

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

**Vliv podávání doplňků selenu nosnicím na obsah selenu
ve vejcích a čerstvost vajec během skladování**

Kamila Kumprechtová

Brno 2015

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 7 – Zemědělství, potravinářství, lesní a vodní hospodářství

Vliv podávání doplňků selenu nosnicím na obsah selenu ve vejcích a čerstvost vajec během skladování

Effect of dietary selenium supplementation to layers on selenium content in eggs and egg freshness

Autor: Kamila Kumprechtová

Škola: Gymnázium Brno-Řečkovice
T. Novákové 2, Brno, 621 00

Konzultanti: doc. MVDr. Josef Illek, Dr.Sc.
Mgr. Michal Kuňák, Ph.D.

Brno 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci vypracovala samostatně, pod odborným vedením doc. MVDr. Josefa Illka, Dr.Sc., pouze za použití podkladů uvedených v seznamu použité literatury. Postup při zpracování a dalším nakládání s prací je v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Brně dne

Podpis:

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému externímu konzultantovi doc. MVDr. Josefu Illkovi, Dr.Sc. z Veterinární a farmaceutické univerzity (VFU) Brno za odborné vedení a technické zabezpečení mé práce. Děkuji svému školnímu konzultantovi Mgr. Michalu Kuňákovi, Ph.D. za vedení mé práce. Také bych ráda poděkovala Ing. Gabriele Bořilové, Ph.D. z Ústavu hygieny a technologie masa VFU Brno za cenné rady a Ing. Vlastimilu Machanderovi, Ph.D. (MTD Ústrašice) za poskytnutí prostor pro provedení pokusu a analýz čerstvosti vajec, dále francouzské společnosti Lesaffre Feed Additives za financování pokusu a v neposlední řadě Ing. Daně Kumprechtové, Ph.D. za rady a korekturu práce.

Anotace

Selen je esenciální stopový prvek organismu, který má především antioxidační funkci. Je součástí enzymu glutathionperoxidázy (GSH-Px) a dalších selenoproteinů se kterými se v součinnosti s vitamínem E účastní antioxidační obrany buněk organismu proti volným radikálům. Vyskytuje se v anorganických i organických sloučeninách, které jsou pro lidský organismus lépe využitelné.

V práci jsem se zabývala porovnáním vlivu různých zdrojů selenu (selenových kvasnic a seleničitanu sodného), podávaných jako krmný doplněk nosnicím, na obsah selenu v jejich vejcích a na kvalitu vajec v průběhu skladování.

Nosnice byly rozděleny do tří skupin. První skupina byla krmena krmivem obohaceným seleničitanem sodným v množství poskytujícím 0,3 ppm selenu. Krmivo druhé skupiny obsahovalo doplněk selenových kvasnic se stejným množstvím selenu. Třetí, kontrolní skupina nedostávala žádný doplněk selenu. Obsah selenu ve vejcích byl měřen ve třetím týdnu obou čtyřtýdenních period, zvláště ve žloutku a v bílku. Parametry kvality vajec byly měřeny vždy v 0., 14., 28. a 35. dni obou period.

Klíčová slova: selen, selenomethionin, glutathionperoxidáza, antioxidační obrana, vejce, Haughovy jednotky

Annotation

Selenium is an essential trace element whose primary function in the body is antioxidant protection. It is contained in the enzyme glutathione peroxidase (GSH-Px) and other selenoproteins. These, along with vitamin E, are involved in the protection of cells against free radicals. There are both inorganic and organic selenium compounds, with the latter being better utilized in the body.

This study compared the effects of two different dietary selenium sources (selenium yeast and sodium selenite) in laying hens on selenium content in eggs and egg freshness parameters during storage.

The layers were divided into three groups. The first group received 0.3 ppm of selenium as sodium selenite; the second group was given 0.3 ppm of selenium as a selenium yeast; the third group was a control one and was not given any selenium supplements. Selenium contents in egg yolk and albumen were measured in the third week of each four-week period. Egg freshness parameters were measured on days 0, 14, 28 and 35 of each period.

Key words: selenium, selenomethionine, glutathione peroxidase, antioxidant protection, eggs, Haugh units

Obsah

Úvod.....	9
1 Teoretická část.....	9
1.1 Selen jako chemický prvek	9
1.2 Historie objevování významu selenu pro člověka	9
1.3 Selen v půdě a v rostlinách.....	10
1.3.1 Oblasti s deficitem nebo přebytkem selenu v půdě.....	11
1.3.2 Deficit selenu u populace v ČR a jiných oblastech	11
1.4 Funkce selenu v lidském organismu	12
1.4.1 Obsah a potřeba selenu v těle člověka.....	12
1.4.2 Funkce selenu v těle a vliv na lidské zdraví	14
1.4.3 Toxicita selenu.....	15
1.4.4 Selen v potravě	16
1.4.5 Vejce jako zdroj selenu pro člověka.....	18
1.5 Kvalita vajec.....	19
1.5.1 Stavba vejce	19
1.5.2 Fyzikálně-chemické vlastnosti vajec	20
1.5.3 Chemické složení vejce	20
1.5.4 Změny vajec při skladování.....	20
1.6 Význam selenu pro drůbež.....	23
2 Cíl práce.....	24
3 Metodika.....	25
3.1 Místo provedení	25
3.2 Zvířata	25
3.3 Ustájení	25
3.4 Krmení a napájení	26

3.5	Hygienická opatření	26
3.6	Snáškové období	26
3.7	Pokusné zásahy	26
3.8	Sledování obsahu selenu ve vejcích	26
3.8.1	Stanovení obsahu selenu.....	27
3.9	Sledování stability vajec při skladování.....	28
3.10	Statistické zpracování výsledků	28
4	Výsledky a diskuse	29
4.1	Obsah selenu ve vejcích	29
4.2	Vliv selenu na kvalitu vajec při skladování	31
4.2.1	Hmotnost vejce	31
4.2.2	Haughovy jednotky	32
4.2.3	Výška hustého bílku	33
4.2.4	Index žloutku	34
4.2.5	Hmotnost žloutku	35
4.2.6	pH žloutku	36
	pH bílku	37
5	Závěr.....	39
6	Seznam použité literatury	40
7	Seznam obrázků.....	41
8	Seznam tabulek.....	41
9	Seznam grafů	42

ÚVOD

Selen jako stopový prvek je velmi důležitý pro lidské zdraví. V mnoha zemích světa však lidé nepřijímají dostatek selenu v potravě. V průměru nízké hladiny selenu v organismu mají i obyvatelé Evropy a Česká republika není mezi evropskými státy výjimkou. Příčinou je nízká dostupnost selenu v evropských půdách, která se v posledních desetiletích ještě snižuje v důsledku kyselých dešťů a používání průmyslových hnojiv. Tato situace vede k nízkým koncentracím selenu v polních plodinách, živočišných produktech a i v lidské stravě.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Selen jako chemický prvek

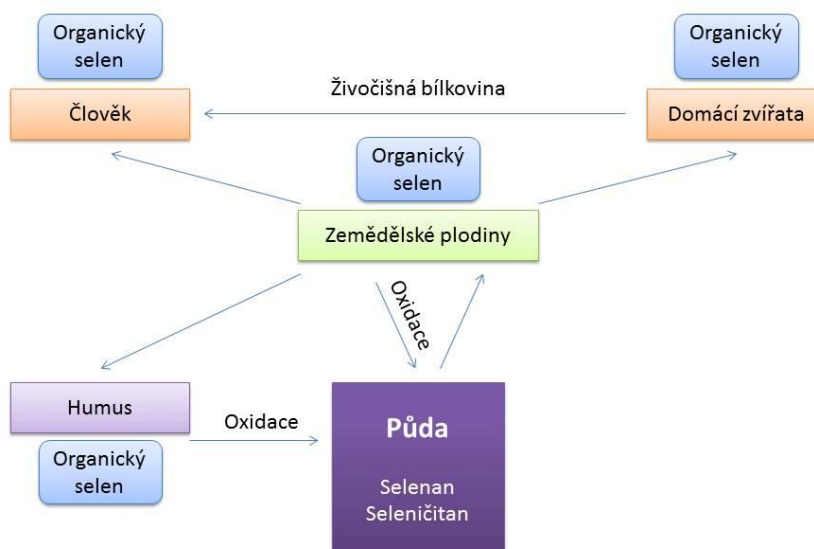
Selen (chemická značka Se, latinsky selenium) objevil v roce 1817 Švéd Jons Jacob Berzelius a pojmenoval jej podle Seleny, řecké bohyně Měsíce. Patří do skupiny chalkogenů. Jeho protonové číslo je 34 a atomová hmotnost 78,96. Ve sloučeninách má oxidační číslo $-II$, IV a VI , stejně jako síra. Selen je jedním ze stabilních prvků nacházejících se v zemské kůře. Průměrně je v 1 kg zeminy obsaženo 0,09 mg selenu. Selen se vyskytuje v organických i anorganických sloučeninách. Ve formě anorganické se nachází v půdách, horninách a vodách. Po přijetí rostlinami nebo zvířaty se anorganická forma mění na organickou a selen se tak stává pro lidský organismus lépe využitelný.

1.2 Historie objevování významu selenu pro člověka

Selen byl dříve pokládán za toxický prvek, kterým ve vyšších koncentracích nad (2 $\mu\text{g/g}$ potravy) skutečně je. Jako esenciální stopový prvek pro člověka byl prokázán až v souvislosti s onemocněním Keshan, které se vyskytuje v Číně a je způsobeno nedostatkem selenu ve výživě. V roce 1973 Rotruck a jeho kolegové z univerzity ve Wisconsinu objevili, že selen je nedílnou součástí antioxidantního systému a je klíčovým prvkem v antioxidantní obraně organismu. Funguje v úzké spolupráci s dalšími antioxidanty, zejména s vitamínem E.

1.3 Selen v půdě a v rostlinách

Cyklus selenu v potravním řetězci zvířat a lidí začíná půdou. Půda představuje hlavní zdroj selenu pro rostliny, a pro živočichy, kteří se rostlinami živí.



Obrázek 1: Cyklus selenu v potravním řetězci zvířat a člověka

Koncentrace selenu v půdě jsou v různých oblastech velice rozdílné. Obvykle se selen v půdě pohybuje v rozmezí 0,1-2 ppm. Nachází se zde v různých formách – selenidy, elementární selen, seleničitany, selenany a organické sloučeniny. Vysoká koncentrace selenu se nachází především v půdách na křídových usazeninách a břidlicích, kdežto v půdách vzniklých na vyvěřelinách, pískovci, žule a vápenci bývá obsah selenu nízký.

Dostupnost selenu pro rostliny závisí na mnoha faktorech, včetně pH půdy (v kyselých půdách vytváří selen nerozpustné komplexy s hydroxidy železa a je špatně dostupný), oxidoredukčním potenciálu a minerálním složení půdy, intenzitě hnojení průmyslovými hnojivy (např. vápnění půdy snižuje dostupnost selenu pro rostliny; syntetická hnojiva obsahující síru a fosfor výrazně snižují vstřebávání selenu rostlinami, protože soupeří se selenem o absorpční místa v kořenech rostlin) a srážkách (tam kde hodně prší, bývá selen vyplaven ze svrchních vrstev půdy). Transfer selenu z půdy do

rostlin také závisí na druhu rostliny, její fenofázi, půdním typu, koncentraci selenu v půdě a formě selenu (selenan je snáze vyplachován z půdy než seleničitan).

Selen je transportován xylemem do chloroplastů v listech, kde se stejnou asimilační drahou jako síra přeměňuje na organické sloučeniny (selenomethionin, selenocystein). Různé druhy rostlin mají velice rozdílnou schopnost inkorporace selenu do pletiv. Na základě schopnosti akumulovat selen mohou být rostliny rozděleny do tří hlavních kategorií:

- 1) Rostliny velmi dobře akumulující selen (např. druhy rodu *Astragalus*, *Stanleya*, *Morinda*, *Neptunia*, *Oonopsis*, *Xylorhiza*)
- 2) Rostliny středně dobře akumulující selen (rody *Aster*, *Astragalus*, *Atriplex*, *Castilleja*, *Coamndra*, *Grayia*, *Grindelia*, *Gutierrezia*, *Machaeranthera*, *Brassica*)
- 3) Rostliny špatně akumulující selen (většina píceňin, obiloviny a olejniny)

Ovšem obsah selenu i v rostlinách stejného druhu je vysoce variabilní, závisí na výše uvedených faktorech.

1.3.1 Oblasti s deficitem nebo přebytkem selenu v půdě

V České republice a také v ostatních zemích EU je významný deficit selenu v půdě. Například v některých oblastech Číny nebo v Americe je obsah selenu v půdě až 60x vyšší než v ČR. Kvůli kyselým dešťům se v dnešní době nedostatek selenu ještě prohlubuje. Agresivní kyseliny z průmyslových exhalací vytlačují rozpustný selen z půdy, je ponejvíce nahrazován sírou.

1.3.2 Deficit selenu u populace v ČR a jiných oblastech

V důsledku nízké koncentrace selenu v půdě je u české populace jeho příjem obecně nízký. Podle některých pramenů je jedna třetina až polovina naší populace ve stavu mírného až vážného deficitu selenu. Během let 1994-1997 byla hodnocena koncentrace selenu v krvi u obyvatel čtyř regionů jižní Moravy. Bylo zjištěno, že 22 % obyvatel má výrazný deficit selenu. V oblasti Brna mělo optimální hodnoty selenu v krvi jen 5 % populace, zbylých 95 % bylo více či méně deficitních. Odhadovaný denní příjem selenu v České republice uvádí Velíšek (1999) jako 25-45 µg.

Příjem selenu u evropské populace obecně klesá. Například v roce 1978 byl průměrný denní příjem selenu v Británii 60 µg/den, o 7 let později pouze 43 µg/den a v roce 1990 poklesl na 30 µg/den.

V roce 1991 francouzská studie ukázala výrazný deficit mikroprvků, včetně selenu u francouzské populace (30-40 % zdravého obyvatelstva). Koncentrace selenu v krevní plazmě Evropanů se od roku 1980 progresívně snižují v důsledku snižujícího se obsahu selenu v potravinách. Průměrné plazmatické koncentrace u evropské populace (40-85 $\mu\text{g/l}$) jsou výrazně nižší než hladiny, které jsou podle American Nutritional Cancer Prevention Study potřebné pro prevenci nádorových onemocnění. Optimální hodnoty průměrné plazmatické koncentrace selenu jsou v Belgii a Portugalsku (kolem 100 $\mu\text{g/l}$). V Nizozemsku, Itálii a Velké Británii se pohybují kolem 90 $\mu\text{g/l}$. Hodnoty koncentrace pod 50 $\mu\text{g/l}$ jsou v Polsku a Maďarsku. V ostatních zemích Evropy, např. ve Francii, Německu, nebo Španělsku se hodnoty pohybují kolem 75 $\mu\text{g/l}$.

Deficit se u dospělých osob projevuje při příjmu pod 30 $\mu\text{g/den}$. Potřeba selenu není přesně známa. Údaje v literatuře se pohybují mezi 40-200 $\mu\text{g/den}$.

1.4 Funkce selenu v lidském organismu

1.4.1 Obsah a potřeba selenu v těle člověka

Tělo dospělého člověka obsahuje 10-15 mg selenu a odráží jeho příjem potravou. U lidí ve světě jsou pozorovány velmi rozdílné hladiny selenu v krvi kvůli nerovnoměrnému výskytu selenu na povrchu země. Optimální hladina se udává 90-140 $\mu\text{g.l}^{-1}$ krve. Obsah selenu v erytrocytech je 1,5 až 2krát vyšší než v plazmě. Množství selenu v plazmě je také ovlivněno věkem a fyziologickým stavem.

Tabulka 1: Průměrný příjem selenu na člověka

Země	Příjem selenu (µg/den)	Země	Příjem selenu (µg/den)
Austrálie	57-87	Nová Guinea	20
Belgie	28-61	Nový Zéland	55-80
Brazílie	28-37	Polsko	30-40
Česká republika	10-25	Portugalsko	37
Čína	7-49	Rakousko	48
Dánsko	38-47	Saúdská Arábie	15
Egypt	29	Slovensko	38
Francie	29-43	Slovinsko	30
Chorvatsko	27	Srbsko	30
Indie	27-48	Španělsko	35
Irsko	50	Švédsko	31-38
Itálie	43	Švýcarsko	70
Japonsko	104-199	Turecko	30-36
Kanada	98-224	USA	106
Německo	35	Velká Británie	29-39
Nepál	23	Venezuela	200-350
Nizozemsko	39-54		

Potřeba selenu u člověka je ovlivněna složením potravy, koncentrací antioxidantů v potravě, úrovní stresu a zdravotním stavem jedince. Proto je poměrně obtížné stanovit doporučenou denní dávku. První doporučení bylo vydáno v roce 1980. Národní rada pro výzkum (NRC) v USA stanovila bezpečné a adekvátní rozmezí denního příjmu selenu u dospělých lidí 50-200 µg. Tyto hodnoty byly založeny především na extrapolaci dat z experimentů se zvířaty, protože v té době bylo k dispozici jen málo údajů o potřebě selenu u člověka. Přesnější doporučená denní dávka podle Recommended Daily Allowance (RDA) byla navržena až v roce 1989, a to na základě množství selenu ve stravě, které bylo potřeba pro dosažení optimální aktivity enzymu glutathionperoxidázy (GSH-Px) u Číňanů žijících v oblasti s výskytem Keshanovy choroby. S ohledem na tělesnou hmotnost a pohlaví jedince byl u mužů stanoven doporučený denní příjem selenu v potravě 70 µg a u žen 55 µg. Jako minimální denní dávka pro člověka bylo stanoveno

40 µg selenu na den. Ovšem názory odborníků nejsou jednoznačné. Dávka 40 µg na den postačuje pro prevenci Keshanovy choroby, ovšem pro léčbu onemocnění jsou potřeba vyšší dávky (50-200 µg/den). Na základě výsledků srovnávací studie provedené na Novém Zélandě doporučují Duffield a jeho kolegové (1999) denní příjem 90 µg selenu. Například Britská vláda stanovila doporučený příjem selenu pro muže 75 µg/den a pro ženy 60 µg/den, ve skandinávských zemích se udává 60 a 30 µg/den, v Austrálii 85 a 70 µg/den.

1.4.2 Funkce selenu v těle a vliv na lidské zdraví

Selen je pro organismus člověka velmi důležitý. Účastní se oprav poškozené DNA, udržuje imunitní systém v dobrém stavu, zlepšuje mužskou plodnost, podporuje jaterní funkce, pomáhá udržet zdravou pokožku a vlasy. Je součástí enzymů glutathionperoxidázy (GSH-Px), thioredoxinreduktázy a minimálně 23 dalších selenoproteinů, a spolu s nimi se účastní antioxidační obrany organismu proti volným radikálům, v součinnosti s vitamínem E. Snižuje tak riziko vzniku onemocnění souvisejících s působením volných radikálů, jako je rakovina, ateroskleróza a další onemocnění, také brání předčasnému stárnutí. Selen je nepostradatelným prvkem pro život, pomáhá zvýšit kvalitu života a jej může prodloužit. Proto by měl být každodenním doplňkem výživy.

Deficit selenu je považován za významný faktor v rozvoji některých onemocnění a optimální zásobení organismu selenem je velmi důležité pro úspěšnou léčbu a prevenci. Mnohé studie přinášejí důkazy o protinádorovém účinku selenu, například pacienti s nádorovým onemocněním měli v průměru nižší hladiny selenu v těle než zdravá kontrolní skupina a také laboratorní studie na zvířatech prokázaly ochranný účinek různých forem selenu před vznikem a rozvojem nádorového bujení.

Nedostatek selenu také souvisí s poruchami reprodukce člověka, včetně zhoršené kvality ejakulátu a komplikacemi v průběhu těhotenství. Také se ukázalo, že optimální zásobení organismu selenem zmírňuje astma, revmatickou artritidu, cystickou fibrózu, AIDS, pankreatitidu a neurodegenerativní poruchy. Optimální zásobení organismu selenem také pravděpodobně zpomaluje stárnutí organismu, zlepšuje kvalitu života starých lidí a prodlužuje život.

Ukázalo se, že zvýšený příjem selenu přispíval k prevenci rakoviny, posiloval imunitu a měl protizánětlivý účinek.



Obrázek 2: Zdravotní přínosy selenu pro lidský organismus

1.4.3 Toxicita selenu

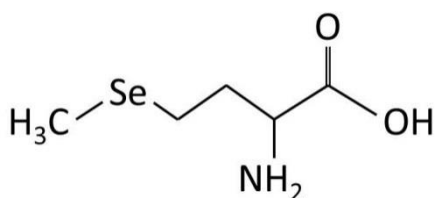
Literatura uvádí jen málo případů akutní či smrtelné otravy sloučeninami selenu. Ve všech případech byl příjem selenu v řádech miligramů až gramů, například po požití přípravku na černění zbraní (gun blue), obsahujícího kyselinu seleničitou. Akutní otrava se projevovala těžkými trávicími a nervovými poruchami, respirační tísní, infarktem myokardu a selháním ledvin. Při těžkém předávkování dochází k horečkám, může se objevit myelitida, cirhóza jater nebo žloutenka, což může vést až ke smrti člověka. Chronická selenóza se projevuje lámavostí a ztrátou vlasů a nehtů, dále trávicími poruchami, zvracením, kožními vyrážkami, únavou, nervovými poruchami. Kvůli přítomnosti dimethylselenidu je charakteristický po česneku zapáchající dech a pot a kovová chuť v ústech. Podle čínské studie se chronická otrava selenem projevila u lidí, kteří měli denní příjem selenu nad 850 μg z potravin s vysokým obsahem selenu a koncentrace selenu v krvi vyšší než 12,7 $\mu\text{mol/l}$.

Toxicita selenu spočívá v jeho interakci s thioley, selenit reaguje s glutathionem a H_2Se za vzniku superoxidového radikálu (O_2^-). Následná peroxidace biogenních molekul a membrán představuje molekulární základ toxického účinku určitých forem selenu.

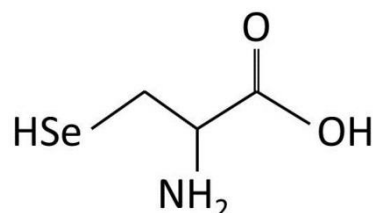
Na základě výsledků mnoha studií udává Panel on Dietary Antioxidants and Related Compounds (2000) jako horní bezpečný limit denního příjmu selenu pro dospělé dávku 400 mikrogramů selenu na den.

1.4.4 Selen v potravě

Selen je obsažen v potravě v organické formě nejčastěji jako aminokyseliny selenomethionin a selenocystein, které jsou absorbovány aktivním transportem společně se základními aminokyselinami. V zažívacím traktu se vstřebává 95-100 % přijatého selenu. Anorganické sloučeniny mají nižší biologickou hodnotu. Uvádí se, že seleničitan se vstřebává ze 44-76 %.



Obrázek 3: Selenomethionin



Obrázek 4: Selenocystein

1.4.4.1 Potraviny obsahující selen

Selen se nachází ve vyšších koncentracích ve vnitřnostech, mase, rybách, mléčných výrobcích, citrusech, slunečnicových semíncích a celozrnných obilovinách, paraořeších, pšeničných klíčcích. Relativně vyšší obsah selenu mají také vejce, obsah v mléce a mase je menší. Koncentrace selenu v ovoci a zelenině, s výjimkou česneku, jsou velmi nízké.

1.4.4.2 Možnosti řešení nedostatku selenu u člověka

a) Přímá suplementace (tablety a kapsle)

Tablety často obsahují anorganickou formu selenu, která může být při předávkování toxická.

b) Hnojení půdy selenem

Například ve Finsku a na Novém Zélandu, kde je obsah selenu v půdě nízký, je do průmyslových hnojiv používaných při pěstování píce a zrnin od roku 1984 přidáván selenan sodný. Došlo k rychlému zvýšení selenu v plodinách, v krmivech pro zvířata, v živočišných produktech a zlepšilo se zásobení populace těchto zemí selenem. Po dvaceti letech

hnojení selenem byly ve Finsku hodnoceny výsledky. Bylo zjištěno, že pouze 10% aplikovaného selenu bylo využito rostlinami, využití selenu velmi výrazně záviselo na pH půdy a obsahu síry. Bylo také obtížné prokázat akumulaci selenu v půdě, právě v důsledku vysoké variability. Přidávání anorganického selenu do půdy také představuje určité riziko změny půdní mikrobiální populace, což by mohlo mít dlouhodobé negativní důsledky.

c) *Obohacování základních rostlinných potravin selenem (mouka apod.)*

Jeví se jako slibná možnost zlepšení zásobení lidské populace selenem. Například v roce 2005 byl v řetězci obchodů Waitrose ve Velké Británii zahájen prodej „selenového“ chleba, vyrobeného ze selenem obohacených kvasnic. Bohužel však, patrně v důsledku nedostatečné informovanosti veřejnosti o zdravotním významu selenu, o něj spotřebitelé nejevili zájem, a byl po čase stažen z prodeje.

d) *Produkce funkčních potravin (vejce, maso a mléko obohacené selenem)*

Velkou výhodou je jejich bezpečnost, protože člověk není schopen konzumovat takové množství selenu obohacených živočišných potravin, aby dosáhl nadměrného příjmu selenu.

Funkční potraviny zlepšují výživu a zdraví člověka. Mají především preventivní funkci a jsou určeny ke každodenní konzumaci. Obsahují přírodní látky, které prokazatelně posilují imunitní systém, dále mají za úkol především chránit před vznikem cévně-srdečních chorob, rakoviny a dalších civilizačních chorob, a také zpomalovat degenerativní procesy spojené se stárnutím. U funkčních potravin se klade důraz na objektivní vědecké ověření jejich přínosu pro lidské zdraví i možnost případných vedlejších účinků. Funkční potraviny mají zvýšený obsah např. vlákniny, oligosacharidů, vitamínů, mastných kyselin, antioxidantů (vitamíny E, C, selen, flavonoidy), aminokyselin kyselin (taurin), peptidů, minerálních látek a stopových prvků (Na, K, Se, Zn), probiotických mikroorganismů (bakterie mléčného kvašení).

1.4.4.3 Živočišné produkty jako zdroj selenu

Obsah selenu v živočišných produktech velmi závisí na výživě zvířete. Závisí také na formě selenu, která je do organismu zvířete dodávána.

Díky tomu, že obsah selenu v rostlinných komponentech krmiv pro zvířata je vysoce variabilní a mnohdy jeho přirozený obsah v rostlinách nestačí, přidávají se v zemědělské praxi do krmiv pro hospodářská zvířata doplňky selenu. Americká FDA (Food and Drug Administration) schválila v roce 1974 použití doplňků selenu do krmiv pro drůbež a prasata ve formě seleničitanu nebo selenanu. Přirozenou formou selenu v potravě jsou však organické sloučeniny selenu, proto je podávání anorganických forem selenu poněkud diskutabilní, i když se stále běžně používá. U anorganických forem selenu existuje riziko otrav při předávkování, interakce s jinými prvky, které mohou bránit jejich vstřebávání. Jeho zadržování (retence) v organismu je v porovnání s organickými formami výrazně nižší, velká část anorganického selenu se vyloučí močí.

Příjem doplňků selenu v organické formě (selenomethionin) vede k výraznému zvýšení koncentrací selenu ve tkáních, neboť selenomethionin je začleňován do tkáňových bílkovin místo methioninu. Naproti tomu anorganické formy selenu nezvyšují koncentrace selenu ve tkáních, ale v krvi. Proto má anorganický selen vyšší riziko akutní toxicity než selen organický. Selenomethionin a selenocystein jsou v trávicím traktu absorbovány stejným mechanismem jako aminokyselina methionin (aminokyselinový transport). Anorganický selenan se v trávicím traktu také vstřebá téměř úplně, ale velká část je z organismu vyloučena močí. Absorpce seleničitanu je proměnlivá, pravděpodobně v důsledku interakcí s jinými látkami ve střevním obsahu, ale obecně je vyšší než 50 %. Jeho ukládání v organismu je však vyšší než u selenanu, nicméně výrazně nižší než u selenomethioninu.

Jako jeden ze zdrojů organicky vázaného selenu se používají tzv. selenové kvasnice. Je známo, že selen a síra mají podobné chemické a fyzikální vlastnosti. Proto rostliny, ale ani například kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* nedokáží rozlišit mezi těmito dvěma prvky při syntéze aminokyselin. Když mají k dispozici selen, je místo atomu síry začleněn do syntetizovaného methioninu selen a vzniká selenomethionin. Tohoto jevu se využívá při výrobě organických krmných doplňků selenu. Do živé kvasinkové kultury je přidán selen v anorganické formě a kvasinky z něj syntetizují selenoaminokyseliny, převážně selenomethionin.

1.4.5 Vejce jako zdroj selenu pro člověka

Slepičí vejce mají vysokou nutriční hodnotu a jsou součástí lidské stravy již od starověku. Obsahují vysoce stravitelné bílkoviny a nejvýznamnější nepostradatelné aminokyseliny. Mají pro člověka téměř ideální profil aminokyselin. Obsahují také různé

minerální látky a vitamíny. Vejce jako součást lidské stravy však dodávají jen asi 1-3 % veškerých potřebných minerálních látek. Změnit obsah minerálních látek ve vejci je značně obtížné, neboť přenos minerálních látek do vejce je regulován různými fyziologickými mechanismy, které zabraňují tomu, aby vyvíjející se zárodek ve vejci byl vystaven toxickým hladinám minerálních látek. Proto je v podstatě nemožné zvýšit hladiny zinku, mědi a železa ve vejci v takové míře, aby vejce mohla být považována za významný zdroj těchto minerálních látek v lidské stravě. Se selenem je to však jiné, protože aminokyselina selenomethionin může být inkorporována do vaječných bílkovin a tak zvýšen obsah selenu ve vejci. Jedno vejce s obsahem selenu zvýšeným prostřednictvím suplementace nosnice selenem může poskytnout až 50 % doporučené denní dávky selenu.

1.5 Kvalita vajec

1.5.1 Stavba vejce

Vejce vzniká ve vaječniku (ovariu) ze zárodečné buňky. V první fázi tvorby vejce se tvoří vaječný žloutek, což je heterogenní hmota, ve které se pravidelně střídají vrstvy světlého a tmavého žloutku. Světlý žloutek obsahuje více vody a tmavý žloutek má funkci zásobní. Žloutek je uzavřen žloutkovou membránou. Vajíčko po ovulaci putuje z vaječniku do bílkové části vejcovodu, kde se tvoří bílek. Ten má funkci zásobárny vody pro zárodek. Dále se tvoří dvě podskořápkové blány, které mezi sebou tvoří vzduchovou bublinu. Poslední fází při vývoji vejce je tvorba skořápky v děloze.



Obrázek 5: Stavba vejce

1.5.2 Fyzikálně-chemické vlastnosti vajec

Index bílku určuje množství a kvalitu hustého bílku a je ukazatelem čerstvosti vejce. Jeho hodnoty se pohybují mezi 90 a 130.

Index žloutku je poměr výšky a šířky a je jedním z ukazatelů jeho čerstvosti. Se stárnutím vejce se žloutek snižuje a rozšiřuje. Hodnota indexu žloutku se pohybuje mezi 32 a 58 %.

Hodnota pH se pro bílek a žloutek liší. U čerstvého vejce je pH bílku obvykle 7,6 a pH žloutku 6,0. Oxid uhličitý rozpuštěný v bílku se během stárnutí vejce uvolňuje a hodnota pH roste až na 9,7. pH bílku závisí na rovnováze mezi rozpuštěným CO_2 a, hydrogenuhličitanovými a uhličitanovými ionty a proteiny. pH žloutku se během skladování mění méně významně, dosahuje hodnot 6,3 – 6,8. Roste v souvislosti se zvyšováním koncentrace amoniaku uvolňovaného z bílkovin v průběhu stárnutí. Rychlost změn pH závisí hlavně na teplotě a ostatních podmínkách skladování.

1.5.3 Chemické složení vejce

Vejce je tvořeno ze 70 % procent vodou, dále 40 druhů vysoce kvalitní bílkoviny, díky kterým jsou vejce jednou z nejcennějších složek výživy, lipidy (mastnými kyselinami, steroly aj.), minerálními látkami a sacharidy. Výživová hodnota vajec je pro obsah bílkovin a lipidů vysoká. Energetická hodnota vejce je obvykle 332-387 kJ. Asi 75 % využitelné energie připadá na žloutek. 10 % celkového obsahu vejce tvoří skořápka, 60 % bílek a 30 % žloutek. Nejvyšší podíl vody je v bílku (kolem 90 %), nejvyšší koncentrace tuku je ve žloutku (kolem 33 %), ve žloutku je také vyšší koncentrace bílkovin, sacharidů a minerálních látek než v bílku.

1.5.3.1 Chemické složení žloutku

Žloutek kromě hlavních složek sušiny obsahuje také významné množství vitamínů, barviv, nízkomolekulárních dusíkatých látek a dalších minerálních látek.

1.5.3.2 Chemické složení bílku

Z organických látek bílek obsahuje vysoký obsah proteinů, ale lipidy pouze stopově.

1.5.4 Změny vajec při skladování

Od okamžiku snesení vejce ubývá na hmotnosti v důsledku odpařování vody. Rychlost odpařování závisí na především na teplotě a relativní vlhkosti prostředí, dále také na velikosti vejce, propustnosti skořápky a množství pórů.

U čerstvě sneseného vejce je mezi žloutkem a bílkem rozdílný osmotický tlak a během stárnutí se tlak postupně vyrovnává – voda přechází z bílku do žloutku. V bílku se snižuje obsah vody a roste sušina, zatímco ve žloutku obsah sušiny klesá a zvyšuje se obsah vody. To může vést až k prasknutí žloutkové membrány, která se během skladování zeslabuje, a vylití žloutku do bílku.

Na tupém konci vejce se mezi dvěma vaječnými blánami tvoří vzduchová bublina, která je po snesení velice malá a zvětšuje se v závislosti na teplotě, stáří vejce a složení plynů v prostředí vejce. Za normálních podmínek je bublina vysoká 2-3 mm po 4-7 dnech skladování.

1.5.4.1 Změny bílku

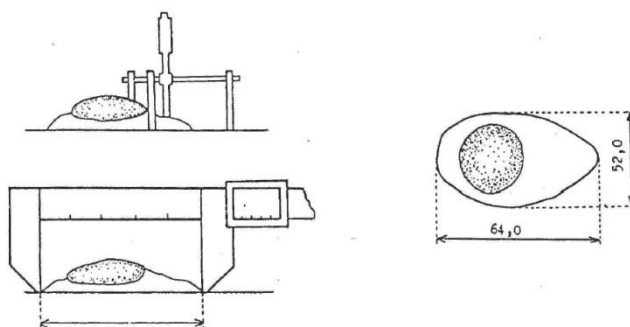
V důsledku odpařování CO_2 se zvyšuje pH bílku a struktura hustého bílku se mění. Síťovitá struktura se rozpadá a koloidně vázaná voda se uvolňuje, proto bílek postupně řídne. Tyto změny se charakterizují měřením výšky hustého bílku tzv. indexem bílku I_b ($I_b = H/D$). I_b je poměrem výšky (H) hustého bílku k jeho průměrné šířce (D).

$$I_b = H/G^{0,5} - (30W^{0,37} - 100)$$

H je výška hustého bílku (mm)

G je konstanta 32,2

W je hmotnost vejce (g)



Obrázek 6: Stanovení indexu bílku

Vrstva hustého bílku se během stárnutí vejce ztenčuje a rozlévá se do šířky.

Pro hodnocení jakosti vajec se nejčastěji používá Haughových jednotek (HU), které vyplývají z hmotnosti čerstvého vejce a výšky hustého bílku. Jsou definovány matematickým vztahem:

$$HU = 100 \cdot \log (H - 1,7 W^{0,37} + 7,6)$$

H je výška hustého bílku (mm)

W je hmotnost vejce (g)

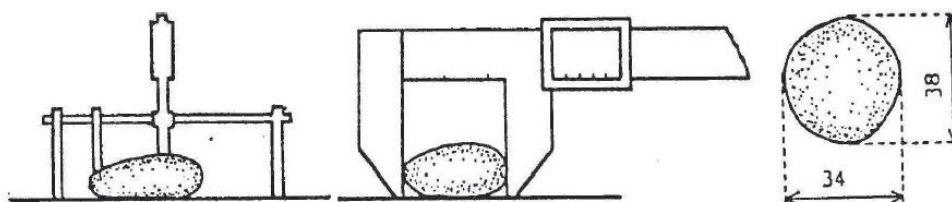
Čím vyšší je hodnota HU, tím vyšší je kvalita vejce.

Množství hustého bílku je v čerstvém vejci ovlivněno geneticky, intenzitou snášky a prostředím. Výška hustého bílku klesá se stářím nosnice a po snesení klesá trvale, což je ovlivněno výšenou teplotou, časem a snížením relativní vlhkosti vzduchu.

1.5.4.2 Změny žloutku

Žloutek podstoupí během stárnutí několik modifikací chemických a fyzikálních vlastností. Voda z bílku přechází do žloutku a tím se u obou snižuje viskozita a index žloutku. Také se během stárnutí ztenčuje blána žloutku a tím se ztěžuje oddělení žloutku od bílku, zvyšuje se pH, obsah pyroglutamové kyseliny a uridinu.

Index žloutku (I_z) je poměrem výšky žloutku k jeho šířce. Během stárnutí hodnoty I_z klesají.



Obrázek 7: Stanovení indexu žloutku

1.5.4.3 Změny vaječné skořápky

Kvalita vaječné skořápky je velmi významná pro kvalitu vajec. Při hodnocení je důležitá její pevnost, která má vliv na ztráty při manipulaci, transportu a zpracování, dále také pružnost a barva.

Pokud se teploty zvednou nad 32 °C, tloušťka a pevnost skořápky se snižuje.

1.6 Význam selenu pro drůbež

Selen je pro drůbež nepostradatelným stopovým prvkem. Při nedostatku selenu se snižuje užitkovost a plodnost drůbeže. Selen je mimo jiné důležitý pro udržení kvality semene kohoutů. Dostatečný obsah selenu ve vejci je také nezbytný pro funkčnost anti-oxidačního systému vyvíjejícího se zárodku. Líhnutí představuje také oxidační stres, a když má zárodek vyšší antioxidační ochranu, zvyšuje se i líhnivost vajec. Selen je také důležitý pro udržení vysoké plodnosti u starších rodičovských hejn.

Brojleři, kterým byl podáván organicky vázaný selen, vykazovali zlepšené přírůstky hmotnosti, využití krmiva, lepší zdravotní stav a menší okap volné vody z masa během skladování.

U nosnic bylo zjištěno, že podávání organického zdroje selenu vedlo ke zlepšení kvality vaječné skořápky, zlepšení trvanlivosti vajec a zvýšení produkce vajec.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce bylo porovnat vliv podávání doplňku selenu v organické a anorganické formě v krmivu nosnicím kura domácího na obsah selenu ve vejcích, možnosti zvýšení obsahu selenu ve vejcích za účelem jejich využití jako funkční potraviny pro člověka a vliv selenu na čerstvost vajec během skladování.

3 METODIKA

3.1 Místo provedení

Studie byla provedena v podniku Mezinárodní testování drůbeže (MTD), s.p., v Ústrašicích (Jižní Čechy). Pokus probíhal od 8. září do 26. listopadu 2014, v délce trvání 12 týdnů (odběry vajec proběhly 24. září pro 1. periodu, 22. října pro 2. periodu) Analýzy obsahu selenu byly provedeny v Centrální laboratoři Veterinární a farmaceutické univerzity v Brně. Měření parametrů stability vajec bylo provedeno v laboratoři podniku MTD.

3.2 Zvířata

Do pokusu bylo zařazeno 360 slepic genotypu Hubbard JA 757 (šlechtitel: společnost Hubbard S.A.S.).



Obrázek 8: Ustájení slepic

3.3 Ustájení

Slepice byly ustájeny v bezokenní hale s umělým osvětlením a plně řízeným mikroklimatem, na hluboké podestýlce (hoblíny). Jednotlivé boxy byly vybaveny skupinovými hnízdy. Vejce byla sbírána ručně, odděleně pro každou skupinu. Teplota v hale se pohybovala v rozmezí 18 – 20 °C, byla regulována příčnou ventilací (ventilátory na jedné straně haly, vstupy vzduchu na straně druhé), v případě chladného počasí byl vzduch ohříván plynovými hořáky. Světelný režim poskytoval nosnicím 15 hodin světla denně o intenzitě 40-60 luxů.

3.4 Krmení a napájení

Slepice dostávaly běžně používanou, živinově vyváženou krmnou směs pro nosnice, obsahující 25 % kukuřice, 41 % pšenice, 21 % sójového šrotu, 2 % pšeničných odtrub, 7 % vápence, 0,38 % soli a doplňky minerálních látek, vitamínů a esenciálních aminokyselin. Krmné směsi byly obohaceny organickým (selenové kvasnice) nebo anorganickým (seleničitan sodný) zdrojem selenu v množství odpovídajícím 0,3 ppm selenu v hotové krmné směsi nebo byly bez doplňku selenu (kontrolní skupina). Krmivo bylo zakládáno do krmítek každý den v 7 hodin ráno, ve 12 hodin byla na podlahu rozsypana celá zrna ovsu. Každý box byl vybaven dvěma napáječkami. Voda byla k dispozici 24 hodin denně.

3.5 Hygienická opatření

Před naskladněním slepic byla hala dezinfikována 1% roztokem Virkonu, který hubí parazitického roztoče čmelíka kuřího. Před vstupem do haly si musela každá osoba obléci čistý plášť a vydezinfikovat boty v chloraminové lázni.

3.6 Snáškové období

Kuřice byly do haly umístěny ve věku 19 týdnů. Snášet vejce začaly přibližně v 22. týdnu. Pokus byl zahájen ve 23. týdnu věku. Snáškové období bylo rozděleno na 10 čtyřtýdenních period, pro pokus byly využity první dvě periody.

3.7 Pokusné zásahy

Nosnice byly rozděleny do tří skupin:

- 1) *Organický selen* - krmivo obohacené selenovými kvasnicemi (přípravek Selsaf, výrobce Lesaffre Feed Additives, Francie) v množství poskytujícím 0,3 ppm selenu
- 2) *Anorganický selen* - krmivo obohacené seleničitanem sodným v množství poskytujícím 0,3 ppm selenu
- 3) *Kontrolní skupina* – krmivo bez doplňku selenu

3.8 Sledování obsahu selenu ve vejcích

Za každou periodu a pokusný zásah byly analyzovány vaječné žloutky a vaječné bílky zvlášť na obsah selenu.

3.8.1 Stanovení obsahu selenu

Selen se v roztoku stanoví atomovou absorpční spektrometrií s generováním hydridů po mikrovlnném tlakovém rozkladu a předredukčním kroku.

- 1) Nejprve byly naváženy homogenizované vzorky po 1 g do speciálních teflonových patron, jejichž stěny se primárně nezahřívají a ohřev nastává přímo v obsahu patrony.
- 2) Do každého vzorku bylo přidáno 6 ml 60% HNO_3 (kyselá hydrolýza - koagulace bílkovin) a 2 ml 30% H_2O_2 (následná oxidace).
- 3) Patrony byly uzavřeny pomocí momentového klíče a umístěny do rotoru pícky přístroje Milestone, kde se vzorky působením tlaku a vysokých teplot rozloží v systému pro tlakový rozklad s mikrovlnným ohřevem.
- 4) Výsledkem rozkladu byla kapalná forma materiálu, u které je třeba provést odpařování do minimálního objemu pomocí odpařovacího systému přístroje. Tím se odstraní nadbytečné množství kyselin a zvýší se citlivost stanovení.
- 5) V atomovém absorpčním spektrometru Thermo Scientific iCE 3500 se ionty selenu v roztoku redukuje kyselinou chlorovodíkovou na selen (IV) a jsou převedeny na selenovodík (SeH_2) pomocí tetrahydroboritanu sodného. Tento selenovodík je převeden proudem plynu do vytápěné měřicí kvyety a rozložen. Absorpce v přímce selenu při 196,0 nm odpovídá množství selenu.



Obrázek 10: Atomový absorpční spektrometr



Obrázek 9: Přístroj Milestone

3.9 Sledování stability vajec při skladování

V závěrečné periodě byly měřeny fyzikální parametry vajec (hmotnost celého vejce, hmotnost žloutku, Haughovy jednotky, index žloutku, pH žloutku, pH bílku. Měření byla prováděna v den 0 (= den snesení vejce), den 14, den 28 a den 35.



Obrázek 12: Měření hmotnosti vejce



Obrázek 11: Měření výšky bílku

3.10 Statistické zpracování výsledků

Získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny v programu Microsoft Excel. Byly vypočteny průměrné hodnoty, rozptyly, směrodatné odchylky a rozdíly mezi pokusnými skupinami byly porovnány pomocí Studentova t-testu (Test porovná, zda se výsledky měření v jedné skupině významně liší od výsledků měření ve druhé skupině.). Rozdíl mezi soubory dat byl považován za statisticky významný při hladině významnosti $P < 0,05$.

4 VÝSLEDKY A DISKUSE

4.1 Obsah selenu ve vejcích

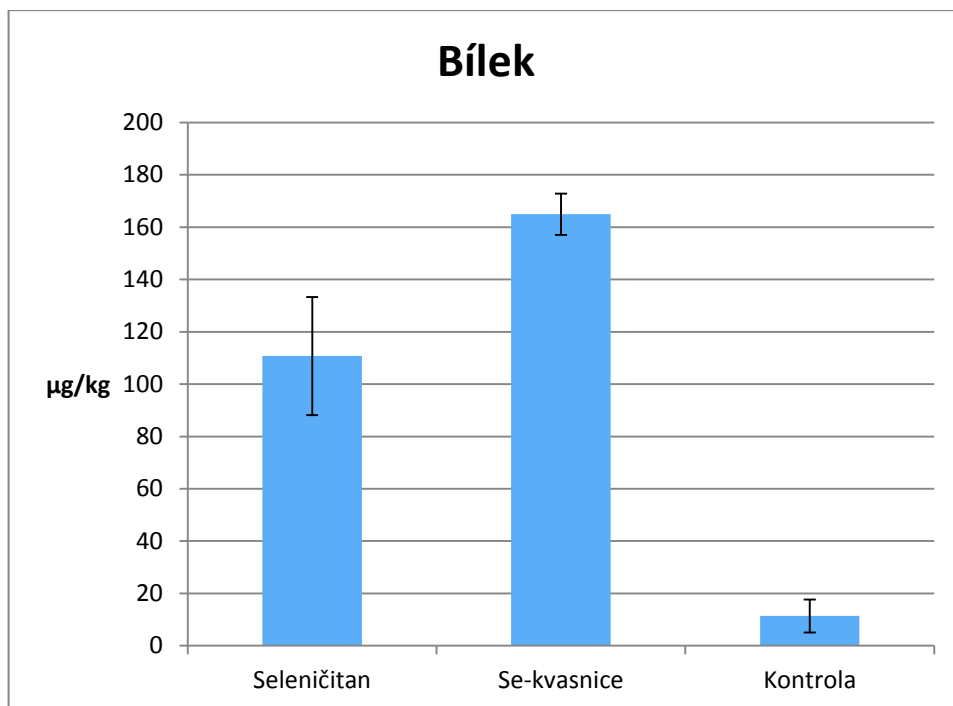
Hodnoty obsahu selenu byly měřeny zvlášť ve žloutku a v bílku. Obsah selenu ve žloutku je na rozdíl od bílku i bez doplňku selenu v krmivu vysoký. Jeho hodnoty ve žloutku jsou v průměru přibližně 492 $\mu\text{g/kg}$, zatímco v bílku 11 $\mu\text{g/kg}$.

Po podávání doplňků selenu v krmivu se obsah selenu výrazně zvýšil jak ve žloutku, tak i v bílku. U bílku hraje významnou roli forma podávaného selenu. V případě selenových kvasnic byly hodnoty v průměru o 62 $\mu\text{g/kg}$ vyšší než u seleničitanu a rozdíl byl statisticky vysoce významný ($P < 0,001$), zatímco u žloutku pravděpodobně na formě podávaného selenu tolik nezáleží, protože rozdíl mezi naměřenými hodnotami byl v průměru 15 $\mu\text{g/kg}$ a nebyla zde žádná statistická významnost.

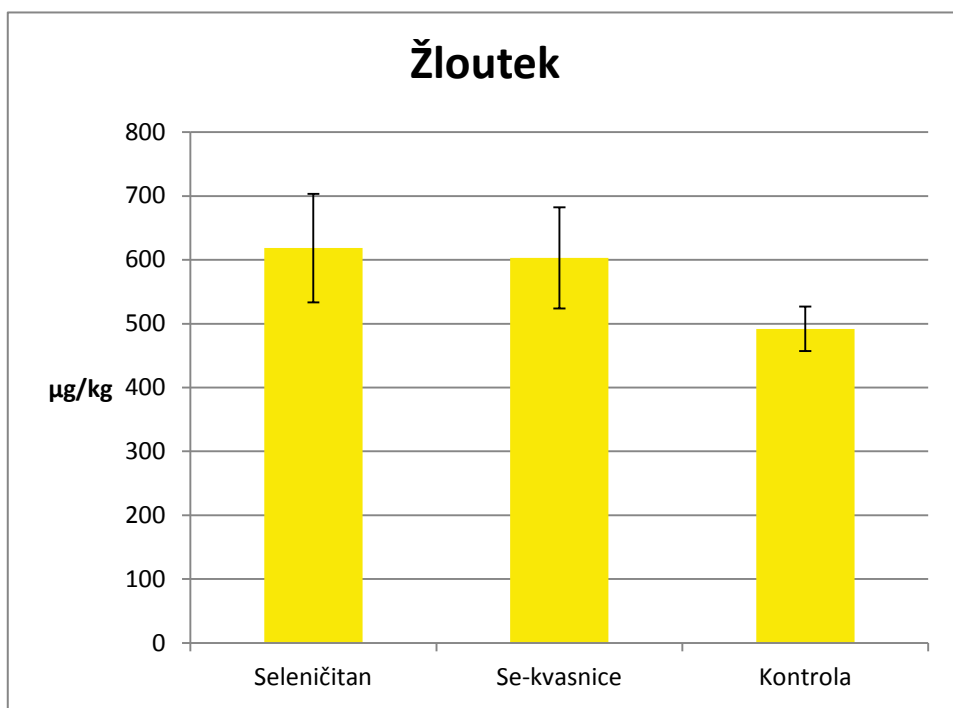
Hodnoty obsahu selenu v bílku byly po podávání doplňků selenových kvasnic o 154 $\mu\text{g/kg}$ a seleničitanu o 92 $\mu\text{g/kg}$ vyšší než v kontrolní skupině a jejich rozdíl byl statisticky vysoce významný ($P < 0,001$). Ve žloutku byly hodnoty po podávání doplňků selenových kvasnic o 111 $\mu\text{g/kg}$ a seleničitanu o 127 $\mu\text{g/kg}$ vyšší a jejich rozdíl byl také statisticky vysoce významný ($P < 0,001$).

Tabulka 2: Obsah selenu ve vejcích

Obsah selenu ($\mu\text{g/kg}$)	bílek ($\mu\text{g/kg}$)		žloutek ($\mu\text{g/kg}$)	
	průměr	S.D.	průměr	S.D.
Seleničitan	102,90 ^A	35,61	618,39 ^A	84,90
Se-kvasnice	164,91 ^B	7,88	602,91 ^A	79,28
Kontrola	11,37 ^C	6,30	491,89 ^B	34,83



Graf 1: Obsah selenu v bílku



Graf 2: Obsah selenu ve žloutku

4.2 Vliv selenu na kvalitu vajec při skladování

V důsledku přirozené variability biologického materiálu a skutečnosti, že v každé časové periodě byla měřena jiná vejce, protože se vejce měřením znehodnotí, v naměřených hodnotách mohou vzniknout určité odchylky, které mohou zkreslit zjištěné trendy.

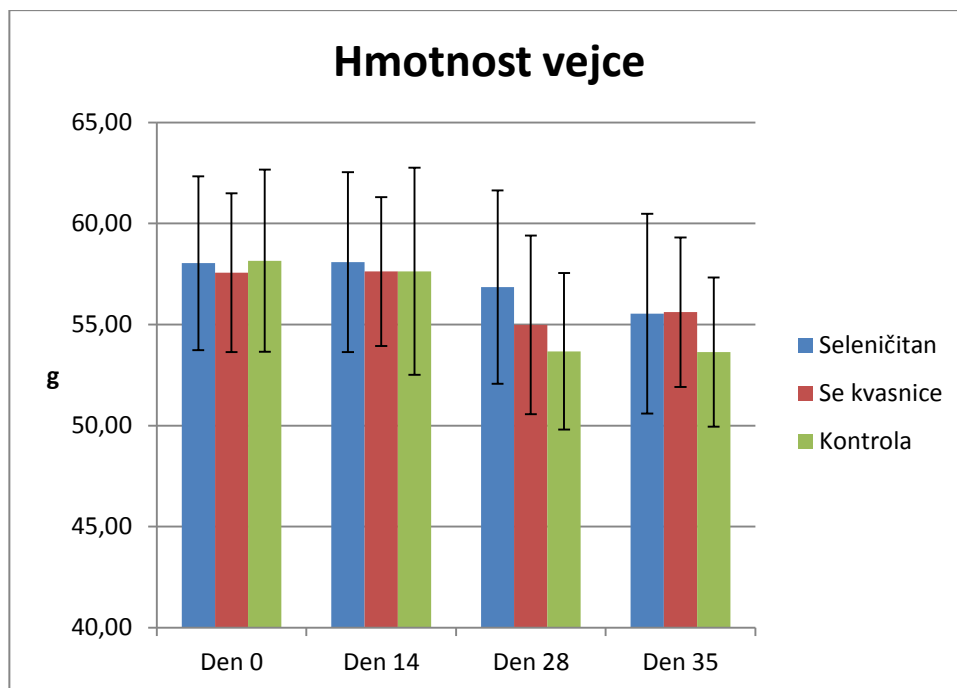
4.2.1 Hmotnost vejce

Rozdíly ve hmotnostech vajec ve 28. dni byly mezi kontrolní skupinou a seleničitanem statisticky významné ($P < 0,05$). Mezi ostatními skupinami statistická významnost nebyla. Je zde určitý trend, že hmotnost vajec postupně klesá v důsledku odpařování vody. Nejvyšší pokles byl zaznamenán u kontrolní skupiny a nejnižší v případě seleničitanu.

Podávání doplňků organického a anorganického selenu v naší studii neovlivnilo průměrnou hmotnost celých vajec při snesení. Byl pozorován určitý vliv na pokles průměrné hmotnosti v průběhu skladování vajec, který byl u obou suplementovaných skupin menší než ve skupině kontrolní.

Tabulka 3: Hmotnost vejce

Hmotnost vejce (g)	den 0		den 14		den 28		den 35	
	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.
Seleničitan	58,04	4,30	58,09	4,45	56,85 ^a	4,78	55,54	4,94
Se-kvasnice	57,56	3,93	57,62	3,68	54,98	4,42	55,61	3,70
Kontrola	58,16	4,51	57,63	5,12	53,68 ^b	3,87	53,64	3,69



Graf 3: Hmotnost vejce

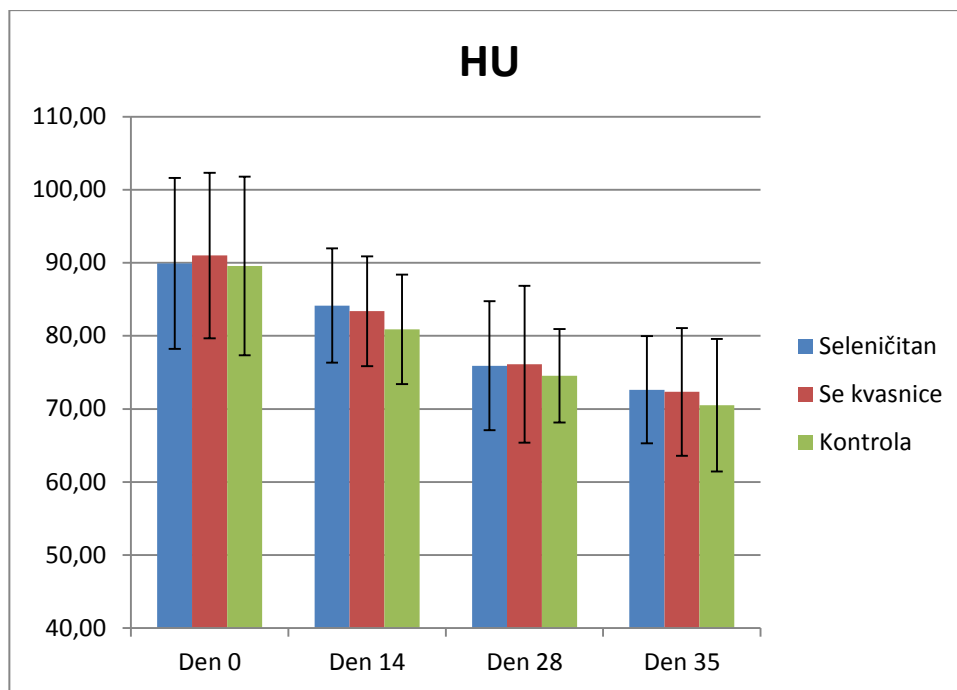
4.2.2 Haughovy jednotky

Rozdíly v Haughových jednotkách nebyly mezi jednotlivými skupinami statisticky významné. Přesto, že vejce v průběhu skladování ubývá na hmotnosti, je zde trend, že hodnota Haughovy jednotky postupně klesá (řidnutí hustého bílku). Nejvyšší hodnota Haughovy jednotky byla ve 0. a 28. dni naměřena u selenových kvasnic a ve 14. dni u seleničitanu.

Haughovy jednotky byly příznivě ovlivněny jak organickým tak anorganickým selenem v porovnání s kontrolní skupinou, a to po všech délkách skladování vajec (14, 28 a 35 dnů).

Tabulka 4: Haughovy jednotky

HU	den 0		den 14		den 28		den 35	
	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.
Seleničitan	89,92	11,72	84,15	7,83	75,91	8,82	72,63	7,35
Se-kvasnice	91,02	11,33	83,39	7,52	76,13	10,74	72,33	8,75
Kontrola	89,58	12,23	80,89	7,49	74,54	6,39	70,51	9,09



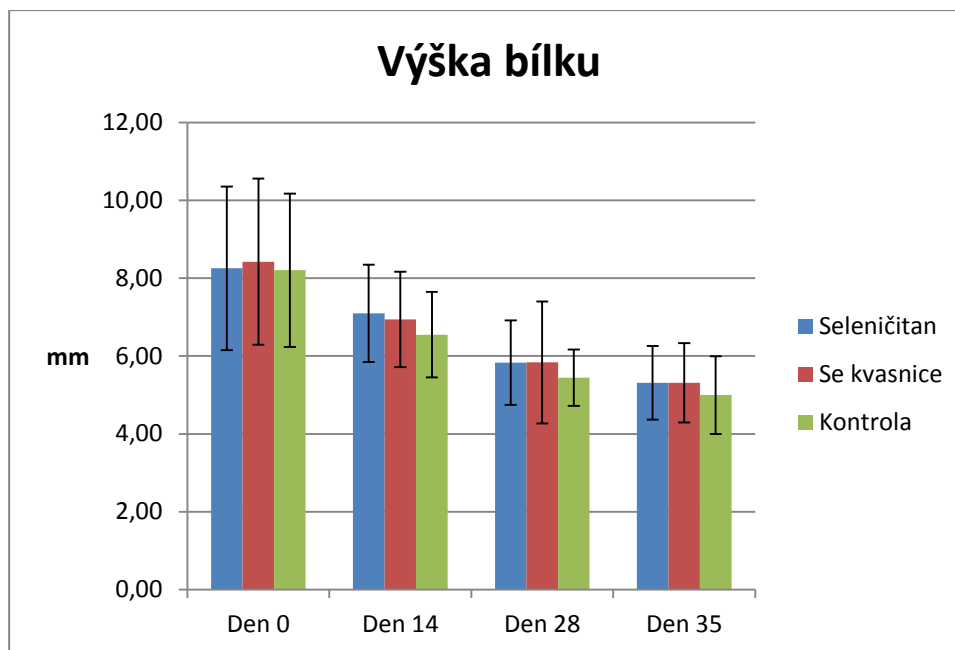
Graf 4: Haughovy jednotky

4.2.3 Výška hustého bílku

Rozdíly ve výšce hustých bílků nebyly mezi jednotlivými skupinami statisticky významné. Z důvodu řádnutí bílku v důsledku úbytku CO₂ pozorujeme trend snižování výšky hustého bílku. Nejvyšší hodnoty byly v 0. a 28. dni naměřeny u selenových kvasnic a ve 14. dni u seleničitanu. Výška hustého bílku byla ve všech časech měření skladovaných vajec nejmenší u kontrolní skupiny.

Tabulka 5: Výška hustého bílku

Výška bílku (mm)	den 0		den 14		den 28		den 35	
	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.
Seleničitan	8,26	2,10	7,09	1,25	5,83	1,09	5,31	0,95
Se-kvasnice	8,42	2,13	6,94	1,23	5,84	1,57	5,31	1,02
Kontrola	8,21	1,97	6,55	1,10	5,44	0,72	5,00	1,00



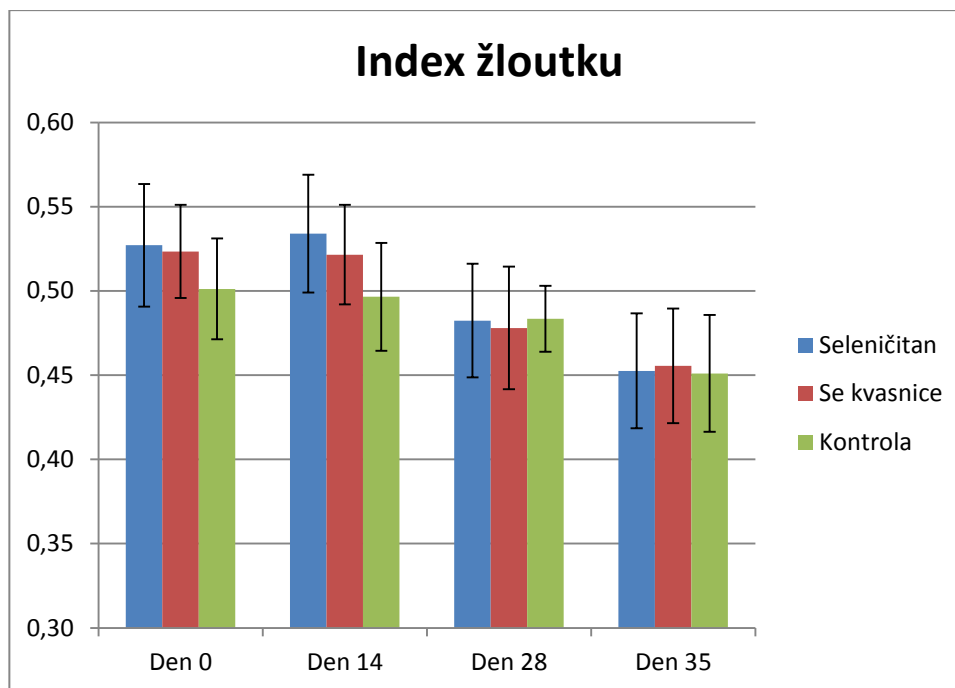
Graf 5: Výška hustého bílku

4.2.4 Index žloutku

Rozdíly v indexech žloutku byly statisticky významné ($P < 0,05$) v 0. a 14. dni mezi kontrolní skupinou a selenovými kvasnicemi. Mezi ostatními skupinami statistická významnost nebyla. Kvůli snižování viskozity a ztenčování blány žloutku se žloutek snižuje a rozšiřuje, tím pádem se hodnota indexu žloutku během skladování zmenšuje. V 0. a 14. dni byly hodnoty zaznamenány výrazně vyšší u seleničitanu a selenových kvasnic, ale ve 28. dni byly hodnoty všech tří skupin přibližně stejné. Ve 35. dni byly hodnoty nejvyšší u selenových kvasnic.

Tabulka 6: Index žloutku

Index žloutku	den 0		den 14		den 28		den 35	
	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.
Seleničitan	0,53	0,04	0,53	0,03	0,48	0,03	0,45	0,03
Se-kvasnice	0,52 ^a	0,03	0,52 ^a	0,03	0,48	0,04	0,46	0,03
Kontrola	0,50 ^b	0,03	0,50 ^b	0,03	0,48	0,02	0,45	0,03



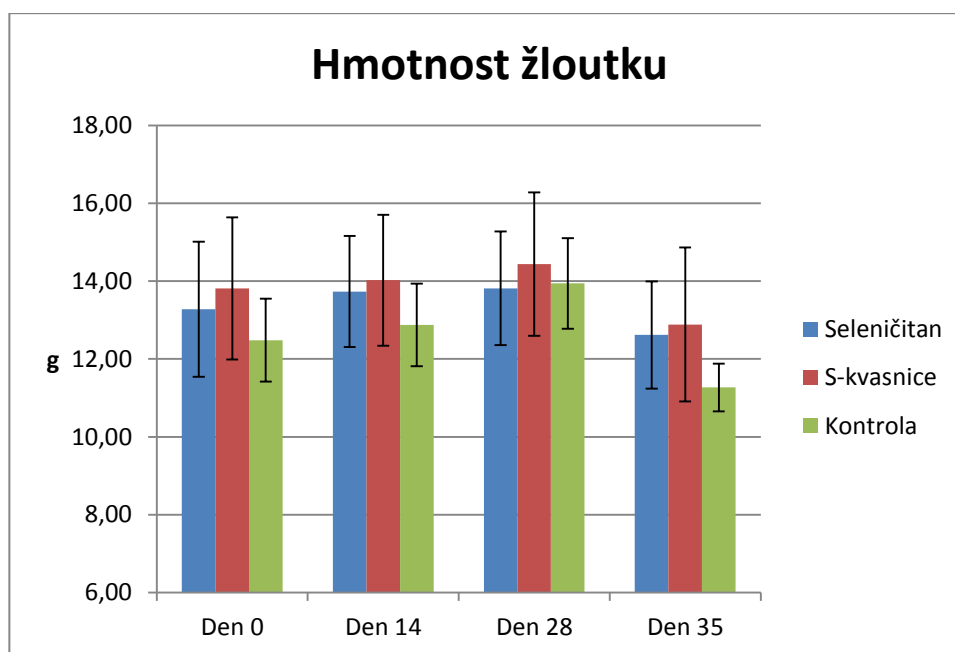
Graf 6: Index žloutku

4.2.5 Hmotnost žloutku

Hmotnost žloutku u čerstvě snesených vajec byla statisticky významně nejvyšší u selenových kvasnic ($P < 0,001$). Rozdíly ve hmotnostech žloutku v průběhu skladování byly statisticky významné ($P < 0,05$) ve 14. a 35. dni mezi seleničitanem a kontrolní skupinou, mezi selenovými kvasnicemi a kontrolní skupinou ve 35. dni a statisticky vysoce významné ($P < 0,001$) ve 14. dni mezi kontrolní skupinou a selenovými kvasnicemi. Nárůst hmotnosti žloutku od 0. do 28. dne, který byl pravděpodobně způsoben přecházením vody z bílku do žloutku, byl jednoznačně nejvyšší u kontrolní skupiny; u skupin s organickou a anorganickou formou selenu byl prakticky stejný. 35. den byl pozorován naopak pokles hmotnosti žloutku, a to ve všech skupinách, což je pravděpodobně způsobeno vysycháním celého vejce v důsledku dlouhého skladování při zvýšené teplotě (15°C). (V současnosti je v naší legislativě stanovena minimální trvanlivost konzumních slepičích vajec 28 dní, při teplotě skladování $5-8^{\circ}\text{C}$.) Hmotnost žloutku byla naměřena nejvyšší ve všech měřeních v případě selenových kvasnic, nejnižší hmotnosti byly naměřeny v 0., 14. a 35. dni u kontrolní skupiny a ve 28. dni u seleničitanu.

Tabulka 7: Hmotnost žloutku

Hmotnost žloutku (g)	den 0		den 14		den 28		den 35	
	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.
Seleničitan	13,28	1,73	13,73 ^a	1,43	13,81	1,46	12,62 ^a	1,38
Se-kvasnice	13,81 ^A	1,83	14,02 ^A	1,68	14,44	1,84	12,88 ^a	1,98
Kontrola	12,48 ^B	1,06	12,88 ^B	1,06	13,94	1,16	11,27 ^b	0,62



Graf 7: Hmotnost žloutku

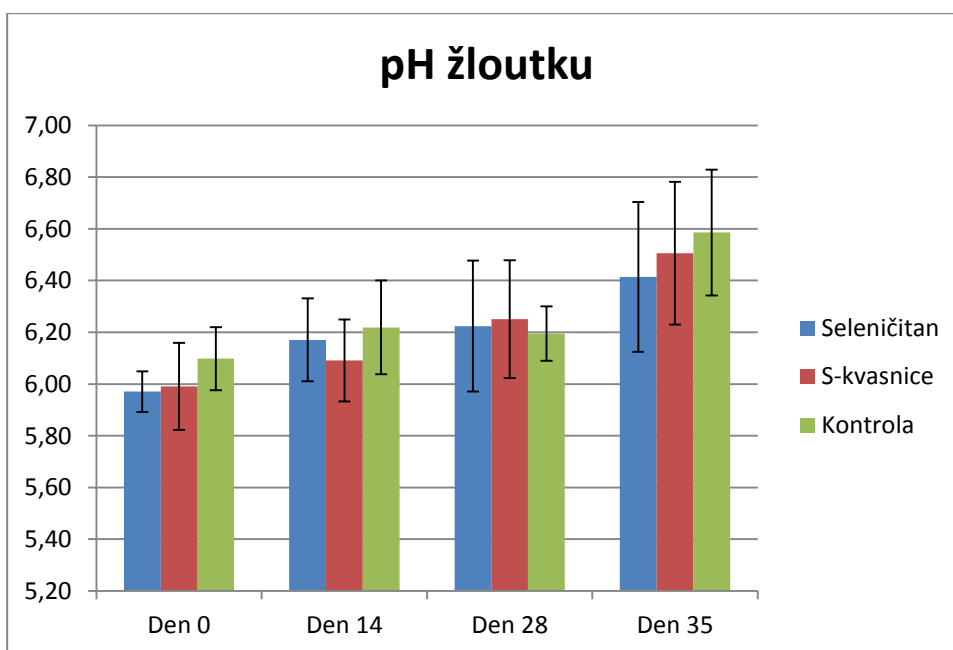
4.2.6 pH žloutku

Rozdíly v pH žloutku byly statisticky významné ($P < 0,05$) v 0. dni mezi selenovými kvasnicemi a kontrolní skupinou a statisticky vysoce významné ($P < 0,001$) mezi kontrolní skupinou a seleničitanem. Mezi ostatními skupinami statistická významnost nebyla. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v 0. a 14. dni u kontroly a ve 28. dni u selenových kvasnic. Nejnižší hodnoty byly v 0. dni naměřeny u seleničitanu, ve 14. dni u selenových kvasnic a ve 28. dni u kontroly.

pH žloutku nebylo ovlivněno pokusnými zásahy, můžeme pozorovat jeho postupné zvyšování ve všech skupinách v důsledku zvyšování koncentrace amoniaku uvolňovaného z bílkovin v průběhu stárnutí vejce.

Tabulka 8: pH žloutku

pH žloutku	den 0		den 14		den 28		den 35	
	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.
Seleničitan	5,97 ^A	0,08	6,17	0,16	6,22	0,25	6,41	0,29
Se-kvasnice	5,99 ^a	0,17	6,09	0,16	6,25	0,23	6,51	0,28
Kontrola	6,10 ^B	0,12	6,22	0,18	6,19	0,11	6,59	0,24



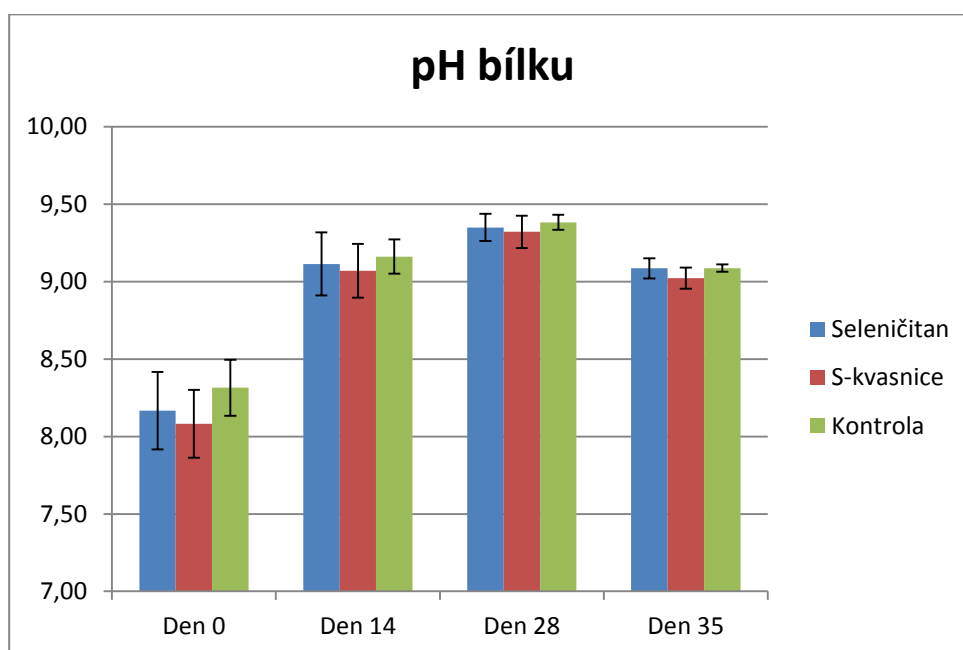
Graf 8: pH žloutku

pH bílku

Rozdíly v pH bílku byly statisticky významné ($P < 0,05$) ve 28. dni a statisticky vysoce významné ($P < 0,001$) v 0. dni mezi selenovými kvasnicemi a kontrolní skupinou. Během skladování pH bílku postupně roste z důvodu postupného odpařování oxidu uhličitého. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny ve všech měřeních u kontroly a nejnižší u selenových kvasnic.

Tabulka 9: pH bílku

pH bílku	den 0		den 14		den 28		den 35	
	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.	průměr	S.D.
Seleničitan	8,17	0,25	9,11	0,20	9,35	0,09	9,09 ^a	0,06
Se-kvasnice	8,08 ^A	0,22	9,07	0,17	9,32 ^a	0,10	9,02 ^b	0,07
Kontrola	8,31 ^B	0,18	9,16	0,11	9,38 ^b	0,05	9,09 ^a	0,02



Graf 9: pH bílku

5 ZÁVĚR

V praktické části jsem porovnávala vliv selenu v organické a anorganické formě na obsah selenu ve vejcích a na kvalitu vajec během skladování.

Výsledky měření obsahu selenu ve vejcích potvrdily předpoklad, že podávání doplňků selenu v organické formě nosnicím vede k výrazně většímu obsahu selenu ve vejcích. Proto je z hlediska produkce funkčních potravin lepší doplňovat krmné směsi nosnic selenovými kvasnicemi než seleničitanem sodným. Zajímavým zjištěním bylo značné zvýšení obsahu selenu v bílku u obou suplementovaných skupin přesto, že na rozdíl od žloutku je bez krmného doplňku selenu jeho obsah velmi nízký. Podávání doplňků selenu nosnicím nemá žádný negativní vliv na kvalitu vajec během skladování.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Bennett, D. C., Cheng, K. M.: Selenium enrichment of table eggs. University of British Columbia, Vancouver, Canada, 2010
2. Dastyh, M.: Selen - esenciální stopový prvek. Fakultní nemocnice Brno,
3. Departement of Health: Dietary Reference Values for Food Energy and Nutrients for the United Kingdom (Report on Health and Social Subjects, No 41). London, UK, 1991
4. Doležalová, P.: Vliv selenu na antioxidační status organismu. Mendelova univerzita, Brno, 2013
5. Fisinin, V. I., Papazyan. T. T., Surai, P. F.: Producing selenium-enriched eggs and meat to improve the selenium status of the general population. *Critical Reviews in Biotechnology*, 2009, ISSN 0738-8551
6. Hanzlíková, J.: Jakostní charakteristiky vajec v průběhu skladování. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 2006
7. Panel on Dietary Antioxidants and Related Compounds: Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, 2000, ISBN 0-309-59719-6
8. Périć, L., Ródić, V., Milošević, N.: Production of poultry meet and eggs as functional food – challenges and opportunities. Faculty of Agriculture, Novi Sad, Republic of Serbia, 2011, ISSN 1450-9156
9. Skřivan, M.: Zvýšení obsahu selenu ve vejcích. Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i., Praha Uhřetěves, 2009, ISBN 978-80-7403-031-4
10. Surai P.F., Taylor-Pickard J.A.: Current Advances in Selenium Research and Applications. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 2008, ISBN 978-90-8686-073-9
11. Vašková, P.: Selen v lidské výživě. Masarykova univerzita, Brno, 2006
12. Zíma, P.: Funkční potraviny. Masarykova univerzita, Brno, 2007

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Cyklus selenu v potravním řetězci zvířat a člověka

Obrázek 2: Zdravotní přínosy selenu pro lidský organismus

Obrázek 3: Selenomethionin

Obrázek 4: Selenocystein

Obrázek 5: Stavba vejce (<http://www.biomach.cz/biologie-zivocichua/ptaci-aves-1>)

Obrázek 6: Stanovení indexu bílku (Hanzlíková, 2006)

Obrázek 7: Stanovení indexu žloutku (Hanzlíková, 2006)

Obrázek 8: Ustájení slepic

Obrázek 9: Přístroj Milestone

Obrázek 10: Atomový absorpční spektrometr

Obrázek 11: Měření výšky bílku

Obrázek 12: Měření hmotnosti vejce

8 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Průměrný příjem selenu na člověka ([Surai, 2008](#))

Tabulka 2: Obsah selenu ve vejcích

Tabulka 3: Hmotnost vejce

Tabulka 4: Haughovy jednotky

Tabulka 5: Výška hustého bílku

Tabulka 6: Index žloutku

Tabulka 7: Hmotnost žloutku

Tabulka 8: pH žloutku

Tabulka 9: pH bílku

9 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Obsah selenu v bílku

Graf 2: Obsah selenu ve žloutku

Graf 3: Hmotnost vejce

Graf 4: Haughovy jednotky

Graf 5: Výška hustého bílku

Graf 6: Index žloutku

Graf 7: Hmotnost žloutku

Graf 8: pH žloutku

Graf 9: pH bílku