

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ  
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**BRNO 2015**

**TATIANA RAKOVA**

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Agromická fakulta**  
**Ústav výživy a pícninářství**

---



Agromická  
fakulta

Mendelova  
univerzita  
v Brně



**Selen ve výživě hospodářských zvířat**

Bakalářská práce

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

*Vypracovala:*  
Tatiana Rakova

---

Brno 2015

### Čestné prohlášení

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

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

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

V Brně dne:.....

.....  
podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Horkému, Ph.D. za cenné rady na konzultačních hodinách a pomoc při výběru literatury. Také bych chtěla poděkovat svým rodičům za možnost studovat v zahraničí a za velkou podporu během studia.

## **ABSTRAKT**

Rakova T.: Selen ve výživě hospodářských zvířat, Bakalářská práce, MENDELU, Brno, 40 s.

Selen je esenciální stopový prvek, který hraje důležitou roli v životě všech živočišných druhů. Vysoké dávky selenu jsou toxické, ale deficit selenu úzce souvisí s vysokou citlivostí k různým onemocněním, spojených s nízkou užitkovostí a plodností u hospodářských zvířat.

Selen patří mezi hlavní antioxidanty. Mobilizuje imunitní systém, prodlužuje produktivní věk chovných zvířat, zvyšuje obsah selenu v mase a vejcích. Zlepšuje skladovatelnost produktů. Spolu s vitamínem E zabezpečuje ochranu buněk a tkání před oxidativním poškozením. Hlavní fyziologická funkce selenu je zprostředkovávána pomocí glutathion peroxidázy základní funkce, kterou je odstranění nadbytku peroxidů a volných radikálů z buněk. Selen má nezastupitelnou funkci z pohledu reprodukce hospodářských zvířat. Své uplatnění najde zejména u zvířat s vysokou užitkovostí. Je důležitým mikroelementem k udržení dlouhověkosti zvířat.

Ve výživě zvířat anorganická forma selenu není biologicky příliš aktivní a má nízkou účinnost. Naproti tomu organicky vázaný selen je nepostradatelný nutriční faktor, který má pozitivní vliv na zdraví a užitkovost u všech druhů hospodářských zvířat.

**Klíčová slova:** selen, anorganická forma selenu, organická forma selenu, glutathion peroxidáza, hospodářská zvířata

## **ABSTRACT**

Rakova T.: Selenium in livestock nutrition, Bachelor thesis, MENDELU, Brno, 40 pp.

Selenium is an essential trace element that plays an important role in life all living beings. High doses of selenium are toxic, but selenium deficiency is closely related to high susceptibility to various diseases, that associated with low yield and fertility in livestock.

Selenium is one of the main antioxidants. Mobilizes the immune system, extends the productive age of breeding animals, increases the selenium content in meat and eggs, and improves the shelf life of the products. Together with vitamin E provides protection to cells and tissues from oxidative damage. The main physiological function of selenium mediated through glutathione peroxidase basic function, which is removal of excess peroxides and free radicals from cells. Selenium has an important function from the viewpoint of reproduction for livestock. Especially in animals which have a high performance. This is important mikroelement to maintain the longevity of animals.

In animal nutrition inorganic form of selenium is not very biologically active and has low efficiency. Whereas, organically bound selenium is an essential nutrient factor which has a positive effect on health and performance of all species livestock.

**Keywords:** selenium, inorganic form of selenium, organic selenium, glutathione peroxidase, livestock

## OBSAH

1. ÚVOD.....	8
2. OBSAH SELENU V PŘÍRODĚ .....	9
2.1 Obsah selenu v půdě a vodě.....	9
2.2 Obsah selenu v rostlinách .....	10
2.3 Obsah selenu v živočišné tkáni .....	11
3. VÝZNAM SELENU PRO ZVÍŘATA .....	11
3.1 Význam selenu pro drůbež .....	12
3.2 Význam selenu pro přežvýkavce .....	13
3.3 Význam selenu pro prasata.....	14
3.4 Význam selenu pro koně .....	15
4. DEFICIT SELENU .....	16
5. TOXICITA SELENU .....	17
5.1 Toxicita selenu u hospodářských zvířat.....	17
6. SELEN – ESENCIÁLNÍ PRVEK .....	19
6.1 Selen jako základní nutriční faktor .....	19
6.2 Úloha selenu v živém organismu.....	20
6.3 Selen a imunitní systém .....	21
6.4 Zhoršená reprodukce .....	22
6.5 Role selenu v metabolismu.....	22
7. FUNKCE SELENU .....	24
7.1 Selenoproteiny .....	26
7.1.1 Glutathion peroxidázy.....	27
7.1.2 Selenofosfát syntetáza.....	28
7.1.3 Selenoprotein P .....	28
7.1.4 Ostatní selenoproteiny .....	29
8. SELEN V DIETĚ .....	30
8.1 Stav selenu a dietní příjem.....	30
8.2 Dietní příjem selenu v různých zemích .....	31
8.3 Rozdíly v denním příjmu mezi zeměmi a skupinou obyvatelstva.....	32
9. FUNKČNÍ POTRAVINY .....	33
9.1 Selenem obohacené vejce .....	33
9.2 Řešení nedostatku selenu u lidí přes selenem obohacené vejce .....	33
9.3 Selenem obohacené maso .....	35
10. ZÁVĚR .....	38
11. LITERATURA .....	39

## 1. ÚVOD

Práce se zabývá významem selenu ve výživě hospodářských zvířat.

Selen je esenciální stopový prvek, který je považován za jeden z nejvýznamnějších esenciálních prvků. Existuje velice úzká hranice mezi esencialitou a toxicitou selenu. Při nedostatku selenu ve stravě se zhoršují reprodukční vlastnosti, snižuje se odolnost k různým onemocněním a klesá užitkovost u hospodářských zvířat.

Hlavním zdrojem selenu je půda. V různých zemích koncentrace selenu v půdě je odlišná. Koncentraci selenu v půdě následně odpovídá koncentrace selenu v krmivech a potravinách.

Selen se může vyskytovat ve dvou formách – organické a anorganické. Doposud nepanuje jasná shoda mezi odbornou veřejností, která z těchto dvou forem má pro organismus zvířat lepší uplatnění. Organický selen najde své zejména u hospodářských zvířat v reprodukci, vysokoužitkových zvířat a u zvířat v rekonvalescenci. Cíl této bakalářské práce spočíval v charakteristice selenu jako stopového prvku, který hraje nezastupitelnou roli (produkční i reprodukční) ve výživě hospodářských zvířat.



## 2. OBSAH SELENU V PŘÍRODĚ

### 2.1 Obsah selenu v půdě a vodě

Cyklus selenu se značně liší v různých potravinách jako i ve stejných produktech, které se pěstují v různých oblastech. Je možnost, že nízká dostupnost selenu je výsledkem použití anorganických hnojiv obsahujících síru, které snižují dostupnost selenu, acidifikace a nízké provzdušování pudy.

Bylo několik, které řešily pokusů tento problém pomocí použití hnojení selenem. Tato metoda je široce používána ve Finsku poslední 20 let, ale existuje několik otázek, které vyžadují odpověď před tím, jak tato metoda může být široce využívána v jiných zemích. Například, jaký neznámý vliv mají Se-hnojiva na populaci mikroorganismů v půdě.

V půdě selen existuje ve dvou chemických formách, organický a anorganický. Zejména anorganický selen lze najít v různých minerálech ve formě seleničitanu, selenanu, a selenidu a tak že v kovové formě ( $\text{Se}^0$ ). V potravinových složkách selen je nedílnou součástí různých organických sloučenin, včetně aminokyseliny selenometionim (SeMet), selenocystein (SeCys), a existuje v oxidačním stavu Se -2. V přírodě se zvířatům dostává selen hlavně ve formě SeMet, která je považovaná za nejúčinnější nutriční formu selenu pro zvířata a lidí.

Koncentrace selenu v půdě je obecně nízká přibližně od 0,1 do 2 mg/kg. Nicméně, v některých diskrétních oblastech jak sedimentární horniny a břidlicích, které vznikly během křídového období, může být selen přítomen podstatně ve vyšších koncentracích. Významné množství selenu, se často vyskytují v půdách získaných z pyritu a markazitu. Vysoký obsah selenu soustředěn v půdách sušších oblastech, jako je severoamerická velká rovina na sever od Kanady, zejména ve Wyomingu a Jižní Dakotě (Lyons, Papazyan a Surai, 2007).

Podobné selenem bohaté půdy se vyskytují v Číně v povodí Amazonky, Columbií a Venezuele, Jižní Americe. V menších koncentracích je v Austrálii, Rusku a dalších zemí (Oldfield, 1999). Ale největší množství selenu v půdě je na světě nalezeno v Irsku, kde se jeho koncentrace pohybuje do 1,250 mg/kg (Fleming, 1962). Selen se vyskytuje především jako selenan v dobře odvodněných alkalických půdách, které jsou ve vysoké dispozici pro absorpci rostlinovými kořeny. Na rozdíl od tohoto je v kyselých, špatně odvodněných půdách přítomen především jako nedostupné selenidy a někdy jako elementární selen. Elementární selen je obecně stabilní v půdě a na rozdíl od mírné

oxidace mikrobiální činnosti není převeden do rozpustné formy (Watkinson a Daviens, 1967).

Obsah selenu v pitné vodě je obecně velmi nízký, obvykle několik  $\mu\text{g/l}$ . WHO (1971) v Mezinárodních standardech pro pitnou vodu stanovuje max. 0,01 mg Se/l. Tato hodnota se obvykle ve veřejných dodávkách pitné vody nepřesahuje.

Koncentrace selenu v pitné vodě může být výrazně vyšší v oblastech s vyšší koncentrací železa v půdě. Např. v některých oblastech Číny je ve vodách pro domácnost až 12,27  $\mu\text{g/g}$  Se/l, ve vodách v oblastech se středními koncentracemi selenu v půdě 1,72  $\mu\text{g/l}$  a v oblastech deficitu selenu v půdě 0,37  $\mu\text{g/litr}$ .

## 2.2 Obsah selenu v rostlinách

Vyšší rostliny jsou primárními dodavateli selenu z půdy do potravin. Rostliny samotné pravděpodobně nevyžadují selen pro vlastní metabolismus. Deficit selenu v půdě nemá vliv na růst rostlin a výtěžnost plodin. Obsah selenu v půdě však ovlivňuje jeho akumulaci v rostlinách. Proto v oblastech chudých na selen se selen přidává do hnojiv.

Schopnost rostlin absorbovat selen z půdy je velmi rozdílná. Zdá se, že existuje stejný transportní mechanismus pro absorpci selenu a síry. Proto u rostlin, které jsou běžně bohaté na síru, např. zástupci z čeledí Liliaceae (cibule a česnek) a Cruciferae (kapusta zelí a brokolice), lze očekávat i vysoké koncentrace selenu.

Zjistilo se, že v cereáliích a jiných plodinách pěstovaných v oblastech selenoželezitých půd, je koncentrace selenu vyšší než 5  $\mu\text{g/g}$  (vede k chronické intoxikaci). V několika tisících vzorcích americké a kanadské pšenice byla zjištěna koncentrace 1  $\mu\text{g/g}$ , max. 1,5  $\mu\text{g/g}$ .

Existuje dva typy rostlin akumulujících selen:

- první akumulují selen pouze tehdy, když rostou na selenoželezitých půdách,
- druhé akumulují selen bez ohledu na typ půdy (na selenoželezitých i neselenoželezitych půdách)

V USA bylo identifikováno více než 20 primárních akumulátorů selenu. V řadě zemí se uvádí toxický obsah selenu ve vegetaci a výskyt selenózy (selenosis) u chovaného zvířectva (Kvasničková, 1998; Passwater, 1999).

Dostupnost selenu v rostlinách závisí na mnoha různých faktorech včetně pH půdy, oxidačně-redukčního potenciálu a minerálního složení půdy, od míry umělého hnojení a srážek. Po absorpci rozdělení selenu v různých částech rostliny závisí na druhu, vývojové fáze a fyziologických podmínkách. Například, distribuce selenu byla studovaná na

*Astragalus bisulcatus*, druh akumulátoru schopný akumulovat do 0,65 % selenu ze suché biomasy stonku (Pickeng et al., 2000).

Rostliny absorbují selen z půdy ve formě seleničitanu nebo selenanu a syntetizují selen aminokyseliny společně s SeMet je to více než 50 % selenu v obilovinách (Olson a Palmer, 1976) ostatní sloučeniny mohou být taky nalezené v rostlinách (Brody, 1994). Obecně platí, že rostliny mohou převzít z půdy organické formy selenu jako SeMet. Ještě nebylo prokázáno jakákoliv forma selenu je důležitou a nezbytnou živinou pro vyšší rostliny. Přesto, SeMet je hlavní seleno – sloučenina v obilovinách, travních porostech, luštěninách (Whanger, 2002).

### **2.3 Obsah selenu v živočišné tkáni**

Selen je biogenní prvek, který je obsazen ve všech buňkách, tkáních i tekutinách živočichů. Je nezbytný pro mnoho biochemických funkcí v organismu na celulární a subcelulární úrovni a nemůže být nahrazen jinými prvky. Ve vyšších koncentracích je však prvkem toxickým. V těle zvířat je jeho obsah velmi nízký, přičemž nejvyšší množství selenu je ve svalové tkáni. Koncentrace selenu v organismu zvířat se pohybuje v rozmezí 15 až 25 µg/kg živé hmotnosti. Nejvyšší obsah je v ledvinách, játrech a pankreatu, relativně vysoká koncentrace je v myokardu a v kosterní svalovině. Nejnižší koncentraci selenu má tuková tkáň (Jelínek, Koudela et al., 2003). Množství selenu v jednotlivých orgánech a tkáních, jeho absorpce a exkrece je závislá na řadě faktorů, především na chemických formách a celkovém množství prvků ve stravě. Příjem je dále ovlivněn přítomností určitých jiných složek potravin, např. síry, těžkých kovů a vitamínů. Příjem selenu a jeho distribuci v těle ovlivňují také některé biologické faktory, např. živočišný druh, pohlaví, věk, zdravotní stav (Kvasničková, 1998).

## **3. VÝZNAM SELENU PRO ZVÍŘATA**

Selen je důležitou součástí enzymu glutathion peroxidázy. Tento enzym eliminuje peroxidy před tím, než může dojít k poškození tělesných tkání. Vitamin E je také účinný jako antioxidant. Společně selen a vitamin E zabrání poškození tělesných buněk peroxidy. Dále podporují obranné mechanismy těla proti stresu. Většina krmiva obsahují sloučeniny, které mohou tvořit peroxidy. Nenasycené mastné kyseliny jsou dobrým příkladem. Žluknutí v krmivech způsobuje tvorbu peroxidů, které ničí živiny. Vitamin E,

například, je snadno zničen žluknutím. Selen šetří vitamin E svým antioxidačním účinkem jako složka glutation peroxidázy.

Selen a vitamin E jsou vzájemně propojeny. Oba jsou potřebné pro zvířata a oba mají v těle antioxidační účinky a ještě navíc metabolické role. V některých případech, bude vitamin E střídat v různé míře na selen, nebo naopak. Existují však příznaky nedostatků, které reagují pouze na selen, nebo vitamin E. Selen nemůže nahradit vitamín E ve výživě, vysoké dávky selenu snižuje požadované množství vitamínu E a oddaluje nástup symptomů při nedostatku vitamínu E.

Selen hraje rozhodující roli při zvýšení imunitní odpovědi u zvířat. Například, Dimitrov et al. (1987) uvádějí, že předběžné zpracování polymorfonukleárních neutrofilů z nedostatku selenu u prasat, selenem obnovil jejich oxidační metabolismus, což úzce souvisí se schopností neutrofilů k usmrcení mikroorganismů.

Selen může být přidán do stravy všech druhů hospodářských zvířat. Mohou být použity buď seleničitan sodný, nebo selenan sodný. Selen se přidává do krmiva: až 0,1 mg/kg v kompletním krmivu pro prasata, hovězí dobytek, mléčného skotu, ovcí, drůbeže, králíků, mléčné kozy, pro krůty může být podán ve formě nápoje množstvím 0,2 mg/kg. Koním a ostatním zvířatům (zvěře, zvířata v zoologických zahradách, laboratorní zvířata) lze podávat až do 0,1 mg/kg selenu v celkové stravě (Berger et al., 2006; Church, 1989).

Je třeba se vyhnout nadbytku selenu ve stravě pro zvířata. Nicméně, selen není toxičtější než některé z jiných stopových prvků. Pro prase je například, toxická hladina selenu 5 až 10 mg/kg v potravě. Toto rozpětí bezpečnosti pro selen je větší než u mědi, zinku, železa a manganu případně pro prasata. Publikace National Research Council ukazují, že tyto úrovně selenu v celkové stravě jsou toxické: prasata, 5 - 10 mg/kg; kuřata, 5 - 20 mg/kg; hovězí dobytek, 8,5 mg/kg; koně, 5 až 40 mg/kg; a ovce, 3 mg/kg. Všechny z těchto zvířat vyžadují selen v množství 0,1 mg/kg v celkové stravě (s výjimkou krůt, které vyžadují 0,2 mg/kg, a selata 0,3 mg/kg). Proto existuje významný bezpečnostní faktor mezi úroveň potřebnou v potravě, a co je toxický. Obecně platí, že vyšší hladiny proteinů, síry a arsenu se částečně chránit proti toxicitě nadbytku selenu. Selen by neměl být přidávány do stravy v oblastech, kde se vyskytuje nadbytek selenu. Selen se hromadí v organismu, ale mírné chronické příznaky lze snadno překonat. Selen je rychle eliminován z těla postiženého zvířete, když je zvíře krmeno krmivem s nízkým obsahem selenu (Washington, 1985).

### **3.1 Význam selenu pro drůbež**

Údaje za poslední několik let ukazují, že organický selen v krmných dávkách na udržení vysoké produkce a vysokých reprodukčních schopností u drůbeží. Při nahrazení seleničitanu sodného organickým selenem ve formě Sel-Plex (Se-kvasinky) v krmné dávce v chovu byla zlepšena plodnost a životaschopnost kuřat a časném postnatálním vývoji. Opravdu, organický selen účinně převeden z krmiva do vejce a dále do vyvíjející se embryo. Toto zlepšuje antioxidační obranu a pomáhá kuřatům překonat oxidační stres při lihnutí což vede ke zlepšení lihnutí.

Podobný pozitivní efekt organického selenu byl získán v chovu hus, krůt a perliček (Surai, 2006).

Selen přenesený z vejce do embrya ve formě přísady organického selenu z mateřské výživy a ukazují pozitivní efekt u vyvíjejících se kuřat do 4 týdne po vylíhnutí (Pappas et al., 2005., Surai et al., 2006; Zelenka, 2005). Výhodou organického selenu u nosnic spojena s vyšší kvalitou skořápky a zlepšení produkce vajec.

Vaječná skořápka se skládá z 95 % minerálních látek a 5 % organické matrice. Organická matrice odpovídá za regulaci vzniku krystalů vznikajících ve skořápce, to znamená, že 5 % organické matrici určuje kvalitu skořápky. Pokud organický selen je součástí organické matrice, bylo předpokládáno, že organický selen má vliv na kvalitu vaječné skořápky.

Druhá výhoda organického selenu pro nosnice souvisí s udržením produkce vajec na vrcholu produkce. Problém je v tom, že malé stresy mají negativní vliv při produkce vajec. Jakmile se snižuje produkce vajec, není téměř možné se dostat zpět na původní úroveň produkce. Selen pomáhá překonat malé stresy a podporuje produkce vajec na vrcholu.

Výhodou organického selenu pro masná plemena drůbeže je lepší intenzita růstu snížení úmrtnosti a nízká ztráta tekutiny z masa při skládkování (Choct a Naylor, 2004). Toto může být spojeno s antioxidačním účinkem selenu, aktivací hormonu štítné žlázy a zlepšení imunity.

### **3.2 Význam selenu pro přežvýkavce**

Selen ve výživě přežvýkavců má některé důležité funkce, které představují zvláštní problémy pro mléčné a masné průmysly.

Ve mnoha místech na světě, hladina selenu v krmných dávkách není stabilní, aby vyhovovaly náročným potřebám selenu na přírůstek živé hmoty, reprodukce a laktace

zvířat. V běžné praxi při použití dietetických doplňků selenu v anorganické formě potvrzuje svou nízkou účinnost. Ve mnoha případech veterináři se snaží vyřešit problémy injekcemi selenu, které jsou rozšířenou praxí při produkci mléka. Část spotřebovaného seleničitanu je obnovena na kovový selen nebo selenit bachorovými bakteriemi a tyto dvě sloučeniny nejsou dostupné pro další metabolismus. Druhá část seleničitanu je zahrnuta do proteinů syntetizovaných bachorovými bakteriemi, a je pravděpodobné, že selen je špatně přístupný pro zvířata (Surai, 2006). Nahrazení seleničitanu sodného organickými zdroji selenu zejména droždími ve formě Sel-Plex, bylo prokázáno, že je účinný způsob k řešení problémů v mléčných a masných průmyslech. To zahrnuje zvýšenou koncentraci selenu v krvi a aktivitu glutathion peroxidázy (GPx), přibližně o dvakrát vyšší koncentraci selenu v mlezivě a mléce, více selenu se přináší přes placentu. Důsledkem je zlepšení zdraví krav s nižším množstvím somatických buněk, sníží se počet případů zánětů mléčné žlázy a zpoždění vyloučení placenty po porodu, zvyšuje se úroveň oplození.

Pro novorozená telata je zvýšená antioxidantní obrana a termoregulace, které zabezpečují podporu imunitního systému, životaschopnost a nízkou úmrtnost v prvním měsíci po porodu.

U zvířat s jednokomorovým žaludkem se organický selen používá na rezervu ve tkáních zejména ve svalovině, která může být efektivně používána zvířatům ve stresu, kdy potřeba selenu se zvyšuje v tu dobu, jak se snižuje spotřeba množství krmiva.

### **3.3 Význam selenu pro prasata**

Hlavním problémem novorozených selat je nízká antioxidantní ochrana. Opravdu, placenta omezuje přenos antioxidantů (příklad vitamínu E a Se) od prasnice selatům. Přenosem selenu mlezivo zlepšuje antioxidantní ochranu selat což má pozitivní vliv pro zdraví selat. Velmi dobře známé, že výživa s nízkým faktorem pro prasnice a vyvíjejících se embryí.

V experimentech, které prováděl Mahan et al. (2000), kde byly použity organické (Sel-Plex) a anorganické (seleničitan) zdroje selenu přidané do výživy v 0,15 nebo 0,30 mg/kg pro 43 prasníc během 6 dnů před porodem a v dalších 14 dnů laktace lze shrnout hlavní výsledky následujícím způsobem. Pokud selen ve výživě prasníc zvyšuje se koncentrace selenu a aktivita glutathion peroxidázy (GPx) v syrovátce jak 7 den tak i na 14 den po porodu.

Mlezivo je důležitým zdrojem selenu pro novorozená selata pokud prasnice byly krmeny krmnou směsí s přidaným zdrojem organického selenu (Sel-Px). Při použití organického selenu je zvýšena koncentrace selenu v mléce. Nízká účinnost seleničitanu přenosná s mlékem a mlezivem byla potvrzena použitím kombinaci organického a neorganického 0,15 mg/kg selenu. Pravděpodobně že selen v mlezivě a mléce je v organické formě a selenometionin je významnou součástí těchto forem.

Selen je nezbytným prvkem pro reprodukci prasat (Horky et al., 2012). Selen jako součást glutathion peroxidázy chrání spermie, spermatogonie a spermie proti volným kyslíkovým radikálům (Noblanc et al., 2011). Kromě toho, že hraje klíčovou úlohu při procesu spermatogeneze (Erkekoglu et al., 2012). Není překvapivé, že selen je nezbytný pro spermie, protože poskytuje jejich životaschopnost, motilitu a obecně celkem plodnosti samců (Malinouski et al., 2012; Akinloye et al., 2011). Selen sám ovlivňuje nejen kvalitu ejakulátu kanců, ale podílí se na reprodukčních procesech prasniček (Raber et al., 2010; Hu et al., 2011). Nedostatek selenu v potravě vede k poklesu kvality ejakulátu (Camejo et al., 2011). Doporučená dávka selenu je 0,3 mg/kg v krmné směsi pro moderní genotypy chovných kanců (Kim et al., 2012).

### **3.4 Význam selenu pro koně**

Jednou z velmi častých součástí krmných doplňků a kompletních krmiv pro koně je i selen. Můžeme ho doplňovat ve formě různých lizů, komplexních vitamino – mineralních doplňků, v kombinaci s vitamínem E jako součást kombinovaných antioxidačních preparátů, bývá součástí preparátu i na kloubní výživu a samozřejmě ho najdeme i ve velkém množství kompletních krmiv. Selen zabezpečuje ochranu organismu před škodlivým působením radikálů spolu například s vitamínem C a vitamínem E. Tuto funkci zajišťuje prostřednictvím enzymu glutathion peroxidázy (GPx), jehož je součástí.

U koní je nedostatek selenu nejčastěji projevuje onemocněním svalů. Ale ne všechna onemocnění svalů mají za příčinu nedostatku selenu. Nedostatkem selenu je způsobeno pouze onemocnění nazývané nutriční myodegenerace (NMD).

NMD je tedy onemocnění způsobené nedostatkem selenu v krmné dávce, jehož následkem je nedostatečná ochranná aktivita enzymu glutathion peroxidázy (GPx). Za působení dalších faktorů, jako je například psychický, nebo fyzický stres, pak může dojít k poškození membrán svalových buněk volnými radikály. Toto onemocnění nejčastěji postihuje hříbata do věku 6 měsíců. U starších koní je velmi vzácné. Hlavními projevy je

náhlý nástup svalové ztuhlosti, obtíže při vstávání, nebo dokonce neschopnosti se postavit, a problémy při příjmu krmiva, vody či mléka. Muže dojít k náhlému úhynu hříbete. Postižený mohou být všechny kosterní svaly i sval srdeční. Častým, ale ne vždy přítomným, projevem onemocnění je tmavé zbarvení moče. Naděje na záchranu postiženého koně je i přes včasnou terapii malá. Základem prevence je kontrola zásobení chovných klisen selenem (jíž během gravidity, později jsou hříbata závislá na příjmu selenu mateřským mlékem) a v případě jeho nedostatku zajištění jeho dostatečného příjmu z umělých zdrojů. Nedostatek selenu u starší kategorie koní nemá většinou (s výjimkou NMD) žádné specifické projevy. Nezpůsobuje bolesti zad, ztuhlost, ani tmavé zbarvení moče (pokud nejsou následkem NMD) nebo špatné oslavení. Přesto je dostatečné zásobení selenem nutné i pro tyto koně. Selen se totiž tím, že chrání buňky před poškozením volnými radikály, podílí také na obraně před infekčními, degenerativními nebo nádorovými onemocněními. Má tedy vliv na celkový zdravotní stav koně. (Ludvíková, 2006; Cunha, 1980).

#### **4. DEFICIT SELENU**

Samotná deficiencie selenu není známa, vždy jde o kombinaci s některou jinou esenciální látkou přirozeně se vyskytující v potravinách. Nedostatek selenu v organismu může poukázat na nedostatečný přívod ve stravě, ale i na trávicí poruchy, v důsledku kterých selen v organismu neabsorbuje a nevyužívá účinně (Šinkova, 2007).

Nedostatek selenu narušuje antioxidační systém buněk, co vede k disfunkci mozku, srdečně – cévního systému, jater, svalů. Je také prokázána vyšší úmrtnost na hypertenzi ischemických chorob artérií (Hagarová a Žemberyová, 2005). Mimo jiné dysfunkcí mozku, jater, svalů nedostatek selenu vede k neúčinnosti leukocytů a neplodnosti. Snížená aktivita glutathion peroxidázy nedostatkem selenu má za následek zničení imunity a vzniku cystické fibrózy a roztroušené sklerózy (Suzuki, 2005).

V první fázi deficitu selenu se snižuje GPx a zhoršuje se imunitní odezva - postižená populace může být vnímavější na jakékoli poškození včetně virové a bakteriální nákazy. Epidemiologickými studií bylo zjištěno, že pravděpodobnost onemocnění kardiovaskulárními chorobami a značnou částí maligních onemocnění roste se snižováním koncentrace selenu v organismu.

V druhé fázi při kritickém nedostatku selenu se sníží množství selenu v organismu na tolik, že jsou zasáhnuté všechny jeho funkce včetně změn v hormonálním metabolismu a dalších ochranných a regulačních účinků selenoproteinů a v populaci se může objevit



epidemiologický závazné onemocnění, jako je myxedematozný kretenizmus, Keshanove onemocnění (Hatfield, 2001).

## 5. TOXICITA SELENU

Toxicita selenu spočívá v jeho interakci s trioly, selenit reaguje s glutationem a  $H_2S$  ze vzniku superoxidového radikálu ( $O_2$ ). Následná peroxidace biogenních molekul a membrán představuje molekulární základ toxického účinku určitých forem selenu (Dastyh, 2004). Referenční dávka (Rfd - reference dose) experimentálně stanovená pro selen je  $0,005 \text{ mg.kg}^{-1}$  za den. Představuje dávku, která je pravděpodobně nepřestavuje žádné nepříznivé účinky.

Noael (No observed adverse effect level) - nejvyšší dávka při které ještě není pozorovaná žádná nepříznivá odpověď na statisticky významné úrovni v porovnání s kontrolou skupinou pro selen je stanovena na  $0,015 \text{ mg.kg}^{-1}$  za den.

Loel (lowest observed adverse effect level) je nejnižší dávka, při které je ještě pozorovaný nepříznivý účinek na statistické významné úrovni v porovnání s kontrolní skupinou. Pro selen je stanovena na  $0,023 \text{ mg.kg}^{-1}$  za den (Frankenberger a Engberg, 1998).

Selen při vysokých dávkách (nad  $1000 \mu\text{g}$  denně) působí na organismus toxicky. Jeho toxicita se projevuje zánětem dýchacích cest, edémem plic, zvýšenou krvácivostí, kožními změnami, depresemi. Vazné otravy mozku, vypadávání vlasů, selhaní ledvin (Toth et al., 2004).

Příznaky akutního účinku jsou neklid, zvracení, kovová chuť v ústech, spavost, křeče a smrt zastavením dechu. Pro člověka je jedovatost selenu nižší než u zvířat, a zdá se, že nepůsobí na ledviny, játra, krevtvorbu a nervový systém v takovém rozsahu jako u zvířat. Dalším příjmem selenu se může vyskytnout trávicí poruchy, anemie a kloubové onemocnění. Zvyšuje se dráždivost a nastávají bolesti hlavy (Toman et al., 2003).

Dastyh (2004), uvádí, že na půdách s vysokým obsahem selenu se stávají toxickými i běžné trávy a obilniny. Zvýšený příjem selenu u zvířat podporuje rakovinu pankreatu a kůže (Mosnáčková et al., 2003).

### 5.1 Toxicita selenu u hospodářských zvířat

První zmínka o toxicitě selenu pochází z 13. století od Marca Polo z cesty po západní Číně, který pozoroval, že v určitých regionech se koním olupují kopyta. Je známo, že v těchto oblastech půda obsahuje nejvíce selenu na světě. V důsledku nerovnoměrné distribuce v půdě je Čína známa i oblastmi kde se v 70. letech minulého století zjištěno že lidí trpí specifickým onemocněním z nedostatku selenu (Sinková, 2007).

V Kolumbii, Jižní Americe, v 16-tém století misionář, Pedro Simon (1560) zaznamenal, že v některých oblastech byla jedovatá kukuřice, která způsobovala vypadávání vlasu a jiné abnormality u hospodářských zvířat. Po čtyřech stoletích, výzkumy identifikovaly příčinu otravy, rostliny pohlcují selen z vysoce koncentrovaných selenem půdy v této části Colimbii (Rosenfeld a Beath, 1964).

Podobné incidenty, vysoké koncentrace selenu u hospodářských zvířat byly zaznamenány v minulém století v Irsku, Německu, Španělsku, Venezuele v jiných zemích, ve kterých byla převyšena koncentrace selenu v půdě. Ani Polo ani zemědělci, kteří přišli o svůj dobytek prostřednictvím této záhadné nemoci, neměli žádnou skutečnou představu o příčině, proč se to stalo. Pravděpodobně přijali jejich ztráty nešťastnou náhodou nebo "vyšší moci". Jejich způsobem, jak zabránit onemocnění byl přesun zvířat na bezpečnější pastviny. Až do 20. století nebyla role selenu v otravách zřejmá. Úlohu selenu v těchto otravách začali chápat zejména prostřednictvím zkoumání vědců pracujících v Zemědělské experimentální stanici v USA (Oldfiend, 2005). V 19. století, kdy se rozšiřovali obchody s dobytkem, aby splňovaly požadavky Evropy na maso pro stále se rozrůstající města, byl podporován americkými farmáři přesun stád na západ do Velké roviny na nové pastviny, nastal problém. Osadníci si zjistili, že ne všechny nové země byly dobré pro pastvu. V čem se staly známé jako "špatné země" v Jižní Dakotě a sousední státy ve kterých, rostoucí rostliny na pastvinách způsobovali hospodářským zvířatům onemocnění kopyt a paznehtů, vypadávání srsti a dokonce i smrt. Byla postižena nejen jedna, dvě zvířata ale celá stáda. Byl to problém, který ohrožoval v budoucnu rozsáhnout živočišnou výrobu v postižených oblastech. V roce 1908 ve Wyomingu jako příklad uhynulo 15 tisíc ovcí (Wyoming State Board of Sheep Commissioners, 1908).

I dříve byly hlášeny ve velkém měřítku otravy koní ve stejné oblasti USA. U koně se projevovaly problémy s kopyty, ztráta hřívy a ocasu, a mnoho koní bylo utraceno (Madison, 1860).

Zprávy o podobných otravách koní a jiných domácích zvířat se objevovali v následujících letech přímo do následujícího století. K nim došlo v rozptýlených oblastech

Jižní Dakoty, Nebrasky, Wyomingu, Utahu, a dalších západních státech, kde byly nové zemědělské farmy otevřené (Wolf et al., 1963). Stav u zvířat byl charakterizován obecnou tupostí, nedostatkem vitamínu, hubnutím a kulháním. Koně trpěly vypadáváním žíní na hřívě a ocasu, u skotu bylo sledováno poškození kožních derivátů. Byly také zprávy o teratogenních účincích a snížení reprodukčních schopnostech.

## **6. SELEN – ESENCIALNÍ PRVEK**

Při hodnocení selenu v živočišné výrobě v Austrálii, Peter a Costa (1992) udělali zájmovou poznámku, že soustředěn na toxické účinky selenu byl pravděpodobně hlavním faktorem, který oddaluje zvažování prvku jako důležitou esenciální složkou ve výživě zvířat. Věřili že, i po zásadní roli selenu se stalo známo, že toxicita způsobená nadbytkem prvku i nadále vliv na postoje k použití v živočišné výrobě a možné funkce v biologických systémech. Obava o toxicitě selenu přetrvává do určité míry i dnes, v neposlední řadě ve vztahu k lidskému zdraví.

### **6.1 Selen jako základní nutriční faktor**

Výzkum, který nakonec vedl k objevu sdělení jako základní nutriční faktor vznikl ve studiích pivovarských kvasnic vykonávaný v Evropě v průběhu druhé světové války (Wolf et al., 1963). Bylo zjištěno německými výzkumníky, že krysy krmeny stravou na základě kvasnic, které vyvinuly nekrózu jater. Mohou být chráněné proti této chorobě, pokud pšeničné klíčky a pšeničné otruby, které obsahují alfa-tokoferol (vitamin E) byly přidány do jejich krmné dávky.

Schwarz (1951) a jeho kolegové pokračovali v prozkoumání nekrózy jater a faktory které podílí na její prevenci. O šest let později byl schopen označit selen jako klíčový prvek ve Faktoru 3 (Schwarz a Foltz, 1957). Tento objev znamenal významný milník v našem chápání biologického významu selenu. Poprvé prvek, který do té doby byl znám pouze jako toxin, zodpovědný za otravy hospodářských zvířat a představující v některých místech vážnou ekonomickou hrozbu pro zemědělství, nyní hraje pozitivní a pravděpodobně důležitou roli v oblastech zdraví zvířat.

Stavidla se otevřela v rychlém sledu dalších provedených objevů, které odhalily významnou biologickou roli selenu v živém organismu. Mnoha z těchto raných objevů dokázaly mít značné praktické důsledky pro zemědělství. V roce kdy Schwarz oznámil, že selen by mohl chránit před jaterní nekrózou u potkanů, bylo hlášeno, že by to mohlo také

kontrolovat růst deprese, úmrtnost a exsudativní diatézu kuřat (ED) (Patterson et al., 1957). Další zjištění např. že jedna dávka selenidu vzhledem k vitamínu E u pranic zvýšil porodní procenta (Levander, 1968), toto pomohlo potvrdit, že selen je základní živinou sám o sobě, není jen pomocnou látkou na vitamin E (Oldfield, 2003; Yao, 2015).

Nicméně vztah selenu na vitamin E, byl jako záhadou pro vědce a samozřejmě, nebyl dosud plně objasněn. Brzo bylo zjištěno, že selen je nezbytný pro růst a plodnost u zvířat a pro prevenci různých onemocnění, které vykazují variabilní reakce na vitamin E (Underwood, 1977). Ačkoli selen a vitamin E byly jasně související v jejich činnosti a společná role v metabolismu, neměli fungovat pouze jako náhrada navzájem.

Po hlášení Schwarz o nutriční prospěšné účinky selenu byli rychle následované uznání mezi zemědělskými vědci. Zároveň byl popsán obdobný antioxidační efekt u dalšího antioxidantu vitamínu E, který se selenem působí ve vzájemném vztahu. Došla ve velmi širokém měřítku v mnoha zemích toto zjištění, se objevila odpověď na problém některých onemocnění neznáme etiologie nereaguje či na vitamin E, nebo jinou léčbu.

Toto bylo obzvláště vítané na Novém Zélandu, kde velké plochy zemědělské půdy byly selen - deficitní a sériové ztráty souvisely, jak bylo zjištěno, nedostatkem selenu, mělo značný hospodářský význam (Andrews et al., 1968). Brzy byly udělané kroky vládou a dalšími výzkumnými organizacemi na Novém Zélandu a jinde, určit rozsah problému a nalézt prostředky k překonání. Ve Spojených Státech, kde do té doby viděli v selenu jen problémy pro zemědělce, vzhledem ke své toxicitě, rozšířeny výskyt deficitu selenu byl rychle rozpoznán, a přijmout rozhodne opatření k řešení problému. Ostatní země, včetně Irska a Austrálie, kde se ekonomické důsledky nedostatku selenu u hospodářských zvířat byly také značné, také mobilizovali své vědecké zdroje na řešení tohoto problému.

## **6.2 Úloha selenu v živém organismu**

Vliv selenu na nejrůznější funkce organismu je připisován zejména redoxním vlastnostem jeho organických sloučenin, kde je vázán na místě siry, nejčastěji jako aminokyselina Se-cystein a Se-metionin.

Všechny formy z potravy absorbovaného selenu využitelného pro tvorbu selenoproteinů jsou převedené na selenid který je specifickým selenoenzymem selenotofatsyntetázou fosforizovány na monoselenofostát. Tento maktoergecký intermediát je použitý k selenizaci spíše připraveného serin - tRNA, a ten se za působení

specifického elongačního faktoru, a specifické struktury mRNA, nazvaný SECIS (selenocystein inserting structure) váže na triplet UGA (uracil- guanosin- adenosin) připisované mRNA (Hatfield, 2001).

Uvedený mechanismus proteosyntézy byl prokázán zatím u všech zkoumaných typu biologicky aktivních selenoproteinů. V současné době také pod pojmem selenoproteiny, výhradně proteiny do kterých je takto na základě geneticky určeného klíče zabudován selenocystein. Bílkoviny s jinými formami selenu označujeme souhrnně pouze jako proteiny obsahující selen. Důležitost selenu pro organismus je zdůrazněna právě faktem, že selen je jediným stopovým prvkem využívaným živočišným organismem na základě genetické informace (Kvíčala, 2003).

Biologické účinky selenu jsou spojované s enzymatickou účinností selenocysteinu v aktivním centru enzymu (Halfield, 2001). Bylo izolováno blíže specifikovaných 18 selenoproteinů. Dalších 30 selenoproteinů byly zjištěné pomoci kombinací biochemických, analytických a radio - analytických metod, zejména za přispění značeného selenu a 2D elektroforézy ( Behne et al., 2000).

Samotný elementární selen nemá žádné funkce v živých organizmech a dokonce se vůbec nevstřebává z trávicího traktu zvířat ani lidí. Všechny známé účinky selenu se projevují jen prostřednictvím specifických selenoenzymů, resp. selenoproteinů, selenovodíků, selenomethioninů, anebo jeho jiných sloučenin. Ohledně selenoproteinů byla až do poloviny 80 let známa jen glutathion peroxidáza, která v podstatě funguje jako intracelulární antioxidant. Teprve později byly objeveny další selenoproteiny. Většina známých selenoproteinů představuje antioxidantně intracelulární enzymy úlohou, kterých je odstraňovat volné radikály i redukovat peroxidy vodíků a lipidů na alkohol a vodu (Behne a Kyriakopoulos, 2001).

Expres a aktivita selenoproteinů v tkáních ve všeobecnosti závisí od příjmu selenu potravou (Behne et al., 1991; Marchaluk et al., 1995; Persson – Moschos et al., 1998). Jejich funkce v živých organizmech je antioxidantní ochrana, spoluúčast na funkci steroidních hormonu, imunitního systému, tvorbě a motilitě spermii, funkci prostaty a dalších systému (Badmaev et al., 1996).

### **6.3 Selen a imunitní systém**

Selen jako základní součást selenoproteinů obsahujících protein se podílí na většině aspektů buněčné biochemie a funkce. Je nezbytný pro účinné a efektivní

fungování mnoha aspektů imunitního systému u zvířat i lidí. Imunita a imunitní systém je velmi složitá sbírka procesů, které společně působí a chrání organismus proti útokům patogenů a malignity. Mnoha funkce imunitního systému zahrnují zánětlivé mechanismy, které bez kontroly mohou být zapojené do podmínek patogeneze, jako je například koronární onemocnění srdce, rakoviny, imunity (Arthur, 2003).

Už v 80. letech byli provozované změny v imunitě, organismu nejen v souvislosti s obsahem zinku, ale i selenu. Výsledný efekt je založený na působení selenu na několika úrovních (Halfield, 2001).

Podle Kvičala et al. (2003) suplementace u osob s jeho nedostatkem vede k značnému imunostimulačnímu účinku, včetně zvýšení proliferace aktivovaných T-buněk. Aktivované T-buňky vykazují zvýšenou selenofosfatsyntetázovou aktivitu, notnou na biosyntézu selenofosfátu na tvorbu selenocysteinu, což by mohlo dokumentovat důležitost selenoproteinu pro funkce aktivovaných T-buněk a kontrolu imunitní odezvy.

Deficience selenu zvyšuje agregace trombocytů, což má za následek zvýšené riziko aterosklerózy a snižuje chemotaxi a antimikrobiální aktivitu neutrofilů v důsledku čeho se zvyšuje riziko infekčních chorob (Ferencik, 2002).

Neutrofilů produkují superoxid deriváty, které se zúčastňují na ničení mikroorganismů. Tento proces zabezpečuje rovnováhu mezi tvorbou volných radikálů napadajících organismus a aktivitou neutrofilů. Jakékoliv nedostatek selenu nemá vliv na počet neutrofilů, některé aspekty jejich funkce jsou chybné (Arthur et al., 2003).

## **6.4 Zhoršená reprodukce**

Reprodukční schopnost je nepříznivě ovlivněna nedostatkem selenu u mnoha významných druhů hospodářských zvířat (Underwood, 1997). Produkce, líhivost vajec a životaschopnost nově vylíhnutých kuřat se snižuje s nízkým příjmem selenu. Suplementace selenu se zlepšila plodnost u bahnic a průběh porodu u krav. Bylo prokázáno, že zadržení placenty, které se snížilo z 17,5 % na nulu u dojnic, bylo dáno jak selenem, tak i vitamínem E (McDowel).

## **6.5 Role selenu v metabolismu**

Primární úlohou většiny selenu je absorpce v gastrointestinálním traktu, která by měla být začleněna do proteinu, buď specificky do několika různých selen enzymů, nebo do svalových bílkovin. Žádné prvky nezůstávají v anorganické a nonkomplexní formě.

Protože jeho chemické reaktivity jsou velmi důležité, aby selen zacházel především v relativně nereaktivní organické části před jeho začleněním do katolicky reaktivních selenoproteinů (Arthur, 2003). Mechanizmy, které začleněné do těchto proteinů jsou složité, a pokud víme proces, stále existují značné rozdíly v našem chápání funkce mnoha různých selenoproteinů. Skutečně, i přes více než 50 let zkoumání metabolismu selenu teprve v poslední době bylo zjištěno, že byly nalezeny odpovědi na mnoha nejasnosti o prvku.

V potravinách se selen vyskytuje v organické formě, v dietetických suplementech jak v organické, tak anorganické formě. Suplementy selenu pro domestikovaná zvířata jsou obvykle anorganické, zatímco humánní obvykle organické.

Organický selen se absorbuje odlišně od anorganického a proto jejich biologická využitelnost je značně rozdílná. Většina organických sloučenin selenu se absorbuje téměř úplně (85 – 95 %), zatímco anorganický selen se absorbuje u lidí velmi rozdílně (40 – 70 %). Záleží na tom, zda jde o seleničitan či selenan. Organický selen se ukládá ve tkáních, anorganický se po saturaci organismu eliminuje močí.

Krev obsahuje cca 0,1 mg/Se/l, přičemž 60 % je v červených krvinkách a 40 % v seru. Selen se transportuje prostřednictvím krve do všech tkání těla. V těle dospělého lidského jedince je běžná cca 10 – 15 mg selenu (v oblastech chudých na selen pouze 5 – 6 mg). Asi polovina celkového množství selenu je v játrech. Ve tkáních se část selenu váže na enzym glutathion peroxidázu, zbytek na hemoglobin a jiné proteiny. Dosud není přesně znám význam proteinů obsahujících selen. Selen je složkou některých dalších enzymů, které nebyly dosud zcela prozkoumány.

Při aplikaci doplňků selenu by se mělo dosáhnout koncentrací v krvi v rozmezí 200 – 300 µg/Se/l. Při této koncentraci působí selen inhibičně na peroxidaci lipidů a projevují se jeho další kladné účinky (Kvasničková, 1998).

Resorpce selenu probíhá aktivním způsobem v tenkém střevě, v menší míře i v tlustém střevě. Míra resorpce u monogastričních zvířat je vyšší než u přežvýkavců, protože v předžaludku dochází k tvorbě redukovaných sloučenin selenu, které se špatně vstřebávají. Resorpce je ovlivněna i věkem zvířat a především chemickou formou a rozpustností selenových sloučenin. U přežvýkavců se nejlépe resorbuje selen v organické formě jako selenometionin. Míra resorpce selenu u monogastričních zvířat je vysoká, dosahuje až 80 %. U přežvýkavců míra resorpce činí 30 – 40 %. Je-li selen ve formě selenometioninu, jeho vystěhovávání je vysoké i u přežvýkavců a dosahuje až 60 %. Selen podaný zvířatům ve vysokých dávkách ve formě anorganických sloučenin (seleničitan

sodný) se resorbuje a může vyvolat intoxikaci. Organické formy selenu jsou méně toxické. Exkrece selenu se uskutečňuje močí, výkaly mlékem a dýcháním. Ve výkalech se nachází selen, který se neresorboval, dále selen který se do střeva vyloučil prostřednictvím žluči, pankreatické a střevní stavy. Při intoxikacích selenem se jisté množství selenu vylučuje potem a exhalací plícemi.

Homeostáza selenu je zabezpečována rozlišením mírou resorpce, distribucí v organismu a především exkrecí močí a výkaly. Při karečních stavech je míra resorpce vyšší a selen se ukládá ve vyšších koncentracích v játrech, ledvinách i svalovině. Ve svalové tkáni je vázán na metionin. Při zvýšeném příjmu selenu, se zvyšuje i jeho koncentrace v mléce a vejcích.

Potřeba selenu u zvířat je nízká a činí 0,1 až 0,3 mg.kg<sup>-1</sup> sušiny krmné dávky. Je ovlivněna věkem zvířat, intenzitou růstu, produkci a graviditou. Při vysokém obsahu síry v krmné dávce se potřeba selenu zvyšuje. Rovněž zvýšený obsah nenasycených mastných kyselin v krmné dávce zvyšuje potřebu selenu. Potřeba selenu je ovlivněna i příjmem vitamínu E.

Projevy nedostatku selenu jsou u zvířat velmi rozmanité. Je známa celá řada zdravotních poruch při karenci selenu. Jedná se o svalovou dystrofii u skotu, ovcí, koz, prasat a drůbeže. Častěji bývají postižena mláďata, a to za současného nedostatku vitamínu E. Dále se vyskytují poruchy v reprodukci, ovariální cysty, degenerativní procesy varlat, zadržení lůžka a následně endometritidy. S imunodeficiencí souvisí vysoká nemocnost mláďat, vznik endometritid a mastitid.

Zvýšený příjem selenu může vyvolávat intoxikace, které mohou vznikat spontánně při spásání porostu s vysokou koncentrací selenu (5 až 40 mg/kg sušiny) nebo při předávkování seleničitanu sodného či jiných selenových sloučenin minerálních krmných směsí. U zvířat vzniká tzv. alkalická choroba, která se projevuje ztrátou chuti, nekoordinovaným pohybem, kolikovými bolestmi a úhynem zvířat. Při chronické intoxikaci dochází k patologickým změnám na myokardu, játrech, ledvinách, rohovině paznehtu a kopyt. Vyskytuje se zánět škáry, kulhaní, apatie, vypadávání srsti, hubnutí a úhyn zvířat (Jelínek, Koudela et al, 2003; Kvasničková, 1998).

## **7. FUNKCE SELENU**

Selen plní v těle řadu úloh:



- a) je to antioxidant, tj. brání tvorbě peroxidů lipidů v buňkách a poškození buněk, oddaluje patologicky proces stárnutí. Selen je součástí obranného systému organismu. Ochranné účinky selenu doplňuje vitamín E, spolu zajišťují ochranu buněk před působením volných kyslíkových radikálů. Zatímco vitamín E chrání buněčnou membránu, selen prostřednictvím glutathion peroxidázy (GPx) se společně s dalšími selenoproteiny podílí na ochraně cytoplazmy buněk. Volné kyslíkové radikály jsou velmi reaktivní sloučeniny, které vznikají v průběhu metabolických procesů v organismu. Zvláště ve velkém množství vznikají za různých patologických procesů v organismu. Jejich toxické působení spočívá v reakci s dvojnými vazbami nenasycených mastných kyselin a přeměně těchto vazeb na peroxidickou. Zvýšená tvorba lipoperoxidů je doprovázena poruchami buněčných membrán i cytoplazmy. Selenoorganické sloučeniny chrání buněčné struktury před peroxinitraty a tím i před nitrací, čímž chrání mimo jiné i DNA před poškozením.
- b) zamezuje vznik krevních sraženin tím, že inhibuje shlukování krevních destiček. Selen je důležitý pro metabolismus prostaglandinů, přičemž prostaglandiny jsou velmi důležité regulátory koagulace krve. Některé prostaglandiny mají nežádoucí účinky (např. zánětlivé odezvy v kloubech). Zda se, že selen podporuje produkci prospěšných prostaglandinů a snižuje tvorbu škodlivých prostaglandinů. Nízký příjem selenu je pravděpodobně jedním z faktorů vzniku infarktu myokardu a aterosklerózy.
- c) zvyšuje účinnost imunitního systému a odolnost organismu vůči virovým a bakteriálním infekcím, dostatečné množství selenu je nezbytné pro optimální buněčnou imunitu, především pro funkci T-lymfocytů, fagocytózu i tvorbu interleukinů. Ovlivňuje baktericidní aktivitu neutrofilních granulocytů, zvyšuje produkci protilátek. Selen ovlivňuje kvalitu kolostra – koncentrace imunoglobulinů. Významně působí na plodnost samic a samců. Ovlivňuje morfologickou strukturu a metabolismus spermií i tvorbu testosteronu. Selen snadno přestupuje přes placentu a je nezbytný pro optimální vývoj mláďat. Úroveň imunity, která je determinovaná selenem a jeho sloučeninami, ovlivňuje průběh puerperia a zdravotní stav mléčné žlázy. Selen je nezbytný pro činnost štítné žlázy.
- d) inhibuje poškození chromozomů, vznik mutací a rakoviny. Experimenty na zvířatech ukázaly, že deficit selenu zvyšuje riziko rakoviny. Selen působí proti rakovině a inhibuje přenos karcinogenních virů z matky na plod. Vitamín E a vitamin A umožňují preventivní účinky selenu proti rakovině. Výskyt rakoviny je běžnější u populací s nízkými koncentracemi selenu v krvi.

Selen zamezuje vzniku rakoviny pravděpodobně 4 způsoby:

- chrání buňky před poškozením volnými radikály kyslíku; volné radikály tvoří peroxidy, které urychlují propagační fázi rakoviny,
- snižuje mutagenezi karcinogenů,
- inhibuje reprodukci karcinogenních virů,
- inhibuje dělení rakovinných buněk.

Při léčení rakoviny se aplikují dávky selenu podstatně vyšší, než se používají v prevenci. Pro prevence jsou dostatečné dávky 200 – 300 µg/den.

- e) neutralizuje škodlivé účinky těžkých kovů a jiných toxických látek v těle. Nízký příjem selenu se považuje za základní faktor vedoucí ke vzniku endemického onemocnění Keshan (nemoc byla pojmenována po oblasti Keshan v severovýchodní Číně, kde byl její výskyt značný a to především u dětí). Mezi hlavní symptomy nemoci Keshan patří aktuální nebo chronická srdeční nedostatečnost, zvětšení srdce, galopový rytmus a arytmie (Kvasničková, 1998.; Jelínek, Koudela et al., 2003.; Reffett et al., 1988).

## 7.1 Selenoproteiny

V organismu živočichů se nachází selen v mnoha sloučeninách – selenoproteinech, které mají enzymatickou aktivitu. Předpokládá se existence asi 50 selenoproteinů. Když bylo objeveno v roce 1970, že selen je složkou antioxidačního enzymu glutathion peroxidázy (GPx), věřilo se, že hlavní, ale ne jedinou rolí prvku je působení jako antioxidant (Rotruck et al., 1973). Následné zjištění jasně ukázaly, že selen působící prostřednictvím exprese široké škály selenoproteinů, má různé role v těle hospodářských zvířat.

Selen svými antioxidačními vlastnostmi je zapojen do homeostázy hormonu štítné žlázy, imunity, plodnosti a mnoho dalších aktivit. Bylo prokázáno, že má protirakovinné vlastnosti, působící jako růstový faktor, hraje důležitou roli v regulaci syntézy leukotrienů, tromboxanů a prostaglandinů, a v jiných metabolických funkcích (Imai et al., 1998). Všechny biologické funkce připisované selenu jsou zprostředkovány selenoproteiny. Prvek je začleněn do primární struktury těchto proteinů jako aminokyselina selenocystein (Sec). Více než 40 různých selenoproteinů bylo identifikováno u savců denaturačním činidlem dodecylsulfat sodný - polyacrylamidová gelová elektroforéza (SDS – PAGE) z 75 Se . Asi 20 z nich byly doposud charakterizovány čistěním a klonováním (Arthur nad Beckett, 1994).

Selenoproteiny které byly nejen u savců, zahrnují několik různých GPXs, tři hormony štítné žlázy a tři thioredoxin reduktázy (TRs). Ve všech selenoproteinech je charakteristické to, že nalezený selen je ve formě SeCys (selenocystein) v aktivním místě. Při fyziologickém pH selen ve formě Sec je plně izolovaný a působí jako velmi účinné redox katalyzátoru. Selenoproteiny se známou funkcí hrají klíčovou roli v různých biologických procesech, včetně antioxidační funkci, metabolismu hormonu štítné žlázy a redoxní rovnováhy (McKenzie et al., 2002). Kromě těchto třech „rodin“ enzymu, řada dalších selenoproteinů byly identifikovány s dalšími funkcemi, z nichž ne všechny byly dosud jasně popsány.

### 7.1.1 Glutation peroxidázy

Dosud bylo popsáno nejméně šest savčích GPx isoenzymů (Beckett and Arthur, 2005). Každý z nich se objevuje v různých buněčných kompartmentů. Jejich množství je sníženo v různé míře podle nedostatku selenu. Tak v závislosti na citlivosti jednotlivých GPx na nedostatek selenu, ztráta aktivity z určité tkáně může způsobit související s tím specifický stav orgánu. To by mohlo vysvětlit zapojení nedostatku selenu v patogenezi zdánlivě nesouvisejících klinických stavů (Arthur et al., 1987; Kierstyn, 2012) „klasický“ GPx1, také známy jako intracelulární nebo cytosolový GPx (cGPx) byl první funkční selenoprotein jasně charakterizovaný. Byl původně uznán v roce 1957, ale jeho selen - závislost nebyla objevena až do roku 1971 (Rotruck et al., 1973). Bylo to zjištěno v erythrocytech, kde hemoglobin byl chráněn před oxidačním poškozením peroxidem vodíku (Mills, 1957). Enzym se skládá ze čtyř identických 22 kDa podjednotek, z nich každý obsahuje jeden zbytek Sec, spolu s ionizační částí selenol působí jako redoxní centra v peroxidázách (Forstrum et al., 1978). Vyjádřen ve všech typech buněk u savců. GPx1 může metabolizovat celou řadu volných hydroperoxidáz jakož i peroxid vodíku, ale ne hydroperoxydy mastných kyselin esterifikovaných v fosfolipidech, jako jsou ty, které v buněčných membránách (Grossman a Wendel, 1983). Enzym může být uložištěm (rezervoárem) selenu, role, které by mohly odpovídat za jeho užitečnosti, alespoň za určitých podmínek, jako indikátor stavu selenu.

GPx2 a GPx3 také známe jako extracelulární GPx, mají podobné tetramilní struktury jako GPx1. Jsou to antioxidanty, i když působí v různých kompartmentech s GPx2 v gastrointestinálním traktu a GPx3 v plazmě (Takahasi a Cohen, 1986). GPx3 je vylučovaný glykoprotein a je to druhu nejhojnějšího selenoproteinu v plazmě.

4. známý jako fosfolipid hydroperoxid GPx, je protein monomer 20 až 30 kDa, strukturou podobný jedné podjednotce jiné GPxs. Byl nalezený ve stejných orgánech jako

GPx1, ale ne ve stejném množství. Například, v játrech potkanu je poměrně malé množství, ale varlata jsou na tento enzym bohatá, kde může být regulován gonadotropiny (Roveri et al., 1992). Je odolnější vůči účinkům při nedostatku selenu než jiné GPx3, což může znamenat, že GPx4 má důležitější antioxidační úlohu než ostatní enzymy z této skupiny (Arthur, 1992). Bylo také navrženo, že hlavní nutriční interakcemi mezi selenem a vitamínem E může být ochrana buněčných membrán GPx4 a vitamínem před oxidačním poškozením (Ursini and Bindoli, 1987). Kromě své antioxidační činnosti, se předpokládá, že GPx4 má řadu dalších rolí. Existuje důkaz o tom, že se podíl na mužské plodnosti, byl identifikován jako inaktivní strukturální protein mitochondriální kapsle spermií, kde se protein stane oxidačně neaktivní (Ursini et al., 1999). Může být také zapojen do moderování apoptotické buněčné smrti (Nomura et al., 2001).

Funkce GPx5 je nejasná, GPx6 byl identifikován při použití metody bioinformatiky k hledání lidského genomu. Je málo známo o jeho struktuře nebo funkci. Zda je být homologem GPx1. Byl zjištěn pouze v embryích a čichovém epitelu (Kryukov et al., 2003).

V krvi je selen obsazen v erytrocytech, leukocytech a trombocytech, v menší míře je obsazen v krevní plazmě a to ve formě selenoproteinů, především glutathionperoxidázy

### **7.1.2 Selenofosfát syntetáza**

Selenofosfat syntetáza je zodpovědný za syntézu selenofosfátů, meziproduct v biosyntéze Sec. U prokariot je enzym identifikován pomocí genového produktu Sel D. Dvě selenofosfát syntetázy byly zjištěny u eukariot: Sps 1 a Sps 2 (Low et al., 1995). Předpokladem bylo, že aktivita v rámci Sps 2 závisí na dostupnosti selenu, tyto enzymy mohou mít úlohu jako citlivé autoregulaci syntézy selenoproteinů (Guimaraes et al., 1996).

### **7.1.3 Selenoprotein P**

Selenoprotein-P (Se-P) je glykoprotein 43 kDa, který obsahuje 10 až 12 Sec zbytku na molekule. Bylo zjištěno, že je to jediný selenoenzym který obsahuje více než jeden Sec. Molekula je také bohatá na histidin a cysteinové zbytky a v důsledku toho mají silné vzájemné kovové vlastnosti. Byly identifikované 4 izomery Se-P (Ma et al., 2002).

Se-P je exprimován převážně v játrech, ale je také v jiných tkáních. To je hlavní selenoprotein v krvi. Poskytuje 60 – 70 % prvků v plazmě (Read et al., 1990). Jeho funkce

je stále nejistá. Může sloužit jako antioxidant a to zejména v extracelulární tekutině. Existuje důkazy, že může poskytnout ochranu endotelovým buňkám před poškozením v průběhu peroxidačního zánětu, zejména pokud jsou vyvolány peroxydusitanem (Arteel et al., 1999). Se-P může mít také úlohu jako transportér selenu z jater do míst, kde je to nezbytné pro začlenění do jiných selenoproteinů (Mostenbocker a Tappel, 1982).

#### **7.1.4 Ostatní selenoproteiny**

Selenoprotein-W (Se-W) nejprve byl objeven v kosterní svalovině potkanů. Je jím obohaceno kosterní, srdeční svalovina, mozek, varlata, slezina, vaječníky a některé další tkáně. Je to nízko molekulární cytosolový protein přibližně o 10 kDa s jediným Sec zbytkem na molekule (Vendeland et al., 1995).

Váže a ovlivňuje metabolismus glutationu (Jelínek and Koudela 2003). U jehňat a ostatních hospodářských zvířat může být nezbytný pro prevenci, ve spojení s vitamínem E, od onemocnění bílých svalových vláken. Hladina Se – W rychle reaguje na změny v příjmu selenu, což je potenciálně užitečný ukazatel stavu selenu v organismu (Whanger et al., 1993).

15 kDa selenoprotein (Sell5), je protein obsahující Sec, který byl zjištěn u potkanů a lidí – vysoce exprimován v epitelových buňkách prostaty (Gladyshev et al., 1998). Bylo zjištěno, že gen pro Sell5 je umístěn na chromozomu, který je často postižen rakovinou (Kumaraswamy et al., 2000), a také to, že se zdá, že suplementací selenu lze snížit výskyt karcinomu prostaty (Clark et al., 1998), předpokládá se že Sell5 může hrát roli v ochraně proti této formě rakoviny. Několik dalších proteinů obsahujících Sec byly identifikovány bioinformačními metodami, ale jejich funkce zůstávají, neznáme. Zahrnují 18 kDa mitochondriálních selenoproteinů (Kyriakopoulos et al., 1996). Jsou někdy popisovány jako „osiřelé selenoproteiny“ a byly identifikované zkratky SelR, SelT, SelN, SelX, SelZf1 a SelZf2 (Kryukov et al., 1999; Lescure et al., 1999). Kromě SelR který je součástí metionin sulfoxid reduktázy, ostatní selenoproteiny známe velmi málo (Kryukov et al., 2002).

Několik dalších proteinů obsahujících Sec, včetně některých méně než 10 kDa ve velikosti, byly zjištěné pomocí SDS- PAGE a autoradiografií. Některé ze skupin by mohly být dále rozdělené do několika dalších, podle různých izoelektrických bodů (Kyriakopoulos et al., 2000).

I když některé z těchto sloučenin mohou být prekurzory nebo metabolickými produkty jiných selenoproteinů, tato zjištění naznačují, že kromě Sec – obsahující

proteiny existuje i jiné selenoproteiny u savců, které stále čekající na identifikaci (Bene and Kyriakopoulos, 2001).

K dalším selenoproteinům náleží jodtyronin-5-dejodaza – kontroluje metabolismus štítné žlázy a umožňuje přeměnu T4 na T3, ovlivňuje termoregulaci. Selenoprotein spermie umožňuje správnou morfologickou strukturu spermie a ovlivňuje její energetický metabolismus a pohyblivost. Thioredoxin reduktáza – selenoprotein s enzymatickou aktivitou, který je obsazen především v hepatocytech (Jelínek, Koudela et al., 2003).

## 8. SELEN V DIETĚ

### 8.1 Stav selenu a dietní příjem

Dietní příjem selenu obecně závisí na množství prvku v půdě, na které jsou použité potraviny vypěstovány. Rozdíl hladiny selenu v půdě mezi různými částmi světa může ukázat značné rozdíly, a příjem selenu na obyvatele se může značně lišit mezi jednotlivými zeměmi. Další faktory, kromě hladiny selenu v půdě mohou být také i zemědělské podniky, zemědělské postupy, typ stravy a v poslední radě ekonomické podmínky spotřebitelů (Combs, 2001). Celosvětový rozsah ve stavu selenu se odrazí v úrovních selenu v plazmě nebo séra které jsou zaznamenané v různých zemích. Podrobné přezkoumání selenu v globálních potravinových systémech se dokládá v datech Combs. To zahrnuje tabulku koncentraci selenu v krvi u zdravých dospělých lidí z 69 různých zemí od Rakouska do Zambie. Ty se pohybují od minima 15 +/- 2 µg/l v Burundi, do maximálních hodnot 315 +/-135 µg/l ve Venezuele a téměř 500 µg/l v Číně. Některé z těchto dat jsou uvedené v tabulce č. 1.

Combs také dělá příslušnou poznámku, že vzhledem k rozdílu v geografii zemědělských postupů, dostupnosti potravin a preference, je většina z nich obtížné kvantifikovat. Hodnocení příjmu selenu různých skupin lidské populace je zřídka specifické. Totéž lze říct o vyhodnocení stavu selenu, zvláště když jsou založeny na měření hladiny prvku v krvi. Nicméně tyto hodnocení jsou užitečné, protože poskytují celkový obraz v různých zemích a komunitách.

Tabulka č. 1

Průměrné hladiny selenu v séru nebo plazmě zdravých dospělých lidí v různých zemích

Země	Hladina selenu (µg/l)	Reference (odkaz)
------	-----------------------	-------------------

<b>Rakousko</b>	67+/-24	Tiran et al.(1992)
<b>Austrálie</b>	91+/-12	McOris and Fardy (1989)
<b>Kanada</b>	146+/-27	Vézina et al. (1996)
<b>Čína (východní oblasti)</b>	80+/-10	Whanger et al. (1994)
<b>Čína (Keshan oblasti)</b>	21+/-6	Whanger et al. (1994)
<b>Čína („Selenosis areas“)</b>	494+/-140	Whanger et al. (1994)
<b>Anglie</b>	88+/-21	Thuluvath and Vath (1982)
<b>Finsko do roku 1984</b>	66+/-11	Westermack (1977)
<b>Finsko po roku 1984</b>	110+/-8	Korpela et al. (1989)
<b>Francie</b>	83+/-4	Ducros et al. (1987)
<b>Německo</b>	86+/-13	Meissner (1997)
<b>Irsko</b>	94+/-14	Darling et al (1992)
<b>Italie</b>	87+/-17	Casaril et al. (1995)
<b>Japonsko</b>	117+/-16	Mastuda et al. (1997)
<b>Nizozemsko</b>	69+/-6	Van der Torre et al.(1991)
<b>Nový Zéland</b>	53+/-6	Thomson and Robinson (1993)
<b>Norsko</b>	119+/-16	Meltzer and Huang (1995)
<b>Španělsko</b>	94+/-3	Ferrer et al.(1999)
<b>Turecko</b>	71+/-2	Ozata et al. (1999)
<b>USA východní státy</b>	113+/-15	Salvini et al. (1995)
<b>USA centrální státy</b>	133+/-15	Smith et al. (2000)
<b>Zaire</b>	82+/-3	Vanderpas et al. (1993)

(Combs, 2001)

## 8.2 Dietní příjem selenu v různých zemích

Na základě dostupných dat ve vědecké literatuře, lze odhadnout, že normální průměr selenu na dospělé obyvatele na celém světě se pohybuje přibližně v rozmezí od 10 – 200 µg/den. Když jsou extrémní příjmy, jak je vidět v takových oblastech jako Keshan a “selenosis areas“ v Číně, rozsah je výrazně zvýšen od 3 až do 6,500 µg/den, jak je uvedeno v tabulce č. 1. Nízký příjem může způsobit závažné klinické nedostatky a naopak vysoký příjem může způsobit chronické problémy se zdravím, mezi tím byl provazován bezpečný a dostatečný denní příjem selenu 50 – 200 µg/den americkým Úřadem pro potraviny a výživu Board (1980).

### 8.3 Rozdíly v denním příjmu mezi zeměmi a skupinou obyvatelstva

Pro některé maso a ryby jsou z hlavních dietních zdrojů selenu, to by se dalo očekávat, že lidé, kteří z různých důvodů nemohou konzumovat tyto potraviny nebo jen v omezeném množství, by mohli být v nebezpečí, protože nemají dostatečný příjem stopového prvku. Nicméně toto není tak nutné, a to zejména v případě když v dostatečném množství konzumované obilniny (Really, 2006).

Tabulka č. 2

Odhad příjmu selenu dospělými lidmi v různých zemích

Země	Dávka (µg/den)	Reference
<b>Austrálie</b>	55-87	McOrist and Fardy (1989)
<b>Bangladéš</b>	63-122	Bieri and Ahmed (1976)
<b>Belgie</b>	30	Amiard et al. (1993)
<b>Kanada</b>	98-224	Giessel – Nielsen (1998)
<b>Čína (východní oblasti)</b>	53-80	Zhang et al. (2001)
<b>Anglie</b>	29-60	BNF (2001)
<b>Finsko do roku 1984</b>	25-60	Westermack (1977)
<b>Finsko po roce 1984</b>	67-110	Korpela et al. (1989)
<b>Francie</b>	29-43	Ducros et al. (1997)
<b>Německo</b>	38-47	Oster and Prellwitz (1989)
<b>Indie</b>	28-105	Dang et al. (2001)
<b>Irsko</b>	44	Murphy et al. (2002)
<b>Japonsko</b>	104-127	Yoshita et al.(1998)
<b>Mexiko</b>	61-73	Valutine et al. (1994)
<b>Nový Zéland (jižní)</b>	19-80	Thomson and Robinson



<b>ostrov)</b>		(1993)
<b>Polsko</b>	30-40	Wasowicz et al. (2003)
<b>Rusko</b>	54-80	Aro and Alfrhan (1998)
<b>Srbsko</b>	30	Djujic et al. (1995)
<b>Slovensko</b>	27-43	Kadrabová et al. (1998)
<b>Turecko</b>	18-53	Aras et al. (2001)
<b>USA</b>	60-220	Longnecker et al. (2001)
<b>Venezuela</b>	200-350	Combs and Combs (1986)

Zdroje: Adapted from Combs, G. F., 2001, Selenium in global food systems, *British Journal Nutrition*. 85, 517-547

## 9. FUNKCNÍ POTRAVINY

### 9.1 Selenem obohacené vejce

V současné době, selen - obohacené vejce jsou vyráběny ve více než 25 zemích po celém světě, přičemž východoevropské země prospěly v tomto směru nejvíce. Rusko je v současné době nejvyspělejší zemí v tomto oboru, produkuje kolem 38 miliard vajec, a 40 % z drůbežáren produkuje různé upravené vejce se zvýšenými hladinami selenu, vitamínů, polynenasycených mastných kyselin a dalších funkčních sloučenin, (Fisinin, 2007). Existuje více, než 20 drůbežích podnikatelů účtujícími v Rusku, které prodávají selen – obohacené vejce na trhu. Ty se nacházejí v různých oblastech země v rozmezí od Petrohradu na Sibiř a Dálný východ. Obecně nejsou navzájem konkurující na místních trzích. Hladina selenu dodávaného v jednom ruském obohaceném vejci se pohybuje od 20 do 35 µg. V mnoha případech, jsou vejce současně obohacené o vitamín E. Jedno vejce obsahuje asi 30 – 35 µg selenu, asi 15 – 20 mg vitamínu E a je také obohacen přírodními karotenoidy.

Jako hlavní zdroj selenu pro nosnice na úrovni 0,3 – 0,5 mg/kg v krmivu je Sedroždí v komerční formě Sel-Plex (Alltech Inc., USA; Skřivan 2009).

### 9.2 Řešení nedostatku selenu u lidí přes selenem obohacené vejce

Vzhledem k tomu, že obsah selenu v rostlinné bázi potravin závisí na dostupnosti z půdy, úroveň tohoto prvku se v lidských potravinách liší mezi regiony. Při zvažování způsobů, jak zlepšit lidský příjem selenu, existuje několik možností, včetně výroby

obohacené selenem vajec, masa a mléka (Surai, 2000, 2002, 2006), stejně jako doplňky selenu. V současné době v masu a masných výrobcích ve Velké Británii poskytují 32 % denní spotřeby selenu a mléčné výrobky a vejce jsou zodpovědné za 22 % spotřeby selenu (British Nutrition Foundation, 2001). Na druhé straně, v Rusku pochází asi 50 % selenu v potravě z chleba a obilovin, zatímco maso, mléko a vejce poskytují asi 20 %, 10 % a 5 % denní spotřeby selenu, v tomto pořadí (Golunkina et al., 2002). V USA, hovězí maso, bílý chléb, vepřové maso, kuřecí vejce tvoří polovinu denní spotřeby selenu ve stravě (Schubert et al., 1987). V Irsku, maso a masné výrobky (30 %), chleba a rohlíky (24 %), ryby a rybí produkty (11 %), mléko a jogurt (9 %) jsou hlavními produkty přispívající na průměrný denní příjem selenu (Murphy et al., 2002). V Japonsku v alpských komunitách, je ryba hlavním zdrojem selenu (48 % z denní potřeby), pak vejce (24 %) a maso (17 %). V pobřežní oblasti ryby představují 58 % celkového denního příjmu selenu, pak následuje maso (18 %) a vajec (16 %). V obou obvodech, celkový přínos rýže a pšenice výrobků se pohybovala okolo 10 % (Miyazaki et al., 2004).

Zdá se, že vepřové maso, hovězí a kuřecí maso, stejně jako mléko, může být také obohacené selenem. V některých oblastech, s vysokým obsahem selenu v krmivu (např. Jižní Dakota), maso a mléko je přirozeně obohacené selenem (Lawler et al., 2004).

Před příchodem komerčně dostupného organického selenu pro živočišné stravy, bylo hlavním problémem, pokud jde o obohacení vajec selenem, nízká účinnost přenosu anorganického selenu (ve formě seleničitanu nebo selenanu) na vejce. Ve skutečnosti, dokonce i vysoké dávky seleničitanu ve výživě nosnic nebyly schopno výrazně obohatit vejce tímto stopovým prvkem (Surai, 2002). Ve skutečnosti, nahrazení seleničitanu sodného Se-kvasinek v krmné dávce u nosnic výrazně zvýšilo akumulaci selenu ve vejcích (Surai, 2000 a; Paton et al, 2002; Payne et al, 2005;. Pappas et al, 2005, 2006a, 2006b;. Skřivan et al, 2008), ke zlepšení jejich antioxidační obrany (Surai, 2000; Pappas et al., 2006a, 2006b), a zvýšený selen obsahuje měřený svalů a dalších tkání (Pan et al, 2007;. Payne a Southern, 2005). Podobný účinek Se-kvasinek byl pozorován u křepelek (Surai et al., 2006).

Koncept výroby obohacené selenem vejce nejprve vznikl na skotské zemědělské akademie v roce 1998 (Surai, 2000). Ve skutečnosti, široké zavedení organického selenu ve formě Se-kvasinek do drůbeží výživy bylo revolučním rozhodnutím, aby byl umožněn účel produkce vajec se zvýšenou koncentrací selenu. Vzhledem k tomu, že hlavní forma selenu ve vejci je SeMet z Se-kvasinek účinně převeden do žloutku do albuminu, a tím poskytuje příležitost k výrobě selenem obohacená vejce.

Později bylo prokázáno, že spotřeba těchto vajec by mohla být dobrým zdrojem selenu pro člověka (Surai et al., 2004) a mohou poskytnout řešení globálního problému nedostatku selenu u člověka.

### **9.3 Selenem obohacené maso**

Obecně platí, že maso je dobrým zdrojem selenu. Avšak koncentrace selenu v mase je v závislosti na geografickém původu země a používaných doplňků selenu. Například vepřové vyráběné ve Velké Británii, Austrálii a USA obsahuje selen na úrovni 14, 9,4 – 20,5 a 14,4 až 45,0  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  (McNaughton a Marks, 2002). Ve Švédsku, vepřové maso obsahuje selen na úrovni 11,3  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  (Daun et al., 2001). Ve skutečnosti, je dobře známo, že doplňky seleničitanu, nebo selenanu ve stravě není účinný při zvyšování koncentrace selenu v mase. Hlavní formou selenu ve svalovině zvířat je SeMet, obsah, kterého je více než 60 % z celkového selenu. Když byly použité vysoké dávky Se-kvasinek selen byl nalezen v podobě SeMet až 95 % v kuřecích prsou a svalů. Je známo, že zvířata nemohou produkovat SeMet, musí přijít s jídlem. To znamená, že pouze organický selen, ve formě SeMet v stravě skotu prasat a drůbeže, může podstatně zvýšit koncentraci selenu v mase.

Ve skutečnosti, doplňky stravy organickým selenem na úrovni 5 mg/kg po dobu 12 týdnů způsobil zvýšení koncentrace selenu v svalovině od 0,154 mg/kg až do 3,375 mg/kg. Tyto extrémně vysoké dávky selenu způsobily pouze mírný pokles (o 2,5 %), v tělesné hmotnosti, aniž byste změnili příjem krmiva (Kim a Mahan, 2001), což naznačuje poměrně nízkou toxicitu a obchodní příležitosti ve využívání organického selenu ve vysokých dávkách produkovat obohacené selenem vepřové maso. Ve skutečnosti, obohacené selenem vepřové maso se může prodávat samostatně nebo může být zahrnuto v různých masných výrobcích pro zvýšení jejich obsahu selenu. Je zajímavé, že kromě zvýšené hladiny selenu v mase, existují další významné zlepšení v kvalitě vepřového masa (Cole, 2000).

Hovězí maso je považován za hlavní dietní zdroj selenu, ale koncentrace selenu v jedlých produktech hovězího je velmi variabilní a závisí na jeho geografickém původu (Finley et al., 1999). Například v rámci přezkumu McNaughton a Marks (2002), byla hlášena koncentrace selenu v hovězím mase 3,0 – 7,6  $\mu\text{g}/100\text{g}$ , 2,2 – 8,3  $\mu\text{g}/100\text{g}$ , 7,2 – 12,1  $\mu\text{g}/100$  a 13,4 – 19,0  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  ve Velké Británii, na Novém Zélandu, Austrálii a USA. V Severní Dakotě, koncentrace selenu v hovězím mase bylo 27, 38, 40, 47 a 67

$\mu\text{g}/100$  v jiho-východní, střední, jiho-západní, na jiho-střední a severo-západních krajích (Hintze et al., 2001). Průměrná spotřeba červeného masa v USA byla 57 kg/rok, Finley et al. (1999), spočítal, že denní příjem selenu z hovězího masa v různých oblastech USA by se pohyboval v rozmezí od 40  $\mu\text{g}/\text{den}$  až do 100  $\mu\text{g}/\text{den}$ . Hladina selenu se v hovězím masu v Severní Dakotě mohla dosáhnout poměrně vysoké úrovně 67  $\mu\text{g}/100$  g (Finley et al, 1996,; Hintze et al, 2001, 2002).

V evropských a některých asijských zemích, obsah selenu v hovězím masu je mnohem nižší než v USA. Nicméně, je možné podstatně zvýšit obsah selenu v hovězím masu zahrnutím organického selenu do stravy skotu. Například, když holštýnským býkům ve věku 22 měsíců byl doplněn organický selen ve formě Se – kvasinek na úrovni 4 mg/ks/den po dobu 30 dnů, koncentrace selenu v nejdelším zádovém svalu zvýšil z 0,107  $\mu\text{g}/\text{g}$  až 0,223  $\mu\text{g}/\text{g}$  (Šimek et al., 2002). Ve stejné době, obohacení hovězího masa selenem byla spojena se sníženou ztrátou tekutin během skladování. Podobně, se přidává jeden měsíc starým telatům 0,3 mg/kg organického selenu ve formě Se – kvasinek po dobu dvou měsíců se zvýšila koncentrace selenu v příčně pruhované svalovině od 0,092  $\mu\text{g}/\text{g}$  až do 0,263  $\mu\text{g}/\text{g}$  (Pavlata et al., 2001). Antioxidační účinky selenu se na kvalitě vepřového masa projeví jak omezením oxidace lipidů, tak i lepší barevnou stabilitou hemových barviv. Selen má pozitivní vliv na snížení hmotnostních ztrát (vyjádřeno jako tzv. ztráty odkopem) a zlepšují se současně některé organoleptické vlastnosti masa. Vepřové maso bohaté na selen je šťavnatější, křehčí a má lepší vzhled. Pro obohacení krmiva zvířat selen se používá v kombinaci s dalšími antioxidanty, např. vitamínem E (Conc.in Pig Sci., 11/2000; Vernerová et al., 2008).

Je důležité zdůraznit, že konzumace masa obohaceného selenem je bezpečnou volbou, protože k dosažení úrovně 400  $\mu\text{g}/\text{den}$  (maximální bezpečný dietní příjem selenu), člověk by musel konzumovat více než 1 kg masa každý den, po dlouhou dobu.



## 10. ZÁVĚR

Selen je esenciální stopový prvek, který je nezbytný pro zdraví všech živočišných druhů. V potravinovém řetězci cyklus selenu se začíná a závisí na příjmu z půdy, velmi dobře známo, že koncentrace selenu v různých zemích je odlišná a bylo popsáno hodně případů o otravách selenem a jeho nedostatku jak u zvířat tak i lidi.

V přírodě selen existuje ve dvou chemických formách – anorganický a organický. Anorganickou formu selenu lze najít v různých minerálech jako seleničitan, selenan a selenid, ale zvířatům selen se dostává hlavně v organické formě SeMet, která je považovaná za nejúčinnější nutriční formu.

V organismu živočichů se selen nachází v selenoproteinech, které udržují zdravotní stav, a podporuje důležité funkce organismu.

Selen může být přidán do stravy všech druhů hospodářských zvířat, ale je třeba vyhnout se nadbytku selenu ve stravě zvířat, protože vysoké dávky selenu působí na organismus toxicky. Stav u zvířat je charakterizován obecnou tupostí, nedostatkem vitaminů hubnutím a kulháním.

Nedostatek selenu ve výživě úzce souvisí s vysokou citlivostí k různým onemocněním, nízkou užítkovostí a plodností u hospodářských zvířat.

## 11. LITERATURA

ARTHUR, J. R.; R. C. MCKENZIE a G. J. BECKETT. Immunity Enhanced by Trace Elements: Selenium in the Immune System. 2003. *Journal of Nutrition*, May 1, 2003 vol. 133 no. 5 s. 1457-1459

ADAPTED FROM COMBS, G. F., 2001, Selenium in global food systems, *British Journal. Nutrition*. 85, 517-547

CUNHA, T. J. 1980. *Horse Feeding and Nutrition*. Academic Press, Inc. New York, NY.

DIMITROV, N. V.; D. E. ULREY, S.; PRIMACK, C.; MEYER, P. K.; KU and E. R. MILLER. 1987. *Selenium as a metabolic modulator of phagocytosis*. In: *Selenium in Biology and Medicine, Part A*, pp. 254. Van Nostrand Reinhold Co., New York.

FISININ, V. I.; T. T. PAPAZYAN a P. F. SURAI. Producing selenium-enriched eggs and meat to improve the selenium status of the general population. *Critical Reviews in Biotechnology*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009, vol. 29, issue 1, s. 18-28. DOI: 10.1080/07388550802658030

HORKÝ, P.; P. JANCIKOVA, J. SOCHOR, D. HYNEK, G. J. CHAVIS, B. RUTTKAY-NEDECKY, N. CERNEI, O. ZITKA, L. ZEMAN, V. ADAM AND 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*, 2012, 7(10), 9643-9657.

HORKÝ, P.; RUTTKAY-NEDECKÝ, B.; KREMPLOVÁ, M.; KRYŠTOFOVÁ, O.; KENŠOVÁ, R.; HYNEK, D.; BABULA, P.; ZÍTKA, O.; ZEMAN, L.; ADAM, V.; KIZEK, R. *Effect of Different Doses of Organically Bound Selenium on Antioxidant Status and Levels of Metal Ions in Postpartum Sows*. *International Journal of Electrochemical Science*. 2013. sv. 8, č. 5, s. 6162-6179. ISSN 1452-3981

CHURCH, D. C. a W. G. POND. 1989. *Basic Animal Nutrition and Feeding*. 3rd ed. John Wiley and Sons, New York.

JELÍNEK, P. a K. KOUDELA. *Fyziologie hospodářských zvířat*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003, 409 s. ISBN 80-715-7644-1.

KIM, Y. Y.; MAHAN, D. C.: Biological aspects of selenium in farm animals. *Asian-australasian Journal of Animal Sciences*. 2003, 16, s. 435-444. ISSN: 0021-8812

KIM, Y. Y.; MAHAN, D. C.: Prolonged feeding of high dietary levels of organic and inorganic selenium to gilts from 25 kg body weight through one parity. *Journal of Animal Science*. 2001, 79, s. 956-966. ISSN: 0021-8812

KVASNIČKOVÁ, A.: *Minerální látky a stopové prvky: esenciální minerální prvky ve výživě*. 1. vyd. Praha: ÚZPI-Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1998, 127 s. ISBN 80-851-2094-1.

KIERSTYN, S. E. *Basics, basics, basics!: fundamental nutrition: what the body needs before anything else and for everything else*. Carrollton, TX: International Health Pub., 2012, p. cm. ISBN 0985795603978-0-9857956-0-3.

LYONS, M. P.; T. T. PAPAZYAN.; P. F. SURAI.; D. C. WHITEHEAD a H. J. MARCHANT. Selenium in Food Chain and Animal Nutrition: Lessons from Nature - Review-. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2007, vol. 20, issue 7, s. 271-276. DOI: 10.1007/978-3-642-82275-9\_39

LAKSHMI, B. V. S.; M. SUDHAKAR a K. S. PRAKASH. *Protective Effect of Selenium Against Aluminum Chloride-Induced Alzheimer's Disease: Behavioral and Biochemical Alterations in Rats*. ISSN 0163-4984.

NRC. 1985. *Nutrient requirements of sheep*. National Academy Press. Washington, D.C.

NAWAZ, F.; R. AHMAD, M.Y.; ASHRAF, E.; A. WARAICH a S.Z. KHAN. Effect of selenium foliar spray on physiological and biochemical processes and chemical constituents of wheat under drought stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2015, vol. 113, s. 191-200. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2014.12.003.



- PASSWATER, R. A.: *Vše o selenu*. Praha: Pragma, 1999. 97 s. ISBN: 80-7205-902-5
- ROEDIGEROVÁ-STREUBELOVÁ, S.: *Minerální látky a stopové prvky*. Praha: Ivo Železný, 1996. ISBN: 80-237-3490-3
- REILLY, Conor. *Selenium in food and health*. 2006. vyd. New York: Blackie Academic, 1996, xvi, 338 p. ISBN 07-514-0270-2.
- REFFETT, J.K.; J.W. SPEARS a T.T. BROWN, Jr. 1988. *Effects of dietary selenium and vitamin E on the primary and secondary immune response in lambs challenged with parainfluenza3 virus*. *Journal of Animal Sciences* 66:1520.
- SURAI, P F. *Selenium in nutrition and health*. Nottingham, U. K.: Nottingham University Press, 2006. 974 s. ISBN 1-904761-16-X.
- SKŘIVAN, M. *Zvýšení obsahu selenu ve vejcích: metodika*. Praha: Výzkumný ústav živočišné výroby, 2009. ISSN 978-80-7403-031-4.
- ULLREY, D. E.; G. F. COMBS, Jr.; H. R. CONRAD.; W. G. HOEKSTRA.; K. J. W. JENKINS.; O. A. LEVANDER and P. D. WHANGER. 1983. *Selenium in Nutrition. Revised edition*. NAS-NRC, Washington, DC
- VERNEROVÁ, J.; PIPEK, P.; SKLENÁŘOVÁ, M.: *Kvalita vepřového masa obohaceného selenem*. *Věda a výzkum, Maso*. 2008, roč. 19, č. 1, s. 86-89, ISSN: 1210-4086.
- YAO, Z.; Y. ZHANG.; H. LI.; Z. DENG a X. ZHANG. Synergistic effect of Se-methylselenocysteine and vitamin E in ameliorating the acute ethanol-induced oxidative damage in rat. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2015, vol. 29, s. 182-187. DOI: 10.1016/j.jtemb.2014.08.004.
- ZELENKA, J.; FAJMONOVÁ, E. *Effect of age upon utilization of selenium in chickens*. *Poultry Science*. 2005. sv. 84, č. 4, s. 543-546. ISSN 0032-5791.