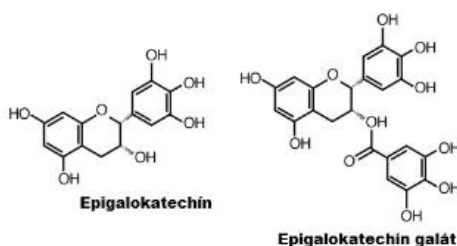
Antioxidačná schopnosť flavonoidov je ovplyvnená faktormi ako ich štruktúra, pH prostredia, možnosť pro-oxidačného chovania, polárnym resp. nepolárnym prostredím. Pre antioxidačnú aktivitu nie je dôležitý počet, ale poloha OH a OCH₃ skupín. Flavonoidy môžu pôsobiť vo forme antioxidantov, alebo pro-oxidantov v závislosti od redoxného stavu ich biologického okolia, biologických substrátov, s ktorými reagujú, a prítomnosti iónov železa alebo iných činiteľov (Volf, 2007).

Zachar (2004) udáva, že denne prijímame v potrave okolo 23 mg flavonoidov. Čím majú viac fenolových skupín, tým sú výraznejšie antioxidačné účinky. Potrebne sú najmenej 2 fenolové skupiny. Flavonoidy vychytávajú peroxidové radikály účinnejšie v porovnaní s nízkomolekulovými antioxidantmi. Jedna molekula flavonoidu vychytáva 6-9 peroxidových radikálov, na rozdiel od nízkomolekulového flavonoidu troxol, ktorý jednou molekulou viaže iba 2 radikály.

1.4.3.3.2 Antimikrobiálne účinky flavonoidov

Polyfenolové zlúčeniny patria medzi najpočetnejšiu skupinu antimikrobiálnych látok izolovaných z vyšších rastlín a flavonoidy medzi nimi stoja na poprednom mieste. Bolo zistené, že rastliny syntetizujú flavonoidy ako odpoveď na bakteriálnu infekciu. V ľudovom liečiteľstve sa s obľubou používa propolis – živica zo stromov zmiešaná a včelím voskom. Obsahuje flavonoidy ako pinocembrín a galangín, ale aj kvercetin, kempferol, apigenín a iné (Gašpierik, 1991).

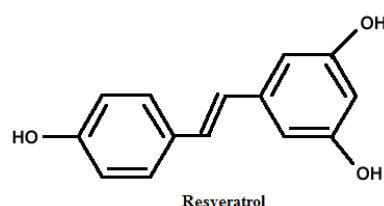
Antimikrobiálnymi účinkami disponuje aj zelený a aj biely čaj, obsahujúci epigalokatechín galát (EGCG) [URL 9].



Obr. 12 Chemická štruktúra epigalokatechínu a epigalokatechín galátu (Volf, 2008)

1.4.3.4 Zdroje najdôležitejších antioxidantov

Víno, hlavne červené, rovnako ako zelený čaj obsahuje látky priaznivo ovplyvňujúce zdravie ľudí. Existuje mnoho štúdií, ktoré vínu pripisujú priaznivé účinky na pôsobenie proti vzniku aterosklerózy. Účinky možno všeobecne zhrnúť do troch skupín. Má antisklerotický efekt, antioxidantný a antikarcinogénny účinok. Antioxidantný účinok môžeme pripisovať flavonoidom, najmä resveratrolu a polyfenolu, v ňom obsiahnutých. V našich vínach boli zistené najvyššie obsahy antioxidantov v tokajských vínach (Chlebo, 2009).



Obr. 14 Chemická štruktúra resveratrolu (Hudec, 2002)

Obr. 13 Červené víno- zdroj antioxidantov (resveratrolu) [URL 10]

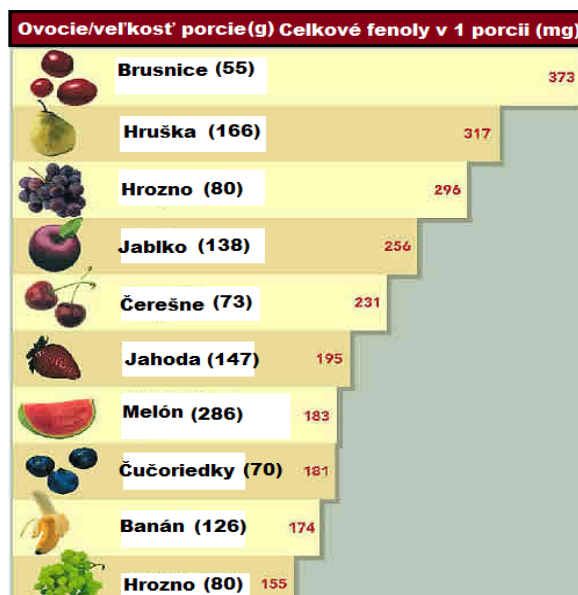
Významným zdrojom antioxidantov je zelený čaj. V ázijských kultúrach sa používa ako všeliek. Hlavný pozitívny účinok zeleného čaju spočíva v obsahu antioxidantov – katechínov (epigalokatechín galátu - EGCG). Klodom zeleného čaju je, že len zriedka spôsobuje nežiaduce vedľajšie účinky [URL 9].



Obr. 15 Zelený čaj [URL 11]

V zelenom čaji obsah katechínov predstavuje asi 35-52%. Najvýraznejšie antimikrobiálne vlastnosti má zelený čaj nefermentovaný, nasledovaný oolongovým čajom

a najnižšiu antimikrobiálnu aktivitu má čaj čierny. Pycnogenol (PYC) je zmes polyfenolových zlúčenín izolovaných z kôry prímorskej borovice (*Pinus maritima*) pochádzajúcej z Biskajského zálivu vo Francúzsku. V súčasnosti sa celosvetovo používa ako nutričný suplement ako aj fytotherapeutikum. Hlavné obsahové látky, zodpovedné za biologické účinky PYC patria monoméne (katechín, epikatechín a taxifolín) alebo kondenzované flavonoidy (procyanidíny/ proantocyanidíny). PYC je efektívny zhášač a zametač O_2^- ako aj HO^\cdot , ktorého je najsilnejším zhášačom (Mojžiš, 2001).



Obr. 16 Zdroje fenolov v jednotlivých druhoch ovocia a zeleniny [URL 12]

Tab. 3 Zdroje jednotlivých druhov antioxidantov [URL 13]

LÁTKA	ZDROJE
Fenolové kyseliny	Olivy, jahody, čierne ríbezle, orechy, káva
Fytoncídny	Cibuľa, cesnak, pór
Fytoestrogény	Sója, strukoviny, ľanové semená
Lykopen	Paradajky, kečup, marhule, červené melóny, papája, guava
Vitamín E	Rastlinné oleje, obilné klíčky, strukoviny, cereálie, listová zelenina, sója, kiwi, marhule, orechy, semená, vajcia, maslo, arašidy, kel
Vitamín C	Šípky, čierne ríbezle, chren, paprika, jahody, kiwi, citrusové plody, brokolica, zemiaky, kel, karfiol, kôpor, egreše, pažítka

Vitamín A	Cereálie, orechy, kávové zrná, listová zelenina, rybí tuk, vajcia, maslo, mlieko, žltý melón, šípky, čerešne, višne
Karotenoidy	Mango, marhule, mrkva, paradajky, špenát, brokolica, tekvica, hlávkový šalát
Resveratrol	Červené hrozno(aj šťava), červené víno
Luteín	Špenát, kel, citrusy, farebné papriky

1.5 Botanická charakteristika vybraných druhov rastlín

1.5.1 Ovos siaty (*Avena sativa*)

Rod Ovos (*Avena L.*) predstavuje jednoročné alebo ozimné druhy, najmä zo subtrópov (Vančurová, 1966).

Ovos patrí medzi kultúrne rastliny, chlebové obilniny, pestované pre škrobnaté prípadne múčnaté plody. Je to jednotlivo rastúca, na báze rozkonárená tráva, vysoká asi 60-150 cm, s priamymi, silnými, hladkými a holými stebkami.

Pošvy listov sú holé, bez ušíek, čiastočne otvorené. Čepeľ listov na oboch stranách pomerne drsná, sivozelená, široká až 16mm, dlhá až 30cm. Súkvetím je riedka metlina. Obdobie kvitnutia je situované do obdobia od júna až do augusta. Ovos je nenáročný, no je citlivý na mráz. Ovos má pôvod v Stredozemí a pestuje sa v mnohých krajinách, v Európe len ako jarina. Možno ju pestovať od nížin až do výšky 1 400 m n m. (Alpy). Medzi obilninami pestovanými v súčasnosti v stredoeurópskej oblasti zaujíma ovos tretie miesto – za pšenicom a jačmeňom. Vo svetovej produkcii mu patrí šieste miesto. Na obrázku 18 si môžeme všimnúť, že centrom pestovania je predovšetkým Veľká Británia, Wales, severozápadné Francúzsko (Bretónsko) a južná Škandinávia (Grau,1990).

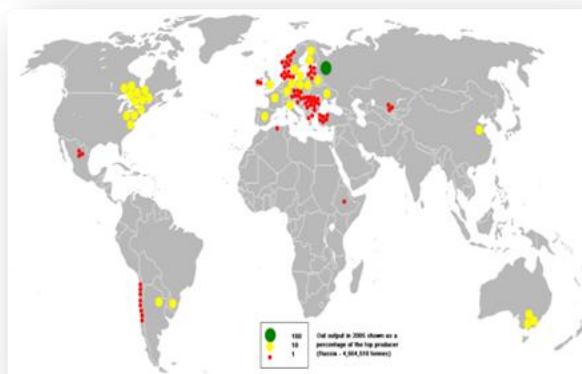
Ovsu sa najlepšie darí vo vlhkom prímorskom alebo podhorskom podnebí. Vyžaduje dostatok a rovnomerné rozdelenie atmosférických zrážok, vyššiu relatívnu vlhkosť vzduchu a nie príliš teplé podnebie. Je citlivý na dlhotrvajúce suchu a mráz. Najlepšie sa mu darí na stredne ťažkých a ťažkých pôdach s dobrým vodným režimom. Má dobre vyvinutú koreňovú sústavu a dokáže dobre využívať nielen pôdnu vodu, ale aj živiny z pôdných zásob. Optimálne pH pre ovos je 5,2-6,2. Klíči pri teplote 3-5°C. Na nedostatok vlahy je ovos citlivý najmä v štádiu steblovania, asi 4 týždne pred kvitnutím. Ovos je u nás

nedostatočne doceňovanou plodinou. Odrody: Adam, David, Hermes, Pan, Veles (Mačuhová, 1990).

Mnoho fenolických zlúčenín s antioxidačnou aktivitou, ako tokoferoly a tokotrienoly sa nachádza aj v zrne ovsa (Green et al. 1955, Lasztity et al. 1980, Peterson, 1995). Potravinové tabuľky uvádzajú nasledujúce hodnoty vybraných parametrov v zrne ovsa: Tokoferoly E: 2,293 mg.100g⁻¹, A-tokoferol: 0,971 mg.100g⁻¹, B-tokoferol: 0,080 mg.100g⁻¹.



Obr. 17 Ovos siaty [URL 14]



Obr. 18 Produkcia ovsa v krajinách za rok 2005 v percentuálnom zastúpení [URL 15]

1.5.2 Ruža šípová (Šípka) (*Rosa canina L.*)



Obr. 19 Ruža šípová [URL 16]

Ružu šípovú zaraďujeme do čeľade ružovité – *Rosaceae*. Rod ruža (*Rosa L.*) tvoria dreviny a je rozšírený v miernych i teplých oblastiach severnej pologule. Celkový vzhľad je variabilný. Sú to kry nízkeho až stredného vzrastu. U nás najrozšírenejšia, Ruža šípková (*Rosa canina L.*), rastie často na stráňach (Vančurová, 1966).

Vyvinuli sa rôzne formy – krížence, s rozličnými znakmi, ktoré majú aj liečivé účinky a sú bohaté na vitamíny. Poskytuje jednu z najhl'adanejších drog a je aj cennou vývoznou surovinou. Rastie v nížinách i vo vyšších polohách. Je skromná a darí sa jej aj na

suchších miestach, na okraji lesov, pri plotoch. Je to pichľavý ker väčšinou už od zeme rozkonárený alebo stromkovitý. Celá rastlina má veľké, ostré, naspäť ohnuté ostne. Listy sú striedavé, nepárne perovito zložené z 5-7 holých, elipsových až vajcovitých končistých, na okraji nerovnako pílkovitých, jasno zelených až modrozelených lístkov s prilístkami. Súkvetím je vrcholík. Kvety sú pravidelné, obojpohlavné, päťpočetné. Plodom je zdužnatená čiaška dozrievajúca na plodstvo – šípku. Šípky sú vajcovité, po dozretí lesklo červené, holé, mäsité (po prvom mraze mäknú a sú jedlé). Kvety príjemne voňajú. Kvitne od júna do júla. Zbiera sa plodstvo, semená, chlpy semien, zriedka korunné lupienky. Pomalým sušením sa obsah vitamínu C znižuje. Musia sa často obracať, aby sa zachovalo množstvo vitamínu C. Sušená droga si zachová $\frac{1}{4}$ až $\frac{1}{5}$ pôvodného množstva vitamínu C, ktorá je po ročnom uskladnení prakticky bezcenná. Semená - nažky neobsahujú vitamín C. Dôležitou obsahovou látkou sú vitamíny, a to najmä vitamín C (čerstvé asi 0,6-1,7 mg/ % a suché od 10 do 20 mg/ %), vitamíny A, B1,B2,PP,E. Okrem toho sú prítomné triesloviny, karotenoidy, pektín, sliz, flavonoidy, málo silice. V semenách aj vanilín, invertný cukor, vitamín E (až 66 mg/%), masťný olej. Používa sa ako vitaminiferum, slabé diuretikum, mierne adstringens, mierne laxans. Použité v medicíne, farmaceutickom priemysle, potravinárstve, ľudovom liečiteľstve, kozmetike (Velgosová, 1988). Zo šípok sa pripravujú pretlaky a čaj, používa sa ako podpník pre záhradné ruže (Vančurová, 1966).

Ekonomický význam majú druhy okrasné alebo využívané v tradičnej medicíne i v súčasnej farmácii, v potravinárstve a výrobe kozmetiky. Z druhov rodu *Rosa* bolo doposiaľ zísaných a popísaných viac ako 130 látok. Môžeme medzi ne zaradiť zložky silice, triesloviny, farbivá, kyseliny a vitamíny, flavonoidy (kvercetínu a kemferol), karotenoidy



(beta-karotén, lykopen), kyselinu askorbovú (1,8%) nikotínovú, vitamín P, riboflavín, thiamín, vitamín E, vitamín K, kyselinu citrónovú, jablčnú. V nažkách je 0,3% silice. V liečiteľstve sa využívajú šípky, korunné lupienky aj kvety. Kvety obsahujú silicu s miernym antibakteriálnym účinkom. Majú vysoký obsah vitamínu C v šípke, skladovaním sa jeho obsah veľmi rýchlo znižuje (Jahodář, 2010).

Obr. 20 Šípky [URL 17]

Šípky majú adstringentné (st'ahujúce) účinky, pôsobia proti hnačke a sú bohatým zdrojom vitamínu C a provitamínu P. Vzhľadom na stratu vitamínu C pri tepelnej úprave by sa mali konzumovať v čerstvom stave a nevariť dlhšie ako päť minút (Vinšová, 2002).

Šípky majú mnohé liečivé účinky. Pôsobia preventívne proti infekciám a prechladnutiu, posilňujú cievy a pomáhajú pri ochoreniach žíl, pomáhajú pri krvácaní ďasien a paradentóze, zlepšujú okysličovanie buniek, blahodárne pôsobia na nervy a podporujú schopnosť koncentrácie, stimulujú libido a potenciu. Vhodné je požívať šípky pri zápaloch priedušiek. Je lepšie ich konzumovať aj s dužinou, pretože táto obsahuje veľké množstvo bioflavonoidov zosilňujúcich účinky vitamínu C (Oberbeil, 2001).

Potravinové tabuľky uvádzajú, že 100g šípok môže v priemere obsahovať 747,00 mg vitamínu C (Štefek, 1997).

1.5.3 Jablň domáca (*Malus domestica*)



Jablň je jedným z predstaviteľov čeľade Ružovité (*Rosaceae*). Jej pravlast'ou je stredná Ázia, odkiaľ sa jeho pestovanie rozšírilo aj do Európy a ostatných krajín sveta. V našej zemepisnej oblasti je sortiment jabloní v porovnaní s ostatnými ovocnými druhmi najširší. Jablko je najrozšírenejším ovocným stromom na svete (Oberbeil, 2001).

Obr. 21 Jablň domáca [URL 18]

Plodmi sú guľaté malvice – jabĺčka, v dužine bez skleroidov (Vančurová, 1966).

Najvhodnejšie oblasti pestovania sú do 350-500 m n. m. Vhodné sú pôdy bohaté na živiny, s optimálnym pH 6,2-7,5. Nevhodné sú kamenité pôdy s vysokou hladinou podzemnej vody. Sú známe odrody ako Júlia, Discovery alebo Vista Bella (Mezey, 2005).

Jablká sú mimoriadne bohaté na vitamíny a stopové prvky. Vitamín C má v jablku mimoriadne vhodné prostredie, lebo bioflavonoidy a iné rastlinné látky ho v ňom chránia pred predčasnou oxidáciou. K liečivým účinkom jablka patrí ich schopnosť znižovať krvný tlak, posilňujú imunitný a kardiovaskulárny systém, stabilizujú hladinu cukru v krvi, spevňujú cievy, prečisťujú črevá a posilňujú ďasná. Tieto priaznivé účinky možno uplatňovať pri liečbe napríklad akné, rozličných alergií, pri problémoch s platničkami,

horúčke, nadúvaní, či črevných problémoch (Oberbeil, 2001). Jablká obsahujú: karotín 0,04627 mg.100g⁻¹, tokoferoly E 0,51143 mg.100g⁻¹, vitamín C 9,28000 mg.100g⁻¹ (Štefěk, 1997).

2 CIEĽ PRÁCE

Cieľom bakalárskej práce je komplexné spracovanie poznatkov z vedeckých a odborných publikácií týkajúcich sa problematiky prirodzených rastlinných antioxidantov, ktoré je možné využiť v potravinárskom priemysle. V tejto súvislosti boli vytýčené ciele:

- Podrobne rozpracovať problematiku voľných radikálov, prírodných antioxidantov a ich účinku a mechanizmu na organizmus,
- Oboznámiť sa bližšie s vytypovanými druhmi rastlín vhodných pre získanie prírodných antioxidantov

3 MATERIÁL A METÓDY SPRACOVANIA

Na základe uvedených motivačných faktorov, štúdia známych poznatkov, literatúry a najmä vlastných skúseností, pokúsili sme sa získať nové poznatky, významné z teoretického a zvlášť praktického hľadiska. Pre naplnenie cieľov práce boli použité knižné publikácie učebnicového charakteru, monografické diela, vedecké a odborné časopisy z domova a zahraničia. Vzhľadom k aktualizácii údajov boli použité aj materiály uvedené na internetových stránkach

Záver

V riešenej kompilačnej bakalárskej práci sme sa snažili o sumarizáciu zdrojov a informácii o prirodzených rastlinných antioxidantoch a ich fyziologických aspektoch na organizmus. Vytvorili sme prehľad najznámejších skupín rastlinných antioxidantov a voľných radikálov, a taktiež sme popísali oxidačný stres vyvolaný nerovnováhou uvedených komponentov v organizme. Dôkladné sme sa venovali ich účinkom na ľudský organizmus, čo zapríčiňujú a spôsobujú. Ďalej sme pozornosť upriamili na využitie rastlinných antioxidantov v potravinárskom priemysle. V súčasnosti sú využívané obnoviteľné zdroje na prípravu čistých fytochemikálií, fytofarmák a prírodných látok pre obohacovanie potravín a výrobu nových funkčných potravín. V najbližšej budúcnosti bude potrebné zvládnuť produkcie prírodných aditívnych látok pre skupiny funkčných potravín na báze antioxidantov, vitamínov, chuťovo-vonných látok, texturantov a esenciálnych mastných kyselín. Taktiež je potrebné hľadať náhradu syntetických a dovážaných liečiv a fytofarmák, vývoj nových definovaných účinných rastlinných komplexov pre oblasť humánnej a veterinárnej terapie a doplnkov výživy pre prevenciu civilizačných ochorení na báze domácej rastlinnej produkcie.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. BENHAIM, Paul. 2001. *Konopí zdraví na dosah*. Frýdek-Místek : Alpress, 2001. 454 s. ISBN 80-7218-605-1.
2. BÍRO, D., 2009. *Výživa zvierat*, 2.vyd. Nitra: SPU, 2009. 173 s. ISBN 978-80-552-0321-8.
3. ČEPIČKA, J. – KARABÍN, M., 2002. *Polyfenolové látky piva – prirodzené antioxidanty*. In: *Chemické listy*, roč. 96, 2002, č.2, s.90-95 ISSN 0009-2770.
4. DESHPANDE, S.S. et al. 1996. *Food antioxidants: technological, toxicological, and health perspectives*, New York : Marcel Dekker, 1996. 490 s. ISBN 082479351X.
5. DEVÍNSKY, F. et al. 2001. *Organická chémia pre farmaceutov*, Martin: Osveta, 2001. 750s. ISBN 80-8063-056-9.
6. ĎURAČKOVÁ, Z. 1998. *Volné radikály a antioxidanty v medicíne 1: definícia, rozdelenie a biologický význam voľných radikálov a antioxidantov*, Bratislava: Slovak Academic Press,1998. 285 s. ISBN 80-88908-11-6.
7. ĎURAČKOVÁ, Z., 1999. *Volné radikály a antioxidanty v medicíne 2: Význam voľných radikálov v etiológii niektorých ochorení*, Bratislava: Slovak Academic Press, 1999. 315 s. ISBN 80-88908-46-9.
8. FERENČÍK, M., 2000. *Biochémia*. Bratislava: Slovak Academic Press, 2000. 924 s. ISBN 80-88908-58-2.
9. GABY, S.K., 1991. *Vitamin intake and health: A scientific review*, New York: Marcel Dekker, 1991. 217 s. ISBN 0824783824.
10. GRAU, J. et al. 1990. *Trávy*. Bratislava: Ikar, 1990. s. 287 ISBN 80-7118-504-3.
11. GREEN, J. et al. 1995. *The termination of tocopherols by paper chromatography*. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture*, roč. 6, 1995, s. 274-282.
12. GRDIČOVÁ, B., 1967. *Praktikum z fyziologie rostlin* . Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1967. 343 s.
13. HALLIWELL, B. - GUTTERIDGE, J.M.C., 2007. *Free radicals in Biology and Medicine*, 2.vyd. Oxford: Clarendon Press, 2007. 851 s. ISBN 0198568681.

-
14. HEJNÁK, V. et al. 2007. *Fyziologie rostlin*, 2.vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2007. 159 s. ISBN 978-80-213-1667-6.
 15. HLÚBIK, P. - OPLTOVÁ L., 2004. *Vitamíny*. Praha: Grada Publishing, 2004. 232s. ISBN 80-247-0373-4 .
 16. HORNIÁKOVÁ, E. - PAJTÁŠ, M., 2007. *Základy výživy*. Nitra: SPU, 2007. 102 s. ISBN 978-80-8069-879-9.
 17. HOWLETT, J., 2008. *Functional Foods from Science to Health and Claims*. ILSI Europe, 2008. 35 s. ISBN 9789078637110.
 18. HUDEC, J. et al. 2002. *Organická chémia: učebnica pre štúdium poľnohospodárskeho inžinierstva*, Nitra: SPU, 2002. 251 s. ISBN 80-7137-975-1.
 19. CHLEBO, P., 2009. *Víno a antioxidanty*, In: *Biotechnológie, výživa a zdravie*, Vydanie prvé, Považská Bystrica: Eminent, 2009. 528 s. ISBN 978-80-970205-9-0.
 20. CHEESEMAN, KH. - SLATER, TF., 1993. *Úvod do biochémie voľných radikálov*. In: *British Medical Bulletin*, roč. 49, 1993, č.3, s. 481-493 ISSN 1471-8391.
 21. JAHODÁŘ, L. 2010. *Léčivé rostliny v současné medicíně (co Mattioli ještě nevěděl)*. Praha: Havlíček Brain Team, 2010. 233.s. ISBN 978-80-87109-22-9.
 22. KODÍČEK, M., 2004. *Biochemické pojmy: výkladový slovník*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2004. 171 s. ISBN 80-7080-551-X.
 23. KVALTÉNIOVÁ, G., 1986. *Potravinárska chémia*. Martin: Osveta, 1986. 197 s.
 24. KYSELOVIČ, J. 2009 . *Biochémia výživy*, 2.vyd. Nitra: SPU, 2009. 121s. ISBN 978-80-552-0163-4.
 25. LÁSZTITY, R. et al. 1980. *On the presence and distribution of some bioactive agents in oat varieties*. In: *Cereals for Food and Beverages. Recent Progress in Cereal Chemistry*, (G. Inglett a L. Munck) Academic Press, New York: Academic Press, 1980, s. 429-445.
 26. LOPÉZ - TORRES, M. et al. 1993. A comparative study of free radicals in vertebrates-II. Non-enzymatic antioxidants and oxidative stress. In: *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, roč. 105, 1993, č.3-4, s.757-763 ISSN 1096-4959.
 27. MAČUHOVÁ, K. et al. 1990. *Pestovanie obilnín*. Bratislava: Príroda, 1990. s.272 ISBN 80-07-00235-9.
-

-
28. MANDELKER, L., 2009. *Veterinary clinics- of North America*, New York: Elsevier Inc, 2009. 213 s. ISBN 978-80-7353-135-5.
 29. MASAROVÍČOVÁ, E. et al. 2002. *Fyziológia rastlín*. Bratislava: Vydavateľstvo UK, 2002. 303 s. ISBN 80-223-1615-6.
 30. MEZEY, J. 2005. *Ovoce z vlastní zahrady*. Brno: Vydavatelství a nakladatelství CP Books. 96 s. ISBN 80-251-0253-X.
 31. MOJŽIŠ, J. - MOJŽIŠOVÁ, G., 2001. *Flavonoidy a ich biologické účinky*. 1.vyd., Košice: VIENALA, 2001. 133 s. ISBN 80-88922-50-X.
 32. MOZAFAR, A., 1994. *Plant Vitamins. Agronomic, Physiology and nutritional aspects*. Boca Raton: CRC Press, 1994. 412 s. ISBN 0849347343.
 33. MURRAY, R.K., et al. 2002. *Harperova biochemie*, 3.vyd. Praha: Nakladatelství a vydavatelství H & H, 2002. 872 s. ISBN 80-7319-013-3.
 34. NIJVELDT, R. et al., 2001. *Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications*. In: American Journal of Clinical Nutrition, roč.74, 2001, č.4, s.418 -23 ISSN 1938-3207.
 35. OBERBEIL, K. et al. 2001. *Ovocie a zelenina ako liek*. Bratislava: Fortuna Print, 2001. 294 s. ISBN 80-88980-42-9.
 36. OLŠOVSKÁ, K. et al. 2009, *Fyziológia a ekofyziológia rastlín*, 2.vyd. Nitra: SPU, 2009. 160 s. ISBN 978-80-552-0288-4.
 37. ORTEMBERGOVÁ, A., 2003. *Mládneme s antioxidanty*, Praha: Ivo Železný, 2003. 126 s. ISBN 80-237-3742-2.
 38. PETERSON, D.M., 1995. *Oat tocopherols: Concentration and stability in oat products and distribution within the kernel*. In: Cereal Chemistry, roč.72, 1995, č.1, s. 21-24 ISSN 0009-0352.
 39. PIPEK, P., 2010. *Svět potravin a kouzlo biotechnologií – 24.letní škola VŠCHT:Škodlivé „éčka“ nebo nutné složky potravin*, Praha: KEY Publishing, 2010. 116 s. ISBN 978-80-7418-069-9.
 40. POSPÍŠIL, J., 1968. *Antioxidanty*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1968. 273 s.
-

-
41. QUERESHI, A. A. et al. 1989. *Stimulation of avian cholesterol metabolism by α -tocopherol*. Nutrition Reports International, roč.40, 1989, č.5, s. 933-1001 ISSN 0029-6635.
42. RECMAN, T., 2003. *Zelený čaj = Grüner Tee: malá knihovnička zdraví*, Praha: Svojtka & Co, 2003. 133 s. ISBN 80-7237-651-9.
43. RÉBLOVÁ, Z., 2010. *Svět potravin a kouzlo biotechnologií – 24.letní škola VŠCHT Význam antioxidantů ve výživě člověka*. Ostrava: KEY Publishing, 2010. 116s. ISBN 978-80-7418-069-9.
44. SERBITOVA, E. et al. 1991. Free radical recycling and intramembrane mobility in the antioxidant properties of alpha-tocopherol and alpha-tocotrienol. In: *Free Radical Biology and Medicine*, roč. 10, 1991, č.5, s.263-275 ISSN 1680-5194.
45. SEVANIAN, A., 1988. American Oil Chemist's Society. USA: Copyright, 1988. 249s. ISBN 0-935315-18-17.
46. SHAHIDI, F., 1997. *Unraveling the chemical identity of meat pigments*. In Critical Reviews in Food Science and Nutrition, roč.37, 1997, č.6, s. 561-589 ISSN 1040-8398.
47. SIES, H. 1997. *Physiological society symposium: Impaired endothelial and smooth muscle cell function in oxidative stress, Oxidative stress: Oxidants and antioxidants*. In: Experimental Physiology [online], roč.82, 1997, č., s. 291-295 [citované 11.4. 2011]. Dostupné na: <
<http://ep.physoc.org/content/82/2/291.full.pdf+html> >.
48. SIGLENTON, V.L., 1981. *Naturally occurring food toxicants: phenolic substances of plant origin common in foods*. In: Advances in Food Research, roč.27, 1981, s. 149-242 ISSN 1541-6100.
49. SONNTAG, C., 2005. *Free-Radical-Induced DNA Damage and Its Repair*. Berlín: Springer, 2005. 523 s. ISBN 3-540-26120-6.
50. ŠTEFEK, S., 1997. *Ovocie a zelenina potravinové tabuľky*. Bratislava: VÚP, 1997. 208s. ISBN 80-85330-33-4.
51. ŠTEFEK, S., 1999. *Obilniny a strukoviny potravinové tabuľky*. Bratislava: NOI-ÚVTIP, 1999. 268s. ISBN 80-85330-62-8.
-

-
52. ŠVIHRA, J., 1989. *Fyziológia rastlín: celoštátna vysokoškolská učebnica pre vysoké školy poľnohospodárske*, Bratislava: Príroda, 1989. 354 s.
 53. VANČUROVÁ, R. 1966. *Polnohospodárska botanika, systematika rastlín*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, 1966. 488 s.
 54. VELGOSOVÁ, M. – VELGOS, Š. 1988. *Naše liečivé rastliny*. Bratislava: Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1988. 382 s.
 55. VINŠOVÁ, K. 2002. *Žijeme zdravě, žijeme s bylinkami*. Praha: Reader's Digest, 2002. 336 s. ISBN 80-86196-38-0.
 56. VOLF, K. - ANDRS, F., 2008. *Flavonoidy a jejich biologické působení*, Praha: K. Wolf, 2008. 174 s.
 57. YOUNSON, R. 1995. *Antioxidanty cesta ke zdraví, jak odstránit vliv volných radikálů*. Brno: JOTA, 1995. 143 s. ISBN 80-85617-56-0.
 58. ZACHAR, D., 2004. *Humánna výživa II. Živiny*, Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2004. 217 s. ISBN 80-228-1293-5.

Ostatné citované zdroje

1. A History of Antioxidants. [URL1] Máj, 2010, [citované 28.12.2010]. Dostupné z < <http://antioxidantskincare.org/a-history-of-antioxidants/> >.
2. Chemická štruktúra voľného radikálu [URL2], [citované 19.12.2010]. Dostupné z < <http://www.darwinstable.com/wp-content/uploads/2010/07/free-radical.jpg> >.
3. Poškodenie DNA [URL3], [citované 5.1.2011]. Dostupné z < http://www.e-nox.net/images/illustrations/dna_damage_full.jpg >.
4. Faktory ovplyvňujúce integritu bunky [URL4], [citované 19.12.2010]. Dostupné z < <http://www.allnaturalhealthylife.com/wpcontent/uploads/2010/10/wherefreeradicalscomefrom.jpg> >.
5. Prídavné látky, sú pre nás potrebné?. [URL5] In: Food Today, 1998, č.01, [citované 9.2. 2011]. Dostupné z < <http://www.eufic.org/article/sk/page/FTARCHIVE/artid/additives/> >.
6. Neutralizácia voľných radikálov antioxidantmi [URL6], [citované 28.12.2010]. Dostupné z < <http://altered-states.net/barry/update227/antioxidant.jpg> >.

-
7. Antioxidant Ingredient Favorite: Coffee Berry. [URL7] Január, 2010, [citované 24.1. 2011]. Dostupné z < <http://antioxidantskincare.org/2011/01/> >.
 8. Antioxidanty. [URL8] Október, 2009, [citované 24.1. 2011]. Dostupné z < <http://www.aloeinfo.sk/node/37> >
 9. Antioxidant Foods: Green Tea. [URL9] Máj, 2010, [citované 28.12.2010]. Dostupné z < <http://antioxidantskincare.org/2010/05/> >.
 10. Červené víno- zdroj antioxidantov (resveratrolu) [URL10], [citované 19.2.2011]. Dostupné z < <http://resveratrol.zdravystyl.sk/resveratrol2.jpg> >.
 11. Zelený čaj [URL11], [citované 31.3.2011]. Dostupné z < <http://topnews.in/files/Green-Tea-Vaccine1.jpg> >.
 12. Zdroje fenolov v jednotlivých druhoch ovocia a zeleniny [URL12], [citované 28.12.2010]. Dostupné z < <http://www.healthychronicle.com/wp-content/uploads/2010/05/level.jpg> >.
 13. Zdroje jednotlivých druhov antioxidantov [URL13], [citované 19.12.2010]. Dostupné z < <http://www.aloeinfo.sk/node/37> >.
 14. Ovos siaty [URL14], [citované 15.2.2011]. Dostupné z < http://avena.agr.gc.ca/oatgenes/images/pictures/oat_left_soften_white.jpg >.
 15. Produkcia ovsa v krajinách za rok 2005 v percentuálnom zastúpení [URL15], [citované 14.2.2011]. Dostupné z < <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/6/65/2005oat.PNG> >.
 16. Ruža šípová [URL16], [citované 13.2.2010]. Dostupné z < http://blog.sme.sk/blog/2678/117530/clanok_foto.jpg >.
 17. Šípky [URL17], [citované 15.3.2011]. Dostupné z < http://infovekacik.infovek.sk/2005-november/urob/sipky_pol.jpg >.
 18. Jablň domáca [URL18], [citované 10.3.2011]. Dostupné z < <http://blogs.lifeway.com/blog/deeperstill/2008/08/20/apples.jpg> >.