

## Vědecký výbor výživy zvířat

# Uplatnění selenu, přírodních a syntetických karotenoidů a vitamínu C ve výživě nosnic a brojlerových kuřat

Prof. Ing. Miloš Skřivan, DrSc.  
Ing. Michaela Englmaierová, Ph.D.  
Doc. MVDr. Eva Skřivanová, Ph.D.

Praha, listopad 2015



**Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i.**  
Přátelství 815, Praha - Uhřetěves,  
PŠČ: 104 01, [www.vuzv.cz](http://www.vuzv.cz)

## Anotace

Společným znakem látek, o nichž tato studie pojednává, je jejich antioxidační aktivita. Látky s antioxidační aktivitou mají ve výživě drůbeže široké uplatnění. Studie shrnuje výsledky pokusů s antioxidanty u nosnic a brojlerových kuřat z hlediska vlivu na užitkovost a kvalitu produkce. Jsou srovnány tři zdroje selenu – seleničitan, selenové kvasnice a řasa *Chlorella* obohacená selenem. Řasa *Chlorella* obohacená selenem se vyrovnala selenovým kvasnicím. Všechny tři zdroje selenu zvýšily ukládání vitamínu E ve žloutku, obohatily vejce o selen a zvýšily jejich oxidační stabilitu. Vitamin C oxidační stabilitu lipidů žloutku zhoršil, oxidační stabilitu lipidů masa kuřat naopak zvýšil. Karotenoidy ve výživě drůbeže slouží ke zvýšení oxidační stability lipidů vajec a masa a k zvýraznění barvy žloutku a kůže. Výsledky dokazují, že syntetické karotenoidy lze nahradit šetrně sušenou řasou *Chlorella* nebo extraktem květů aksamitníku. *Chlorella* i extrakt aksamitníku v žloutku zvyšují obsah luteinu a zeaxanthinu, což jsou karotenoidy, které chrání sítnici oka před oxidačním poškozením. Vysoký obsah obou karotenoidů je také v žloutku nosnic s přístupem k pastvě. Přídavek semene hořčice do krmiva nevedl k obohacení žloutku o karotenoidy. Z výsledků vyplývá, že přestup karotenoidů z krmiva do vajec je vysoký. Neplatí to pro  $\beta$ -karoten, jehož se z krmiva do žloutku dostává jen velmi málo.

This study deals with the substances whose common characteristic is the antioxidant activity. Substances with antioxidant activity are widely used in poultry nutrition. The study summarizes the results of experiments with antioxidants in laying hens and broiler chickens in terms of the impact on performance and quality of production. Three sources of selenium were compared - selenite, selenized yeast and alga *Chlorella* enriched by selenium. Alga *Chlorella* enriched with selenium equalled to selenized yeast. All three sources of selenium increased the storage of vitamin E in the yolk, enriched the eggs by selenium and improved their oxidative stability. Vitamin C worsened oxidative stability of yolk lipids, but increased oxidative stability of chicken meat lipids. Carotenoids in poultry nutrition serve to increase the oxidative stability of eggs and meat lipids, and to highlight the colour of the yolk and skin. The results show that the synthetic carotenoids can be replaced by gently dried alga *Chlorella* or by marigold flowers extract. *Chlorella* and marigold extract increase the content of lutein and zeaxanthin in yolk. Lutein and zeaxanthin are the carotenoids, which protect the retina against oxidative damage. The high content of both carotenoids is also in the yolk of laying hens with access to pasture. The addition of mustard seed into the mixed feed did not lead to the enrichment of yolk by carotenoids. The results show that the transfer of carotenoids from feed to eggs is high, except  $\beta$ -carotene.

# Obsah

Anotace.....	2
Seznam tabulek .....	4
1. Úvod.....	6
2. Použití selenu ve výživě drůbeže .....	10
2.1 Srovnání seleničitanu s organickými zdroji selenu .....	10
2.2 Vliv zdrojů selenu na obsah vitamínu E .....	11
2.3 Srovnání selenomethioninu a seleničitanu .....	12
2.4 Účinek kombinace zdrojů selenu a vitamínu C .....	15
3. Použití karotenoidů ve výživě drůbeže .....	17
3.1 Pokus s řasou <i>Chlorella</i> .....	17
3.2 Srovnání syntetických karotenoidů, luteinu a řasy <i>Chlorella</i> .....	18
3.3 Pokus s aksamitníkem při nižším dávkování extraktu .....	20
3.4 Srovnání syntetických karotenoidů s extraktem aksamitníku .....	22
3.5 Pokus s aksamitníkem při vyšším dávkování extraktu .....	23
3.6 Srovnání syntetických karotenoidů, luteinu a semene hořčice .....	25
3.7 Vliv pastvy na užitkovost nosnic a kvalitu vajec.....	27
4. Použití antioxidantů ve výživě kuřecích brojlerů.....	29
4.1 Účinek kvasnic a řasy <i>Chlorella</i> obohacených selenem na obsah selenu a $\alpha$ -tokoferolu v mase kuřat.....	29
4.2 Vliv kombinace selenu a vitamínu C na složení a oxidační stabilitu masa kuřat.....	31
4.3 Účinek lycopenu a vitamínu E na užitkovost, obsah antioxidantů v mase kuřat a oxidační stabilitu masa .....	32
4.4 Účinek kombinace vitamínu E a kyseliny kaprylové u kuřecích brojlerů.....	34
5. Shrnutí a diskuse .....	35
5.1 Selen a vitamín E.....	35
5.2 Selen a vitamín C.....	36
5.3 Karotenoidy.....	36
6. Závěr .....	37
7. Literatura .....	37

## Seznam tabulek

<b>Tabulka 1.</b> Užítkovost nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji selenu v dietě. Zdroje Se byly přidány à 0,3 mg/kg.	10
<b>Tabulka 2.</b> Parametry kvality bílku, žloutku a skořápky nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji selenu.	11
<b>Tabulka 3.</b> Obsah selenu a $\alpha$ -tokoferolu v dietě a žloutku nosnic ISA Brown při různých zdrojích Se.	12
<b>Tabulka 4.</b> Koncentrace produktů oxidačního poškození lipidů (TBARS) v žloutku nosnic při různých zdrojích selenu v dietě.	12
<b>Tabulka 5.</b> Obsah $\alpha$ -tokoferolu a selenu v žloutku a bílku u nosnic ISA Brown při doplnění diety selenomethioninem nebo seleničitanem.	13
<b>Tabulka 6.</b> Obsah $\alpha$ -tokoferolu a retinolu v žloutku nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji selenu v dietě a přídatku $\alpha$ -tokoferolu.	14
<b>Tabulka 7.</b> Koncentrace produktů oxidačního poškození lipidů (TBARS) v žloutku nosnic ISA Brown, v závislosti na zdroji Se v dietě a přídatku $\alpha$ -tokoferolu. K analýzám byla vzata vejce čerstvá a skladovaná 2 týdny při 4°C.	14
<b>Tabulka 8.</b> Užítkovost nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji selenu v dietě a přídatku vitamínu C.	15
<b>Tabulka 9.</b> Koncentrace železa a selenu ve vejcích nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji Se v dietě a přídatku vitamínu C.	16
<b>Tabulka 10.</b> Koncentrace produktů oxidačního poškození lipidů (TBARS) v žloutku nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji Se v dietě a přídatku vitamínu C. K analýzám byla vzata vejce čerstvá a skladovaná 14 a 28 dní při 4°C.	16
<b>Tabulka 11.</b> Užítkovost nosnic Hisex Brown v závislosti na přídatku suché řasy Chlorella do krmné směsi.	17
<b>Tabulka 12.</b> Obsah karotenoidů v žloutku nosnic Hisex Brown v závislosti na přídatku suché řasy Chlorella do krmné směsi.	18
<b>Tabulka 13.</b> Užítkovost nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě.	18
<b>Tabulka 14.</b> Hmotnost a barva žloutku, hmotnost bílku a kvalita skořápky u nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě.	19
<b>Tabulka 15.</b> Koncentrace oxidačního poškození lipidů (TBARS) v žloutku nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě. K analýzám byla vzata vejce čerstvá a skladovaná 28 dnů při teplotě 18°C.	20
<b>Tabulka 16.</b> Obsah karotenoidů, retinolu a $\alpha$ -tokoferolu v žloutku nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě.	20
<b>Tabulka 17.</b> Účinek přídatku extraktu aksamitníku na užítkovost nosnic ISA Brown.	21
<b>Tabulka 18.</b> Účinek přídatku extraktu aksamitníku na barvu žloutku u nosnic ISA Brown.	21
<b>Tabulka 19.</b> Obsah luteinu a zeaxanthinu v žloutku nosnic ISA Brown v závislosti na přídatku extraktu aksamitníku.	22

<b>Tabulka 20.</b> Barva žloutku, obsah luteinu, zeaxanthinu a $\alpha$ -tokoferolu v žloutku nosnic Hisex v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě.	22
<b>Tabulka 21.</b> Užitekvnost nosnic Lohmann Brown v závislosti na přířlavku extraktu aksamitníku do krmiva.	23
<b>Tabulka 22.</b> Technologicky významné parametry vajec při různých přířlavcích extraktu aksamitníku do krmiva.	23
<b>Tabulka 23.</b> Obsah karotenoidů, retinolu a $\alpha$ -tokoferolu v žloutku nosnic krměných směsí s přířlavkem extraktu aksamitníku.	24
<b>Tabulka 24.</b> Barva žloutku v závislosti na přířlavku extraktu aksamitníku do krmiva.	24
<b>Tabulka 25.</b> Vliv přířlavku extraktu aksamitníku na koncentraci produktů oxidačního poškozění lipidů žloutku (TBARS). Srovnání vajec čerstvých a skladovaných 28 dnů při 18°C.	25
<b>Tabulka 26.</b> Užitekvnost nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě.	25
<b>Tabulka 27.</b> Parametry kvality vajec nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě.	26
<b>Tabulka 28.</b> Barva žloutku a obsah karotenoidů, retinolu a $\alpha$ -tokoferolu u nosnic ISA Brown při různém zdroji karotenoidů v dietě.	26
<b>Tabulka 29.</b> Obsah karotenoidů, retinolu a $\alpha$ -tokoferolu v pastvě a krmivech nosnic.	27
<b>Tabulka 30.</b> Užitekvnost nosnic Dominant Silver a charakteristika vajec.	27
<b>Tabulka 31.</b> Barva žloutku, obsah karotenoidů, retinolu a $\alpha$ -tokoferolu u nosnic Dominant Silver kontrolních a nosnic s přístupem k trávě.	28
<b>Tabulka 32.</b> Koncentrace produktů oxidačního poškozění lipidů (TBARS) v žloutku nosnic Dominant Silver. K analýzám byla vzata vejce čerstvá a skladovaná 28 dnů při 18°C.	28
<b>Tabulka 33.</b> Užitekvnost kuřecích brojlerů ROSS 308 pro doplnění krmné směsi o selenové kvasnice a řasu Chlorella.	29
<b>Tabulka 34.</b> Obsah selenu ve vzorcích tkání, exkrementech a peří kuřat při doplnění krmné směsi kuřat o selenové kvasnice a selenovou řasu.	30
<b>Tabulka 35.</b> Obsah selenu a $\alpha$ -tokoferolu v dietě, svalech a játrech kuřecích brojlerů ROSS 308 v závislosti na zdroji organického selenu.	30
<b>Tabulka 36.</b> Obsah vitamínu C, selenu a tuku v stehenním svalu v závislosti na přířlavku vitamínu C a zdrojů selenu do krmiva kuřat.	31
<b>Tabulka 37.</b> Oxidační stabilita masa kuřat (TBARS) vyjádřená obsahem malondialdehydu v závislosti na přířlavku vitamínu C a selenu.	32
<b>Tabulka 38.</b> Užitekvnost kuřat při různém obsahu vitamínu E a lykopenu v krmivu.	33
<b>Tabulka 39.</b> Obsah tuku, vitamínů E a A v stehenním svalu a obsah karotenoidů v játrech kuřat.	33
<b>Tabulka 40.</b> Oxidační stabilita masa kuřat vyjádřená obsahem malondialdehydu (MDA) v závislosti na přířlavku vitamínu E a lykopenu.	34
<b>Tabulka 41.</b> Účinek kyseliny kaprylové v kombinaci s vitamínem E na růst kuřat a oxidační stabilitu masa.	34

## 1. Úvod

Látky, které jsou předmětem této studie, jsou význačnými antioxidanty, současně však plní i úkoly jiné. V roli antioxidantů chrání organismus proti reaktivním formám kyslíku. Reaktivní formy kyslíku zahrnují nejen kyslíkové radikály, ale i neradikálové sloučeniny jako je peroxid vodíku a singletový kyslík. Negativní účinky reaktivních forem kyslíku zahrnují poškození nukleových kyselin, dalších bipolymerů a buněčných membrán [1]. Tyto účinky jsou daní za život v atmosféře s kyslíkem. Aerobní atmosféra umožnila daleko větší zisk energie než atmosféra anaerobní a bez ní by nevznikly složitější formy života. Vznik reaktivních forem kyslíku má ale i pozitivní stránku. Příkladem je vznik oxidu dusnatého, jehož molekula má volný nepárový elektron, je tudíž radikálem. Oxid dusnatý je důležitá signální molekula. Působí na hladké svalstvo cév (vazodilatace), svalstvo trávicí trubice, také na erekci. Primárně vzniká z argininu [2]. Dalším příkladem je tvorba superoxidového radikálu a peroxidu vodíku ve fagocytujících leukocytech – tzv. respirační vzplanutí [3]. Při respiračním vzplanutí se navíc ionty  $\text{Cl}^-$  a  $\text{Br}^-$  mění na kyslíkaté kyseliny  $\text{HClO}$  a  $\text{HBrO}$ , což v souhrnu vede k usmrcení bakterie pohlcené leukocytem. Třetím příkladem pozitivního významu reaktivních forem kyslíku je syntéza ligninu v rostlinách. Lignin vzniká kondenzací radikálů fenolických sloučenin, tato je neenzymatická, z čehož vyplývá neuspořádaná struktura ligninu.

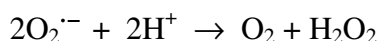
Reaktivní formy kyslíku vznikají různými cestami. Vznikají jako vedlejší produkt činnosti dýchacího řetězce v mitochondriích, účinkem ionizujícího záření i látkami vnějšího prostředí (cigaretový kouř, herbicidy, těžké kovy, průmyslové polutanty) [4]. Jednoelektronovou redukcí kyslíku vzniká **superoxidový anion**  $\text{O}_2^{\cdot-}$ . Spontánně, nebo účinkem superoxidodismutasy dismutuje na  $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}_2$ . **Peroxid vodíku** je rozkládán katalasou na vodu a molekulární kyslík. Peroxidací lipidů vzniká **peroxylový radikál**. Nejnebezpečnější reaktivní forma kyslíku je **hydroxylový radikál**, který vzniká Fentonovou reakcí v přítomnosti iontů  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Cu}^+$ :



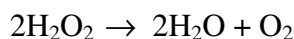
**Singletový kyslík** představuje excitovaný stav kyslíkové molekuly. Vzniká při různých chemických, biochemických a fotochemických reakcích a fyzikálních dějích. Je mnohem reaktivnější než běžný kyslík. Existují i další reaktivní formy kyslíku a dusíku.

Hlavní cílové struktury pro reaktivní formy kyslíku v buňkách jsou nenasycené mastné kyseliny v lipidech membrán [5]. Reakcí s dvojnými vazbami vznikají peroxidy a aldehydy. Dochází ke ztrátě funkcí membrán. Poškozovány jsou také proteiny (změny v aktivitě enzymů) a nukleové kyseliny (mutace a translační chyby). Tzv. **oxidační stres** je v pozadí řady chronických onemocnění jako je aterosklerosa, diabetes, revmatická onemocnění, chronické záněty, Alzheimerova choroba.

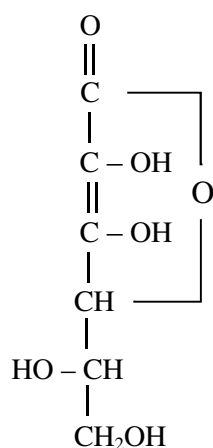
Látky, které omezují aktivitu reaktivních forem kyslíku, snižují pravděpodobnost jejich vzniku nebo je převádí do nereaktivních stavů, jsou **antioxidanty** [6]. Lze je rozdělit na antioxidanty endogenní a přijímané potravou. **Endogenní antioxidanty** jsou nízkomolekulární látky nebo proteiny. Do první skupiny patří kyselina močová (produkt degradace purinů) [7], bilirubin (produkt degradace hemoglobinu) a glutathion (intracelulární tripeptid složený z kyseliny glutamové, cysteinu a glycinu). K vysokomolekulárním endogenním antioxidantům patří glutathionperoxidasa, což je selenoenzym rozkládající peroxidy [8]. Dále proteiny, které váží Fe a Cu tak, aby nemohly katalyzovat vznik reaktivních forem kyslíku. Je to ferritin, který skladuje Fe, transferin (transportuje Fe), ceruloplasmin a albumin (transportují Cu). Superoxiddismutasa katalyzuje dismutaci superoxidového anionu



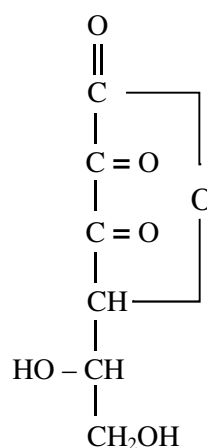
Katalasa katalyzuje dismutaci peroxidu vodíku na kyslík a vodu.



**Antioxidanty přijímané potravou** mívají kromě ochrany proti reaktivním formám kyslíku i další významné úkoly. Kyselina L-askorbová, tj. známý vitamin C, je hlavní antioxidant v cytosolu. Reakcí s reaktivními formami kyslíku se mění na kyselinu dehydroaskorbovou, z které v případě potřeby může být regenerována glutathionem. Vedle antioxidantní funkce je kofaktorem hydroxylace prolinu při syntéze kolagenu. Účastní se syntézy žlučových kyselin z cholesterolu a je potřebný pro syntézu adrenalinu. V určitých případech může být pro-oxidantem [9, 10]. Podobně má i další úkoly vitamin E. Potravou přijímáme také karotenoidy a flavonoidy. I karotenoidy mohou mít další specifické úkoly, např. karoteny jsou provitaminy A.

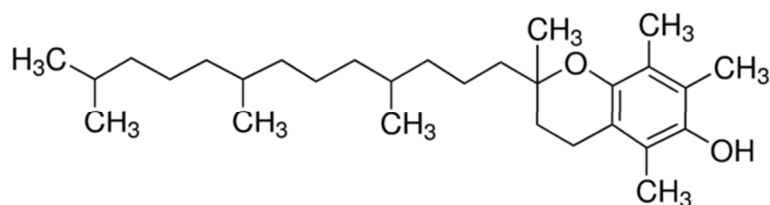


Kyselina askorbová



Kyselina dehydroaskorbová

**Vitamin E** je lipofilní vitamin, který chrání membránové lipidy. Představuje skupinu několika látek, z nichž hlavní je  $\alpha$ -tokoferol [1]. Má význam i pro plodnost a imunitní systém. Působí synergicky se selenem. V sojovém oleji je více  $\gamma$ -tokoferolu než  $\alpha$ -tokoferolu. Má o jednu metylovou skupinu méně, tudíž je méně lipofilní. Lépe detoxikuje oxidy dusíku ( $\alpha$ -tokoferol zase lépe vychytává volné radikály). Aktivitu vitaminu E mají také tokotrienoly.

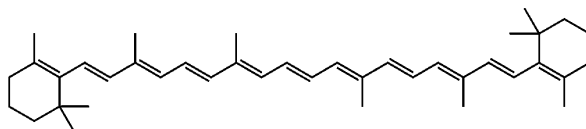


$\alpha$ -tokoferol

Také **vitamin A** má řadu funkcí. Má nezastupitelnou úlohu při mechanismu vidění, je potřebný pro vývoj sliznic, funkci imunitního systému, buněčnou diferenciaci, reprodukci a vývoj kostí, kontroluje expresi některých genů [11, 12].

**Karotenoidy** představují skupinu kolem 600 barevných látek v rostlinách, druhotně také u hmyzu, ptáků a korýšů [13]. Rozdělují se na karoteny, které jsou uhlovodíky a na xanthofyly, které obsahují aspoň jeden atom kyslíku. **Karoteny** jsou provitaminy A. Na vznik 1 mg vitaminu A je třeba 12 mg  $\beta$ -karotenu nebo dvojnásobek  $\alpha$ - a  $\gamma$ -karotenu [14]. Je-li dostatek vitaminu A, pak se karoteny nevyužívají. I karotenoidy bez provitaminové aktivity jsou antioxidanty.





β-karoten

V plasmě kromě karotenů cirkulují další karotenoidy s fyziologickým významem. Jsou to **lutein** a **zeaxanthin**, které se ukládají v oční sítnici, chrání ji před oxidačním poškozením a brání vzniku šedého zákalu [15, 16]. Význačným karotenoidem je **lykopen**, který je v rajčatech. Lykopen je silný antioxidant [17].

K antioxidantům se řadí také selen, zásluhou toho, že je součástí již zmíněné glutathionperoxidasy [18]. Hlavním zdrojem selenu jsou u nás obiloviny. Obsah selenu v rostlinách, následně v potravinách a krmivech závisí na obsahu selenu v půdě. Obchod s potravinami a jejich transport z různých oblastí tento vliv stírá.

Vlastnosti antioxidantů má řada fenolických látek, z nichž rozsáhlou skupinu tvoří **flavonoidy** [19]. Vyskytují se ve formě glykosidů. Denní příjem flavonoidů je závislý na příjmu ovoce, zeleniny, čajů a převyšuje příjem ostatních antioxidantů (až 1 g/den).

Podat úplný výčet antioxidantů, kam patří i syntetické látky, není zde reálné. Navíc některé látky, které samy o sobě nemají antioxidační aktivitu, jsou součástí antioxidačních reakcí. Ve výživě zvířat a lidí se také uplatňují syntetické antioxidanty, přidávané do krmných směsí: butylovaný hydroxyanisol (BHA), butylovaný hydroxytoluen (BHT) i další [20]. Např. vitamin B<sub>2</sub> je součástí glutathionreduktasy, která regeneruje glutathion z jeho oxidované formy [18].

Doporučená denní dávka některých antioxidantů dle směrnice 1990/496/EHS je tato:

Vitamin C	.....	80	mg
Vitamin E	.....	12	mg
Vitamin B <sub>2</sub>	.....	1,4	mg
Vitamin A	.....	0,8	mg
Selen	.....	55	μg

Živočišné produkty jsou důležitým zdrojem těchto antioxidantů, vyjma vitaminu C, který je obsažen v produktech rostlinných. Rostlinné produkty s obsahem β-karotenu mohou potřebu vitaminu A zastoupit.

## 2. Použití selenu ve výživě drůbeže

Selen (Se) je prvek nezbytný pro život. Je součástí řady enzymů, z nichž nejdůležitější je glutathionperoxidasa, která rozkládá peroxidy vzniklé účinkem reaktivních forem kyslíku na dvojné vazby nenasyčených mastných kyselin [8]. Při nedostatku Se v dietě nosnic je aktivita tohoto enzymu v plasmě snížena [21]. V běžných krmivech se Se nalézá v organické podobě, v aminokyselině selenomethioninu [18]. Selenomethionin je v živočišných tkáních snadno využitelný neboť mRNA pro methionin přenáší i selenomethionin. Rostliny absorbují Se v anorganické podobě, jako seleničnan a selenát a přeměňují je na formy organické. Selenomethionin doprovázený selenocysteinem představuje většinu selenu v obilovinách a luštěninách, přičemž obsah Se závisí na obsahu Se v půdě. Obsah Se v živočišných tkáních a vejcích je závislý na obsahu Se v dietě [22, 23].

### 2.1 Srovnání seleničitanu s organickými zdroji selenu

Účelem níže uvedeného pokusu bylo porovnat seleničitan sodný, selenové kvasnice a řasu *Chlorella* obohacenou selenem z hlediska vlivu na koncentraci Se ve vejcích, některé parametry kvality vajec a užitkovost nosnic.

Použili jsme nosnice ISA Brown, věku 24 týdnů. Krmná směs obsahovala jako základ pšenici, kukuřici a sojovou mouku. Obsah Se byl 0,07 mg/kg. V pokusných skupinách byl zvýšen o 0,3 mg/kg přidavkem seleničitanu sodného, Se-kvasnic (Alltech, Inc.) a Se-řasou *Chlorella* z MBÚ AV ČR (Třeboň). Sledovali jsme produkci vajec, spotřebu krmiva, kvalitu vajec a obsah Se v bílku i žloutku. Obsah Se byl zjištěn hmotovou spektrometrií (ICP-MS Varian). Parametry kvality vajec byly hmotnost a výška bílku, žloutku, Haughovy jednotky, tloušťka skořápky.

**Tabulka 1.** Užitkovost nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji selenu v dietě. Zdroje Se byly přidány à 0,3 mg/kg.

	Kontrola	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	Se-kvasnice	Se-řasa	P
Intenzita snášky (%)	94,4 <sup>b</sup>	94,1 <sup>b</sup>	94,6 <sup>ab</sup>	96,5 <sup>a</sup>	0,05
Hmotnost vajec	62,3 <sup>b</sup>	62,7 <sup>b</sup>	64,4 <sup>a</sup>	65,1 <sup>a</sup>	0,01
Spotřeba krmiva (g)					
- na 1 nosnici a den	117,1	114,4	112,0	116,2	0,74
- na 1 vejce	123,8	121,2	118,8	120,4	0,85
- na 1 kg vajec	2,00	1,94	1,84	1,86	0,34

<sup>a,b</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Nejvyšší intenzita snášky a největší hmotnost vajec byla zjištěna u nosnic krmených s přidavkem selenové řasy *Chlorella*. Mezi oběma zdroji organicky vázaného selenu nebyly významné rozdíly.

Tabulka 2 uvádí parametry kvality vajec.

**Tabulka 2.** Parametry kvality bílku, žloutku a skořápky nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji selenu.

	Kontrola	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	Se-kvasnice	Se-řasa	P
<b>Bílek</b>					
- hmotnost (g)	38,6 <sup>b</sup>	38,9 <sup>b</sup>	41,3 <sup>a</sup>	41,3 <sup>a</sup>	0,01
- výška (mm)	7,52 <sup>b</sup>	7,61 <sup>b</sup>	7,48 <sup>b</sup>	7,96 <sup>a</sup>	0,05
- Hauhgovy jednotky	85,2 <sup>b</sup>	85,4 <sup>ab</sup>	84,7 <sup>b</sup>	87,4 <sup>a</sup>	0,05
- Se (mg/kg sušiny)	0,58 <sup>c</sup>	1,36 <sup>b</sup>	2,05 <sup>a</sup>	2,13 <sup>a</sup>	0,01
<b>Žloutek</b>					
- hmotnost (g)	15,9 <sup>a</sup>	15,8 <sup>ab</sup>	15,4 <sup>b</sup>	16,0 <sup>a</sup>	0,05
- výška (mm)	17,8	18,1	18,0	18,1	0,09
- Se (mg/kg sušiny)	0,62 <sup>c</sup>	0,93 <sup>b</sup>	1,48 <sup>a</sup>	1,60 <sup>a</sup>	0,01
Tloušťka skořápky (mm)	0,39	0,39	0,39	0,39	0,57
Pevnost skořápky (μm)	28,6	29,0	29,8	29,3	0,38

<sup>a-c</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Spotřeba krmiva a jeho konverze byla ve všech skupinách podobná. Obsah Se v bílku i žloutku a parametry kvality vajec byly lepší u skupin s organickým zdrojem Se než u skupiny kontrolní nebo u nosnic v jejichž krmivu byl zdrojem Se seleničitan (Tabulka 2). Tloušťka skořápky či výška žloutku nebyly ovlivněny. Naše výsledky ukazují, že organické zdroje Se se u nosnic lépe uplatní než seleničitan sodný. K podobnému závěru došli u kuřat slovenští autoři [24].

## 2.2 Vliv zdrojů selenu na obsah vitamínu E

Je známou skutečností, že v obraně proti reaktivním formám kyslíku selen a vitamin E působí synergicky [18]. Oba antioxidanty se mohou částečně zastupovat. Doplněk diety nosnic o selen významně zvýšil obsah vitamínu E v žloutku [25]. Účelem následujícího pokusu bylo porovnat vliv tří zdrojů Se na obsah vitamínu E v žloutku. K pokusu byly použity nosnice ISA Brown. Základní krmná směs obsahující pšenici, kukuřici a sojovou mouku obsahovala 0,07 mg Se/kg. Byla doplněna o 0,3 mg Se/kg v podobě seleničitanu sodného, selenových kvasnic (Sel-Plex, Alltech) a Se-řasy *Chlorella* z MBÚ Třeboň. Obsah

Se ve vzorcích byl měřen hmotovou spektrometrií ICP-MS, obsah  $\alpha$ -tokoferolu chromatograficky (HPLC Shimadzu) dle evropské normy EN 12822 [26].

Tabulka 3 uvádí obsahy selenu a  $\alpha$ -tokoferolu v dietě a žloutku, v mg/kg sušiny. Představuje srovnání tří zdrojů Se.

**Tabulka 3.** Obsah selenu a  $\alpha$ -tokoferolu v dietě a žloutku nosnic ISA Brown při různých zdrojích Se.

	Dieta (mg/kg)		Žloutek mg/kg	
	Se	$\alpha$ -tokoferol	Se	$\alpha$ -tokoferol
Kontrola	0,07	22,5	0,33 <sup>a</sup>	297 <sup>a</sup>
Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	0,40	24,1	0,62 <sup>b</sup>	311 <sup>b</sup>
Se-kvasnice	0,41	23,8	1,32 <sup>c</sup>	375 <sup>c</sup>
Se-řasa	0,37	24,2	1,35 <sup>c</sup>	370 <sup>c</sup>

<sup>a-c</sup> Signifikantní rozdíl hodnot ve sloupci (P<0,05)

Další Tabulka 4 uvádí hodnoty koncentrací malondialdehydu (MDA) vztažené k sušině žloutku čerstvých vajec. MDA byl stanoven reakcí s kyselinou thiobarbiturovou.

**Tabulka 4.** Koncentrace produktů oxidačního poškození lipidů (TBARS) v žloutku nosnic při různých zdrojích selenu v dietě.

	TBARS (mg MDA/kg)
Kontrola	3,38 <sup>a</sup>
Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	3,07 <sup>b</sup>
Se-kvasnice	2,56 <sup>c</sup>
Se-řasa	2,27 <sup>c</sup>

<sup>a-c</sup> Hodnoty ve stejném sloupci s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Z výsledků Tabulky 3 je zřejmé, že doplnění diety nosnic o selen zvýšilo nejen obsah selenu v žloutku, ale i obsah  $\alpha$ -tokoferolu. Účinek organických zdrojů selenu byl výraznější než účinek seleničitanu. Vyšší účinnost Se v organické podobě byla pozorována také v předchozí práci [27].

### 2.3 Srovnání selenomethioninu a seleničitanu

Je již zřejmé, že selen v organické podobě je ve výživě drůbeže účinnější než jeho anorganické formy. Hlavní aminokyselina obsahující Se je selenomethionin, který v selenových kvasnicích a řase doprovází další organické sloučeniny Se. V následujícím

pokuse byl jako zdroj organického Se použit čistý selenomethionin, aby se vyloučil vliv dalších sloučenin Se přítomných v dosud používaných zdrojích organického Se.

K tomuto pokusu jsme použili nosnice ISA Brown krmené směsí s obsahem pšenice, kukuřice a sojové mouky. Základní směs byla doplněna o 0,3 mg Se/kg v podobě Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> či selenomethioninu a o vitamin E v koncentracích 0 až 625 mg/kg. Selen byl ve vzorcích žloutku a bílku stanoven (po mineralizaci) atomovou absorpční spektrometrií na přístroji Solaar M6,  $\alpha$ -tokoferol a retinol chromatograficky HPLC, jak již zmíněno.

Tabulka 5 ukazuje obsah Se v žloutku a bílku nosnic v 7. týdnu pokusu (hodnoty v 3. a 11. týdnu byly podobné). Výsledky se vztahují k sušině žloutku a bílku. Zvyšující se koncentrace  $\alpha$ -tokoferolu neměla vliv na obsah Se ve žloutku, ale jedna z jeho koncentrací (119 mg/kg) signifikantně zvýšila obsah Se v bílku u nosnic krměných dietou se selenomethioninem.

**Tabulka 5.** Obsah  $\alpha$ -tokoferolu a selenu v žloutku a bílku u nosnic ISA Brown při doplnění diety selenomethioninem nebo seleničitanem.

Doplňek Se	$\alpha$ -tokoferol (mg/kg diety)	Se (mg/kg) v žloutku	Se (mg/kg) v bílku
-	26	0,43 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>
Se-methionin	29	1,42 <sup>b</sup>	1,02 <sup>b</sup>
	60	1,43 <sup>b</sup>	1,16 <sup>bc</sup>
	119	1,40 <sup>b</sup>	1,33 <sup>c</sup>
	262	1,58 <sup>b</sup>	1,14 <sup>bc</sup>
	632	1,60 <sup>b</sup>	1,25 <sup>bc</sup>
Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	28	0,96 <sup>c</sup>	0,55 <sup>d</sup>
	64	0,92 <sup>c</sup>	0,58 <sup>d</sup>
	120	1,03 <sup>c</sup>	0,56 <sup>d</sup>
	259	1,04 <sup>c</sup>	0,64 <sup>d</sup>
	630	1,01 <sup>c</sup>	0,61 <sup>d</sup>

<sup>a-d</sup> Hodnoty ve stejném sloupci s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Následující Tabulka 6 uvádí koncentrace  $\alpha$ -tokoferolu a retinolu v žloutku vajec u nosnic krměných dietou se seleničitanem či Se-methioninem. Dle očekávání, zvyšující se koncentrace  $\alpha$ -tokoferolu v dietě se promítala do koncentrace v žloutku. Vysoké koncentrace  $\alpha$ -tokoferolu v dietě se selenomethioninem vedly k významně vyšší koncentraci retinolu v žloutku.

**Tabulka 6.** Obsah  $\alpha$ -tokoferolu a retinolu v žloutku nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji selenu v dietě a přídatku  $\alpha$ -tokoferolu.

Doplňk Se	$\alpha$ -tokoferol (mg/kg diety)	$\alpha$ -tokoferol (mg/kg)	retinol (mg/kg)
-	26	122 <sup>a</sup>	13,3 <sup>a</sup>
Se-methionin	29	148 <sup>b</sup>	15,1 <sup>ab</sup>
	60	303 <sup>c</sup>	14,3 <sup>ab</sup>
	119	523 <sup>d</sup>	14,8 <sup>ab</sup>
	262	1068 <sup>e</sup>	16,0 <sup>b</sup>
	632	2368 <sup>f</sup>	16,6 <sup>b</sup>
Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	28	138 <sup>ab</sup>	14,7 <sup>ab</sup>
	64	296 <sup>c</sup>	14,9 <sup>ab</sup>
	120	472 <sup>d</sup>	14,1 <sup>a</sup>
	259	983 <sup>e</sup>	15,0 <sup>ab</sup>
	630	2142 <sup>f</sup>	15,3 <sup>ab</sup>

<sup>a-f</sup> Hodnoty ve stejném sloupci s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Tabulka 7 uvádí koncentrace zplodin oxidačního poškození lipidů (TBARS) v žloutcích nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji Se v dietě a přídatku  $\alpha$ -tokoferolu. Hodnoty udávají mg malondialdehydu/kg.

**Tabulka 7.** Koncentrace produktů oxidačního poškození lipidů (TBARS) v žloutku nosnic ISA Brown, v závislosti na zdroji Se v dietě a přídatku  $\alpha$ -tokoferolu. K analýzám byla vzata vejce čerstvá a skladovaná 2 týdny při 4°C.

Doplňk Se	$\alpha$ -tokoferol (mg/kg diety)	vejce čerstvá	vejce skladovaná
-	26	1,26 <sup>a</sup>	1,41 <sup>a</sup>
Se-methionin	29	1,14 <sup>ab</sup>	1,23 <sup>ab</sup>
	60	1,16 <sup>ab</sup>	1,25 <sup>ab</sup>
	119	1,13 <sup>ab</sup>	1,19 <sup>ab</sup>
	262	1,19 <sup>ab</sup>	1,26 <sup>a</sup>
	632	1,01 <sup>b</sup>	1,12 <sup>b</sup>
Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	28	1,22 <sup>a</sup>	1,32 <sup>a</sup>
	64	1,21 <sup>a</sup>	1,27 <sup>ab</sup>
	120	1,12 <sup>ab</sup>	1,17 <sup>ab</sup>
	259	1,13 <sup>ab</sup>	1,21 <sup>ab</sup>
	630	1,00 <sup>b</sup>	1,12 <sup>b</sup>

<sup>a,b</sup> Hodnoty ve stejném sloupci s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Z výsledků vyplývá, že vliv obou antioxidantů na oxidační stabilitu lipidů žloutku byl malý. Statisticky významný pokles koncentrace malondialdehydu byl zaznamenán jen při největší použité koncentraci  $\alpha$ -tokoferolu (632 mg/kg), která ale v praxi nepřichází v úvahu. Nebyl rozdíl ve vlivu organické a anorganické formy Se. Velmi malý také byl vliv skladování vajec.

Surai [25] uvádí, že vitamin E v koncentraci 20 mg/kg diety a organický Se (0,4 mg/kg) nemají vliv na koncentraci vitaminu A ve žloutku. V našem pokuse při koncentraci  $\alpha$ -tokoferolu 119 mg/kg nebyl retinol ve žloutku ovlivněn, ale při koncentracích vyšších byl mírně zvýšen.

Malý vliv antioxidantů diety na oxidační stabilitu lipidů žloutků souhlasí s pozorováním Franchini-ho a kol. [28]. Vaječné žloutky jsou odolné vůči oxidačnímu poškození, zřejmě zásluhou vysoké přirozené koncentrace antioxidantů.

#### 2.4 Účinek kombinace zdrojů selenu a vitaminu C

Doplňek Se v krmných směsích pro nosnice lze kombinovat také s vitaminem C. Opět jsme použili nosnice ISA Brown a základní dietu s pšenicí, kukuřicí a sojovou moukou obsahující 0,09 mg Se/kg. Krmná směs byla doplněna o 0,3 mg Se/kg seleničitanem sodným či selenovými kvasnicemi Sel-Plex (Alltech). Vitamin C (ROVIMIX<sup>®</sup>C-EC od DSM Nutritional Products, UK) byl přidán v množství 0 nebo 200 mg/kg a stanoven v krmivu v době odběru vzorků. Použili jsme postupy zmíněné v předchozím textu, k chromatografickému stanovení vitaminu C kolonu Synergi 4  $\mu$ m Fusion-RP80A (Phenomenex, U.S.A.), viz [29].

Tabulka 8 uvádí užitkovost nosnic při různých dietách.

**Tabulka 8.** Užitkovost nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji selenu v dietě a přidavku vitaminu C.

Se	-		Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>		Se-kvasnice	
	0	150	0	150	0	150
Vitamin C (mg/kg)	0	150	0	150	0	150
Produkce vajec (g/den)	57,6 <sup>c</sup>	58,4 <sup>b</sup>	59,0 <sup>b</sup>	57,1 <sup>c</sup>	59,9 <sup>a</sup>	58,8 <sup>b</sup>
Příjem krmiva (g/den)	119	118	118	114	119	116
Konverze krmiva (kg/kg vajec)	2,17 <sup>a</sup>	2,07 <sup>b</sup>	2,06 <sup>b</sup>	2,08 <sup>b</sup>	2,06 <sup>b</sup>	2,04 <sup>b</sup>

<sup>a-c</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Z Tabulky 8 je zřejmé, že přídavek vitamínu C nebo zdrojů Se zlepší užítkovost nosnic. Kombinace vitamínu C se zdroji Se naopak užítkovost zhorší. To neplatí pro konverzi krmiva. Konverze byla nejlepší při vyloučení obou přísad.

Parametry kvality vajec byly u všech skupin podobné, přídavek seleničitanu zlepšil pevnost skořápky.

Tabulka 9 ukazuje vliv vitamínu C a zdrojů Se na koncentraci železa a Se ve vejcích (v sušíně).

**Tabulka 9.** Koncentrace železa a selenu ve vejcích nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji Se v dietě a přísadce vitamínu C.

Se	-		Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>		Se- <i>Se</i> kvasnice	
Vitamin C (mg/kg)	0	150	0	150	0	150
Fe (μg/kg žloutku)	138 <sup>c</sup>	135 <sup>b</sup>	161 <sup>a</sup>	141 <sup>bd</sup>	145 <sup>d</sup>	131 <sup>c</sup>
Se (μg/kg žloutku)	608 <sup>d</sup>	594 <sup>d</sup>	1073 <sup>c</sup>	1117 <sup>b</sup>	1066 <sup>c</sup>	1168 <sup>a</sup>
Se (μg/kg bílku)	574 <sup>d</sup>	550 <sup>d</sup>	769 <sup>c</sup>	841 <sup>b</sup>	1545 <sup>a</sup>	1506 <sup>a</sup>

<sup>a-d</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Přídavek vitamínu C snížil koncentraci Fe v žloutku nosnic se zdroji Se v dietě a zvýšil koncentraci Se v žloutku těchto nosnic. Zvýšení koncentrace Se bílku vlivem vitamínu C jsme pozorovali jen při přísadce seleničitanu.

Tabulka 10 dává představu o vlivu vitamínu C a Se na oxidační stabilitu lipidů žloutku vajec čerstvých a skladovaných 14 a 28 dnů při 4°C. Produkty poškození lipidů (TBARS) jsou vyjádřeny v mg malondialdehydu/kg.

**Tabulka 10.** Koncentrace produktů oxidačního poškození lipidů (TBARS) v žloutku nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji Se v dietě a přísadce vitamínu C. K analýzám byla vzata vejce čerstvá a skladovaná 14 a 28 dní při 4°C.

Se	-		Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>		Se- <i>Se</i> kvasnice	
Vitamin C (mg/kg)	0	150	0	150	0	150
TBARS 0 (mg/kg)	0,91 <sup>ab</sup>	0,95 <sup>a</sup>	0,81 <sup>c</sup>	0,81 <sup>c</sup>	0,87 <sup>b</sup>	0,90 <sup>ab</sup>
TBARS 14 (mg/kg)	0,95 <sup>b</sup>	1,01 <sup>a</sup>	0,87 <sup>c</sup>	0,89 <sup>c</sup>	0,92 <sup>b</sup>	0,93 <sup>b</sup>
TBARS 28 (mg/kg)	0,99 <sup>b</sup>	1,12 <sup>a</sup>	0,93 <sup>b</sup>	0,98 <sup>b</sup>	0,97 <sup>b</sup>	0,97 <sup>b</sup>

<sup>a,b</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Výsledky v Tabulce 10 ukazují negativní vliv vitamínu C na oxidační stabilitu lipidů žloutku. Vitamin C se zde chová jako pro-oxidant. Jeho vliv je zmírněn přísadkou Se. Toto



chování vitamínu C pozorovali i jiní autoři, vždy souvislosti s přidavkem vitamínu E [28, 30]. Pozornost si zaslouží malý nárůst hodnot TBARS během 4-týdenního skladování.

### 3. Použití karotenoidů ve výživě drůbeže

Karotenoidy, syntetické i přírodní mají ve výživě drůbeže velmi dobré uplatnění. Umožňují dosáhnout optimální zbarvení žloutku a kůže jatečně upravených kuřat, zvyšují oxidační stabilitu vajec a masa a mnohé z nich jsou prospěšné lidskému zdraví.

#### 3.1 Pokus s řasou *Chlorella*

Jako první uvádíme výsledky pokusu s heterotrofně kultivovanou řasou *Chlorella*, použitou u nosnic Hisex Brown. Základní krmnou směs s pšenicí, kukuřicí a sojovou moukou jsme v pokusných skupinách doplnili o 10 a 20 g/kg sušené řasy, kultivované v MBÚ Třeboň heterotrofním způsobem, tj. bez přístupu slunečního světla. Sledovali jsme užitek nosnic, zbarvení žloutku barevnou škálou Roche Yolk Colour Fan a obsah karotenoidů chromatograficky. Tabulka 11 uvádí hmotnost vajec, žloutku a barvu žloutku.

**Tabulka 11.** Užitek nosnic Hisex Brown v závislosti na přidavku suché řasy *Chlorella* do krmné směsi.

	Přídavek Chlorelly (g/kg)		
	0	10	20
Hmotnost vajec (g)	65,8	64,2	63,8
Hmotnost žloutku (g)	17,4 <sup>a</sup>	17,3 <sup>ab</sup>	16,6 <sup>b</sup>
Barva žloutku	4,1 <sup>a</sup>	5,0 <sup>b</sup>	6,1 <sup>c</sup>

<sup>a-c</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Přídavek řasy zlepšil zbarvení žloutku. Intenzita zbarvení podle barevné škály Roche byla úměrná přidavku Chlorelly. Dosažené hodnoty škály 5-6 nejsou velké. Odpovídají zbarvení, které u žloutku dosáhli Karadas a kol. [31] doplněním diety nosnic o sušenou vojtěšku. V skupině s vyšším přidavkem řasy byla hmotnost vajec nesignifikantně snížena, z důvodu nižšího příjmu krmiva. Hmotnost žloutku v této skupině byla významně nižší než v kontrolní.

Další Tabulka 12 shrnuje výsledky analýz obsahu karotenoidů žloutku v závislosti na přidavku Chlorelly do krmné směsi.

**Tabulka 12.** Obsah karotenoidů (mg/kg) v žloutku nosnic Hisex Brown v závislosti na přídávku suché řasy Chlorella do krmné směsi.

	Přídavek Chlorelly (g/kg)		
	0	10	20
Lutein	7,06 <sup>c</sup>	10,72 <sup>b</sup>	15,43 <sup>a</sup>
cis-lutein	0,85 <sup>c</sup>	1,20 <sup>b</sup>	1,55 <sup>a</sup>
Zeaxanthin	7,09 <sup>c</sup>	10,44 <sup>b</sup>	15,94 <sup>a</sup>
cis-zeaxanthin	0,69 <sup>c</sup>	1,00 <sup>b</sup>	1,89 <sup>a</sup>
β-karoten	1,07 <sup>c</sup>	1,47 <sup>b</sup>	2,12 <sup>a</sup>
Ostatní karotenoidy	0,46 <sup>c</sup>	0,77 <sup>b</sup>	0,97 <sup>a</sup>
Celkem	17,33 <sup>c</sup>	25,30 <sup>b</sup>	37,90 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Přídavek Chlorelly do diety nosnic zvýšil obsah karotenoidů v žloutku úměrně přidanému množství. Znamená to, že přenos karotenoidů z diety do žloutku nenarazí na limity dané absorpční schopností tenkého střeva. Hlavními karotenoidy žloutku byly lutein a zeaxanthin. Podíl β-karotenu, který je v řase obsažen, byl malý.

### 3.2 Srovnání syntetických karotenoidů, luteinu a řasy Chlorella

V dalším pokuse byl srovnán lutein, řasa Chlorella a syntetické karotenoidy. Použili jsme nosnice ISA Brown. Základní krmná směs s kukuřicí, pšenicí a sojovou moukou byla v pokusných skupinách doplněna o lutein (Lutein powder extract, Alchimica, Praha) v množství 250 mg/kg, o sprejově sušenou řasu Chlorella (MBÚ Třeboň) v množství 12,5 g/kg, a o syntetické karotenoidy od DSM Nutritional Products (Basel, Švýcarsko).

**Tabulka 13.** Užítkovost nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě.

	Kontrola	Carophyll	Lutein	Chlorella	P
Intenzita snášky (%)	92,8	93,4	93,9	93,8	NS
Hmotnost vajec (g)	61,1 <sup>c</sup>	62,9 <sup>a</sup>	62,1 <sup>b</sup>	62,3 <sup>b</sup>	0,001
Produkce vajec (g/den)	55,5 <sup>b</sup>	58,6 <sup>a</sup>	56,1 <sup>ab</sup>	57,0 <sup>ab</sup>	0,013
Příjem krmiva (g/den)	118	118	117	117	NS
Příjem krmiva (g/vejce)	129	127	127	127	NS
Konverze krmiva (kg/kg)	2,14 <sup>a</sup>	2,05 <sup>c</sup>	2,10 <sup>a</sup>	2,06 <sup>bc</sup>	0,002

NS: P>0,05

<sup>a-c</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Syntetickými karotenoidy byly Carophyll® Red (20 mg/kg) a Carophyll® Yellow (15 mg/kg). Carophyll® Red obsahuje 10% canthaxanthinu a Carophyll® Yellow obsahuje 10% ethylesteru kyseliny  $\beta$ -apo-8'-karotenové. Kromě již popsaných analýz jsme měřili sílu lomu vaječné skořápky na přístroji Instron 3360 (Instron, U.S.A.) a parametry barvy žloutku L\*-světlost, a\*-červeně a b\*-žlutě.

V intenzitě snášky nebyly mezi skupinami nosnic rozdíly. Největší produkce vajec a nejlepší konverze krmiva byly ve skupině nosnic, které v krmivu měly syntetické karotenoidy. Jen nevýznamně nižší parametry užítkovosti byly u nosnic, které měly v krmivu řasu. Příjem krmiva nebyl ovlivněn.

Vybrané parametry kvality vajec jsou v Tabulce 14.

**Tabulka 14.** Hmotnost a barva žloutku, hmotnost bílku a kvalita skořápky u nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě.

	Kontrola	Carophyll	Lutein	Chlorella	P
Hmotnost žloutku (g)	15,2	15,2	15,1	15,2	NS
Hmotnost bílku (g)	40,0 <sup>b</sup>	41,6 <sup>a</sup>	41,1 <sup>a</sup>	41,2 <sup>a</sup>	0,006
Barva žloutku					
- La Roche	6,4 <sup>d</sup>	10,7 <sup>b</sup>	13,1 <sup>a</sup>	8,9 <sup>c</sup>	<0,001
- L*	64,2 <sup>a</sup>	60,3 <sup>c</sup>	57,5 <sup>d</sup>	61,4 <sup>b</sup>	<0,001
- a*	6,0 <sup>d</sup>	5,2 <sup>b</sup>	17,7 <sup>a</sup>	10,9 <sup>c</sup>	<0,001
- b*	48,8 <sup>c</sup>	47,6 <sup>d</sup>	55,1 <sup>b</sup>	57,2 <sup>a</sup>	<0,001
Skořápka					
- tloušťka ( $\mu$ m)	332 <sup>b</sup>	340 <sup>a</sup>	340 <sup>a</sup>	338 <sup>ab</sup>	0,017
- síla lomu (N)	39,0 <sup>b</sup>	39,4 <sup>b</sup>	41,1 <sup>a</sup>	40,1 <sup>ab</sup>	0,032

NS: P>0,05

<sup>a-d</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Doplňek antioxidantů zvýšil hmotnost bílku a zásadně ovlivnil barvu žloutku (byla výraznější ve všech pokusných skupinách). Současně byla v pokusných skupinách významně snížena světlost žloutku. Lutein signifikantně zvýšil červeně žloutku a řasa Chlorella žlutě. Příznivý účinek Chlorelly na barvu žloutku jsme zaznamenali již v předchozí práci [32]. Lutein a Chlorella významně zvýšily pevnost vaječné skořápky. Vyšší hmotnost bílku se promítla do celkové vyšší hmotnosti vajec (viz Tabulka 13).

Další Tabulka 15 informuje o účinku syntetických a přírodních karotenoidů na oxidační stabilitu lipidů čerstvých vajec a vajec skladovaných 28 dnů při 18°C. TBARS jsou vyjádřeny v mg malondialdehydu/kg.

**Tabulka 15.** Koncentrace oxidačního poškození lipidů (TBARS) v žloutku nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě. K analýzám byla vzata vejce čerstvá a skladovaná 28 dnů při teplotě 18°C.

	Kontrola	Carophyll	Lutein	Chlorella	P
TBARS 0 (mg/kg)	1,17 <sup>a</sup>	1,00 <sup>b</sup>	0,87 <sup>c</sup>	0,90 <sup>c</sup>	<0,001
TBARS 28 (mg/kg)	1,28 <sup>a</sup>	1,16 <sup>b</sup>	1,04 <sup>c</sup>	1,07 <sup>c</sup>	<0,001

<sup>a-c</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Všechny karotenoidy signifikantně zlepšily oxidační stabilitu žloutku. Lutein a Chlorella byly v tomto ohledu účinnější než syntetické karotenoidy.

Obsah karotenoidů a  $\alpha$ -tokoferolu v žloutku vajec jednotlivých skupin nosnic je v Tabulce 16. Nálezy jsou v mg/kg sušiny.

**Tabulka 16.** Obsah karotenoidů, retinolu a  $\alpha$ -tokoferolu v žloutku nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě.

	Kontrola	Carophyll	Lutein	Chlorella	P
Lutein	12,8 <sup>c</sup>	11,5 <sup>c</sup>	133,9 <sup>a</sup>	49,0 <sup>b</sup>	<0,001
Zeaxanthin	9,2 <sup>c</sup>	8,7 <sup>c</sup>	123,9 <sup>a</sup>	40,1 <sup>b</sup>	<0,001
$\beta$ -karoten	0,05 <sup>b</sup>	0,04 <sup>b</sup>	0,10 <sup>b</sup>	0,36 <sup>a</sup>	<0,001
Retinol	10,1 <sup>c</sup>	1,7 <sup>b</sup>	11,2 <sup>a</sup>	10,6 <sup>b</sup>	0,002
$\alpha$ -tokoferol	143 <sup>ab</sup>	147 <sup>a</sup>	130 <sup>c</sup>	136 <sup>bc</sup>	0,002

<sup>a,b</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Podle očekávání, přídavek luteinu do krmné směsi velmi zvýšil koncentraci luteinu a zeaxanthinu v žloutku. Vliv zdrojů karotenoidů na obsah retinolu a  $\alpha$ -tokoferolu byl malý, přestože nálezy v některých skupinách byly signifikantně odlišné. Žloutky vajec nosnic krmných s doplňkem Chlorelly měly nejvyšší obsah  $\beta$ -karotenu. Jeho přestup z řasy do vajec byl ale malý. Chlorella je také dobrým zdrojem luteinu a zeaxanthinu, jak ukázáno též v práci [32].

### 3.3 Pokus s aksamitníkem při nižším dávkování extraktu

Významným zdrojem xanthofylů, zejména luteinu je aksamitník vzpřímený (*Tagetes erecta* L.). Na to, že k dosažení vhodné barvy žloutku, jakou ocení spotřebitel, lze použít extrakt aksamitníku upozornili Lokaewmanee a kol. [33]. Extrakt aksamitníku je již komerčně dostupný. V krátkém rozmezí jsme s extraktem aksamitníku uskutečnili dva pokusy s nosnicemi. Základní dieta obsahovala kukuřici, pšenici a sojovou mouku jako hlavní složky.

V prvním pokusu s nosnicemi ISA Brown jsme pokusné diety doplnili o Avizant<sup>®</sup> Yellow 20HS (Lohmann Animal Health GmbH, Cuxhaven, B.R.D.) v množství 150, 250 a 350 mg/kg. Extrakt obsahoval 21,3 g/kg luteinu a 9,6 g/kg zeaxanthinu. V druhém pokusu s nosnicemi Hisex jsme srovnávali syntetické karotenoidy Carophyll<sup>®</sup> Yellow a Carophyll<sup>®</sup> Red (DSM Nutritional Products) přidané v množství 20 a 30 mg/kg s Avizantem<sup>®</sup> Yellow 20HS v koncentraci 350 mg/kg. Užítkovost nosnic v 1. pokuse je v Tabulce 17.

**Tabulka 17.** Účinek přídatku extraktu aksamitníku na užítkovost nosnic ISA Brown.

	Avizant (mg/kg)			
	0	150	250	350
Intenzita snášky (%)	82,6 <sup>bc</sup>	89,4 <sup>a</sup>	81,3 <sup>c</sup>	86,5 <sup>ab</sup>
Hmotnost vajec (g)	67,5 <sup>a</sup>	66,5 <sup>b</sup>	66,2 <sup>b</sup>	66,7 <sup>ab</sup>
Produkce vajec (g/den)	55,8 <sup>bc</sup>	59,5 <sup>a</sup>	53,8 <sup>c</sup>	57,7 <sup>ab</sup>
Příjem krmiva (g/den)	119	120	119	121
Konverze krmiva (kg/kg vajec)	2,30	2,14	2,37	2,26

<sup>a,b</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Přídavek extraktu aksamitníku v množství 150 mg/kg krmné směsi signifikantně zvýšil intenzitu snášky a produkci hmoty vajec. Příjem a konverze krmiva nebyly ovlivněny.

Další Tabulka 18 uvádí vliv extraktu aksamitníku na barvu žloutku.

**Tabulka 18.** Účinek přídatku extraktu aksamitníku na barvu žloutku u nosnic ISA Brown.

	Avizant (mg/kg)			
	0	150	250	350
Barva žloutku				
- La Roche	7,7 <sup>c</sup>	8,3 <sup>b</sup>	8,9 <sup>a</sup>	8,9 <sup>a</sup>
- L*	60,1 <sup>a</sup>	59,9 <sup>a</sup>	59,9 <sup>a</sup>	58,8 <sup>b</sup>
- a*	7,0 <sup>c</sup>	8,1 <sup>b</sup>	9,2 <sup>a</sup>	9,4 <sup>a</sup>
- b*	50 <sup>b</sup>	53,1 <sup>a</sup>	53,5 <sup>a</sup>	54,1 <sup>a</sup>

<sup>a,b</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Přídavek extraktu aksamitníku zvýšil zbarvení žloutku podle barevné škály, červeň i žlutou složku barvy a snížil světlost. Další Tabulka 19 ukazuje, že zvýšení barvy žloutku souvisí s ukládáním karotenoidů ve žloutku. Nálezy jsou v mg/kg sušiny.

**Tabulka 19.** Obsah luteinu a zeaxanthinu v žloutku nosnic ISA Brown v závislosti na přídatku extraktu aksamitníku.

	Avizant (mg/kg)			
	0	150	250	350
Lutein (mg/kg)	18,1 <sup>d</sup>	22,6 <sup>c</sup>	26,2 <sup>b</sup>	29,8 <sup>a</sup>
Zeaxanthin (mg/kg)	12,3 <sup>d</sup>	14,6 <sup>c</sup>	17,0 <sup>b</sup>	19,2 <sup>a</sup>

<sup>a,b</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Výsledky naznačují dobrou účinnost přestupu karotenoidů z krmiva do krve. Bartov a Bornstein [34] zjistili, že nosnice přenáší 20-60% pigmentů diety do žloutku.

### 3.4 Srovnání syntetických karotenoidů s extraktem aksamitníku

Extrakt aksamitníku jsme také ověřili v podmínkách komerčního chovu s nosnicemi Hisex. Zde jsme syntetické karotenoidy Carophyll<sup>®</sup> Yellow a Carophyll<sup>®</sup> Red přidali do krmné směsi v množství 20 a 30 mg/kg, Avizant<sup>®</sup> Yellow 20HS v množství 350 mg/kg.

Tabulka 20 ukazuje barvu žloutku, obsah luteinu, zeaxanthinu a  $\alpha$ -tokoferolu u jednotlivých skupin nosnic (mg/kg sušiny).

**Tabulka 20.** Barva žloutku, obsah luteinu, zeaxanthinu a  $\alpha$ -tokoferolu v žloutku nosnic Hisex v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě.

	Kontrola	Carophyll	Avizant
Barva žloutku			
- La Roche	6,3 <sup>c</sup>	13,0 <sup>a</sup>	8,7 <sup>b</sup>
- L*	64,6 <sup>a</sup>	56,6 <sup>c</sup>	62,6 <sup>b</sup>
- a*	5,4 <sup>c</sup>	21,0 <sup>a</sup>	8,7 <sup>b</sup>
- b*	49,2 <sup>b</sup>	45,7 <sup>c</sup>	55,7 <sup>a</sup>
Lutein (mg/kg)	8,8 <sup>b</sup>	9,4 <sup>b</sup>	20,3 <sup>a</sup>
Zeaxanthin (mg/kg)	4,0 <sup>b</sup>	4,4 <sup>b</sup>	9,9 <sup>a</sup>
$\alpha$ -tokoferol (mg/kg)	80,6 <sup>a</sup>	72,6 <sup>b</sup>	80,5 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Extrakt aksamitníku se nevyrovnal v intenzitě zbarvení žloutku syntetickým karotenoidům, předčil je však v obohacení žloutku luteinem a zeaxanthinem. Syntetické karotenoidy významně snížily obsah  $\alpha$ -tokoferolu v žloutku ve srovnání s kontrolou. Obsah  $\alpha$ -tokoferolu ve skupině s extraktem aksamitníku byl stejný jako u skupiny kontrolní.

### 3.5 Pokus s aksamitníkem při vyšším dávkování extraktu

Z uvedených výsledků vyplývá, že použití extraktu aksamitníku u nosnic bylo úspěšné. Navázali jsme proto dalším pokusem s nosnicemi Lohmann Brown a dietou s kukuřicí, pšenicí a sojovou moukou. Základní dietu jsme doplnili o Avizant<sup>®</sup> Yellow 20HS v množství 150, 350, 550, 750 a 950 mg/kg. Sledovali jsme užitkovost nosnic, kvalitu vajec, barvu žloutku, obsah  $\alpha$ -tokoferolu, retinolu,  $\beta$ -karotenu, luteinu a zeaxanthinu.

Následující Tabulka 21 uvádí parametry užitkovosti nosnic v tomto experimentu.

**Tabulka 21.** Užitkovost nosnic Lohmann Brown v závislosti na přidavku extraktu aksamitníku do krmiva.

	Avizant (mg/kg)					
	0	150	350	550	750	950
Intenzita snášky (%)	85,3 <sup>bc</sup>	82,0 <sup>c</sup>	85,2 <sup>bc</sup>	91,1 <sup>a</sup>	85,8 <sup>b</sup>	90,1 <sup>a</sup>
Hmotnost vajec (g)	63,5 <sup>c</sup>	64,3 <sup>ab</sup>	63,8 <sup>bc</sup>	65,0 <sup>a</sup>	65,1 <sup>a</sup>	63,8 <sup>bc</sup>
Příjem krmiva (g/den)	116 <sup>ab</sup>	111 <sup>c</sup>	113 <sup>bc</sup>	119 <sup>a</sup>	117 <sup>a</sup>	117 <sup>a</sup>
Příjem krmiva (g/vejce)	137	138	134	131	138	130
Konverze krmiva /kg/kg)	2,18	2,15	2,14	2,05	2,14	2,08

<sup>a-c</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

V tomto pokuse s nosnicemi Lohmann Brown byla nejlepší užitkovost, tj. hmotnost vajec i konverze krmiva, dosažena při přidavku extraktu aksamitníku 550 mg/kg krmiva.

Další Tabulka 22 uvádí vybrané parametry kvality vajec.

**Tabulka 22.** Technologicky významné parametry vajec při různých přidavcích extraktu aksamitníku do krmiva.

	Avizant (mg/kg)					
	0	150	350	550	750	950
Hmotnost bílku (g)	41,9	42,7	42,2	43,1	43,2	42,0
Výška bílku (mm)	7,5	7,8	7,7	8,0	7,9	7,6
Haughovy jednotky	85,1	86,7	85,9	83,6	87,2	85,5
Hmotnost žloutku (g)	15,2	15,5	15,6	15,4	15,7	15,5
Hmotnost skořápky (g)	6,43 <sup>b</sup>	6,40 <sup>b</sup>	6,38 <sup>b</sup>	6,64 <sup>a</sup>	6,65 <sup>a</sup>	6,43 <sup>b</sup>
Tloušťka skořápky ( $\mu$ m)	351 <sup>b</sup>	343 <sup>b</sup>	349 <sup>b</sup>	369 <sup>a</sup>	355 <sup>ab</sup>	350 <sup>b</sup>
Pevnost skořápky (g/cm <sup>2</sup> )	4431 <sup>a</sup>	4197 <sup>c</sup>	4448 <sup>a</sup>	4256 <sup>abc</sup>	4415 <sup>ab</sup>	4205 <sup>bc</sup>

<sup>a-c</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

V Tabulce 22 jsou ukazatele důležité pro technologickou kvalitu vajec. Přídavek extraktu aksamitníku významně ovlivnil kvalitu skořápky, další ukazatele nebyly významně ovlivněny.

Další Tabulka 23 uvádí nálezy karotenoidů a  $\alpha$ -tokoferolu v žloutku nosnic při zvyšujícím se přídatkem extraktu aksamitníku do krmiva. Údaje se vztahují k sušině žloutku.

**Tabulka 23.** Obsah karotenoidů, retinolu a  $\alpha$ -tokoferolu v žloutku nosnic krměných směsí s přídatkem extraktu aksamitníku.

	Avizant (mg/kg)					
	0	150	350	550	750	950
Lutein (mg/kg)	6,1 <sup>e</sup>	9,3 <sup>d</sup>	14,5 <sup>c</sup>	15,1 <sup>bc</sup>	15,4 <sup>b</sup>	18,2 <sup>a</sup>
Zeaxanthin (mg/kg)	5,9 <sup>f</sup>	10,3 <sup>e</sup>	14,9 <sup>d</sup>	18,9 <sup>c</sup>	20,8 <sup>b</sup>	25,6 <sup>a</sup>
Retinol (mg/kg)	10,4	10,2	10,8	11,0	10,5	11,0
$\alpha$ -tokoferol (mg/kg)	166	160	174	172	171	175

<sup>a-f</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Úměrně přídatku extraktu aksamitníku do krmiva se zvyšovala koncentrace luteinu a zeaxanthinu v žloutku.

Změny barvy žloutku při přídatku extraktu aksamitníku do krmiva jsou v Tabulce 24.

**Tabulka 24.** Barva žloutku v závislosti na přídatku extraktu aksamitníku do krmiva.

	Avizant (mg/kg)					
	0	150	350	550	750	950
Barva žloutku						
- La Roche	5,7 <sup>f</sup>	7,3 <sup>e</sup>	8,5 <sup>d</sup>	8,9 <sup>c</sup>	9,5 <sup>b</sup>	10,6 <sup>a</sup>
- L*	64,3 <sup>a</sup>	62,4 <sup>b</sup>	62,1 <sup>b</sup>	61,8 <sup>bc</sup>	60,5 <sup>cd</sup>	59,3 <sup>d</sup>
- a*	4,9 <sup>f</sup>	6,2 <sup>e</sup>	7,8 <sup>d</sup>	9,0 <sup>c</sup>	10,5 <sup>b</sup>	11,5 <sup>a</sup>
- b*	47,0 <sup>d</sup>	50,8 <sup>c</sup>	53,8 <sup>b</sup>	55,6 <sup>a</sup>	56,3 <sup>a</sup>	56,5 <sup>a</sup>

<sup>a-f</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Přidáním extraktu aksamitníku do krmiva se zvýšilo zbarvení žloutku, zejména červená složka barvy. Světlost žloutku se snížila. Žlutá složka barvy se zvyšovala až do koncentrace extraktu 550 mg/kg, dále již ne.

Další Tabulka 25 uvádí vliv přídatku extraktu aksamitníku na oxidační stabilitu lipidů žloutku, vyjádřenou jako TBARS koncentrací malondialdehydu ve vejcích čerstvých a skladovaných 28 dnů při 18°C.



**Tabulka 25.** Vliv přidavku extraktu aksamitníku na koncentraci produktů oxidačního poškození lipidů žloutku (TBARS). Srovnání vajec čerstvých a skladovaných 28 dnů při 18°C.

	Avizant (mg/kg)					
	0	150	350	550	750	950
TBARS 0 (mg/kg)	0,38 <sup>abc</sup>	0,36 <sup>c</sup>	0,40 <sup>a</sup>	0,39 <sup>ab</sup>	0,36 <sup>bc</sup>	0,32 <sup>d</sup>
TBARS 28 (mg/kg)	0,82 <sup>a</sup>	0,75 <sup>b</sup>	0,73 <sup>b</sup>	0,74 <sup>b</sup>	0,62 <sup>c</sup>	0,53 <sup>d</sup>

<sup>a-d</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Je zřejmé, že přidavek extraktu aksamitníku výrazně zlepšil oxidační stabilitu lipidů žloutku.

### 3.6 Srovnání syntetických karotenoidů, luteinu a semene hořčice

Zdrojem antioxidantů ve výživě drůbeže může být také semeno hořčice (*Brassica juncea* L.). V tomto pokuse bylo mleté semeno hořčice srovnáno s luteinem a syntetickými komerčními karotenoidy. Byly použity nosnice ISA Brown a základní dieta s kukuřicí, pšenicí a sojovou moukou. Syntetické karotenoidy Carophyll<sup>®</sup> Yellow a Carophyll<sup>®</sup> Red od DSM Nutritional Products byly k základní dietě přidány v množství 15 a 20 mg/kg, lutein od Alchimica (Praha) v množství 100 mg/kg a mleté semeno hořčice v množství 10 g/kg. Zjišťovali jsme vliv diety na užitkovost nosnic, kvalitu vajec včetně barvy a vliv na obsah vitaminů a karotenoidů ve žloutku.

Následující Tabulka 26 představuje užitkovost nosnic v kontrolní skupině a skupinách pokusných.

**Tabulka 26.** Užitkovost nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě.

	Kontrola	Carophyll	Lutein	Hořčice
Intenzita snášky (%)	89,0	90,0	88,5	91,8
Hmotnost vajec (g)	59,8	59,8	59,6	59,4
Produkce vajec (g/den)	53,2	53,4	52,7	54,5
Příjem krmiva (g/den)	114	114	115	114
Konverze krmiva (kg/kg)	2,15	2,13	2,19	2,08

Užitkovost nosnic různých skupin byla podobná. Největší rozdíl byl mezi skupinami s luteinem a hořčicí, nebyl však statisticky významný.

Výběr z naměřených fyzikálních charakteristik vajec je v Tabulce 27.

**Tabulka 27.** Parametry kvality vajec nosnic ISA Brown v závislosti na zdroji karotenoidů v dietě.

	Kontrola	Carophyll	Lutein	Hořčice
Hmotnost bílku (g)	38,7	38,6	38,9	38,9
Výška bílku (mm)	8,1 <sup>ab</sup>	8,4 <sup>a</sup>	8,4 <sup>a</sup>	7,7 <sup>b</sup>
Haughovy jednotky	89,6 <sup>ab</sup>	91,4 <sup>a</sup>	91,3 <sup>a</sup>	87,9 <sup>b</sup>
Hmotnost žloutku (g)	14,0	13,9	13,8	13,9
Výška žloutku (mm)	18,5	18,6	18,6	18,5
Hmotnost skořápky (g)	6,1	6,0	6,0	6,0
Síla lomu skořápky (N)	43,6	44,5	43,8	43,1

<sup>a,b</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Doplnění diety o syntetické karotenoidy a lutein příznivě ovlivnilo kvalitu bílku (větší výška i Haughovy jednotky). Skupina nosnic s hořčičným semenem měla tyto parametry významně horší.

Další parametry kvality vajec jsou v Tabulce 28, která shrnuje výsledky měření barvy žloutku a obsahu karotenoidů a vitaminů. Koncentrační údaje se vztahují k sušině.

**Tabulka 28.** Barva žloutku a obsah karotenoidů, retinolu a  $\alpha$ -tokoferolu u nosnic ISA Brown při různém zdroji karotenoidů v dietě.

	Kontrola	Carophyll	Lutein	Hořčice
Barva žloutku				
- La Roche	7,7 <sup>c</sup>	11,8 <sup>a</sup>	8,4 <sup>b</sup>	8,3 <sup>b</sup>
- L*	63,1 <sup>a</sup>	58,0 <sup>c</sup>	61,7 <sup>b</sup>	62,3 <sup>b</sup>
- a*	7,1 <sup>c</sup>	17,8 <sup>a</sup>	9,1 <sup>b</sup>	7,4 <sup>c</sup>
- b*	52,5 <sup>b</sup>	49,0 <sup>c</sup>	54,6 <sup>a</sup>	52,9 <sup>b</sup>
Lutein (mg/kg)	16,1 <sup>c</sup>	18,7 <sup>b</sup>	31,7 <sup>a</sup>	15,6 <sup>c</sup>
Zeaxanthin (mg/kg)	10,5 <sup>c</sup>	14,8 <sup>b</sup>	20,3 <sup>a</sup>	10,9 <sup>c</sup>
$\beta$ -karoten (mg/kg)	0,053 <sup>c</sup>	0,078 <sup>b</sup>	0,088 <sup>a</sup>	0,055 <sup>c</sup>
Retinol (mg/kg)	9,0	9,4	9,2	9,4
$\alpha$ -tokoferol (mg/kg)	152	155	160	155

<sup>a,c</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Barvu žloutku podle škály La Roche (DSM Yolk Colour Fan) nejvíce zvýraznily syntetické karotenoidy a nejméně hořčičné semeno. Přídavek hořčičného semene nevedl k obohacení vajec o antioxidanty.

### 3.7 Vliv pastvy na užitkovost nosnic a kvalitu vajec

Alternativou k přidavku antioxidantů do krmné směsi je pastva. Zelená píce je bohatým zdrojem vitaminů a karotenoidů. Nosnice, které mají přístup k trávě, mají ve vejcích vysoký obsah polynenasycených mastných kyselin a  $\alpha$ -tokoferolu [35]. V tomto pokuse byly použity mladé nosnice původního českého genotypu Dominant Silver. Kontrolní skupina měla k dispozici výběh bez trávy, pokusná skupina měla oplůtek o velikosti 30 m<sup>2</sup>/nosnici s trávou. Pokus probíhal od 1. 5. do 14. 8. Nosnice také dostávaly pšenici v celých zrnech a krmnou směs s kukuřicí a sojovou moukou. Byla sledována užitkovost, kvalita vajec, barva žloutku, obsah karotenoidů a oxidační stabilita žloutku u vajec čerstvých a vajec skladovaných 28 dnů při 18°C.

Tabulka 29 uvádí obsah karotenoidů a vitaminů v jednotlivých krmivech v mg/kg sušiny.

**Tabulka 29.** Obsah karotenoidů, retinolu a  $\alpha$ -tokoferolu v pastvě a krmivech nosnic.

	Pastva	Pšenice	Krmná směs
Lutein (mg/kg)	127,8	1,52	1,16
Zeaxanthin (mg/kg)	114,6	1,31	0,69
$\beta$ -karoten (mg/kg)	78,9	0,18	0,35
Retinol (mg/kg)	-	-	7,58
$\alpha$ -tokoferol (mg/kg)	75,4	6,93	31,5

Tabulka 30 uvádí parametry užitkovosti nosnic a kvality vajec u kontrolní skupiny a skupiny s přístupem k trávě.

**Tabulka 30.** Užitkovost nosnic Dominant Silver a charakteristika vajec.

	Kontrola	Pastva
Příjem krmiva (g/den)	104	95
Intenzita snášky (%)	73,6	74,2
Změna hmotnosti nosnic (g)	+155	+158
Hmotnost vajec (g)	60,6	60,2
Podíl bílku (%)	62,5	62,1
Podíl žloutku (%)	27,6	28,1*
Podíl skořápky (%)	9,9	9,8

\*Označená hodnota je významně odlišná od kontrolní

Parametry užítkovosti byly u obou skupin velmi podobné. Vejce nosnic z pastvy měly větší podíl žloutku.

Další Tabulka 31 obsahuje údaje o barvě žloutku a obsahu karotenoidů a vitamínů. Koncentrační údaje se vztahují k sušině.

**Tabulka 31.** Barva žloutku, obsah karotenoidů, retinolu a  $\alpha$ -tokoferolu u nosnic Dominant Silver kontrolních a nosnic s přístupem k trávě.

	Kontrola	Pastva
Barva žloutku		
- La Roche	8,6	10,3*
- L*	60,8	58,4*
- a*	10,1	12,3*
- b*	52,3	53,6
Lutein (mg/kg)	25,5	56,2*
Zeaxanthin (mg/kg)	21,8	42,4*
$\beta$ -karoten (mg/kg)	0,21	0,43*
Retinol (mg/kg)	8,61	9,27
$\alpha$ -tokoferol (mg/kg)	128	159*

\*Označené hodnoty jsou významně odlišné od kontrolních ( $P < 0,05$ )

Pastvou nosnic se statisticky významně zvýšilo zbarvení žloutku (vyjma jeho žluté složky), vzrostl obsah karotenoidů a  $\alpha$ -tokoferolu.

Následující Tabulka 32 obsahuje údaje o oxidační stabilitě lipidů žloutku u nosnic kontrolních a těch, které měly přístup k trávě. Nálezy jsou vyjádřeny koncentrací malondialdehydu/kg.

**Tabulka 32.** Koncentrace produktů oxidačního poškození lipidů (TBARS) v žloutku nosnic Dominant Silver. K analýzám byla vzata vejce čerstvá a skladovaná 28 dnů při 18°C.

	Kontrola	Pastva
TBARS 0 (mg/kg)	0,91	0,95
TBARS 28 (mg/kg)	1,06	0,95*

\*Označená hodnota je významně odlišná od kontrolní

Výsledky v Tabulce 32 ukazují, že vyšší obsah antioxidantů v žloutku nosnic na pastvě vedl k vyšší oxidační stabilitě lipidů žloutku.

#### 4. Použití antioxidantů ve výživě kuřecích brojlerů

Antioxidanty nalézají uplatnění i u brojlerových kuřat. Cíle použití antioxidantů u nosnic a kuřat se zčásti liší. U kuřat se očekává, že antioxidanty zvýší oxidační stabilitu masa a jeho nutriční hodnotu a použitím karotenoidů se zlepší barva kůže. Ve výživě kuřat lze uplatnit stejné antioxidanty, které se používají ve výživě nosnic, tj. selen, karotenoidy i vitamin C.

##### 4.1 Účinek kvasnic a řasy *Chlorella obohacených selenem na obsah selenu a $\alpha$ -tokoferolu v mase kuřat.*

Hlavním důvodem použití zdrojů selenu ve výživě kuřat je obohacení masa o tento esenciální mikroelement. Bez větších problémů toho lze dosáhnout, je-li zdroj selenu organického původu [36, 37]. V následujícím pokuse byly srovnány selenové kvasnice a řasa *Chlorella* obohacená selenem u brojlerových kuřat ROSS 308. Kontrolní krmná směs s pšenicí, kukuřicí a sojovou moukou obsahovala 0,133 mg Se/kg. Byla doplněna o 0,411 mg Se/kg selenovými kvasnicemi (Alltech Inc., U.S.A.) nebo selenovou řasou *Chlorella* (0,396 mg Se/kg) z MBÚ Třeboň. Obsah Se v mase, játrech, exkrementech a peří byl stanoven atomovou absorpční spektrometrií (Solar M6) po předchozí mineralizaci. Tabulka 33 představuje výsledky užítkovosti kuřat.

**Tabulka 33.** Užítkovost kuřecích brojlerů ROSS 308 pro doplnění krmné směsi o selenové kvasnice a řasu *Chlorella*.

	Kontrola	Se-kvasnice	Se-řasa
Hmotnost kuřat (g)			
- 1. den	46	46	46
- 42. den	517 <sup>c</sup>	538 <sup>b</sup>	553 <sup>a</sup>
Konverze krmiva (kg/kg)	1,79	1,68	1,63
Úhyn (%)	1,33	3,00	1,67

<sup>a-c</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Nejlepší růst byl u kuřat s krmivem doplněným selenovou řasou, pak u kuřat s krmivem se selenovými kvasnicemi.

Obsah Se v mase, játrech, exkrementech a peří je v Tabulce 34.

**Tabulka 34.** Obsah selenu ve vzorcích tkání, exkrementech a peří kuřat při doplnění krmné směsi kuřat o selenové kvasnice a selenovou řasu.

	Kontrola	Se-kvasnice	Se-řasa
Prsní sval (μg/kg)	52 <sup>c</sup>	217 <sup>a</sup>	123 <sup>b</sup>
Stehno (μg/kg)	71 <sup>c</sup>	248 <sup>a</sup>	148 <sup>b</sup>
Játra (μg/kg)	185 <sup>b</sup>	424 <sup>a</sup>	393 <sup>c</sup>
Exkrementy (μg/kg)	117 <sup>c</sup>	141 <sup>b</sup>	198 <sup>a</sup>
Peří (μg/kg)	179 <sup>c</sup>	469 <sup>a</sup>	307 <sup>b</sup>

<sup>a-c</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné (P<0,05)

Nejvyšší obsah Se byl ve vzorcích jater a peří. Obohacení masa o selen bylo větší se selenovými kvasnicemi než s Se-řasou. Naopak vyšší obsah Se v exkrementech byl ve skupině s selenovou řasou než Se-kvasnicemi.

Navazující pokus se zabýval vztahem dvou zdrojů organického selenu a α-tokoferolu u kuřat ROSS 308. Jejich dieta s pšenicí, kukuřicí a sojovou moukou byla obohacena o Se-kvasnice a Se-řasu Chlorella tak, aby se obsah selenu v dietě zvýšil z 0,13 mg/kg o 0,30 mg/kg. Obsah Se v krmivu, svalech a játrech kuřat byl stanoven absorpční atomovou spektrometrií, obsah α-tokoferolu chromatograficky.

Tabulka 35 uvádí výsledky těchto měření:

**Tabulka 35.** Obsah selenu a α-tokoferolu v dietě, svalech a játrech kuřecích brojlerů ROSS 308 v závislosti na zdroji organického selenu.

		Se (μg/kg)	α-tokoferol (mg/kg)
Dieta	Kontrola	13	51,5
	Se-kvasnice	41	49,9
	Se-Chlorella	40	51,5
Sval prsní	Kontrola	39 <sup>a</sup>	20,7 <sup>a</sup>
	Se-kvasnice	101 <sup>b</sup>	25,9 <sup>b</sup>
	Se-Chlorella	109 <sup>b</sup>	25,5 <sup>b</sup>
Sval stehna	Kontrola	47 <sup>a</sup>	33,4 <sup>a</sup>
	Se-kvasnice	125 <sup>b</sup>	41,6 <sup>b</sup>
	Se-Chlorella	127 <sup>b</sup>	40,9 <sup>b</sup>
Játra	Kontrola	111 <sup>a</sup>	36,0
	Se-kvasnice	241 <sup>b</sup>	40,2
	Se-Chlorella	236 <sup>b</sup>	38,0

<sup>a,b</sup> Hodnoty s různými indexy ve stejném sloupci a sekci se signifikantně liší (P<0,05)

Doplňek zdrojů organicky vázaného Se zvýšil obsah Se ve svalu a játrech. Mezi selenovými kvasnicemi a řasou nebyl rozdíl. Současně došlo ke zvýšení obsahu  $\alpha$ -tokoferolu, vyjma tkáně jater.

#### 4.2 Vliv kombinace selenu a vitamínu C na složení a oxidační stabilitu masa kuřat

Účinek kombinace zdrojů selenu s vitamínem C u nosnic je popsán v kapitole 2.4. Obdobný pokus s kombinací Se a vitamínu C u brojlerových kuřat popisuje níže uvedený text. Krmná směs s pšenicí, kukuřicí a sojovou moukou kuřat ROSS 308 byla doplněna o seleničitan sodný, selenové kvasnice Sel-Plex (à 0,3 mg Se/kg) a vitamín C (ROVIMIX® od DSM Nutritional Products) v množství 0, 280 a 560 mg/kg. Selen ve vzorcích jsme stanovovali fluorimetricky (metoda 996.16, AOAC, 2005), vitamín C chromatograficky. Další metody již byly zmíněny.

Tabulka 36 uvádí obsah Se a vitamínu C v stehenním svalu kuřat. Nálezy se vztahují k sušině.

**Tabulka 36.** Obsah vitamínu C, selenu a tuku v stehenním svalu v závislosti na přídatku vitamínu C a zdrojů selenu do krmiva kuřat.

Krmivo		Obsah ve svalu		
Se	Vitamin C	Vitamin C (mg/kg)	Se ( $\mu$ g/kg)	Tuk (g/kg)
-	0	106 <sup>d</sup>	193 <sup>a</sup>	266 <sup>a</sup>
	280	124 <sup>c</sup>	232 <sup>a</sup>	233 <sup>b</sup>
	560	135 <sup>b</sup>	223 <sup>a</sup>	218 <sup>c</sup>
Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	0	113 <sup>cd</sup>	397 <sup>b</sup>	236 <sup>b</sup>
	280	123 <sup>c</sup>	403 <sup>b</sup>	222 <sup>bc</sup>
	560	144 <sup>ab</sup>	406 <sup>b</sup>	216 <sup>c</sup>
Sel-Plex	0	116 <sup>cd</sup>	622 <sup>c</sup>	228 <sup>b</sup>
	280	128 <sup>bc</sup>	561 <sup>c</sup>	230 <sup>b</sup>
	560	148 <sup>a</sup>	616 <sup>c</sup>	238 <sup>b</sup>

<sup>a-d</sup> Hodnoty ve stejném sloupci s různými indexy se signifikantně liší (P<0,05)

Z údajů Tabulky 36 vyplývá, že se výrazně projevil vliv přídatku selenu do krmiva. Jeho organická podoba byla dle očekávání účinnější než seleničitan. S rostoucím obsahem vitamínu C v krmivu se zvyšoval obsah vitamínu C ve svalu stehna. U kuřat prvních dvou skupin dostávajících vitamín C byl obsah tuku v mase snížen. Byly-li zdrojem Se selenové kvasnice, tak se vliv vitamínu C na obsah tuku v mase neprojevil.

Tabulka 37 představuje hodnoty oxidační stability vyjádřené koncentrací zplodin oxidačního poškození lipidů masa stehna kuřat. Maso bylo čerstvé či skladované 5 dnů při 4°C.

**Tabulka 37.** Oxidační stabilita masa kuřat (TBARS) vyjádřená obsahem malondialdehydu v závislosti na přídatku vitamínu C a selenu.

Krmivo		TBARS (mg/kg)	
Se	Vitamin C	Maso čerstvé	Maso skladované
-	0	566 <sup>a</sup>	970 <sup>a</sup>
	280	536 <sup>a</sup>	635 <sup>b</sup>
	560	616 <sup>a</sup>	693 <sup>b</sup>
Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	0	419 <sup>b</sup>	556 <sup>b</sup>
	280	353 <sup>bc</sup>	419 <sup>d</sup>
	560	303 <sup>c</sup>	454 <sup>cd</sup>
Sel-Plex	0	401 <sup>b</sup>	488 <sup>c</sup>
	280	413 <sup>b</sup>	460 <sup>c</sup>
	560	383 <sup>b</sup>	484 <sup>c</sup>

<sup>a-d</sup> Hodnoty ve stejném sloupci a sekci s různými indexy se významně liší (P<0,05)

Je zřejmé, že jak doplněk Se, tak i vitamin C v krmivu snižovaly oxidační poškození lipidů masa kuřat. Byly-li zdrojem Se selenové kvasnice, tak se vliv vitamínu C na oxidační stabilitu masa neprojevil.

#### **4.3 Účinek lykopenu a vitamínu E na užitkovost, obsah antioxidantů v mase kuřat a oxidační stabilitu masa**

Lykopen je význačný antioxidant nacházející se v ovoci a zelenině, zejména v rajčatech. Je to acyklický karotenoid s 11-ti konjugovanými vazbami, velmi hydrofobní a účinný proti singletovému kyslíku [38]. Základní informace o vlivu lykopenu na kvalitu masa kuřat podali Ševčíková a kol. [39]. Zde uvádíme popis kombinace lykopenu a vitamínu E na užitkovost a některé parametry, které souvisí s kvalitou masa kuřat.

Krmivo kuřat ROSS 308 obsahovalo pšenici, kukuřici a soju jako hlavní komponenty. Bylo doplněno lykopem (0 a 75 mg/kg) a vitamínem E (0, 50 a 100 mg/kg). Lykopen dodala Alchimica Praha. Obsah karotenoidů a vitamínů A a E byl ve vzorcích stanoven chromatograficky.

Tabulka 38 uvádí užitkovost kuřat v pokusných skupinách.



**Tabulka 38.** Užitekčnost kuřat při různém obsahu vitamínu E a lykopenu v krmivu.

Vitamin E (mg/kg)	0		50		100	
Lykopen (mg/kg)	0	75	0	75	0	75
Hmotnost - den 0 (g)	45	45	45	45	45	45
Hmotnost - den 21 (g)	990 <sup>b</sup>	994 <sup>b</sup>	975 <sup>b</sup>	1030 <sup>a</sup>	989 <sup>b</sup>	966 <sup>b</sup>
Hmotnost - den 35 (g)	2578 <sup>a</sup>	2559 <sup>ab</sup>	2540 <sup>ab</sup>	2602 <sup>a</sup>	2499 <sup>b</sup>	2495 <sup>b</sup>
Konverse (kg/kg)	1,51	1,55	1,57	1,50	1,67	1,51

<sup>a,b</sup> Hodnoty s různými indexy ve stejném řádku se významně liší (P<0,05)

Nejvyšší hmotnost 35. den věku kuřat byla ve skupině s krmivem doplněným o 50 mg/kg vitamínu E a 75 mg/kg lykopenu (P<0,05). Hmotnosti kuřat dalších skupin nebyly významně odlišné.

+Tabulka 39 shrnuje nálezy koncentrací vitamínů v mase a karotenoidů v játrech. Nálezy se vztahují k sušině.

**Tabulka 39.** Obsah tuku, vitamínů E a A v stehenním svalu a obsah karotenoidů v játrech kuřat.

Vitamin E (mg/kg)	0		50		100	
Lykopen (mg/kg)	0	75	0	75	0	75
<b>Stehenní sval</b>						
- tuk (g/kg sušiny)	206 <sup>a</sup>	217 <sup>a</sup>	179 <sup>b</sup>	198 <sup>ab</sup>	196 <sup>ab</sup>	201 <sup>ab</sup>
- vitamin E (mg/kg)	22,1 <sup>d</sup>	20,3 <sup>d</sup>	48,7 <sup>c</sup>	42,7 <sup>c</sup>	70,4 <sup>a</sup>	58,9 <sup>b</sup>
- vitamin A (mg/kg)	0,70 <sup>c</sup>	0,94 <sup>b</sup>	0,67 <sup>c</sup>	1,08 <sup>a</sup>	0,68 <sup>c</sup>	0,97 <sup>ab</sup>
<b>Játra (mg/kg)</b>						
- lykopen	0,28 <sup>d</sup>	1,66 <sup>c</sup>	0,29 <sup>d</sup>	2,20 <sup>b</sup>	0,27 <sup>d</sup>	2,82 <sup>a</sup>
- lutein	4,73	4,57	4,40	4,39	4,69	4,31

<sup>a-d</sup> Hodnoty s různými indexy ve stejném řádku se významně liší (P<0,05)

Přídavek lykopenu k vitamínu E snižoval obsah vitamínu E v mase, v případě největšího přídávku vitamínu E (100 mg/kg) je tento vliv významný. Naopak, přídavek lykopenu zvyšoval obsah vitamínu A v mase. Dle očekávání, přídavek lykopenu do krmiva zvyšoval obsah lykopenu v tkáni jater. Obsah luteinu v tkáni jater byl ve všech skupinách kuřat stejný.

Očekávaným důsledkem přídávku antioxidantů do krmiva je zlepšení oxidační stability masa.

Následující Tabulka 40 ukazuje, jak byl tento předpoklad naplněn.

**Tabulka 40.** Oxidační stabilita masa kuřat vyjádřená obsahem malondialdehydu (MDA) v závislosti na přídatku vitamínu E a lykopenu.

Vitamin E (mg/kg)	0		50		100	
Lykopen (mg/kg)	0	75	0	75	0	75
MDA – den 0 (mg/kg)	0,30 <sup>b</sup>	0,51 <sup>a</sup>	0,27 <sup>d</sup>	0,37 <sup>bc</sup>	0,31 <sup>cd</sup>	0,28 <sup>d</sup>
MDA – den 3 (mg/kg)	0,80 <sup>a</sup>	0,62 <sup>b</sup>	0,47 <sup>c</sup>	0,49 <sup>bc</sup>	0,43 <sup>c</sup>	0,49 <sup>bc</sup>

<sup>a-d</sup> Hodnoty s různými indexy ve stejném řádku se významně liší ( $P < 0,05$ )

Tabulka 40 ukazuje, že přídavek vitamínu E do krmiva zlepšil oxidační stabilitu masa, mezi dávkováním 50 mg/kg a 100 mg/kg však nebyl významný rozdíl. Účinek lykopenu byl nejednoznačný. Pozitivně se projevil pouze u masa skladovaného 3 dny, při absenci doplňku vitamínu E ve směsi.

#### 4.4 Účinek kombinace vitamínu E a kyseliny kaprylové u kuřecích brojlerů

Kyselina kaprylová je mastná kyselina s osmi atomy uhlíku. Je přirozenou součástí mléčného tuku. Kyselina kaprylová má bakteriostatické a baktericidní účinky vůči řadě patogenních bakterií [40]. Předchozí práce [41] popisuje účinek kyseliny kaprylové u selat a práce [42] popisuje účinek kyseliny kaprylové u králíků. Vznikla proto potřeba popsat účinek kyseliny kaprylové u kuřat, i z hlediska ovlivnění účinku vitamínu E.

K pokusu byli použiti kohoutci ROSS 308, jejichž základní krmná dávka byla doplněna o 50 mg/kg vitamínu E a v pokusné skupině také o kyselinu kaprylovou (Sigma) v množství 2,5 g/kg. Sledován byl růst a oxidační stabilita prsního masa.

Oba parametry jsou uvedeny v Tabulce 41. Produkty oxidačního poškození lipidů jsou vyjádřeny jako malondialdehyd (MDA).

**Tabulka 41.** Účinek kyseliny kaprylové v kombinaci s vitamínem E na růst kuřat a oxidační stabilitu masa.

Vitamin E (mg/kg)	50	50
Kyselina kaprylová (g/kg)	0	2,5
Hmotnost kuřat (g) – 21. den	846 <sup>a</sup>	807 <sup>b</sup>
Hmotnost kuřat (g) – 38. den	2608	2556
MDA (mg/kg) 0. den	0,59	0,49
MDA (mg/kg) 3. den	0,68 <sup>a</sup>	0,56 <sup>b</sup>
MDA (mg/kg) 5. den	0,71 <sup>a</sup>	0,59 <sup>b</sup>

<sup>a,b</sup> Hodnoty ve stejném řádku s různými indexy jsou významně odlišné ( $P < 0,05$ )

Výsledky ukazují, že přídavek kyseliny kaprylové do krmiva snížil růst kuřat, statisticky významně ale jen v 21 dnech věku. Zlepšil však oxidační stabilitu masa, jak po 3, tak i po 5 dnech skladování při 4°C.

## 5. Shrnutí a diskuse

Společným znakem látek, o nichž studie pojednává, je jejich antioxidační aktivita. Může být doprovázena dalšími vlastnostmi, proto je o selenu, vitamínech s antioxidační kapacitou a karotenoidech pojednáno odděleně. Je také přihlédnuto k rozdílným potřebám nosnic a brojlerových kuřat.

### 5.1 Selen a vitamin E

Se je esenciální mikroprvek, jeho potřeba u lidí se odhaduje na 55 µg/den (viz str. 9). Skutečný příjem potravou je v různých zemích různý, přičemž ČR údajně patří k zemím s nízkým příjmem selenu u obyvatel [43]. V roce 1993 Korunová a kol. [44] zjistili, že koncentrace Se v séru naší populace je zřejmě pod evropským průměrem, jen 74 µg/l. U populace U.S.A. je tato koncentrace 137 µg/l [45]. Ruprich a Řehůrková ve své studii [46] uvádějí, že průměrný příjem selenu v ČR v roce 1999 činil 37 µg/den, tj. méně než je žádoucí. Pokud se ale selen přijímá v nadbytku, pak škodí [47]. Z toho důvodu EU omezila příjem Se v organické podobě na 0,2 mg Se/kg kompletního krmiva [48]. Nařízení se týká selenomethioninu produkovaného kvasinkou *Saccharomyces cerevisiae*, a týká se schválených komerčních produktů. Řasa *Chlorella* obsahuje řadu dalších sloučenin Se: selenoethionin, dimethylselenonium propionát a Se-allylselenocystein [49]. Speciace sloučenin Se v biologickém materiálu není snadná, zejména je obtížné extrahovat sloučeniny Se z hydrofobní oblasti membrán.

Drůbež má nutriční požadavek na selen ve výši 0,10-0,15 mg/kg krmiva [50]. Účelem obohacení diet drůbeže selenem ve větším množství je proto snaha získat výrobek, který pomůže snížit deficit Se v lidské výživě, současně se zvýšením oxidační stability. Srovnání selenových kvasnic Sel-Plex a seleničitanu potvrzuje známou skutečnost, že organicky vázaný selen je snáze dostupný než anorganický. Přínosem je zjištění, že selenem obohacená řasa *Chlorella* je rovnocenná selenovým kvasnicím. Kromě *Chlorelly* lze se stejným výsledkem použít i selenem obohacenou řasu *Scenedesmus quadricauda* [51]. Ta obsahuje 23% Se ve formě selenomethioninu a selenocysteinu a 77% Se v podobě dalších sloučenin Se. Selenové kvasnice naproti tomu obsahují 60-84% Se v podobě selenomethioninu, 3-5% v podobě

selenocysteinu a jen menší část jako další sloučeniny Se [52]. Selenové kvasnice, řasa i seleničitan významně zvýšily obsah  $\alpha$ -tokoferolu ve žloutku. Tím, že se selen a vitamin E mohou částečně zastupovat je více  $\alpha$ -tokoferolu nosnicím k dispozici pro uložení ve žloutku (Tabulka 3). Naopak, zvyšuje-li se obsah  $\alpha$ -tokoferolu v dietě, více Se se ukládá ve žloutku, za předpokladu, že zdrojem Se je organická sloučenina (Tabulka 5).

## 5.2 *Selen a vitamin C*

Vývoj stabilních forem vitaminu C umožnil jeho zařazení do krmných směsí. Do této studie jsou zařazeny výsledky pokusů s použitím vitaminu C u nosnic i kuřecích brojlerů. V prvním případě samotný vitamin C zvýšil produkci vajec, byl-li však kombinován se zdroji Se, pak produkci vajec snížil (Tabulka 8). Vitamin C ve všech případech zhoršil oxidační stabilitu lipidů žloutku, choval se tudíž jako pro-oxidant. Selen tento negativní účinek zmírnil. I jiní autoři zjistili, že vitamin C může být pro-oxidant, vždy však v souvislosti s přítomností vitaminu E [28, 30]. V pokuse s kuřaty doplněk vitaminu C zvýšil obsah vitaminu C v mase (Tabulka 36), následně zlepšil oxidační stabilitu lipidů masa (Tabulka 37). Přídavek vitaminu C neměl vliv na ukládání Se v mase, není tudíž analogie se vztahem vitaminu E a selenu. Lze shrnout, že účinek vitaminu C na oxidační stabilitu lipidů vajec a masa se lišil. Srovnání je zřejmě ovlivněno různým hospodařením s vitaminem C u nosnic a kuřecích brojlerů (vejce vs. tkáň).

## 5.3 *Karotenoidy*

Karotenoidy jsou potřebnou a někdy i nezbytnou součástí potravy lidí. Ve výživě drůbeže karotenoidy slouží ke zvýšení oxidační stability lipidů vajec a masa a k zvýraznění barvy žloutku a kůže. Zvýšení oxidační stability drůbežích produktů je v zájmu výrobců, prodejců i spotřebitelů. U nosnic jsou karotenoidy především prostředkem k docílení optimální barvy žloutku, tak aby vyhovovala požadavku spotřebitele. V různých zemích mají spotřebitelé různé požadavky na barvu žloutku s tím, že vyšší stupeň zbarvení je spíše požadován v zemích jižních než severních. K docílení optimálního zbarvení žloutku se nejčastěji používají syntetické karotenoidy od firem BASF a DSM Nutritional Products. Použití syntetických karotenoidů je kritizováno, neboť canthaxanthin, který je v produktech Carophyll<sup>®</sup> Red a Lucantin<sup>®</sup> Red, vytváří při vyšším příjmu krystalky v sítnici. Evropská agentura pro bezpečnost potravin proto omezila jeho koncentraci v krmných směsích nosnic na 8 mg/kg (EU Commission Directive 2003/7/EC). Představené výsledky dokazují, že

syntetické karotenoidy lze nahradit přídatkem šetrně sušené řasy *Chlorella*, která je bohatým zdrojem karotenoidů. Totéž platí pro extrakt aksamitníku vzpřímeného. Jak *Chlorella*, tak i extrakt aksamitníku zvyšují obsah luteinu a zeaxanthinu v žloutku. Pokus s extraktem aksamitníku ukázal, že obsah luteinu a zeaxanthinu v žloutku byl úměrný přídatku extraktu do krmiva (Tabulka 23). Tento výsledek ukazuje na dobrou účinnost přenosu karotenoidů z krmiva do vajec. Neplatí to však pro  $\beta$ -karoten. Jeho obsah v pastvě byl stejný jako obsah  $\alpha$ -tokoferolu, přesto obsah v žloutku byl o několik řádů nižší (Tabulky 29, 31). Lutein a zeaxanthin chrání oční sítnici před oxidačním poškozením [53]. Vysoký obsah luteinu a zeaxanthinu je také v žloutku nosnic s přístupem k pastvě (Tabulka 21). Přídatkem semene hořčice do krmiva sice zlepšil barvu žloutku, ale nevedl k obohacení žloutku o karotenoidy (Tabulka 28). Zlepšení barvy žloutku lze dosáhnout i luteinem, ten je však drahý, navíc nevhodný pro organické zemědělství, protože při jeho výrobě se používají rozpouštědla.

Vstřebažené antioxidanty ukládají nosnice přednostně do vajec [54], vejce jsou proto bohatým zdrojem antioxidantů a přínosem pro lidskou výživu.

## 6. Závěr

Studie shrnuje výsledky experimentů uskutečněných oddělením fyziologie výživy a jakosti produkce ve Výzkumném ústavu živočišné výroby v Praze 10 – Uhřetěvesi. Z řady publikovaných prací je několik uvedeno v seznamu literatury. Přehled o výsledcích práce bude úplnější, uvedeme-li ještě publikace č. [55] a [56].

## 7. Literatura

- [1] Diplock A.T., Charleux J.-L., Crozier-Willi G., Kok F.J., Rice-Evans C., Roberfroid M., Stahl W., Viña-Ribes J.: Functional food science and defence against reactive oxidative species. *Br. J. Nutr.* 80 (Suppl. 1), S77-S112, 1998.
- [2] Voet D., Voet J.G.: *Biochemistry*, 3<sup>rd</sup> Ed., p. 671-672. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, U.S.A. 2004.
- [3] Murray R.K., Granuer D.K., Mayes P.A., Rodwell V.W.: *Harperova biochemie*, str.739-740. Nakladatelství a vydavatelství H&H, Jinočany 2002.
- [4] Benzie I.F.F.: Evolution of antioxidant defence mechanisms. *Eur. J. Nutr.* 39, 53-61, 2000

- [5] Krajčovičová-Kudláčková M., Spustová V., Pauková V.: Lipid peroxidation and nutrition. *Physiol. Res.* 53, 219-224, 2004.
- [6] Ginter E.: Antioxidanty v ľudskej výžive. *Vesmír* 77, 434-437, 1998.
- [7] Ames B.N., Cathcart R., Schwiers E., Hochstein P.: Uric acid provides an antioxidant defense in humans against oxidant- and radical-caused aging and cancer: A hypothesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 78, 6858-6862, 1981.
- [8] Behne D., Kyriakopoulos A.: Mammalian selenium-containing proteins. *Annu. Rev. Nutr.* 21, 453-473, 2001.
- [9] Chen L.H.: Interaction of vitamin E and ascorbic acid (review). *In Vivo* 3, 199-209, 1989.
- [10] Paolini M., Pozzetti L., Pedulli G.F., Marchesi E., Cantelli-Forti G.: The nature of prooxidant activity of vitamin C. *Life Sci.* 64, 273-278, 1999.
- [11] Thurnham D.I., Northrop-Clewes C.A.: Optimal nutrition: vitamin A and the carotenoids. *Proc. Nutr. Soc.* 58, 449-457, 1999.
- [12] Semba R.D.: Vitamin A and immunity to viral, bacterial and protozoal infections. *Proc. Nutr. Soc.* 58, 719-727, 1999.
- [13] Goodwin T.W.: Metabolism, nutrition, and function of carotenoids. *Ann. Rev. Nutr.* 6, 273-297, 1986.
- [14] Harrison E.H.: Mechanisms of digestion and absorption of dietary vitamin A. *Ann. Rev. Nutr.* 25, 87-103, 2005.
- [15] Handelman G.J., Nightingale Z.D., Lichtenstein A.H., Schaefer E.J., Blumberg J.B.: Lutein and zeaxanthin concentrations in plasma after dietary supplementation with egg yolk. *Am. J. Clin. Nutr.* 70, 247-251, 1999.
- [16] Bone R.A., Landrum J.T., Dixon Z., Chen Y., Llerena C.M.: Lutein and zeaxanthin in the eyes, serum and diet of human subjects. *Exp. Eye Res.* 71, 239-245, 2000.
- [17] Bose K.S.C., Agrawal B.K.: Effect of lycopene from tomatoes (cooked) on plasma antioxidant enzymes, lipid peroxidation rate and lipid profile in grade-I hypertension. *Ann. Nutr. Metab.* 51, 477-481, 2007.
- [18] Surai P.F.: *Selenium in Nutrition and Health*, pp.1-44, 857-922. Nottingham University Press, Nottingham, U.K., 2006.

- [19] Scalbert A., Williamson G.: Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J. Nutr.* 130, 2073S-2085S, 2000.
- [20] Shahidi F.: Antioxidants in food and food antioxidants. *Nahrung-Food* 44, 158-163, 2000.
- [21] Hassan S.: Selenium concentration in egg and body tissue as affected by the level and source of selenium in the hen diet. *Acta Agric. Scand.* 40, 279-287, 1990.
- [22] Bobcek B., Lahucky R., Mrazova J., Bobcek R., Novotna K., Vasicek D.: Effects of dietary organic selenium supplementation on selenium content, antioxidative status of muscles and meat quality of pigs. *Czech J. Anim. Sci.* 49, 411-417, 2004.
- [23] Latshaw J.D.: Natural and selenite selenium in the hen and egg. *J. Nutr.* 105, 32-37, 1975.
- [24] Kuricova S., Boldizarova K., Gresakova L., Bobcek L., Levkut M., Leng L.: Chicken selenium status when fed a diet supplemented with Se-yeast. *Acta Vet. Brno* 72, 339-346, 2003.
- [25] Surai P.F.: Effect of selenium and vitamin E content of the maternal diet on the antioxidant system of the yolk and the developing chick. *Br. Poult. Sci.* 41, 235-243, 2000.
- [26] EN 12822: Foodstuffs-Determination of Vitamin E by High Performance Liquid Chromatography – Measurement of  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, and  $\delta$ -Tocopherols (Brussels, European Committee for Standardization), 2000.
- [27] Skřivan M., Šimáně J., Dlouhá G., Doucha J.: Effect of dietary sodium selenite, Se-enriched yeast and Se-enriched Chlorella on egg Se concentration, physical parameters of eggs and laying hen production. *Czech J. Anim. Sci.* 51, 163-167, 2006.
- [28] Franchini A., Sirri F., Tallarico N., Minelli G., Iaffaldano N., Meluzzi A.: Oxidative stability and sensory and functional properties of eggs from laying hens fed supranutritional doses of vitamins E and C. *Poult. Sci.* 81, 1744-1750.
- [29] EN 14130: Foodstuffs - Determination of vitamin C by high performance liquid chromatography. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2004.
- [30] Chen L.H.: Interaction of vitamin E and ascorbic acid (review). *In Vivo* 3, 199-209, 1989.

- [31] Karadas E., Grammenidis E., Surai P.F., Acamovic T., Sparks N.H.: Effect of carotenoids from lucerne, marigold and tomato on egg yolk pigmentation and carotenoid composition. *Br. Poult. Sci.* 47, 561-566, 2006.
- [32] Kotrbáček V., Skřivan M., Kopecký J., Pěnkava O., Hudečková P., Uhríková I., Doubek J.: Retention of carotenoids in egg yolks of laying hens supplemented with heterotrophic *Chlorella*. *Czech J. Anim. Sci.* 58, 193-200, 2013.
- [33] Lokaewmanee K., Yamauchi K., Komori T., Saito K.: Enhancement of yolk color in raw and boiled egg yolk with lutein from marigold flower meal and marigold flower extract. *J. Poult. Sci.* 48, 25-32, 2011.
- [34] Bartov I., Bornstein S.: Studies on egg yolk pigmentation. 3. The effect of origin and storage of yellow corn on the utilization of its xanthophylls. *Poult. Sci.* 46, 796-805, 1967.
- [35] Lopez-Bote C.J., Sans A.R., Rey A.I., Castaño A., Isabel B., Thos J.: Effect of free range feeding on n-3 fatty acid and  $\alpha$ -tocopherol content and oxidative stability of eggs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 77, 33-40, 1998.
- [36] Ševčíková S., Skřivan M., Dlouhá G., Koucký M.: The effect of selenium source on the performance and meat quality of broiler chickens. *Czech J. Anim. Sci.* 51, 449-457, 2005.
- [37] Kuricova S., Boldizarova K., Gresakova L., Bobcek L., Levkut M., Leng L.: Chicken selenium status when fed a diet supplemented with Se-yeast. *Acta Vet. Brno* 72, 339-346, 2003.
- [38] Rao A.V., Shen H.L.: Effect of low dose lycopene intake on lycopene bioavailability and oxidative stress. *Nutr. Res.* 22, 1125-1131, 2002.
- [39] Ševčíková S., Skřivan M., Dlouhá G.: The effect of lycopene supplementation on lipid profile and meat quality of broiler chickens. *Czech J. Anim. Sci.* 53, 431-440, 2008.
- [40] Hassinen J.B., Durbin G.T., Bernhart F.W.: The bacteriostatic effect of saturated fatty acids. *Arch. Biochem. Biophys.* 31, 183-189, 1951.
- [41] Marounek M., Skřivanová E., Skřivanová V.: A note on the effect of caprylic acid and triacylglycerols of caprylic and capric acid on growth rate and shedding of coccidia oocysts in weaned piglets. *J. Anim. Feed Sci.* 13, 269-275, 2004.



- [42] Skřivanová V., Marounek M.: Effects of caprylic acid on performance and mortality of growing rabbits. *Acta Vet. Brno*, 71, 435-439, 2002.
- [43] Rayman M.P.: The use of high-selenium yeast to raise selenium status: how does it measure up? *Br. J. Nutr.* 92, 557-573, 2004.
- [44] Korunová V., Škodová Z., Dědina J., Valenta Z., Pařízek J., Píša Z., Stýblo M.: Serum selenium in adult Czechoslovak (Central Bohemia) population. *Biol. Trace Elem. Res.* 37, 91-99, 1993.
- [45] Laclaustra M., Navas-Acien A., Stranges S., Ordovas J.M., Guallar E.: Serum selenium concentration and hypertension in the US population. *Circulation-Cardiovasc. Qual. Outcom.* 2, 369-376, 2009.
- [46] Ruprich J., Řehůrková I.: Dietární expozice selenu v České republice. Státní zdravotní ústav v Praze, *CHPŘ* no, 2003.
- [47] Stranges S., Laclaustra M., Ji C., Cappuccio F.P., Navas-Acien A., Ordovas J.M., Rayman M., Guallar E.: High selenium status is associated with adverse blood profile in British adults. *J. Nutr.* 140, 81-87, 2010.
- [48] Commission implementing regulation no. 427/2013 of 8 May 2013.
- [49] Larsen E.H., Hansen M., Fan T., Vahl M.: Speciation of selenoamino acids, selenonium ions and inorganic selenium by ion exchange HPLC with mass spectrometric detection and its application to yeast and algae. *J. Anal. At. Spectrom.* 16, 1403-1408, 2001.
- [50] Nutrient Requirements of Poultry, 9<sup>th</sup> rev. ed., National Academy Press, Washington DC, U.S.A., 1994.
- [51] Skřivan M., Skřivanová V., Dlouhá G., Brányiková I., Zachlared V., Vítová E.: The use of selenium-enriched alga *Scenedesmus quadricauda* in a chicken diet. *Czech J. Anim. Sci.* 55, 565-571, 2010.
- [52] Rayman M.P., Goenaga Infante H., Sargent M.: Food-chain selenium and human health: spotlight on speciation. *Br. J. Nutr.* 100, 238-253, 2008.
- [53] Landrun J.T., Bone R.A.: Lutein, zeaxanthin and the macular pigment. *Arch. Biochem. Biophys.* 385, 28-40, 2001.

- [54] Loetscher Y., Kreuzer M., Messikommer R.E.: Late laying hens deposit dietary antioxidants preferentially in the egg and not in the body. *J. Appl. Poult. Res.* 23, 647-660, 2014.
- [55] Skřivan M., Marounek M., Dlouhá G., Ševčíková S.: Dietary selenium increases vitamin E contents of egg yolk and chicken meat. *Br. Poult. Sci.* 49, 482-486, 2008.
- [56] Skřivan M., Marounek M., Englmaierová M., Skřivanová E.: Influence of dietary vitamin C and selenium, alone and in combination, on the composition and oxidative stability of meat of broilers. *Food Chem.* 130, 660-664, 2012.