

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Krmné doplňky pro dotaci karotenoidů ve výživě
hospodářských monogastrů**

Bakalářská práce

Lucie Smrčková

Zootechnika, Speciální chovy

Ing. Vladimír Plachý, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Krmné doplňky pro dotaci karotenoidů ve výživě hospodářských monogastrů" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21.04.2022

Lucie Smrčková

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Vladimírovi Plachému, Ph.D. za odborné vedení, pomoc při vypracování a za vstřícný přístup.

Krmné doplňky pro dotaci karotenoidů ve výživě hospodářských monogastrů

Souhrn

Cílem chovu hospodářských monogastrů je chov zdravých zvířat s vysokou užitkovostí a produkcí nezávadných, pro člověka dobře vypadajících, nutričně bohatých živočišných produktů. Ke splnění tohoto cíle může pomoci dotace karotenoidů, a to z přírodních i syntetických zdrojů, do krmné dávky monogastrů. Karotenoidy jsou životně důležité fytochemikálie zlepšující zdraví lidí a zvířat, které si neumí sami syntetizovat. Také mají funkci jako žlutočervené pigmenty ovlivňující barvu živočišných produktů hospodářských monogastrů, obzvláště masa, kůže a vaječných žloutků.

Tato bakalářská práce je zaměřena na popis a rozdělení látek spadajících do skupiny karotenoidů, jejich chemickou strukturu, na popis vlastností, na důvody přidavku do krmných dávek a na popis vlivu na živočišné produkty a organismus monogastrů, konkrétně prasat, nosnic a brojlerů kura domácího a lidí. Dále na popis dostupných a používaných aditiv karotenoidů z přírodních a syntetických zdrojů a s nimi spojenou výrobu, pěstování, zpracování, aplikaci, dávkování a dostupnost, také na možné alternativy využitelné například v ekologickém zemědělství a možné komplikace spojené s dotací karotenoidů hospodářským monogastrům.

Klíčová slova: karotenoidy, nosnice, brojleři, prasata, vaječný žloutek

Feed supplements for carotenoid subsidies in the nutrition of farm monogastres

Summary

The aim of breeding farm monogastres is the breeding of healthy animals with high yield and the production of harmless, nutritionally rich animal products that look good for humans. Subsidies to carotenoids, both natural and synthetic in the feed ration of monogastres can help to achieve this goal. Carotenoids are vital phytochemicals that improve human and animal health that they cannot synthesize on their own. They also function as yellow-red pigments affecting the color of animal products of farm monogastres, especially meat, skin and egg yolks.

This bachelor thesis is focused on the description and distribution of substances belonging to the group of carotenoids, their chemical structure, description of properties, reasons for addition and description of the effect on animal products and organisms of monogastres, namely pigs, laying hens and broilers. Furthermore the description of available and used carotenoid additives from natural and synthetic sources and the associated production, cultivation, processing, application, dosing and availability, as well as possible alternatives usable in ecological agriculture and possible associated with carotenoid subsidies to farm monogastres.

Keywords: carotenoids, laying hens, broilers, pigs, egg yolk

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce.....	9
3	Literární rešerše.....	10
3.1	Karotenoidy.....	10
3.1.1.	Funkce a výskyt karotenoidů	10
3.1.2	Chemická struktura a rozdělení karotenoidů	10
3.1.2.1	Karoteny	11
3.1.2.2	Oxykarotenoidy	12
3.2	Vliv dotace karotenoidů ve výživě hospodářských monogastrů.....	13
3.2.1	Vliv dotace karotenoidů na zdraví drůbeže	13
3.2.2	Vliv dotace karotenoidů na živočišné produkty chovu drůbeže	14
3.2.2.1	Vliv dotace karotenoidů ve výživě nosnic.....	14
3.2.2.2	Vliv dotace karotenoidů ve výživě kuřecích brojlerů.....	15
3.2.3	Vliv dotace karotenoidů na zdraví prasat	16
3.2.4	Vliv dotace karotenoidů na živočišné produkty chovu prasat	16
3.3	Vliv dotace karotenoidů na člověka a jeho zdraví.....	16
3.3.1	Provitamin A.....	17
3.4	Krmné doplňky pro dotaci karotenoidů.....	18
3.4.1	Přírodní zdroje karotenoidů a jejich aplikace	18
3.4.1.1	<i>Chlorella</i>	19
3.4.1.2	<i>Spirulina</i>	21
3.4.1.3	Mrkev obecná (<i>Daucus carota</i>).....	22
3.4.1.4	Pšenice setá (<i>Triticum aestivum</i>)	22
3.4.1.5	Kukuřice setá (<i>Zea mays</i>)	23
3.4.1.6	Zelená píce.....	24
3.4.1.7	Tolice vojtěška (<i>Medicago sativa</i>).....	24
3.4.1.8	Kopřiva dvoudomá (<i>Urtica dioica</i>)	25
3.4.1.9	Paprika setá (<i>Capsicum annum</i>)	25
3.4.1.11	Aksamitník vzpřímený (<i>Tagetes erecta</i>)	25
3.4.1.12	Okřehek menší (<i>Lemna minor</i>).....	26
3.4.2	Syntetické zdroje karotenoidů a jejich aplikace	27
3.4.2.1	Kantaxantin.....	28
3.4.2.2	Ethylester kyseliny beta-apo-8-karotenové	29
3.4.2.3	Citranaxantin.....	29
3.5	Komplikace způsobené dotací karotenoidů ve výživě hospodářských monogastrů	29
3.5.1	Komplikace způsobené dotací karotenoidů ve výživě drůbeže	30

3.5.2	Komplikace způsobené dotací karotenoidů ve výživě hospodářských monogastrů u člověka	30
3.5.3	Komplikace spojené se skladováním krmných doplňků pro dotaci karotenoidů .	31
4	Závěr	32
5	Literatura	33

1 Úvod

Karotenoidy jsou žluté až červené pigmenty, které vznikají jako sekundární metabolity rostlin. Dělí se na dvě skupiny, a to karoteny, které jsou pouze z vodíku a uhlíku a xantofyly, které obsahují navíc kyslík. Do skupiny karoteny patří lykopen a prekurzory vitamínu A beta-karoten a alfa-karoten. Xantofyly jako je lutein, zeaxantin, kapsantin a kapsorubin mají významné barvicí schopnosti. Dotace karotenoidů ve výživě hospodářských monogastrů, tedy zvířat s jedním žaludkem a konkrétně v této práci zmíněných prasat domácích (*Sus scrofa* f. *domestica*), nosnic a brojlerů kura domácího (*Gallus gallus* f. *domestica*) má své opodstatnění. Zvířata ani lidé si nejsou schopni sami karotenoidy syntetizovat a klasická krmiva jich neobsahují dostatečné množství. Karotenoidy mají velmi příznivý vliv na zdraví organismů, mají antioxidační a imunomodulační funkce, mají genově regulační vlastnosti a funkci jako prekurzory vitamínu A, který se z nich syntetizuje. Zlepšují užitečnost monogastrů, tím že zvyšují konverzi krmiva, zvyšují kvalitu ejakulátu, u nosnic zlepšují líhnivost, a snižují mortalitu mláďat. Karotenoidy ovlivňují také produkty monogastrů maso a vejce. Dotace karotenoidů nosnicím zvýrazňuje barvu vaječného žloutku, čímž se stává pro spotřebitele atraktivnější a obohacuje ho o tyto důležité esenciální látky, díky kterým má lepší nutriční přínos v lidské stravě. To samé platí i pro vepřové maso a maso kuřecích brojlerů. U lidí je prokázáno, že se při konzumaci stravy bohaté na karotenoidy snížil výskyt kardiovaskulárních onemocnění, snížil se výskyt rakoviny, snížil se výskyt věkem způsobené degradace oka a šedého zákalu. Krmná aditiva přidávána hospodářským monogastrům do krmiva jsou získávána z přírodních a syntetických zdrojů. Přírodní zdroj karotenoidů v krmivu prasat, nosnic a brojlerů může být rod řas *Chlorella*, která je zdroj luteinu, zeaxantinu, beta-karotenu a astaxantinu, nebo rod řas *Spirulina*, nebo vyšlechtěné barevné odrůdy mrkve, kukuřice a pšenice obsahující zvýšené množství karotenoidů, nebo tolíce vojtěška (*Medicago sativa*) a kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*), ve kterých nejvíce vyskytuje lutein, poté beta-karoten a zeaxantin, nebo sušená červená paprika obsahující kapsantin a kapsorubin, která je nejpoužívanější přírodní červené barvivo a také aksamitník vzpřímený (*Tagetes erecta*), který je zase nejpoužívanější žluté barvivo pro vysoký obsah luteinu. Některé přírodní zdroje karotenoidů mohou sloužit jako alternativa k průmyslově využívaným aditivům, která nejsou vždy ekonomicky dostupné nebo se nesmí využívat v ekologickém zemědělství, příklad tohoto zdroje může být okřehek menší (*Lemna minor*), který obsahuje i velké množství bílkovin. Syntetický červený karotenoid kantaxantin, který se používá k barvení vaječného žloutku a kůže a masa brojlerů se zpracovává do enterosolventních kapslí, které jsou přidávány do krmiva. Kantaxantin se prodává pod obchodními názvy Carophyll®Red, Lucantin®Red a Canthacol®. Ethylester kyseliny β-apo-8'-karotenové je žlutý pigment a prodává se pod názvy Carophyll®Yellow, Lucantin®Yellow a Xamacol®. S dotací karotenoidů můžou souviset komplikace se zpracováním, skladováním a rizika spojená například s předávkováním. Obecně jsou však karotenoidy netoxické a bezpečné i při vyšších dávkách.

2 Cíl práce

Cílem práce je sumarizace informací ve formě literární rešerše o složení, funkci, využití karotenoidů ve výživě hospodářských zvířat, vlivu na produkované suroviny pro potravinářský průmysl a současně popsání používaných a alternativních krmných zdrojů.

3 Literární rešerše

3.1 Karotenoidy

Karotenoidy jsou v přírodě rozšířená oranžová a žlutá (vzácně žlutozelená nebo červená) lipofilní barviva rostlin, hub, řas, mikroorganismů a některých zvířat (korýšů, ryb, ptáků a savců) (Velíšek 2014). Karotenoidy jsou sekundární metabolity rostlin (Cooperstone & Schwartz 2016) a jsou to všudypřítomné fytochemikálie, které mají roli v řadě speciálních procesů a jsou považovány za k životu důležité esenciální sloučeniny (Sharma et al. 2014).

Název karotenoidy je odvozený z beta-karotenu, který v roce 1831 izoloval a popsal chemik Heinrich W. H. Wackenroder (Zepka et al. 2018). Dnes známe okolo 700 přirozeně se vyskytujících karotenoidů. Z nichž 50 sloučenin může působit jako provitamin A (Velíšek 2014).

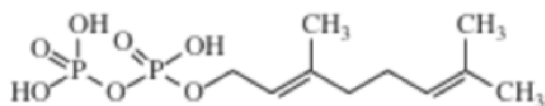
3.1.1. Funkce a výskyt karotenoidů

Rodriguez-Concepcion et al. (2018) uvádí, že ve fotosyntetických systémech jsou karotenoidy významné při sběru světla a také působí jako nezbytná fotoprotekce proti přebytku slunečního záření. Naopak v nefotosyntetických systémech jsou karotenoidy jako přírodní žluté až červené barvivo zodpovědné za žlutou barvu kukuřice, oranžovou barvu mrkve, dýně a pomerančů a červenou barvu rajčat a melounu. Jsou také důležité pro svou antioxidační aktivitu a mezibuněčnou komunikaci (Saini et al. 2015). Karotenoidy jsou nezbytné i k udržení normálního chování zvířat, pigmentace tkání živočichů (např. losos, pstruh, kreveta, humr, plameňák a křepelka) a poskytování sexuálně selektivních výhod spojených se zbarvením zvířat. Dále hrají karotenoidy u živočichů důležitou roli jako prekurzory pro syntézu vitamínu A (retinolu), retinalu (hlavní zrakový pigment) a kyseliny retinové, která řídí morfogenezi. U lidí snižují vliv stárnutí na makulární degradaci oka, hlavní příčiny slepoty u starších lidí po celém světě (Nisar et al. 2015).

U rostlin se karotenoidy nacházejí v různých typech plastidů, zde se i syntetizují a jsou vázané na bílkoviny. Ve vysokém množství se hromadí především v chloroplastech (fotosyntetická tkáň) a chromoplastech nacházejících se ve zralém ovoci, zelenině a v květech (Paznocht et al. 2018). U živočichů se karotenoidy vyskytují hlavně na světle vystavených místech, jako je kůže a jsou vázané na lipidech (Sharma et al. 2014).

3.1.2 Chemická struktura a rozdělení karotenoidů

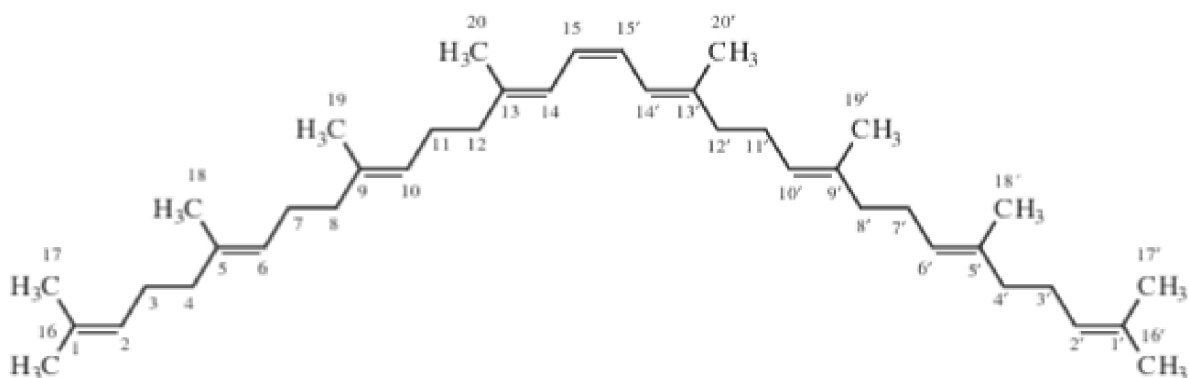
Většina karotenoidů jsou tetrapenoidy C₄₀ vzniklé spojením dvou molekul C₂₀ geranyldifosfátu (viz obrázek č. 1) obsahující osm isoprenových jednotek (Velíšek 2014, Saini et al. 2015). Dle Sharma et al. (2014) se karotenoidy dělí na dvě hlavní skupiny, a to karoteny (b-karoten, lykopen a další) obsahující pouze vodík a uhlík (mohou být cyklické nebo lineární) a na oxykarotenoidy (xantofyly, lutein a další) obsahující vodík, uhlík a kyslík ve formě hydroxy, epoxy nebo oxy skupin.



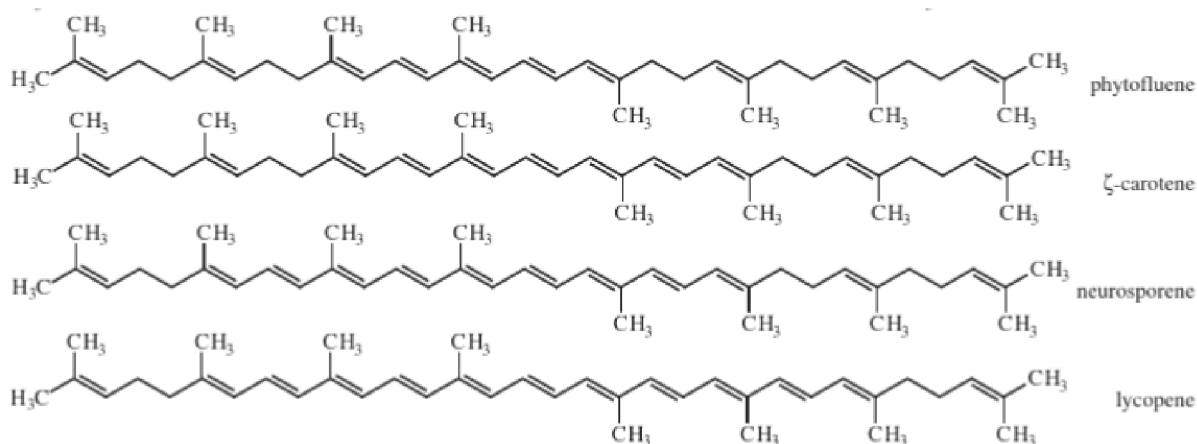
Obrázek č. 1: Geranyldifosfát (Velišek 2014)

3.1.2.1 Karoteny

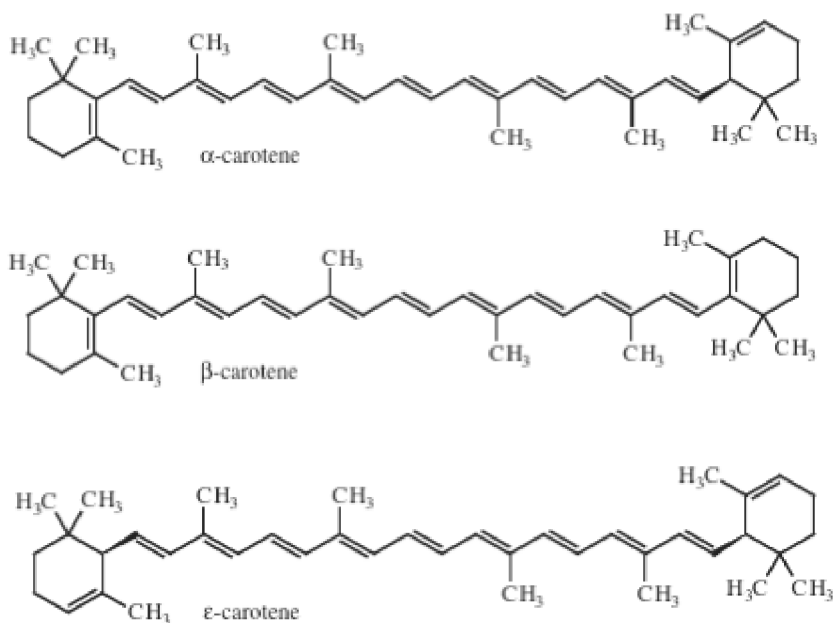
Velišek (2014) uvádí, že základní stavební jednotkou karotenů je nenasycený acylový polyuhlovdík nazývaný fyoten (viz obrázek č. 2), který je syntetizovaný ze dvou molekul geranyldifosfátu. Dále pak isomerací fyotenu vzniká trans-isomer fytofluenu (viz obrázek č. 3). Oxidací fytofluenu nám postupně vzniká acyklický zeta-karoten, neurosporen a lykopen (viz obrázek č. 3), který je koncový produkt biosyntézy a je hlavní barvivo např. rajčat a melounů (Velišek 2014). Mezi cyklické karoteny (viz obrázek č. 4), které slouží jako provitaminy A patří alfa-karoten, nejvíce aktivní beta-karoten a epsilon-karoten (Sharma et al. 2014). Tyto karoteny spolu s gama-karotenem, delta-karotenem, zeta-karotenem a lykopenem u lidí chrání plíce, poskytují ochranu před rakovinou prsu, tlustého střeva, dělohy a prostaty (Sharma et al. 2014).



Obrázek č. 2: Fyoten (Velišek 2014)



Obrázek č. 3: Fytofluenu a acyklické karoteny (Velišek 2014)

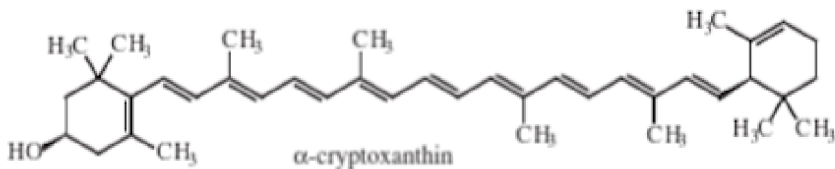


Obrázek č. 4: Cyklické karoteny (Velíšek 2014)

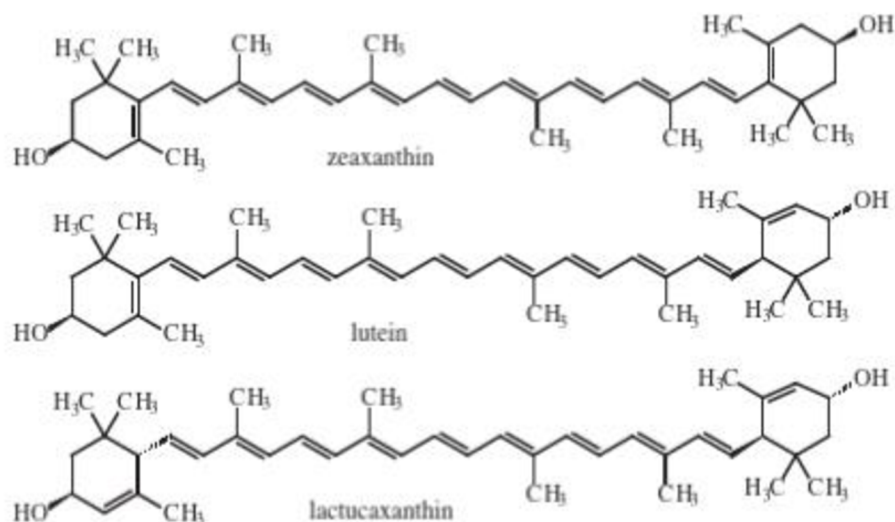
3.1.2.2 Oxykarotenoidy

Oxykarotenoidy neboli xantofyly se většinou vyskytují v zeleně zbarvené zelenině a žlutě zbarveném ovoci a jsou uloženy v sítnici oka (Sharma et al. 2014). Vznikají jako produkt biochemické oxidace karotenů a v potravě nejsou příliš zastoupeny (Velíšek 2014).

Kryptoxantiny jsou více zastoupeny, alfa-kryptoxantin (viz obrázek č. 5), pojmenovaný také jako zeinoxantin se nachází ve většině rostlinného materiálu a je odvozený od alfa a beta-karotenu (Velíšek 2014). Dále do této skupiny spadají dihydroxysubstituovaná barviva (viz obrázek č. 6) jako například zeaxantin, lutein, laktukaxantin, a další jako jsou epoxidy karotenoidů (antheraxantin, taraxantin, violaxantin), alleny (foliixantin a fucoxantin), mutatochrom, mutatoxantin, luteoxantin, auroxantin a kappa-karoteny (kapsantin, kapsorubin, kryptokapsin, kapsanton, kapsachrom) (Velíšek 2014).

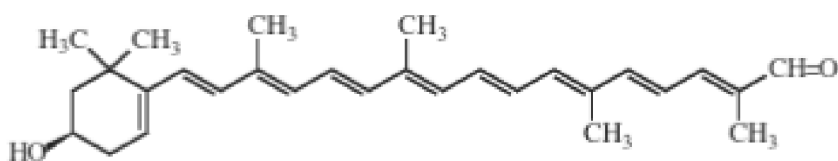


Obrázek č. 5: Alfa-kryptoxantin (Velíšek 2014)



Obrázek č. 6: Dihydroxysubstituovaná barviva (Velíšek 2014)

Apokarotenoidy neboli degradované karotenoidy jsou malá, ale velmi důležitá skupina xantofylů obsahující méně než 40 uhlíkových atomů v molekule, vznikající rozpadem karotenoidů. Nejdůležitější apokarotenoid je vitamin A₁ nebo také beta-citraurin (C30) (viz obrázek č. 7), bixin (C22) a crocetin (C20) (Velíšek 2014).



Obrázek č. 7: Beta-citraurin (Velíšek 2014)

3.2 Vliv dotace karotenoidů ve výživě hospodářských monogastrů

Karotenoidy pozitivně ovlivňují zdraví nosnic, kuřecích brojlerů, prasat a také jejich mláďat, kterým je předávají ukládáním do žloutku nebo spolu s mlékem během laktace. Dále se karotenoidy ukládají do živočišných produktů hospodářských monogastrů masa a vajec, a tím lidé tyto zdraví prospěšné látky přijímají ve své stravě. Karotenoidy ovlivňují živočišné produkty i z vizuálního hlediska, a ty se stávají pro spotřebitele atraktivnější.

3.2.1 Vliv dotace karotenoidů na zdraví drůbeže

Karotenoidy mají pro drůbež důležité biologické funkce. Například lutein má antioxidační a imunomodulační funkce a pozitivně ovlivňuje životaschopnost spermií, vyvíjející se embryo a vylíhlé kuře (Kotrbaček et al. 2013). Dále pak xantofyl kantaxanthin vychytává volné radikály, má antioxidační a genově regulační vlastnosti. (Esatbeyoglu & Rimbach 2016).

Další významnou funkci jako prekurzory vitamínu A mají karotenoidy kryptoxanthin, alfa-karoten a nejvíce beta-karoten. Vitamin A neboli retinol ochraňuje epitel před rohovatěním, a to tak, že diferencuje buňky na mucin-produkující, které se díky mucinu udržují vláčné a vlhké oproti keratinizovaným buňkám bez mucinu. Také má velmi významnou protiinfekční funkci tím, že chrání epitel sliznice střeva a dýchacího ústrojí. Pokud jsou tyto epitelové porušeny snadno propouští choroboplodné zárodky. Nedostatek vitamínu A u drůbeže má tyto projevy: slzení očí, okolí očí je edematózní, z nosu vytéká vodnatý výměšek, spojivky i rohovka vysychají, epitel keratinizuje, zvířata mají naježené peří, jsou apatická, mají nekoordinované pohyby, v ledvinách a močovodech se zadržuje kyselina močová a zvyšuje se výskyt krevních skvrn ve vejcích. Rozhodující pro posouzení množství vitamínu A je jeho obsah v játrech, kam se jeho zásoby ukládají. Provitamin beta-karoten je enzymem karotenázou přeměněn na retinol. Tato přeměna není nikdy úplná, na retinol se přemění 0-90 % beta-karotenu, nejčastěji 30 % (Zelenka 2014).

3.2.2 Vliv dotace karotenoidů na živočišné produkty chovu drůbeže

Syntetické a přírodní karotenoidy výrazně zlepšují u drůbeže konverzi krmiva (Englmaierová & Skřivan 2013). Denní příjem krmiva na slepici i jeho spotřeba na vejce se snižuje o 5-7 g. (Kotrbaček et al. 2013). Dle Kotrbačka et al. (2013) dodáváme karotenoidy do krmné dávky z toho důvodu, že klasické krmivo na bázi pšenice neposkytuje dostatečné množství hladiny luteinu a zeaxanthinu. Karotenoidy jsou běžně podávány kuřatům v komerčním chovu, aby zajistily pigmentaci vaječných žloutků a pigmentaci kůže. Barva produktů je totiž důležitým kritériem výběru potravin pro spotřebitele (Englmaierová & Skřivan 2013). Xantofyly mají výraznou barvicí schopnost oproti karotenům, které mají podíl na zbarvení živočišných produktů pouze kolem 7 % (Zelenka 2014). Pro dosažení přiměřené pigmentace vaječných žloutků se v 1 kg krmiva pro drůbež musí vyskytovat alespoň 15 mg xantofylů (Zelenka 2014).

3.2.2.1 Vliv dotace karotenoidů ve výživě nosnic

Karotenoidy jsou ukládány přednostně do žloutku (Loetscher et al. 2014), a proto jsou vejce velmi dobrým a cenným prostředkem pro přenos karotenoidů v lidské výživě (Englmaierová & Skřivan 2013). Vedle barvy drůbeže, žloutku a drůbežního masa mají karotenoidy ve výživě drůbeže vliv také na hmotnost vajec, zvýšení obsahu bílku, hmotnost skořápky, tloušťku skořápky, povrch skořápky a index skořápky. Dále karotenoidy, především aditiva chlorella a lutein, zvyšují oxidační stabilitu lipidů čerstvých vajec (Englmaierová & Skřivan 2013).

Ukládání karotenoidů závisí na jejich polaritě, nepolární karotenoidy se ukládají méně než xantofyly, které obsahují alespoň jeden atom kyslíku. Depozice beta-karotenu ve vaječných žloutcích je tedy nižší než depozice luteinu, zeaxanthinu a retinolu (Englmaierová & Skřivan 2013).

Barvu žloutku ovlivňují žluté karotenoidy jako je lutein, zeaxanthin, kryptoxanthin, violaxanthin a ethylester kyseliny β -apo-8'-karotenové, které žloutek barví pouze do žluté barvy i za vysokých dávek. Do oranžové barvy žloutek barví červené karotenoidy jako kapsorubin,

kantaxantin a citranaxantin. Když zvýšíme dávkování červených karotenoidů, může se žloutek zbarvit až do nepřirozených odstínů růžové či červené. Pro vizuální zhodnocení barvy žloutku byl vyvinut společností DSM Nutritional Products vějíř s 15 barevnými odstíny žloutku s názvem YolkFan™ (viz obrázek č. 8) (Grashorn 2016).



Obrázek č. 8: YolkFan™ (Grashorn 2016)

3.2.2.2 Vliv dotace karotenoidů ve výživě kuřecích brojlerů

Kromě výrazného antioxidačního účinku jsou karotenoidy, které může drůbež získat z krmiva zodpovědné za barvu drůbeže a jejich produktů. K posouzení barvy kůže se využívá od firmy DSM Nutritional Products vějíř BroilerFan™ (viz obrázek č. 9) s 8 barevnými odstíny drůbeží kůže (Grashorn 2016).



Obrázek č. 9: BroilerFan™ (Grashorn 2016)

Hamelin et al. (2013) uvádí, že barva jatečně upraveného těla a nohou je výrazně vyšší s 10 ppm kantaxantinu. Dle Rosa et al. (2012) nebyla přidáním kantaxantinu do krmné dávky kuřecích brojlerů ovlivněna tělesná hmotnost ani mortalita kuřat. Bylo však zaznamenáno zlepšení líhivosti, a to po přidavku 6 mg kantaxantinu do 1 kg komerčního krmniva kuřecím

brojlerům, a také snížení embryonální úmrtnosti v prvních 48 hodinách inkubace a v posledním týdnu inkubace. A to z toho důvodu, že se karotenoidy nahromaděné ve žloutcích přenášejí do embryonálních tkání kuřat (Müller et al. 2012). Kombinace dotace syntetickými karotenoidy kantaxinem a apokarotenoidy do krmné dávky kuřecích brojlerů v množství 25 ppm měla pozitivní vliv na užítkovost, krevní parametry a pigmentaci u tepelně stresovaných brojlerů (Prabakar et al. 2017). Oproti tomu lykopen zvyšuje u brojleru podíl proteinu a snižuje hladinu cholesterolu (Englmaierová et al. 2011).

3.2.3 Vliv dotace karotenoidů na zdraví prasat

Karotenoidy mají kromě již zmíněných antioxidačních a imunomodulačních funkcí pozitivní vliv na kvalitu kančího ejakulátu (Holman & Malau-Aduli 2012). Nedostatek retinolu, jehož provitamin je primárně beta-karoten způsobuje u prasat narušení reprodukčních funkcí, snižuje rychlost a intenzitu růstu, zvyšuje náchylnost k nemocem a mortalitu selat (Provorov et al. 2015). Jednou z příčin mortality selat, jsou průjmová onemocnění při odstavu od matky a mléčné stravy. Beta-karoten přidávaný do krmných směsí selat při odstavu výrazně snižuje výskyt průjmových onemocnění (Li et al. 2021).

3.2.4 Vliv dotace karotenoidů na živočišné produkty chovu prasat

Krmná dávka prasnic obohacená o karotenoidy má vliv na množství karotenoidů a retinolu v mléce, které produkují a následně během laktace zvýší hladiny karotenoidů a retinolu v tělech selat určených k lidské spotřebě a tím je lidská strava obohacena o tyto zdraví prospěšné látky (Heying et al. 2013).

3.3 Vliv dotace karotenoidů na člověka a jeho zdraví

Lidé si sami nejsou schopni syntetizovat karotenoidy mající velmi důležitou funkci na zdraví (viz tabulka č. 1) a musí je přijímat spolu se stravou (Eggersdorfer & Wyss 2018). Saeid et al. (2016) uvádí, že vejce nebo kuřecí maso lze snadno neinvazivně obohatit o cenné živiny přidávkem karotenoidů do krmné dávky nosnic a brojlerů, například vaječné žloutky jsou v lidské stravě výborným zdrojem zeaxanthinu, luteinu, alfa-karotenu a beta-karotenu (Barros et al. 2018). Karotenoidy jsou v lidské výživě důležité jako antioxidanty, provitam A a dodávají barvu jídlu (Saini et al. 2015). Studie prokázaly, že konzumace stravy bohaté na karotenoidy je spojována s nižším výskytem rakoviny, kardiovaskulárních onemocnění, věkem způsobené degradace oka a tvorbě šedého zákalu (Meyers et al. 2014).

Zdravotní přínos	Karotenoid
Provitamin A	Alfa-karoten, beta-karoten, kryptoxantin
Zdraví očí	Lutein, zeaxantin,
Mozek - kognitivní funkce	Lutein, beta-karoten
Zdraví srdce	Lykopen
Prevence rakoviny	Lykopen
Kůže -UV protekce	Lykopen, beta-karoten
Plodnost	Beta-karoten, lutein
Imunita – modulace a stimulace	Beta-karoten
Genomické účinky na transkripci a translaci	Lykopen, beta-karoten
Mateřská a kojenecká výživa	Lutein

Tabulka č. 1: Pozitivní účinky karotenoidů na lidské zdraví (Eggersdorfer & Wyss 2018)

Zeaxantin a lutein chrání sítnici filtrací světla, mají důležitou úlohu v prevenci některých očních poruch, mají antioxidační účinky ve vztahu s kardiovaskulárním onemocněním (Englmaierová & Skřivan 2013, Kotrbáček et al. 2013). Tyto karotenoidy se hromadí v oblasti sítnice a chrání oko před již zmíněným rozvojem šedého zákalu a makulární degradace (Englmaierová & Skřivan 2013). Lykopen hraje důležitou roli v prevenci rakoviny a kardiovaskulárních onemocnění, a to tak, že zlepšuje průtok krve a snižuje zánětlivé reakce. Dále má lykopen příznivé účinky na jedince s nedostatkem antioxidantů, jako jsou starší pacienti, kuřáci, diabetici a pacienti s akutním infarktem myokardu (Müller et al. 2015). Astaxantin zvyšuje hladinu cholesterolu o vysoké denzitě HDL, který zlepšuje kardiovaskulární systém (Prabakar et al. 2017).

3.3.1 Provitamin A

Provitaminy A kryptoxanthin, alfa-karoten a hlavně beta-karoten jsou prekurzory vitamínu A, neboli retinoidů retinolu, retinalu a kyseliny retinové. Beta-karoten je nejprve přeměněn enzymem karotenázou centrickým oxidačním štěpením na all-trans-retinal, ten je poté redukován na all-trans-retinol a po esterifikaci je ve velkém množství ukládán v játrech nebo také v plicích a v tukové tkáni. V oku se retinoidy mohou přeměnit na 11-cis-retinal zrakový pigment (Von Lichtig 2012). Vitamin A podporuje funkci zraku, tvorbu kůže, krvetvorbu a imunitu (Eggersdorfer & Wyss 2018).

Nedostatek vitamínu A je problémem především v rozvojových zemích (Eggersdorfer & Wyss 2018). Studie v Indii zjistila 54% snížení dětské úmrtnosti u dětí, kterým byly podávány malé týdenní dávky předem připraveného vitamínu A, což představovalo dosažitelné denní konzumované množství z potravin. Je to způsobeno, tím, že plíce a slezina, dva orgány nezbytné pro imunitní funkci přijímají vitamín A (Heying et al. 2013). Dle Rubin et al. (2017) zánět v těle ovlivňuje metabolismus retinoidů a karotenoidů. Infekce a infekční onemocnění snižují příjem vitamínu A v důsledku sníženého vstřebávání vitamínu ze střeva, zároveň jeho nedostatek zvyšuje závažnost infekčních onemocnění (Stephensen 2013).

3.4 Krmné doplňky pro dotaci karotenoidů

Zvířata a lidé si nejsou schopni biosyntetizovat karotenoidy, a proto tyto sloučeniny přijímají z potravinových zdrojů (Esatbeyoglu & Rimbach 2016).

Karotenoidy jsou lipofilní látky a lépe se vstřebávají po přidavku tuku do krmné dávky, například řepkového, palmového a slunečnicového oleje (Marounek & Dušková 2020).

V Evropské unii musí být krmné doplňky pro hospodářská zvířata schváleny (Grashorn 2016). Právním podkladem pro povolování, výrobu, uvádění do oběhu, zpracování a používání doplňkových látek je Nařízení (ES) 1831/2003 Evropského Parlamentu Rady o doplňkových látkách pro použití ve výživě zvířat. Doplňkové látky jsou definovány jako: „Látky, mikroorganismy nebo přípravky, jiné než krmné suroviny a premixy, které se záměrně přidávají do krmiva nebo vody, aby splnily zejména některé z následujících funkcí: musí mít příznivý vliv na vlastnosti krmiva, pozitivní vliv na vlastnosti živočišných produktů, pozitivní vliv na zbarvení okrasných ryb a ptáků, uspokojovat potřeby zvířat týkající se výživy, mít příznivý vliv na důsledky živočišné výroby pro životní prostředí, mít příznivý vliv na živočišnou produkci, užitečnost nebo dobré životní podmínky zvířat, zejména působením na flóru gastrointestinálního traktu nebo trávení krmiva nebo mít kokcidiostatický nebo histomoniostatický účinek. Nikdo nesmí uvést do oběhu doplňkovou látku, zpracovat ji nebo použít, pokud ji nebylo uděleno odpovídající povolení Společenství“. V České Republice hospodaření s doplňkovými látkami upravuje Zákon 91/1996 Sb., o krmivech a na plnění jeho podmínek a předpisů dohlíží Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ) (Zelenka 2014). V současné době je schváleno 9 karotenoidů použitelných ve výživě drůbeže a to jsou přírodní lutein, zeaxanthin, β -kryptoxantin, violaxanthin a kapsantin extrahované z rostlinného materiálu a syntetické Ethylester kyseliny β -apo-8'-karotenové, β -apo-8'-karotenal, kantaxantin a citranaxanthin (Grashorn 2016).

3.4.1 Přírodní zdroje karotenoidů a jejich aplikace

Poptávka spotřebitelů po nesyntetických barvivech vede průmysl k rozvoji přírodních zdrojů karotenoidů s cílem nahradit chemickou syntézu (Pasarín & Rovínaru 2018). Mezi přírodní zdroje karotenoidů patří například mikrořasy, rostlinné extrakty a mrkev (Kotrbaček et al. 2013). Složení a obsah karotenoidů v ovoci, zelenině a v obilninách je ovlivněn zpracováním a posklizňovou úpravou (Saini et al. 2015). Například vysoké teploty a sucho

během vegetačního období podporují biosyntézu karotenoidů (Paznocht et al. 2018). Celkově je tedy stravitelnost a využitelnost karotenoidů ovlivněna zdrojem potravy, stupněm zpracování, interakcí s jinými karotenoidy, dobou průchodu střevem, výživným stavem jedince, věkem, pohlavím a genetickým založením (Esatbeyoglu & Rimbach 2016). Nejčastěji se vyskytující karotenoidy v přírodních krmných směsích jsou xantofyly lutein a zeaxantin (Kotrbaček et al. 2016).

Obsah karotenoidů ve žlutcích nosnic a tkáních brojlerů se liší v závislosti na složení krmiva a systému chovu. Bylo prokázáno, že vejce pocházející od nosnic z volného výběhu a ekologického zemědělství mají vyšší obsah karotenoidů než ty z intenzivních chovů. A to z toho důvodu, že v intenzivních chovech je zbarvení žloutku způsobeno hlavně umělými karotenoidy, které mají vysoké barvicí schopnosti a je jich tedy pro dosažení požadovaného barevného odstínu žloutku potřeba méně než přírodních karotenoidů. Průměrně se ve vejci z nosnic v klecovém chovu nachází 300 µg karotenoidů, ve vejci z nosnic chovaných v halách 379 µg, chovaných ve volném výběhu 407 µg a ve vejci z nosnic chovaných v ekologickém zemědělství až 531 µg (Grashorn 2016). Ekologické zemědělství je definováno jako zemědělství produkující potraviny trvale udržitelným způsobem, podporující biodiverzitu krajiny a vylučuje použití agrochemikálií a geneticky modifikovaných organismů a má pevně nastavená a kontrolovaná pravidla (Magdoff 2007).

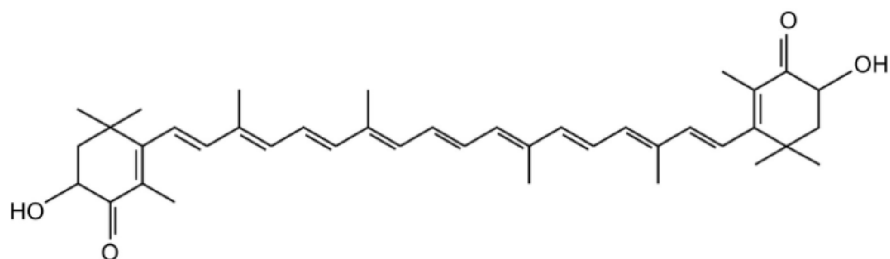
Kromě níže uvedených přírodních zdrojů karotenoidů jsou využívány i výlisky rajčat z výroby kečupu, které jsou výborným zdrojem lykopenu a po zařazení do krmné dávky nosnic zvýšily jeho obsah ve vejcích (Xue a kol., 2013). Dále lze za účelem dotace karotenoidů obohatit krmnou dávku o drť ze suchých listů moruše, která obsahuje zeaxanthin (Lokaewmanee et al. 2012).

3.4.1.1 *Chlorella*

Chlorella je rod sladkovodních, jednobuněčných a nepohyblivých řas (Liu & Chen 2014) s vysokým obsahem chlorofylu (Marounek & Dušková 2020). První druh tohoto rodu *Chlorella vulgaris* popsal v roce 1890 nizozemský botanik a mikrobiolog M.W. Beijerinck. Buňky chlorelly mají kulovitý nebo elipsoidní tvar a jsou velké 2-15 µg (Liu & Chen 2014).

Chlorella je vhodným zdrojem karotenoidů v ekologickém zemědělství, čtyřnásobně zvětšuje koncentraci luteinu a zeaxanthinu ve žlutcích a zvyšuje oxidační stabilitu lipidů žloutku a tím prodlužuje jejich trvanlivost (Englmaierová & Skřivan 2013). *Chlorella* obsahuje kromě betakarotenu, chlorofylu, provitaminu A i selen a jód. V heterotrofních podmínkách, tedy bez slunečního záření *Chlorella* syntetizuje méně chlorofylu, ale uchovává si více xantofylů jako je lutein, zeaxantin a na obrázku č. 10 astaxantin (Kotrbaček et al. 2013). Mello-Sampayo et al. (2013) uvádí, že *Chlorella* obsahuje ve své sušině 1,2-1,3 % karotenoidů a podle Ismailkhodjaev et al. (2019) je 140-200 mg karotenu v 1 g chlorelly. Kotrbaček et al. (2013) uvádějí, že našli v sušině chlorelly lutein v koncentraci 248 mg/kg, zeaxanthin 241 mg/kg a astaxantin v koncentraci 450 mg/kg. Zpracovává se metodou sušení rozprašováním a je přidávána do krmných směsí (Englmierová & Skřivan 2013). Také se může z řas získávat

extrakt pomocí nových moderních extrakčních metod jako je superkritická fluidní extrakce, mikrovlnná extrakce, ultrazvuková extrakce, enzymatická extrakce a tlaková kapalinová extrakce bez použití rozpouštědel, které jsou zakázány v ekologickém zemědělství a mohou být nebezpečné pro rostliny, zvířata a pro člověka (Michalak & Chojnacka 2014).



Obrázek č. 10: Astaxantin (Bachar et al. 2020)

Na rozdíl od přídavku samotného luteinu do krmných směsí *Chlorella* výrazně zvyšuje žlutost žloutků a pevnost skořápky, zatímco lutein barví žloutky do červena. Dotace chlorelly je také mnohem ekonomicky výhodnější, než dotace luteinu a lze ji provádět v ekologickém zemědělství (Englmaierová & Skřivan 2013). Kotrbáček et al. (2013) doplnili sušenou heterotrofně kultivovanou chlorellu o 10 a 20 g/kg krmné dávky nosnic plemene Hisex Brown. V tabulce č. 2 vidíme srovnání kontrolní krmné dávky nosnic složené z pšenice, kukuřice a sójového šrotu proti krmné dávce doplněné o chlorellu v množství o 10 a 20 g/kg po 1 týdnu. Vyšší obsah karotenoidů se v krmné dávce promítl na intenzitě zbarvení žloutků, ne však na váze vajec.

($\mu\text{g/g}$)	Žloutky nosnic krmené kontrolní krmnou dávkou	Žloutky nosnic krmené přídavkem 10 g/kg chlorelly do krmné dávky	Žloutky nosnic krmené přídavkem 20 g/kg chlorelly do krmné dávky
Veškeré karotenoidy	17,3 ^a	25,3 ^b	37,9 ^c
Lutein	7,1 ^a	10,7 ^b	15,4 ^c
Zeaxantin	7,1 ^a	10,4 ^b	15,9 ^c
β -Karoten	1,1 ^a	1,5 ^b	2,1 ^c
Cis-Zeaxanthin	0,7 ^a	1,0 ^b	1,9 ^c
Cis-Lutein	0,8 ^a	1,2 ^b	1,6 ^c

a-c P <0,05

Tabulka č. 2: Srovnání obsahu karotenoidů ve žlutcích nosnic krmných kontrolní krmnou dávkou a nosnic krmných s dotací chlorelly (Kotrbáček et al. 2016)

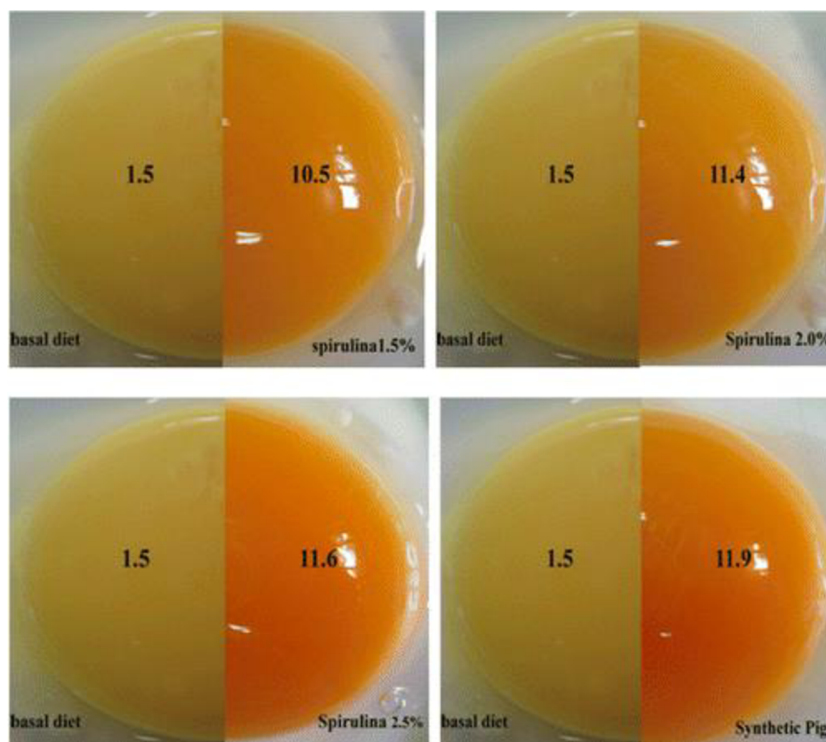
Kor Moradi et al. (2016) uvádí, že *Chlorella* nachází uplatnění i u nosnic v podmínkách tepelného stresu (27,5 – 36,7 °C), a to tak, že při přidavku 200–500 mg/kg snižuje sérový cholesterol, triglyceridy a LDL cholesterol a zvyšuje sérový HDL cholesterol, jód a selen. Méně často, než u nosnic se *Chlorella* využívá u kuřecích brojlerů, kde zvyšuje obsah cenných látek v mase, jeho oxidační stabilitu a také barvu kůže, aby byla atraktivnější pro spotřebitele (Marounek & Dušková 2020).

3.4.1.2 *Spirulina*

Spirulina je rod modrozelených, jednobuněčných řas schopných fotosyntézy. Má vláknitý tvar a poprvé ji ze vzorku sladké vody v roce 1827 izoloval P. J. Turpin (Saranraj & Sivasakthi 2014).

Spirulina se zpracovává sušením a sušená se přidává do krmné dávky (Zahroojian & Shivazad 2011) nebo se z ní získává extrakt pomocí organických rozpouštědel (Holman & Malau-Aduli 2012). *Spirulina* obsahuje celkem 1700 mg karotenoidů na kg řasy, z toho 140000 µg beta-karotenu na 100 g spiruliny a je proto vysoce výživný zdroj krmiva pro mnoho významných hospodářských zvířat (Holman & Malau-Aduli 2012). Vlivem přidavku spiruliny do krmiva nosnic byla síla skořápky vajec vyšší o 7,5 % a byl zaznamenán o 14 % nižší počet rozbitých vajec (Saeid et al. 2016). Krmná dávka kanců obohacena o extrakt spiruliny má vliv na kvalitu spermatu, tak, že objem ejakulátu je o 11 % větší, pohyblivost a životaschopnost spermií po uskladnění je zvýšena o 5 % oproti kancům krmených bez suplementace spiruliny (Holman & Malau-Aduli 2012).

Zahroojian a Shivazad (2011) uvádí, že při podávání *Spirulina platensis* nosnicím v množství 1,5, 2 a 2,5 % z krmné směsi skládající se z pšenice a sójového šrotu byla rovna účinku syntetickým karotenoidům Lucantin®Yellow (30 mg/kg) a Lucantin®Red (35 mg/kg) na barvu žloutku (viz obrázek č. 11).



Obrázek č. 11: Srovnání barvy žloutku nosnic krmených přídatkem Spiruliny a syntetickými aditivy do krmné dávky (Zahroojian & Shivazad 2011)

3.4.1.3 Mrkev obecná (*Daucus carota*)

Kořenová zelenina mrkev patří do čeledi miříkovité (*Apiaceae*) a je původem z Afgánistánu (Surbhi et al. 2018).

Mrkev obecná je zdroj alfa-karotenu a beta-karotenu, může se podávat v čerstvém stavu nebo je z ní vyráběn extrakt. Pozitivně ovlivňuje zdraví zvířat a to díky obsahu provitaminu A. Mrkev zvyšuje obsah karotenoidů ve vejci a barevnost žloutku, ale kvůli nízké přenosové rychlosti beta-karotenu však nemá takové barvicí schopnosti jako syntetická barviva (Pasarin & Rovinaru 2018) a snižuje snáškovou užitkovost a příjem krmiva (Loetscher et al. 2013). Bylo vyšlechtěno několik odrůd mrkve obecné s různým obsahem karotenoidů, a to žluté a červené odrůdy, které obsahují lutein, zeaxantin, alfa-karoten a beta-karoten a fialové odrůdy obsahující antokyany, což jsou fialovočervené pigmenty (Grashorn 2016). Z mrkve můžeme využít i nať, kterou podáváme v čerstvém stavu, sušenou a nebo jako extrakt. Nať z mrkve je zdroj luteinu a zeaxantinu (Titcomb et al. 2019).

3.4.1.4 Pšenice setá (*Triticum aestivum*)

Obilovina pšenice je hlavní zemědělská plodina z čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Je jednoletá a pochází z Blízkého východu v Euroasii (Moshawih et al. 2022).

Karotenoidy jsou přítomny v obilných zrnech jako je pšenice a ječmen (Hamelin et al. 2013). Pšenice tvoří základ krmných směsí drůbeže. V pšenici je nejvíce zastoupen lutein, poté

zeaxantin, anteraxantin a beta-karoten. Je vyšlechtěno mnoho odrůd pšenice pro dotaci karotenoidů s různým obsahem, například fialové odrůdy obsahují vyšší hladiny karotenoidů než odrůdy modré. Fialové odrůdy pšenice mají vysoký obsah esterifikovaných forem xantofylů oproti ostatním odrůdám (Paznocht et al. 2018).

3.4.1.5 Kukuřice setá (*Zea mays*)

Kukuřice je jednou ze základních obilovin původem z mexické vysočiny, kde byla domestikována před 9000 lety (Domínguez-Hernández et al. 2022).

Žluté odrůdy kukuřice zvyšují obsah karotenoidů ve vejcích a barví vaječný žloutek. Kukuřičné zrna obsahuje karotenoidy lutein, kryptoxantin a zeaxantin (Pasarín & Rovinaru 2018) a kg kukuřičného zrna obsahuje 20-25 mg těchto karotenoidů (Grashorn 2016). Kukuřice je typický komponent v krmivech pro prasata, a to i z důvodu dotace karotenoidů (Heying et al. 2013). Kukuřici můžeme krmit jako zrna, šrot, moučku nebo vločkovanou kukuřici. Konvenční odrůdy obsahují karotenoidy v menším a nekonzistentním množství než je požadováno (Loetscher et al. 2013). Konvenčním šlechtěním a genetickým inženýrstvím bylo vyšlechtěno mnoho barevných odrůd (viz obrázek č. 12) a odrůd s různým obsahem karotenoidů, například níže uvedená biofortifikovaná kukuřice nebo odrůda Carolight® (Zhu et al. 2018).



Obrázek č. 12: Barevné odrůdy kukuřice (Domínguez-Hernández et al. 2022)

Biofortifikovaná kukuřice byla vyšlechtěna aby obsahovala vyšší množství provitaminu A beta-karotenu a beta-kryptoxantinu. Obsahuje 14 μg beta-karotenu a 12 μg beta-kryptoxantinu na 1 g kukuřičného zrna na rozdíl od konvenční odrůdy, která obsahuje pouze 0,25–2,5 μg provitaminu A na 1 g zrna (Heying et al. 2013).

Carolight® je transgenní odrůda kukuřice, která obsahuje zvýšený obsah karotenoidů, včetně provitaminu A a má vysoké barvicí schopnosti (viz obrázek č. 13). Odrůda Carolight® byla vyšlechtěna jako prostředek ke zlepšení nutričního zdraví lidských populací, které nemají přístup k pestré stravě. Používání živočišné stravy založené na kukuřici obohacené o karotenoidy snižuje náklady tím, že se již nemusejí dodávat umělé přísady. Chrání také zvířata před stresem a nemocemi a přenáší na člověka pozitivní účinky karotenoidů prostřednictvím živočišných produktů (Zhu et al. 2018).



Obrázek č. 13: Srovnání brojlerů krmených klasickou krmnou směsí (vlevo) a brojlerů krmených kukuřicí Carolight® (vpravo) (Zhu et al. 2018)

3.4.1.6 Zelená píce

Dalším způsobem jak zvýšit zbarvení vaječného žloutku je pastva, která dodává barvu žloutkům, zdraví prospěšné karotenoidy, které mají i pozitivní vliv na oxidační stabilitu živočišných produktů (Skřivan a Engelmaierová 2014). Do travního porostu patří traviny, jeteloviny a různé byliny (Engelmaierová et al. 2019). Travní porost obsahuje lutein, zeaxantin a beta-karoten (Skřivan a Engelmaierová 2014). Zelená píce má velmi variabilní obsah karotenoidů, je ovlivněn botanickým složením a ročním obdobím. Vejce nosnic chovaných v zatrávněném výběhu mají vyšší obsah luteinu, zeaxantinu a beta-karotenu na rozdíl od vajec nosnic chovaných bez přístupu k travnímu porostu (Engelmaierová et al. 2019).

3.4.1.7 Tolice vojtěška (*Medicago sativa*)

Tolice vojtěška je hlavní pícnina z čeledi bobovité (*Fabaceae*) pocházející z Kavkazu (Badr et al. 2020).

Zdrojem karotenoidů může být také usušená vojtěška s doplňkem palmového tuku nebo řepkového oleje (Marounek & Dušková 2020). Můžeme ji však zkrmovat čerstvou, granulovanou, silážovanou, jako šrot nebo moučku. Nejhojněji se ve vojtěšce vyskytuje lutein, beta-karoten, poté zeaxantin, β -apo-8-karotenal, kyselina β -apo-8-karotenová a lykopen (Grashorn 2016). 1 kg tolíce vojtěšky obsahuje 260-350 mg karotenoidů (Zelenka 2014). Má pozitivní vliv na zdraví zvířat, kvalitu vajec a má vliv na pigmentaci vaječného žloutku nosnic a kůže kuřecích brojlerů (Pasarín & Rovinaru 2018). Nedosahuje však takových účinků jako jiné doplňky pro dotaci karotenoidů a obsah karotenoidů v tolici vojtěšce bývá nekonzistentní (Loetscher et al. 2013).

3.4.1.8 Kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*)

Kopřiva dvoudomá je trvalá rostlina z čeledi kopřivovité (*Urticaceae*). Je široce rozšířena po celém mírném pásu (Chandra et al. 2014).

Dle Loetscher et al. (2013) je kopřiva dvoudomá bohatá na karotenoidy, nejvíce obsahuje lutein (300-600 mg na kg kopřivy), dále beta-karoten, zeaxantin a obsah těchto karotenoidů se zvyšuje spolu se stářím rostliny. Kopřiva zvyšuje žlutost kůže kuřecích brojlerů a vaječných žloutků nosnic už při malém množství (6,25 g kopřivy na 1 kg krmiva) a je rovna žlutým syntetickým barvivům. Neobsahuje ovšem dostatečné množství červených pigmentů a je nutné je pro požadovanou barvu žloutku spolu s kopřivou dodat. Dotace kopřivy do krmné dávky nosnic neovlivňuje příjem krmiva, živou hmotnost, snášku a kvalitu vajec (hmotnost vejce, podíl vaječného bílku, žloutku a skořápky, pevnost skořápky). Ve vyšších denních dávkách (25 g kopřivy na kg krmné směsi) kopřiva způsobila vyšší náchylnost k oxidaci masa kuřecích brojlerů, z toho důvodu, že nadměrné množství antioxidantů se může stát prooxidační. Kopřiva může být zajímavou krmnou alternativou pro dotaci karotenoidů zvláště v oblastech mírného podnebí, kde ji lze pěstovat a kam je nákladné dopravit adivita z asaktimníku vzpřímeného, který roste v tropickém pásu (Loetscher et al. 2013).

3.4.1.9 Paprika setá (*Capsicum annum*)

Paprika je jednoletá rostlina patřící do čeledi lilkovité (*Solanaceae*). Pěstuje se v teplých klimatických oblastech po celém světě (Baenas et al. 2019).

Rostlinný extrakt z plodu červené papriky seté je běžně průmyslově využíván. Papriku lze také používat čerstvou, či sušenou. Obsahuje převážně červené barvivo kapsantin (50-150 mg na kg papriky) a kapsorubin, jejich poměr by měl být optimálně 10:1. Kapsantin dodává vaječnému žloutku červenou barvu. Alkaloid kapsaicin obsažený v paprikách výrazně zvyšuje tvorbu střevního hlenu, a tím chrání mikroklky a zlepšuje stav lumen střeva. Díky tomu dochází k lepšímu vstřebávání karotenoidů a výraznější pigmentaci vaječného žloutku (Lokaewmanee et al. 2012). Pasarin a Rovinaru (2018) uvádí, že paprika zvyšuje denní přírůstek hmotnosti u kuřecích brojlerů, avšak u nosnic Lokaewmanee et al. (2012) při výzkumu dotace papriky do krmné dávky nezpozoroval vliv přídatku na hmotnost nosnic. Dále přídatek papriky neovlivnil spotřebu krmiva, velikost snášky a kvalitu vajec (hmotnost vajec, pevnost skořápky, tloušťku skořápky, poměr bílku a žloutku) (Lokaewmanee et al. 2012).

3.4.1.11 Aksamitník vzpřímený (*Tagetes erecta*)

Aksamitník z čeledi hvězdnicovité (*Asteraceae*) je rostlina původem z Mexika (Laosinwattana et al. 2018). Asaktimník též nazývaný jako afrikán (Skřivan et al. 2016) má využití též jako okrasná rostlina nebo v oblastech ekologického zemědělství pro své baktericidní fungicidní, insekticidní a herbicidní vlastnosti (Laosinwattana et al. 2018).

Aksamitník vzpřímený je průmyslově nejpoužívanějším přírodním žlutým barvivem. V současné době se nahrazují syntetické krmné doplňky pro dotaci karotenoidů přírodními

látkami z rostlin, které nemají nežádoucí vedlejší účinky (Skřivan et al. 2016). Obsah karotenoidů (4000-12600 mg na kg květu) je velmi závislý na klimatických podmínkách, přičemž vyšší hodnoty se vyskytují u aksamitníku ze sušších a teplejších oblastí (Loetscher et al. 2013). V jeho květu se hojně vyskytuje lutein a zeaxantin (Lokaewmanee et al. 2011). Nejčastěji se využívá jako rostlinný extrakt získaný extrakcí pomocí rostlinných rozpouštědel a není ho proto možné využívat v ekologickém zemědělství (Englmaierová & Skřivan 2013). Skřivan et al. (2015) uvádí, že 950 mg extraktu z květu aksamitníku, obsahuje 21,3 mg luteinu na kg extraktu, 9,65 mg zeaxantinu na kg extraktu a zvýšilo obsah karotenoidů ve vaječném žloutku, oxidační stabilitu lipidů ve žloutku a intenzitu žluté a červené barvy ve žloutku. Přídavek extraktu zvyšuje snášku i kvalitu vajec (tloušťka skořápky), barví kůži kuřecích brojlerů, ale snižuje příjem krmiva, nezvyšuje obsah retinolu, v nízkých (150 mg na kg krmné směsi) a vysokých (950 mg na kg krmné směsi) dávkách snižuje pevnost skořápky. Již v množství 150 mg extraktu z aksamitníku na kg krmné směsi zvýšilo obsah luteinu a zeaxantinu ve vaječných žloutcích, a to o 62,9 a 73,3 %. Avizant®Yellow je průmyslově vyráběné a používané žluté barvivo z extraktu květu aksamitníku a obsahuje 21,26 g luteinu, 9,65 g zeaxantinu na kg extraktu a je vhodnou přírodní alternativou syntetickým barvivům. Doporučená dávka přírodního barviva Avizant® je 550 mg na kg krmné směsi (Skřivan et al. 2016).

3.4.1.12 Okřehek menší (*Lemna minor*)

Okřehek menší je malá, zelená, plovoucí rostlina z čeledi okřehekvitě (*Lemnaceae*) (Soňta et al. 2019). Má malé listy kolem 5 mm (Soňta et al. 2019) a každý list má pouze jeden kořen (Gwaze & Mwale 2015). Okřehek je kosmopolitní a nejvíce roste v eutrofních (na živiny bohatých) vodách (Soňta et al. 2019). Má delší vegetační období než většina ostatních rostlin a v oblastech s teplým klimatem roste ve všech ročních obdobích (Gwaze & Mwale 2015).

Okřehek menší je výborné bílkovinné krmivo v chovu prasat i v chovu kuřecích brojlerů (Soňta et al. 2019). Obsahuje velké množství aminokyselin jako například lysin a methionin, který si prasata neumí sama syntetizovat (Gwaze & Mwale 2015). Kromě aminokyselin je okřehek výborný zdroj karotenoidů (Mwale & Gwaze 2013). Obsahuje 10x více provitaminu A beta-karotenu než suchozemské rostliny (Akter et al. 2011) a xantofyly, které zvýrazní barvu masa, kůže kuřecích brojlerů (Mwale & Gwaze 2013) a barvu vaječných žloutků (Akter et al. 2011). Při dotaci okřešku prasatům bylo upozorováno zlepšení užitkovosti, a to z důvodu obsahu širokého spektra aminokyselin a vysoké koncentraci minerálů, karotenů a xantofylů (Gwaze & Mwale 2015). Dle (Mwale & Gwaze 2013) je obsah karotenoidů v okřešku 1025 mg na kg sušiny. Okřehek se suší na slunci, v troubě či se lisuje (Gwaze & Mwale 2015), vyrábí se z něj siláž, pelety (Mwale & Gwaze 2013), a také se může podávat čerstvý (Soňta et al. 2019). Využívá se jako krmný doplněk nebo jako částečná náhrada jiných bílkovinných krmiv jako je sója. Má pozitivní vliv na užitkovost nosnic a brojlerů – výkrm, porážkovou hmotnost, kvalitu masa a vajec (Soňta et al. 2019). Bylo zjištěno, že okřehek je výborný krmný doplněk pro nosnice a brojlerů do 130 g na kg krmné směsi, při dávkování nad 150 g na kg krmné směsi nosnice vykazovaly snížený příjem potravy a s tím sníženou užitkovost (Anderson et al. 2011). (Soňta et al. 2019) uvádí, že zahrnutí 10 % sušeného okřešku z celkové krmné dávky prasete

je přínosné z hlediska užítkovosti. Náklady na krmivo v chovu kuřecích brojlerů tvoří asi 70 % z celkových nákladů chovu a okřehek je ekonomicky výhodná krmná surovina a krmný doplněk (Mwale & Gwaze 2013). Rychle roste (Mwale & Gwaze 2013), nevyžaduje žádnou zemědělskou půdu, která může být využita jinými plodinami a ani chemická hnojiva. Dalšími výhodami jsou: není geneticky modifikovaný, neobsahuje lepek (Soňta et al. 2019), má insekticidní vlastnosti proti larválním stádiím komárů, čímž snižuje přenos nemocí komáry a je velmi odolný proti škůdcům a chorobám oproti ostatním vodním rostlinám (Gwaze & Mwale 2015). Nevýhodou je, že okřehek z vody absorbuje těžké kovy, fenoly, pesticidy, dioxiny a patogeny a je tedy nutné kontrolovat vodní prostředí ze kterého okřehek pochází (Soňta et al. 2019).

Rychlost růstu, chemické složení a množství biomasy sklizené z okřehek závisí na mnoha faktorech mezi které patří: koncentrace živin ve vodě, teplota vody, pH vody, intenzita slunečního záření, délka světelného dne a rychlost větru. Okřehek roste ve stojatých vodách při teplotě 6-33 °C a při pH vody mezi 5-9. Aby se zabránilo nadměrným změnám teploty, vodní plocha by měla být hluboká alespoň 50 cm (Soňta et al. 2019).

3.4.2 Syntetické zdroje karotenoidů a jejich aplikace

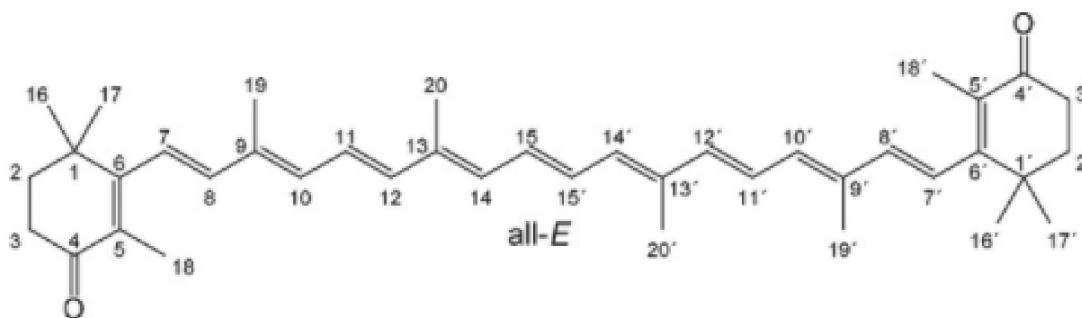
Syntetické karotenoidy jsou používány v mnoha evropských zemích od 90. let 20. století (Kotrbaček et al. 2013). Pro uspokojení potřeb spotřebitelů jsou drůbeži často přidávány syntetické karotenoidy Carophyll®Red (kantaxantin), Carophyll®Yellow (ethylester kyseliny beta-apo-8'-karotenové) nebo příbuzné karotenoidy Lucantin®Red a Lucantin®Yellow do krmiva nosnic (Englmaierová & Skřivan 2013). Kantaxantin a ethylester kyseliny beta-apo-8'-karotenové jsou syntetické sloučeniny a nejsou povoleny v ekologickém zemědělství (Englmaierová & Skřivan 2013). Syntetické karotenoidy jsou ukládány a přidávány do krmiva v enterosolventních mikrokapslích (viz obrázek č. 14), ve kterých jsou karotenoidy chráněny před oxidací, mikroelementy a před vysokou teplotou při granulování. Kapsle se vytváří tak, že se barvivo rozpustí v oleji, do kterého se přidá i antioxidant, poté se smíchá s teplým vodným roztokem želatiny (povolena je jen želatina z nepřežvýkavých zvířat) s přísadkou glukózy a trochou barviva rozpustného ve vodě a vše se rozpráší v atomizéru. Želatina ochlazením tuhne a před úplným ztuhnutím se přidá kukuřičný škrob, jehož zrnka se zapíchnou do želatiny a zabrání tak samotřídění hladkých mikrokapslí po zamíchání do krmné směsi. Pružnost kapslí je zajištěna přidanou glukózou. Želatina se nerozpustí v kyselém prostředí žaludku, ale až v tenkém střevě, kde dochází ke vstřebávání barviva. Mikrokapslí je přibližně 100 tis. v 1 g a pohodlně se dávkuje a míchají s krmivem (Zelenka 2014). Syntetické karotenoidy se mohou dodávat i v prášku, který stejně jako mikrokapsle obsahuje 10 % barviva (Grashorn 2016).



Obrázek č. 14: Enterosolventní mikrokapsle Carophyll®Red (Zelenka 2014)

3.4.2.1 Kantaxantin

Kantaxantin (viz obrázek č. 15) se jako lipofilní sloučenina hromadí v tukových tkáních kůže brojlerů, ve vaječných žloutcích a nejvíce v játrech a je nesen částicemi LDL (lipoprotein o nízké hustotě) a HDL (lipoprotein o vysoké hustotě) (Esatbeyoglu & Rimbach 2016). Používá se u nosnic k barvení žloutků, u brojlerů k barvení kůže, pozitivně ovlivňuje líhivost (Esatbeyoglu & Rimbach 2016) a zvyšuje celkový cholesterol (Prabakar et al. 2017). Při dotaci kantaxinu do mateřské krmné dávky brojlerů mají potomci vyšší žluté až oranžové zbarvení bérce a vyšší pigmentaci kůže (Zhang et al. 2011).



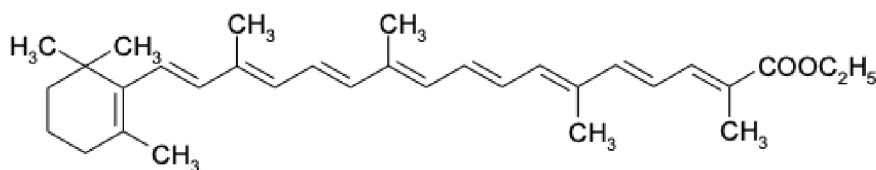
Obrázek č. 15: Kantaxantin (Esatbeyoglu & Rimbach 2016)

Kantaxantin je znám pod názvy synteticky vyráběných a průmyslově užívaných barviv Carophyll®Red, Lucantin®Red (Englmaierová & Skřivan 2013) a Canthacol® (Zelenka 2014). Syntetické karotenoidy Carophyll®Red vyrábí společnost DMS Nutritional Products a Lucantin®Red vyrábí společnost BASF (Marounek & Dušková 2020). Dle Zhang et al. (2011) Carophyll®Red nemá vliv na samotnou intenzitu růstu nosnic a kuřecích brojlerů. Avšak ve studii dle Prabakar et al. (2017) byl pozorován vyšší přírůstek denní hmotnosti u kuřecích brojlerů po přidavku kantaxantinu do krmné dávky, nicméně ten byl způsoben zmírněním účinků tepelného stresu prostřednictvím antioxidačních vlastností karotenoidů. Carophyll®Red se v dávce 6 mg na kg krmiva se podává kuřecím brojlerům, nosnicím, okrasnému ptactvu a

slepícím a je více využíván než přírodní extrakt z papriky, protože má 2-3x větší účinnost (Pasarin & Rovinaru 2018).

3.4.2.2 Ethylester kyseliny beta-apo-8-karotenové

Ethylester kyseliny beta-apo-8-karotenové (viz obrázek č. 16) je žluté syntetické barvivo, které je výhodné v tom, že oproti přírodnímu extraktu z aksamitníku je drůbeží lépe vstřebáváno a využíváno. Ethylester kyseliny beta-apo-8-karotenové má 55% přenosnost z krmiva do vejce oproti afrikanu, kde je přenos pouze 17 % a je 4-5x účinnější než přírodní žluté pigmenty z aksamitníku. Bylo stanoveno, že 1 ppm apokarotenového esteru je ekvivalentní přibližně 2 ppm extraktu z aksamitníku (Pasarin & Rovinaru 2018).

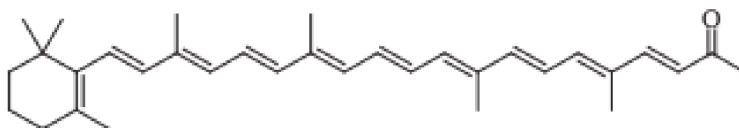


Obrázek č. 16: Ethylester kyseliny beta-apo-8'-karotenové (Aquilina et al. 2016)

Průmyslově se syntetický ethylester kyseliny beta-apo-8-karotenové vyrábí pod názvy Carophyll®Yellow (společnost DMS Nutritional Products), Lucantin®Yellow (společnost BASF) (Marounek & Dušková 2020) a Xamacol®, který vyrábí společnost Novus (Hamelin et al. 2013).

3.4.2.3 Citranaxantin

Citranaxantin je první známý přirozeně se vyskytující karotenoid s methylketonovou skupinou na konci řetězce (viz obrázek č. 17). Má schopnost pohlcovat volné radikály a lze ho použít jako barvivo. Je méně účinný než kantaxantin kvůli nízké depozici ve vaječném žloutku a smí se podávat jen nosnicím (Zhang et al. 2016).



Obrázek č. 17: Citranaxantin (Zhang et al. 2016)

3.5 Komplikace způsobené dotací karotenoidů ve výživě hospodářských monogastrů

S dotací karotenoidů ve výživě nosnic, kuřecích brojlerů a prasat mohou být při jejich výrobě, pěstování, zpracování, skladování a podávání spojeny komplikace v podobě snížené užitkovosti, ekonomických ztrát, nežádoucích účinků či zdravotních rizik.

Například okřehek menší absorbuje z vody mnoho těžkých kovů jako kadmium, chrom a olovo, které mohou ohrozit jeho růst a při dotaci do krmné dávky monogastrům i zdraví zvířat a lidí. Aby se zabránilo kontaminaci krmiva a živočišných produktů těžkými kovy, měly by se jejich hladiny v okřešku kontrolovat. Avšak studie týkající se obsahu prvků v okřešku včetně Cd, N, Cr, Zn, Sr, Co, Fe, Mn, Cu, Pb, Al a dokonce Au dospěly k závěru, že když je jejich obsah nízký, může být okřehek dobrým zdrojem stopových prvků pro hospodářská zvířata. Využívání přírodních vodních zdrojů nepředstavuje riziko zvýšené kontaminace těžkými kovy, jelikož obsahuje nízké koncentrace těchto kovů (Sońta et al. 2019). Další nevýhodou je, že se růst okřešku při nízkých teplotách pod 5 °C zastavuje. Dále obsahuje kyselinu šťavelovou a při vysoké koncentraci Ca ve vodě i velké množství šťavelanu vápenatého, který zvířatům nechutná a snižuje tak příjem krmiva. Také obsahuje hodně vody v čerstvém stavu, až 96 % a z toho důvodu nám vznikají náklady spojené se sušením (Mwale & Gwaze 2013).

3.5.1 Komplikace způsobené dotací karotenoidů ve výživě drůbeže

Některé studie, zvláště pak ty starší, poukazují na možné vedlejší účinky dotace syntetických karotenoidů ve výživě zvířat, avšak Weber et al (2013) uvádí, že až 10x vyšší denní dávka Carophyllu®Red 10 % u kuřecích brojlerů (60 mg na kg krmiva) a nosnic (250 mg na kg krmiva) nezpůsobila drůbeži žádné zdravotní potíže ani snížení užitkovosti.

Ani při vyšších dávkách prekurzoru vitamínu A beta-karotenu nebyli upozorováni žádné zdravotní komplikace drůbeže. Toxicita vitamínu A u drůbeže se projevuje při podání 500x vyšší dávky retinolu, než je jeho minimální denní potřeba. Hypervitaminóza vitamínem A se u drůbeže projevuje zduřením a strupovitostí očních víček, zánětem nozder, dutiny ústní a kůže na běhácích, snížením pevnosti kostí a končí úhynem. Některé z příznaků hypervitaminózy se shodují s příznaky hypovitaminózy. Při nadměrných dávkách vitamínu A se v tělech zvířat a lidí snižuje vstřebávání vitamínu D (Zelenka 2014). Beta-karoten ovšem hypervitaminózu vitamínem A nezpůsobí, když ho má tělo dostatek zkrátka se na vitamin A nepřemění.

3.5.2 Komplikace způsobené dotací karotenoidů ve výživě hospodářských monogastrů u člověka

Dle Tanaka et al. (2012) v současné době neexistují žádné důkazy o tom, že by byl příjem vysokých dávek beta-karotenu pro člověka nebezpečný. Může se však vyskytnout karotenodermie, což je nahromadění beta-karotenu v kůži, které dává kůži žlutý až oranžový podtón, který snížením denní dávky beta-karotenu vymizí. Dle Zahra et al. (2016) se tak děje při dlouhodobém užívání v dávkách nad 30 mg za den. Avšak vyšší suplementace beta-karotenu u kuřáků je spojována s vyšším výskytem rakoviny plic.

Gravidní ženy by však neměly konzumovat drůbeží játra, ve kterých se ukládá přebytek vitamínu A. Pokud je drůbež překrmována vitamínem A, může se v drůbežích játrech vyskytovat až enormní množství tohoto vitamínu, které při nadbytku snižuje vstřebávání vitamínu D (Zelenka 2014). Hypervitaminóza vitamínem A gravidních žen může způsobit u

potomka například srdeční deformity, deformace očí nebo různá plicní onemocnění (Zahra et al. 2016).

Englmaierová a Skřivan (2013) uvádí, že podle legislativy EU je maximální povolené množství obsahu kantaxanthinu 8 mg na kg krmiva nosnic. Z toho důvodu, že při vyšším dávkování kantaxanthinu drůbeži se lidem tvoří krystalické usazeniny v sítnici oka. 0,03 mg kantaxanthinu na kg živé hmotnosti je přijatelný denní příjem tohoto karotenoidu u lidí (Esatbeyoglu & Rimbach 2016).

3.5.3 Komplikace spojené se skladováním krmných doplňků pro dotaci karotenoidů

Karotenoidy, vzláště pak karoteny, snadno a rychle podléhají oxidaci a ztrácí biologickou aktivitu. Karotenoidy mají nízkou trvanlivost, už po třech měsících skladování, kdy byla kontrolována stabilita červených karotenoidů v premixech bylo zjištěno, že se hodnoty kantaxanthinu snížily na 66-92 %, hodnoty citranaxanthinu na 76 % a hodnoty kapsanthinu na 39 % (Grashorn 2016). Oxidační ztráty karotenoidů můžeme snížit přidávkem antioxidantů do krmiva nebo také zpracování karotenoidů do enterosolventních mikrokapslí může snížit ztráty, které nejsou větší než 15 % (Zelenka 2014). Některé přírodní zdroje karotenoidů jako jsou převážně čerstvá krmiva jako mrkev, paprika a zelená píče snadno podléhají zkáze. Avšak sušený okřehek menší byl sušený pozorován po dobu 13 let bez jakéhokoliv nárůstu plísní a ztráty živin díky přítomnosti voskového povlaku na povrchu rostlin, který slouží jako ochranná bariéra (Gwaze & Mwale 2015).

4 Závěr

V této práci je popsána problematika krmných doplňků pro dotaci karotenoidů ve výživě prasat, nosnic a brojlerů kura domácího. Popisem funkce, chemické struktury a rozdělení jsou uvedeny základní informace týkající se karotenoidů. Dále bylo popsáno využití a vliv aditiv karotenoidů na monogastry a jejich živočišné produkty. Byly popsány přírodní i syntetické doplňky karotenoidů přidávané do krmných směsí a možné komplikace spojené s jejich zkrmováním. Sumarizací výše zmíněných témat z odborné literatury byl splněn cíl této práce.

Karotenoidy jsou žluté až červené pigmenty, které mají pozitivní vliv na zdraví, životní funkce a celkovou vitalitu zvířat i lidí pro které jsou esenciální. Karotenoidy dělíme na karoteny, kam spadá například beta-karoten, alfa-karoten a lykopen a xantofy, které vznikají biochemickou oxidací karotenů, do této skupiny náleží například zeaxantin a lutein. Karoteny mají funkci jako prekurzor vitamínu A a xantofyly vynikají svou barvicí schopností.

Kromě pozitivního účinku dotace karotenoidů na zdraví a zvýšenou užitkovost prasat, nosnic a brojlerů karotenoidy zvýrazňují barvu živočišných produktů jako vaječný žloutek, maso a kůže. Pro spotřebitele se tím produkty stávají atraktivnější. Díky dotaci karotenoidů jsou živočišné produkty o tyto důležité látky obohaceny a člověk je přijímá skrze stravu v mase a vejcích.

Krmné doplňky pro dotaci karotenoidů můžeme získávat z přírodních nebo syntetických zdrojů. Mezi přírodní zdroje karotenoidů ve výživě monogastrů patří například červený pigment kapsantin získávaný ze sušené červené papriky seté, žlutý pigment lutein a zeaxantin extrahované z aksamitníku vzpřímeného, vodní řasy jako *Chlorella* a *Spirulina*, tolíce vojteška bohatá na beta-karoten, kopřiva dvoudomá, okřehek menší, který je zároveň výborným bílkovinným krmivem a barevné odrůdy mrkve, kukuřice a pšenice se zvýšenými hodnotami karotenoidů oproti ostatním odrůdám. Do syntetických barviv můžeme zařadit průmyslové krmné doplňky vyráběné firmami jako je Carophyll®Red, Carophyll®Yellow, Lucantin®Red, Lucantin®Yellow, Canthacol® a Xamacol®. S krmnými doplňky pro dotaci karotenoidů mohou souviset i komplikace při skladování nebo s vedlejšími účinky při předávkování.

5 Literatura

1. Akter M, Chowdhury SD, Akter Y, Khatun MA. 2011. Effect of Duckweed (*Lemna minor*) Meal in the Diet of Laying Hen and their Performance. Bangladesh Research Publications Journal **5**: 252-261.
2. Anderson KE, Lowman Z, Stomp AM, Chang J. 2011. Duckweed as a feed ingredient in laying hen diets and its effect on egg production and composition. International Journal of Poultry Science **10**(1): 4-7.
3. Aquilina G, Azimonti G, Bampidis V, Bastos ML, Bories G, Chesson A, Cocconcelli PS, Flachowsky G, Gropp J, Kolar B, Kouba M, Puente SL, López-Alonso M, Mantovani A, Mayo B, Ramos F, Rychen G, Saarela M, Villa RE, Wallace RJ, Wester P. 2016. Safety and Efficacy of ethyl ester of beta-apo-8'-carotenoic acid as a feed additive for poultry fattening and poultry for laying **4**: 4439
4. Badr A, El-Sherif N, Aly S, Ibrahim SD, Ibrahim M. 2020. Barcodes and Morpho-Agronomic Trait Analyses. Plant Molecular Biology **9**(8): 995.
5. Baenas N, Belović M, Ilic N, Moreno DA, García-Viguera C. 2019. Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. Food Chemistry **274**: 872-885.
6. Bachar SC, Bachar R, Jannat K, Jahan R, Rahmatullah M. 2020. Chapter Seven – Hepatoprotective natural products. Report in Medical Chemistry **55**: 207-249.
7. Barros MP, Rodrigo MJ, Zacarias L. 2018. Dietary Carotenoid Roles in Redox Homeostasis and Human Health. Agricultural and Food Chemistry **66**(23): 5733-5740.
8. Cooperstone JL, Schwartz SJ. 2016. Recent Insights Into Health Benefits of Carotenoids. Technology and Nutrition **20**: 473-497.
9. Domínguez-Hernández E, Gaytán-Martínez M, Gutiérrez-Urbe JA, Domínguez-Hernández E. 2022. The nutraceutical value of maize (*Zea mays* L.) Landraces and the determinants of its variability: A review. Journal of Cereal Science **103**: 103399.
10. Englmaierová M, Bubancová I, Vít T, Skřivan M. 2011. The effect of lycopene and vitamin E on growth performance, quality and oxidative stability of chicken leg meat. Czech Journal of Animal Science **56**(12): 536-543.
11. Englmaierová M, Skřivan M. 2013. Effect of synthetic carotenoids, lutein, and mustard on the performance and egg quality. Scientia Agriculturae Bohemica **44**(3): 138-143.
12. Englmaierová M, Skřivan M, Vít T. 2019. Alfalfa meal as a source of carotenoids in combination with ascorbic acid in the diet of laying hens. Czech Journal of Animal Science **64**: 17-25
13. Eggersdorfer M, Wyss A. 2018. Carotenoids in human nutrition and health. Archives of Biochemistry and Biophysics **652**: 18-26.

14. Esatbeyoglu T, Rimbach G. 2016. Canthaxanthin: From molecule to function. *Molecular Nutrition & Food Research* (e1600469) DOI: 10.1002/mnfr.201600469.
15. Grashorn M. 2016. Feed Aditives for Influencing Chicken Meat and Egg Yolk Color. *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages* DOI: 10.1016/b978-0-08-100371-8.00014-2
16. Gwaze FR, Mwale M. 2015. The prospect of duckweed in pig nutrition: a Review. *Journal of Agricultural Science* **7**(11): 189.
17. Hamelin C, Martínez-Alesón R, Martínez SF. 2013. Influence of feed carotenoids on carcass shank pigmentation of yellow chickens. *Dixièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie*.
18. Heying EK, Grahn M, Pixley KV, Rocheford T, Tanumihardjo SA. 2013. High – Provitamin A Carotenoid (Orange) Maize Increases Hepatic Vitamin A Reserves of Offspring in a Vitamin A – Depleted Sow – Piglet Model during Lactation. *The Journal of Nutrition* **147**: 1141-1146.
19. Holman BWB, Malau-Aduli AEO. 2012. *Spirulina* as livestock supplement and animal feed. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **97**: 615-623.
20. Chandra JB, Mukhija M, Kalia AN. 2014. Pharmacognostical review of *Urtica dioica* L. *International Journal of Green Pharmacy* **8**(4): 201-209.
21. Ismailkhodjaev BS, Khalmurzayeva BA, Satayev MI, Alibekov RS. 2019. Study of Vitamins Content of Microalgae. *Series Chemistry and technology* **436**: 19-24.
22. Kor Moradi N, Akbari M, Olfati A. 2016. The effects of different levels of *Chlorella microalgae* on blood biochemical parameters and trace mineral concentrations of laying hens reared under heat stress condition. *International Journal of Biometerology* **60**: 757-762.
23. Kotrbáček V, Doucha J, Kuchařová V, Doubek J. 2016. Unicellular Alga *Chlorella* As a Feed Supplement, Current Experience and Future perspectives. *Animal Physiology. Czech Republic: Mendel University Brno*.
24. Kotrbáček V, Skřivan M, Kopecký J, Pěnkava O, Hudečková P, Uhríková I, Doubek J. 2013. Retention of carotenoids in egg yolks of laying hens supplemented with heterothropic *Chlorella*. *Czech Journal of Animal Science* **58**(5): 193-200.
25. Laosinwattana C, Wichittrakarn P, Teerarak M. 2018. Chemical composition and herbicidal action of essential oil from *Tagetes erecta* L. leaves. *Industrial Crops & Products* **126**: 129-134.
26. Li R, Li L, Hong P, Lang W, Hui J, Yang Y, Zheng X. 2021. β -Carotene prevents weaning-induced intestinal inflammation by modulating gut microbiota in piglets. *Animal Bioscience* **34**(7): 1221-1234.

27. Liu J, Chen F, 2014. *Microalgae Miotechnology*. Springer International Publishing, Switzerland.
28. Loetscher Y, Kreuzer M, Messikommer RE. 2013. Utility of nettle (*Urtica dioica*) in layer diets as a natural yellow colorant for egg yolk. *Animal Feed Science and Technology* **186**: 158-168.
29. Loetscher Y, Kreuzer M, Messikommer RE. 2014. Late laying hens deposit dietary antioxidants preferentially in the egg and not in the body. *Journal of Applied Poultry Research* **23**: 647-660.
30. Lokaewmanee K, Yamauchi K, Komori T, Saito K. 2011. Enhancement of egg yolk color by paprika combined with a probiotic. *Journal of Applied Poultry Research* **20**: 90-94.
31. Lokaewmanee K, Yamauchi K, Okuda N. 2012. Effect of dietary red pepper on egg yolk colour and histological intestinal morphology in laying hens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **97**: 986-995.
32. Magdoff F. 2007. Ecological agriculture: Principles, practices, and constraints. *Renewable Agriculture and Food Systems* **22**(2): 109-117.
33. Marounek M, Dušková D, 2020. Uplatnění řas ve výživě drůbeže. Výzkumný ústav živočišné výroby, Praha.
34. Mello-Sampayo C, Corvo ML, Mendes R, Duarte D, Lucas J, Pinto R, Batista AP, Raymundo A, Silvia-Lima B, Bandarra NM, Gouveia L. 2013. Insights on the safety of carotenogenic *Chlorella vulgaris* in rodents. *Algal Research* DOI: 10.1016/j.algal.2013.07.005.
35. Meyers KJ, Mares JA, Igo RP, Truitt B, Liu Z, Millen AE, Klein M, Johnson EJ, Engelman CD, Karki CK, Blodi B, Gehrs K, Tinker L, Wallace R, Robinson J, LeBlanc ES, Sarto G, Bernstein PS, SanGiovanni JP, Iyengar SK. 2014. Genetic Evidence for Role of Carotenoids in Age-Related Maculopathy Degeneration in the Carotenoids in Age-Related Eye Disease Study. *Clinical and Epidemiologic Research* **55**: 587-599.
36. Michalak I, Chojnacka K. 2014. Algal extracts: Technology and advances. *Engineering in Life Sciences* **14**: 581-591.
37. Moshawih S, Juperi RNAA, Paneerselvam GS, Ming LC, Liew KB, Goh BH, Al-Worafi YM, Choo C-Y, Thuraisingam S, Goh HP, Kifli N. 2022. General Health Benefits and Pharmacological Activities of *Triticum aestivum* L. *Biofunctional Molecule Exploratory Research on Application in Food and Health* **27**(6): 1948.
38. Müller L, Caris-Veyrat C, Lowe G, Böhm V. 2015. Lycopene and Its Antioxidant Role in the Prevention of Cardiovascular Diseases – A Critical Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **56**(11): 1868-1879.
39. Müller W, Vergauwen J, Eens M, Blount JD. 2012. Environmental effects shape the maternal transfer of carotenoids and vitamin E to the yolk. *Frontiers in Zoology* **9**: 9-17.

40. Mwale M, Gwaze FR. 2013. Characteristics of duckweed and its potential as feed source for chickens reared for meat production: A review. *Scientific research and essays* **8**(18): 689-697.
41. Nisar N, Li L, Lu S, Khin NC, Pogson BJ. 2015. Carotenoid Metabolism in Plants. *Molecular Plant* **8**: 68-82.
42. Pasarín D, Rovinaru C. 2018. Sources of Carotenoids and their Uses as Animal Feed. *Scientific Papers: Series D, Animal Science - The International Session of Scientific Communications of the Faculty of Animal Science* **61**(2): 61-70.
43. Paznocht L, Kotíková Z, Šulc M, Lachman J, Orsák M, Eliášová M, Martínek P. 2018. Free and esterified carotenoids in pigmented wheat, tritordeum and barely grains. *Food Chemistry* **240**: 670-678.
44. Prabakar G, Gopi M, Gautham K, Jaydip R. 2017. Feeding combination of synthetic carotenoids improved performance, immune response and blood biochemical profiles in heat stressed broilers. *The Indian journal of animal sciences* **87**(10): 1207-1212.
45. Provorov AS, Lyubin NA, Provorova NA. 2015. Effects of beta-carotene on some parameters of lipid and carbohydrate metabolism in sows and piglets. *Bulletin of Ulyanovsk State Agrarian Academy* **129**: 45-55
46. Rodriguez-Concepcion M, Avalos J, Bonet ML, Boronat A, Gomez-Gomez L, Hornero-Mendez D, Limon MC, Meléndez-Martínez J, Olmedilla-Alonso B, Palou A, Ribot J, Rodrigo MJ, Zacarias L, Zhu C. 2018. A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. *Progress in Lipid Research* **70**: 62-93.
47. Rosa AP, Scher A, Sorbara JOB, Boemo LS, Forgiarini J, Londero A. 2012. Effects of canthaxanthin on the productive and reproductive performance of broiler breeders. *Poultry Science* **91**(3): 660-666.
48. Rubin L, Ross AC, Stephensen C, Bohn T. 2017. Metabolic Effect of Inflammation on Vitamin A and Carotenoids in Humans and Animal Models. *Advances in Nutrition* **8**(2): 197-212.
49. Saeid A, Chojnacka K, Opaliński S, Korczyński M. 2016. Biomass of *Spirulina maxima* enriched by biosorption proces as a new feed supplement for laying hens. *Algal Research* **19**: 342-347.
50. Saini RK, Nile SH, Park SW. 2015. Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. *Food Research International* **3**: 735-750.
51. Saranraj P, Sivasakthi S. 2014. *Spirulina platensis* – food for future: review. *Asian Journal of Pharmaceutical Science and Technology* **4**(1): 26-33.
52. Sharma G, Prakash D, Gupta C, 2014. Phytochemicals of nutraceutical importance. Amity Institute for Herbal Research & Studies, Amity University Uttar Pradesh, India.

53. Skřivan M, Englmaierová M, Skřivanová E, Bubancová I. 2015. Increase in lutein and zeaxanthin content in the eggs of hens fed marigold flower extract. *Czech Journal of Animal Science* **60**(3): 89-96.
54. Skřivan M, Marounek M, Englmaierová, Skřivanová E. 2016. Effect of increasing doses of marigold (*Tagetes erecta*) flower extract on eggs carotenoids content, colour and Oxidative stability. *Journal of Animal and Feed Sciencis* **25**: 58-64.
55. Soňta M, Rekiel A, Batorska M. 2019. Use of Duckweed (*Lemna L.*) in Sustainable Licestock Production and Aquaculture – A review. *Sciendo* **19**: 257-271.
56. Stephensen CB, 2013. *Nutritional and Health*. Humana Press, Towana.
57. Surbhi S, Verma RC, Deepak R, Jain HK, Yadav KK. 2018. A review: Food, chemical composition and utilization of carrot (*Daucus carota L.*) pomace. *International Journal of Chemical Studies* **6**(3): 2921-2926.
58. Tanaka T, Shnimizu M, Moriwaki H. 2012. Cancer Chemoprevention by Carotenoids. *Molecules* **17**(3): 3202-3242.
59. Titcomb TJ, Cook MS, Simon PW, Tanumihardjo SA. 2019. Carrot leaves improve color and xanthophyll content of egg yolk in laying hens but are not as effective as commercially available marigold fortificant. *Poultry science* **98**: 5208-5213.
60. Velišek J, 2014. *The Chemistry of Food*. Wiley-Blackwell, UK.
61. Von Lichtig J. 2012. Provitamin A metabolism and functions in mammalian biology. *The American Journal of Clinical Nutrition* **96**: 1234-1244.
62. Weber GM, Machander V, Schierle J, Aureli R, Roos F, Pérez-Vendrell AM. 2013. Tolerance of poultry against an overdose of canthaxanthin as measured by performance, different blood variables and post – mortem evaluation. *Animal Feed Science and Technology* **186**: 91-100.
63. Zahra N, Ali-un-Nisa, Arshad F, Malik SM, Kalim I, Hina S, Javed A, Inam SM. 2016. Comparative Study of Beta Carotene Determination by various Methods: A Review. *Bio Bulletin* **2**(1): 96-106.
64. Zahroojian N, Shivazad MM. 2011. Comparison of marine algae (*Spirulina platensis*) and synthetic pigment in enhancing egg yolk colour of laying hens. *British Poultry Science* **52**(5): 584-588.
65. Zelenka J, 2014. *Výživa a krmení drůbeže*. Agriprint, Olomouc.
66. Zepka LQ, Jacob-Lopes E, De Rosso VV, 2018. *Progress in carotenoid Research*. IntechOpen, UK.
67. Zhang S, Lui Y, Luo J. 2016. Synthesis of analogues of cintranaxhanthin and their activity in free radical scavenging. *Journal of Chemical Research* **40**: 257-260.

68. Zhang W, Zhang KY, Ding XM, Bai SP, Hernandez JM, Yao B, Zhu Q. 2011. Influence of canthaxanthin on broiler breeder reproduction, chick quality, and performance. *Poultry Science* **90**(7): 1516-1522.
69. Zhu C, Farré G, Zhanga D, Christou P. 2018. High-carotenoid maize: development of plant biotechnology prototypes for human and animal and nutrition. *Phytochemistry Reviews* **17**: 197-209

