

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Příjem selenu vybranými rostlinami po foliární aplikaci
tohoto prvku**

Diplomová práce

Autor práce: Josef Drahoňovský

Vedoucí práce: prof. Ing. Jiřina Száková, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Příjem selenu vybranými rostlinami po foliární aplikaci tohoto prvku" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Jiřině Szákové, CSc. za poskytnutou pomoc při zpracování diplomové práce. Zároveň také děkuji Ing. Janě Najmanové a Ing. Stanislavě Vondráčkové za pomoc v praktické části práce.

Příjem selenu vybranými rostlinami po foliární aplikaci tohoto prvku

Souhrn

Teoretická část práce se zprvu zabývá objevem selenu a historickými souvislostmi, které mají spojitost s tímto prvkem. Následně jsou nastíněny chemické vlastnosti valencí, ve kterých se selen přirozeně vyskytuje. Posléze je selen zahrnut do kontextu zemských hornin, jakožto primárního zdroje selenu v prostředí. Je zde zmíněna i problematika obsahu selenu v uhlí. Po probrání geologického hlediska selenu se následně práce zaměřuje na geografické rozšíření tohoto prvku. Jsou zmíněny zejména oblasti s přebytkem a nedostatkem selenu v půdě. Dále se práce drží tématu půdy a zabývá se přijatelností selenu rostlinami, potažmo faktory, které mají na přijatelnost selenu vliv. Po přijetí selenu rostlinou nastávají metabolické procesy, kterými se práce následovně zabývá. V rámci některých druhů rostlin pak byly pozorovány pozitivní dopady aplikací selenu na biologii těchto rostlin. Po této části je už věnována pozornost vztahu mezi býložravci a selenem, jeho funkce, příjem, odlišnosti přístupu k selenu ve světě co se týče výživy a význam organických forem selenu pro výživu býložravců. Ke konci se teoretická část věnuje stavu selenu u skotu, koní a lesní zvěře.

Rostliny jsou zdrojem selenu pro býložravce, díky kterým je posléze distribuován do potravního řetězce. Rostliny se však vyznačují rozdílnými schopnostmi selenu akumulovat. Pro prohloubení naší znalosti akumulace selenu rostlinami, byl proveden pokus na selen chudé louce, kde byly vytýčeny dvě pokusné plochy, které byly následně postříkány roztokem selenanu sodného o rozdílných koncentracích. Po 4 týdnech pak bylo z pokusných ploch a okolí získáno 12 druhů rostlin, pro každou z hodnot aplikace. Ukázalo se, že hladiny selenu se skutečně zvýšily v důsledku aplikace selenu. Ke zvyšování hodnot selenu a případným změnám dalších stanovovaných prvků docházelo v závislosti na množství aplikovaného roztoku selenanu sodného, tak v závislosti na druhu rostliny.

Jelikož došlo k navýšení hodnot selenu v rámci ošetřených rostlin, potvrzuje se tudíž platnost hypotézy, že foliární aplikace selenu povede ke zvýšení obsahu tohoto prvku v závislosti na druhu rostliny. Cílem práce bylo jednak zhodnocení schopnosti vybraných druhů přijímat a

akumulovat selen a zároveň vybrat, který druh se nejlépe hodí pro fortifikaci lučního porostu selenem. Ze získaných hodnot vyplývá, že nejlepším akumulátorem je pro aplikaci 50 g Se/ha je rozrazil rezekvítek, který je tudíž nejvhodnější pro fortifikaci lučních porostů a současně je dobré přihlídnout k jak funkční stránce, tedy obsah selenu, tak k atraktivnosti rostlin pro býložravce, vytvořením vhodné osevné směsi, která spojuje oba aspekty dohromady. Kopřiva dvoudomá, ačkoli nejvyšší hodnota pro aplikaci 25 g Se/ha se hodí spíše jako přídavek do krmiva právě kvůli své neatraktivnosti pro býložravce. Nevhodné pro fortifikaci lučních porostů, z důvodu nízkých hodnot selenu jsou pcháč oset a sítina rozkladitá.

Klíčová slova: selen, rostliny, akumulace, býložravci, luční porost

Selenium uptake by selected plant species after foliar application of this element

Summary

The theoretic part of the zthesis is at first dealing with the discovery of selenium and the historical context, which have a connection with the element. Subsequently are outlined the chemical properties of its valence species in which is selenium naturally occurs. Then the selenium is incorporated into the context of earth rocks, as the primary source of selenium in the environment. There is also mentioned the issue of content of selenium in coal. The thesis is after discussing the geological angle of selenium, focusing on the geographical spreading of this element. The areas with excess and deficiency of selenium in soil are especially highlighted. Next the thesis continues with the soil theme and handles the acceptability of selenium to plants, especially the fators, which have an effect on the selenium accesabbility. Following the adoption of selenium plant metabolic processes occur, which are the next topic of the thesis. In some plant species were observed positive effects of application of selenium on the biology of these plants. After this part is already paid attention to the relationship between herbivores and selenium, its functions, income, the diferences of approach to selenium in the world in terms of nutrition and the inportance of organic forms of selenium for the nutrition of herbivores. At the end, the theoretical part focuses on the state of selenium in cattle, horses and wildlife animals.

Plants are the source of selenium for herbivores, thanks to which is then distributed to the food chain. But plants are characterized by differing capabilities to acumulate selenium. To deepen our knowledge of plants acumulation of selenium, an experiment was carried out on selenium deficient meadow, where habe been layed out two experimental arras, which were subsequently sprayed with a solution of sodium selenate with different concentrations. The aquisation of twelve plant species, for each aplication value, was carried out four week after. After processing, the samples showed that selenium levels actually increased due to application of selenium. The increasing selenium values and other potecial changes of other analyzed elements occured depending on the volume of the solution of sodium selenate, and depending on the plant species.

Since there was an increase of selenium values within the treated plants, thus confirming the hypothesis, that folial application of selenium will lead to an increase of this element content, depending on the plant species. The aim of the study was to evaluate the ability of selected species to receive and accumulate selenium and also to choose which species is best suited to fortify grasslands with selenium. The obtained values indicate, that the best accumulator, for the 50 g Se/ha, is *Veronica chamaedrys*, which is therefore best suited to fortify grasslands and in the same time it is good to take into account both the functional aspect, the selenium content and the attractiveness of plants to herbivores. by creating a suitable seed species mix, which connects both aspects together. *Urtica dioica* although it has the highest value for the application of 25 g Se/ha it is more suited as an additive to animal feed, exactly because of its unattractiveness for herbivores.. Unsuitable because of the low levels of selenium are *Cirsium arvense* and *Juncus effusus*.

Keywords: selenium, plants, accumulation, herbivores, grasslands

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce	9
3	Přehled literatury	10
3.1	Historie	10
3.2	Vlastnosti	10
3.3	Geologie	11
3.3.1	Selen v uhlí	12
3.4	Výskyt	13
3.5	Půda a přijatelnost rostlinami	13
3.6	Metabolismus selenu v rostlinách	17
3.6.1	<i>Astragalus bisulcatus</i>	18
3.6.2	Vliv selenu na rostliny	19
3.7	Příjem selenu býložravci	19
3.7.1	Selen v těle živočichů	19
3.7.2	Odlišnosti přístupu k příjmu a toxicitě selenu ve světě.....	20
3.7.3	Úskalí podávání selenu hospodářským zvířatům	20
3.7.4	Význam organického selenu pro výživu.....	21
3.7.5	Odhad hladiny selenu u živočichů	22
3.7.6	Selen u skotu v ČR.....	22
3.7.6.1	Vliv produkce mléka a březosti na hladinu selenu u skotu	23
3.7.6.2	Vliv selenu na mikroflóru skotu a interakce mezi prvky	24
3.7.7	Selen u lesní zvěře.....	24
3.7.8	Selen u koní.....	25
4	Materiál a metody	25
4.1	Schéma pokusu a odběry vzorků	25
4.2	Analytické metody	26
4.3	Statistické zpracování dat	27
5	Výsledky	28
5.1	Medyněk vlnatý	28
5.2	Ostřice měchýřkatá	29
5.3	Svízel povázka	30
5.4	Krabilice mámivá	31
5.5	Pcháč oset	32
5.6	Psárka luční	33
5.7	Pryskyřník plazivý	34

5.8	Rozrazil rezekvítek.....	35
5.9	Ptačinec velkokvětý.....	36
5.10	Kopřiva dvoudomá	37
5.11	Sítina rozkladitá	38
5.12	Svízel přítula.....	39
5.13	Půda.....	39
5.14	Svízel povázka a svízel přítula	40
5.15	Medyněk vlnatý a psárka luční.....	42
5.16	Neovlivněné druhy, málo ovlivněné železo a nejvyšší hodnoty selenu v aplikacích 43	
6	Diskuze	43
6.1	Hořčík a fotosyntéza	43
6.2	Superoxid dismutáza a železo, mangan, měď a zinek	44
6.3	Selen a antioxidační systémy	45
6.4	Neovlivněnost železa	46
6.5	Draslík a vápník	46
6.6	Fosfor.....	47
6.7	Síra	48
6.8	Jednoděložné vs dvouděložné rostliny	48
6.9	Příklad pro vysvětlení odlišnosti reakce druhů	49
6.10	Doporučení pro budoucí experimenty.....	49
6.11	Doporučení ohledně užití ošetřených rostlin pro výživu	50
7	Závěr	51
8	Seznam použité literatury.....	52

1 Úvod

Selen je prvek vyznačující se velkou variabilitou svých hodnot v prostředí. Existují oblasti, kde je selenu takové množství, že dochází k otravám pasoucích se zvířat. Zároveň ale existuje velké množství oblastí, kde jsou obsahy v půdě tak malé, že propuká nemoc z jeho nedostatku. Pro zemědělství představují oba případy velký problém. Při přebytku dochází ke ztrátám výnosů a otravám zemědělských zvířat, popřípadě lidí. Nedostatek je také problém, jelikož plodiny pěstované na takovýchto půdách neposkytují dostatečné množství selenu pro zajištění metabolických procesů u živočichů. Pro Evropu a do ní patřící Českou republiku je markantní především deficit selenu. Pro volně pasoucí se zvířata to tudíž znamená riziko nedostatku tohoto prvku a z toho plynoucí zdravotní komplikace. Pro předejití negativních vlivů na zvířata a na statky, které lidem jejich chováním plynou, je nutná lidská intervence. Intervencemi se zde myslíme opatření, která povedou k dodání potřebného množství selenu. Selen je možné živočichům dodávat jako doplněk stravy k jejich běžné na selen chudé stravě. Je možné jim ho také předkládat jako součást jejich stravy. Dodáním selenu přímo rostlinám, které tvoří základ stravy přežvýkavců, také dosáhneme uspokojení potřeby zvířecího organismu po selenu. Jelikož jsou ale rostliny velice rozlehlá říše, liší se i významně jejich vztah k selenu. Pro přežvýkavce a jiná pasoucí se zvířata, tedy pokud jsou alespoň z části krmena přirozeným způsobem, jsou důležité především luční porosty. Toto společenství skládající se z různých druhů rostlin představuje pestrý základ stravy pro výše zmíněná zvířata. Pestrost sebou nese i různou míru příjmu a reakce na selen. Některé druhy se mohou vyznačovat vysokými hladinami přijatého selenu, zatímco jiné mohou mít hladiny selenu zanedbatelné. Pro zajištění potřebné dávky selenu pro živočichy je tedy potřebné znát schopnosti jednotlivých druhů rostlin selen přijímat a reagovat na něj. S dostatečnou znalostí, by posléze bylo možné regulovat dávku selenu ve stravě prostřednictvím úpravy druhové skladby a poměru množství jednotlivých druhů rostlin v rámci osevné směsi.

2 Cíl práce

Selen je považován za významný esenciální mikroprvek pro člověka i zvířata, zejména z důvodu jeho antioxidantních účinků a také pro jeho roli v udržování správné hladiny některých hormonů, zejména hormonů štítné žlázy. Jeho hlavní fyziologická funkce souvisí s tím, že je součástí enzymu glutathionperoxidázy. Základní funkcí glutathionperoxidázy je odstraňování nadbytku peroxidů a volných radikálů z buněk, což brání vzniku zhoubných nádorů. Působí přitom synergicky s vitamínem E. U rostlin bylo zaznamenáno, že přídavek selenu má příznivý vliv na růst rostlin i na jejich odolnost vůči stresu, ale jeho esencialita zatím nebyla jednoznačně potvrzena. Rostliny jsou nicméně cestou, kterou vstupuje tento prvek do potravního řetězce a jeho koncentrace v rostlinách závisí na jeho obsahu v půdě. Cílem této práce je zhodnotit schopnost vybraných druhů volně rostoucích bylin přijímat a akumulovat selen po jeho foliární aplikaci a vybrat druhy s nejvyšším potenciálem pro případnou fortifikaci lučního porostu tímto prvkem. Hypotéza: foliární aplikace selenu povede ke zvýšení obsahu tohoto prvku v závislosti na druhu rostliny.

3 Přehled literatury

3.1 Historie

Selen byl objeven v roce 1817 švédským vědcem Berzeliem. Berzelius, celým jménem Jöns Jacob Berzelius, objevil selen při zkoumání odpadního kalu, který zbyl po přípravě kyseliny sírové a svůj objev publikoval v roce 1818. Již v této práci se zmiňuje o podobnosti nově objeveného prvku a síry (Hatfield et al, 2012). Vlivem podobnosti vlastností telluru, jež je pojmenován dle řeckého jména pro zemi *Tellus* a selenu, byl selen pojmenován podle řecké bohyně Měsíce *Selene*. (Berzelius, 1818). První zmínku o toxických účincích selenu máme již ze zápisků cestovatele Marca Pola ve 13. století, který pozoroval pravděpodobné toxické příznaky otravy selenem během své cesty po Asii (Čuvadič, 2003). Marco Polo ve své knize popisuje jak obchodníci nemohou v oblasti mezi Turkestánem a Tibetem používat zvířata pro nošení nákladů, která nepocházejí z této oblasti. Cizím zvířatům v této oblasti podle Marco Pola upadávají kopyta. Choroba je připisována jedovatým rostlinám, kterým se lokální zvířata vyhýbají (Marco Polo, 2004; Rosenfeld et al., 1964). Esencialita selenu byla prokázána až v roce 1957, kdy byly experimentálně prokázány schopnosti selenu zabránit nekróze ledvin u krys s deficitem selenu. Byla prokázána také souvislost nedostatku selenu a nekróz jater, srdce a svalů (Schwarz et Foltz, 1957).

3.2 Vlastnosti

Elementární selen je nerozpustný (Minaev et al., 2005). V prostředí se vzduchem dochází k hoření elementárního selenu za vzniku oxidu seleničitého (SeO_2). U fosilních paliv s obsahem selenu a síry dochází po vzniku oxidu seleničitého následně znovu k redukci selenu na elementární formu oxidem siřičitým vzniklým při spalování (Anonym, 1983). Výsledné množství selenu v úletovém popílku a popelu, který zůstane po spálení uhlí, závisí na množství organické hmoty ve spalovaném uhlí. Selen v organických složkách je mnohem náchylnější na volatilizaci při spalování než v aluminosilikátech. Pokud po spalování vzniká alkalický popel, je pravděpodobné, že obsah selenu v něm bude velký (Sager, 2006).

Jedno a dvojmocný selen, vyskytující se v organických a kovových sloučeninách. Tyto formy jsou stabilní v silně redukčních podmínkách (Fernández-Martínez, 2009). Selan (H_2Se)

je toxický plyn a kyselina vznikající při zahřívání elementárního selenu za přítomnosti vzduchu na 400°C. Po vzniku se následně rozpadá zpět na elementární selen a vodu (Anonym, 1983).

Čtyřmocný selen je známý jako slabá kyselina např. H_2SeO_3 nebo jako seleničitan (SeO_3^{-2}). Seleničitan je při nízkém pH redukován slabými redukujícími činidly na elementární formu (Anonym, 1983). V půdě je při pH mezi 4,5 a 6,5 seleničitan vázán na hydroxidy železa a tím pádem je pro rostliny nepřijatelný (Sager et Pucsko, 1991). Dominantní je jeho zastoupení v mírně redoxním prostředí. Mobilita seleničitanu je odvislá od sorpce na pevné povrchy (Seby et al. 2001; Balistrieri et Chao 1987; Papelis et al. 1995; Saeki et al. 1995), jílovité minerály (BarYosef et Meek 1987) a organickou hmotu v půdě (Gustafsson et Johnsson 1994; Tam et al. 1995).

Šestimocný selen je známý jako selenan (SeO_4^{-2}) nebo jako součást kyseliny selenové (H_2SeO_4) (Anonym, 1983). Selenan je snadno rozpustný a minimálně se sráží. Dominantní je v prostředí s vysokým redoxním potenciálem (Fordyce, 2007). Vlivem své malé srážlivosti, je také z půdy snadno vyluhován (Alemi, 1991). PH při kterém je selenan dominantní činí 7,5 až 8,5 (Sager, 2006). Při porovnání selenanu a seleničitanů vycházejí jako rozpustnější ve většině případů selenany a to ve všech analogických sloučeninách (Anonym, 1983).

3.3 Geologie

Primárním zdrojem selenu na Zemi jsou horniny vznikající při sopečné činnosti a zároveň vznikající sulfidy kovů (NAS, 1974) a to především v sulfidy těžkých kovů. Selen se v těchto horninách a sloučeninách vyskytuje buď jako substitut za síru nebo jako selenid (Adriano, 1986). Právě díky objevu selenu jako prvku, bylo zjištěno, že to co bylo původně známo jako Švédská tellurová ruda jsou ve skutečnosti selenidy mědi a stříbra. Obsah selenu se v rudě pohyboval okolo 26% (Jorpes, 1970). Selen často substituuje síru v minerálech, například v pyritu (Masschelyn, 1991). Vlivem vysokých teplot panujících při sopečné činnosti, ale selen ze sopečných hornin vyprchává. Ve výsledku mají horniny jako bazalt velmi malé množství selenu (Fleming, 1980). Ačkoli obsah selenu v horninách je minimální, sopečný popel obsahuje významné množství selenu (Davidson and Powers, 1959). Přesto bývají půdy vzniklé ze sopečných hornin chudé na selen, přesněji řečeno selen je v nich

nedostupný. Důvodem nedostupnosti je schopnost organické hmoty pevně vázat selen (Wang et Gao, 2001) a imobilizace organické hmoty vulkanickou půdou (Wang et Chen, 2003).

Pokud porovnáme vulkanické horniny a druhý významný zdroj selenu v prostředí sedimentární horniny, vyjde nám, že sedimentární horniny jsou bohatším zdrojem, než horniny vulkanické (Kabata-Pendias, 1993). 5% zemské kůry je tvořeno sedimentačními horninami, z tohoto čísla spadá 80% do kolonky břidlic, 15% jsou pískovce a 5% vápence (Thornton, 1981). Pískovce a vápence neobsahují velké množství selenu. Břidlice, obsahující významný podíl organické hmoty jsou bohatým zdrojem selenu a půdy z nich vzniklé mohou mít až toxické koncentrace tohoto prvku. Mezi další významné zdroje selenu patří uranová ruda, uhlí, ropa a fosfáty (Fleming, 1980).

3.3.1 Selen v uhlí

Uhlí je jedním z obecně známých zdrojů, bohatých na selen (Fleming, 1980). Selen byl v tomto materiálu objeven v roce 1896 v Belgii (Jorissen, 1896). Selen je zároveň také jedním z nejtěžších prvků, které se v uhlí nacházejí (Clarke, 1993). Hodnocením obsahu selenu v čínském uhlí z hlediska tvorby jednotlivých ložisek bylo zjištěno, že obsah selenu v uhlí klesá s jeho klesajícím stářím (Dai et al., 2006b). Jedním z faktorů ovlivňujících obsah selenu v uhlí je vedle klimatu a půdního substrátu i skutečnost, z jakých rostlin uhlí vznikalo. Z analýzy vyplývá, že uhelná ložiska vzniklá z řas vykazují mnohem vyšší obsah selenu v uhlí než ložiska vzniklá z vyšších rostlin. Rozdíl může být způsoben schopností řas absorbovat velké množství selenu (Riley et al., 2007). Selen se do uhlí nemusí dostat již při vzniku. Hydrotermální kapaliny umožňují až následné obohacení tímto prvkem. Vulkanická aktivita je důvodem, proč jsou uhlí z jihozápadní Číny bohatá na selen (Wang, 2006). Hydrotermální vody obsahují vysoké koncentrace stopových prvků mezi nimi i selen. Dalšími prvky v hydrotermálních vodách jsou As, I, Ca, Cl, Zn, Cu, Mn (Lin, 1990). Kapaliny pronikají přes zemské trhliny k ložisku a posléze ho obohacují prvky (Dai et al. 2003b, 2004). Na procesu obohacování se také podílí horko sálající z magmatu, které tak napomáhá obohacování uhelného ložiska (Ren et al., 1999a, b). Co se týče formy, v jaké se selen vyskytuje, existuje spojitost mezi množstvím síry v a formou v jaké se selen v uhlí nachází. Pokud je uhlí bohaté na síru, je většina přítomného selenu součástí pyritu. Naopak, pokud je uhlí na síru chudé, je selen rovnoměrně rozdělen mezi organickou složku uhlí a anorganickou složku (Wang, 2010). Při spalování uhlí bohatého na selen dochází k uvolňování selenu do prostředí,

prostřednictvím unikajícího úletového popílku. Takto uvolněný selen, je schopný výrazně ovlivnit hladinu selenu v životním prostředí (Wang, 2010). Důkazem tohoto faktu je například práce, kterou publikovali Huang et. al. (2009), a která potvrzuje existenci vysoké hladiny selenu v půdách v blízkosti uhelných elektráren a dolů. Na území Číny existuje rozmezí v množství selenu v uhlí sahající od méně než 1 mg Se/kg až po více jak 7 mg Se/kg. Průměrně pak celkové množství selenu v uhlí odpovídá hodnotě 3,91 mg Se/kg. Geograficky jsou pak nejvyšší hodnoty ve střední východní Číně a vysoké jsou také v jihozápadní Číně (Wang, 2010). Není pak překvapivé, že na území Číny bylo zaznamenáno velké množství případů, kdy uhlí s vysokým obsahem selenu způsobilo otravy zvířat i lidí (Yang et al., 1981a, b).

3.4 Výskyt

Selen se vyskytuje všude po světě, ale jeho průměrné koncentrace mezi 0.05 a 0.09 mg Se/kg v Zemské kůře ho řadí do kategorie mikroprvků (Neal and Sposito, 1989; Taylor, 1985). Vlivem rozvrstvení zemských hornin jsou oblasti s deficitem selenu mnohem častější, než oblasti s nadměrným množstvím tohoto prvku (Haygarth, 1994). Evropa se řadí do právě do oblastí, kde je selenu nedostatek (Forrer, 1991). Nedostatek selenu v půdě pak má za následek i nedostatek tohoto prvku v potravinách a krmivech rostlinného původu. Například obsah Se v obilovinách nepřesahuje v Evropě více než 0,15 mg/kg (Sager, 2006). Oblastmi, které vybočují z běžných nízkých hodnot v Evropě jsou Irsko a Wales, kde se vyskytují v půdě až toxické hladiny selenu (Fleming, 1962). Situace se selenem je nejvíce nevyhovující v severských státech Evropy, kde např. ve Finsku obilí obsahovalo pouze 0,01 – 0.015 mg Se/kg (Koivistoinen et Varo, 1981). Spojené státy vykazují vysoké hodnoty (až 10x nad úroveň toxicity) ve svých centrálních oblastech, ale nízké na západě a východě Spojených států (Kubota et al., 1967). Čína je také jedna z oblastí s toxickými hladinami selenu, ale v např. v oblasti Keshan je ho naopak nedostatek. Jinými deficitními oblastmi jsou Sibiř a Nový Zéland (Broadley et. al., 2006). Podle oblasti Keshan se také jmenuje nemoc způsobená deficitem selenu (Whanger, 1989).

3.5 Půda a přijatelnost rostlinami

Neexistuje rovnítko mezi obsahem selenu v půdě a množstvím, které je přístupné rostlině. Vliv na dostupnost má více faktorů. Mezi tyto faktory patří množství organické hmoty a jílu v půdě, přítomnost oxidů železa a manganu, pH a přítomné formy selenu (Gissel-

Nielsen, 2002; Neal 1990). Bylo také pozorováno, že jednotlivé formy selenu se sorbují v půdě odlišně. Zatímco selenan má sorpci podobnou jako sulfát, seleničitan je v tomto ohledu více podobný fosfátu (Barrow et Whelan, 1989). Z pokusu, který provedli Eich-Gretorex et al. (2007), vyplývá, že čím více organické hmoty je obsaženo v půdě, tím více selenu je rostlina schopná přijmout. Vliv organické hmoty na množství selenu přijatého rostlinou lze vyčíslit na 60%. Tento výsledek se týká selenu přidaného jako hnojivo. Samotné pH nemělo na příjem selenu až na pár výjimek velký vliv. To co se zdá být klíčovým faktorem pro příjem selenu rostlinou je kombinace množství organické hmoty a pH. Pokud přidáme do půdního prostředí, které je kyselé selen ve formě selenanu, docílíme pouze jeho přeměny na seleničitan a jeho navázání na jílové minerály a hydr(o)oxydy Fe a Mn. Se zvyšujícím se pH v půdě se zároveň zvyšuje množství dostupného selenu. U půdy s vysokým obsahem organické hmoty, konkrétně v tomto případě rašeliny, byla zjištěna klesající dostupnost selenu se stoupajícím pH. Se stejnými zjištěními přišel Johnsson (1991), který zároveň pozoroval opačný trend u půd chudých na organickou hmotu v rozmezí 1.4% až 6.3% organické hmoty. Efekt u půdy s rašelinou je částečně připisován růstu rostliny, jelikož růst rostliny byl při vysokém pH dvojnásobný oproti nízkému pH. Podle práce, kterou publikovali Gustafsson et Johnsson (1994), může být vazba selenu na organickou hmotu ovlivněna mikroorganismy, které způsobují redukci tohoto prvku. Zvyšující se pH by tudíž v půdách s velkým množstvím organiky podpořilo mikrobiální činnost a tím snížilo dostupnost selenu, zatímco u půd s velmi nízkým obsahem organické hmoty by se dostupnost selenu zvýšila. (Eich-Greatorex et al., 2007). Některé půdní organismy mají negativní vliv na celkové množství selenu v půdě, jelikož mají schopnost volatilizovat v půdě obsažený selen. (Chasteen et Bentley 2003; Lloyd, 2003). Důvodem, proč dochází k přeměně selenu a jeho sloučenin na těkavé látky je fakt, že tyto sloučeniny jsou mnohem méně toxické. Například seleničitan je 500x toxičtější než produkt volatilizace dimethylselenid (Gomez-Ariza, 1998). Organická hmota je velice důležitý faktor co se týče volatilizace, jelikož bylo prokázáno, že po přidání organické hmoty do půdy, nastává zvýšení tvorby těkavých sloučenin selenu. Mikrobiální činností tak vznikají těkavé sloučeniny jako dimethylselenon, dimethylselenid a dimethyldiselenid. Volatilizaci na zmíněné látky podléhají veškeré sloučeniny selenu, rozdíl je pouze v době přeměny. Nejkratší dobu je metabolizován seleničitan, zatímco transformace elementárního selenu je časově nejnáročnější (Sager, 2006). Mikroorganismy podílejí se na volatilizaci jsou například zástupci rodů *Penicilium*, *Aspergillus* a *Candida*. Kromě hub a kvasinek se na volatilizaci podílí také bakterie, přičemž obě skupiny přispívají stejnou měrou. (Masscheleyn, 1991) Mikroorganismy mají kromě již zmíněných schopností imobilizovat selen a způsobovat jeho

volatilizaci i podpůrnou funkci, co se týče příjmu selenu rostlinou. V pokusu s brukví sítinovitou (*Brassica juncea*), kdy byla na kořeny aplikována antibiotika, došlo nejen k 30% poklesu volatilizace, ale zároveň i k 70% poklesu schopnosti rostlin akumulovat selen. Je tedy zřejmé, že rhizosférní bakterie mají významný vliv na akumulaci prvku kořeny rostlin principem podpory růstu kořenů i podporou příjmu selenu či síry (de Souza et al., 1999). Byl ale také pozorován opačný trend, u symbiotických hub. Symbiotické soužití hub a rostlin má vliv na příjem kovů jako je zinek a kadmium. V případě vysoké koncentrace těchto kovů v půdě snižuje toto soužití příjem prvků rostlinami a zvyšuje tak schopnost rostlin přežít v kontaminované půdě. Obecně pak soužití a rostlin hub umožňuje lepší růst rostlin a zlepšení příjmu některých prvků (Joner and Leyval, 1997; Gobran et al., 2001). Munier-Lamy et al. (2007) dokázali, že rhizosféra je schopná imobilizovat selen a snižovat tak jeho příjem rostlinou. Symbiotické houby ale neovlivňují distribuci selenu v půdě. Příkladem může být jílek (*Lolium multiflorum*), který nenačkovaný symbiotickými houbami přijal 17 % původního obsahu selenu v půdě, oproti naočkovanému jílku, který přijal 4,8 % selenu.

Forma, kterou je selen přijímán do rostliny je velmi důležitá pro příjem selenu živočichy. Keskinen et. al. (2010) zjistili, že pšenice (*Triticum aestivum*) naakumulovala 80% selenu v nadzemní části rostliny. Zatímco jílek (*Lolium multiflorum*) nahromadil většinu selenu v kořenech. Předpokládá se, že tento rozdíl byl způsoben změnou formy selenu, jelikož do půdy pro experiment s jílkem byl selen aplikován rok předtím pro jiný experiment a za tu dobu pravděpodobně došlo ke změně formy, nežli druhem rostliny. Změna zastoupení jednotlivých sloučenin selenu po prvním vegetačním období ale stanovena nebyla, takže tento závěr je spíše spekulativní. Arvy (1993) dokumentoval na pokusu s fazolí obecnou (*Phaseolus vulgaris*) závislost na formě selenu. Selen ve formě selenanu aplikovaného ke kořenům rostliny, byl z jedné poloviny, během tří hodin, přemístěn do výhonku. Pokud byl selen podán jako seleničitan, došlo k transportu do nadzemní biomasy jen velmi omezeně.

Dalším faktorem, který ve velké míře určuje dostupnost selenu rostlinám, je klima. V oblastech, kde srážkové úhrny za rok nepřekračují 500 mm a půda se zformovala z mateční horniny bohaté na selen mohou být v půdě až toxické hodnoty tohoto prvku. Pokud se stejná půda vyskytuje ve vlhkých oblastech, pak je selen vázán na oxidy železa a není tím pádem dostupný. V oblastech kde je selenu nedostatek nemá klima prokazatelný vliv (Fleming, 1980).

Selen je rostlinami přijímán, jelikož ho rostliny nedokáží odlišit od rovněž esenciální síry. Rostliny dokáží kořeny absorbovat organické sloučeniny selenu (selenocystein, selenomethionin), seleničitan a selenan. Mezi sloučeniny selenu, které rostlina přijmout nedokáže, patří selenidy kovů a selen v elementárním stavu (Abrams et al., 1990; White et Broadley, 2009). Selen je stejně jako síra přijímán aktivně. Mezi sírou a selenem panuje v rámci rostliny antagonismus. Přidáním síry dochází k redukci příjmu selenu (Dhillon et Dhillon, 2000). Metabolismus selenu v rostlinách se liší podle jejich schopnosti přijímat selen. Většina rostlin není schopná naakumulovat více jak 25 mg Se/kg v sušině, takovéto rostliny, jsou nazývány neakumulátory. Zároveň nejsou tyto rostliny schopny snášet vyšší koncentrace selenu v prostředí (White et al., 2004). Rostliny které jsou schopny žít jak v prostředí s přebytkem selenu tak mimo ně a mohou naakumulovat až 1000 mg Se/kg v sušině se nazývají indikátorové rostliny (Rosenfeld and Beath, 1964; Shrift, 1969). Jako hyperakumulátory jsou označovány rostliny, které jsou ve svém přirozeném prostředí, na půdách bohatých na daný kov naakumulovat více jak stonásobek toho co neakumulátory (Minguzzi and Vergnano, 1948; Jaffre' et al., 1976; Brooks et al., 1977). Selen se v neakumulujících rostlinách zabudovává do bílkovin, čímž může při vysokých koncentracích způsobit poškození těchto rostlin. Místo běžných sírných metabolitů tak vznikají sloučeniny jím podobné, jen obsahující selen místo síry. Těmito sloučeninami jsou mimo jiné selenocystein a selenomethionin (Ng et Anderson, 1978; Ellis et Salt, 2003). Hyperakumulátory se s tímto problémem vypořádávají pomocí tvorby nebílkovinných aminokyselin, jako Se-methylselenocysteinu a Se-cystathioninu (Brown and Shrift, 1981; Burnell, 1981).

Rostliny akumulující síru ve větší míře, akumulují ve větší míře i selen. Tyto akumulátory nemají pro selen specifický metabolismus, tudíž jej akumulují stejným způsobem jako síru (Beath et al., 1939a, b). Oproti tomu existují důkazy, že hyperakumulátory selenu mají schopnost rozlišovat mezi selenem a sírou (White et al., 2007) a podle všeho také mají specifický metabolismus určený přímo pro selen. Takovéto rostliny mnohem lépe prospívají v prostředí bohatém na selen. Toto prospívání, ale může být způsobeno i vlastností selenu zmírňovat toxické působení fosforu (Broyer et al., 1972). Důvodem akumulace selenu u hyperakumulátorů, je zabránit okusu těchto rostlin býložravci. Tato strategie se těší velké míře účinnosti a bude účinná až do té doby, kdy si na ni býložravé druhy vytvoří přirozenou odolnost (Freeman et al. 2006b). Jinou možností obrany býložravých druhů je se naučit rozpoznávat, které část rostlin nejsou vhodné ke konzumaci a

tudíž jsou schopny se vyhnout otravě (Galeas et al., 2007). O podobném principu se zmiňuje Marko Polo, ve svém cestopise, kde obchodníci nemohou využívat v zvířata pro přepravu nákladů, která nejsou z dané oblasti (Marco Polo, 2004). Naopak v případě, že zvířata žijí v prostředí deficitním na selen, jejich případná adaptace na tuto situaci zaznamenána nebyla. To dokumentuje např. Flueck (1994) na volně žijící populaci jelence černoocasého (*Odocoileus hemionus columbianus*).

3.6 Metabolismus selenu v rostlinách

Pokud je selen přijímán jako selenan, dochází nejdříve k jeho přeměně na seleničitan a následně na selenid. Nejdříve dochází k reakci ATP a selenanu pomocí ATP fosforylázy. Vzniklá sloučenina adenosin fosfoselenan (Wilson et Bandurski 1958) a tato sloučenina je následně redukována APS reduktázou na seleničitan. Tento proces může proběhnout jak v chloroplastech tak v cytosolu, ale z větší části probíhá v chloroplastech. Výlučně probíhá v chloroplastech pokud je seleničitan redukován na selenid enzymem sulfitreduktázou, kdy je také možné, že redukcí umožňuje redukovaný glutathion (Anderson, 1993; Terry et al., 2000). Poté, co došlo k přeměně na selenid, může dojít k tvorbě selenocysteinu za působení enzymu O-acetylserin(thiol)lyázy (Pilon-Smits et al., 2010), kdy výchozí aminokyselinou pro jeho syntézu je o-acetylserin.

Jednou ze sloučenin, která může vzniknout z selenocysteinu je selenomethionin a to za pomoci tří enzymů. Prvním z těchto enzymů je cystathionin- γ -syntháza, který naváže selenocystein k O-phosphohomoserinu za účelem vzniku Se-cystathioninu. Se-cystathionin je poté druhým enzymem, cystathionin-b-lyázou přetvořen na Se-homocystein. Met-syntháza následně dokončuje práci přeměnou Se-homocysteinu na selenomethionin (SeMet). SeMet může být následně přetvořen enzymem methioninmethyltransferázou na methylselenomethionin, z něhož se může stát těkavý dimethylselenid, přičemž meziproduktem této reakce je dimethyl-selenopropionát (Pilon-Smits et al., 2010).

Rostliny také dokáží selenocystein přetvářet zpět na elementární selen. Ten pak slouží k tvorbě selenoproteinů za působení enzymu selenocystein lyázy (Mihara and Esaki, 2002).

Některé druhy rostlin přetvářejí selenocystein na methyl-selenocystein. Tato sloučenina se nezabudovává do bílkovin a tudíž selen neovlivňuje jejich metabolismus. Rostliny s tímto

mechanismem tudíž dokáží selen akumulovat bez negativního efektu (Lyi et al., 2005). Methyl-selenocystein vzniká za přítomnosti enzymu selenocystein methyltransferázy z selenocysteinu. Syntéza methyl-selenocysteinu byla zaznamenána nejčastěji u hyperakumulátorů selenu po jejich fortifikaci selenanem. Naproti tomu neakumulující druhy pak akumulují selen při podání selenanu opět jako selenan (de Souza et al., 1998; Freeman et al., 2006b). Z methyl-selenocysteinu lze také v tuto chvíli vytvořit dimethyldiselenid, což je dominantní těkavá sloučenina Se tvořená hyperakumulátory (Terry et al., 2000; Kubachka et al., 2007). Hyperakumulátory ukládají selen do semen ve formě g-glutamylmethyl-selenocysteinu, jež je tvořen reakcí glutamátu a methyl-selenocysteinu (Freeman et al., 2007; Kubachka et al., 2007).

3.6.1 *Astragalus bisulcatus*

Nejnámějším příkladem hyperakumulátoru selenu je severoamerický druh kozince, *Astragalus bisulcatus*, z čeledi vikvovitých (Fabaceae). Tato rostlina je schopná naakumulovat v přírodních podmínkách koncentrace selenu představující až 0,65 % sušiny (Byers, 1936). U *A. bisulcatus* byl pozorován metabolismus s rozdíly u síry a selenu. Bylo pozorováno hromadění organické formy selenu v mladých listech a s rostoucím stářím, se zvyšuje množství selenanu a snižuje se množství organické formy: mladé listy 99 % organických sloučenin, staré listy 91 % selenanu. Síra vykazuje stejný trend, ale anorganický síran je dominantní téměř po celou dobu, s výjimkou pouze u nejmladších listů. Organické formy selenu, jsou pravděpodobně transportovány ze starších listů do listů mladých. Selen slouží *A. bisulcatus* jako ochrana před býložravci. Organické formy v mladých listech mají odpuzující účinek na býložravce. Býložravci neschopní požírat mladé listy se tudíž zaměří kde listy starší, které obsahují selenan. Využívá se zde zároveň i faktu, že selenan je mnohem toxičtější než Se-methyl-seleno-cystein (Pickering, 2003), což je převládající organická forma, ve které *A. bisulcatus* akumuluje selen (Trelease et al., 1960)

V rámci rostlin fungují selenoproteiny glutathion peroxidáza (GSH-Px) a thioredoxin reduktáza. Jejich úkolem je ochrana rostlinných buněk před oxidativním stresem (Djanaguiraman et. al., 2005). Dalším enzymem, který může být ovlivněn přítomností selenu je superoxid dismutáza (SOD), a to již při jeho transkripci (Hartikainen, 2000). SOD je enzym sloužící k přeměně superoxidového anionu (O_2^-) na peroxid vodíku. Na tento proces následně

navazuje enzym GSH-Px s funkcí přeměny peroxidu vodíku (H_2O_2) na vodu a kyslík (Mates, 2000). Dle studie je právě aktivita GSH-Px umocňována dodaným selenem.

3.6.2 Vliv selenu na rostliny

V rámci studií bylo prokázáno mnoho kladných účinků selenu na rostliny. Například bylo zjištěno, že selen zvyšuje odolnost rostlin vůči chladu, jak prokázali Hawrylak-Novak et al. (2010) v případě rostlin okurky seté (*Cucumis sativus*). Zároveň byla také zjištěna schopnost selenu snížit negativní vliv horka na rostliny čiroku (*Sorghum bicolor*), jak pozorovali (Djanagirama et al., 2010). Mezi další účinky můžeme řadit podporu růstu, například u brambor (*Solanum tuberosum*) (Turakainen et al., 2004). U brukve řepáku (*Brassica rapa*) pak došlo ke zvýšení množství semen a jejich hmotnosti (Lyons et al. 2009). Ačkoli selen může mít kladný vliv na rostliny, účinek je závislý na dávce. Při pokusu s jíllem (*Lolium multiflorum*) se totiž ukázalo, že v malých koncentracích skutečně selen podporuje růst a slouží jako antioxidant, ve vysokých koncentracích naopak oxidační stres podporuje (Hartikainen et al., 2000).

3.7 Příjem selenu býložravci

Vlivem svého trávicího systému jsou přežvýkavci náchylnější na nedostatek selenu v potravě, více než jiná zvířata či člověk. Důvodem této slabiny jsou mikrobiální organismy žijící uvnitř žaludků přežvýkavců. Účinek je ještě umocňován pokud jsou přežvýkavá zvířata, jako skot a ovce, pasena na selen chudých loukách (Forrer, 1991). Nedostatek selenu u hospodářských zvířat se projevuje mnoha zdravotními problémy. Mezi nejznámější patří tzv. nemoc bílých svalů, způsobující svalovou dystrofii. Dalšími zdravotními komplikacemi jsou pomalý růst, potíže s rozmnožováním, nechut' k jídlu a selhání srdce (Galgan et Frank, 1995).

3.7.1 Selen v těle živočichů

Veškeré funkce, které selen v těle má jsou, zprostředkovávány selenoproteiny, tedy enzymy obsahující selenocystein (Burk, 2003). V rámci organismu má selen vícero funkcí. Selen má protektivní účinky na buněčné membrány, které chrání před oxidativním stresem. Dále také interaguje s arzenem i jinými kovy a má své místo v metabolismu jódu.

Nedostatek selenu má významný vliv na imunitní systém. Bylo zjištěno, že v případě nedostatku selenu v organismu skotu nejsou fagocyty schopny rozkládat požívané mikroorganismy (Boyne et Arthur, 1979). Tuto situaci lze zlepšit injekcí selenu a vitamínu E (Gyang et al., 1984, Hogan et al. 1990). Například Milad et al. (2001) podávali ovčím injekčně roztok selenu a vitamínu E a zaznamenali navýšení aktivity fagocytární aktivity leukocytů a neutrofilů oproti kontrolní skupině, která žádný selen ani vitamín E nedostala. Vliv injekcí na glutathion peroxidázu byl také markantní. Ošetřená skupina vykazovala mnohem vyšší hodnoty aktivity tohoto enzymu než neošetřená, i když vitamín E nemá přímý vliv na aktivitu glutathion peroxidázy (Siddons et Mills, 1991). Glutathion peroxidáza a vitamín E totiž díky své roli antioxidantů chrání mimo jiné buňky provádějící fagocytózu, v nichž volné radikály vznikají v rámci jejich činnosti (Bendich, 1990).

3.7.2 Odlišnosti přístupu k příjmu a toxicitě selenu ve světě

Selen je prvek, na který neexistuje světově ucelený názor na úroveň, která nezbytná a na úroveň, od kdy je selen toxický. Příkladem jsou limity určující doporučenou denní dávku pro člověka. Ve Spojených státech se za optimální považuje denní příjem mezi 0,05 a 0,2 mg na den. Oproti tomu v Německu je za optimální považována dávka 0,02 až 0,1 mg na den. U údajů z Velké Británie se setkáváme s hodnotami 0,06 mg pro ženy a 0,075 mg pro muže na den (Sager, 2006). Na hladinu, od které je selen toxický se také názory různí. V Číně je toxická hladina určena na 1,7 mg Se/kg v půdě (Sager, 2006). Pro Spojené státy americké existují dvě hodnoty, jednak úroveň toxického působení, ta činí 2,5 mg Se/kg a hodnotu, od které se již toxické manifestuje, tj. 4,0 mg Se/kg (Van Derveer et Canton, 1997). Jednou z možností, proč existují takové rozdíly v různých částech světa, je možnost, že se okolní fauna a flóra přizpůsobily hodnotám selenu přítomných v lokální půdě (Sager, 2006).

3.7.3 Úskalí podávání selenu hospodářským zvířatům

Selen je prvkem, který se vyznačuje velice úzkým rozmezím mezi jeho esencialitou pro živočichy a jeho toxickým působením. Tudíž případy přebytku a nedostatku prvku v potravě živočichů jsou velmi časté (Terry et. al., 2000). Ke způsobení chronické otravy způsobené selenem stačí, aby strava lidí či zvířat obsahovala 1 mg Se/kg v sušině diety, dávka 1000 mg Se/kg pak postačí k otravě vedoucí ke smrti (Draize et Beath, 1935; Rosenfeld et Beath, 1964; Wilber, 1980). Minimální dávka potřebná k plnění biologických pochodů u prasat činí 0,2 mg

Se/kg, pod tuto dávku nedokáže organismus zvířete plně aktivovat glutathion peroxidázu ve všech svých částech (Sager, 2006). Vlivem toxického účinku selenu na hospodářská zvířata, je správné dávkování pro dobré prospívání nezbytné. Špatným výpočtem lze snadno navodit toxikózu selenu. Příkladem působení nadměrných dávek, je případ, kdy byla prasatům podána dávka selenu o velikosti 15 až 40 mg Se/kg. U takto postižených prasat se vyvinuly příznaky jako padání štětin, měkká kopyta, zarudlá kůže, snížený příjem potravy, ataxie zadních končetin a snížená citlivost na bolest (Sager, 2006).

Zajímavostí je, že ovce se vyznačují zvýšenou odolností vůči toxicitě selenu (Sager, 2006). Pokud jsou hospodářským zvířatům podávány dávky selenu na horní hranici dávky, selen který není živočichem metabolizován je následně z těla vyloučen. Exkrementy těchto zvířat, mohou následně zvýšit množství selenu v půdách na tento prvek chudých (Cappon, 1991). Selen je zvířatům podáván ve formě seleničitanu sodného, jelikož podávání jiných forem by bylo příliš drahé. Maximální dávka, ve které se selen přidává do prodáváných krmných směsí je 0,5 mg Se/kg (Sager, 2006).

3.7.4 Význam organického selenu pro výživu

Pro zvýšení množství selenu v organismu lidí bylo navrhováno nahrazení anorganického selenu v dietě za organický (Taylor-Pickard et Tucker, 2005). Bylo zjištěno, že v mléce krav, jimž byl selen podán v selenem obohacených kvasnicích jsou vyšší koncentrace selenu než v mléce krav, kterým byl selen dodán anorganickým selenanem sodným, a to až o 90 % ve prospěch organické formy (Ortman, 1997). Juniper et al. (2006) pak zaznamenali rozdíl mezi oběma formami selenu 34 %. Důvodem nízkých koncentrací u selenanu sodného je jeho slabá převoditelnost do mléka (Ortman and Pehrson, 1999). Situaci nepřispívá ani redukční prostředí v bachoru, které částečně přetváří selen na jeho elementární formu a selenidy (Wright and Bell, 1966).

Také Slavik et al. (2008) pozorovali po podání selenu ve formě selenem obohacených kvasnic a selenanu sodného vyšší hodnoty v kolostru pro organický selen nežli pro anorganický. Awadeh et al. (1998) pak uvádějí, že ani po dvojnásobném navýšení obsahu anorganického selenu oproti organickému nebyla hladina selenu získané z anorganické formy v kolostru vyšší, než z organické formy. Je nutné dodat, že hladiny selenu v kolostru jsou vyšší nežli v mléce (Pavlata et al, 2004; Micetic-Turk et al., 2000). Zatímco hladina selenu v

kolostru významně klesla po třech dnech od porodu, u krav krmených selenem obohacenými kvasnicemi došlo pouze ke snížení obsahu o 35 % oproti době otelení. U anorganické suplementace pak pokles činil 67 % a u kontroly 62%. Hladiny selenu z organické suplementace v mléce byly také vyšší oproti anorganické suplementaci ať už v týdnu 6 či 12. (Slavík et al., 2008). Ve prospěch selenem obohacených kvasnic hovoří i pozorování, které zjistilo, že telata, jejichž matkám byly podávány tyto kvasnice, vykazovaly po porodu vyšší hladiny selenu v krvi, než telata matek kterým byl podáván selenan. Zároveň měla telata matek krmených organickým selenem vyšší aktivitu glutathion peroxidázy (Gunter et al., 2013).

3.7.5 Odhad hladiny selenu u živočichů

K určování hladiny selenu v organismu se užívají 2 metody. Jednou je stanovení aktivity glutathion peroxidázy (GSH-PX), tedy enzymu obsahujícího selen (Zimmermann et Köhrle, 2002; Birringer et al., 2002), a druhou je přímé stanovení koncentrace selenu v krvi (Erskine et al., 1987; Harapin et al., 2000; Pavlata et al., 2000a). Glutathion peroxidáza je vhodná především jako indikátor dlouhodobého příjmu selenu, zatímco hladina selenu v krvi je považována za okamžitý indikátor příjmu selenu (Löfstedt, 1997; Harris, 1998). V případě koní se změna množství selenu ve stravě projeví na aktivitě GSH-PX až někdy mezi 45. a 60. dnem po podání (Roneus et Lindholm 1983).

3.7.6 Selen u skotu v ČR

Pavlata et. al. (2002) zjistili, že nedostatek selenu pro skot je v České republice častý. Závažná situace byla zjištěna především u mladých zvířat. Nejhorší je situace u jalovic, které trpěly nedostatkem či měly hraniční množství selenu ve všech případech. Následované býky s nedostatkem v 90% případů a telaty v 80% případů. Nejnižší počet nedostatků selenu byl zaznamenán u dojných krav a to 43%. Ve výsledku pak pouze 46% ze všech testovaných stád dostávalo dostatečné množství selenu. Nedostatek se u skotu projevuje jako zvýšená úmrtnost a oslabení imunitního systému.

Při poklesu pod hodnotu 0,01 mg Se/l u plné krve dochází u krav k svalové dystrofii, náhlým úmrtím a poporodní obrně (Pavlata et al., 2001c; Illek et al., 2000).

Vlivem nedostatku selenu v prostředí České republiky, je selen skotu dodáván. Dodávaný selen má posléze významnější úlohu jako zdroj tohoto prvku pro skot než zdroje přírodní (Pavlata et. al, 2002).

3.7.6.1 Vliv produkce mléka a březosti na hladinu selenu u skotu

Vlivem šlechtitelského úsilí u skotu se značně zvýšilo množství živin vyžadovaných organismem. Množství požadovaných živin je tak vysoké, že není možné tyto požadavky splnit a tím zaručit správné fungování organismu. Poruchy funkcí organismu vzniklé z nedostatku živin následně vedou k navýšení míry oxidačního stresu (Wullepit et al., 2009; Jóźwik, 2010).

V rámci organismu je při normálních podmínkách udržována rovnováha v tvorbě kyslíkatých reaktivních částic a antioxidantů. Jedním z těchto antioxidantů je také glutathion peroxidáza, jež obsahuje selen (Czeczot et al, 2006; Ottaviano et al., 2009). U skotu může během období laktace, především na vrcholu produkce mléka, docházet k nedostatečnosti v syntéze antioxidantů. V této souvislosti je tedy důležitý přísun selenu, jakožto komponenty selenoproteinů podílejících se na antioxidačních procesech (Flohe et al., 2000; Rayman, 2000; Dolph et al. 2011). Aktivita glutathion peroxidázy je nejvyšší na počátku laktace. Tato aktivita je zapříčiněna metabolickými změnami a deficitem energie. Právě během těchto metabolických změn dochází k navyšování spotřeby kyslíku a tudíž i ke zvýšení tvorby kyslíkatých reaktivních částic (Wullepit et al., 2009; Adela et al, 2006; Jankowiak et al., 2006) a organismus skotu na tuto situaci reaguje.

Na koncentraci selenu v organismu krav má velký vliv laktace a březost. Během období laktace dochází k přesunu selenu z těla matky do vytvářeného mléka. Právě tato skutečnost stojí za naměřenými hodnotami, které vykazují mnohem nižší koncentrace selenu v krevním séru na vrcholu období laktace, než na jeho začátku. K obdobnému přesunu selenu dochází také během samotné březosti. Selen je zde také transportován z matky do plodu (Pilarczyk et al., 2011). Takže ani v případě, kdy kráva trpí mírným nedostatkem selenu tele dostává dostatečnou dávku tohoto prvku (Gunter et al., 2003). Problémem co se týče suplementace je první týden po porodu, kdy je selen teletem přijímán primárně z kravského mléka, bohužel obsah selenu v mléce není moc vysoký (Ortman et al., 1999).

Hladiny selenu v krevním séru, které jsou považovány za optimální jsou vyšší než 0.079 mg Se/l a hodnoty mezi 0.041 a 0.079 mg Se/l jsou hraniční. Pod nejmenší hraniční hodnotu je pak množství považováno za deficitní (Anonym, 1997).

3.7.6.2 Vliv selenu na mikroflóru skotu a interakce mezi prvky

Vysoké dávky selenu jsou schopné poškodit bachorovou mikroflóru a sliznice přežvýkavců (Weekes, 1972; Cheng et al., 1976). Velké dávky selenu na počátku podávání organického selenu vyústily ve snížení počtu nálevníků, čímž měly negativní vliv na bachorovou fermentaci. Snížení počtu mikroorganismů lze vysvětlit toxickým účinkem selenu, způsobeným náhlím přidáním selenu do stravy, jelikož posléze došlo k postupnému navyšování počtu nálevníků. Příjem organického selenu měl vliv také na hladinu mědi v krvi ovcí. Mezi mědí a selenem byl pozorován antagonismus, projevující se snižováním množství mědi v krvi. Naopak pro zinek znamenala přítomnost selenu zvýšení jeho využitelnosti (Panev et al., 2013). Mezi příklady interakce selenu a jiného prvku lze zařadit antagonistický vztah selenu a síry, kdy přidáním síry dochází ke snižování obsahu selenu v krevní plazmě dojnic (Ivancic and Weiss, 2001). Co se týče jiných prvků, interakce se selenem byla pozorována také u železa, olova, kadmia, manganu, kobaltu a dalších (Shamberger, 1983). Velké množství selenu je vázáno v bachorové mikroflóře. Panev et al. (2013) ale nenašli rozdíl mezi organickou a anorganickou formou selenu co se týče obsahu selenu v biomase bachoru, zdá se že mikroflóra preferuje organickou formu. Podle Monterossa et al. (2011) u jehňat neexistoval rozdíl mezi absorbcí selenanu sodného a selenomethioninu, naopak Rock et al. (2001) pozorovali u jehňat vyšší množství selenu, pokud byly krmeny selenem obohacenými kvasnicemi.

3.7.7 Selen u lesní zvěře

Kursa (2010) se zabývali se koncentracemi selenu v tělech lesní zvěře, konkrétně jelena (*Cervus elaphus*), srnce (*Capreolus capreolus*) a prasete divokého (*Sus scrofa*), v oblastech chudých na selen ukázala, že i tato zvěř je má selenu nedostatek. Nejvíce selenu v kosterní svalovině bylo nalezeno z srnců, a to $0,0369 \pm 0,0166$ mg Se/kg. Následovala divoká prasata s $0,0276 \pm 0,0198$ mg Se/kg a nejmenší hodnoty byly nalezeny u jelenů $0,0162 \pm 0,0084$ mg Se/kg. V souboru všech zkoumaných zvířat byla také zjištěna velká variabilita obsahu selenu. Naměřené hodnoty existovaly v rozpětí od 0,0083 mg Se/kg až 0,083 mg Se/kg.

3.7.8 Selen u koní

Pro koně je hraniční hodnota pro nedostatek selenu stanovena na 0,055 až 0,075 mg/l v plné krvi (Blackmore et Brobst 1981; Blood et Radostits 1989; Strauß et al. 1993; Maas et al. 1996; Löfstedt 1997; Valberg 2002). Pokud byl dostatek selenu zjišťován zároveň pomocí aktivity GSH-Px a množství selenu v krvi, bylo zjištěno, že nedostatkem selenu trpí 44% z testovaných koní. Příjem selenu je závislý na tom, jaké krmení koně dostávají, přičemž při nedostatku selenu v českých půdách je tudíž nutné selen koním do stravy přidávat. Zároveň bylo zjištěno, že způsob využití koní má velký vliv na hladinu selenu. Koně určené pouze pro rekreační účely vykazovali nižší hladiny selenu než koně závodní (Ludvíková, 2005).

4 Materiál a metody

4.1 Schéma pokusu a odběry vzorků

Pro výzkumné účely byla vybrána nekultivovaná louka nacházející se u města Humpolec na Českomoravské vrchovině. Prvním krokem bylo vytyčení dvou pokusných ploch o velikosti 25 m², na které byl posléze aplikován selenan sodný. Plochy byly vyměřeny pásmem a hranice ploch byly následně vykolíkovány. Kolíky byly umístěny do rohů čtvercové plochy. Následně byly ke kolíkům přidány tyčky s barevným označením pro odlišení pokusných ploch. Selenan sodný byl na plochy aplikován ve formě postřiku a to ve dvou koncentracích. Na pokusnou plochu ohraničenou tyčkami se žlutým pruhem byla aplikována koncentrace 25 g Se/ha. Na plochu ohraničenou červenými tyčkami pak koncentraci 50 g Se/ha. Pro snížení rizika zkreslení výsledků, vlivem možného zbytkového postřiku uvnitř postřikové hlavičky, byl nejdříve aplikován roztok s nižší koncentrací.

Odběr vzorků proběhl 4 týdny po aplikaci selenanu sodného. Na každé ploše bylo odebráno 12 vzorků nadzemní biomasy těch druhů rostlin, které se vyskytovaly na obou pokusných plochách a v oblasti mimo plochy, kde byl postřik aplikován. Tyto vzorky sloužily jako kontrolní. Po odběru vzorků rostlin, došlo k odebrání vzorků půdy z jednotlivých pokusných ploch a z plochy bez postřiku.

Odebrané vzorky rostlin byly zástupci následujících druhů:

1 Medyněk vlnatý (<i>Holcus lanatus</i> L.)	- lipnicovité
2 Ostřice měchýřkatá (<i>Carex vesicaria</i> L.)	- šáchorovité
3 Svízel povázka (<i>Galium mollugo</i> (L) Scop.)	- mořenovité
4 Krabilice mámivá (<i>Chaerophyllum. temulum</i> L.)	- miříkovité
5 Pcháč oset (<i>Cirsium. arvense</i> (L) Scop.)	- hvězdnicovité
6 Psárka luční (<i>Aopecurus. pratensis</i> L.)	- lipnicovité
7 Pryskeřník plazivý (<i>Ranunculus. repens</i> L.)	- pryskeřníkovité
8 Rozrazil rezekvítek (<i>Veronica. chamaedrys</i> L.)	- jitrocelovité
9 Ptačinec velkokvětý (<i>Stellaria. holostea</i> L.)	- hvozdíkovité
10 Kopřiva dvoudomá (<i>Urtica. dioica</i> L.)	- kopřivovité
11 Sítina rozkladitá (<i>Juncus. effusus</i> L.)	- sítinovité
12 Svízel přítula (<i>Galium aparine</i> L.)	- mořenovité

Získané vzorky rostlin, byly následně rozstříhány na menší části a zlyofilizovány. Po lyofilizaci následovalo namletí vzorků v mlýnku. Následně byl nyní už homogenní materiál uskladněn při laboratorní teplotě pro budoucí měření.

4.2 Analytické metody

Celkový obsah prvků v rostlinné biomase byl stanoven po rozkladu na mokré cestě s mikrovlnným ohřevem. Ze zhomogenizovaného vzorku bylo naváženo do teflonových reakčních nádob 0,5 g vzorku, u plné krve bylo odebráno 0,5 ml. Navážka byla zalita 8 ml 65 % kyseliny dusičné a 2 ml 30 % peroxidu vodíku. Takto připravený vzorek byl rozložen v uzavřeném systému s mikrovlnným ohřevem v zařízení Ethos 1 (MLS GmbH, Německo) po dobu 30 minut a teplotě 220 °C. Po částečném ochlazení byl vzorek zakoncentrován odpařením cca 80% objemu reakční směsi. Po ochlazení byl mineralizát kvantitativně převeden do 20 ml zkumavky a doplněn demineralizovanou vodou, poté uchován při laboratorní teplotě až do doby měření.

Půdní vzorky byly nejprve vysušeny při laboratorní teplotě, rozdrceny v třecí misce a prosety přes síto s velikostí ok 2 mm. Vysušené a proseté vzorky byly po 0,5 g naváženy do reakčních teflonových nádob a zality 8 ml lučavky královské (směs 37% HCl a 65% HNO₃ v poměru 3:1). Takto připravené vzorky byly také extrahovány mokrou cestou v uzavřeném systému s mikrovlnným ohřevem v zařízení Ethos 1 (MLS GmbH, Německo). Po zchladnutí nádob proběhl ve stejném zařízení odpar kyselin. Vzorky byly následně kvantitativně

převedeny do 25 ml zkumavky a doplněny demineralizovanou vodou, poté uchovány při laboratorní teplotě až do doby měření.

Stanovení selenu v mineralizátech bylo provedeno pomocí hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP MS, Agilent 7700x firmy Agilent Technologies, Inc., USA) v HeHE (high energy helium) modu s využitím automatického dávkovače ASX-500, tříkanálové peristaltické pumpy a zmlžovače typu MicroMist. Obsah Cu, Fe, Mn, P, S a Zn v mineralizátech byl stanoven optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (ICP OES) s axiální orientací plazmové hlavičky na přístroji Agilent 720 (Agilent Technologies, Inc., USA) s využitím dvoukanálové peristaltické pumpy, mlžné komory typu Struman Masters a pneumatického zmlžovače typu „V-groove“ vyrobeného z inertního materiálu. Podmínky měření byly následující: příkon do plazmatu 1.2 kW, průtok plazmového argonu 15.0 L min^{-1} , průtok pomocného argonu 0.75 L.min^{-1} , průtok argonu zmlžovačem 0.9 L.min^{-1} . Obsah Ca, Mg a K v mineralizátech byl pak stanoven pomocí atomové absorpční spektrometrie s plamenovým atomizátorem (F-AAS, Varian 280FS, Varian, Australia) za následujících podmínek: průtok vzduchu 13.5 L min^{-1} , průtok acetylenu 2.2 L min^{-1} , výška hořáku 13.5 mL, průtok vzorku zmlžovačem 5 mL min^{-1} .

4.3 Statistické zpracování dat

Po zanalyzování vzorků pro dvanácti druhů rostlin a vzorků půdy, každý rozdělen do skupin 0 g Se/ha (nulová aplikace), 25 g Se/ha a 50 g Se/ha. Hodnota vzorků byla přepočítána na mg Se/kg. Pro statistickou analýzu vzorků, byl užit program STATISTICA 12. Pro potřebu interpretace hodnot, byly ve statistickém programu použity 2 analýzy, jednak popisné statistiky pro zjištění průměrů a směrodatných odchylek ze získaných hodnot, jednak jednofaktorová ANOVA, jejímž třídícím faktorem jsou aplikace selenu, s následným Tuckeyovým testem. Hladina významnosti byla stanovena na 5 %. Pro znázornění zda hodnoty vykazují/nevykazují statisticky významné rozdíly a vůči které hodnotě je vykazují/nevykazují pro znázornění do tabulek, bylo užito písmenných zkratk. Pokud jsou písmena u hodnoty stejná, znamená to, že mezi sebou hodnoty nevykazují statisticky významné rozdíly. Pokud se tedy písmena liší znamená to, že mezi hodnotami jsou statisticky významné rozdíly. Pokud jsou za hodnotou místo jednoho písmene dvě, znamená to, že tato hodnota nevykazuje statisticky významné rozdíly ani s jednou z hodnot, jejíž písmena jsou součástí zkratky. Pro tvorbu tabulek bylo užito programu Microsoft Office Excel 2007. Každá tabulka znázorňuje jeden ze dvanácti druhů rostlin s jednou tabulkou navíc znázorňující hodnoty půdy. Tabulky

obsahují hodnoty u pro nulovou aplikaci a aplikace 25 g Se/ha a 50 g Se/ha pro všech deset stanovovaných prvků. Pro každou hodnotu aplikace a prvek je vepsána průměr odpovídajících měřených hodnot, jejich směrodatná odchylka a odpovídající písmenná zkratka.

5 Výsledky

Tabulka 1. Hodnoty obsahů prvků pro medyněk vlnatý v závislosti na aplikaci selenu (mg/kg); výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka; varianty označené stejnými písmeny se od sebe statisticky významně neliší ($\alpha=0,05$)

Dávka Se	Se	Ca	Cu	Fe	K
0 g Se/ha	0,007±0,000b	2699±209a	2,99±0,22a	39,7±3,8a	10522±356a
25 g Se/ha	0,377±0,001a	1949±66a	2,97±0,05a	30,4±1,7a	9971±238a
50 g Se/ha	0,399±0,052a	2665±372a	2,64±0,04a	33,8±7,2a	14247±413b
	Mg	Mn	P	S	Zn
0 g Se/ha	1328±60a	212,1±7,1b	2023±92b	2120±90a	23,8±0,1a
25 g Se/ha	1009±7b	154,9±1,5a	1511±15a	1325±56b	13,5±0,1b
50 g Se/ha	1157±68ab	169,4±7,9a	1707±66a	2008±131a	17,0±0,5c

5.1 Medyněk vlnatý

Výsledky shrnuje tabulka 1. Nulová aplikace u medyněku vlnatého pro selen vykazuje hodnotu pod úroveň meze detekce. Vzorky, na který byla aplikována dávka 25 g Se/ha a 50 g Se/ha vykazují statisticky významný nárůst hodnot oproti nulové aplikaci. Aplikace 25 g Se/ha a 50 g Se/ha však nevykazují statisticky významné rozdíly mezi sebou. Žádný ze vzorků nevykazuje statisticky významné rozdíly pro hodnoty vápníku. Hodnoty mědi ani železa nebyly ovlivněny jakoukoli hladinou postřiku. Ačkoli hodnota draslíku pro nulovou aplikaci a aplikaci 25 g Se/ha nevykazují statisticky významné rozdíly, hodnota pro aplikaci 50 g Se/ha je mnohem vyšší. Hodnoty hořčíku pro nulovou aplikaci a aplikaci 25 g Se/ha se vyznačují statisticky významnými rozdíly. Hodnota pro aplikaci 25 g Se/ha je významně nižší než pro nulovou aplikaci. Hodnota pro aplikaci 50 g Se/ha je o něco vyšší než aplikace 25 g Se/ha, ale nevykazuje statisticky významné rozdíly s nulovou aplikací a aplikací 25 g Se/ha. Hodnoty manganu vykazují vyšší koncentrace v nulové aplikaci nežli v obou nenulových aplikacích selenu, aplikace 25 g Se/ha a aplikace 50 g Se/ha, mezi kterými není statisticky významný rozdíl. Stejně jako mangan, fosfor vykazuje vyšší hodnoty v nulové aplikaci, než v aplikacích 25 g Se/ha a aplikaci 50 g Se/ha. Hodnota síry nevykazuje statisticky významné rozdíly v nulové aplikaci a aplikaci 50 g Se/ha, ale vykazuje tyto rozdíly pro aplikaci 25 g

Se/ha s nižší hodnotou nežli nulová aplikace a aplikace 50 g Se/ha. Zinek vykazuje statisticky významné rozdíly pro veškeré naměřené hodnoty. Je zde klesající trend i přes nižší hodnotu zinku v aplikaci 25 g Se/ha než v aplikaci 50 g Se/ha.

Tabulka 2. Hodnoty obsahů prvků pro ostřici měchýřkatou v závislosti na aplikaci selenu (mg/kg); výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka; varianty označené stejnými písmeny se od sebe statisticky významně neliší ($\alpha=0,05$)

Dávka Se	Se	Ca	Cu	Fe	K
0 g Se/ha	0,016±0,001a	3422±2a	5,37±0,01a	51,3±6,2a	17964±132b
25 g Se/ha	0,302±0,004b	1980±316b	4,11±1,38a	19,6±5,0a	22838±495a
50 g Se/ha	0,633±0,026c	3351±98a	5,19±0,17a	42,4±13,8a	23074±767a
	Mg	Mn	P	S	Zn
0 g Se/ha	2171±2a	144,1±0,1b	1259±12b	4598±43b	35,6±1,0a
25 g Se/ha	1185±30b	72,7±16,5a	966±103a	3162±447a	18,9±4,4b
50 g Se/ha	1385±41c	88,7±2,6a	969±14a	3006±76a	24,9±0,6ab

5.2 Ostřice měchýřkatá

Výsledky shrnuje tabulka 2. Pro ostřici vykazuje selen stoupající tendenci se zvyšujícím se obsahem aplikované látky. Nulová aplikace vykazuje minimální hodnoty, jen něco málo nad mezí detekce. Aplikace 25 g Se/ha pak v rostlině vytvořila hodnotu $0,302 \pm 0,004$ mg Se/kg. Aplikace 50 mg Se/ha následně zvýšila tuto hodnotu více jak dvojnásobně na $0,633 \pm 0,026$ mg Se/kg. U vápníku pozorujeme pokles hodnoty vápníku u aplikaci 25 g Se/ha, přičemž nulová aplikace a aplikace 50 g Se/ha nejeví mezi sebou statisticky významné rozdíly. Aplikace selenu nezpůsobila žádné statisticky významné rozdíly v hodnotách mědi ani železa. Draslík vykazuje v rámci nulové aplikace nižší hodnoty nežli po obou vyšších aplikacích. Obě vyšší aplikace pak nejeví mezi sebou žádné statisticky významné rozdíly. Hodnota hořčíku je nejvyšší v nulové aplikaci, naopak nejnižší hodnoty jsou při aplikaci 25 g Se/ha, následně nastalo zvýšení hodnoty při aplikaci 50 g Se/ha. Veškeré hodnoty jeví významné statistické rozdíly mezi sebou navzájem. Pro mangan fosfor a síru platí, že nejvyšší hodnotu vykazovaly prvky v nulové aplikaci, nenulové aplikace u všech tří prvků nejevily statisticky významné rozdíly, ale jeví je vůči nulovým aplikacím. Zinek měl nejvyšší hodnotě také v nulové aplikaci, nejnižší hodnotu měl zinek v aplikaci 25 g Se/ha. Mezi nulovou aplikací a aplikací 25 g Se/ha existují statisticky významné rozdíly, zatímco aplikace 50 g Se/ha, která je

hodnotově vyšší než aplikace 25 g Se/ha nejeví statisticky významné rozdíly s nulovou aplikací ani s nižší aplikací.

Tabulka 3. Hodnoty obsahů prvků pro svízel povázku v závislosti na aplikaci selenu (mg/kg); výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka; varianty

Dávka Se	Se	Ca	Cu	Fe	K
0 g Se/ha	0,031±0,004a	8385±131a	5,72±0,17a	49,4±10,8a	16534±210a
25 g Se/ha	0,270±0,027b	6638±1614a	3,24±0,91a	32,2±3,0a	9191±320b
50 g Se/ha	0,608±0,016c	6216±1753a	3,90±1,24a	22,8±2,2a	16863±302a
	Mg	Mn	P	S	Zn
0 g Se/ha	1993±40a	46,0±0,9a	2164±57a	1865±28a	29,7±0,8b
25 g Se/ha	1507±69a	43,1±10,2a	1704±423a	1433±299a	12,7±3,8a
50 g Se/ha	1417±445a	46,9±13,4a	1529±416a	1338±320a	15,1±4,1a

označené stejnými písmeny se od sebe statisticky významně neliší ($\alpha=0,05$)

5.3 Svízel povázka

Výsledky shrnuje tabulka 3. Základní hodnota selenu v nulové aplikaci ($0,031 \pm 0,004$ mg Se/kg) byla nejvyšší ze zkoumaných druhů rostlin. Rozdíly mezi hodnotami aplikací jsou statisticky významné. Hodnoty pro aplikaci 50 g Se/ha byly více jak dvojnásobné vůči než v aplikaci 25 g Se/ha. U tohoto druhu nebyly pozorovány statisticky významné rozdíly v žádném měření u vápníku mědi ani železa. Hodnoty draslíku jsou bez statisticky významných rozdílů u nulové aplikace a aplikace 50 g Se/ha. Aplikace 25 g Se/ha byla mnohem nižší oproti kontrole a aplikaci 50 g Se/ha. Rozdíly byly u této aplikace statistické významné vůči zbývajícím dvěma měřením. Hořčík, mangan, fosfor ani síra neprojevovaly statisticky významné rozdíly v hodnotě prvků v rostlině v souvislosti s aplikací selenu. Pro zinek znamenala aplikace selenu snížení jeho hodnoty v rostlině. Hodnoty zinku u aplikace 25 g Se/ha a aplikace 50 g Se/ha nejevily statisticky významné rozdíly. Čímž jedinou statisticky významnou hodnotou byla hodnota u nulové aplikace, která byla vyšší nežli vyšší aplikace.

Tabulka 4. Hodnoty obsahů prvků pro krabilici mámivou v závislosti na aplikaci selenu (mg/kg); výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka; varianty označené stejnými písmeny se od sebe statisticky významně neliší ($\alpha=0,05$)

Dávka Se	Se	Ca	Cu	Fe	K
0 g Se/ha	0,007±0,000a	22147±76a	2,83±0,06a	57,0±1,0a	11546±2b
25 g Se/ha	0,147±0,003b	13794±262b	3,80±0,02b	62,4±14,4a	21408±556a
50 g Se/ha	0,468±0,006c	19094±77c	3,52±0,05c	80,5±20,6a	22124±159a
	Mg	Mn	P	S	Zn
0 g Se/ha	4461±18a	81,6±0,1a	1397±11b	3558±2a	7,7±0,3a
25 g Se/ha	3889±97b	41,3±0,3b	2321±49a	4767±108b	9,6±0,1b
50 g Se/ha	4202±4c	90,8±0,4c	2283±2a	3758±12a	10,6±0,1c

5.4 Krabilice mámivá

Výsledky shrnuje tabulka 4. Hodnota selenu v nulové aplikaci byla pod mezí detekce. U aplikace 25 g Se/ha vystoupala hodnota selenu na $0,147 \pm 0,003$ mg Se/kg. Aplikace 50 g Se/ha následně zaznamenala hodnoty v rostlině na úrovni $0,468 \pm 0,006$ mg Se/kg. Aplikace vyšší hodnoty selenu vůči nižší tudíž zaznamenala trojnásobný nárůst. Všechny hodnoty projevovaly navzájem statisticky významné rozdíly. Vápník měl nejvyšší hodnoty u nulové aplikace, aplikace 25 g Se/ha, byla z naměřených hodnot nejnižší. Aplikace 50 g Se/ha znovu zaznamenala vzestup hodnot směrem k hodnotám nulové aplikace. Všechny naměřené hodnoty zde opět měly statisticky významné rozdíly. Stejně to bylo se statisticky významnými rozdíly u mědi. Aplikace selenu se projevila zvýšením hodnot mědi oproti nulové aplikaci u aplikace 25 g Se/ha. V aplikaci 50 g Se/ha pak došlo ke snížení hodnot. Železo neprojevovalo statisticky významné rozdíly v hodnotách v rostlině vůči aplikaci selenu. Draslíku bylo nejméně v nulové aplikaci, tato hodnota se pak statisticky významně lišila od aplikací 25 g Se/ha a 50 g Se/ha, jejichž hodnoty vzájemně nejevily statisticky významné rozdíly, měly pak draslíku významně více. Hořčík dosahoval v rostlině nejvyšších hodnot v rámci nulové aplikace. Posléze v aplikaci 25 g Se/ha došlo k velkému propadu hodnot. V aplikaci 50 g Se/ha se hodnota oproti nižší aplikaci selenu zvýšila na hodnoty bližší nulové aplikaci. Veškeré rozdíly mezi jednotlivými skupinami měly statisticky významné rozdíly. Mangan vykazuje v nulové aplikaci hodnoty $81,6 \pm 0,1$ mg Mn/kg. V rámci aplikace 25 mg Se/ha se setkáváme s drastickým propadem na hodnotu $41,3 \pm 0,3$ mg Mn/kg. Hodnoty v aplikaci 50 g Se/ha, naopak vykazují růst překonávající i hodnoty nulové aplikace. Všechny hodnoty vykazovaly statisticky významné rozdíly vůči sobě navzájem. Pro fosfor znamenala aplikace selenu navýšení hodnot oproti nulové aplikaci. Velikost aplikace posléze nehrála roli,

jelikož aplikace 25 g Se/ha a 50 g Se/ha nejevili navzájem statisticky významné rozdíly. U síry není statisticky významný rozdíl mezi hodnotou nulové aplikace a aplikací 50 g Se/ha. Oproti tomu aplikace 25 g Se/ha se vyznačuje značným statisticky významným nárůstem obsahu síry. Vlivem přidání selenu rostlině došlo k navyšování příjmu zinku rostlinou. Čím více selenu bylo přidáno tím vyšší byl příjem zinku. Mezi všemi hodnotami byly statisticky významné rozdíly.

Tabulka 5. Hodnoty obsahů prvků pro pcháč oset v závislosti na aplikaci selenu (mg/kg); výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka; varianty označené stejnými písmeny se od sebe statisticky významně neliší ($\alpha=0,05$)

Dávka Se	Se	Ca	Cu	Fe	K
0 g Se/ha	0,007±0,000a	18512±841a	12,46±0,37a	39,8±4,9a	21201±174a
25 g Se/ha	0,094±0,005b	18114±433a	12,45±0,18a	44,4±0,7a	26405±357b
50 g Se/ha	0,256±0,010c	21012±754a	11,18±0,18b	57,2±9,0a	17307±384c
	Mg	Mn	P	S	Zn
0 g Se/ha	5026±143a	41,5±2,1a	1747±49a	7892±397a	29,6±1,7a
25 g Se/ha	4271±17b	41,3±0,4a	1892±36a	7425±186a	31,3±0,2a
50 g Se/ha	5975±183c	28,8±1,9b	1787±25a	6198±21b	26,7±1,0a

5.5 Pcháč oset

Výsledky shrnuje tabulka 5. Hodnoty pro pcháč oset byly u nulové aplikace pod mezí detekce. Aplikace 25 g Se/ha zvýšila hodnotu selenu na 0,094 ± 0,005 mg Se/kg, což bylo nejnižší zvýšení po aplikaci 25 mg/ha selenu v rámci testovaných rostlin. Aplikace 50 g Se/ha zvýšila hodnotu selenu na 0,256 ± 0,01 mg Se/kg, což je také nejnižší hodnota pro selen dosažená po aplikaci 50 g Se/ha v rámci testovaných rostlin. Z toho vyplývá, že pcháč oset má nejnižší příjem selenu ze všech testovaných rostlin. Na vápník neměla aplikace selenu vliv, jelikož hodnoty vápníku nevykazují statisticky významné rozdíly. U mědi nevykazují nulová aplikace a aplikace 25 g Se/ha statisticky významné rozdíly. Statisticky významný rozdíl vůči předchozím měřením vykazuje až aplikace 50 g Se/ha, s nižšími hodnotami než předešlá měření. Ze zkoumaných rostlin právě pcháč oset obsahuje nejvyšší hodnoty mědi. Železo nevykazuje statisticky významné ovlivnění aplikací selenu. Pro draslík měly všechny testované hodnoty statisticky významné rozdíly. Nejvyšší hodnoty draslíku bylo dosaženo při aplikaci 25 mg Se/ha. Naopak při aplikaci 50 g Se/ha došlo k drastickému snížení hladiny draslíku i oproti nulové aplikaci. U hořčíku došlo oproti kontrole, u aplikace 25 g Se/ha k poklesu, ale po aplikaci 50 g Se/ha došlo k nárůstu obsahu hořčíku v rostlině téměř o 1000 mg

Mg/kg oproti nulové aplikaci. Všechny hodnoty vykazovaly statisticky významné rozdíly vůči sobě. U manganu neexistovaly statisticky významné rozdíly mezi hodnotou nulové aplikace a hodnotou aplikace 25 g Se/ha. Oproti těmto dvěma hodnotám aplikace 50 g Se/ha vykazuje statisticky významné rozdíly a hodnota manganu je zde významně nižší. Fosfor nebyl aplikací selenu významně statisticky ovlivněn. Hodnoty nulové aplikace a aplikace 25 g Se/ha nevykazují pro síru statisticky významné rozdíly, ale hodnota pro aplikaci 50 g Se/ha jeví statisticky významný pokles. Zinek nebyl u této rostliny aplikací selenu významně statisticky ovlivněn, jelikož hodnoty nejevily statisticky významné rozdíly.

Tabulka 6. Hodnoty obsahů prvků pro psárku luční v závislosti na aplikaci selenu (mg/kg); výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka; varianty označené stejnými písmeny se od sebe statisticky významně neliší ($\alpha=0,05$)

Dávka Se	Se	Ca	Cu	Fe	K
0 g Se/ha	0,007±0,000a	18512±841a	12,46±0,37a	39,8±4,9a	21201±174a
25 g Se/ha	0,094±0,005b	18114±433a	12,45±0,18a	44,4±0,7a	26405±357b
50 g Se/ha	0,256±0,010c	21012±754a	11,18±0,18b	57,2±9,0a	17307±384c
	Mg	Mn	P	S	Zn
0 g Se/ha	5026±143a	41,5±2,1a	1747±49a	7892±397a	29,6±1,7a
25 g Se/ha	4271±17b	41,3±0,4a	1892±36a	7425±186a	31,3±0,2a
50 g Se/ha	5975±183c	28,8±1,9b	1787±25a	6198±21b	26,7±1,0a

5.6 Psárka luční

Výsledky shrnuje tabulka 6. Hodnota u nulové aplikace selenu pro psárku luční byla pod mezí detekce. Pro aplikaci 25 g Se/ha došlo ke zvýšení hodnot a pro aplikaci 50 g Se/ha se zvýšení opakovalo. Mezi všemi hodnotami byly statisticky významné rozdíly. Vápník, měď, železo ani draslík nevykazovaly po aplikaci selenu statisticky významné rozdíly od nulové aplikace. Hořčík vykazuje klesající tendenci se stoupajícím množstvím selenu. Nejvyšší hodnotu má nulová aplikace. Aplikace 25 g Se/ha má následně méně a aplikace 50 g Se/ha má hořčíku nejméně. Rozdíly jednotlivých hodnot jsou navzájem statisticky významné. Hodnoty u manganu pro nulovou aplikaci a aplikaci 25 g Se/ha nejevily statisticky významné rozdíly. Po aplikaci 50 g Se/ha dochází k statisticky významnému poklesu hodnot manganu. U fosforu jsou nejvyšší hodnoty naměřeny u nulové aplikace. Po aplikaci selenu dochází k významnému poklesu hodnot fosforu. Mezi aplikacemi 25 g Se/ha a 50 g Se/ha neexistují statisticky významné rozdíly. Hodnoty síry mají klesající charakter po aplikaci selenu. Hodnota nulové aplikace je nejvyšší naměřená. Aplikace 25 g Se/ha nejevily statisticky

významné rozdíly s nulovou aplikací a aplikací 50 g Se/ha ačkoli její hodnota je číselně nižší. Aplikace 50 g Se/ha, je z těchto tří hodnot nejnižší a jeví statisticky významné rozdíly s nulovou aplikací. Zinek vykazuje klesající trend v rámci reakce na selen. Všechny hodnoty vykazují statisticky významné rozdíly mezi sebou navzájem.

Tabulka 7. Hodnoty obsahů prvků pro pryskyřník plazivý v závislosti na aplikaci selenu (mg/kg); výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka; varianty označené stejnými písmeny se od sebe statisticky významně neliší ($\alpha=0,05$)

Dávka Se	Se	Ca	Cu	Fe	K
0 g Se/ha	0,007±0,000a	9984±147a	9,77±0,03a	27,6±0,0a	18772±198a
25 g Se/ha	0,146±0,020b	8471±100a	8,57±0,02a	36,5±2,7a	13506±71ab
50 g Se/ha	0,553±0,008c	8424±2987a	6,74±3,00a	41,5±8,4a	10768±2512b
	Mg	Mn	P	S	Zn
0 g Se/ha	3983±17a	124,6±2,2a	2057±5a	2102±19a	33,1±0,2a
25 g Se/ha	2663±19a	84,5±1,8ab	1982±24a	1680±141a	23,9±0,7ab
50 g Se/ha	2347±858a	56,8±19,6b	1576±594a	1495±478a	15,1±5,7b

5.7 Pryskyřník plazivý

Výsledky shrnuje tabulka 7. Hodnota selenu pro nulovou aplikaci u pryskyřníku plazivého je pod úrovní meze detekce. Hodnota pro aplikaci 25 g Se/ha je $0,146 \pm 0,020$ mg Se/kg a pro aplikaci 50 g Se/ha $0,553 \pm 0,008$ mg Se/kg. Oproti aplikaci 25 g Se/ha aplikace 50 g Se/ha zaznamenala téměř čtyřnásobné hodnoty. Všechny hodnoty mají navzájem statisticky významné rozdíly a vykazují stoupající trend. Vápník měď ani železo nejevily statisticky významné rozdíly po aplikaci selenu oproti kontrole. Draslík má nejvyšší hodnotu v nulové aplikaci. Aplikace 25 g Se/ha nejevily statisticky významné rozdíly mezi nulovou aplikací ani aplikací 50 g/ha. Aplikace 50 g Se/ha je z naměřených hodnot nejnižší. Tudiž vyšší aplikace selenu způsobuje snížení obsahu draslíku v pryskyřníku plazivém. Hořčík nejevily statisticky významné rozdíly, pro žádnou z aplikací. Aplikace 25 g Se/ha nevykazuje statisticky významné rozdíly s kontrolou ani aplikací 50 g/ha, ale tyto hodnoty vykazují statisticky významné rozdíly mezi sebou. Aplikace 50 g Se/ha má nejnižší hodnoty. Fosfor ani síra nevykazují statisticky významné rozdíly po aplikaci selenu. Nejvyšší hodnotu měl zinek u nulové aplikace, aplikace 25 g Se/ha nejevily statisticky významné rozdíly s nulovou aplikací ani s aplikací 50 g Se/ha. Za to nulová aplikace a aplikace 50 g Se/ha vykazují statisticky významné rozdíly mezi sebou. Aplikace 50 g Se/ha má nejnižší hodnoty zinku.

Tabulka 8. Hodnoty obsahů prvků pro rozrazil rezekvítek v závislosti na aplikaci selenu (mg/kg); výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka; varianty označené stejnými písmeny se od sebe statisticky významně neliší ($\alpha=0,05$)

Dávka Se	Se	Ca	Cu	Fe	K
0 g Se/ha	0,007±0,000a	8094±153a	8,95±0,01a	68,4±0,2a	17262±185a
25 g Se/ha	0,447±0,056b	8853±215b	7,67±0,49a	81,3±0,8a	22790±776b
50 g Se/ha	1,052±0,024c	8445±2ab	5,95±0,33b	76,7±5,8a	18347±629a
	Mg	Mn	P	S	Zn
0 g Se/ha	3158±64a	45,6±2,1a	1712±18a	2457±93a	29,2±2,0a
25 g Se/ha	3261±104a	52,3±1,9a	2367±119b	3637±134b	31,6±2,3a
50 g Se/ha	3274±55a	51,2±4,2a	1596±226a	2321±308a	26,7±3,6a

5.8 Rozrazil rezekvítek

Výsledky shrnuje tabulka 8. Hodnoty selenu pro nulovou aplikaci byly pod úrovní meze detekce, přesto tato rostlina naakumulovala nejvíce selenu ze zkoumaných druhů rostlin. Aplikace 50 mg/ha totiž dosáhla hodnoty $1,052 \pm 0,024$ mg Se/kg. Nižší aplikace 25 mg Se/ha pak měla hodnotu $0,447 \pm 0,056$ mg Se/kg. Všechny hodnoty vykazovaly statisticky významné rozdíly mezi sebou navzájem. Vápník měl hodnotu v nulové aplikaci, do které nebyl dodán selen nižší, než aplikace 25 g Se/ha, následně následoval pokles u aplikace 50 g Se/ha. Tato hodnota, ale nejeví statisticky významné rozdíly mezi nulovou aplikací a aplikací 25 g Se/ha. Měď nevykazuje statisticky významné rozdíly u hodnot pro nulovou aplikaci a pro aplikaci 25 g Se/ha. Aplikace 50 g Se/ha, vykazuje statisticky významný pokles hodnot mědi oproti předchozím hodnotám. Na hodnotu železa neměla aplikace selenu statisticky významný vliv, jelikož žádná z hodnot nevykazuje statisticky významné rozdíly. Pro hodnoty draslíku znamenala aplikace selenu u aplikace 25 g Se/ha velké statisticky významné navýšení hodnoty oproti nulové aplikaci. U aplikace 50 g Se/ha, je pozorován znovu pokles na hodnoty odpovídající nulové aplikaci, jelikož kontrola a aplikace 50 g Se/ha nevykazují statisticky významné rozdíly. Hořčík a mangan nevykazují statisticky významné rozdíly pod vlivem aplikace selenu. Pro fosfor nejsou statisticky významné rozdíly pro aplikaci selenu u nulové aplikace a aplikace 50 g Se/ha. Statisticky významně se liší aplikace 25 g Se/ha, jejíž hodnota je výrazně nad předešlé hodnoty. Stejná situace jako u fosforu se opakuje u síry. Nulová aplikace a aplikace 50 g Se/ha nejeví statisticky významné rozdíly, za to aplikace 25 g Se/ha je znovu výrazně nad zbylé dvě hodnoty. Selen nemá na hodnoty zinku statisticky významný vliv.

Tabulka 9. Hodnoty obsahů prvků pro Ptačinec velkokvětý v závislosti na aplikaci selenu (mg/kg); výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka; varianty označené stejnými písmeny se od sebe statisticky významně neliší ($\alpha=0,05$)

Dávka Se	Se	Ca	Cu	Fe	K
0 g Se/ha	0,007±0,000a	4304±137a	3,10±0,04a	44,3±0,8a	10389±132ab
25 g Se/ha	0,297±0,116a	2471±1001a	2,07±0,83a	58,5±6,3a	9756±3522a
50 g Se/ha	0,775±0,064b	3518±137a	3,52±0,01a	47,3±7,1a	18928±346b
	Mg	Mn	P	S	Zn
0 g Se/ha	1811±36a	90,1±0,3a	1409±2a	1134±7a	35,4±0,0a
25 g Se/ha	1402±274a	80,5±32,2a	1246±445a	2083±362b	19,8±2,4b
50 g Se/ha	1957±30a	171,9±1,6b	2161±4a	1783±46c	44,8±0,4c

5.9 Ptačinec velkokvětý

Výsledky shrnuje tabulka 9. Hodnota nulové aplikace pro ptačinec velkokvětý byla pod mezí detekce. Mezi nulovou aplikací a aplikací 25 g Se/ha neexistuje statisticky významný rozdíl. Za to aplikace 50 g Se/ha vykazuje statisticky významný rozdíl, směrem vzhůru. Vápník měď ani železo nebyly aplikací selenu statisticky významně ovlivněny. Hodnota nulové aplikace pro draslík (10389 ± 132 mg K/kg) nevykazuje statisticky významné rozdíly ani pro aplikaci 25 g Se/ha (9756 ± 3522 mg K/kg) ani 50 mg Se/ha (18928 ± 346 mg K/kg). Za to aplikace 25 g Se/ha a 50 g Se/ha vykazují statisticky významné rozdíly mezi sebou. Hodnota pro aplikaci 50 g Se/ha značí výrazný vzestup vůči předchozím hodnotám. Hořčík nebyl selenem statisticky významně ovlivněn. U manganu není statisticky významný rozdíl mezi nulovou aplikací a aplikací 25 g Se/ha. Za to pro aplikaci 50 g Se/ha je pozorován statisticky významný rozdíl, hodnota zde významně stoupá. Hodnoty fosforu nevykazují statisticky významné rozdíly, a to i přes rozdíl hodnot v aplikaci 50 g Se/ha. Hodnota nulové aplikace pro síru se vyznačuje nejnižší hodnotou. Následuje statisticky významný vzestup hodnot pro aplikaci 25 g Se/ha a 50 g Se/ha. Mezi oběma aplikacemi není statisticky významný rozdíl. Pro zinek jsou všechny rozdíly hodnot statisticky významné. Oproti nulové aplikaci dochází k poklesu pro aplikaci 25 g Se/ha. Aplikace 50 g Se/ha je pak vyšší nežli hodnota nulové aplikace.

Tabulka 10 Hodnoty obsahů prvků pro kopřivu dvoudomou v závislosti na aplikaci selenu (mg/kg); výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka; varianty označené stejnými písmeny se od sebe statisticky významně neliší ($\alpha=0,05$)

Dávka Se	Se	Ca	Cu	Fe	K
0 g Se/ha	0,007±0,000b	19904±661a	7,51±0,71a	52,0±6,8ab	18610±906a
25 g Se/ha	0,720±0,011a	21519±639a	3,33±0,06b	41,6±1,2a	9067±103b
50 g Se/ha	0,712±0,067a	17380±41b	6,91±0,07a	64,6±0,5b	18861±112a
	Mg	Mn	P	S	Zn
0 g Se/ha	4266±92ab	54,7±13,6a	2263±328a	3246±1091a	16,5±3,1a
25 g Se/ha	4555±77a	71,2±5,5a	1370±34b	3147±56a	12,4±0,3a
50 g Se/ha	4101±17b	124,4±1,4b	2447±2a	5090±48a	27,5±2,0b

5.10 Kopřiva dvoudomá

Výsledky shrnuje tabulka 10. Hodnoty v nulové aplikaci pro selen byly pod mezí detekce. Následovalo významné navýšení hodnot pro aplikaci 25 g Se/ha ($0,720 \pm 0,011$ mg Se/kg) a 50 g Se/ha ($0,712 \pm 0,067$ mg Se/kg). Mezi hodnotami aplikace 25 g Se/ha a 50 g Se/ha není statisticky významný rozdíl. Kopřiva měla nejvyšší nárůst hodnot mezi hodnotou nulové aplikace a aplikací 25 g Se/ha. Rozdíly v hodnotách pro nulovou aplikaci a aplikaci 25 g Se/ha u vápníku nejsou statisticky významné. Následuje pokles hodnot vápníku u aplikace 50 g Se/ha. Hodnota nulové aplikace a aplikace 50 g Se/ha u mědi nevykazují statisticky významné rozdíly. Aplikace 25 g Se/ha vykazuje oproti zmíněným hodnotám dramatický statisticky významný pokles, nulová aplikace železa nejeví statisticky významné rozdíly s hodnotou aplikace 25 g Se/ha ani s aplikací 50 g Se/kg. Oproti tomu mezi aplikací 25 g Se/ha a 50 g Se/ha jsou statisticky významné rozdíly. Hodnoty aplikace 25 g Se/ha jsou nižší než nulová aplikace. Aplikace 50 g Se/ha, je naopak značně vyšší než kontrola i aplikace 25 g Se/ha. Hodnoty pro aplikaci 25 g Se/ha u draslíku jeví statisticky významné rozdíly oproti nulové aplikaci, kde nebyla provedena aplikace selenu a vyšší aplikaci 50 g Se/ha. Aplikace 25 g Se/ha, zde projevuje významný pokles hodnot. Nulová aplikace hořčíku nejeví statisticky významné rozdíly s aplikacemi 25 g Se/ha a 50 g Se/ha, ty se však statisticky významně liší mezi sebou. Aplikace 25 g Se/ha je vyšší nežli nulová aplikace. U aplikace 50 g Se/ha následně hodnota klesá pod úroveň nulové aplikace. Pro mangan, nulová aplikace, ve které nebyl selen aplikován a aplikace 25 g Se/ha nejeví statisticky významné rozdíly mezi sebou. Aplikace 50 g Se/ha však jeví významný nárůst hodnot. U fosforu se ukázalo, že nulová aplikace a nejvyšší aplikované hodnoty selenu 50 g Se/ha nejeví statisticky významné rozdíly. Statisticky významný je pokles u hodnoty aplikace 25 g Se/ha, která je značně nižší. Hodnoty

síry nebyly aplikací selenu významně statisticky ovlivněny. Mezi nulovou aplikací pro zinek a aplikací 25 g Se/ha neexistují statisticky významné rozdíly. Statisticky významný, je nárůst hodnot zinku pro aplikaci 50 g Se/ha.

Tabulka 11. Hodnoty obsahů prvků pro sítinu rozkladitou v závislosti na aplikaci selenu (mg/kg); výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka; varianty označené stejnými písmeny se od sebe statisticky významně neliší ($\alpha=0,05$)

Dávka Se	Se	Ca	Cu	Fe	K
0 g Se/ha	0,007±0,000a	1551±33a	5,29±0,02a	25,1±2,0a	8573±300a
25 g Se/ha	0,102±0,024b	1099±1099a	6,23±1,27a	21,4±3,1a	8947±1000a
50 g Se/ha	0,273±0,027c	1359±0a	5,02±0,60a	15,3±1,8a	7500±300a
	Mg	Mn	P	S	Zn
0 g Se/ha	850±20a	145,7±3,3a	929±20a	1388±16a	27,0±0,2a
25 g Se/ha	741±153a	121,3±18,4a	1056±209a	1547±254a	35,7±6,1a
50 g Se/ha	726±0a	135,0±5,9a	858±2a	1339±37a	25,4±0,3a

5.11 Sítinu rozkladitá

Výsledky shrnuje tabulka 11. Hodnoty selenu v kontrole byly nižší než mez detekce. a hodnota pro aplikaci 50 g Se/ha byla o něco více než dvakrát vyšší nežli aplikace 25 g Se/ha. Všechny hodnoty jevíly statisticky významné rozdíly mezi sebou. Prvky vápník, měď, železo, draslík, hořčík, mangan, fosfor, síra a zinek nejevily statisticky významné rozdíly v žádné z hodnot. Aplikace selenu tudíž neovlivnila množství žádného ze zjišťovaných prvků v rostlině.

Tabulka 12. Hodnoty obsahů prvků pro svízel přítulu v závislosti na aplikaci selenu (mg/kg); výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka; varianty označené stejnými písmeny se od sebe statisticky významně neliší ($\alpha=0,05$)

Dávka Se	Se	Ca	Cu	Fe	K
0 g Se/ha	0,007±0,000a	7125±1207a	3,35±0,70a	23,2±5,7a	19885±549a
25 g Se/ha	0,620±0,002b	8874±1473a	2,04±0,29a	21,9±4,3a	20109±109a
50 g Se/ha	0,745±0,027c	9942±235a	3,39±0,02a	59,9±3,5b	19565±336a
	Mg	Mn	P	S	Zn
0 g Se/ha	1392±253a	89,2±17,7a	1557±250ab	1458±205ab	9,6±1,9a
25 g Se/ha	1976±129ab	65,6±3,6a	1116±38a	1100±29a	9,3±0,8a
50 g Se/ha	2647±15b	150,2±2,1b	1756±4b	1915±6b	35,0±3,5b

5.12 Svízel přítula

Výsledky shrnuje tabulka 12. Hodnota nulové aplikace pro svízel přítulu byla pod mez detekce. Hladina selenu v rostlině projevila vyšší nárůst v aplikaci 25 g Se/ha nežli u vyšší aplikace 50 g Se/ha. Mezi všemi hodnotami byly statisticky významné rozdíly. Vápník a měď nejeví statisticky významné rozdíly v žádné z hodnot. Nulová aplikace a aplikace 25 g Se/ha u železa nejeví statisticky významné rozdíly. Statisticky významný rozdíl je u aplikace 50 g Se/ha, která je značně vyšší. Hodnoty draslíku nejeví statisticky významné rozdíly. Aplikace 25 g Se/ha nejevila statisticky významné rozdíly vůči nulové aplikaci ani vůči aplikaci 50 g Se/ha. Aplikace 50 g Se/ha jevila statisticky významné rozdíly vůči nulové aplikaci. Při měření hodnot manganu vyšlo najevo, že mezi nulovou aplikací a aplikací 25 g Se/ha není statisticky významný rozdíl. Statisticky významný je rozdíl pro aplikaci 50 g Se/ha jež je oproti předchozím hodnotám o hodnotě vyšší hodnota. Nulová aplikace u fosforu nejeví statisticky významné rozdíly s aplikací 25 g Se/ha a 50 g Se/ha. Ty se ale od sebe navzájem statisticky významně liší. Aplikace 25 g Se/ha má nižší hodnotu, nežli nulová aplikace, ale aplikace 50 g Se/ha má hodnoty vyšší než nulová aplikace. Obdobná situace panuje u síry. Nulová aplikace nejeví statisticky významné rozdíly s vyššími aplikacemi, které však sobě navzájem rozdíly jeví. U zinku není statisticky významný rozdíl mezi nulovou aplikací a aplikací 25 g Se/ha. Aplikace 50 g Se/ha projevuje statisticky významné rozdíly. Aplikace 50 g Se/ha. znamená prudký růst obsahu v rostlině.

Tabulka 13. Hodnoty obsahů prvků pro půdní vzorky v závislosti na aplikaci selenu (mg/kg); výsledky jsou vyjádřeny jako průměr ± směrodatná odchylka; varianty označené stejnými písmeny se od sebe statisticky významně neliší ($\alpha=0,05$)

Dávka Se	Se	Ca	Cu	Fe	K
0 g Se/kg	0,5775±0,0221a	2178±124a	19,8±0,1b	22224±154a	5978±418a
25 g Se/kg	0,4761±0,0105a	2138±49a	17,3±0,7a	22906±548a	5592±302a
50 g Se/kg	0,4851±0,0544a	2104±192a	17,0±0,0a	23715±332a	4719±132a
	Mg	Mn	P	S	Zn
0 g Se/kg	4458±63a	233±11a	418±9a	453±7b	58,5±0,1a
25 g Se/kg	4335±107a	248±17a	380±5b	321±15a	55,2±2,1a
50 g Se/kg	4319±70a	316±7b	409±3a	337±8a	57,1±0,5a

5.13 Půda

Výsledky shrnuje tabulka 13. Selen ani vápník v půdě nejeví statisticky významné rozdíly vůči foliární aplikaci selenu na rostliny. Nejvyšší hodnota mědi v půdě jeví nulová

aplikace, kde nebyla provedena aplikace selenu. Tato hodnota je statisticky významná vůči hodnotám obou vyšších aplikací. Následné dvě aplikace 25 g Se/ha a 50 g Se/ha nejeví v statisticky významné rozdíly. Aplikace selenu na rostliny způsobila snížení množství mědi v půdě. Hodnoty železa, draslíku ani hořčíku nejeví statisticky významné rozdíly. Nulová aplikace a aplikace 25 g Se/ha u manganu nejeví navzájem statisticky významné rozdíly. Statisticky významný je nárůst hodnot manganu na pro aplikaci 50 g Se/ha. Mezi nulovou aplikací a nejvyšší aplikací selenu 50 g Se/ha není statisticky významný rozdíl v hodnotách fosforu. Hodnota aplikace 25 g Se/ha se vyznačuje statisticky významným propadem hodnoty množství fosforu v půdě. Nejvyšší hodnoty síry jsou v nulové aplikaci. Hodnoty pro aplikaci 25 g Se/ha a 50 g Se/ha, které mezi sebou nejeví statisticky významné rozdíly, jsou mnohem nižší nežli nulová aplikace. Hodnoty zinku v půdě neprojevily statisticky významné rozdíly, tudíž jejich hodnoty nezáležely na aplikaci selenu na rostliny.

V rámci studie se vyskytly dva případy, kdy rostliny byly ze stejné čeledi. V jedné případě se jedná o příbuzné druhy. Ve studii jsou dva zástupci čeledi lipnicovitých: Medyněk vlnatý (*H. lanatus*) a psárka luční (*A. pratensis*). Druhou čeledí je čeleď mořenovitých. se zástupci svízelem povázkou (*G. mollugo*) a svízel přítula (*G. aparine*). Nabízí se tedy možnost srovnání odezvy příbuzných druhů na aplikaci selenu.

5.14 Svízel povázka a svízel přítula

V rámci hodnot selenu má počáteční hodnoty u nulové aplikace vyšší svízel povázka, zatímco hodnoty svízele přítuly byly pod mezí detekce. Co se týče absorpce selenu po foliální aplikaci, tak svízel povázka přijímal selen v závislosti na zvyšující se aplikované dávce v lineárně stoupajícím charakteru, zatímco svízel přítula naakumuloval pro aplikaci 25 g Se/ha mnohem více než Svízel povázka a aplikace 50 g Se/ha pro Svízel přítula se ač se statisticky významnými rozdíly tolik hodnotově nelišila od nižší aplikace. Hodnota aplikace 50 g Se/ha pro svízel povázku byla velice podobná s hodnotou, kterou dosáhl svízel přítula pro aplikaci 25 g Se/ha. Z porovnání vyplývá že ačkoli svízel povázka dokázal v podmínkách před aplikací selenu naakumulovat vyšší množství selenu, Svízel přítula ho již při aplikaci 25 g Se/ha v hodnotách předhání. Pro vápník ani měď u obou druhů nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly v hodnotách. Reakce hodnot železa u obou druhů se v závislosti na aplikaci selenu lišily. Svízel povázka sice nejevil statisticky významné rozdíly hodnot, ale ačkoli statisticky nevýznamný, byl pozorován pokles hodnot s rostoucí aplikací selenu. Oproti tomu

svízel přítula reagoval na aplikaci 50 g Se/ha výrazným navýšením hodnot železa. Nulová aplikace a aplikace 25 g Se/ha nejevily statisticky významné rozdíly. Hodnoty draslíku byly ve svízeli přítule vyšší nežli ve svízeli povázce a nejevily statisticky významné rozdíly. Za to svízel povázka zaznamenal významný pokles v aplikaci 25 g Se/ha, ale pro aplikaci 50 g Se/ha byly hodnoty zpět na úrovni nulové aplikace. Hodnota hořčíku pro svízel přítulu v nulové aplikaci byla nižší než pro svízel povázku. Svízel přítula následně jevil zvyšování obsahu hořčíku s aplikacemi selenu. Aplikace 25 g Se/ha nejevila statisticky významné rozdíly s nulovou aplikací a aplikací 50 g Se/ha. Aplikace 50 g Se/ha byla následně nejvyšší z měření u obou druhů. U svízele povázky nejevila žádná z hodnot statisticky významné rozdíly. Statisticky významný vliv na hodnoty manganu u svízele přítuly nastal až po aplikaci 50 g Se/ha a to navýšením obsahu v rostlině. Oproti tomu svízel povázka nebyl statisticky ovlivněn a obsahoval významně méně manganu než svízel přítula. Svízel přítula jeví ovlivnění selenem v hodnotách fosforu, zatímco svízel povázka nikoli. Pro svízel přítulu znamenal selen nejdříve propad v aplikaci 25 g Se/ha a následný vzestup v aplikaci 50 g Se/ha. Nulová aplikace nejevila statisticky významné rozdíly ani s jednou z hodnot. Pro síru u svízele povázky se opakuje stejný scénář jako s fosforem. Svízel povázka není znovu statisticky významně ovlivněn. Pro zinek jeví oba druhy opačné druhy účinku, zatímco pro svízel přítulu aplikace 25 g Se/ha ($9,3 \pm 0,8$ mg Zn/kg) nejeví statisticky významné rozdíly s nulovou aplikací ($9,6 \pm 1,9$ mg Zn/kg), aplikace 50 g Se/ha má hodnoty mnohem výše ($35,0 \pm 3,5$ mg Zn/kg). Svízel povázka naopak jeví nejvyšší hodnoty zinku v nulové aplikaci ($29,7 \pm 0,8$ mg Zn/kg) a následně se po aplikaci obsah v rostlině snižuje, přičemž velikost aplikovaná dávka selenu nemá na obsah zinku vliv, jelikož mezi aplikací 25 mg Se/ha ($12,7 \pm 3,8$ mg Zn/kg) a 50 mg Se/ha ($15,1 \pm 4,1$ mg Zn/kg) není statisticky významný rozdíl. Z výše řečeného je zřetelné, že ačkoli jsou svízel povázka a svízel přítula příbuzné druhy, jejich reakce na selen jsou velmi často rozdílné. Stejnou reakci lze pozorovat pouze u mědi a vápníku, které nejsou v ani jedné z rostlin statisticky významně ovlivněny. Hodnoty selenu také reagují stejně a to navyšováním. To jakým způsobem však hodnota selenu v rostlině stoupá a jakých konečných hodnot dosáhne je odlišné. Překvapivá je především reakce hodnot zinku, která jeví u každého druhu opačný charakter. Co se týče počtu prvků, které nebyly selenem statisticky významně ovlivněny vede svízel povázka se 7 prvky: vápník, měď, železo, hořčík, mangan, fosfor a síra. Zatímco u svízele přítuly nebyly ovlivněny pouze 3 prvky a to vápník, měď a draslík.

5.15 Medyněk vlnatý a psárka luční

Oba druhy mají hodnoty nulové aplikace pod mezí detekce. Zatímco u medyňku vlnatého není statisticky významný rozdíl mezi aplikací 25 g Se/ha a 50 g Se/ha. Psárka luční vykazuje statisticky významný růst hodnot i pro aplikaci 50 g Se/ha. Vyšších hodnot selenu dosahuje psárka luční v aplikaci 50 g Se/ha než medyněk vlnatý. V aplikaci 25 g Se/ha je však vyšší medyněk vlnatý oproti hodnotě pro psárku luční. Vápník, měď ani železo nejeví u obou druhů statisticky významné rozdíly. Liší se pouze velikostí hodnot pro daný druh. Draslík je pro medyněk vlnatý u hodnot nulové aplikace a aplikace 25 g Se/ha se statisticky nevýznamnými rozdíly. Aplikace 50 g Se/ha je posléze vyšší než hodnoty draslíku u psárky luční, která má vyšší hodnoty draslíku než medyněk vlnatý. Hodnoty psárky luční nejeví statisticky významné rozdíly. Pro medyněk vlnatý u hořčíku znamenalo přidání selenu u aplikace 25 g Se/ha propad hodnot oproti nulové aplikaci, ale u aplikace 50 g Se/ha se tato hodnota znovu zvýšila. Posléze nejevila statisticky významné rozdíly s nulovou aplikací a aplikací 25 g Se/ha. Hodnoty hořčíku pro medyněk vlnatý, se vždy pohybovaly nad 1000 mg Mg/kg. Na rozdíl psárka luční zareagovala na selen poklesem hodnot hořčíku, který se snížil i v aplikaci 50 g Se/ha. Hodnoty pro psárku luční byly nad hranicí 1000 mg Mg/kg pouze v nulové aplikaci, aplikace 25 g Se/ha měla již hodnotu pod 1000 mg Mg/kg. U medyňku vlnatého znamenalo podání selenu okamžitý pokles hodnot manganu, jelikož u aplikace 25 g Se/ha jsou hodnoty manganu mnohem nižší než u nulové aplikace. Oproti tomu psárka luční nevykazuje statisticky významné rozdíly u nulové aplikace ani u aplikace 25 g Se/ha. Statisticky významný pokles nastává až u aplikace 50 g Se/ha. Pro oba druhy znamenalo přidání selenu snížení hladin fosforu, hladiny fosforu následně neprojevovaly statisticky významné rozdíly vůči aplikovanému množství, ať už šlo o aplikaci 25 g Se/ha nebo 50 g Se/ha selenu. Pro síru u medyňku vlnatého znamenal selen pokles pouze u aplikace 25 g Se/ha, aplikace 50 g Se/ha byla zpět na úrovni nulové aplikace. Za to psárka luční vykazovala pokles u obou nenulových aplikací. Aplikace 25 g Se/ha v tomto případě neprojevovala statisticky významné rozdíly ani s nulovou aplikací ani s aplikací 50 g Se/ha. Tyto hodnoty však mezi sebou ano. Pro medyněk vlnatý i psárku luční u zinku znamenalo přidání selenu v aplikaci 25 g Se/ha pokles hodnot. Odlišně však rostliny reagovaly na aplikaci 50 g Se/ha. Pro medyněk vlnatý znamenala aplikace 50 g Se/ha opětovný nárůst hodnot zinku, pro psárku luční další pokles hodnot. Druhy byly svou reakcí na selen podobné u vápníku, mědi a železa, kde ani medyněk vlnatý ani psárka luční nezaznamenaly statisticky významné ovlivnění

aplikací selenu. Posléze je ještě vidět stejná reakce u fosforu, kterého je nejvíce v nulové aplikaci a po přidání selenu ho ubývá, ale není rozdíl mezi větší a menší aplikací selenu.

5.16 Neovlivněné druhy, málo ovlivněné železo a nejvyšší hodnoty selenu v aplikacích

Pokud si shrneme zjištěné výsledky a rozdělíme je podle příslušných hodnot aplikací 25 g Se/ha a 50 g Se/ha, vyjde nám, že aplikací 25 g Se/ha nebyly v žádném prvku, kromě selenu ovlivněny pryskyřník plazivý, sítina rozkladitá a svízel přítula. Při aplikaci 50 g Se/ha je neovlivněným druhem pouze sítina rozkladitá.

S ohledem na statistickou významnost je nejméně často, v rámci testovaných rostlin ovlivňováno aplikací selenem železo. Při aplikaci 25 g Se/ha selenu nebylo statisticky významně ovlivněno v žádném z případů. Pro aplikaci 50 g Se/ha selenu se ta stalo dvakrát. V obou zmíněných případech došlo ke zvýšení hodnot vůči nulové aplikaci. K navýšení hodnot železa došlo u kopřivy dvoudomé a svízeli přítule.

Nejvyšší hodnoty selenu pro nulovou aplikaci byly naměřeny v svízeli povázce. Kromě ostřice měchýřkaté pak všechny ostatní druhy rostlin měli hodnoty pod mez detekce. Co se týče aplikace 25 g Se/ha tak nejvyšší hodnotu naakumulovala kopřiva dvoudomá, následovaná svízelem přitulou. Aplikace 50 g Se/ha dosáhla nejvyšších hodnot selenu rozrazil rezekvítek. Po rozrazilu rezekvítku měl nejvyšší hodnotu ptačinec velkokvětý a s téměř stejnou hodnotou rozrazil rezekvítek.

6 Diskuze

6.1 Hořčík a fotosyntéza

Aplikace 25 g Se/ha vedla u 5 druhů k poklesu koncentrace hořčíku v rostlině. Pro aplikaci 50 g Se/ha k tomu došlo u tří druhů, z toho všechny tři vykazovaly pokles již u nižší aplikaci. Jelikož hořčík je nezbytnou součástí chlorofylu a je potřebný pro aktivaci enzymu *rubisco* (Gloser, 1998) lze předpokládat, že úbytek koncentrace hořčíku znamená snížení funkce fotosyntézy. Tato hypotéza by byla v souladu se zjištěním Hartikainen et Xue (1999) a

Hartikainen et al. (2000) kde mezi toxické účinky selenu na rostliny je uváděna chloróza a mezi dalšími také zvýšený oxidativní stres, snížená syntéza proteinů a zakrnění rostliny. Také Clijsters et van Assche (1985) popisuje na příkladu řepky, že jedním z prvních příznaků stresu u rostlin je narušení fotosyntézy a s tím související snížení koncentrace hořčíku v rostlině. Nastala ale i situace, kdy po poklesu hodnot v aplikaci 25 g Se/ha nastal u některých druhů nárůst hodnot v aplikaci 50 g Se/ha a pro svízel přítulu dokonce nárůst překonal hodnoty nulové aplikace. Tento druh však po nižší aplikaci nezaznamenal statisticky významný rozdíl vůči nulové aplikaci. Druhy, které zaznamenaly nárůst po předešlém poklesu byly ostřice měchýřkatá, krabilice mámivá a pcháč oset. Lze tedy předpokládat, že v rostlině došlo k aktivaci pochodů, které začaly mírnit toxické účinky selenu na fotosyntézu.

6.2 Superoxid dismutáza a železo, mangan, měď a zinek

Možným vysvětlením navýšení je zvýšení aktivity enzymu superoxid dismutázy. Superoxid dismutáza má totiž v těle rostliny antioxidační účinky. Železo, mangan, měď a zinek jsou součástí superoxid dismutáz a navýšení jejich obsahu v rostlině tudíž může značit mobilizaci těchto enzymů (Fridovich, 1995). Lze tedy předpokládat, že změny v hladinách těchto prvků mohou být aspoň z části způsobeny aktivitou superoxid dismutáz. V rámci rostliny existují tři druhy superoxid dismutázy: 1) superoxid dismutáza s železem, která je ze všech superoxid dismutáz vývojově nejstarší (Bannister et al., 1991), 2) superoxid dismutáza s manganem, která je blízce příbuzná s superoxid dismutázou železa, ale atomy příslušící k jednomu enzymu nemohou zastat funkci v druhém enzymu (Fridovich, 1985), a 3) superoxyd dismutáza s mědí a zinkem. Tato superoxid dismutáza je vývojově nejmladší a je mnohem odlišnější než předešlé superoxid dismutázy (Bannister et al., 1991). V rámci rostlinných struktur se také liší zastoupení jednotlivých superoxid dismutáz. Superoxid dismutázy se železem se nacházejí uvnitř chloroplastů, s manganem v mitochondriích a peroxizomu, superoxid dismutáza s zinkem a mědí se zinkem je v chloroplastech, cytosolu, peroxizomu a v mezibuněčných prostorech (Alcher et al., 1993). Z tohoto uspořádání by se dalo usuzovat, že změny v hodnotách železa, manganu, zinku a mědi, budou záviset, jaké struktury jsou pod stresem. Příkladem specifičnosti, související s lokalitou stresu je reakce rostliny na bílé světlo. Při stresu způsobeným bílým světlem, je neaktivnější superoxid dismutáza se železem (Kyle, 1987). Na tepelný stres následně nejvíce reagovala superoxid dismutáza s mědí a zinkem (Tsang et al., 1991). V našem případě můžeme spekulovat, že změny obsahu prvků v závislosti na aplikaci selenu by mohly být způsobeny i změnou aktivity některých superoxid

dismutáz, ale tyto úvahy nejsou v našem pokusu podpořeny stanovením aktivity těchto enzymů.

V rámci testovaných rostlin skutečně docházelo ke změnám zmíněných prvků, ale především v případě zinku a mědi byly pozorovány rozdílné reakce na selen, ačkoli jsou součástí stejného antioxidačního enzymu, v jednom případě skutečně došlo k současnému navýšení mědi a zinku a to u krabilice mámivé pro aplikaci 25 g Se/ha oproti nulové aplikaci a kopřivy dvoudomé pro aplikaci 50 g Se/ha oproti aplikaci 25 g Se/ha. V ostatních případech buď prvky nebyly statisticky významně ovlivněny nebo docházelo k ovlivnění jednoho prvku, popřípadě v aplikaci 50 g Se/ha měla měď klesající tendenci a zinek stoupající tendenci oproti aplikaci 25 g Se/ha. Pokud u manganu nastaly statisticky významné rozdíly u aplikace 25 g Se/ha oproti nulové aplikaci, byly vždy směrem dolů. Konkrétně se tak stalo třikrát. Pro aplikaci 50 g Se/ha došlo ke čtyřem vzestupům a dvěma snížením hodnot oproti nižší aplikaci. V jednom případě, konkrétně u krabilice mámivé vykazovala nižší aplikace pokles hodnot manganu a vyšší nárůst. Jinak docházelo u aplikace 50 g Se/ha ke změnám hodnot pouze u druhů, jejichž hodnoty manganu nebyly u aplikace 25 g Se/ha statisticky významně ovlivněny.

Otázkou zůstává, zda jsou změny hladiny prvků přímo způsobeny přítomností selenu v rostlině, nebo jde až o druhotný efekt, způsobený změnou hladiny jiného prvku, který přímo reaguje na přítomný selen. Příkladem může být situace, kdy vlivem přílišné produkce superoxid dismutázy železa, během stresu způsobeným solemi, dojde k inhibici tvorby superoxyd dismutázy mědi a zinku v chloroplastech (Van Camp et al., 1996). Popřípadě jiný efekt antagonismu prvků v rostlině.

6.3 Selen a antioxidační systémy

Hartikainen et al. (2000) uvádějí, že zvýšená aktivita GSH-Px snižuje potřebu enzymu superoxid dismutázy, jelikož vylučováním peroxidu vodíku spontánně zvyšuje nepoměr mezi superoxydy radikálů, tudíž snižuje potřebu pro enzym, který je má vylučovat. Při pokusech na jílku bylo pozorováno odlišné působení selenu na rostlinu v závislosti na stáří rostliny. Na mladé rostliny jílku měl selen negativní vliv, ale na starší rostliny naopak pozitivní, jelikož podporoval jejich růst. Obsah chlorofylu také reagoval u mladých rostlin snížením obsahu a u starších zvýšením. Zajímavé je, že GSH-Px právě u mladých rostlin

potlačovala superoxid dismutázu, ale u starších, kde nebyla GSH-Px tak aktivní se aktivita superoxid dismutázy zvýšila, aby bylo možné likvidovat radikály. Důvodem pro toxicitu u mladých rostlin a naopak prospěšnost u starších může být buď rozdílný efekt na pigmenty fotosyntézy v závislosti na stáří rostliny nebo že vlivem oxidů v půdě a již odebranému selenu se jeho hladiny dostaly na vhodnější hladinu pro rostlinu.

Z výše zmíněného by tedy vyplývalo, že při dostatečně vysoké hladině pro danou rostlinu dojde k toxickému účinku, který ale zároveň způsobí vysokou aktivitu GSH-Px, která utlumí aktivitu superoxid dismutázy a tím negativně ovlivní koncentrace prvků v ní obsažených, tedy železa, manganu, mědi a zinku. Pokud by tento vztah fungoval, znamenalo by to, že se s rostoucím přísunem selenu snižuje zastoupení kovů, které jsou součástí utlumených enzymů. Bohužel Hartikainen et al.,(2004) ve svých experimentech neřeší jednotlivé druhy superoxid dismutáz, tudíž nelze přímo odvodit změny hladin zmíněných prvků. S výše zmíněnými vztahy může souviset pozorování, že pokud je zinku a manganu v rostlině nadbytek způsobí přidání selenu do rostliny úbytek těchto prvků (Landberg et Greger, 1994).

6.4 Neovlivněnost železa

Podle naměřených hodnot lze usoudit, že jelikož ve většině druhů rostlin nedošlo ke statisticky významným změnám v hladinách železa, tudíž aktivita superoxid dismutázy se železem se neměnila, to značí, že chloroplasty nebyly až na dva případy, místem zvýšeného stresu a nebo že superoxid dismutáza se železem nebyla pro daný typ stresu aktivní. Například Asad et Takahashi (1987) a Tsang et al. (1991) v této souvislosti přisuzují ke specifickým stresům, specifické superoxyd dismutázy.

6.5 Draslík a vápník

Změny v hladinách draslíku, jakožto makro elementu regulujícího osmotický tlak v rostlině, jsou způsobeny přítokem iontů selenu, zároveň se draslík také podílí společně s vápníkem na stabilizaci buněčných membrán (Filek et al. 2010). Tudíž kromě hodnoty draslíku měnících se pod vlivem příchozího selenu, mohou být změny potažmo navýšení hodnot draslíku a s tím souvisejícího vápníku indikací snahy rostliny opravovat buněčné stěny. Při aplikaci 25 g Se/ha se projevila statisticky významná změna obsahu vápníku oproti

nulové aplikaci pouze ve třech případech a z toho dvakrát se jednalo o nárůst hodnot a jednou o pokles. Jinak se hodnoty statisticky významně neměnily. Pro vyšší hodnotu aplikace 50 g Se/ha se hodnoty oproti aplikaci 25 g Se/ha změnilly pouze třikrát a to dvěma vzestupy a jedním poklesem, z toho oba vzestupy nastaly u rostlin, které u nižší aplikaci vůči nulové aplikaci klesaly. Vápník patřil k méně ovlivněným prvkům. Draslík nebyl ovlivněn ve třech druzích a to v psárce luční, sítině rozkladité a svízeli přítule. Ve třech případech nastala situace, kdy nastaly výkyvy u nižší aplikace selenu, ale pro vyšší aplikaci se hladiny vrátily k úrovni nulové aplikace. Z toho dva byly směrem vzhůru a jeden směrem dolů. Dalo by se spekulovat, že ať už byl výkyv draslíku způsoben čímkoli, při vyšší aplikaci tento důvod pominul. Dvakrát byl pozorován nárůst zvyšující se, se zvyšující se aplikací selenu. Pozorováno u ostřice měchýřkaté a krabilice mámivé. Ve třech případech nastala změna hodnot až v aplikaci 50 g Se/ha. Pro jeden případ, konkrétně u pcháče osetu byla nižší aplikace vyšší nežli kontrolní a vyšší aplikace byla nižší než kontrolní.

6.6 Fosfor

jakožto nedílná součást nukleových kyselin, fosfolipidů, zajišťuje energetické výměny, aktivuje enzymy a slouží jako regulátor fotosyntézy, transportu a respirace. Co se týče fotosyntézy, tak při jeho nedostatku nedochází k úbytku chlorofylu (Gloser, 1998). V rámci aplikace 25 g Se/ha byla hladina fosforu ovlivněna šestkrát, z toho čtyřikrát poklesem a dvakrát vzestupem hodnot oproti nulové aplikaci. Pro vyšší aplikaci se hodnoty statisticky významně změnilly oproti aplikaci 25 g Se/ha celkem třikrát z toho dvakrát se jednalo o opačný směr nežli měla nižší aplikace oproti nulové aplikaci, v jediném případě pak následoval nárůst hodnoty oproti aplikaci 25 g Se/ha, která nejevila statisticky významné rozdíly s nulovou aplikací, toto nastalo u svízele přítuly. Pokud bereme fosfor jako součást buněčných membrán, měly by jeho změny hladin odpovídat změnám hladin draslíku a vápníku, které jsou nezbytné pro buněčné membrány. Tato teorie by však našla oporu pouze u rozrazilu rezekvítka u aplikace 25 g Se/ha, kde došlo ke zvýšení hodnot všech tří prvků oproti nulové aplikaci, naznačujíc snahu o opravy buněčných membrán. Vliv na hodnoty fosforu budou mít pravděpodobně jiné metabolické funkce fosforu a obou zmíněných prvků.

6.7 Síra

V případě brukve řepky olejky (*Brassica napus*), bylo zjištěno, že zvýšením příjmu selenu, došlo i k navýšení příjmu síry (Filek et. al., 2010). Naopak Dilhon et Dilhon (2000) pozorovali antagonismus těchto prvků, kde přidáním síry docházelo k snížení příjmu selenu. Důvodem rozdílnosti výsledků bude pravděpodobně odlišnost v metabolismu rostlin. Když posoudíme rostliny podle těchto závěrů, znamenalo by to, že v rostlinách u kterých došlo ke zvýšení hodnot síry funguje podpůrný efekt selenu vůči síře, zatímco v rostlinách, kde byl pozorován pokles hodnot síry vůči hodnotám selenu působí antagonismus. U několika druhů však nebyla síra statisticky významně ovlivněna, konkrétně u svízele povázky, pryskyřníku plazivého, kopřivy dvoudomé a sítiny rozkladité. Antagonistické působení, tedy, že došlo ke snížení hodnot síry vůči zvyšujícím se hodnotám selenu nastalo celkem čtyřikrát. V žádném z případů, tedy až na psárku luční, kde aplikace 25 g Se/ha nejevila statisticky významné rozdíly mezi nulovou aplikací a aplikací 50 g Se/ha, ale aplikace 50 g Se/ha byla statisticky významně nižší než nulová aplikace, nedošlo k tomu, aby se síra snižovala s rostoucím množstvím selenu. Vždy docházelo k snížení hodnot pouze mezi dvěma aplikacemi, ať už mezi nulovou aplikací a aplikací 25 g Se/ha (ostřice měchýřkatá) nebo mezi touto aplikací a aplikací 50 g Se/ha (pcháč oset). U medyňku vlnatého nastal pokles u aplikace 25 g Se/ha a pro aplikaci 50 g Se/ha se hodnota vrátila na úroveň nulové aplikace, ačkoli se v rostlině přestala hladina selenu zvyšovat po aplikaci 25 g Se/ha. Navýšení hladiny selenu také nikdy nestoupalo přes všechny aplikace selenu, vždy jen mezi dvěma. Pro ptačinec velkokvětý stoupaní hodnot nastalo pouze mezi nulovou aplikací a aplikací 25 g Se/ha a pro svízel přítulu došlo ke stoupaní hodnot až mezi aplikací 25 g Se/ha a 50 g Se/ha. Krabilice mámivá a rozrazil rezekvítek zaznamenaly nárůst hodnot pro aplikaci 25 g Se/ha, ale pro aplikaci 50 g Se/ha byly hodnoty zpět na úrovni nulové aplikace. Pokud tedy ve vzorcích existuje antagonismus či podpora příjmu, není tento efekt zcela lineárně vázán na příjem selenu a má své hranice.

6.8 Jednoděložné vs dvouděložné rostliny

Filek et al. (2010) pozorovali, že dvouděložné rostliny mají vyšší schopnost akumulace Se v nadzemní části rostlin, než jednoděložné, jelikož mají vyšší propustnost membrán. U zkoumaných druhů rostlin z nichž 4 patřily k jednoděložným rostlinám a zbývajících 8 k dvouděložným rostlinám, byly sice průměrně vyšší rostliny dvouděložné, ale sám osobě je

tento vzorek příliš malý k objektivnímu posouzení. Pro nedostatečnou velikost testovaného vzorku hovoří fakt, že mezi rostliny s nejnižšími hladinami selenu i při aplikaci 50 g Se/ha patří jednoděložná sítina rozkladitá a dvouděložný pcháč oset. Naopak pro dvouděložné rostliny v našich výsledcích mluví fakt, že rozrazil rezekvítek zaznamenal nejvyšší hodnoty z testovaných rostlin.

6.9 Příklad pro vysvětlení odlišnosti reakce druhů

Že ani příbuznost rostlin neznamená, že na selen dokládá pokus na rostlině *S. pinnata*, která je hyperakumulátorem a *S. albescens*, která jím není a je citlivá na selen. Tyto dva druhy jsou identické z 94 ± 2 %. Zatímco *S. pinnata* byla naprosto tolerantní k dávce 20 μM selenanu, *S. albescens* trpěla jeho toxickým působením. Rozdílem byl v tomto případě formou, ve které se selen v rostlinách nacházel, *S. pinnata* měla 80 % v methylselenocysteinu a 20 % v selenocystathioninu, zatímco *S. albescens* obsahoval a především selenocystathionin. Ačkoli selenocystathionin také brání selenu zabudovávat se do bílkovin, je toxicitější nežli methylselenocystein. Vyšší hladina methylselenocysteinu je způsobena sedminásobnou koncentrací enzymu SMT (Freeman et al., 2010). V pokusu s rodem *Astragalus* je vidět, že právě aktivita SMT enzymu je to, co odlišuje hyperakumulátory od rostlin neakumulujících selen. Neakumulátory neprojevují aktivitu tohoto enzymu. Enzymy podobné SMT enzymu, se však vyskytují i u neakumulátorů. Příkladem takovýchto rostlin jsou *Astragalus flexuosus* a *Astragalus incanus*. Tyto enzymy však mají nejspíše jinou metabolickou funkci (Sors et al., 2009).

6.10 Doporučení pro budoucí experimenty

Pro účely bližšího pochopení metabolických pochodů v rostlinách, by bylo vhodné stanovení hodnot obsahů prvků v rostlině také provést stanovení aktivity enzymů podílejících se na antioxidačních procesech, aby bylo možné odlišit koncentrace daných prvků zapojených do antioxidačních procesů a části prvků vykonávajících jiné metabolické funkce. Především by se lépe odlišily změny hodnot prvků souvisejících s antioxidační činností a změny hodnot související s jinými funkcemi v rámci rostliny. Dalším aspektem, který by připadal v úvahu k výzkumu pro podrobnější poznání přeměny selenu v organismu rostlin by mohl být metabolismus lipidů. Vysoké dávky selenu způsobují saturaci lipidů, což ve výsledku vede ke ztuhnutí membrán a tím k snížení příjmu mikro a makro prvků, jak ukázaly pokusy na řepce

olejce (Filek et al., 2010). Saturace lipidů se zdá být ochranou reakcí rostliny proti stresu (Djebali et al., 2005).

6.11 Doporučení ohledně užití ošetřených rostlin pro výživu

Pro potřeby určení, které rostliny se nejlépe hodí pro luční porosty za účelem obohacení stravy býložravců o selen spásáním trvalých travních porostů. Rostlinou, která vyšla ze všech dvanácti rostlin jako nejschopnější akumulátor byl rozrazil rezekvítek s průměrnou hodnotou akumulace pro aplikaci 50 g Se/ha: $1,052 \pm 0,024$ mg Se/kg. Co se týče aplikace 25 g Se/ha tak v té je vítězem kopřiva dvoudomá s $0,720 \pm 0,011$ mg Se/kg. Většina rostlin není schopna tolerovat vysoké hladiny selenu, takovéto rostliny mívají ve svém těle koncentrace selenu menší jak 25 mg Se/kg sušiny (White et al., 2004). Námi zvolené dávky selenu tedy byly vhodné pro statisticky významné zvýšení obsahu Se v rostlinách, ale nevedly ke zvýšení obsahu tohoto prvku až k hranici toxických hodnot. Při užití rozrazilu rezekvítka, ačkoli je to vysoce nepravděpodobné, by mělo být dbáno, aby tato rostlina netvořila veškerou stravu přežvýkavců jelikož tyto hodnoty jsou podle Draize et Beath (1935), Rosenfeld et Beath (1964) a Wilber (1980) schopny způsobit chronickou otravu selenem. Nejvhodnější by zde bylo vytvořit osevnou směs, kombinovanou s druhy s nižší akumulací, aby vznikla vhodná kombinovaná dávka selenu. Vliv by samozřejmě mělo, zda by býložravci spoléhali ve výživě pouze na pastvu, nebo zda dostávají i jiné krmivo. Ohled také musíme brát na atraktivnost rostlin pro býložravce. Pro zvýšení hladin selenu u býložravců je nezbytné, aby byly vybrané druhy spásány. Osevná směs musí být tedy vytvořena tak, aby nejenom obsahovala nezbytné množství selenu, ale aby zároveň nabádala býložravce ke své konzumaci. Z pohledu efektivity bychom mohli užít kopřivu dvoudomou, jelikož byla schopná s pouze poloviční aplikací naakumulovat 2/3 hodnoty u rozrazilu rezekvítka pro aplikaci 50 g Se/ha. Rozrazil rezekvítek pro aplikaci 25 g Se/ha naakumuloval zhruba polovinu hodnoty své vyšší aplikace. Zde je právě problémem atraktivnost rostlin, jelikož kopřiva je proti býložravcům chráněna účinným způsobem sebeobrany. Otázkou tedy zůstává, jak moc by byli býložravci skutečně ochotni kopřivu dvoudomou spásat, potažmo jakoukoli rostlinu s ne tak atraktivními vlastnostmi pro býložravce. Kopřiva dvoudomá by se tedy spíše hodila jako přídavek do stravy, nežli jako základ stravy. Naopak rostlinou, která nejméně reagovala na aplikaci selenu se v tomto testu ukázal pcháč oset, který v obou aplikacích naakumuloval nejméně selenu z testovaných rostlin. Jen nepatrně lepší výsledky pak měla sítina rozkladitá. Takovéto druhy by byly v diverzitě druhů louky buď naprosto nevhodné, nebo by šly použít pro vyvážení druhů, které

mají selenu více. Rostliny, které dosáhly nejvyšších hodnot hned po rozrazilu rezekvítku byly ptačinec velkokvětý, svízel přítula a již zmíněná kopřiva dvoudomá. Tyto 3 rostliny vykazovaly hodnoty okolo 0,7 mg Se/kg po aplikaci 50 g Se/ha. To že je navýšení rostlinných hladin selenu potřebné dokazuje Žáková (2014), která dokumentovala, koně netrpěli nedostatkem selenu jen proto, že dostávali k deficitnímu objemnému krmivu průmyslově vyráběné směsi obohacené selenem.

7 Závěr

1. Byla provedena foliární aplikace selenu ve dvou koncentracích 25 g Se/ha a 50 g Se/ha ve formě roztoku selenanu sodného, na dvě plochy o 25 m² na nekultivované louce v blízkosti Humpolce. Účelem bylo posoudit akumulční schopnosti 12 vybraných druhů rostlin na příjem selenu a vliv příjmu selenu na další zjišťované prvky. Pro účely měření, byly odebrány vzorky zmíněných rostlin, z každé z ploch, kde byla provedena aplikace roztoku selenanu sodného a z ploch, kde aplikace provedena nebyla. Zároveň byly také stejným způsobem odebrány vzorky půdy z vytýčených ploch a okolí. Získané vzorky byly následně zanalyzovány.
2. U všech druhů rostlin nastalo navýšení hodnot selenu po postřiku selenanem sodným. Ve většině druhů rostlin došlo k navyšování hodnot selenu se zvyšující se koncentrací roztoku postřiku. Aplikace selenu zároveň znamenala u druhů rostlin změny hodnot mnoha stanovovaných prvků. Jako téměř neovlivněné se ukázaly hodnoty železa, s pouze dvěma navýšení hodnot pro aplikaci 50 g Se/ha.
3. Nejvíce selenu dokázal v tomto pokusu naakumulovat rozrazil rezekvítek a byl také doporučen pro zařazení do porostů luk jako druh pro zvýšení obsahu selenu v biomase porostu louky, za účelem zvýšení příjmu tohoto prvku býložravci. S přihlédnutím k potenciální atraktivitě ke spásání a vytvoření optimalizované osevní směsi, spojujíc potřebný přísun selenu a atraktivnost pro býložravce. Kopřiva dvoudomá, která zaznamenala nejvyšší naakumulované hodnoty pro aplikaci 25 g Se/ha, byla doporučena spíše jako přídatek do krmiva, jelikož by ji býložravci nebyli ochotni spásat ve větším množství. Naopak jako nevhodné druhy se ukázaly pcháč oset a sítina rozkladitá, jelikož naakumulovaly ze všech druhů nejméně.

4. Ukázalo se, že námi zvolené dávky selenu vedly k efektivnímu obohacení nadzemní biomasy volně rostoucích bylin selenem a to tak, že u žádného druhu nebyla překročena hranice vedoucí k toxickému účinku selenu na rostliny.

8 Seznam použité literatury

ABRAMS, M.M., SHENNAN, C., ZASOSKI, R.J., BURAU, R.G., 1990. Selenomethionine uptake by wheat seedlings. *Agronomy Journal* 82 (6), p. 1127–1130.

ADELA P, ZINVELIU D, Pop RA, ANDREI S, KISS E 2006. Antioxidant status in dairy cows during lactation. *Bull USAMV-CN vol. 63* p. 130–135

ADRIANO, D. c1986. Trace elements in the terrestrial environment. New York: Springer-Verlag, , xix, 533 p. ISBN 0387961585.

ALEMI, M. H., D. A. GOLDHAMER a D. R. NIELSEN. 1991. Modeling Selenium Transport in Steady-State, Unsaturated Soil Columns. *Journal of Environment Quality*. vol. 20, issue 1. DOI: 10.2134/jeq1991.00472425002000010014x.

ALSCHER, Ruth G a John L HESS. c1993. Antioxidants in higher plants. Boca Raton: CRC Press, 174 p. ISBN 0849363284.

ANONYM. 1983. Selenium in nutrition. Rev. ed. National Academy Press Washington, D.C, 174 p.

ANONYM. 1997. 9th International Conference on Production Diseases in Farm Animals, Free University of Berlin. 442 p.

APPON, Chris J. 1991. Sewage sludge as a source of environmental selenium. *Science of The Total Environment*. vol. 100, p. 177-205. DOI: 10.1016/0048-9697(91)90378-r.

ARVY, M. P. 1993. Selenate and Selenite Uptake and Translocation in Bean Plants (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Experimental Botany*. vol. 44, issue 6, p. 1083-1087. DOI: 10.1093/jxb/44.6.1083

- AWADEH FT, KINCAID RL, JOHNSON KA. 1998. Effect of level and source of dietary selenium on concentrations of thyroid hormones and immunoglobulins in beef cows and calves. *Journal of Animal Science*. vol. 76, issue 4, p. 1204-1215
- BURNELL, J. N. 1981. Selenium Metabolism in *Neptunia amplexicaulis*. *PLANT PHYSIOLOGY*. vol. 67, issue 2, p. 316-324. DOI: 10.1104/pp.67.2.316.
- BANNISTER, W. H., J. V. BANNISTER, Donatella BARRA, Jennifer BOND a F. BOSSA. 1991. Evolutionary Aspects of Superoxide Dismutase: The Copper/Zinc Enzyme. *Free Radical Research.*, vol. 12, issue 1, s. 349-361. DOI: 10.3109/10715769109145804.
- BARROW, N. J. a B.R. WHELAN. 1989. Testing a mechanistic model. VIII. The effects of time and temperature of incubation on the sorption and subsequent desorption of selenite and selenate by a soil. *Journal of Soil Science.*, vol. 40, issue 1, p. 29-37. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1989.tb01251.x
- BEATH OA, GILBERT CS, EPPSON HF. 1939a. The use of indicator plants in locating seleniferous areas in Western United States. I. General. *Am J Bot*. vol. 26, p. 257–269
- BEATH OA, GILBERT CS, EPPSON HF. 1939b. The use of indicator plants in locating seleniferous areas in Western United States. II. Correlation studies by states. *Amer J Bot* vol. 26 p. 296–315
- BENDICH A. 1990. Antioxidant vitamins and their functions in immune responses. *Adv. Exp. Med. Biol*. vol. 262, p. 35-55
- BERZELIUS, J.J., 1818. *Annales de Chimie et de Physique*, Série 2., vol. 7, p. 199-202.
- CARTER. D. L., ROBBINSON. C. W., BROWN. M. J. 1972. Effect of phosphorus fertilization on the selenium concentration in alfalfa, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, vol. 36, p. 624—628
- BIRNINGER, Marc, Sandra PILAWA a Leopold FLOHÉ L. 2002. Trends in selenium biochemistry. *Natural Product Reports*. vol. 19, issue 6, p. 693-718. DOI: 10.1039/b205802m.
- BLACKMORE DJ, BROBST D. 1981. Biochemical values in equine medicine. *The Animal Health Trust*, 108 p.

BOYNE, R. a J.R. ARTHUR. 1979. Alterations of neutrophil function in selenium-deficient cattle. *Journal of Comparative Pathology*. vol. 89, issue 1, s. 151-158. DOI: 10.1016/0021-9975(79)90018-5.

BROADLEY. MR. WHITE. PJ, BRYSON. RJ. MEACHAM. MC. BOWEN. HC. JOHNSON. SE, HAWKESFORTH. MJ. MCGRATH, SP, ZHAO. FJ. BREWARD. N. HARRIMAN. M. TUCKER. M. 2006. Biofortification of UK food crops with selenium. *Proc Nutr Soc*. vol. 65, p.169–181

BROOKS, R.R, J LEE, R.D REEVES a T JAFFRE. 1977. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *Journal of Geochemical Exploration*. vol. 7, p. 49-57. DOI: 10.1016/0375-6742(77)90074-7.

BROWN, T.A. and SHRIFT, A. 1981. Exclusion of selenium from proteins in selenium-tolerant *Astragalus* species. *Plant Physiol*. 67, p. 1951–1953.

BROYER, T. C., C. M. JOHNSON a R. P. HUSTON. 1972. Selenium and nutrition of astragalus. *Plant and Soil*. vol. 36, 1-3, s. 635-649. DOI: 10.1007/bf01373513.

BYERS HG (1936) Selenium occurrence in certain soils in the United States, with a discussion of related topics. Second report. *Technol Bull* 530, U.S. Department of Agriculture. 79 p.

CHASTEEN, Thomas G. a Ronald BENTLEY. 2003. Biomethylation of Selenium and Tellurium: Microorganisms and Plants. *Chemical Reviews*. vol. 103, issue 1, p. 1-26 .DOI: 10.1021/cr010210+.

CHENG K.J., HIRONAKA R., COSTERTON J.W. 1976. Release of bacterial alkaline phosphatase in the rumen of cattle fed a feedlot bloat-provoking diet or a hay diet. *Canadian Journal of Microbiology*, vol. 79, p. 409–421.

CLARKE, Lee B. 1993. The fate of trace elements during coal combustion and gasification: an overview. *Fuel*. vol. 72, issue 6, p. 731-736. DOI: 10.1016/0016-2361(93)90072-a.

CLIJSTERS, H. a F. Van ASSCHE. 1985. Inhibition of photosynthesis by heavy metals. *Photosynthesis Research*. vol. 7, issue 1, p. 31-40. DOI: 10.1007/bf00032920.

CZECZOT H, ŚCIBIOR D, SKRZYCKY M, PODSIAD M. 2006. Activity of antioxidant enzymes in patients with liver cirrhosis. *Wiad Lek*. vol. 59, issue 11–12, p. 762–766

DAI, Shifeng, Dexin HAN a Chen-Lin CHOU. 2006. Petrography and geochemistry of the Middle Devonian coal from Luquan, Yunnan Province, China. *Fuel*. vol. 85, issue 4, p. 456-464. DOI: 10.1016/j.fuel.2005.08.017.

DAI SF, REN DY, LIU JR, LI SS 2003. Occurrence and distribution of minor toxic elements in coals of Fengfeng Coalfield, Hebei Province, North China. *J China Univ Min Technol*. vol. 32, p.358–361

DAI, Shifeng, Dahua LI, Deyi REN, Yuegang TANG, Longyi SHAO a Huibo SONG. 2004. Geochemistry of the late Permian No. 30 coal seam, Zhijin Coalfield of Southwest China: influence of a siliceous low-temperature hydrothermal fluid. *Applied Geochemistry*. vol. 19, issue 8, p. 1315-1330. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2003.12.008.

DAVIDSON DF, POWERS HA. 1959. Selenium content of some volcanic rocks from Western United States and Hawaiian Islands. *Bull Geol Surv US* 1084(C) p. 69–81

DERVEER, William D. Van a Steven P. CANTON. 1997. Selenium sediment toxicity thresholds and derivation of water quality criteria for freshwater biota of western streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 16, issue 6, s. 1260-1268. DOI: 10.1002/etc.5620160623.

DE SOUZA MP, CHU D, ZHAO M, ZAVED AM, RUZIN SE, SCHICHNES D, TERRY N 1999. Rhizosphere bacteria enhance selenium accumulation and volatilization by Indian mustard. *Plant Physiology*. vol. 119, issue 2 p. 565–574

DHILLON, K.S. 2000. *Plant and Soil*. vol. 227, 1/2, p. 243-248. DOI: 10.1023/a:1026579116794

DOLPH. L. HATFIELD, MARLA J. BERRY, VADIM N. GLADYSHEV. 2011. Selenium: Its Molecular Biology and Role in Human Health, Springer Science & Business Media. Boston. 598 p.

DRAIZE. JH, BEATH. OA. 1935. Observation on the pathology of “blind staggers” and “alkalidisease”. Am Vet Med Assoc J vol. 86, p. 53–763

DJANAGUIRAMAN, M., P.V.V. PRASAD a M. SEPPANEN. 2010. Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system. Plant Physiology and Biochemistry. vol. 48, issue 12, p. 999-1007. DOI: 10.1016/j.plaphy.2010.09.009

DJEBALI, W., M. ZARROUK, R. BROUQUISSE, S. EI KAHOUI, F. LIMAM, M. H. GHORBEL a W. CHAÏBI. 2005. Ultrastructure and Lipid Alterations Induced by Cadmium in Tomato (*Lycopersicon esculentum*) Chloroplast Membranes. Plant Biology. vol. 7, issue 4, s. 358-368. DOI: 10.1055/s-2005-837696.

EICH-GREATOREX, Susanne, Trine A. SOGN, Anne Falk ØGAARD a Ivar AASEN. Plant availability of inorganic and organic selenium fertiliser as influenced by soil organic matter content and pH. Nutrient Cycling in Agroecosystems [online]. 2007, vol. 79, issue 3, p. 221-231. DOI: 10.1007/s10705-007-9109-3.

ERSKINE, R. J., EBERHART, R. J., HUTCHINSON, L. J., SCHOLZ, R. W. 1987: Blood selenium concentrations and glutathione peroxidase activities in dairy herds with high and low somatic cell counts. Journal of the american veterinary medical association. vol 190, issue 11, p. 1417-1421

ELLIS, Danielle R a David E SALT. 2003. Plants, selenium and human health. Current Opinion in Plant Biology. vol. 6, issue 3, p. 273-279. DOI: 10.1016/s1369-5266(03)00030-x.

FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, Alejandro a Laurent CHARLET. Selenium environmental cycling and bioavailability: a structural chemist point of view. Reviews in Environmental

Science and Bio/Technology. 2009, vol. 8, issue 1, p. 81-110 . DOI: 10.1007/s11157-009-9145-3.

FILEK, Maria, Maria ZEMBALA, Andrzej KORNAŚ, Stanisław WALAS, Halina MROWIEC a Helinä HARTIKAINEN. 2010. The uptake and translocation of macro- and microelements in rape and wheat seedlings as affected by selenium supply level. *Plant and Soil*. vol. 336, issue 1-2, p. 303-312. DOI: 10.1007/s11104-010-0481-4.

FORRER R. GAURSCHE, K. LUTZ, H. 1991. Comparative determination, of selenium in the serum in various animal species and human by means of electrothermal atomic-absorption spectrometry. *Journal of trace elements and electrolytes in health and disease*. vol. 5, issue 2, p. 101-113

FLEMING GA. 1980. Essential micronutrients II: iodine and selenium. In: DAVIS BE (ed) *Applied soils trace elements*, 1st edn. John Wiley & Sons, New York, p. 199–234

Fleming, G. A. 1962. Selenium in Irish soils and plant, *Soil Science*. vol. 91, issue 1, p. 28—35.

FLOHE L, ANDREESEN JR, BRIGELIUS-FLOHE R, MAIORINO M, URSINI F
2000. Selenium, the element of the moon, in life on earth. *IUBMB Life* vol. 49, issue 5, p. 411–420

Flueck WT 1994. Effect of trace-elements on population-dynamics selenium deficiency in free-ranging black-tailed deer. *Ecology* vol.75 p. 807-812

FREEMAN, J. L. 2006. Spatial Imaging, Speciation, and Quantification of Selenium in the Hyperaccumulator Plants *Astragalus bisulcatus* and *Stanleya pinnata*. *PLANT PHYSIOLOGY*. vol. 142, issue 1, p. 124-134. DOI: 10.1104/pp.106.081158.

FREEMAN, John L., Stormy Dawn LINDBLOM, Colin F. QUINN, Sirine FAKRA, Matthew A. MARCUS a Elizabeth A. H. PILON-SMITS. 2007. Selenium accumulation protects plants from herbivory by Orthoptera via toxicity and deterrence. *New Phytologist*. vol. 175, issue 3, p. 490-500. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2007.02119.x.

FREEMAN, J. L., M. TAMAOKI, C. STUSHNOFF, C. F. QUINN, J. J. CAPPA, J. DEVONSHIRE, S. C. FAKRA, M. A. MARCUS, S. P. MCGRATH, D. Van HOEWYK a E. A. H. PILON-SMITS. 2010. Molecular Mechanisms of Selenium Tolerance and Hyperaccumulation in *Stanleya pinnata*. *PLANT PHYSIOLOGY.*, vol. 153, issue 4, s. 1630-1652. DOI: 10.1104/pp.110.156570.

FRIDOVICH, Irwin. 1995. Superoxide Radical and Superoxide Dismutases. *Annual Review of Biochemistry.* vol. 64, issue 1, s. 97-112. DOI: 10.1146/annurev.bi.64.070195.000525.

GALEAS, Miriam L., Li Hong ZHANG, John L. FREEMAN, Mellissa WEGNER a Elizabeth A. H. PILON-SMITS. 2006. Seasonal fluctuations of selenium and sulfur accumulation in selenium hyperaccumulators and related nonaccumulators. *New Phytologist.* vol. 173, issue 3, s. 517-525. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2006.01943.x.

GALGAN, Vera a Adrian FRANK. 1995. Survey of bioavailable selenium in Sweden with the moose (*Alces alces* L.) as monitoring animal. *Science of The Total Environment.* vol. 172, issue 1, p. 37-45. DOI: 10.1016/0048-9697(95)04715-8.

GISSEL-NIELSEN. G. 2002. Selenium. In *Encyclopedia of Soil Science*. Ed. R Lal. Pp. 1476. M. Dekker Inc. School of Natural Resources. The Ohio State University Columbus, Ohio, USA

GOBRAN, George R, Walter W WENZEL a Enzo LOMBI. c2001. Trace elements in the rhizosphere. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 321 p. ISBN 0849315352.

GÓMEZ-ARIZA, J.L, J.A POZAS, I GIRÁLDEZ a E MORALES. 1998. Speciation of volatile forms of selenium and inorganic selenium in sediments by gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography A.* vol. 823, 1-2, p. 259-277. DOI: 10.1016/s0021-9673(98)00581-0.

GLOSER, Jan. *Fyziologie rostlin.* 2. rozš. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1998, 157 p. ISBN 80-210-1789-9.

GUNTER SA, BECK PA, PHILLIPS JM. 2003. Effects of supplementary selenium source on the performance and blood measurements in beef cows and their calves. *Journal of Animal Science*. vol. 81, issue 4, p. 856-864.

GUNTER, Stacey A., Paul A. BECK a Dennis M. HALLFORD. 2013. Effects of Supplementary Selenium Source on the Blood Parameters in Beef Cows and Their Nursing Calves. *Biological Trace Element Research*. vol. 152, issue 2, p. 204-211. DOI: 10.1007/s12011-013-9620-0.

HARAPIN, I., M. BAUER, L. BEDRICA a D. POTOČNJAK. 2000. Correlation Between Glutathione Peroxidase Activity and The Quantity of Selenium in The Whole Blood of Beef Calves. *Acta Veterinaria Brno*. vol. 69, issue 2. p. 87-92 DOI: 10.2754/avb200069020087.

HARRIS AP 1998: Musculoskeletal Disease. In: REED SM, BAYLY WM (Ed):. *Equine internal medicine*. W. B. Saunders Company, St. Louis, p. 371-426.

HARTIKAINEN, Helinä. 2000. *Plant and Soil*, vol. 225, 1/2, p. 193-200. DOI: 10.1023/a:1026512921026.

HARTIKAINEN H, XUE T 1999. The promotive effects of selenium on plant growth as triggered by ultraviolet irradiation. *Journal of Environ Quality* vol. 28, issue 4, p. 1372–1375

HARTIKAINEN H, XUE T, PIIRONEN V. 2000. Selenium as an antioxidant and pro-oxidant in ryegrass. *Plant and Soil*. vol. 225, issue 1-2, p.193–200

HAWRYLAK-NOWAK, Barbara, Renata MATRASZEK a Maria SZYMAŃSKA. 2010. Selenium Modifies the Effect of Short-Term Chilling Stress on Cucumber Plants. *Biological Trace Element Research*., vol. 138, issue 1-3, p. 307-315. DOI: 10.1007/s12011-010-8613-5.

HAYGARTH, PM. 1994. Global importance and global cycling of selenium. In: Frankenberger WT Jr, Benson S (eds) *Selenium in the environment*. Marcel Dekker, Inc., Hong Kong, p. 1–28

HOGAN, J.S., K.L. SMITH, W.P. WEISS, D.A. TODHUNTER a W.L. SCHOCKEY. 1990. Relationships Among Vitamin E, Selenium, and Bovine Blood Neutrophils. *Journal of Dairy Science*. vol. 73, issue 9, s. 2372-2378. DOI: 10.3168/jds.s0022-0302(90)78920-5.

HUANG, Shunsheng, Ming HUA, Jinshun FENG, Xinyong ZHONG, Yang JIN, Baiwan ZHU a Hua LU. 2009. Assessment of selenium pollution in agricultural soils in the Xuzhou District, Northwest Jiangsu, China. *Journal of Environmental Sciences*. vol. 21, issue 4, p. 481-487. DOI: 10.1016/s1001-0742(08)62295-0.

H, MIHARA a ESAKI N. 2002. Bacterial cysteine desulfurases: their function and mechanisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*. vol. 60, 1-2, s. 12-23. DOI: 10.1007/s00253-002-1107-4.

ILLEK, J., PAVLATA, L., PECHOVÁ, A. 2000 Organický selen ve výživě zvířat. In: *Agenda 2000: The Food Revolution. Proceedings Alltechs 14th European, Middle Eastern and African Lecture Tour, Brno 23*. vol. 2.,p. 31-32

IVANCIC Jr. J., WEISS W.P. 2001. Effect of dietary sulfur and selenium concentrations on selenium balance of lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 84, issue 1, p. 225–232.

JAFFRE, T., R. R. BROOKS, J. LEE a R. D. REEVES. 1976. *Sebertia acuminata*: A Hyperaccumulator of Nickel from New Caledonia. *Science*. vol. 193, issue 4253, p. 579-580. DOI: 10.1126/science.193.4253.579.

JANKOWIAK D, KRUGLAK M, DZIEŃSKA M (2006) Changes in total lipid concentration and the selected fractions in the blood plasma of pregnant goats. *Folia Univ Agric Stein Zootechnica* vol. 48, p.175–186

JOHNSSON, Lars. 1991. Selenium uptake by plants as a function of soil type, organic matter content and pH. *Plant and Soil*. vol. 133, issue 1, s. 57-64. DOI: 10.1007/bf00011899.

JONER, E. J. a C. LEYVAL. Uptake of ¹⁰⁹Cd by roots and hyphae of a *Glomus mosseae*/Trifolium subterraneum mycorrhiza from soil amended with high and low

concentrations of cadmium. *New Phytologist*. 1997, vol. 135, issue 2, p. 353-360. DOI: 10.1046/j.1469-8137.1997.00633.x.

JORISSEN A. 1896. Sur la présence du molybde`ne, du se`le`nium, du bismuth, etc., dans le terrain houiller du pays de Lie`ge. *Ann Soc Geol Belg* vol. 23, p.101–105

JORPES, J. Jac. 1970. *Berzelius: his life and work*. Berkeley: University of California Press, 156 p. ISBN 0520016289.

JÓŻWIK A. 2010. Oxidative status of high-yielding dairy cows in relation to performance, stage of lactation and somatic cell count in milk. Institute of Genetics and Animal Breeding of Polish Academy of Sciences in Jastrzębiec

JUNIPER DT, PHILIPS RH, JONES AK, BERTIN G. 2006. Selenium supplementation of lactating dairy cows: Effect on Selenium concentration in blood, milk, urine, and feces. *Journal of Dairy Science* vol. 89, p. issue 9, p. 3544-3551.

KABATA - PENDIAS, A., PENDIAS, H. 1993. In: *Biogeochemistry of Trace Elements*, PWN, Warszawa.

KESKINEN, Riikka, Marja TURAKAINEN a Helinä HARTIKAINEN. 2010, Plant availability of soil selenate additions and selenium distribution within wheat and ryegrass. *Plant and Soil* [online]. vol. 333, 1-2, p. 301-313. DOI: 10.1007/s11104-010-0345-y.

Landberg T, Greger M (1994) Cadmium tolerance in salix. *Biol Plant* vol. 361, p. 280–281

LIN BY. 1990. *Concise principles of environmental geochemistry*. Metallurgy Industry Press, Beijing

KOISTOINEN. P., VARO, P. 1984. Selenium in Finnish food. In: *Selenium in Biology and Medicine, Proceedings of the III International Symposium on Selenium in Biology and Medicine*. Part b, p. 645—651.

KUBACHKA KM, MEIJA J, LEDUC DL, TERRY N, CARUSO JA (2007) *Environ Sci Technol.* vol. 41, p. 1863–1869

K UBOTA, J., ALLAWAY, W. H., CARTER, D. L., C ARY, E. E., LAZAR, V. A. 1967. Selenium in the United States in relation to selenium-responsive diseases of animals, *J. Agric. Food Chem.*, vol. 15, p. 448—453.

KYLE, D. *Photoinhibition*. Amsterdam: Elsevier, 1987, xiv, 315 s. *Topics in Photosynthesis*. ISBN 0-444-80890-6.

LÖFSTEDT J 1997. White muscle disease of foals. *Veterinary clinics of North America. Equine Practice* vol 13, issue 1, p. 169-185

LLOYD, Jonathan R. 2003. Microbial reduction of metals and radionuclides. *FEMS Microbiology Reviews*. vol. 27, 2-3, p. 411-425. DOI: 10.1016/s0168-6445(03)00044-5.

LUDVÍKOVÁ, E., L. PAVLATA, M. VYSKOČIL a P. JAHN. 2005. Selenium Status of Horses in the Czech Republic. *Acta Veterinaria Brno*. vol. 74, issue 3, p. 369-375. DOI: 10.2754/avb200574030369

LUIT J. DE KOK. 1993. Sulfur nutrition and assimilation in higher plants: regulatory agricultural and environmental aspects. SPB Academic Publishing. 326 p. ISBN 9051030843

LYI, S. M. 2005. Molecular and Biochemical Characterization of the Selenocysteine Se-Methyltransferase Gene and Se-Methylselenocysteine Synthesis in Broccoli. *PLANT PHYSIOLOGY* vol. 138, issue 1, p. 409-420. DOI: 10.1104/pp.104.056549.

LYONS, G. H., Y. GENC, K. SOOLE, J. C. R. STANGOULIS, F. LIU a R. D. GRAHAM. 2008. Selenium increases seed production in Brassica. *Plant and Soil*. vol. 318, issie 1-2, p. 73-80. DOI: 10.1007/s11104-008-9818-7.

MAAS J, PARISH SM, HODGSON DR, VALBERG SJ 1996: Nutritional myodegeneration. In: SMITH BP et al. (Ed).: *Large animal internal medicine*, Mosby, St. Louis, p. 1513-1518

MASSCHELEYN, P. H., R. D. DELAUNE a W. H. PATRICK. 1991. Arsenic and Selenium Chemistry as Affected by Sediment Redox Potential and pH. *Journal of Environment Quality*. vol. 20, issue 3. DOI: 10.2134/jeq1991.00472425002000030004x.

MASSCHELEYN, P. H., R. D. DELAUNE a W. H. PATRICK. 1991. Biogeochemical behavior of selenium in anoxic soils and sediments: An equilibrium thermodynamics approach. *Journal of Environmental Science and Health . Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology.*, vol. 26, issue 4, p. 555-573. DOI: 10.1080/10934529109375653.

MATÉS, J.M. 2001. Erratum to ‘Effects of antioxidant enzymes in the molecular control of reactive oxygen species toxicology’. *Toxicology.*, vol. 163, issue 2-3. p. 219-219 DOI: 10.1016/s0300-483x(01)00395-x.

MICETIC-TURK D, ROSSIPAL E, KRACHER M, Li F. 2000. Maternal selenium status in Slovenia and its impact on the selenium concentration of umbilical cord serum and colostrum. *European Journal of Clinical Nutrition*. vol. 54, issue 6, p. 522-524.

MINGUZZI C, VERGNANO O. 1948. Il contenuto di nichel nelle ceneri di *Alyssum bertolonii* Desv. *Mem Soc Tosc Sci Nat Ser A* 55: 49–77

MONTERROSA R.G.C., BRIBIESCA E.R., PERALTA M.A.C., VÁZQUES A.L.R., GALVÁN M.M.C., MORA J.L.C. 2011. Selenium availability complemented with sodium selenite and selenomethionine in lambs. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia*, vol. 21, issue 1, p. 31–38. (in Spanish)

NEAL RH, SPOSITO G 1989. Selenate adsorption on alluvial soils. *Soil Sci Soc Am J* vol. 53, p. 70–74

NEAL. RH. 1990. Selenium. In *Heavy Metals in Soils*. Ed. B J Alloway. Blackie and Son Ltd. 339 p.

NG, B.Hock a John W. ANDERSON. 1978. Synthesis of selenocysteine by cysteine synthases from selenium accumulator and non-accumulator plants. *Phytochemistry*. vol. 17, issue 12, p. 2069-2074. DOI: 10.1016/s0031-9422(00)89282-1.

ORTMAN K, PEHRSON B.1997. Selenite and selenium yeast as feed supplements for dairy cows. *Zentralbl Veterinarmed A* vol. 44, issue 6, p. 373-380.

ORTMAN K, PEHRSON B. 1999. Effect of selenate as a feed supplement to dairy cows in comparison to selenite and selenium yeast. *Journal of Animal Science*. vol. 77, issue 12, p. :3365-3370.

PAVLATA, L., A. PECHOVÁ a J. ILLEK 2000. Direct and Indirect Assessment of Selenium Status in Cattle - A Comparison. *Acta Veterinaria Brno*. vol. 69, issue 4, p. 281-287. DOI: 10.2754/avb200069040281.

OTTAVIANO, Filomena G., Shioh-Shih TANG, Diane E. HANDY a Joseph LOSCALZO. 2009. Regulation of the extracellular antioxidant selenoprotein plasma glutathione peroxidase (GPx-3) in mammalian cells. *Molecular and Cellular Biochemistry*. vol. 327, issue 1-2, p. 111-126. DOI: 10.1007/s11010-009-0049-x.

PAVLATA, L., A. PECHOVÁ a R. DVOŘÁK. 2004. Microelements in Colostrum and Blood of Cows and their Calves during Colostral Nutrition. *Acta Veterinaria Brno*. vol. 73, issue 4, p. 421-429. DOI: 10.2754/avb200473040421.

PAVLATA, L., PECHOVÁ, A., ILLEK, J. 2001. Muscular dystrophy in dairy cows following a change in housing technology. *Acta Veterinario. Brno*. vol. 70, issue 3, p. 269-275

PICKERING, I. J. 2003. Chemical Form and Distribution of Selenium and Sulfur in the Selenium Hyperaccumulator *Astragalus bisulcatus*. *PLANT PHYSIOLOGY*. vol. 131, issue 3, p. 1460-1467. DOI: 10.1104/pp.014787.

PILARCZYK, Bogumiła, Dorota JANKOWIAK, Agnieszka TOMZA-MARCINIAK, Renata PILARCZYK, Piotr SABLİK, Radosław DROZD, Agnieszka TYLKOWSKA a Magdalena SKÓLMOWSKA. 2011. Selenium Concentration and Glutathione Peroxidase (GSH-Px)

Activity in Serum of Cows at Different Stages of Lactation. *Biological Trace Element Research*. vol. 147, issue 1-3, s. 91-96. DOI: 10.1007/s12011-011-9271-y.

PILON-SMITH, E. A. H., QIUNN. 2010. C. F. Selenium Metabolism in Plants. *Cell Biology of Metals and Nutrients*. 17.p. 225-241.

RADOSTITS, O a Stanley H DONE. 2007. *Veterinary medicine: a textbook of the diseases of cattle, sheep, pigs, goats, and horses*. 10th ed. New York: Elsevier Saunders, xxii, 2156 p. ISBN 0702027774.

RAYMAN MP (2000) The importance of selenium to human health. *Lancet* vol. 356 p. 233–241

REN, Deyi, Fenghua ZHAO, Yunquan WANG a Shaojin YANG. 1999. Distributions of minor and trace elements in Chinese coals. *International Journal of Coal Geology*. vol. 40, 2-3, p. 109-118. DOI: 10.1016/s0166-5162(98)00063-9.

R. F. Burk, K. E. Hill, A. K. Motley. *J. Nutr.* 2003. Selenoprotein Metabolism and Function: Evidence for More than One Function for Selenoprotein P12. *Journal of nutrition* vol. 133, p. 1517S–1520S.

REN DY, ZHAO FH, ZHANG JY, XU DW 1999b A preliminary study on genetic type of enrichment for hazardous minor and trace elements in coal. *Earth Sci Front* 6(Suppl): p.17–22

RILEY, K.W., D.H. FRENCH, N.A. LAMBROPOULOS, O.P. FARRELL, R.A. WOOD a F.E. HUGGINS. 2007. Origin and occurrence of selenium in some Australian coals. *International Journal of Coal Geology*. vol. 72, issue 2, p. 72-80 . DOI: 10.1016/j.coal.2006.12.010.

ROCK, M.J, R.L KINCAID a G.E CARSTENS. 2001. Effects of prenatal source and level of dietary selenium on passive immunity and thermometabolism of newborn lambs. *Small Ruminant Research*. vol. 40, issue 2, p. 129-138. DOI: 10.1016/s0921-4488(01)00167-5.

RONEUS BO, LINDHOLM A 1983. Glutathione peroxidase activity in the blood of healthy horses given different selenium supplementation. *Nordisk Veterinaen Medicin*, vol. 35, issue 10, p. 337-345

ROMANA, Muriel. 2004, Marco Polo. Vyd. 1. Praha: Beta-Dobrovský, 229 s. ISBN 80-7306-123-6.

ROSENFELD I, BEATH OA. 1964. Selenium: geobotany, biochemistry, toxicity, and nutrition. Academic Press. New York. 424 p.

ROSENFELD Irene, ORVILLE A. BEATH.2013. Selenium: Geobotany, Biochemistry, Toxicity, and Nutrition. Academic Press. 424 p. ISBN: 1483275906

SAGER, M. 2006. Selenium in agriculture, food, and nutrition. *Pure and Applied Chemistry*. vol. 78, issue 1 DOI: 10.1351/pac200678010111.

SAGER, M. a R. PUCSKO. 1991.Trace element concentrations of oligochaetes and relations to sediment characteristics in the reservoir at Altenwörth/Austria. *Hydrobiologia.*, vol. 226, issue 1, s. 39-49. DOI: 10.1007/bf00007778.

SCHWARZ, Klaus a Calvin M. FOLTZ. 1957. SELENIUM AS AN INTEGRAL PART OF FACTOR 3 AGAINST DIETARY NECROTIC LIVER DEGENERATION. *Journal of the American Chemical Society* vol. 79, issue 12, s. 3292-3293. DOI: 10.1021/ja01569a087.

SHAMBERGER, Raymond J. *Biochemistry of selenium*. New York: Plenum Press, c1983, xi, 334 p. ISBN 0306410907.

SHRIFT, A. 1969. Aspects of Selenium Metabolism in Higher Plants. *Annual Review of Plant Physiology.*, vol. 20, issue 1, s. 475-494. DOI: 10.1146/annurev.pp.20.060169.002355.

SIDDONS R.C. MILLS C.F. 1981. Glutathin peroxidase activity and erythrocyte stability in calves differing in selenium and vitamin E status. *Brit. J, Nutr.* vol 46, p. 345-356

SLAVIK, Petr, Josef ILLEK, Michal BRIX, Jaroslava HLAVICOVA, Radko RAJMON a Frantisek JILEK. 2008. Influence of organic versus inorganic dietary selenium

supplementation on the concentration of selenium in colostrum, milk and blood of beef cows. *Acta Veterinaria Scandinavica*. vol. 50, issue 1. DOI: 10.1186/1751-0147-50-43.

SORS, Thomas G., Catherine P. MARTIN a David E. SALT. 2009. Characterization of selenocysteine methyltransferases from *Astragalus* species with contrasting selenium accumulation capacity. *The Plant Journal*. vol. 59, issue 1, p. 110-122. DOI: 10.1111/j.1365-313x.2009.03855.x..

STRAUß V, ZEIDNER S, NOACK S 1993. Richtwerte wichtiger Laborparameter bei Haustieren. Paul Kieser GmbH Drucerei und Verlag, Ingolstadt, 131 p.

TAYLOR SR, MCLENNAN SM. 1985. The continental crusts: its composition and evolution. Blackwell, Oxford

TAYLOR-PICKARD JA, TUCKER LA. 2005. Re-defining Mineral Nutrition, Nottingham University Press, Nottingham. 295 p. ISBN 1-904761-30-5

TERRY, N., A. M. ZAYED, M. P. de SOUZA a A. S. TARUN. 2000. SELENIUM IN HIGHER PLANTS. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. vol. 51, issue 1, p. 401-432. DOI: 10.1146/annurev.arplant.51.1.401.

THORNTON I. 1981. Geochemical aspects of the distribution and forms of heavy metals in soils. In: Lepp NW, editor. *Effect of heavy metal pollution on plants: metals in the environment*, vol. II. London and New Jersey: Applied Sci Publ; p. 1–34

TRELEASE, S. F., A. A. Di SOMMA a A. L. JACOBS. 1960. Seleno-Amino Acid Found in *Astragalus bisulcatus*. *Science*. vol. 132, issue 3427, p. 618-618. DOI: 10.1126/science.132.3427.618.

TSANG, E. W. T., C. BOWLER, D. HEROUART, W. VAN CAMP, R. VILLARROD, C. GENETELLO, M. VAN MONTAGU & D. INZE. 1991. Differential regulation of superoxides dismutases in plants exposed to environmental stress. *Plant Cell* vol. 3, issue 8, p. 783-792.

TURAKAINEN M, HARTIKAINEN H, SEPPANER MM (2004) Effects of

selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* vol. 52, issue 17 p. 5378–5382

USTAFSSON, Jon Petter a Lars JOHANSSON. 1994. The association between selenium and humic substances in forested ecosystems?laboratory evidence. *Applied Organometallic Chemistry*. vol. 8, issue 2, p. 141-147. DOI: 10.1002/aoc.590080209.

VALBERG SJ 2002: A review of the diagnosis and treatment of rhabdomyolysis in foals. *AAEP Proceedings* vol. 48, p. 117-121

VAN CAMP, W., K. CAPAIAU, M. VAN MONTAGU, D. Inze & L. Slooten. 1996. Enhancement of oxidative stress tolerance in transgenic tobacco plants overproducing Fe superoxide dismutase in chloroplast. *Plant Physiology*. vol. 112, issue 4, p. 1703-1714.

WANG, Zijian a Yuxi GAO. 2001. Biogeochemical cycling of selenium in Chinese environments. *Applied Geochemistry*. vol. 16, 11-12, s. 1345-1351. DOI: 10.1016/s0883-2927(01)00046-4.

WANG, M.C. a H.M. CHEN. 2003. Forms and distribution of selenium at different depths and among particle size fractions of three Taiwan soils. *Chemosphere*. vol. 52, issue 3, s. 585-593. DOI: 10.1016/s0045-6535(03)00240-6.

WHANGER, PD. 1989. China, a country with both selenium deficiency and toxicity: some thoughts and impressions. *J Nutr* vol. 119: p.1236–1239

WRIGHT, P. L., and M. C. BELL. 1966. Comparative metabolism of selenium and tellurium in sheep and swine. *American Journal of Physiology* vol. 211, issue 1, p. 6–10.

WULLEPIT, N., K. RAES, B. BEERDA, R.F. VEERKAMP, D. FREMAUT a S. De SMET. 2009. Influence of management and genetic merit for milk yield on the oxidative status of plasma in heifers. *Livestock Science*. vol. 123, issue 2-3, s. 276-282. DOI: 10.1016/j.livsci.2008.11.013.

- WANG, Lei, Yiwen JU, Guijian LIU, Chen-Lin CHOU, Liugen ZHENG a Cuicui QI. 2009. Selenium in Chinese coals: distribution, occurrence, and health impact. *Environmental Earth Sciences.*, vol. 60, issue 8, p. 1641-1651. DOI: 10.1007/s12665-009-0298-8.
- WEEKES T.E.C. 1972. Effects of pregnancy and lactation in sheep on the metabolism of propionate by the rumen mucosa and on some enzymatic activities in the ruminal mucosa. *The Journal of Agricultural Science.* vol 79, issue 3, p. 409–421.
- WHITE, Philip J. a Martin R. BROADLEY. 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets - iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist.* vol. 182, issue 1, s. 49-84. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x.
- WHITE PJ, BOWEN HC, MARSHALL B, BROADLEY MR 2007. Extraordinarily high leaf selenium to sulfur ratios define ‘Se-accumulator’ plants. *Annals of Botany.* vol. 100, issue 1, p. 111-118. DOI: 10.1093/aob/mcm084
- WILBER, Charles G. 1980. Toxicology of selenium: A review. *Clinical Toxicology.* vol. 17, issue 2, p. 171-230. DOI: 10.3109/15563658008985076.
- WILSON LG, BANDURSKI RS. 1958. Enzymatic reactions involving sulfate, sulfite, selenate and molybdate. *J Biol Chem* vol. 233, issue 4, p.975–981
- YANG G, ZHOU R, SUN S, YIN T, LIU S 1981a Study of unidentified trichomadesis and nail losing of Enshi Prefecture of Hubei Province. *J Acad Med Sci Chi* 3(Suppl): p. 1
- YANG GQ, WANG SZ, ZHOU RH, SUN SH. 1981b. Research on the etiology of an endemic disease characterized by loss of nails and hair in Enshi county. *Acta Acad Med Sin* 3(Suppl) p. 1–6
- ZIMMERMANN, Michael B. a Josef KÖHRLE. The Impact of Iron and Selenium Deficiencies on Iodine and Thyroid Metabolism: Biochemistry and Relevance to Public Health. *Thyroid.* 2002, vol. 12, issue 10, p. 867-878 . DOI: 10.1089/105072502761016494.

ŽÁKOVÁ, N. 2014. Obsah selenu v krvi sportovních a rekreačních koní. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Praha 74 s.