

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Agronomická fakulta**  
Ústav výživy zvířat a pícninářství



## **Antioxidanty vo výžive hospodárskych zvierat**

Bakalárska práca

*Vedúci práce:*  
Ing. Pavel Horký, PhD.

*Vypracovala:*  
Ela Bieleschová

2015

Zadanie práce

## ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som prácu na tému **Antioxidanty vo výžive hospodárskych zvierat** vypracovala samostatne a použila som len pramene, ktoré citujem a uvádzam v priloženom zozname literatúry. Súhlasím, aby moja práca bola zverejnená v súlade s § 47 b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách v znení neskorších predpisov a v súlade s platnou *Smernicou o zverejňovaní vysokoškolských záverečných prác*.

Som si vedomá, že na moju prácu sa vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brne má právo na uzatvorenie licenčnej zmluvy na použitie tejto práce ako školského diela podľa § 60 odst. 1 autorského zákona.

Ďalej sa zaväzujem, že pred zapísaním licenčnej zmluvy o využití diela inou osobou (subjektom) si vyžiadam písomné stanovisko univerzity, že predmetná licenčná zmluva nie je v rozpore s oprávnenými záujmami univerzity, a zaväzujem sa uhradiť prípadný príspevok na úhradu nákladov spojených s vznikom diela a to až do ich skutočnej výšky.

V Brne dňa:.....

.....  
podpis

## **POĎAKOVANIE**

Chcela by som poďakovať vedúcemu bakalárskej práce Ing. Pavlovi Horkému, PhD. za odborné vedenie, rady, pripomienky, pomoc pri výbere a hľadaní literatúry a za trpezlivosť.

Obrovská vďaka patrí mojej rodine a priateľovi Rast'ovi za trpezlivosť, podporu v priebehu celého štúdia a Stanovi za korektúru.

## **ABSTRAKT**

Bieleschová, E.: Antioxidanty vo výžive hospodárskych zvierat, Bakalárska práca, MENDELU, Brno, 49 s.

Antioxidanty sú látky, ktoré reagujú s voľnými radikálmi, odovzdaním chýbajúceho elektrónu aj s neradikálovými oxidačne pôsobiacimi látkami, deaktivujú ich a tým zabraňujú oxidačnému poškodeniu. Antioxidanty sú prirodzenou súčasťou krmiva, ktoré sa skrmuje hospodárskymi zvieratami. Sú dôležité najmä u vysokoproduktívnych zvierat a majú významný vplyv na reprodukciu a produkciu. Voľné radikály sú vysoko reaktívne látky obsahujúce jeden alebo viac nespárených elektrónov, ktoré veľmi rýchlo reagujú s biologicky významnými molekulami, čím ich poškodzujú. Podobne reagujú i niektoré neradikálové formy oxidantov, ktoré spolu s voľnými radikálmi tvoria dve kategórie: reaktívne formy kyslíka (ROS) a reaktívne formy dusíka (RNS). Schopnosť zlúčeniny spomaľovať oxidačné pôsobenie ROS a RNS sa označuje ako antioxidačná aktivita. Antioxidačná kapacita určuje ako dlho trvá antioxidačný účinok. Na stanovenie antioxidačnej kapacity je možné použiť rôzne chemické a fyzikálno-chemické metódy.

Cieľom bakalárskej práce je zmapovanie, definovanie a roztriedenie antioxidantov najčastejšie používaných vo výžive hospodárskych zvierat. Zameriava sa na prírodné a syntetické antioxidanty a antioxidačné enzýmy. Sústreďí sa na výskyt najpoužívanejších antioxidantov, aký majú vplyv na organizmus zvierat, ich nadbytok, nedostatok a správne dávkovanie. Zdravého a spokojného jedinca dosiahneme vyváženou krmnou dávkou so zodpovedajúcim množstvom antioxidantov.

**Kľúčové slová:** antioxidanty, voľné radikály, hospodárske zvieratá

## **ABSTRACT**

Bieleschová, E.:Antioxidants in the nutrition of livestock, Bachelor thesis, MENDELU, Brno, 49 p.

Antioxidants are substances that react with free radicals by transmitting a missing electron, also with non-radical oxidative substances, deactivate them and thus prevent the oxidative damage. Antioxidants are a natural part of feed that is fed to livestock. They are important especially for highly productive animals and they have important impact on both reproduction and production. Free radicals are highly reactive, they consist of one or more unpaired electrons which react with biologically important molecules very fast, and so damage them. Some non-radical forms of oxidants react in a similar way and together with free radicals they form two categories: reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS). The ability of compounds to decelerate oxidative effect of ROS and RNS is identified as an anti-oxidative activity. Anti-oxidative capacity determines how long the anti-oxidative effect lasts. To state the anti-oxidative capacity it is possible to use various chemical and physicochemical methods.

The aim of the Bachelor's thesis is to chart, define and classify the antioxidants that are most frequently used in nutrition of livestock. It's focusing on both natural and synthetic antioxidants and antioxidant enzymes. It concentrates on occurrence of the most used antioxidants, their effect on animals, excess and lack of them and the correct dosing. A healthy and satisfied individual is achieved by a balanced ration with an appropriate amount of antioxidants.

**Key words:** antioxidants, free radicals, livestock

# Obsah

1 Úvod.....	9
2 Cieľ práce.....	10
3 Voľné radikály.....	11
3.1 Vznik voľných radikálov.....	11
3.2 Pôsobenie voľných radikálov.....	12
3.3 Reaktívne formy kyslíka (ROS).....	12
3.3.1 Superoxidový aniónový radikál (superoxid).....	13
3.3.2 Peroxid vodíka (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) .....	14
3.3.3 Singletový kyslík ( $\Delta^1\text{O}_2$ ).....	14
3.3.4 Hydroxylový radikál (OH $\cdot$ ).....	14
3.3.5 Kyselina chlórna (HClO).....	14
3.3.6 Ozón (O <sub>3</sub> ).....	15
3.3.7 Peroxylový radikál (ROO $\cdot$ ).....	15
3.4 Reaktívne formy dusíka (RNS).....	15
3.4.1 Oxid dusnatý (NO $\cdot$ ).....	15
3.4.2 Peroxynitrit.....	16
4 Antioxidačná aktivita.....	16
4.1 Metódy stanovenia antioxidačnej kapacity .....	17
4.1.1 Chemické metódy.....	17
ABTS=TEAC.....	17
DPPH.....	17
ORAC.....	18
FRAP.....	18
Metóda s Folin-Ciocalteovým činidlom .....	18
4.1.2 Fyzikálno-chemické metódy.....	18
Elektrónová spinová rezonancia.....	18
Stanovenie redox potenciálu .....	19
Chemiluminiscencia.....	19
4.1.3 Ďalšie metódy.....	19
DMPD.....	19
Metóda FR (Free Radicals).....	19
Metóda TRAP (Total Radical trapping Antioxidant Parameter).....	20
Lipidové peroxidačné metódy.....	20
Metódy založené na vychytávaní superoxidového radikálu.....	20
5 Antioxidanty.....	21
5.1 Delenie antioxidantov.....	21
5.1.1 Podľa pôvodu.....	21
5.1.2 Podľa štruktúry (Kerestész a kol., 2011).....	21
5.1.3 Podľa spôsobu vstupu do organizmu.....	21
5.1.4 Podľa umiestnenia.....	21
5.1.5 Podľa rozpustnosti.....	22
5.1.6 Podľa enzýmovej povahy.....	22
5.2 Prírodné antioxidanty.....	22
5.2.1 Kyselina L-askorbová (Vitamín C).....	22
5.2.2. Vitamín E.....	23
5.2.3 Vitamín A.....	24

5.2.4 Karotenoidy.....	25
5.2.4.1 Beta-karotén.....	26
5.2.5 Polyfenoly.....	26
5.2.5.1 Flavonoidy .....	27
5.2.5.1.1 Antokyány.....	27
5.2.5.1.2 Pyknogenol.....	28
5.2.6 Koenzým Q (Ubichinon).....	28
5.2.7 Kyselina lipoová.....	29
5.2.8 Nikotínamid (Niacín).....	29
5.2.9 Zinok.....	30
5.2.10 Meď.....	32
5.2.11 Selén.....	33
5.2.12 Kyselina močová.....	35
5.2.13 Taurín.....	36
5.2.14 Bilirubín.....	36
5.2.15 Glutatión.....	36
5.2.16 Melatonín.....	36
5.3 Syntetické antioxidanty.....	37
5.3.1 BHA (butylhydroxyanizol).....	37
5.3.2 BHT (butylhydroxytoluén).....	37
5.3.3 TBHQ (2-terc. Butylhydrochinón).....	37
5.3.4 Galláty.....	37
5.4 Antioxidačné enzýmy.....	38
5.4.1 Superoxiddismutáza (SOD).....	38
5.4.1.1 Cu <sup>2+</sup> /Zn <sup>2+</sup> -SOD (SOD 1).....	38
5.4.1.2 Mn-SOD (SOD2) a Fe-SOD.....	39
5.4.2 Glutatiónperoxidáza (GPx).....	39
5.4.2.1 Cytosolická glutatiónperoxidáza (cGPx).....	39
5.4.2.2 Gastorintestinálna glutatiónperoxidáza (gGPx).....	39
5.4.2.3 Fosfolipidhydroperoxid-GSH-peroxidáza (PHGPx).....	39
5.4.3 Glutatiónreduktáza (GR).....	40
5.4.4 Glutatióntransferáza (GST).....	40
5.4.5 Kataláza (CAT).....	40
5.4.6 Laktoperoxidáza (LPO).....	40
6 Záver.....	41
7 Zoznam literatúry.....	42



## 1 ÚVOD

K tomu aby zvieratá prežili plnohodnotný život a poskytli maximálny úžitok, potrebujú byť zdravé. Zdravie, okrem vhodných životných podmienok, úzko súvisí aj so správnou výživou. Vyvážená krmná dávka hospodárskemu zvieratú neškodí a navyše je schopná pomôcť mu prekonať negatívne vplyvy z okolia.

Voľné radikály sú chemické zlúčeniny obsahujúce jeden alebo viac nespárených elektrónov, ktoré prirodzene vznikajú v organizme hlavne pri bunkovom dýchaní. Môžu tam vznikáť tiež vplyvom rôznych vonkajších i vnútorných faktorov: ultrafialové a ionizujúce žiarenie, nesprávna výživa alebo stres, fyzická záťaž, starnutie. Tiež môžu byť prijímané z okolia pobytom v znečistenom prostredí. Jedná sa hlavne o reaktívne zlúčeniny kyslíka a dusíka, kde zaraďujeme aj niektoré neradikálové formy s podobným účinkom.

Organizmus vie voľné radikály zneškodniť pomocou enzýmových antioxidantov (SOD, GPx, GST, CAT a iné). Enzýmové antioxidanty majú schopnosť neutralizovať voľné radikály bez toho, aby sa sami stali nestabilnými. Problém nastáva pri oxidačnom strese, kedy je voľných radikálov nadbytok a organizmus ich nedokáže zneškodniť. Z toho dôvodu je potrebné do organizmu dodávať antioxidanty.

Antioxidanty sú látky, ktoré reagujú s voľnými radikálmi, odovzdaním chýbajúceho elektrónu aj s neradikálovými oxidačne pôsobiacimi látkami, deaktivujú ich a tým zabraňujú oxidačnému poškodeniu. Sú prirodzenou súčasťou krmiva, ktoré sa skrmuje hospodárskymi zvieratami. Dôležité je tiež pridávať antioxidanty do krmiva, pretože sa nie vždy vyskytujú v dostatočnom množstve v rastlinách.

Treba dbať na ich správne dávkovanie, aby sme zabezpečili správne fungovanie a nedošlo k oxidačnému a inému poškodeniu. Organizmu škodí nadbytok aj nedostatok antioxidantov. Pri správnom dávkovaní zvieratá netrpia oxidačným stresom, neznižuje sa ich úžitkovosť a ani kvalita konečných produktov – mlieka, mäsa.

## **2 CIEĽ PRÁCE**

Cieľom bakalárskej práce je zmapovanie, definovanie a roztriedenie antioxidantov najčastejšie používaných vo výžive hospodárskych zvierat.

Prvá časť sa zaoberá voľnými radikálmi a ďalšími oxidantami biomolekúl, antioxidačnou aktivitou a metódami, ktorými sa stanovuje antioxidačná kapacita.

Hlavná časť bakalárskej práce sa zameriava na prírodné a syntetické antioxidanty a antioxidačné enzýmy, ktoré sa najčastejšie používajú vo výžive hospodárskych zvierat, na ich výskyt, pôsobenie na organizmus zvierat, ich nadbytok a nedostatok.

### 3 VOĽNÉ RADIKÁLY

Voľné radikály sú atómy, molekuly alebo ich fragmenty, ktoré majú jeden alebo viac nespárených elektrónov a sú schopné, hoci len na krátky čas, samostatnej existencie. Sú to väčšinou veľmi reaktívne látky, ktoré svoj nespárený elektrón prevažne spárujú s elektrónom odobraným iným látkam, čím ich oxidujú. Preto ich voláme oxidanty. Voľné radikály môžu veľmi rýchlo reagovať s biologicky významnými molekulami, ako sú lipidy, proteíny a nukleové kyseliny (Ďuračková, 1999).

Voľný radikál môže vzniknúť tromi spôsobmi: Homolytickým štiepením kovalentnej chemickej väzby, pričom každý fragment získa jeden nepárový elektrón, alebo pridaním jedného elektrónu k normálnej molekule – redukciou, alebo oxidáciou čo je strata jedného elektrónu. K homolytickému štiepeniu je potrebné veľké množstvo energie (vysoká teplota, ultrafialové alebo ionizačné žiarenie). V biologických systémoch vznikajú oveľa jednoduchšie, a to redukciou alebo oxidáciou. Radikály môžu byť neutrálné, záporne alebo kladne nabité ióny (Štípek, 2000).

Takúto vlastnosť majú aj niektoré neradikálové formy kyslíka a dusíka, preto boli vytvorené kategórie: **reaktívne formy kyslíka** (ROS) a **reaktívne formy dusíka** (RNS), zahrňujúce radikálové i neradikálové formy podobných vlastností (Kuka, 2013).

#### 3.1 Vznik voľných radikálov

Vznik radikálov môže byť iniciáciou celého reťazca ďalších reakcií. Všeobecne sú radikály veľmi reaktívne častice, pretože sa snažia doplniť si párový elektrón a tak sú schopné sa rýchlo naviazať na inú štruktúru alebo elektrón odovzdať inej molekule, alebo jej ho vziať. Pokiaľ radikál reaguje s „normálnou“ molekulou, zmení ju na radikál a radikálová reakcia sa propaguje do okolia. Reakciou dvoch radikálov sa nepárové elektróny spoja a vzniká „normálna“ molekula. Radikálová reakcia končí termináciou (Štípek, 2000). Vznikajú v tele pri normálnych fyziologických procesoch (bunkové dýchanie), vo zväčšenej miere však v stresových situáciách (stres z tepla, pôrod, nadmerná fyzická záťaž). Nadmerná produkcia voľných kyslíkových radikálov môže byť tiež spôsobená nadmerným príjmom mykotoxínov, iónov zinku, kadmia a olova (Horký a kol., 2013).

### **3.2 Pôsobenie voľných radikálov**

Voľné radikály pôsobia na biologicky dôležité makromolekuly, najmä na bielkoviny, sacharidy, tuky a DNA. U DNA môže dochádzať ku stratám informácií, čo môže ovplyvniť delenie buniek. Poškodenie prepisu buniek môže viesť k mutáciám, alebo zániku buniek. Ďalej môže dochádzať ku stratám enzymatickej aktivity bielkovín, ktoré následne neplnia svoje funkcie (Halliwell a Gutteridge, 1990).

Ak sú tukové časti bunkových membrán nedostatočne chránené a bez dostatočného množstva antioxidantov, nastáva ich peroxidácia a teda žltnú, čo môže narušiť štruktúru bunecnej membrány. Každá peroxidovaná molekula tuku je schopná peroxidovať inú molekulu, s ktorou sa stretne a tak vzniká reťazová reakcia (Sousa a kol., 2009).

### **3.3 Reaktívne formy kyslíka (ROS)**

Značná reaktivita kyslíka je príčinou toho, že okrem štvorelektrónovej redukcie dikyslíka v dýchacom reťazci vznikajú v bunkách počas iných reakcií aj čiastočne redukované kyslíkové anióny (aniónradikál superoxidový a peroxidový) a z nich reaktívne formy kyslíka (hydroxylový radikál a singletový kyslík). Nežiadúcimi oxidáciami alebo vyvolaním tvorby iných voľných radikálov môžu poškodzovať bunkové štruktúry (Táborská, Sláma, 2007).

Tvorba kyslíkových radikálov je nevyhnutnou súčasťou aeróbného metabolizmu. Organizmus musí čeliť oxidačným poškodeniam svojich biomolekúl antioxidantnou ochranou. Oxidačný stres sa podieľa na patogenéze mnohých zápalových a degeneratívnych ochorení a je tiež považovaný za podstatu fyziologického starnutia ako dôsledok akumulácie malých chýb systému antioxidantnej ochrany (Pláteník, 2009). Aj u rastlín, ktoré sa stretli s oxidačným stresom pri vystavení pôsobeniu ťažkých kovov, vedie k poškodeniu buniek a narušeniu bunecnej homeostázy (Kryštofová a kol., 2010).

Z vonkajších faktorov, ktoré vyvolávajú vznik voľných radikálov sú to:

- ionizujúce žiarenie alebo intenzívne pôsobenie slnečného žiarenia na pokožku,
- cudzorodé látky prijaté s potravou,
- nedostatok potrebných antioxidačných látok v potrave,
- dlhodobé vdychovanie vzduchu s vysokým parciálnym tlakom kyslíka (nad 40 kPa) (Táborská, Sláma, 2007).

Kyslík je silný oxidant a reaguje s veľkým množstvom organických a anorganických látok (Marounek, 2006).

Pri nedostatku antioxidantov vzniká v organizme množstvo voľných radikálov, ktoré nie sú zlikvidované. Z vyššie uvedeného je zrejmé, že toto má za následok poruchy správnej funkcie metabolizmu, dochádza k narušeniu správnej činnosti rozmnožovacej sústavy a celkovo je organizmus v strese. Z hľadiska úžitkovosti je potrebné uviesť v súvislosti so zvýšeným výskytom voľných radikálov v organizme najmä: zvýšený odtok štiav z mäsa, jeho neadekvátnu farbu a zníženú oxidačnú stabilitu alebo žltnutie tukov.

### **3.3.1 Superoxidový aniónový radikál (superoxid)**

Superoxidový aniónový radikál je jedna z najdôležitejších reaktívnych foriem kyslíka. Vzniká jednoelektrónovou redukciou dikyslíka.

Asi 1 – 3 % kyslíka, ktorý aeróbne organizmy využívajú, sa na tento radikál premieňa. Má povahu aniónu a vzniká tam, kde je vo vodnom prostredí prítomný kyslík, účinkom ionizujúceho žiarenia alebo ultrazvuku, tiež pri niektorých enzýmových reakciách a pri autooxidácií organických látok (Marounek, 2006).

Častejšie sa redukuje ako oxiduje. Jednoelektrónová redukcia dikyslíka sprevádza za určitých okolností a v obmedzenej miere radu bežných enzýmovo katalyzovaných oxidoredukčných reakcií. Superoxid môže vznikáť aj pri neenzýmových oxidáciách niektorých zlúčenín dikyslíka (pri oxidácií ubichinonu atď). Tiež pri fagocytóze cudzorodých buniek neutrofilnými granulocytmi alebo makrofágmi.

Superoxid má krátku životnosť a jeho koncentrácia je v bunkách a extracelulárnej tekutine udržiavaná na nízkej úrovni antioxidačnými ochrannými systémami. Najvýznamnejšia je dismutácia superoxidu na dikyslík a peroxid, ktorú katalyzuje superoxid-dismutáza (SOD) (Táborská, Sláma, 2007).

### 3.3.2 Peroxid vodíka ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )

Peroxid vodíka patrí tiež k reaktívnym formám kyslíka. V bunkách je produktom dvojelektrónovej redukcie dikyslíka. Peroxid vodíka je nepolárna látka, difunduje lipidovými membránami, uplatňuje väčšinou slabý oxidačný účinok (Táborská, Sláma, 2007).

Reakcie peroxidu vodíka s biomolekulami sú pomerne pomalé, ale v prítomnosti tranzitných kovov sa pohoťovo redukuje. Reakcia, pri ktorej je katalyzátorom železo sa nazýva Fentonova reakcia. Pri tejto reakcii vzniká veľmi toxický hydroxylový radikál.

### 3.3.3 Singletový kyslík ( $\Delta^1\text{O}_2$ )

Singletový kyslík je neradikálová forma molekuly kyslíka, ktorá vznikne z  $\text{O}_2$  po excitácii zmenou spinu a presunom jedného nespáreného elektrónu do orbitálu, v ktorom sa nachádza druhý nespárený elektrón. Voči molekule  $\text{O}_2$  v základnom stave je oveľa reaktívnejší, menej stabilný a má silné cytotoxické účinky (Kuka, 2013).

Bolo preukázané, že singletový kyslík je produktom fotooxidácie sprostredkovanej pomocou pigmentov po absorpcii svetla, ale tiež enzýmovou reakciou katalyzovanou laktoperoxidázou alebo lipoperoxidátou (Agnéz-Lima a kol., 2012)

### 3.3.4 Hydroxylový radikál ( $\text{OH}^\cdot$ )

Hydroxylový radikál vzniká ionizujúcim žiarením alebo Fentonovou reakciou. Hydroxylový radikál v živej hmote okamžite reaguje s okolitými biomolekulami. Ide o extrémne silné oxidačné činidlo, vytrhujúce elektrón z nenasýtených mastných kyselín, atakujúce a hydroxylujúce aminokyseliny a bázy nukleových kyselín. Po Fentonovej reakcii ďalší superoxid redukuje trojmocné železo späť na dvojmocné, takže je regenerované pre ďalšiu katalýzu (Štípek, 2000). Pri nadbytku môže dôjsť k poškodeniu lipoproteínov a bunkových membrán (Pham-Huy a kol., 2008).

### 3.3.5 Kyselina chlórna ( $\text{HClO}$ )

Kyselina chlórna je silný oxidant. Syntetizujú ju neutrofilné granulocyty pomocou myeloperoxidázy. Polymorfonukleáry (neutrofilné granulocyty) ju používajú spolu s ďalšími ROS a RNS ako baktericidný prostriedok (Štípek, 2000).

### 3.3.6 Ozón (O<sub>3</sub>)

Ozón je alotropickou modifikáciou kyslíka. Vzniká z dikyslíka pôsobením krátko-  
vlnného UV žiarenia (UVC), v elektrickom poli o veľmi vysokom napätí, aj pri tichých  
výbojoch a v niektorých chemických reakciách. Dikyslík je hemolyticky štiepený na ne-  
stabilný atómový kyslík, časť kyslíkových atómov sa zlúči s molekulami dikyslíka  
na ozón a väčšina zvyšných atómových kyslíkov vytvorí dikyslík (Táborská,  
Sláma, 2007).

### 3.3.7 Peroxylový radikál (ROO<sup>•</sup>)

Peroxylový radikál vzniká oxidáciou nenasýtených mastných kyselín a rozpadom  
reakčného produktu (Halliwell, 1979). Molekulovým predchodcom peroxylového radi-  
kálu je hydroperoxid, ktorý vzniká reakciou kyslíka s dvojitou väzbou mastnej kyseliny.  
Peroxidácia lipidov je reťazová reakcia poskytujúca stály prísun voľných radikálov, ktoré  
spôsobia ďalšiu peroxidáciu (Marounek, 2006).

## 3.4 Reaktívne formy dusíka (RNS)

RNS sú ďalšou významnou skupinou reaktívnych foriem so značným vplyvom  
na životné procesy organizmov (Kuka, 2013). Východiskovým substrátom pre vznik  
RNS je aminokyselina arginín. Pôsobením NO syntázy sa tvorí z guanidínovej skupiny  
arginínu citrulín a dusík sa transformuje do podoby NO (oxidu dusíka). Táto skratka za-  
hŕňa NO, NO<sup>+</sup>, NO<sup>•</sup>, NO<sup>2-</sup> (Suržin, Ledvina, 2002).

### 3.4.1 Oxid dusnatý (NO<sup>•</sup>)

Je radikál s jedným nespáreným elektrónom.

Oxid dusnatý je veľmi jednoduchá molekula, syntetizuje sa v tele pomerne zložitým en-  
zýmovým mechanizmom. Oxid dusnatý a jeho metabolity sú za určitých okolností prud-  
ko jedovatými látkami (Štípek, 2000).

Ako uvádza Kaplán (2010) vďaka svojim vlastnostiam (malé rozmery, dobrá roz-  
pustnosť vo vodnom i lipidovom prostredí, ľahká difúzia v cytoplazme i biologických  
membránach, pomerne dlhý polčas rozpadu – niekoľko sekúnd) plní v organizmoch  
veľmi významnú funkciu ako signálna molekula, regulujúca rôzne fyziologické procesy.  
Hoci všeobecne má NO kardioprotektívne účinky, jeho zvýšená tvorba môže byť  
pre bunky škodlivá (Kuka, 2013).

Oxid dusnatý reaguje so železom oxyhemoglobínu, vzniká methemoglobín a nitrát. Je to jeden z najúčinnějších spôsobov inaktívácie  $\text{NO}^\cdot$ . Tiež rovnako intenzívne reaguje na hemové železo enzýmu guanylátcyklázy, čo je podstata stimulácie cGMP, vedúca k vazodilatácii. V prítomnosti akceptorov elektrónov ( $\text{NO}_2^\cdot$ , tranzitných kovov) sa oxid dusnatý ľahko zlučuje s fenolmi (tyrozín), tiolmi (cysteín, GSH, albumín). Glutatión sa ľahko metabolizuje na radikál  $\text{GS}^\cdot$  a ten s  $\text{NO}^\cdot$  dáva nitrosotiol (Štípek, 2000).

### 3.4.2 Peroxynitrit

Je oxidačným činidlom (Štípek, 2000). Reaktívna molekula vznikajúca z oxidu dusnatého reakciou so superoxidom. Má cytotoxické pôsobenie.

Peroxynitrit sa počas svojej krátkej životnosti difunduje do tkaniva, kde zničí biologické molekuly (oxidácia, nitrácia a hydroxalácia proteínov a DNA). Výsledkom pôsobenia sú početné fokálne mikroskopické nekrózy v infikovaných orgánoch (Toman, 2009).

## 4 ANTIOXIDAČNÁ AKTIVITA

Je to schopnosť zlúčeniny alebo zmesi látok inhibovať oxidačnú degradáciu rôznych zlúčenín. Pre vzájomné porovnávanie antioxidačných účinkov rôznych zmesí bol v súvislosti s analýzou potravinových vzoriek zavedený pojem celková antioxidačná aktivita TAA (total antioxidant activity) (Čížková, 2009).

Antioxidačná kapacita poskytuje informácie o dĺžke trvania antioxidačného účinku, reaktivita charakterizuje počiatočnú dynamiku priebehu antioxidačného procesu pri určitej koncentrácii antioxidantu (Šulc a kol., 2007).

Antioxidačnú aktivitu látok môžeme merať chemickými a fyzikálno-chemickými metódami. Medzi základné používané metódy patria: Metóda FRAP (Ferric ion Reducing Antioxidant Power assay), TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity), DPPH (s difenylpikrylhydrazylom), DMPD (s dimetylfenyléndiamínom) a metóda FR (Free Radicals), ORAC, TRAP



## 4.1 Metódy stanovenia antioxidantnej kapacity

### 4.1.1 Chemické metódy

#### *ABTS=TEAC*

Metóda ABTS tiež označovaná ako TEAC metóda (Trolox equivalent antioxidant capacity). Je to jedna z najčastejšie používaných metód na stanovenie antioxidantnej kapacity.

Metóda ABTS je založená na sledovaní inaktívácie radikálového kationu  $ABTS^{\cdot+}$  vznikajúceho oxidáciou [2,2-azinobis(3-etylbenzotiazolin-6-sulfát)], kde aktivačným činidlom je AAHP [2,2-azobis(2-amidinopropán)dihydrochlorid],  $H_2O_2$  v prítomnosti peroxidázy, hexakynoželeznatanu tetradrasselného  $K_4 [Fe (CN)_6]$  alebo peroxosíranu draselného  $K_2S_2O_8$ .  $ABTS^{\cdot+}$  má vo viditeľnej oblasti spektra (600-750 nm) silnú absorbciu. Roztok je zelený. Antioxidačná aktivita sa stanovuje spektrofotometricky. TEAC vyjadruje počet radikálových kationov  $ABTS^{\cdot+}$  inaktivovaných jednou molekulou antioxidantu. Stanovenie TEAC je závislé na čase inkubácie, na pomere množstva vzorky a koncentrácie  $ABTS^{\cdot+}$ . Táto metóda je na meranie lipofilných aj hydrofilných antioxidantov (Šulc, 2007).

#### *DPPH*

Princípom metódy DPPH je reakcia voľného radikálu DPPH $\cdot$  (2,2-difenyl-1-pikrylhydrazyl) s donormi vodíka.

Podľa Stratila (2007) má DPPH fialovo modré sfarbenie. Antioxidanty redukujú DPPH na DPPH-H (Strejčková, 2013).

DPPH sa prejavuje silnou absorpciou v UV a VIS spektre (Tepe, a kol. 2006 cit. Čížková 2009).

Ako uvádza Fogliano a kol. (1999) antioxidačná aktivita a reakčná rýchlosť závisí na rýchlosti a úbytku DPPH $\cdot$ . Výhody DPPH metódy sú selektívnosť pri reakcii s donormi vodíka, jednoduchosť, uskutočniteľnosť a citlivosť pri detekcii látok pri nízkych koncentráciách (Krejčí, 2012).

Podľa Pareja a kol. (2000) antioxidačná aktivita je daná schopnosťou vychytávať radikál DPPH $\cdot$ . Prítomnosť antioxidantov sa stanovuje spektrofotometricky pri vlnovej dĺžke 515 nm. Vzorka sa odfarbí (Krejčí, 2012).

## **ORAC**

ORAC metóda (Oxygen radical absorbance capacity) je založená na eliminácii radikálov (Čížková, 2009).

Metóda generuje kyslíkové radikály a hodnotí schopnosť testovanej látky zastaviť alebo spomaliť radikálovú reakciu. Detekcia je založená na sledovaní úbytku fluorescie beta-fykoerytrínu po ataku radikálmi. Na vyhodnotenie peroxylových radikálov sa využíva AAPH (2,2-azobis(izobutylamidín)-dihydrochlorid) a pre hydroxylové radikály  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Cu}^{2+}$ . Nakoľko tieto radikály patria k najreaktívnejším, je test ORAC dôležitým parametrom charakterizujúcim antioxidanty (Paulová a kol., 2004).

## **FRAP**

Metóda FRAP (Ferric reducing antioxidant potential) je založená na princípe redoxnej reakcie. Pri tejto metóde antioxidanty redukujú zo vzorky komplex  $\text{Fe}^{3+}$ -2,4,6-tri(2-pyridyl-1,3,5,-triazin). Po redukcii sa vytvára namodro sfarbený železnatý komplex. Nárast absorbancie závisí na množstve komplexu  $\text{Fe}^{2+}$ -2,4,6-tri(2-pyridyl-1,3,5,-triazin) a je mierou antioxidačnej aktivity vzorky. Meria sa spektrofotometricky pri 593 nm. Metóda FRAP odráža iba schopnosť látok redukovať ión  $\text{Fe}^{3+}$  (Paulová a kol., 2004).

## **Metóda s Folin-Ciocalteovým činidlom**

Gulluce a kol. (2007) uvádza, že metóda sa uplatňuje k celkovému stanoveniu fenolických látok. Metóda je založená na reakciách s činidlom podľa Folin-Ciocalteua (roztok fosforečnanu molybdenového a wolframového, ktorý je kyslý a sfarbený na žltu). V alkalickom prostredí v prítomnosti činidla dochádza k rýchlej oxidácii fenolických látok za vzniku modro sfarbeného molybdéno-wolfrámového komplexu (Čížková, 2009).

### **4.1.2 Fyzikálno-chemické metódy**

#### **Elektrónová spinová rezonancia**

Princípom tejto metódy je schopnosť určiť prítomnosť iónov, ktoré obsahujú nepárové elektróny. Je to vhodné na stanovenie voľných kyslíkových radikálov alebo ich komplexov. Najpoužívanejšími činidlami sú N-terc-butyl-alfa-fenylnitron a 2,2-dime-tyl-3,4-dihydro-2H-pyrol-1-oxid (DPMO). Zistilo sa, že k tvorbe hydroxylo-

vého radikálu nedochádza po začatí testu, ale až po určitom čase. Tento čas môže byť využitý ako indikátor endogénnej antioxidačnej aktivity vzorky (Čížková, 2009).

### ***Stanovenie redox potenciálu***

Pri stanovení redox potenciálu sa používa štandardná vodíková elektróda. Rozpustený kyslík (hodnota rH je lineárne závislá na jeho koncentrácii), ťažké kovy (železo, meď) a látky povahy reduktorov zásadne ovplyvňujú hodnotu redox potenciálu. Merané potenciály vyjadrujú iba okamžitý oxidačno-redukčný vplyv uvedených látok vo vzorke. Tieto hodnoty nemôžu byť použité ku kvantifikácii všeobecných antioxidačných vlastností vzorky, pretože sa na ňom podieľajú aj elektrochemicky neaktívne látky (Karabín, Dostálek, Hofta, 2006).

### ***Chemiluminiscencia***

Metóda sa používa na stanovenie intenzity oxidácie lipidov s použitím luminiscenčných činidiel isoluminol a pyrazín-3-on (analog luciferinu).

Chemiluminiscencia alebo chemické svetlo vzniká premenou chemickej energie na svetelnú. Uvoľnená chemická energia prevádza atómy alebo molekuly do excitovaného stavu, ktoré takto získanú energiu uvoľňujú vo forme fotónov (Čížková, 2009).

## **4.1.3 Ďalšie metódy**

### ***DMPD***

Metóda DMPM je založená na princípe oxidácie N,N-dimetyl-p-fenyléndiamínu (DMPD) chloridom železitým a vzniká  $DMPD^{\cdot+}$ , ktorý tvorí bezfarebný roztok. V prítomnosti antioxidantu nastáva inhibícia oxidácie. Výsledky sa stanovujú spektrofotometricky pri 505 nm (Stratil, 2007 cit. Strejčková, 2013).

### ***Metóda FR (Free Radicals)***

Metóda FR vychádza so schopnosti chlorofylínu (sodnomoďnaté soli chlorofylu) odovzdávať a prijímať elektróny počas stabilnej zmeny absorpčného maxima. Podmienkou tohto efektu je alkalické prostredie a prídavok katalyzátora. Kvantifikácia nameraných hodnôt absorbancie je možná vďaka schopnosti iónov železa prechádzať z dvojmocného na trojmocné v alkalickom prostredí (Dobeš, 2013). Výsledky sú zisťované spektrofotometricky pri 450 nm. Ako štandard sa používa Trolox alebo kyselina galová (Sochor a kol., 2010).

### ***Metóda TRAP (Total Radical trapping Antioxidant Parameter)***

Princípom TRAP metódy je generovanie peroxylového radikálu z 2,2'-azobis-(2-amidinopropán)-dihydrochloridu (ABAP). Po pridaní ABAP k vzorke sa pomocou kyslíkovej elektródy meria spotreba kyslíka, ktorá je úmerná antioxidačnej aktivite. Do reakčnej zmesi sa pridáva luminol (5-amino-2,3-dihydro-1,4-ftalazindión), ktorý detekuje radikály vznikajúce pyrolýzou ABAP za vzniku chemiluminiscenčného signálu. Po pridaní antioxidantu dôjde k vychytávaniu radikálov a ku zníženiu signálu. Ak sa antioxidanty vyčerpajú, signál sa opäť zvýši. Antioxidačná aktivita je úmerná času, počas ktorého je vzorka schopná vychytávať radikály (Dobeš, 2013).

### ***Lipidové peroxidačné metódy***

Lipidová peroxidácia vyvolaná voľnými radikálmi je jedným z najvýznamnejších patologických pochodov v organizme. Látky, ktoré potlačujú lipidovú peroxidáciu môžu eliminovať iniciačné kyslíkové radikály, druhotne vzniknuté radikálové medzi produkty (peroxyly, alkoxyly) alebo pôsobia ako látky chelátujúce ióny prechodných prvkov. Existuje veľa metód hodnotiacich vplyv antioxidantov. Jednoduché metódy s jednoduchými lipidmi v jednoduchom systéme ako sú: hodnotenie produktov peroxidácie kyseliny linolovej, hodnotenie sekundárnych produktov lipidovej peroxidácie malondialdehydu na základe farebnej reakcie s kyselinou tiobarbitúrovou, až po zložitejšie. Jednou z najpoužívanejších metód k hodnoteniu schopnosti látok eliminovať lipidovú peroxidáciu je metóda TBA-MDA (Yamanaka, 1997, Van Der Sluis, 2000; Daglia, 2000; Nielsen, 1997 cit. Řeháková, 2009). Táto metóda je založená na princípe stanovenia sekundárnych produktov lipidovej peroxidácie malondialdehydu (MDA) na základe jeho farebnej reakcie s kyselinou tiobarbitúrovou (TBA). Absorbancia je meraná pri vlnovej dĺžke 532 nm. Spektrofotometrické stanovenie zlúčeniny TBA-MDA je jednoduché a citlivé ale nešpecifické, pretože zahrňuje stanovenie všetkých látok reagujúcich s TBA (Haenen, 1983 cit. Dobeš, 2013).

### ***Metódy založené na vychytávaní superoxidového radikálu***

K produkcii radikálu je používaný systém xantin-xantinoxidáza alebo neenzýmová reakcia 5-metylfenaziniumsulfátu. Vzniknutý radikál redukuje nitotetrazoliovú modrú, detekuje sa spektrofotometricky pri 560 nm (Duniec, 1983, Wood, 2002, Lu, 2001 cit. Dobeš, 2013).

## **5 ANTIOXIDANTY**

Antioxidant je látka, ktorej molekuly obmedzujú aktivitu kyslíkatých molekúl. Zabraňuje oxidačnému poškodeniu molekúl voľnými radikálmi a reaktívnymi metabolitmi.

Antioxidanty reagujú s voľnými radikálmi viacerými mechanizmami, napríklad tým, že im odovzdávajú chýbajúci elektrón a tak zabraňujú oxidačivnému poškodeniu. Zistilo sa, že antioxidanty spomaľujú, blokujú a zabraňujú oxidačným zmenám v organizme a preto sa zámernie pridávajú do potravín, kde svojím antioxidantným pôsobením predlžujú trvanlivosť (Velíšek, 1999). Bohatým zdrojom antioxidantných vitamínov a ďalších fytochemikálií s antioxidantnými vlastnosťami sú ovocie, zelenina, orechy a semená (Bímová, Pokluda, 2009).

### **5.1 Delenie antioxidantov**

#### **5.1.1 Podľa pôvodu**

Prírodné antioxidanty

Syntetické antioxidanty

#### **5.1.2 Podľa štruktúry (Kerestěš a kol., 2011)**

Vysokomolekulové antioxidanty

Nízkomolekulové antioxidanty

#### **5.1.3 Podľa spôsobu vstupu do organizmu**

Endogenné – organizmus si ich vytvára sám

Exogenné – organizmus ich prijíma z okolia

#### **5.1.4 Podľa umiestnenia**

Intracelulárne

Extracelulárne

### 5.1.5 Podľa rozpustnosti

Lipofilné – rozpustné v tukoch

Hydrofilné – rozpustné vo vode

Amfofilné – majú vlastnosti aj lipofilných aj hydrofilných antioxidantov

### 5.1.6 Podľa enzýmovej povahy

Enzýmové

Neenzýmové

## 5.2 Prírodné antioxidanty

### 5.2.1 Kyselina L-askorbová (Vitamín C)

Kyselina L-askorbová je vitamín rozpustný vo vode a zároveň veľmi dobrý antioxidant, ktorý chráni organizmus pred voľnými radikálmi. Väčšina zvierat a rastlín (okrem ľudí, opíc, morčiat, srn a niektorých rýb) ju vie syntetizovať. Syntetizovať si ju nevedia teľatá v prvých 20-50 dňoch svojho života, a tak sú závislé na podávaní vitamínu C (Pavlata cit. Hofirek 2009).

Spája všetky bunky v tele. Posilňuje spojivové tkanivo, spája bielkoviny a iné substancie do neroztrhnutelného kolagénu (dôležitá súčasť väzivových tkanív). Vyhladzuje a spevňuje všetky steny ciev. Pomáha pri syntéze karnitínu z aminokyseliny lyzínu. Umožňuje vyplavovať hormóny a tým podporuje rast, sexuálne a stresové hormóny, činnosť štítnej žľazy, pomáha pri hojení rán (Jordán, 2001). Taktiež stimuluje hydroxyláciu 25-hydroxycholecalciferolu v obličkách a prispieva tak k využitiu vápnika (Zeman, 2006). Vitamín C je silný inhibítor peroxidácie lipidov a regeneruje vitamín E v lipoproteínoch a membránach (Fusco a kol., 2007).

Kyselina L-askorbová je organizmom prijímaná z krmiva alebo je syntetizovaná z kyseliny glukurónovej v pečeni a obličkách (Pavlata cit. Hofirek, 2009). Kyselina L-askorbová nie je vždy dostupná v potrebnom množstve. Praktické použitie vychádza z fyziologickej stresovej reakcie. Jej nedostatok najmä v nadobličkách zhoršuje priebeh stresovej reakcie, pretože neprebíha potrebným spôsobom metabolizmus nadobličkových hormónov. Je veľmi citlivá na prítomnosť niektorých kationov (Zn, Hg, Co, Fe), ktoré sú bežne prítomné v krmivách. Významný problém predstavujú ióny  $Fe^{3+}$ , prítomné v prachu a v okolitom prostredí. Riešenie prinášajú deriváty kyseliny askorbovej,

prípadne technologické úpravy pred aplikáciou. Navrhnuté bolo aditívum do suchého krmiva a pitnej vody pre zvýšenie odolnosti voči stresovým faktorom z koreňa chrenu dedinského (*Armoracia rusticana*) (Opletal, Skřivanová, 2010).

Potreba je závislá na pohlaví, veku, ročnom období, výžive, fáze laktácie, reprodukcie a na zdravotnom stave. Potreba sa zvyšuje pri gravidite, infekčných ochoreniach, poškodení pečene a strese (Pavlata cit. Hofírek, 2009).

Nedostatok vitamínu C zapríčiňuje zvýšenú náchylnosť k infekčným ochoreniam, krvácanie slizníc a zníženie pevnosti škrupín. Ako uvádza Pavlata ďalšími príčinami sú zaostávanie v raste, poruchy kože a srsti (Hofírek, 2009). U hospodárskych zvierat toto zväčša nehrozí, pretože si ju dokážu v dostatočnom množstve syntetizovať v pečeni. Jedine v záťažových situáciách kedy sa vyčerpá pohotová rezerva z nadobličiek je vhodné ju podať (Zeman, 2006).

U hospodárskych zvierat nehrozí karencia ani predávkovanie kyseliny L-askorbovej. V organizme sa neukladá, prebytok sa vylučuje močom.

Zdrojmi kyseliny L-askorbovej sú zelené krmivá, zemiaky, repa, mlieko.

### **5.2.2. Vitamín E**

Vitamín E je vitamín rozpustný v tukoch.

Tvorí ho 4 tokofetoly alfa- až delta- a 4 tokotrienoly tiež alfa- až delta-. Antioxidačná účinnosť vzrastá od alfa- k delta-, čo je obrátené poradie ako u vitamínového účinku. Najčastejšie sa vyskytujúci je alfa-tokoferol (Kalač, 2003).

Vitamín E je najdôležitejší exogénny antioxidant v cicavčom tele, chráni bunky pred oxidačným stresom a účinkami ROS a RNS. Pomáha spomaľovať starnutie, zlepšuje hojenie rán, pozitívne pôsobí na tvorbu pohlavných buniek a zvyšuje plodnosť. Je súčasťou membrán, kde chráni polyénové kyseliny pred peroxidáciou.

Tokoferoly majú schopnosť poskytovať vodíkový atóm, prenesením vodíka z fenolovej skupiny na voľný peroxiradikál a tým zastavujú radikálové reťazové reakcie. Vzniknutý fenoxylradikál môže reagovať s kyselinou askorbovou, s GSH alebo koenzýmom Q<sub>10</sub>, nastáva nevratná oxidácia a vzniknutý produkt je vylúčený žlčou do výkalov. Biologická aktivita vitamínu E je závislá najmä na hladine  $\alpha$ -TTP, ktorý je prítomný vo väčšine tkanív okrem pečene. Tokoferoly pôsobia antioxidačne vo väčšine tkanív protizápalovo, znižujú nefrotoxicitu niektorých emergentných látok v krmivách, pôsobia preventívne proti vzniku novotvarov, spomaľujú rozvoj neurodegeneratívnych chorôb,

zvyšujú imunitnú odozvu organizmu, tlmia poškodenie pokožky po ožiarení UV žiarením (Opletal, Skřivanová, 2010). Vitamín E je pomerne stály v podmienkach bez prístupu kyslíka a aj v neprítomnosti oxidovaných tukov (Kalač, 2003). Všetky formy vitamínu E sú resorbované v tenkom čreve (Opletal, Skřivanová, 2010). Jeho príjem je závislý na vstrebávaní tukov. Zásoby sa vytvárajú v tukovom tkanive (Mayne, 2003, Pavlata cit. Hofírek, 2009).

Nedostatok vitamínu E môže spôsobiť poruchy funkcie membrán, degeneráciu gonád, neplodnosť, degeneráciu nervových tkanív, oslabenie imunity, nekrózu pečene. Na nedostatok sú citlivé najmä mláďatá. Ako uvádza Opletal, Skřivanová (2010) u hospodárskych zvierat nebol nedostatok popísaný.

Pri predávkovaní hrozí toxicita. Prejavuje sa hnačkami, apatiou a svalovou slabosťou. V tomto prípade môže mať vitamín E prooxidačný efekt a navodzovať peroxidáciu. V praxi sa vitamín E kombinuje s vitamínom C. Vitamín E môžeme zvieratám podávať na tlmenie infekcií, zápalov, pri kožných ochoreniach, na regeneráciu epitelu močových ciest a pôsobí proti neplodnosti (Opletal, Skřivanová, 2010).

Odporúčané dávky pre prežúvavce sa pohybujú v rozmedzí 10 – 30 mg/ kg sušiny kŕmnej dávky (Sommer a kol., 1994). Pre laktujúce kobyly s priemernou hmotnosťou 500 kg je doporučená dávka 670 mg a pre žrebčov s priemernou hmotnosťou 550 kg je 458 mg (Zeman a kol., 2005). Podľa Nutrient requirements of swine (1988) je odporúčaná dávka pre ošípané v predvýkrme a výkrme 14 I.U. Odporúčaná dávka pre nosnice je 20 – 25 mg/kg kŕmnej zmesi a pre mäsné plemená 40 – 80 mg/kg kŕmnej zmesi (Zelenka, 2014).

Zdrojmi vitamínu E sú pšeničné klíčky, zelené krmivo, strukoviny, semená a za studena lisované rastlinné oleje. U mláďat je hlavným zdrojom vitamínu E kolostrum a mlieko.

### **5.2.3 Vitamín A**

Vzniká v organizme živočíchov z beta-karoténu. Je rozpustný v tukoch a skladovaný v pečeni.

Vitamín A je nestály a podlieha negatívnym vplyvom ako sú kyslík, svetlo, UV žiarenie, vyššia teplota a mikroprvky (Cu, Fe, Mn) (Hofírek, 2009).

Vitamín A má priaznivý vplyv na rezistenciu voči ochoreniam a na omedzenie negatívnych dopadov stresových faktorov v podmienkach veľkochovu. Je najdôležitej-



ším vitamínom pre zárodočný epitel vo vaječníkoch a v semeníkoch. Hrá dôležitú úlohu pri ochrane epitelov pred rohovatením (Zeman a kol., 2006). Má vplyv na vývoj a rast, diferenciu kostných a krvotvorných buniek (Hofírek, 2009). Ďalšou z funkcií je syntéza bielkovín, nukleových kyselín, glykoproteínov a glykolipidov (Stratil, 1993).

Horná dávka vitamínu A je limitovaná v kŕmnych zmesiach s cieľom zabrániť jeho nadmernej akumulácii v pečeni zvierat (Zeman a kol., 2006).

Deficit vitamínu A má za následok spomalenie rastu, rohovatenie kože a slizníc, poruchy plodnosti, šerosleposť, svetloplachosť, zníženie odolnosti organizmu.

Deficit vitamínu A mení metabolizmus AMK a zvyšuje sa významne vylučovanie močoviny a taurínu. Deficit vitamínu A znižuje odolnosť epiteliálnych tkanív proti pôsobeniu chemických karcinogénov (Stratil, 1993).

Na predávkovanie vitamínom A sú citlivé membrány bunkových organel a erytrocytov (Hofírek, 2009). Prejavmi hypervitaminózy sú zvracanie, apatia, zníženie príjmu krmiva, pokles úžitkovosti a hmotnosti, vypadávanie srsti a krvácaniny.

Odporúčané dávky pre hovädzí dobytok sa pohybujú v rozmedzí 6 000 – 10 000 I.U./kg sušiny kŕmnej dávky a pre malé prežúvavce 2000 – 4000 I.U./kg sušiny kŕmnej dávky (Sommer a kol., 1994). Pre laktujúce kobyly priemernou hmotnosťou 500 kg je doporučená dávka vitamínu A 80 400 I.U. a pre žrebčov s priemernou hmotnosťou 550 kg je 51 200 I.U. (Zeman a kol., 2005). Podľa Nutrient requirements of swine (1988) je odporúčaná dávka pre ošípané v predvýkrme 2 330 I.U. a vo výkrme 1 730 I.U. Odporúčaná dávka pre nosnice je 10 000 – 12 000 I.U./kg kŕmnej zmesi a pre mäsné plemená 11 000 – 14 000 I.U./kg kŕmnej zmesi (Zelenka, 2014).

Zdrojmi vitamínu A sú kolostrum, mlieko, vajcia.

#### **5.2.4 Karotenoidy**

Karotenoidy sú pigmenty rastlinného alebo živočíšneho pôvodu. Je ich viac než 800. Z chemického hľadiska sú to izoprénové zlúčeniny tzv. tetraterpény.

Sú rozpustné v tukoch a citlivé na oxidáciu, najmä pri pôsobení ultrafialového žiarenia (Kalač, 2003). Karotenoidy reagujú s voľnými radikálmi predovšetkým so singletovým kyslíkom a tak vracajú molekulu z excitovaného stavu do základného, netoxického (Kerestész a kol., 2011). Túto funkciu majú primárne karotenoidy v zelených častiach rastlín, kde chránia fotosyntetický aparát pred poškodením vplyvom intenzívneho slnečného žiarenia. V živočíšnom organizme premieňajú rizikovú energiu ul-

trafiť na teplo. Tým zhasávajú voľné radikály, ktoré by mohli poškodiť nukleové kyseliny a štruktúru buniek tak vážne, že by došlo k mutáciám. Sekundárne karotenoidy sú farbivá kvetov a plodov, majú za úlohu lákať opel'ovačov a roznášačov semien (Kalač, 2003).

Najznámejšou skupinou karotenoidov sú karotény. Karotény alfa a beta obsahujú dva cyklohexenylové kruhy, karotény gama a delta iba jeden kruh (Štípek, 2000). Z beta-karoténu vzniká v organizme vitamín A. Medzi karotenoidy s antioxidantnými účinkami patria *lykopén*, *kapsantín*, *zeaxantín*, *luteín*, *kryptoxantín*, *violaxantín* a *neoxantín* (Kalač, 2003).

Schopnosť premieňať karotény na vitamín A majú len bylinožravci a všežravci (Hofírek, 2009).

#### **5.2.4.1 Beta-karotén**

Beta-karotén je provitamín vitamínu A.

Premieňa sa na vitamín A v črevnej sliznici, pečeni a sekrečnom epiteli mliečnej žľazy. K jeho biologickým funkciám patrí antioxidantná aktivita, ovplyvňovanie imunitných procesov, prevencia mastitíd, zlepšuje ruju, znižuje výskyt folikulárnych cýst (Hofírek, 2009).

Ukladá sa vo vaječníkoch a v maternici, kde sa premieňa na vitamín A. Stimuluje syntézu progesterónu potrebného k rozvoju sliznice v maternici.

Deficit má za následky problémy s plodnosťou ako je málo výrazná ruja, spomalené dozrievanie folikulov, rast cýst, potraty. Zvyšuje sa koncentrácia somatických buniek v mlieku, vznikajú mastitídy a mláďatá sú vnímavejšie k infekciám.

Zdrojmi Beta-karoténu sú zelené krmivá, mrkva.

#### **5.2.5 Polyfenoly**

Polyfenoly sú látky nachádzajúce sa v prírode, majúce v molekule viac ako jednu fenolovú skupinu. Delia sa do troch skupín podľa produktov ich hydrolytického štiepenia: *taníny* – estery kyseliny galovej s glukózou a inými sacharidmi, *ligníny* – deriváty fenypropénovej kyseliny a *flavonoidy* (Kerestěš, 2011). Polyfenoly môžu vykazovať v tráviacom trakte organizmu priamy účinok, kde dosahujú relatívne vysokú hladinu. Pozitívny účinok v tráviacom trakte môže súvisieť s priamou väzbou prooxidantných ió-

nov železa, vychytávaním reaktívnych metabolitov dusíka, chlóru a kyslíka (Halliwell, 2007 cit. Kerestéš, 2011).

#### **5.2.5.1 Flavonoidy**

Flavonoidy sú vo vysokej miere zastúpené v rastlinnej ríši ako rastlinné farbivá. Zahŕňajú viac ako 4000 rôznych derivátov. Množstvo rôznych derivátov umožňuje substitúcia atómov vodíka v rôznych polohách niekoľkých základných štruktúr hydroxylovými, metoxylovými a inými skupinami. K základným štruktúram flavonoidov patria: flavon-3-ol, flavanón, flavón, flavon-3-ol, antokyanidín, izoflavón (Kerestéš, 2011). Flavonoidy sa v potrave vyskytujú buď ako voľné monoméry (aglykóny), napr. quercetín a katechín, alebo polymerizované na oligoméry (prokyanidíny), prípadne sú viazané na sacharidy ako glykozidy (Grimm a kol., 2006, Chovanová a kol., 2006 cit. Kerestéš, 2011). Ako antioxidanty pôsobia protizápalovo, antikarcinogénne a zasahujú do bunecného signálneho systému (Štípek, 2000).

Flavonoidy majú antioxidačný účinok dvoch typov: reagujú s voľnými radikálmi a viažu rizikové kovy do neúčinných komplexov (Kalač, 2003). Alebo chránia vitamín C pred predčasným poškodením a môžu jeho účinok zvyšovať až na dvadsaťnásobok (Jordán, 2001).

Medzi flavonoidy patrí aj rutín, ktorý má okrem antioxidačných účinkov, významné priaznivé účinky na pružnosť a priepustnosť krvných kapilár a zvyšuje využiteľnosť kyseliny askorbovej z potravy (Kalač, 2003).

Flavonoidy sa vyskytujú hlavne v pohanke, šípkach, obalových častiach semien obilovín.

##### **5.2.5.1.1 Antokyány**

Antokyány patria do skupiny flavonoidov.

Predstavujú najrozšírenejšiu a najdôležitejšiu skupinu prírodných pigmentov rozpustných vo vode. Sú to fenolické látky zodpovedné za sfarbenie ovocia, zeleniny a obilovín. Vyskytujú sa v stonkách, listoch, kvetoch, semenách a ďalších rastlinných pletivách (Castaneda-Ovando a kol., 2009). Doposiaľ bolo identifikovaných viac ako 600 rôznych antokyánov (Velíšek, 1999). Z chemického hľadiska sa molekula antokyánov skladá z jedného alebo viac cukrových zvyškov a z aglykonu (necukrová časť), ktorá sa nazýva antokyanidín. Antokyány sa nachádzajú v bunecných vakuolách a spô-

sobujú rôzne odtiene od oranžovej po červenú, fialovú až modrú, v závislosti na pH (Bartl a kol., 2013).

Antokyáníny majú antioxidantnú schopnosť. Dokážu vychytávať voľné radikály, viazať ťažké kovy (železo, zinok a meď). Pôsobia ako induktor enzýmu glutatióntertrasférazy (GST) a superoxidodismutázy (SOD). Majú pozitívny účinok na imunitný systém, protizápalové vlastnosti a urýchľujú hojenie rán (Hosseinian a kol., 2008).

Žiadne vedľajšie účinky neboli preukázané.

#### **5.2.5.1.2 Pyknogenol**

Pyknogenol patrí do skupiny flavanолоv. Flavanolý sú bezfarebné až jemne ružové zlúčeniny vo vode pri normálnej teplote ťažko rozpustné. Majú antioxidantný efekt (Opletal, Šimerda, 2010). Získava sa z kôry prímorskej atlantickej borovice (Opletal, Skřivanová, 2010).

Predstavuje unikátny komplex účinných bioaktívnych látok so silnými antioxidantnými účinkami. Obsahuje bioflavanoidy. Tieto látky sú vysoko účinné a nachádzajú sa v rastlinách, s ktorými sa rastliny samé chránia pred účinkami voľných radikálov (Anonym, 2011). Podieľa sa na recyklácii askorbylových a tokoferolových radikálov a pomáha udržať hladinu vitamínov C a E (Opletal, Skřivanová, 2010). Ďalej pôsobí antikoagulačne, podporuje väzbu kolagénu a elastínu do tkanivových bielkovín, spevňuje steny krvných vlásočnic (Anonym, 2011). Chráni DNA pred poškodeným ROS a RNS, taktiež stimuluje imunitný systém. Pomáha tlmiť bolesti svalov, osteoartritídu a zlepšuje morfológiu spermii (Opletal, Skřivanová, 2010).

#### **5.2.6 Koenzým Q (Ubichinon)**

Koenzým Q je lipofilný, nebielkovinový provitamín, ktorý sa nachádza v každej bunke organizmu. Je stálym komponentom mitochondriálneho systému na výrobu energie z molekuly kyslíka za súčasnej tvorby vody (Kerestěš, 2011).

Z chemického hľadiska ide o derivát benzochinónu. Obsahuje 10 izoprénových jednotiek v bočnom lipofilnom reťazci – označenie Q<sub>10</sub>. Existujú ďalšie formy koenzýmův a to s nižším počtom izoprénových jednotiek – Q 1-9, organizmus si z nich môže v pečeni vyrobiť koenzým Q<sub>10</sub> (Racek, 2003).

Koenzým Q je významná látka prenášajúca redukované ekvivalenty v dýchacom reťazci. Chytá peroxylový a alkoxylový radikál (Štípek, 2000). Antioxidantná schopnosť

sa uplatňuje cez regeneráciu vitamínu E (Kerestěš, 2011). Chráni LDL pred oxidáciou silnejšie než alfa-tokoferol a znižuje jeho straty pri oxidačnom strese. Podieľa sa tiež na regenerácii vitamínu C v extracelulárnej tekutine (Burdychová, 2009). Posilňuje imunitnú reakciu organizmu, čím hrá dôležitú úlohu v boji proti starnutiu (Jordán, 2001).

Normy neuvádzajú doporučenú dávku pre jednotlivé druhy a kategórie hospodárskych zvierat.

### **5.2.7 Kyselina lipoová**

V minulosti bola zaradená do vitamínov skupiny B pod označením vitamín B13 spolu s kyselinou orotovou. Je rozpustná v tukoch aj vo vode.

V organizme pôsobí spoločne s enzýmami pri procesoch povzbudzujúcich energiu (Arndt, 2008). Kyselina lipoová pomáha bunkám živočíšneho organizmu dýchať, slúži ako detoxikačné činidlo, podieľa sa na správnej funkcii nervovej sústavy, srdca, mozgu, pečene, očí, a má antioxidantnú funkciu (Patočková, 2006). Kyselina lipoová neutralizuje účinky voľných radikálov na organizmus tým, že podporuje antioxidantný účinok vitamínov C, E, glutatiónu a CoQ<sub>10</sub> (Kerestěš, 2011). Taktiež pomáha vitamínom skupiny B (thiamín, riboflavín, kyselina pantoténová a niacin) premieňať sacharidy, tuky a bielkoviny v potrave na energiu, ktorú môže telo ukladať do zásoby k ďalšiemu využitiu (Arndt, 2008).

Deficit kyseliny lipoovej môže spôsobiť poškodenie nervovej sústavy, mozgu, srdca (Patočková, 2006).

Prejavy hypervitaminózy nie sú známe.

Normy neuvádzajú doporučenú dávku pre jednotlivé druhy a kategórie hospodárskych zvierat.

Zdrojom kyseliny lipoovej sú zemiaky.

### **5.2.8 Nikotínamid (Niacín)**

Vitamín rozpustný vo vode, veľmi citlivý na svetlo.

Nikotínamid má ochrannú funkciu pred oxidačným stresom. Je súčasťou koenzýmov (NAD, NADP) v metabolizme sacharidov, mastných kyselín a aminokyselín. Podporuje syntézu žľčových kyselín, potrebných pre trávenie tukov a vstrebávanie vitamínov rozpustných v tukoch (D, E, K, A). Reguluje syntézu hormónov – tyroxínu, inzulínu a rastového hormónu. Rovnako má nenahraditeľnú úlohu pri premene potravy

na energiu.

Skladovaný je v malých množstvách v pečeni, v mozgu a v srdci (Anonym, 2015a).

Deficit sa prejavuje gastrointestinálnymi poruchami, dermatitídou, znížením príjmom krmiva.

Môže vznikáť pri skrmovaní kŕmnych zmesí s prevahou kukurice chudobnej na niacín. Najčastejšie sa deficit prejavuje u ošípaných a hydiny (Vrzgula, 1990).

Prejavy hypervitaminózy nie sú známe. Pri vysokých dávkach má vazodilatačný účinok, vplyv na metabolizmus lipoproteínov a sacharidov, sčervenanie kože (Anonym, 2015a).

Odporúčaná dávka pre dojnice je 280 mg/kg sušiny a pre výkrm 50 – 90 mg/kg sušiny (Sommer a kol., 1994). Pre laktujúce kobyly priemernou hmotnosťou 500 kg je doporučená dávka 188 mg a pre žrebčov s priemernou hmotnosťou 550 kg je 97 mg (Zeman a kol., 2005). Podľa Nutrient requirements of swine (1988) je odporúčaná dávka pre ošípané v predvýkrme a vo výkrme 10 – 16 mg. Odporúčaná dávka pre nosnice je 30 – 40 mg/kg kŕmnej zmesi a pre mäsné plemená 30 – 60 mg/kg kŕmnej zmesi (Zelenka, 2014).

Zdojom nikotínamidu sú krmivá živočíšneho pôvodu, obiloviny.

### **5.2.9 Zinok**

Zinok je esenciálnym mikroprvok. Je základnou súčasťou okolo 200 enzýmov (Chrastinová a kol., 2014) napr.  $\text{Cu}^{2+}/\text{Zn}^{2+}$ -SOD, chrániacich organizmus pred poškodeným voľnými radikálmi. V organizme má štruktúrnu a regulačnú funkciu (Štípek, 2000).

Zinok je dôležitou súčasťou očnej dúhovky a zúčastňuje sa fotochemických procesov videnia, zvyšuje stabilitu inzulínu, ovplyvňuje metabolizmus bielkovín, sacharidov, hormónov a vitamínov, zvyšuje rezistenciu k voľným radikálom a peroxidáciu, a tým stabilizuje membrány (v aktivite superoxidodismutázy). Je dôležitý pre udržovanie normálnej koncentrácie vitamínu A v krvi a jeho mobilizáciu z pečene. Vo väčších dávkach znižuje hladinu železa. (Stratil, 1993). Ovplyvňuje reprodukčný cyklus, prejavuje, implantáciu zárodka, spermatogenézu (Chrastinová a kol., 2014). Urýchľuje hojenie rán, chráni pred pôsobením toxických látok z ovzdušia, ovplyvňuje činnosť bachorovej mikroflóry. Zinok je súčasťou a aktivátorom veľkého množstva metaloenzýmov a významne ovplyvňuje chuť k príjmu krmiva (Hofírek, 2009).

Rovnováha v tele je udržiavaná reguláciou vstrebávania. Zinok sa rozdielne vstrebáva v závislosti na pôvode, forme, potrebách a veku organizmu, množstve vápniku a prítomnosti fytátov, ktoré vytvárajú so zinkom v črevách nevstrebateľné komplexy. U prežúvavcov sú fytáty rozkladané v bachore. Pri vysokých príjmoch dochádza k obmedzeniu absorpcie (Hofírek, 2009). Zinok je rýchlo prenášaný cez bunky mukózy. Časť zinku je zadržaná v mukóze a je behom niekoľkých hodín pomaly uvoľňovaná. Jeho syntéza je riadená stavom zinku v organizme a pôsobí v črevných bunkách. Prenos cez bazálnu membránu sprostredkuje prenášač poháňaný ATP. Nanovo vstrebávaný zinok je transportovaný albumínom do pečene a potom je redistribuovaný do iných tkanív (Stratil, 1993).

Prídavok organického zinku s vitamínom E a selénom pomáha eliminovať výskyt mastitíd, stimulovať reprodukciu samcov, liečenie rán a prevenciu parakeratózy (Chrastinová a kol., 2014).

Nedostatok u prežúvavcov je ojedinelý, pretože v prirodzených aj kultúrnych plodinách je ho dostatok. Deficit sa môže vyskytovať u ošípaných alebo hydine (Memisi a iní, 2004 cit. Chrastinová a kol., 2014). Nedostatok sa prejavuje spomalením rastu, šeroslepotou, poruchou imunity, zápalmi kože, zlým hojením rán, narušenou osteogenezou, nekvalitnými paznechtami a vlnou a u hydiny nedostatočným operením. Deficit v krmnej dávke môže nastať ak sa skrmuje nadbytok vápnika. U ošípaných spôsobuje parakeratózu. Prejavy sú zníženie rastu, príjmu krmiva a vody, hnačky, apatia, zápaly slizníc, opuchy končatín.

Nadbytok spôsobuje anémiu a poruchy trávenia. Na hladinu zinku reagujú krv, kosti, pečeň, pankreas, gonády. Prechádza do pečene a mlieka. Hrozí potenciálne nebezpečenstvo akútnej otravy.

V intenzívnej produkcii je pridávanie zinku povinné v dostatočnom množstve pre optimálne zdravie a produkciu (Memisi a iní, 2004 citované Chrastinová a kol., 2014). K doplneniu zinku v krmnej dávke sa používa anorganická forma zinku (síran zinočnatý, oxid zinočnatý), organicky viazaný (aminokyseliny, laktáty zinku) alebo minerálne lízy (Hofírek, 2009).

Potreba zinku u hovädzieho dobytku je 40-60 mg/kg krmnej dávky a pre malé prežúvavce 50 – 80 mg/kg krmnej dávky (Gralak, Chrenková, 2014). Pre laktujúce kobyly s priemernou hmotnosťou 500 kg je doporučená dávka 750 mg a pre žrebco s priemer-

nou hmotnosťou 550 kg je 576 mg (Zeman a kol., 2005). Odporúčaná dávka pre ošípané je 117 – 129 mg/kg kŕmnej dávky (Gralak, Chrenková, 2014). Odporúčaná dávka pre hydinu je 60 – 120 mg/ kg kŕmnej zmesi (Zelenka, 2014).

Zdrojmi zinku sú otruby, zrniny, kŕmne kvasnice, mlieko, extrahované šroty, okopaniny, melasa, cukrovka, ďatelina.

#### **5.2.10 Med'**

Med' je esenciálny mikroprvok. Je súčasťou antioxidantného enzýmu  $\text{Cu}^{2+}/\text{Zn}^{2+}$ -SOD.

Využitelnosť medi z kŕmnej dávky je ovplyvnená skôr absorbovateľnosťou prvku, než jeho koncentráciou v kŕmnej dávke. Absorbovateľnosť u prežúvavcov sa líši podľa typu krmiva (1% staré trávnaté porasty, 10% a viac obiloviny a kapustovité rastliny). Ďalším faktorom je potenciálny antagonizmus s molybdénom, sulfidmi, železom a zinkom v predžalúdku, ktorý pri ich vyšších koncentráciách v kŕmnej dávke výrazne znižuje vstrebávanie medi (Hofírek, 2009).

Med' je súčasťou dopamín-beta-hydroxylázy, ktorá sa podieľa na syntéze katecholamínov, a tým je dôležitá pre funkciu nervov a mozgu. In vitro med' stimuluje glukogénezu a lipogénezu i bez prítomnosti inzulínu. Med'naté zlúčeniny majú protizápalové, protivredové, protikŕčové, protikarcinogéne, protimutagénne a analgetické pôsobenie. Med' je nutná pre tvorbu pigmentov vlasov a srsti (Stratil, 1993). Je dôležitá pre integritu spojivového a kostného tkaniva, syntézu hemoglobínu, tvorbu pigmentov a neurotransmitterov (Štípek, 2000). Taktiež je súčasťou krvného farbiva a podieľa sa na spracovaní vitamínu C a železa (Jordán, 2003). Umožňuje premenu feritínu na trasferitín.

Med' je z 90 % viazaná v ceruloplazmíne, ktorý má antioxidantnú kapacitu. Na druhej strane však med'naté ióny podporujú Fentonovu reakciu, ktorá spôsobuje vznik nebezpečného voľného hydroxylového radikálu (Holeček a kol., 2008). Resorpcia medi sa uskutočňuje v žalúdku a tenkom čreve.

V oblastiach s výrazným deficitom medi v pôde a v rastlinách sa hnojí hnojivami s obsahom medi. V strednej Európe sa používajú priame metódy dopĺňovania medi do kŕmnej dávky. Med' môžeme dopĺňať podávaním minerálnych lízov, prídavkom medi vo forme  $\text{CuSO}_4$  do jadrových zmesí alebo organicky viazanú med' (Hofírek, 2009).

Deficit medi spôsobuje anémiu, poruchy rastu a vývinu, zníženie príjmu krmiva,



páchnuce výkaly, dystrofické zmeny nervového tkaniva, poruchy osifikácie a tvorby kostí, depigmentáciu vlny a srsti.

Nadmerný príjem spôsobuje rozpad erytrocytov – hemoglobínémia, hemoglobínúria, žltacku, apatiu, kŕče, rozsiahle vypadávanie srsti, vlny. Pri nadbytku sa meď z kŕmnej dávky ukladá do pečene a obličiek. Otrava hrozí pri  $c=4000 - 5000 \text{ mg Cu/kg}$ . Môže byť spôsobená prekročením dávky medi v minerálnych kŕmnych doplnkoch, pri kontaminácii krmiva a vody meďnatými zlúčeninami alebo skrmovaním rastlín ošetrovaných zlúčeninami medi (Hofírek, 2009).

Európskym zákonom č. 1334/2003 je určené maximálne množstvo medi v kŕmnej dávke pre jednotlivé kategórie hospodárskych zvierat. Najvyšší obsah medi v kŕmnej dávke pre ošípané do 12 týždňov veku je  $170 \text{ mg/kg}$ , pre ostatné ošípané  $25 \text{ mg/kg}$ , pre ovce  $50 \text{ mg/kg}$ . Podľa McDowella (2003) sú požiadavky zvierat nižšie ako  $10 \text{ mg/kg}$  kŕmnej dávky. Najpoužívanejším zdrojom medi je modrá skalica (Gralak, Chrenková, 2014). Odporúčaná dávka pre laktujúce kobyly s priemernou hmotnosťou  $500 \text{ kg}$  je  $188 \text{ mg}$  a pre žrebčov s priemernou hmotnosťou  $550 \text{ kg}$  je  $134 \text{ mg}$  (Zeman a kol., 2005). Odporúčaná dávka pre hydinu je  $6 - 10 \text{ mg/kg}$  kŕmnej zmesi (Zelenka, 2014).

Zdrojmi medi sú obilniny, strukoviny, extrahované šroty, kvasnice, krmivá živočíšneho pôvodu, ďatelina, lucerka, repa, cukrovka, mlieko. Krmivá s malým obsahom vitamínu B majú aj malý obsah medi.

### 5.2.11 Selén

Najznámejší stopový prvok s antioxidačnou aktivitou. Česká aj Slovenská republika patria medzi oblasti s nedostatkom selénu v pôde.

Koncentrácia tohto prvku v rastlinách pestovaných na týchto pôdach je nízka. Veľké rozdiely v koncentrácií selénu sú aj v jednotlivých častiach rastlín. Vegetatívne časti rastlín majú výrazne nižšiu koncentráciu selénu než generatívne časti. Z toho dôvodu je pastva pre vznik deficitu do istej miery nebezpečná pokiaľ selén nepodávame v doplnkových zmesiach (Opletal, Skřivanová, 2010).

Selén je neoddeliteľnou súčasťou antioxidačnej kapacity organizmu, kde hrá významnú úlohu v ochrane proti poškodeniu tkanív voľnými radikálmi, ako súčasť glutatiónpoxidázy (Horký a kol., 2013).

Najdôležitejšia je jeho účasť na aktivite enzýmu glutatiónpoxidázy, ktorý

v prítomnosti glutatiónu redukuje peroxid vodíka, hydroperoxydy lipidov. Má dôležitú úlohu v ochrane tkanív pred oxidačným poškodeným pôsobením superoxidovými a hydroxylovými radikálmi, ktoré rýchlo samovoľne reagujú so všetkými molekulami vo svojom okolí, najmä s fosfolipidmi nenasýtených mastných kyselín v bunčných membránach. Na rozklade peroxidov sa podieľa superoxidodismutáza, ktorá mení superoxidové radikály na peroxid vodíka, a ten je potom rozkladaný katalázou na kyslík a vodík. Selén má význam pri transporte elektrónov v bunke, nachádza sa v proteínoch obsahujúcich nehemové železo a je súčasťou niektorých molekúl transferových ribonukleových kyselín. Je tiež zložkou niektorých molekúl obsahujúcich síru, ktorá môže byť nahradená selénom (Stratil, 1993). Spolu s vitamínom E pôsobí ako antioxidant a protijed kadmia, olova a ortuti (Jordán, 2003).

Selén sa vo forme selenometionínu vstrebáva ako aminokyselina a nešpecificky sa zabuduje do bielkoviny namiesto metionínu. Takýmto spôsobom sa obsah selénu zvyšuje v jednotlivých častiach organizmu zvierat, ktorým sa podáva organická forma selénu (Gralak, Chrenková, 2014).

Selén zohráva dôležitú úlohu v správnom slede fyziologických funkcií (Soberon a kol., 2012 cit. Horký a kol., 2012). Dostatočný príjem selénu je potrebný pre optimálnu funkciu imunitného systému (Kerestész, 2009), predovšetkým sa selén podieľa na tvorbe protilátok, proliferácii lymfocytov a fagocytóze. Podieľa sa na protiinfekčnej, protinádorovej ochrane, prevencii zápalových chorôb (Kerestész, 2009). Selén má vplyv na činnosť štítnej žľazy, tvorbu tyroxínu, spermiogézu a na plodnosť obidvoch pohlaví (Opletal a Skřivanová, 2010), taktiež je potrebný pre vývoj a dozrievanie spermíí (Marin-Guzman, Mahan, Pate, 2000).

Selén je prítomný vo všetkých tkanivách, hlavne v pečeni, obličkách, srdci, slezine, pľúcach, mozgu. Aktívne sa vstrebáva v tenkom čreve. U prežúvavcov negatívne vplyva redukcia selénu na nerozpustné formy v bachore. Vyššia absorbanca selénu je zapríčinená kŕmením väčšieho množstva jadrového krmiva (Hofírek, 2009). Vylučovaný je z organizmu močom, výkalmi, mliekom a dýchaním.

Selén sa do kŕmnych dávok pridáva v anorganickej forme, aj keď organicky viazaný selén má niektoré výhody oproti anorganickej forme. Akumulácia v tkanivách umožňuje vytvorené rezervy využiť v stresových situáciách.

Koncentrácia selénu sa zvyšuje počas laktácie v krvi aj v mlieku (Zhan a kol., 2011 a

Bertechini a kol., 2012 cit. Horký a kol., 2013).

Lepšie prestupuje cez placentu a mláďatá sa rodia s lepšou prvotnou antioxidačnou ochranou. Taktiež lepšie prestupuje do kolostra a mlieka a sajúce mláďatá prijímajú selén a tým majú lepšiu antioxidačnú ochranu v najkritickejšom období vývoja. Významne zvyšuje kvalitu spermií (Opletal, Skřivanová, 2010). Horký a kol.(2013) zistili negatívnu koreláciu medzi koncentráciou selénu a kadmia. Zvýšenie koncentrácie selénu v krvi vedie k zníženiu kadmia v krvi.

Pre všetky druhy a vekové kategórie hospodárskych zvierat je odporúčaná dávka selénu 0,2 mg/kg kŕmnej dávky okrem koní. Zeman a kol. (2005) uvádzajú pre laktujúce kobyly s priemernou hmotnosťou 500 kg a žrebce s hmotnosťou 550 kg doporučenú dávku 2 mg selénu.

Selén s vitamínom E sú na sebe závislé. Zvýšený príjem môže byť zabezpečený dovozom sóje z krajín kde je obsah selénu v pôde vyšší (Pavlata a kol., 2000 cit. Marounek, 2006).

Deficit, najmä dlhodobý, spôsobuje poruchy reprodukcie, nutričnú svalovú dystrofiu, hlavne sa prejavuje u mláďat, zníženie prírastku, narušenie imunity, poškodenie nervových buniek a pečene, poruchy mliečnej žľazy a má dopad na kvalitu mlieka. Môže dôjsť až k úhynu.

Nadbytok selénu spôsobuje ťažké poruchy CNS, paralýzy, poruchy príjmu krmiva, vypadávanie srsti. K otravám v našich podmienkach nedochádza.

Zdrojom selénu sú krmivá rastlinného pôvodu ako sú obilie, ľanové semená liehovarské zvyšky (Suttle, 2010) a rybia múčka.

### **5.2.12 Kyselina močová**

Kyselina močová je biela kryštalická látka veľmi málo rozpustná vo vode a iných rozpúšťadlách. Je koncovým produktom metabolizmu purínov u cicavcov.

Kyselina močová sa najviac vyskytuje v plazme, kde má antioxidačnú schopnosť. Priamo reaguje s voľnými radikálmi ako sú singletový kyslík a hydroxylový radikál alebo viaže ióny prechodných kovov, čím ich vyraduje z ďalších radikálových reakcií. Ďalšou z jej funkcií je ochrana erytrocytov pred pôsobením ozónu. Ozón oxiduje rýchlejšie kyselinu močovú a askorbát, čím chráni erytrocyty pred oxidáciou (Kerestěš, 2011).

### **5.2.13 Taurín**

Taurín patrí medzi organické kyseliny a je derivátom aminokyseliny cysteínu. V tkanivách cicavcov sa nachádza ako voľná aminokyselina, ktorá sa nepodieľa na syntéze proteínov a ani nie je zdrojom energie. Taurín je konjugovaný pomocou svojej aminokupiny s kyselinami chonodeoxicholovou a cholovou za tvorby žlčových solí (Hošková, 2013).

Taurín je spájaný hlavne s mačkami, pretože je pre ne esenciálnou látkou. Musia ho prijímať v potrave, keďže si ho nevedia sami syntetizovať.

Taurín má radu biologických funkcií, je antioxidantom, podieľa sa na osmotickej regulácii a stabilizácii membrán, raste, zúčastňuje sa na správnej činnosti imunitného systému, na prenose nervového vzruchu, regulácii tukového tkaniva, metabolizmu lipidov a stálej hladiny vápnika v krvi. Je dôležitý pri konjugácii žlčových kyselín, ktoré sú tvorené z cholesterolu v pečeni.

Vysoké koncentrácie taurínu obsahujú tkanivá živočíšneho organizmu, najmä svaly, mozog, vnútornosti.

Zdrojmi taurínu je rybia múčka, mlieko a vajcia (Hošková, 2013).

### **5.2.14 Bilirubín**

Bilirubín sa tvorí in vivo oxidačným štiepením hemu uvoľneného z krvného farbiva – hemoglobínu pri jeho odbúravaní. Bilirubín odstraňuje singletový kyslík vznikajúci pri hyperoxii. Pôsobí synergicky s vitamínom E. Bilirubín plní funkciu antioxidantu v prvých dňoch života, kedy je hladina bilirubínu v porovnaní s neskorším vekom vyššia (Kerestész, 2011).

### **5.2.15 Glutatión**

Je rozpustný vo vode, syntetizovaný z glutamátu, cysteínu a glycínu. Glutatión reaguje s voľnými radikálmi a tým chráni bunky pred oxidáciou kyslíkom, hydroxylovými a superoxidovanými radikálmi. Zúčastňuje sa prenosu aminokyselín cez bunecnú membránu (Kerestész, 2011).

### **5.2.16 Melatonín**

Melatonín je produkovaný epifýzou. Pôsobí ako špecifický hormón, zároveň ovplyvňuje funkciu endokrinných hormónov. Reguluje cirkadiánne rytmy. Ovplyvňuje rytmickú funkciu gonád a hypofýzy. Pozitívne vplyva na produkciu rastového hormónu

a rastových faktorov. Sekrécia melatonínu kolísá v priebehu 24 hodín, pretože je tlmená svetlom (Mefanet, 2009). Okrem týchto funkcií má aj antioxidačné účinky.

Vychytáva voľné radikály. Stimuluje antioxidačné enzýmy. Zvyšuje účinnosť mitochondriálne oxidatívnej fosforylácie a znižuje tvorbu voľných radikálov. Rozširuje účinnosť iných antioxidantov (Reiter a kol., 2003).

### **5.3 Syntetické antioxidanty**

Antioxidanty, ktoré sú vytvorené umelo. BHA, BHT sú monofenolové antioxidanty a TBHQ je difenolový antioxidant a sú málo polárne.

#### **5.3.1 BHA (butylhydroxyanizol)**

Je zmesou dvoch izomérov, je pevná, biela látka rozpustná v tukoch.

BHA chráni tuky, ktoré obsahujú mastné kyseliny s kratším reťazcom, ako sú kokosový a palmojadrový olej, arómy a farby silíc. BHA je ako antioxidant účinný aj po tepelnom spracovaní (Velíšek, 1999). Spomaľuje žltnutie tukov a má aromatické účinky. Vyrába sa z vedľajších produktov vznikajúcich pri spracovaní ropy (Anonym, 2015b).

Stále sa polemizuje o jeho zdravotnej nezávadnosti.

#### **5.3.2 BHT (butylhydroxytoluén)**

BHT má podobné vlastnosti ako BHA, často sa používajú spolu. BHT sa používa ako konzervačný prostriedok, antioxidant, stabilizátor a dochucovadlo. Vyrába sa z vedľajších produktov vznikajúcich pri spracovaní ropy. Môže spôsobovať alergické reakcie alebo rakovinu (Anonym, 2015c).

#### **5.3.3 TBHQ (2-terc. Butylhydrochinón)**

TBHQ je difenolovým antioxidantom. Chráni rastlinné oleje a v kombinácií s chelatačnými činidlami sa ochrana zvyšuje (Velíšek, 1999). Ako BHA a BHT aj TBHQ sa vyrába z vedľajších produktov vznikajúcich pri spracovaní ropy. Zabraňuje žltnutiu tukov a olejov. Na druhej strane môže mať karcinogénne účinky.

#### **5.3.4 Galláty**

Galláty sú estery kyseliny gallovej, ktoré sa v malom množstve nachádzajú v krmivách rastlinného pôvodu. Majú antioxidačné vlastnosti. Účinnosť gallátov, ktoré sú polárnejšie ako BHA, BHT je vyššia v bezvodých tukoch. Propyl-gallát je vhodný

na stabilizáciu živočíšnych tukov. V emulziách, kde sú galláty rozpustnejšie, sú menej aktívne ako fenolové antioxidanty BHA a BHT (Velíšek, 2009).

## 5.4 Antioxidačné enzýmy

Antioxidačné enzýmy sa uplatňujú v intracelulárnom aj v extracelulárnom prostredí. Medzi antioxidačné enzýmy zaradujeme Superoxiddismutázu, Glutatiónpoxidázu, Glutaión-S-transferázu, Glutatiónttransferázu a Laktoperoxidázu.

Vysoký príjem ťažkých kovov v organizme môže spôsobiť oxidačný stres a zníženie hladiny antioxidačných enzýmov (Horký a kol., 2013).

### 5.4.1 Superoxiddismutáza (SOD)

Superoxiddismutáza je základný antioxidačný enzým. Obsahuje ho každá bunka.

Spontánna dismutácia superoxidu na dikyslík a peroxid vodíka je veľmi rýchla pri neutrálnom pH a SOD reakciu ešte viac zrýchľuje o 4 rády (Štípek, 2000). SOD regeneruje a chráni bunky pred deštrukciou. Neutralizuje voľný radikál peroxid a podporuje využitie zinku, medi a mangánu (Kerestés a kol., 2011). V aktívnom centre enzýmu sa nachádza atóm kovu. Rozoznávame niekoľko typov –  $\text{Cu}^{2+}/\text{Zn}^{2+}$ -SOD, Mn-SOD a Fe-SOD

#### 5.4.1.1 $\text{Cu}^{2+}/\text{Zn}^{2+}$ -SOD (SOD 1)

Skladá sa z dvoch podjednotiek s rovnakou molekulovou hmotnosťou 16 000 pričom v každej je jeden atóm medi a jeden atóm zinku. Enzým je veľmi stabilný, katalyzuje pri pH 4,5-9,5. Nachádza sa v cytosole a v medzimembránovom priestore mitochondrií. Prenos elektrónu z jednej molekuly na druhú má na starosti atóm medi.  $\text{Cu}^{2+}$  sa redukuje na  $\text{Cu}^{1+}$  a potom oxiduje.  $\text{Zn}^{2+}$  má funkciu stabilizačnú a katalýzy sa neúčastní. Gén pre SOD 1 sa nachádza na 21. chromozóme (Štípek, 2000).

Ako uvádza Ďuračková (1998) superoxid sa pri reakcii so SOD mení na neradikálové molekuly kyslíka a peroxidu vodíka priamou reakciou s iónom medi. Paradoxom reakcie je, že superoxid sa mení počas jeho odstraňovania na neradikálové formy (kyslík a peroxid vodíka), ale peroxid vodíka patrí k reaktívnym metabolitom kyslíka a môže oxidačne poškodzovať významné biomolekuly. Avšak za fyziologických podmienok má organizmus dostatok ďalších antioxidačných enzýmov, ktoré peroxid vodíka rozložia (Kerestés a kol., 2011).

#### **5.4.1.2 Mn-SOD (SOD2) a Fe-SOD**

Oba enzýmy sa vyskytujú u prokaryot ako diméry. Mn-SOD je enzýmom mitochondriálnej matrix. Fe-SOD sa vyskytuje u baktérií. Podjednotky enzýmov majú molekulovú hmotnosť 20 000. Sú menej stabilné ako  $\text{Cu}^{2+}/\text{Zn}^{2+}$ -SOD (Štípek, 2000).

Superoxiddizmutázy sa taktiež nachádzajú u anaeróbných baktérií ako sú bachorové, črevné a patogénne baktérie izolované zo zápalových ložísk. V poslednej menovanej skupine baktérií je SOD ako faktor virulencie. Umožňuje anaeróbnym baktériám prežiť v tkanive zásobenom kyslíkom až dovtedy, kým sa vytvoria anaeróbne podmienky pre jej rast (Marounek, 2006).

#### **5.4.2 Glutatiónpoxidáza (GPx)**

Glutatiónpoxidáza katalyzuje redukciu peroxidu vodíka a organických hydroperoxidov, čím chráni organizmus pred oxidačným poškodením (Marounek, 2006).

Rozlišujeme niekoľko druhov GPx:

##### **5.4.2.1 Cytosolická glutatiónpoxidáza (cGPx)**

Rozkladá hydroperoxydy mastných kyselín, ktoré však musia byť uvoľnené z poškodených lipidov fosfolipázou  $A_2$  (Štípek, 2000). Je prítomná vo všetkých tkanivách, v ktorých má rôznu aktivitu. Najaktívnejšia je v pečeni a v erytrocytoch, najnižšiu aktivitu má v mozgu a v svaloch. Pôsobí v súlade s vitamínom E, ktorý vycytáva voľné radikály (Marounek, 2006).

##### **5.4.2.2 Gastorintestinálna glutatiónpoxidáza (gGPx)**

Nachádza sa v tráviacom trakte a v pečeni. V endoteli má porovnateľnú aktivitu ako cGPx (Marounek, 2006).

##### **5.4.2.3 Fosfolipidhydroperoxid-GSH-peroxidáza (PHGPx)**

Je veľmi významná pre ochranu biologických membrán pri oxidačnej deštrukcii. Dokáže redukovať fosfolipidové hydroperoxydy na neškodné hydroxyderiváty priamo v membránach, bez uvoľnenia mastných kyselín z lipidov (Štípek, 2000).

Enzým glutatiónpoxidáza je základný antioxidant, ktorý je v priamom vzťahu ku koncentrácii selénu v organizme (Horký a kol., 2013).

Selenocysteín je súčasťou aktívneho centra enzýmu. GPx rozkladá peroxidy (peroxid vodíka aj organické peroxidy) na vodu a alkohol. GPx spolupracuje s glutatiónom, ktorý

sa v bunkách nachádza vo veľmi vysokej koncentrácii (Kerestész a kol., 2011). Oxidovaný glutatión (GSSG) je redukovaný späť na glutatión (GSH). Reakciu katalyzuje glutatiónreduktáza za súčasnej oxidácie koenzýmu NADPH na NADP<sup>+</sup> (Štípek, 2000).

Vysoké množstvo ťažkých kovov môže mať vplyv na antioxidačnú kapacitu krmív, čo môže spôsobiť zvýšenie množstva oxidovaného glutatiónu v rôznych druhoch tráv, ľanu, kukurice a tabaku (Horký a kol., 2013).

#### **5.4.3 Glutatiónreduktáza (GR)**

Ako bolo uvedené vyššie, glutatiónreduktáza sa podieľa na redukcii oxidovaného glutatiónu. Činnosťou GR je zaistená rovnováha medzi oxidovanou a redukovanou formou glutatiónu v organizme.

#### **5.4.4 Glutatióntransferáza (GST)**

GST je veľká skupina enzýmov, do ktorej patrí aj Glutatión-S-transferáza.

GST katalyzuje konjugačnú reakciu, pri ktorej je sulfhydrylová skupina GSH naviazaná na elektrofilnú organickú látku. Takto sú detoxikované xenobiotiká. GST má dôležitú úlohu v ochrane pred následkami peroxidácie lipidov (Štípek, 2000).

#### **5.4.5 Kataláza (CAT)**

V aktívnom centre obsahuje Fe viazané v heme (Marounek, 2006). Kataláza premieňa peroxid vodíka, ktorý vzniká účinkom SOD, na vodu a molekulový kyslík. Lokalizovaná je v peroxizómoch. Vnútrobnkový peroxid vodíka preto nemôže byť eliminovaný, kým neprenikne difúziou do peroxizómov. Jednotlivé tkanivá sa značne líšia obsahom katalázy. Najviac CAT sa nachádza v pečeni (Kuka, 2013).

#### **5.4.6 Laktoperoxidáza (LPO)**

LPO je prirodzený enzým nachádzajúci sa v slinách, slzách a v mlieku. Patrí do skupiny oxidoreduktáz a zároveň je súčasťou tzv. Laktoperoxidázového obranného systému (laktoperoxidáza-peroxid vodíka-tiokyanát). V prítomnosti tiokyanátu katalyzuje laktoperoxidáza rozklad peroxidov na ďalšie produkty s baktericídnym účinkom (Samková, 2010).



## 6 ZÁVER

Voľné radikály sú vysoko reaktívne látky obsahujúce jeden alebo viac nespárených elektrónov, ktoré veľmi rýchlo reagujú s biologicky významnými molekulami, čím ich poškodzujú. Vyskytujú sa spolu s ďalšími neradikálovými látkami podobných vlastností v dvoch variantách – reaktívne formy kyslíka (ROS) a reaktívne formy dusíka (RNS). Schopnosť zlúčeniny spomaľovať oxidačné pôsobenie voľných radikálov označuje pojem antioxidačná aktivita. Ako dlho tento antioxidačný účinok trvá, popisuje antioxidačná kapacita daného antioxidantu. Na jej stanovenie je možné použiť rôzne chemické a fyzikálno-chemické metódy.

Pre zmapovanie vybraných antioxidantov bolo dôležité určenie kľúča – delenie podľa pôvodu na prírodné a syntetické. Každý antioxidant je charakterizovaný súhrnom niekoľkých špecifických vlastností. Každá z týchto vlastností by mohla slúžiť ako samostatný kľúč na ich delenie, v tejto práci sú antioxidanty delené podľa pôvodu. Prírodné antioxidanty sú buď súčasťou organizmu, alebo sa prirodzene vyskytujú v krmive. Syntetické sú človekom umelo vyrábané a následne pridávané do krmiva. Antioxidačné enzýmy sú uvedené samostatne, aj keď ide o prirodzenú ochranu organizmu pred voľnými radikálmi. Pre potreby bakalárskej práce boli vybrané len antioxidanty, ktoré sa najčastejšie používajú vo výžive hospodárskych zvierat. Bakalárska práca sa zaoberá ich výskytom, pozitívnym aj negatívnym pôsobením na organizmus hospodárskych zvierat. Organizmu škodí nadbytok aj nedostatok, preto je potrebné dbať na správne dávkovanie jednotlivých antioxidantov.

V súčasnosti je trendom klásť dôraz na vysoký výskyt antioxidantov v strave človeka. V náväznosti na to odporúčam hlbšie sa zamerať na antioxidanty vo výžive hospodárskych zvierat, nakoľko spotrebitelia požadujú kvalitné produkty (mlieko, mäso), ktoré prirodzene obsahujú vysoké množstvo antioxidantov. Táto požiadavka je podmienená zdravím chovaného zvierat'a. Zdravého a spokojného jedinca dosiahneme vyváženou krmnou dávkou so zodpovedajúcim množstvom antioxidantov. Sústreďením sa na antioxidanty vo výžive hospodárskych zvierat môžeme doceliť nárast antioxidantov aj v strave človeka.

## 7 ZOZNAM LITERATÚRY

AGNEZ-LIMA, L. F., J. T.A. MELO, A. E. SILVA, A. H. S. OLIVEIRA, A. R. S. TIMOTEO, K. M. LIMA-BESSA, G. R. MARTINEZ, M. H.G. MEDEIROS, P. Di MAS-CIO, R. S. GALHARDO, C. F.M. MENCK a J. R. KANOFISKY. DNA damage by singlet oxygen and cellular protective mechanisms: A Comparison of Biochemical and Photochemical Mechanisms for Singlet Oxygen Generation. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*. 2012, vol. 751, issue 1, s. 77-92. DOI: 10.1007/978-1-4615-9840-4\_4.

ARNDT, T. Alfa-lipoová kyselina. In: *Celostnimedica.cz* [online]. 2008 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.celostnimedica.cz/alfa-lipoova-kyselina.htm>

BARTL, P., B. TREMLOVÁ, M. OŠŤÁDALOVÁ, J. POKORNÁ a M. ŽĎÁRSKÝ. Kvalitativní a kvantitativní stanovení anthokyanů v kultivarech pšenice s modrým a purpurovým zrnem. *Potravinárstvo vedecký časopis pre potravinárstvo* [online]. 2013, č. 7, s. 145-148 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: [http://www.potravinarstvo.com/dokumenty/mc\\_march\\_2013/bezpecnost\\_potravin\\_rastlinneho\\_povodu/bartl.pdf](http://www.potravinarstvo.com/dokumenty/mc_march_2013/bezpecnost_potravin_rastlinneho_povodu/bartl.pdf)

BÍMOVÁ, P. a R. POKLUDA. Impact of organic fertilizers on total antioxidant capacity in head cabbage. *Horticultural Science* [online]. 2009, č. 1, s. 21-25 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/05028.pdf>

BURDYCHOVÁ, R., *Metody rekvalifikačního kuzru: Poradce pro výživu*, Nutriacademy, Brno, 2009

CASTANEDA-OVANDO, A., PACHECO-HERNÁNDEZ, M., L., PÁEZ-HERNÁNDEZ, M., E., RODRIGUEZ, J., A., GALÁN-VIDAL, C., A. 2009. Chemical studies of anthocyanins: A review. In *Food Chemistry*, č. 113, p. 859-871.

ČÍŽKOVÁ, A. *Metody analýzy antioxidantů v potravinách*. Pardubice, 2009. Dostupné z: <http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/34711/1/%C4%8C%C3%AD>

%C5%BEkov%C3%A1A\_Stanoven%C3%AD%20antioxidant  
%C5%AF\_MA\_2cast\_2009.pdf. Bakalárska práca. Univerzita Pardubice. Vedúci práce  
Martin Adam.

DOBEŠ, J. *Stanovení biologicky aktivních substancí v rostlinném materiálu*. Brno,  
2013. Dizertačná práca. Mendelova univerzita. Vedúci práce Bořivoj Klejdus.

ĎURAČKOVÁ, Z. 1999. *Volné radikály a antioxidanty v medicíne – II. Časť*.  
Bratislava : Slovak Academic Press, 1999. 315 s. ISBN 8088908469.

E320 - Butylhydroxyanisol (BHA). In: *Zdravá potravina* [online]. 2015 [cit. 2015-02-  
13]. Dostupné z: <http://www.zdravapotravina.cz/seznam-ecek/E320>

E321 - Butylhydroxytoluen (BHT). In: *Zdravá potravina* [online]. 2015 [cit. 2015-02-  
13]. Dostupné z: <http://www.zdravapotravina.cz/seznam-ecek/E321>

Epifýza (šišinka). In: MEFANET. *WikiSkripta* [online]. 2009 [cit. 2015-02-13]. Dostup-  
né z: [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Epif%C3%BDza\\_%28%C5%A1i%C5%A1inka%29](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Epif%C3%BDza_%28%C5%A1i%C5%A1inka%29)

FUSCO, D., G. COLLOCA, M. R. LO MONACO a M. CESARI. Effects of antioxidant  
supplementation on the aging process. *Clinical Interventions in Aging*. 2007, 2(3), 377–  
387. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2685276/>

GRALAK, A.M. a M. CHRENKOVÁ. Minerálna výživa zvierat - zmeny a budúcnosť.  
In: *Výživa zvierat - veda a prax*. Lužianky: NPPC, 2014, s. 7-15.  
ISBN 978-80-89162-60-4.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C., 1990; Role of free-radicals and catalytic  
metal-ions in human-disease - an overview. *Methods in Enzymology*, roč. 186. č.,  
s. 1-85. ISSN 0076-6879.

HOFÍREK, B. *Nemoci skotu*. Brno: Noviko, 2009, 1149 s.  
ISBN 978-80-86542-19-5.

HOLEČEK, V., R ROKYTA a R VLASÁK. Antioxidanty a jejich gastrointestinální absorpce a interference jejich účinku. *Československá fyziologie* [online]. 2008, roč. 57, č. 1, s. 24-32 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: [http://www.tigis.cz/images/stories/Fyziologie/2008/1\\_08/06\\_Holecek\\_Cs.Fyziologie\\_1\\_08.pdf](http://www.tigis.cz/images/stories/Fyziologie/2008/1_08/06_Holecek_Cs.Fyziologie_1_08.pdf)

HORKÝ, P., B. RUTTKAY-NEDECKÝ, M. KREMPLOVÁ, O. KRYŠTOFOVÁ, R. KENŠOVÁ, D. HYNEK, P. BABULA, O. ZÍTKA, L. ZEMAN, V. ADAM, R. KIZEK. Effect of Different Doses of Organically Bound Selenium on Antioxidant Status and Levels of Metal Ions in Postpartum Sows. *International Journal of Electrochemical Science* [online]. 2013, č. 5, s. 6162-6179 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://www.electrochemsci.org/papers/vol8/80506162.pdf>

HORKÝ, P., P. JANČÍKOVÁ, J. SOCHOR, D. HYNEK, G. J. CHAVIS, B. RUTTKAY-NEDECKÝ, N. CERNEI, O. ZÍTKA, L. ZEMAN, V. ADAM, R. KIZEK. Effect of Organic and Inorganic Form of Selenium on Antioxidant Status of Breeding Boars Ejaculate Revealed by Electrochemistry. *International Journal of Electrochemical Science* [online]. 2012, č. 7, s. 9643-9657 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://www.electrochemsci.org/papers/vol7/71009643.pdf>

HOSSEINIAN, F. S., W. LI a T. BETA. Measurement of anthocyanins and other phytochemicals in purple wheat. *Food chemistry* [online]. New York: Marcel Dekker, Inc., 2008, č. 109, 916–924 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: [http://www.researchgate.net/publication/238378822\\_Measurement\\_of\\_anthocyanins\\_and\\_other\\_phytochemicals\\_in\\_purple\\_wheat](http://www.researchgate.net/publication/238378822_Measurement_of_anthocyanins_and_other_phytochemicals_in_purple_wheat)

HOŠKOVÁ, Š. Vliv taurinu na užitkovost brojlerů. *Zemědělec* [online]. 2013 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://zemedelec.cz/vliv-taurinu-na-uzitkovost-brojleru/>

CHRASTINOVÁ, Ľ., K. ČOBANOVÁ, M. CHRENKOVÁ, M. POLÁČIKOVÁ, Z. FORMELOVÁ, A. LAUKOVÁ, Ľ. ONDRUŠKA, M. POGÁNY SIMONOVÁ, V. STROMFOVÁ, O. BUČKO, Z. MLYNEKOVÁ, R. MLYNÁR a Ľ. GREŠÁKOVÁ. Biologická využiteľnosť zinku u králikov. In: *Výživa zvierat - veda a prax*. Lužianky: NPPC, 2014, s. 99-104. ISBN 978-80-89162-60-4.

JORDÁN, V. a M. HEMZALOVÁ. *Antioxidanty: zázračné zbraně : vitaminy, minerály, stopové prvky, aminokyseliny a jejich využití pro zdravý život*. Vyd. 1. Brno: Jota, 2001, 153 s. ISBN 80-7217-156-9.

KARABÍN, M., P. DOSTÁLEK a P. HOFTA. Přehled metod pro stanovení antioxidační aktivity v pivovarnictví. In: *Chemické listy 100*. 2006, 184 – 189. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2006\\_03\\_184-189.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2006_03_184-189.pdf)

KERESTÉŠ, J. *Biotechnologie, výživa a zdravie*. 1. vyd. Považská Bystrica: Eminent, 2009. ISBN 978-80-970205-9-0.

KERESTÉŠ, J. *Zdravie a výživa ľudí*. 1. vyd. Bratislava: CAD PRESS, 2011. 528 s. ISBN 978-80-88969-57-0.

KOMPRDA, T. *Základy výživy člověka*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003. 162 s. ISBN 80-7157-655-7.

KREJČÍ, R. *Studium antioxidačního profilu u vysoce produkčních krav*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Mendelova univerzita. Vedúci práce René Kizek.

KRYŠTOFOVÁ, O., T. ŽIŽKOVÁ, J. ZEHNÁLEK, V ADAM, K. SLABÝ, L. HAVEL, R. KIZEK. Effect of heavy metals ions on the antioxidant activity of Norway spruce tissue cultures. *Journal of Biochemical Technology*. 2010, č. 5, s. 56-57. ISSN 0974-2328

KUKA, S *Oxidačné poškodenie bielkovín a lipidov počas starnutia*. Martin, 2013. Dizertačná práca. Univerzita Komenského v Bratislave Jesseniova lekárska fakulta v Martine. Vedúci práce Peter Kaplán.

MARIN-GUZMAN, J, D.C. MAHAN a J.L. PATE. Effect of dietary selenium and vitamin E on spermatogenic development in boars. *Journal of animal science*. 2000, roč. 78, č. 6, s. 1537-1543. DOI: /2000.7861537x. Dostupné z: <https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/pdfs/78/6/1537?search-result=1>

MAROUNEK, M. Povaha a mechanismus účinku antioxidantů, význam ve výživě zvířat a lidí. [on-line].2006, [cit. 2015-01-19] Dostupné z:

<http://www.vuzv.cz/sites/File/vybor/Marounek%20Povaha%20%20mechanismus%20ucinku%20antioxidantu.pdf>

MAYNE, S. T. Antioxidant Nutrients and Chronic Disease: Use of Biomarkers of Exposure and Oxidative Stress Status in Epidemiologic Research. *The Journal of Nutrition*. 2003, č. 3, s. 933-940. Dostupné z: <http://jn.nutrition.org/content/133/3/933S.long>

Niacín. In: *Najväčšia databáza vitamínov a minerálov* [online]. 2015 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.vitaminy-mineraly.sk/clanky/niacin.html>

*Nutrient requirements of swine*. 9th rev. ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1988, vi, 93 p. Nutrient requirements of domestic animals (Unnumbered). ISBN 03-090-3779-4.

OPLETAL, L. a V. SKŘIVANOVÁ. *Přírodní látky a jejich biologická aktivita: Využití látek pro ovlivnění fyziologických procesů hospodářských zvířat*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2010, 653 s. ISBN 978-802-4618-012.

OPLETAL, L. a B. ŠIMERDA. *Flavanoidy ve výživě zvířat* [online]. 2010 [cit. 2015-03-06]. Dostupné z: <http://www.vuzv.cz/sites/Flavanoidy.pdf>

PATOČKOVÁ, M. Vitamín B13 (kyselina lipoová). In: *Ordinace.cz* [online]. 2006 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.ordinace.cz/clanek/vitamin-b13-kyselina-lipoova/>

PAULOVÁ, H., H. BOCHOŘÁKOVÁ a E. TÁBORSKÁ. Metody stanovení antioxidační aktivity přírodních látek in vitro. In: *Chemické listy 98*. 2004, s. 174-179. Dostupné z: [http://chemicke-listy.cz/docs/full/2004\\_04\\_03.pdf](http://chemicke-listy.cz/docs/full/2004_04_03.pdf)

PLÁTENÍK, J. Volné radikály, antioxidanty a stárnutí. [online]. 2009, č. 11, s. 30-33 [cit. 2015-01-19]. Dostupné z: <http://www.internimedica.cz/pdfs/int/2009/01/06.pdf>

PHAM-HUY, L. A., H. HE a CH. PHAM-HUY. Free Radicals, Antioxidants in Disease and Health. *International journal of Biomedical science* [online]. 2008, roč. 4, č. 2, 89 - 96 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.ijbs.org/user/ContentFullText.aspx?>

VolumeNO=4&StartPage=89&Type=pdf

*Pyknogenol* [online]. 2011 [cit. 2015-03-06]. Dostupné z: <http://www.knivic.unas.cz/piknogenol.htm>

RACEK, J. Oxidační stres a možnosti jeho ovlivnění. 1. vyd. Praha: Galén, 2003, 89 s. Repetitorium, sv. 6. ISBN 80-726-2231-5

REITER, R. J., TAN, J. C., MAYO, R. M., SAINZ, J., LEON a Z. CZARNOCKI. Melatonin as an antioxidant: biochemical mechanisms and pathophysiological implications in humans. *Acta biochimica Polonica* [online]. Warszawa: Polish Academy of Sciences, Committee of Biochemistry, 2003, roč. 50, č. 4, 1129–1146 [cit. 2015-02-13]. Dostupné z: [http://www.actabp.pl/pdf/4\\_2003/1129.pdf](http://www.actabp.pl/pdf/4_2003/1129.pdf)

ŘEHÁKOVÁ, Z. *Vyhledávání biologicky aktivních rostlinných sekundárních metabolitů: testy antioxidační a antiagregační aktivity*. Hradec Králové, 2009. Dizertační práce. Univerzita Karlova v Praze farmaceutická fakulta v Hradci Králové. Vedúci práce Luděk Jahodář.

SAMKOVÁ, A. Inhibiční látky v mléce. In: *Farmářská výroba sýrů a kysaných mléčných výrobků VII. Sborník referátů ze semináře s mezinárodní účastí*. Brno: Mendelova universita v Brně, 2010, s. 4-5. ISBN 978-80-7375-402-0. Dostupné z: [http://www.mlekarstvi.cz/wp-content/uploads/2013/02/3\\_pdf\\_Sbornik\\_2010\\_Farm\\_vyroba.pdf](http://www.mlekarstvi.cz/wp-content/uploads/2013/02/3_pdf_Sbornik_2010_Farm_vyroba.pdf)

SOCHOR, J.; RYVOLOVÁ, M.; KRYSTOFOVA, O.; SALAS, P.; HUBALEK, J.; ADAM, V.; TRNKOVA, L.; HAVEL, L.; BEKLOVA, M.; ZEHNALÉK, J.; PROVAZNIK, I.; KIZEK, R., 2010; Fully Automated Spectrometric Protocols for Determination of Antioxidant Activity: Advantages and Disadvantages. *Molecules*, roč. 15, č. 12, s. 8618-8640. ISSN 1420-3049.

SOMMER, A. a kol. *Potřeba živin a tabulky výživné hodnoty krmiv pro přežvýkavce*. 1. vyd. Pohořelice: ČZS VÚVZ, 1994, 198 s. ISBN 80-901598-1-8.

SOUSA, F.; GUEBITZ, G. M.; KOKOL, V., 2009; Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan enzymatically functionalized with flavonoids. *Process Biochemistry*, roč. 44. č. 7, s. 749-756. ISSN 1359-5113.

STRATIL, P. *ABC zdravé výživy*. Vyd. 1. Brno: P. Stratil, 1993, v, 345 s. ISBN 80-900-0298-6.

STREJČKOVÁ, A. *Antioxidanty a jejich význam pro zdraví*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Mendlova univerzita. Vedúci práce Bořivoj Klejdus.

SURŽIN, J. a M. LEDVINA. *Lekárska biochémia (1)*. Prešov: Vydavateľstvo Michala Vaška, 2002. ISBN 80-7165-326-8.

SUTTLE, N. F. *Mineral nutrition of livestock*. 4th ed. Cambridge, MA: CABI, c2010, vii, 587 p. ISBN 978-184-5934-729.

ŠTÍPEK, S. *Antioxidanty a volné radikály ve zdraví a nemoci*. 1. vyd. Praha: Grada, 2000, 314 s. ISBN 80-716-9704-4.

ŠULC, M., J. LACHMAN, K. HAMOUZ, M. ORSÁK, P. DVOŘÁK a V. HORÁČKOVÁ. Výběr a zhodnocení vhodných metod pro stanovení antioxidační aktivity fialových a červených odrůd brambor. In: *Chemické listy 101*. 2007. vyd. Praha: Česká společnost chemická, s. 584-591. ISSN 0009-2770. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007\\_07\\_584-591.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007_07_584-591.pdf)

TÁBORSKÁ, E. a J. SLÁMA. *Lékařská chemie*. 2. přeprac. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2007, 156 s. ISBN 978-802-1037-908.

TOMAN, M. a kol. *Veterinární imunologie*. 2., dopl. a aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-802-4724-645.

VELÍŠEK, J. *Chemie potravin 3*. 1. vyd. Tábor: OSSIS, 1999, 342 s. ISBN 80-902-3912-9.



VRZGULA, L. *Poruchy látkového metabolismu hospodárskych zvierat a ich prevencia*. 2. vyd. Bratislava: Príroda, 1990, 503 s. ISBN 80-07-00256-1.

ZELENKA, J. *Výživa a krmení drůbeže*. 1. vyd. Olomouc: Agriprint, 2014, 145 s. ISBN 978-80-87091-53-1.

ZEMAN, L. *Výživa a krmení hospodárskych zvierat*. 1. vyd. Praha: Profi Press, c2006, 360 s. ISBN 80-86726-17-7.

ZEMAN, L., P. ŠAJDLER, P. HOMOLKA a V. KUDRNA. *Potřeba živin a tabulky výživné hodnoty krmiv pro koně*. 3. vyd. Brno: MZLU, 2005, 116 s. ISBN 80-715-7855-X.

YOUNGSON, R. M. *Antioxidanty: cesta ke zdraví : jak odstranit vliv volných radikálů*. Vyd. 1. Brno: Jota, 1995, 143 s. Jak na to, sv. 3. ISBN 80-856-1756-0