

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Přírodní zdroje karotenoidů ve výživě nosnic**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Jan Szmek**

**Obor studia: Výživa a potraviny**

**Vedoucí práce: prof. MVDr. Eva Skřivanová, Ph.D.**

**Konzultant: Ing. Michaela Englmaierová, Ph.D.**

**Konzultant: prof. Ing. Miloš Skřivan, DrSc.**

© 2021 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Přírodní zdroje karotenoidů ve výživě nosnic" jsem vypracoval 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 autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22. dubna 2021

---

**Jan Szmek**

## **Poděkování**

Velice rád bych touto cestou poděkoval vedoucí mé bakalářské práce, prof. MVDr. Evě Skřivanové, Ph.D., za odborné vedení, projevenou pomoc, množství cenných a inspirativních rad, podnětů, doporučení, ale i za důvěru, kterou mi poskytla při zpracování této práce. Dále bych rád vyjádřil poděkování konzultantům mé bakalářské práce, Ing. Michaele Englmaierové, Ph.D. a prof. Ing. Miloši Skřivanovi, DrSc., za poskytnutí literatury a dalších podkladů a materiálů vztahujících se k tomuto tématu, za pečlivé vedení, rady, připomínky a odbornou pomoc, kterou mi věnovali při zpracování metodické části této práce. Zároveň všem děkuji za čas, trpělivost a velkou ochotou při konzultacích poskytnutých ke zpracování této práce. V neposlední řadě patří také velké poděkování mé rodině, blízkým a kamarádům, kteří mě nejen v průběhu psaní této práce, ale i po dobu celého studia podporovali.

# Přírodní zdroje karotenoidů ve výživě nosnic

## Souhrn

Význam chovu nosnic spočívá v produkci vajec. Z hlediska kvality je pro zjednodušeně hodnotící spotřebitelskou veřejnost nejdůležitějším znakem sytost zbarvení žloutku. Preference sytosti žloutku se v rámci jednotlivých států výrazně liší. Proto se do krmných směsí pro drůbež často přidávají přírodní, nebo syntetické pigmenty – karotenoidy. Tato bakalářská práce se ve své literární rešerši zaměřuje převážně na přírodní zdroje karotenoidů ve výživě nosnic. Dále tato práce poukazuje na samotnou výživu nosnic a zmiňuje vliv karotenoidů na kvalitu vajec a zdraví člověka. V experimentální části práce, která proběhla v oddělení fyziologie výživy a jakosti produkce Výzkumného ústavu živočišné výroby, v. v. i. v Praze Uhřetěvesi, bylo cílem zjistit vliv zvýšené koncentrace karotenoidů ve vybrané odrůdě pšenice na užitkovost nosnic a kvalitu vajec, zahrnující jejich technologickou hodnotu, obsah karotenoidů v lyofilizovaných žloutcích a oxidační stabilitu žloutku v mg malondialdehydu (MDA) na kg žloutku. V pokusu, do kterého bylo zařazeno 240 nosnic Lohmann Brown ve věku 42 týdnů, byla s odpovídajícím zdrojem tuku v krmných směsích pro slepice srovnávána odrůda pšenice PEXESO se zvýšeným obsahem luteinu a zeaxantinu s odrůdou TERCIE s běžným obsahem těchto karotenoidů. Nosnice byly ustájeny v obohacených klecích a zařazeny do 4 skupin dle odrůdy pšenice a dle zdroje tuku (řepkový olej a vepřové sádlo). V každé skupině bylo po 6 opakování po deseti slepicích. Denně byl sledován zdravotní stav slepic a počet uhynulých kusů. Snáška byla evidována denně, příjem krmiva týdně. Výsledky byly zpracovány programem SAS. Intenzita snášky byla nepatrně vyšší u PEXESA v kombinaci s vepřovým sádlem. Produkce vaječné hmoty byla ovlivněna tukem ( $P < 0,01$ ) a interakcí tuk  $\times$  odrůda ( $P < 0,05$ ). Nejvyšší produkci vaječné hmoty vykazovaly slepice krmené směsí s PEXESEM a řepkovým olejem ( $P < 0,05$ ). Hlavní výsledek v rámci ukazatelů užitkovosti ve prospěch PEXESA byl nižší denní příjem krmiva ( $P < 0,001$ ) a nižší spotřeba krmné směsi na 1 kg vaječné hmoty ( $P = 0,013$ ). PEXESO významně snížilo hodnotu Haughových jednotek ( $P < 0,001$ ), kladně ovlivnilo barvu vaječného žloutku ( $P < 0,001$ ) a významně zvýšilo pevnost skořápky ( $P < 0,001$ ). Koncentrace luteinu ( $P < 0,001$ ) a zeaxantinu ( $P < 0,001$ ) byla výrazně vyšší u skupin s PEXESEM. Rovněž tuk měl významný vliv na ukládání karotenoidů luteinu ( $P < 0,001$ ) a zeaxantinu ( $P = 0,001$ ) ve žloutku. Oxidace čerstvých vajec měřená na základě stanovení obsahu MDA byla PEXESEM prokazatelně snížena ( $P < 0,001$ ). Navíc byla zjištěna významná interakce odrůdy pšenice se zdrojem tuku v krmivu u obsahu MDA v čerstvých vejcích ( $P = 0,046$ ), kdy pšenice TERCIE spolu s řepkovým olejem snížila oxidační stabilitu žloutku. Odrůda pšenice PEXESO je vhodnou komponentou krmných směsí pro slepice, ale pro výraznější zvýšení sytosti barvy žloutku je třeba do krmiva doplnit další zdroj karotenoidů.

**Klíčová slova:** karotenoidy, antioxidanty, tuk, nosnice, výživa, vejce, barva žloutku, zdraví

# Natural sources of carotenoids in laying hens nutrition

## Summary

The significance of laying hens breeding lies in egg production. From the point of view of quality, for the simply evaluating consumers, the intensity of yolk colour is the most important sign. Preference of this intensity varies considerably in each state. That is the reason why the natural or synthetic pigments – carotenoids are often added to poultry feed. This bachelor's thesis in its literary research focuses mainly on the natural sources of carotenoids in laying hens nutrition. Further, the work refers to the laying hens nutrition itself and mentions the impacts of carotenoids on the quality of eggs and human health. In the experimental part of the work, which took place at the Department of Nutrition Physiology and Animal Product Quality of the Institute of Animal Science in Prague Uhřetěves, the aim was to find out the impact of the increased carotenoids concentration in a particular wheat cultivar on laying hens efficiency and egg quality including their technological value, content of carotenoids in lyophilized egg yolks and oxidative stability of yolk in mg in malondialdehyde (MDA) per 1 kg of yolk. In this experiment, which included 240 laying hens Lohmann Brown 42 weeks old, the wheat cultivar of PEXESO with the increased content of lutein and zeaxanthin was compared to the cultivar of TERCIE with common content of these carotenoids in hen feed mixtures with an appropriate source of fat. The laying hens were settled in enriched cages and divided into 4 groups according to the wheat cultivar and the fat source (canola oil and lard). In each group there were 6 repetitions per 10 hens. The health state of hens and the number of the dead heads was observing daily. The eggs laying was registered daily, the food intake weekly. The results were processed by SAS programme. The intensity of hen-day egg production was slightly higher with PEXESO in combination with lard. The production of egg mass was influenced by the fat ( $P < 0,01$ ) and the interaction of fat  $\times$  cultivar ( $P < 0,05$ ). The highest production of egg mass was shown by the hens fed by the feed mixture with PEXESO and canola oil ( $P < 0,05$ ). The main result within the efficiency indicators in favour of PEXESO was the lower intake of feed a day ( $P < 0,001$ ) and the lower consumption of feed mixture per 1 kg of egg mass ( $P = 0,013$ ). PEXESO significantly reduced the rate of Haugh Units ( $P < 0,001$ ), positively influenced the colour of egg yolk ( $P < 0,001$ ) and increased the shell breaking strength ( $P < 0,001$ ). The concentration of lutein ( $P < 0,001$ ) and zeaxanthin ( $P < 0,001$ ) also increased significantly in groups with PEXESO. The fat as well had great influence on the storing of lutein ( $P < 0,001$ ) and zeaxanthin ( $P = 0,001$ ) carotenoids in the egg yolk. The oxidation of fresh eggs measured on the basis of the determination of MDA content was demonstrably reduced ( $P < 0,001$ ) by PEXESO. Moreover, the important interaction of wheat cultivar and fat source in feed in MDA content in fresh eggs ( $P = 0,046$ ) was found out, where TERCIE wheat together with canola oil reduced the oxidative stability of the egg yolk. The wheat cultivar of PEXESO is a suitable component of feed mixtures for hens, however for more considerable increase of yolk colour intensity it is necessary to complete the feed with the other source of carotenoids.

**Keywords:** carotenoids, antioxidants, fat, laying hens, nutrition, egg, yolk colour, health

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Cíl práce a hypotéza</b> .....	<b>10</b>
2.1 Cíl práce.....	10
2.2 Hypotéza.....	10
<b>3 Literární řešerše</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 Chov drůbeže a pastva</b> .....	<b>12</b>
3.1.1 Organický chov.....	12
3.1.2 Volný chov.....	13
3.1.3 Organický a volný chov.....	13
3.1.4 Pastva drůbeže.....	14
<b>3.2 Kur domácí (<i>Gallus gallus f. domestica</i>)</b> .....	<b>15</b>
<b>3.3 Význam chovu drůbeže</b> .....	<b>15</b>
3.3.1 Nosné užitkové typy.....	15
<b>3.4 Fyziologie výživy</b> .....	<b>16</b>
3.4.1 Trávicí soustava drůbeže.....	16
<b>3.5 Základy výživy nosnic</b> .....	<b>18</b>
3.5.1 Výživa slepic nosného typu.....	18
3.5.2 Výživa slepic nosného typu v odchovu.....	18
3.5.3 Výživa slepic nosného typu ve snášce.....	20
3.5.4 Tuk ve výživě nosnic.....	22
<b>3.6 Karotenoidy</b> .....	<b>25</b>
3.6.1 Obecná charakteristika, účast při fotosyntéze a chemická struktura.....	25
3.6.2 Karoteny a xantofyly a jejich efektivita ukládání.....	27
3.6.3 Výskyt, absorpce, skladování a metabolismus karotenoidů u drůbeže.....	29
<b>3.7 Zdroje karotenoidů</b> .....	<b>30</b>
3.7.1 Přírodní karotenoidy.....	30
3.7.1.1 Řasa <i>Chlorella vulgaris</i> .....	31
3.7.1.2 Aksamitník vzpřímený, afrikán, mexický měsíček ( <i>Tagetes erecta</i> ).....	32
3.7.1.3 Pastevní porost, tráva a byliny.....	32
3.7.1.4 Kopřiva dvoudomá ( <i>Urtica dioica</i> ).....	34
3.7.1.5 Tolice vojteška ( <i>Medicago sativa</i> ).....	36
3.7.1.6 Kukuřice setá ( <i>Zea mays</i> ).....	37
3.7.1.7 Mrkev obecná ( <i>Daucus carota</i> ).....	37
3.7.1.8 Paprika setá ( <i>Capsicum annum</i> ).....	38
3.7.1.9 Lilek rajče ( <i>Solanum lycopersicum</i> ).....	39
3.7.1.10 Požadavky na množství, chov na pastvě a domácí zdroje karotenoidů.....	39

3.7.2	Syntetické karotenoidy .....	41
3.7.2.1	Žluté syntetické karotenoidy .....	42
3.7.2.2	Červené syntetické karotenoidy .....	42
3.7.2.3	Požadavky na množství, maximální množství a zbarvení žloutku .....	43
<b>3.8</b>	<b>Faktory ovlivňující obsah karotenoidů a vitaminů ve žloutku .....</b>	<b>46</b>
<b>3.9</b>	<b>Barevný tón žloutku .....</b>	<b>48</b>
<b>3.10</b>	<b>Vliv karotenoidů na kvalitu vajec .....</b>	<b>50</b>
<b>3.11</b>	<b>Vliv karotenoidů na zdraví člověka .....</b>	<b>52</b>
3.11.1	Aktivita vitaminu A - retinolu .....	53
3.11.2	Ochrana kůže .....	54
3.11.3	Ochrana makuly ( <i>macula lutea</i> ) .....	55
3.11.4	Všeobecný účinek .....	56
<b>3.12</b>	<b>Vejde .....</b>	<b>57</b>
3.12.1	Cholesterol .....	57
3.12.2	Produkce a tvorba vejce .....	58
3.12.3	Složení vejce .....	60
3.12.4	Komponenty vejce .....	61
<b>3.13</b>	<b>Kvalitativní parametry vejce .....</b>	<b>62</b>
3.13.1	Hmotnost vajec .....	62
3.13.2	Tvar vajec .....	63
3.13.3	Kvalita žloutku .....	63
3.13.4	Kvalita bílku .....	64
3.13.5	Kvalita skořápky .....	65
<b>3.14</b>	<b>Značení a jakostní třídění vajec .....</b>	<b>67</b>
<b>4</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>70</b>
<b>4.1</b>	<b>Metodika experimentu .....</b>	<b>71</b>
4.1.1	Slepice, pšenice PEXESO v krmných směsích pro slepice, ustájení .....	71
4.1.2	Technologická hodnota vajec .....	73
4.1.3	Stanovení obsahu karotenoidů ve žloutku .....	73
4.1.4	Stanovení oxidační stability lipidů žloutku .....	74
4.1.5	Statická analýza .....	74
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>75</b>
<b>6</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>79</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>84</b>
<b>8</b>	<b>Seznam zkratk a symbolů použitých v textu .....</b>	<b>86</b>
<b>9</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>88</b>
<b>10</b>	<b>Obrázky .....</b>	<b>99</b>

# 1 Úvod

Význam chovu drůbeže spočívá v produkci potravin živočišného původu a konkrétně u nosnic v produkci vajec. Drůbež se vyznačuje intenzivním metabolismem, kterému podle Stupky et al. (2013) odpovídá vysoká intenzita růstu, raná pohlavní dospělost, vysoká reprodukční schopnost a vysoká adaptabilita na podmínky prostředí a systém chovu. Důležitou schopností drůbeže je relativně rychlá a efektivní přeměna rostlinné hmoty na biologicky plnohodnotnou živočišnou hmotu (maso, vejce) s vysokým obsahem lehce stravitelných bílkovin, vitaminů, minerálních látek, ale s nízkou energetickou hodnotou (Stupka et al. 2013).

Mezi hospodářskými zvířaty má drůbež největší reprodukční schopnost. Nejdůležitější vlastností z hlediska užítkovosti je nosnost, což je schopnost samic drůbeže snášet vejce (Stupka et al. 2013). Příčinou toho, že slepice snášejí vejce po celý rok (s výjimkou některých přírodě dosud nevzdálených plemen), je šlechtění (Verhoef 2005). Slepice držené ve velkochovech jsou podle Verhoef (2005) šampióny, co se týče množství snesených vajec, protože byly vybrány člověkem právě podle schopnosti snášet vejce (výběr = selekce).

Výrobou vajec se v současné době rozumí především produkce konzumních vajec, které se získávají od kura domácího (*Gallus gallus f. domestica*), při splnění požadavků na vejce, určená k lidskému konzumu. Podle zbarvení skořápky (což je determinováno geneticky) se rozlišují (nutričně srovnatelná) vejce bělovaječná a hnědovaječná (Kodeš et al. 2003). Téměř výhradně jsou však produkována vejce s hnědou skořápkou, která je pevnější než silnější bílá.

Spotřeba vajec v České republice v posledních letech hodně kolísá a pohybuje se v hodnotách 250 – 260 kusů na osobu za 1 rok. Asi 60 % vajec je vyprodukováno ve velkochovech, zbylých 40 % pochází z malochovů. V České republice jsou ke spotřebě povolena vejce slepičí, perličí, křepelčí a pštrosí. Distribuce vajec vodní drůbeže (husy, kachny) do obchodní sítě není v České republice povolena z důvodu endogenní kontaminace salmonelózou (Stupka et al. 2013). Tuto kontaminaci způsobují bakterie rodu *Salmonella* na tukovém povlaku skořápky vajec vodní drůbeže. Tendence růstu poptávky spotřebitelů ze zemí Evropské unie je po vejcích, které pocházejí z alternativních chovů nosnic (Kodeš et al. 2003).

Vejce jsou nejbohatším zdrojem základních živin a pro lidskou výživu a zdraví jsou zcela nepostradatelné (Stupka et al. 2013). Vejce patří mezi nejrozšířenější potraviny a potravinářské suroviny. Vaječný obsah je tvořen ze 3/4 vodou (Kodeš et al. 2003) a dále obsahuje téměř všechny základní živiny, kterými jsou vaječné bílkoviny, tuky, cukry, vitaminy a minerální látky. Bez těchto základních živin by nebyl umožněn vývoj kuřete nebo mláděte jiného druhu



ptáků (Stupka et al. 2013). Právě díky optimálnímu vzájemnému poměru jednotlivých složek živin a jejich dokonalou využitelností člověkem je v literatuře uváděno, že vejce mají vysokou biologickou aktivitu. Biologická hodnota vejce je dokonce vyšší než biologická hodnota masa nebo mléka. Tůmová (2011) uvádí, že biologická hodnota vejce je nejvyšší ze všech bílkovin živočišného i rostlinného původu. Stupka et al. (2013) uvádějí, že právě vysoká hodnota slepičích vajec z nich vytváří ideální potravinu.

Nejdůležitějším kvalitativním znakem u vajec, zejména pro spotřebitele je podle Kodeše et al. (2003) barva žloutku. Ta je důležitou charakteristikou a kritériem výběru potravin spotřebitelem (Englmaierová et al. 2013) obzvlášť v Evropské unii, kde se preference sytosti vaječného žloutku v každém státu liší. Podle Skřivana & Englmaierové (2014) se z tohoto důvodu do krmných směsí pro drůbež často přidávají buď přírodní, nebo syntetické pigmenty.

Barviva (pigmenty) jsou v současnosti již běžným krmným doplňkem – aditivem, používaným při výrobě nejen drůbežích krmných směsí. Jsou využívány k barvení vaječného žloutku, kůže vykrmovaných brojlerů nebo masa lososovitých ryb. Pigmenty, které barví žloutek nebo kůži drůbeže patří do skupiny karotenoidů (Kodeš et al. 2003).

Karotenoidy zodpovědné za zbarvení vaječného žloutku představují jednu z nejrozšířenějších skupin přírodních v tuku rozpustných pigmentů. Karotenoidy dělíme na přírodní, které se dle Kodeše et al. (2003) přirozeně nacházejí např. v některých krmivech, zejména v kukuřici, vojtěškové moučce a travních krmivech, a na syntetické. Mezi přírodní karotenoidy řadíme především lutein a zeaxantin. K syntetickým zástupcům pak patří např. kantaxantin a  $\beta$ -apo-8'-ethylester kyseliny karotenové pod různými obchodními názvy. Kodeš et al. (2003) uvádějí, že důvodem přistoupení k barvení vaječných žloutků s využitím žlutých a červených pigmentů bylo to, že většina spotřebitelů dává přednost jasně oranžově zbarvenému žloutku vajec z domácího malochovu, před zcela bílým žloutkem, který byl charakteristický pro intenzivní chovy slepic. Karotenoidy obsažené v krmných směsích drůbeže zvyšují pigmentaci vaječných žloutků a zlepšují oxidační stabilitu lipidů. Výrazná antioxidační aktivita karotenoidů může podle Englmaierové et al. (2019) spolu s dalšími látkami obsaženými v krmivu prodlužovat trvanlivost, resp. dobu, po kterou mohou být vejce spotřebiteli použita.

Spotřebitelé produktů chovu drůbeže se stále více zajímají o podmínky chovů slepic a kuřat a o konečnou kvalitu a jakost produktů živočišného původu. V současné době existuje tendence nahrazovat syntetická krmná aditiva přírodními látkami získávanými z rostlin, které nezpůsobují nežádoucí vedlejší účinky (Skřivan et al. 2016), prodlužují trvanlivost živočišných produktů a mají široké spektrum vlivů na zdraví člověka jako konečného konzumenta.

## **2 Cíl práce a hypotéza**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat literární rešerši zaměřenou převážně na přírodní zdroje karotenoidů ve výživě nosnic. Dále bylo cílem poukázat na samotnou výživu nosnic v jednotlivých stupních odchovu a zmínit vliv karotenoidů na obohacování vajec, jejich kvalitu a zdraví člověka jako konečného konzumenta.

V souvislosti s literární rešerší této bakalářské práce byly stanoveny i cíle pokusu. Cílem pokusu bylo zjistit vliv zvýšené koncentrace dietárních karotenoidů luteinu a zeaxantinu ve vybrané odrůdě pšenice na užitkovost nosnic a kvalitu vajec – zahrnující jejich technologickou hodnotu, obsah karotenoidů v lyofilizovaných žloutcích a oxidační stabilitu žloutku v miligramech malondialdehydu na kilogram žloutku.

### **2.2 Hypotéza**

Přírodní karotenoidy ovlivňují některé parametry kvality vajec.



## 3 Literární rešerše

### 3.1 Chov drůbeže a pastva

Chov drůbeže je jedním z nejflexibilněji se rozvíjejících odvětví živočišné výroby ve světě. Tato skutečnost může být zapříčiněna i tím, že samotný chov drůbeže není jako jiné chovy a odvětví živočišné výroby vázán na hospodaření na zemědělské půdě. Ve světě včetně Evropy se rozeznává několik základních typů chovu drůbeže. Patří mezi ně i organický (ekologický, BIO) a volný (výběhový) chov drůbeže (organic and free-range poultry rearing).

#### 3.1.1 Organický chov

Organický chov drůbeže se řídí Nařízením Komise (ES) č. 889/2008, kterým se stanoví prováděcí pravidla k Nařízení Rady (ES) č. 834/2007 o ekologické produkci a označování ekologických produktů (Skřivan & Englmaierová 2015). Organický chov se řídí konkrétními legislativními podmínkami a stanovenými postupy, kde je mimo jiné i uvedeno, že drůbež v organickém chovu musí mít volný přístup na pastvu. Výběhy musí být tedy travnaté (4 m<sup>2</sup>/nosnici), čehož lze docílit jen častým střídáním výběhů (Stupka et al. 2013). Podle vyhlášky Ministerstva zemědělství České republiky č. 16/2006 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o ekologickém zemědělství (zákon č. 242/2000 Sb.), se pro ekologický (organický, BIO) chov drůbeže musí zajistit vstupy (výstupy) pro drůbež o celkové délce 4 m na 100 m<sup>2</sup> podlahové plochy haly a drůbež musí mít přístup do volného prostoru alespoň po dobu 1/3 života. Podle Skřivana & Englmaierové (2015) jde organický chov drůbeže cestou welfare (pohoda zvířat) zvířat a nulové chemizace, nikoliv cestou maximální možné úspory nákladů jako intenzivní chovy. Stupka et al. (2013) uvádějí, že nosnice musí být v ekologických chovech krmeny krmnými směsmi, jejichž komponenty jsou produktem výhradně ekologického zemědělství. Příjem krmiva v organické produkci vajec může být podle Hammershøj & Johansen (2016) důležitým faktorem při rozlišování kvality organických vajec, protože různé druhy trav a bylin na pastvinách obsahují různé živiny a sloučeniny, které se do vajec zřejmě přenášejí a mají tak na ně určitý dopad. U chovu drůbeže organickou cestou, kdy drůbež má k dispozici výběh a je krmena výhradně ekologickými produkty, se musí počítat s nižší užitkovostí než u chovů intenzivních. Vejce z organického chovu mohou být více znečištěna, existuje zde riziko nevyvážené výživy, ale barva žloutku je díky přístupu na pastvu přirozeně tmavší. Organický chov a produkce BIO vajec je z evropských zemí nejrozšířenější v Německu, Francii, Nizozemsku nebo Spojeném království Velké Británie a Severního Irska.

### 3.1.2 Volný chov

Pastevní neboli volný (výběhový) chov slepic, kde drůbež má volný přístup do výběhu a může se pohybovat mimo halu, zahrnuje širokou skupinu metod a faktorů chovu. Poptávkou spotřebitelů se zde zvyšuje podíl produkce vajec a masa na jejich celkové produkci. Marketingová stránka produktů chovu drůbeže je posilována dojmem kupujících, že získávají kvalitnější vejce nebo maso než z intenzivních chovů a také přesvědčením, že zvířata žijí v přirozených, ekologicky lepších podmínkách (Skřivan & Englmaierová 2015). Podle Skřivana & Englmaierové (2015) je to většinou správný názor (přestože tomu tak nemusí být vždy), jelikož představa spotřebitelů bývá spojena s volným pohybem slepic a kuřat na pastvě. Ta je ve skutečnosti součástí jen částí volných chovů a při včasné nepřemístění drůbeže může docházet k jejímu poškození nadměrným množstvím trusu, který zároveň nerovnoměrně obohacuje půdu o živiny. Výběh pro nosnice musí být dle Stupky et al. (2013) oplocený, znemožňující únik nosnic a vniknutí zvířat zvenčí a jeho součástí by mělo být zastínění jeho části před slunečním zářením umožňující i částečnou ochranu před deštěm. Vejce z volného chovu mohou být znečištěna, avšak díky přístupu na pastvu mají přirozeně tmavší barvu žloutku. U těchto vajec může být někdy uváděn vyšší obsah cholesterolu díky méně vybalancované výživě a stresu. Volný chov drůbeže je rozšířen především v Austrálii, Spojených státech amerických, Číně a z evropských zemí ve Spojeném království Velké Británie a Severního Irsku, Nizozemsku, Německu nebo Francii.

### 3.1.3 Organický a volný chov

Organický a volný chov umožňují zvířatům volný pohyb v plné míře za projevu všech biologických potřeb (např. popelení, hrabání, hřadování, snáška vajec do snáškových hnízd aj.). Neumožnění dostatečně volného pohybu nosnic a s ním spojené biologické potřeby jsou hlavním důvodem, proč se od klecových systémů ustájení nosnic v Evropské unii na nátlak některých organizací a skupin upouští (Stupka et al. 2013). Běžný volný chov drůbeže, spojený s kvalitní pastvou nebo s přírodními zdroji karotenoidů v zimním období, vedený dle zásad pohody zvířat, poskytne spotřebiteli kvalitní produkt (Skřivan & Englmaierová 2015). Nevýhodou organického a volného chovu je poměrně nízká snáška, nejvyšší spotřeba krmiva a nejvyšší úhyn nosnic v důsledku kanibalismu a stresu ze sociálního složení hejna (Stupka et al. 2013). Větší zdravotní problémy drůbeže se vyskytují v chovech organických, přestože je péče o zdraví drůbeže důležitá v obou zmiňovaných typech chovů. Zdravotní problémy mohou být způsobeny horší kontrolou zdravotního stavu nosnic a také podle Stupky et al.

(2013) vyšším výskytem endoparazitů i ektoparazitů, který souvisí s volným pohybem nosnic mimo chovné haly. Skřivan & Englmaierová (2015) uvádějí, že příčinou větší náchylnosti k onemocněním v organických chovech je i finanční náročnost, popřípadě obtížnost zajistit ve všech složkách vyrovnanou výživu.

Počet spotřebitelů, kteří se zajímají o původ produktů chovu a jejich kvalitu, se dle aktuálních údajů zvyšuje. Od roku 2000 je poptávka spotřebitelů v Evropě po dobrých životních podmínkách zvířat a standardech životního prostředí posílena nově vznikajícími předpisy. To upřednostnilo segmentaci trhu vajec s více vejci pocházejícími z neklecových systémů chovu drůbeže (Francie 26 %, Spojené království Velké Británie a Severního Irsku 37 %, Německo 57 %, Švédsko 63 % a Nizozemsko 84 %) (Magdelaine 2007). Trh s produkty z volného, ale i organického chovu drůbeže roste přes přísné a ekonomicky náročné podmínky. Ve volném i organickém chovu drůbeže má velký význam příjem objemné zelené píce.

#### **3.1.4 Pastva drůbeže**

Základem dobré užitkovosti drůbeže je zdraví, vysoká životnost, intenzivní látková přeměna a odolnost proti nemocem. Správný růst a vývoj je podmíněn nejen plnohodnotnou výživou s dostatkem bílkovin, sacharidů, minerálních látek a vitaminů, ale i pohybem na zdravém vzduchu (Staněk et al. 1963). Zdravé a vysoce užitkové nosnice jsou získány pouze správným odchovem kuřat následovaným správným odchovem kuřic.

Prvotní výživou zvířat je pastva neboli zelená píce, která je bohatým zdrojem vitaminů, karotenoidů a omega-3 (n-3) nenasycených mastných kyselin. Chov drůbeže spojený s kvalitní pastvou a pohybem na čerstvém vzduchu a slunci zajistí příjem základních živin, včetně živočišné bílkoviny, vitaminů a karotenoidů. Horsted et al. (2010) uvedli, že senzorická hodnota vajec je vyšší u pasoucích se slepic, které jsou krmeny v kombinaci s celou pšenicí než u vajec od slepic, které jsou z intenzivního chovu a krmeny komerčně připravenými krmnými směsmi. Bohatým zdrojem přírodních karotenoidů je čerstvá zelená píce, která dobře zbarvuje vaječné žloutky. Skřivan & Englmaierová (2015) uvádějí, že barevný tón žloutku vajec z pastvy určují hlavně přírodní, v pastvě obsažené karotenoidy, a ne syntetická barviva. Dle Roberts (2004) jsou syntetická barviva, syntetické pigmenty, v některých zemích, např. ve Švédsku, pro dané použití zakázána. Studie od Karsten et al. (2010) uvádějí nižší snášku slepic z pastvy než z halového chovu a příčinu vidí v narušení optimálního obsahu a poměru živin, konkrétně energie, bílkovin, aminokyselin a minerálních látek. Tomuto narušení optimálního stavu lze předcházet doplňkovou krmnou směsí, která by měla být současně krmnou směsí vyrovnávací.

## 3.2 Kur domácí (*Gallus gallus f. domestica*)

Kur domácí (*Gallus gallus f. domestica*) byl domestikován před několika tisíci lety z volně žijícího, lesního kurovitého ptáka, kura bankivského (*Gallus gallus*) z čeledi bažantovitých. Ve volné přírodě žije kur bankivský na zemi v hustých porostech džungle, kde zem využívá k vyhledávání potravy, popelení a snášení a stromy k hřadování (Tůmová 2019).

Brentjes (1979) uvedl, že tato divoká forma, z níž se kur domácí vyvinul pochází z Indie, a že tam zdomácněla už v 5. a 4. tisíciletí př. n. l., protože v 3. tisíciletí př. n. l. se už vedle původních štíhlých ras vyskytoval i vysoce domestikovaný masitý kur domácí. Kolem poloviny 2. tisíciletí př. n. l. se kur domácí dostal do Mezopotámie, a ještě před rokem 1400 př. n. l. do Egypta. Přes Řecko a Itálii se rozšířil v 1. tisíciletí př. n. l. do Evropy (Brentjes 1979), kde začal jeho chov pro vejce a maso. První formy tohoto kura byly využívány pro kohoutí zápasy nebo jako okrasná zvíř v parcích. Teprve koncem 19. a začátkem 20. století začaly vznikat první výstavy a první intenzivní chovy slepic k produkci kuřecího masa a vajec.

## 3.3 Význam chovu drůbeže

K rychlému nabírání svalové hmoty při současné co nejmenší spotřebě krmiva, vyjádřené konverzí krmiva, a produkci masa byli vyšlechtěni tzv. brojleři, resp. brojlerová kuřata.

Cíleným šlechtitelským procesem křížením různých linií vznikli nosní hybridy. Tyto slepice označované jako nosnice (nosní hybridy) jsou chovány za účelem produkce vajec a nepočítají se k žádnému určitému plemeni. Jelikož dokážou dobře zhodnocovat krmivo, jsou schopny už v prvním snáškovém cyklu a ve věku 20 – 30 týdnů snášet každý den jedno vejce. Začátek snáškového cyklu souvisí s dosaženou pohlavní dospělostí (18 – 23 týdnů věku) a snesením prvního vejce a končí pelicháním. Snáška kulturních plemen drůbeže nebo hybridních kombinací drůbeže se podstatně odlišuje od snášky jejich divokých předků, kde plní pouze funkci rozmnožení a zachování konkrétního druhu (Stupka et al. 2013). Pro správný tělesný vývoj, funkci organismu a produkci vajec je výživa nosnic základem každého chovu. Ta hraje ze všech realizačních faktorů a ekonomiky chovu drůbeže nejdůležitější roli.

### 3.3.1 Nosné užitkové typy

V rámci nosného užitkového typu slepic se chovají bělovaječné a hnědovaječné nosnice.

Bělovaječné nosnice, odvozené od lehkého nosného plemene Leghornka bílá (původ Itálie), mají nízkou hmotnost a z chovaných zástupců jsou to např. Hisex bílý, Lohmann LSL,

Lohmann brown, Shaver Starcross 288 a další. Zastoupení bělovaječných užitkových hybridů v chovech slepic je menší. Bělovaječné slepice se chovají především v USA a na Arabském poloostrově, kde na jejich chov připadá přes 90 % (Tůmová 2011).

Na základě Rodajlendky červené (původ USA), plemene s kombinovanou užitkovostí, vznikla většina hnědovaječných užitkových hybridů. Hnědovaječné nosnice, produkující vejce s pevnější skořápkou, jsou těžší a patří sem např. Hisex hnědý, ISA hnědá, Bovans hnědý nebo pro drobné chovy např. Dominant hnědý, černý, žíhaný, sussex a modrý, Moravia černá (BSL) a žíhaná (Barred), Horal hnědý, černý a žíhaný a další. Podíl hnědovaječných hybridů v Evropě z celkového stavu slepic chovaných na produkci vajec je přes 90 % (Tůmová 2011).

Produkce konzumních vajec je hlavním účelem chovu slepic nosného typu. Této hlavní užitkové vlastnosti je podřízeno šlechtění, výběr systému ustájení nosnic, výživa a řízení mikroklimatických podmínek. Systémy ustájení nosnic zahrnují chovy klecové (obohacené klecové systémy) a chovy alternativní, mezi které řadíme chovy výběhové (volné) a ekologické (organické, BIO), a chovy ve voliérách (aviarech) nebo na podestýlce.

### **3.4 Fyziologie výživy**

#### **3.4.1 Trávicí soustava drůbeže**

Kodeš et al. (2003) uvádějí, že systémy výživy drůbeže bezprostředně souvisejí se stavbou trávicí soustavy a taktéž, že oproti savcům, lze u trávicího ústrojí ptáků zaznamenat mnohé morfologické i funkční zvláštnosti.

Trávicí soustava drůbeže začíná dutinou zobákovou (ústní), která je ohraničena horním a dolním zobákem, patrem a spodinou dutiny zobáku, do které ústí několik párů slinných žláz (Skřivanová 2011). Kur domácí má plně vyvinutý systém slinných žláz produkujících hlen. Ve sliznici dutiny zobákové a hltanové u drůbeže je jen malé množství chuťových pohárků, a proto má drůbež nedokonalé chuťové hodnocení přijímaného krmiva (Kodeš et al. 2003).

Trávicí trubice pokračuje krátkým hltanem (*pharynx*) do jícnu (*oesophagus*), který se rozšiřuje ve vole (*ingluvies*). Vole je vychlípenina jícnu, tvořená zřasením sliznice. Tento vzniklý vak u slepic má objem asi 75 – 100 g krmiva. Přijaté krmivo se zde hromadí, bobtná a změkčuje působením slin a hlenu, přijatou a zadrženu vodou i výměšky žláz, které však neobsahují žádné enzymy, a proto se ve voleti přijaté krmivo netráví (Kodeš et al. 2003).

Dále putuje přijaté krmivo do žaludku. Drůbeží žaludek je tvořen žláznatým a svalnatým žaludkem. Jsou to dvě samostatné dutiny, kde dochází ke zcela odlišné specifické činnosti a obě



tyto části plní rozdílné úkoly (Kodeš et al. 2003). Skřivanová (2011) uvádí, že ve žláznatém žaludku (*proventriculus, pars glandularis*) je potrava chemicky natrávena a ve svalnatém žaludku (*ventriculus, pars muscularis*) mechanicky rozmělněna. Drtící činnost ve svalnatém žaludku je zvyšována přítomností drobných kamínků, které si volně žijící ptáci sbírají, a které pro drůbež chovanou v malochovu přidáváme (ve formě gritu) ke krmné dávce (Kodeš et al. 2003). Skřivanová (2011) tyto drobné oblázky a písek nazývá gastrolity. Jejich přítomnost ve svalnatém žaludku kompenzuje absenci zubů v dutině zobákové (Skřivanová 2011). Při přílišném obroušení se dle Verhoef (2005) drobné kamínky a písek samočinně vyloučí. Verhoef (2005) uvádí, že tzv. grit, jako jsou například rozemleté mušle nebo zvětralá omítka, je pro slepice důležitý, protože navíc dodává tělu i vápník, což potřebují obzvláště nosnice.

Ani ve svalnatém žaludku se trávenina dlouho nezdržuje, odchází do první části tenkého střeva (*intestinum tenue*), do dvanáctníku (*duodena*), kde teprve probíhá gastrické trávení pomocí trávicích žaludečních šťáv, vylučovaných ve žláznatém žaludku. Teprve v lačníku (*jejunum*) dochází k vlastnímu pankreatickému trávení (Kodeš et al. 2003). Poslední částí tenkého střeva je kyčelník (*ileum*). Lačník a kyčelník představují nejdelší úsek tenkého střeva.

Tlusté střevo (*intestinum crassum*) ptáků se skládá ze slepých střev a konečníku. Ptáci mají dvě slepá střeva (*cecum*), která odstupují v místě přechodu tenkého do tlustého střeva (Kodeš et al. 2003). Poměrně dlouhá a tlustá slepá střeva jsou osídlena komplexní mikrobiální populací, která přispívá k trávení potravy rostlinného původu. Trávicí soustava končí kloakou (*cloaca*), která je společným vyústěním trávicí trubice, párového močovodu a pohlavních orgánů. V trávicí soustavě dochází i k resorpci vody. Ptačí trus je kašovitý, pokrytý bílou vrstvou kyseliny močové, která vzniká resorpcí vody a zahuštěním moče, a která je u ptáků konečným produktem metabolismu dusíkatých látek (Skřivanová 2011).

Do trávicí soustavy řadíme i tzv. přídatné žlázy (slinivka břišní a játra). Slinivka břišní (*pancreas*) vytváří pankreatickou šťávu, která obsahuje podle Kodeše et al. (2003) velmi účinné enzymy, trávicí škrob (amyláza), tuky (lipáza) a bílkoviny (proteolytické enzymy), a která dle Skřivanové (2011) ústí vývodem slinivky břišní v oblasti dvanáctníku do tenkého střeva.

Játra (*iecur, hepar*) a žluč se nezastupitelně podílejí na trávení tuků (emulgace tuku, aktivace pankreatické amylázy a lipázy), navíc mají játra funkci detoxikační, depotní, krvetvornou a zásadně se podílejí na řadě regulačních mechanismů v organismu, zahrnující metabolismus cukrů, bílkovin, tuků a vitaminů (Skřivanová 2011). Žlučovody vedoucí žluč ze žlučníku (*vesica fellea*) ústí do tenkého střeva v oblasti dvanáctníku.

### 3.5 Základy výživy nosnic

Výživa drůbeže v tuzemských podmínkách dle Kodeše et al. (2003) směřuje jednoznačně k trendům platným v Evropské unii, které jsou charakteristické těmito rysy:

- bezpečnost potravin – ochrana zdraví lidí jako konzumentů,
- ochrana životního prostředí před biologickým znečištěním,
- welfare zvířat a jejich ochrana před škodlivými vlivy a týráním.

#### 3.5.1 Výživa slepic nosného typu

Nosný typ slepic se krmí výhradně směsmi o sypké konzistenci, protože je zájmem zajistit pravidelný a úměrný příjem živin bez překrmování, což umožňuje právě sypká směs.

Výživa slepic nosného typu zahrnuje dva stupně: krmení v odchovu a krmení ve snášce.

#### 3.5.2 Výživa slepic nosného typu v odchovu

Do odchovu jsou zařazovány pouze kuřičky. Období odchovu zahrnuje období od vylíhnutí po dosažení pohlavní dospělosti (snesení prvního vejce). Při odchovu kuřic není kladen důraz na dosažení maximálního přírůstku živé hmotnosti, ale na dosažení pohlavní dospělosti v odpovídajícím věku. Zároveň je žádoucí vytvoření většího tělesného rámce, který umožňuje optimální rozvoj všech orgánů potřebných pro produkci vajec (Skřivanová 2011). Tůmová et al. (2019) uvádějí, že cílem odchovu kuřic je získání odolné nosnice schopné dosáhnout vysoké užitkovosti, a že se jedná o období přípravy na budoucí snášku. Správné krmení je spolu se světelným režimem nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím věk dosažení pohlavní zralosti (Skřivanová 2011).

Odchov kuřic se provádí do 15. – 17. týdne věku. Požadovaná živá hmotnost při dosažení pohlavní dospělosti (17. – 18. týden) je 1,2 – 1,5 kg (Tůmová et al. 2019). Podle Skřivanové (2011) se optimální věk a hmotnost kuřic u jednotlivých hybridů může lišit, a je tedy třeba krmit dle odpovídajícího technologického postupu. Pro úspěšný chov je nutné respektovat požadavky nosnic na podmínky prostředí a výživu, a to s ohledem na konkrétní hybridní kombinaci.

Cílem výživy v období odchovu kuřic je dosažení pohlavní dospělosti v odpovídajícím věku. Věk snesení prvního vejce je nejvíce ovlivněn délkou světelného dne a intenzitou výživy.

Výživu slepic nosného typu v odchovu lze rozdělit do tří období s rozdílnou technikou krmení (Tůmová et al. 2019).

První období je období nejintenzivnějšího růstu. Záměrem je vytvoření velkého těla, rozhodující není hmotnost, ale tělesný rámec. Pro toto období je charakteristický růst zejména kostí a vysoká intenzita ukládání minerálních látek (Tůmová et al. 2019). Zejména během prvních týdnů života je dle Skřivanové (2011) třeba krmit s ohledem na skutečnost, že právě první týdny života představují období kritické pro růst kostí. Obvykle se do věku 3 týdnů krmí *ad libitum* (podle libosti, neomezeně) nejkvalitnější směsí bohatou na dusíkaté látky (bílkoviny) a od 4. do 9. týdne se dává krmivo o něco chudší na živiny (Tůmová et al. 2019). Kodeš et al. (2003) taktéž uvádějí, že krmná směs je v tomto období podávána adlibitně.

Druhé období trvá od 10. do 16. týdne věku a je charakterizováno vývinem organismu, zejména zvýšením kapacity a výkonnosti trávicího ústrojí. Toho je dosahováno především krmivem s větším obsahem balastu (Tůmová et al. 2019). Staněk et al. (1963) vysvětlují, že balast krmiva tvoří všechny látky, které odcházejí trusem, aniž by byly tělem zvířete využity. Jsou to nestrávené dusíkaté látky, glycidy (sacharidy), tuky, minerální látky a hlavně vláknina. U slepic tvoří podíl balastu až 1/4 přijatého krmiva (Staněk et al. 1963). Podle Tůmové et al. (2019) se v tomto období přechází na směs s nízkým obsahem dusíkatých látek a energie. Při tomto odchovu se podle Kodeše et al. (2003) sleduje růstová křivka kuřic. Podle zjištěných skutečností se buď zvýší, nebo sníží denní spotřeba krmiva (např. počtem krmení za den, světelným režimem apod.) (Kodeš et al. 2003).

Třetím obdobím je bezprostřední příprava na snášku (předsnáškové období), které nastává od 16. týdne věku kuřic. Je to období největšího růstu vaječníku a vejcovodu, z toho vyplývají i vysoké nároky na bílkoviny v krmivu, které jsou téměř stejné, jako bude pozdější potřeba pro produkci vajec. Proto se přechází na směs bohatou na dusíkaté látky, a rovněž se zvyšuje i obsah vápníku v krmné směsi na 2 – 2,5 %. Krmná směs se v tomto období zkrmuje adlibitně (Tůmová et al. 2019).

Během odchovu by měly mít kuřice dostatečný krmný a napájecí prostor a musí mít k dispozici dostatečné množství čerstvé pitné vody (Tůmová et al. 2019).

Tůmová et al. (2019) uvádějí, že měřítkem správného odchovu je jednotnost v době pohlavního dospívání (snesení 1. vejce) a rovněž uvádějí, že rozpětí věku při snesení prvního vejce obvykle bývá 6 – 10 týdnů.

Odchované kuřice se přemísťují do snáškových hal přibližně 10–15 dnů před snesením prvního vejce, to znamená ve věku 15 – 17 týdnů v závislosti na konkrétním užitkovém hybridu.

### 3.5.3 Výživa slepic nosného typu ve snášce

Cílem chovu slepic nosného typu je produkce konzumních vajec. V rámci chovu slepic nosného typu se dle Tůmové et al. (2019) nehledí pouze na užitkovost, ale i na kvalitu produktu – vejce. Odhaduje se, že ztráty při výrobě konzumních vajec způsobené špatnou kvalitou skořápky celosvětově dosahují 6 až 8 %. Tyto ztráty lze omezit především zkvalitněním výživy slepic, zejména optimalizací hladiny a poměru vápníku (Ca) a fosforu (P), výběrem vhodných zdrojů vápníku, velikostí částic vápence, řízením příjmu solí, ovlivňováním velikosti vajec věkem nosnic. Výživa hraje velkou roli i v úpravě složení vaječného obsahu, a tedy i jeho kvality. Složením krmné směsi lze ovlivnit množství některých stopových prvků, zastoupení zdraví prospěšných nenasycených mastných kyselin a obsah vitaminů a karotenoidů, které působí mimo jiné i jako antioxidanty (Tůmová et al. 2019).

Zhruba v 17. týdnu jsou kuřice přemístěny do snáškových hal a klecí (Kodeš et al. 2003). Období od ustájení kuřic ve snáškové hale do vrcholu snášky je z hlediska výživy a následné produkce obdobím rozhodujícím (Tůmová et al. 2019). Kodeš et al. (2003) uvádějí, že snáška kuřic začíná asi v 19. týdnu jejich věku. Tůmová et al. (2019) uvádějí, že růst nároků na živiny při strmě stoupající snáškové křivce na začátku snášky je rychlejší než zvyšování příjmu krmiva. Proto se podle Tůmové et al. (2019) volí směs na živiny a energii co nejkonzentrovanejší, osvědčuje se i její tukování. Do věku 30 týdnů se doporučuje krmit *ad libitum*, poté je příjem krmiva usměrňován a jsou zkrmovány směsi sestavené na základě denního příjmu krmiva. Spotřeba krmné směsi s věkem nosnice roste z přibližně 95 g na kus a den ve 20 týdnech věku na 120 g okolo 40. týdne (Tůmová et al. 2019).

Na začátku snášky mají dle Tůmové et al. (2019) slepice vyšší požadavky na živiny (konkrétně na dusíkaté látky) a nižší požadavky na minerální látky (vápník), což se s přibývajícím věkem změní. Podle Tůmové et al. (2019) by bylo nejvhodnější během snášky použít více krmných směsí s klesajícím obsahem dusíkatých látek, aminokyselin a fosforu a s rostoucím obsahem vápníku. U nosnic pak nejčastěji podle Kodeše et al. (2003) hovoříme o fázové výživě, charakteristické využitím rozdílných směsí (od N0 po N3) v jednotlivých obdobích snášky. Tůmová et al. (2019) uvádějí, že při srovnání těchto směsí s těmi, které byly používány v odchovu, tak směs N1 obsahuje trojnásobný obsah vápníku oproti K1, K2 a KZK. V případě fosforu je podle Tůmové et al. (2019) třeba brát v úvahu při sestavování krmných směsí i poměr jednotlivých komponent. Co se týká aminokyselin, tak limitujícími aminokyselinami jsou zejména sирné aminokyseliny (cystein a methionin) a to z důvodu jejich potřeby pro růst peří (Tůmová et al. 2019).

N1 – směs pro období nejvyšší intenzity snášky s relativně nižším příjmem krmiva uvádějí Kodeš et al. (2003) jako nejkonzentrovanejší směs. N2 – směs pro období nástupu přirozeného a plynulého poklesu snáškové křivky je nosnicím podávána podle Kodeše et al. (2003), když slepice již přijímají více krmiva a o něco méně snášejí.

Obsah energie v krmivu má vztah k jeho spotřebě. Čím více je energie v krmivu obsaženo, tím menší je jeho spotřeba, a proto je nutné při vyšším obsahu energie v krmivu zvýšit i koncentraci ostatních živin. Potřeba energie se odvíjí od intenzity snášky a hmotnosti vajec (Tůmová et al. 2019).

Pro zajištění správné výživy ve snáškovém období musíme slepicím poskytnout dostatečný krmný prostor (Tůmová et al. 2019). Při krmení slepic nosného typu ve snášce se rovněž nesmí zapomenout na čerstvou pitnou vodu, které mají mít slepice dostatek, protože dle Tůmové et al. (2019) je spotřeba vody asi 2,5krát vyšší než spotřeba krmiva.

Pro dosažení optimálních parametrů užitkovosti daného druhu a kategorie drůbeže je nezbytné krmit vyváženou a kvalitní krmnou směsí, zdravotně a hygienicky nezávadnou, která plně podpoří možnosti konkrétního hybridu a umožní dosažení optimální užitkovosti, ale i zdraví (Skřivanová 2011). Směs musí být vyvážena nejen z hlediska obsahu základních neboli energetických živin, ale i její jednotlivé komponenty musí být zastoupeny v kvalitě a rovnováze vyžadované druhem drůbeže a jejím užitkovým typem. Také další živiny, které nejsou hlavním zdrojem energie a patří k biostimulátorům, např. vitaminy, značně ovlivňují užitkovost a zdravotní stav zvířat (Skřivanová 2011).

Slepicím nosného typu se zkrmuje kompletní krmná směs, která obsahuje 15 – 17 % dusíkatých látek a 11,3 – 12,0 MJ ME (megajoule metabolizovatelné energie). Důležitý je též obsah vápníku v krmné směsi, který má být 3,5 – 4 %. Literatura uvádí, že spotřeba krmiva na tvorbu jednoho vejce je v průměru 120 – 150 g.

Pro úspěšný chov je nutné respektovat požadavky nosnic na podmínky prostředí. Optimální teplota, která podle Stupky et al. (2013) ovlivňuje počet snesených vajec, jejich hmotnost a spotřebu krmiva je 20 – 22 °C. Ve vztahu k optimální teplotě je nutné vždy posuzovat i relativní vlhkost, která by se měla pohybovat v rozmezí 60 – 75 %. Minimální délka světelného dne pro nosnice je 14 hodin, maximální 17 hodin, při intenzitě světla v době snášky 5 – 10 lx (luxů) (Stupka et al. 2013).

Základem výživy drůbeže, stejně jako všech ostatních zvířat, jsou biologicky významné látky, nazývané živiny. Podle Stupky et al. (2013) se jedná zejména o jejich stravitelnou

a využitelnou část, které živočišný organismus potřebuje k pokrytí všech životních procesů. Stupka et al. (2013) uvádějí, že jejich realizace je z nutričního hlediska výslednicí záchovy, tedy živin potřebných pro základní metabolismus (trávení, vstřebávání, vyměšování, dýchání, termoregulaci, pohybovou aktivitu) a produkce, tedy užítkovosti, která je u slepic nosného typu charakterizována formou produkce vajec.

Nejdůležitější živinou, která úzce souvisí s problematikou této práce, je tuk.

### 3.5.4 Tuk ve výživě nosnic

Podle Kodeše et al. (2003) plní tuky v organismu řadu funkcí, jsou nejkoncentrovanějším zdrojem energie ze všech živin, nosičem vitaminů, provitaminů, esenciálních mastných kyselin a jejich prekurzorů, uplatňují se jako stavební, strukturální složky buněk a membrán.

Tuky a oleje (obecně lipidy) mají vysoký energetický obsah a lze je použít ke zvýšení energetického obsahu (energie) ve stravě, aby bylo možné uspokojit požadavek na energii u vysoce výkonných ptáků (Marounek et al. 2019). Tuky vyvolávají po určité době po požití pocit sytosti, který je vyvolán hydrolyzou na mastné kyseliny v tenkém střevě (Pánek et al. 2002). Pocity sytosti nastává až po delší době po požití a přetrvává po delší dobu. Zvíře obvykle přijímá jen takové množství směsi, aby uspokojilo svou potřebu energie (Zelenka et al. 2007). Tuk však podle Zelenky et al. (2007) zvyšuje chutnost krmiva, a tak snížení spotřeby u tukované směsi je vždy o něco menší, než odpovídá doplňkem tuku zvýšené energetické hodnotě.

Oxidací tuku v těle získává drůbež podle Kodeše et al. (2003) pohotový zdroj energie, mimo to část tuků se může přímo zabudovat do tělesného přírůstku, nebo jiného produktu drůbeže. Tuky jako nosiče lipofilních látek (např. vitaminů, pigmentů) zlepšují jejich transport a využití v těle. Při zpracování směsí rovněž minimalizují prašnost a ztráty živin, zlepšují homogenitu směsí, zlepšují jejich strukturu, barvu i chutnost (Kodeš et al. 2003).

Hlavní součástí tuků neboli lipidů jsou triacylglyceroly (triacylglyceridy), obsahující ve své molekule 3 stejné, 2 stejné a jednu odlišnou, nebo 3 odlišné mastné kyseliny (Pánek et al. 2002). Tuky obsahují přibližně 90 % mastných kyselin a 10 % glycerolu. Určitá část (asi 5 – 15 %) těchto mastných kyselin není vázána na glycerol a jsou označovány jako volné mastné kyseliny. Jejich obsah v tuku musí být limitovaný a rizikovost těchto složek tuku lze částečně omezit přidáním antioxidantů do krmných směsí (Kodeš et al. 2003).

Podle skupenství při pokojové teplotě se lipidy dle Marounka & Havlíka (2020) dělí na tuhé tuky a kapalné oleje. S rostoucí délkou řetězce roste bod tání tuků, s rostoucím počtem

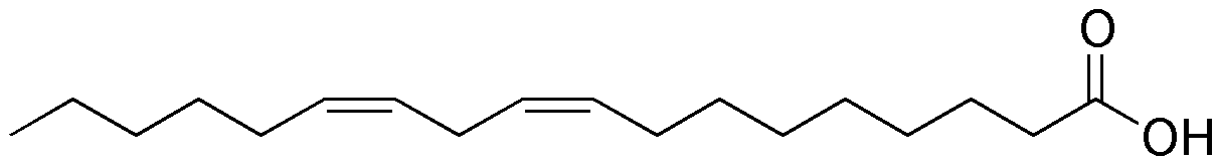
dvojných vazeb, resp. se stupněm nenasyčenosti mastných kyselin zase bod tání klesá a roste polarita (a tím i rozpustnost ve vodě, resp. krevní plazmě) (Marounek & Havlík 2020; Pánek et al. 2002). Na druhé straně ale roste jejich náchylnost k oxidačnímu žluknutí (Pánek et al. 2002).

Z hlediska výživy jsou nejdůležitější lipidy triacylglyceroly, estery glycerolu a mastných kyselin, z nichž nejvýznamnější jsou tyto mastné kyseliny: palmitová, stearová, olejová, linolová, linolenová, arachidonová, eikosapentaenová (EPA) a dokosahexaenová (DHA) (Marounek & Havlík 2020). Podle počtu dvojných vazeb, uvedených v závorce, se mastné kyseliny dělí na nasycené (SAFA, 0), monoenoové (mononenasyčené, MUFA, 1) a polyenoové (polynenasycené, PUFA, 2 – 6). Marounek & Havlík (2020) uvádějí, že polynenasycené mastné kyseliny mají první dvojnou vazbu ve směru od methylového ( $\omega$ ,  $-\text{CH}_3$ ) konce řetězce mastné kyseliny na 3. nebo 6. uhlíku a podle toho se dělí do dvou řad: n-3 a n-6. Mezi n-3 (omega-3) mastné kyseliny se řadí  $\alpha$ -linolenová kyselina, eikosapentaenová kyselina (EPA) a dokosahexaenová kyselina (DHA), jejichž prekursorem je linolenová kyselina. Do skupiny n-6 (omega-6) patří linolová kyselina,  $\gamma$ -linolenová kyselina a arachidonová kyselina, která se podle Pánka et al. (2002) může v organismu syntetizovat (přeměňovat) z linolové kyseliny.

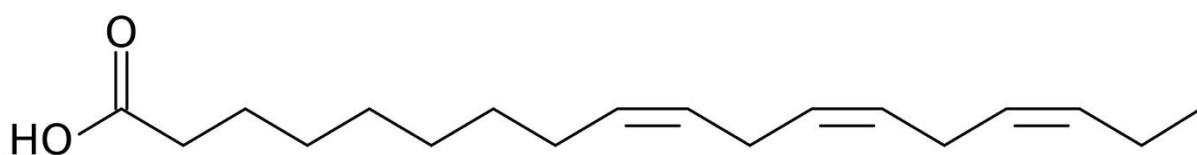
Obsah mastných kyselin v tucích ovlivňuje stravitelnost, nenasyčené mastné kyseliny jsou metabolizovány snadněji než nasycené (Skřivanová 2011), a to zvláště u nejmladších zvířat (Kodeš et al. 2003). Rostlinné oleje, obsahující více nenasyčených mastných kyselin, jsou využívány lépe než tuky živočišného původu (Kodeš et al. 2003). Kodeš et al. (2003) a Zelenka et al. (2007) uvádějí, že esenciálními živinami pro drůbež jsou linolová kyselina (viz Obrázek č. 1) a  $\alpha$ -linolenová kyselina (viz Obrázek č. 2), patřící do polynenasycených mastných kyselin (PUFA, PolyUnsaturated Fatty Acids). Největší množství esenciálních mastných kyselin (hlavně linolové kyseliny) se spotřebuje na tvorbu buněčných a intracelulárních membrán, včetně membrán pokožky (Pánek et al. 2002). Dále mají esenciální mastné kyseliny významnou úlohu při rozmnožování, při výstavbě nervových tkání a asi 1 % slouží k syntéze eikosanoidů, jako je např. arachidonová kyselina (viz Obrázek č. 3), prostaglandin nebo prostacyklin (Pánek et al. 2002). Tuky jsou tedy důležité nejen pro svou vysokou energetickou hodnotu, ale i pro obsah esenciálních mastných kyselin (Zelenka et al. 2007). Nenasyčené mastné kyseliny jsou náchylnější k oxidaci, což může ovlivnit i oxidační stabilitu (trvanlivost) živočišných produktů jako jsou například maso nebo vejce.

U nosnic lze podle Kodeše et al. (2003) dosáhnout dobré hmotnosti vajec již při obsahu linolové kyseliny v množství asi 10 g/kg krmiva. Vyšší doporučené obsahy bývají ekonomicky nákladné. Ve výživě drůbeže se používá rozmanitá škála tuků a olejů: palmové

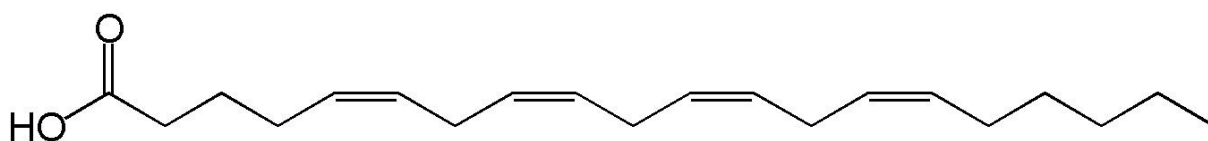
tuky a oleje, rostlinné oleje, vedlejší produkty tavení (sádlo, lůj), vedlejší produkty rafinace rostlinných olejů a regenerované oleje na smažení (Ravindran et al. 2016). Předpokladem efektivnosti použití tuků je jejich vysoká kvalita (Zelenka et al. 2007). Před žluknutím je potřeba tuky chránit antioxidanty (např. vit. E), které je vhodné zařadit do krmných směsí.



Obrázek č. 1: Chemická struktura: polynenasycená mastná linolová kyselina (esenciální)  
(Wikimedia Commons contributors)



Obrázek č. 2: Chemická struktura: polynenasycená mastná  $\alpha$ -linolenová kyselina (esenciální)  
(Wikimedia Commons contributors)



Obrázek č. 3: Chemická struktura: polynenasycená mastná arachidonová kyselina  
(Wikimedia Commons contributors)

Obecně jsou lipidy přírodní látky, mezi které patří tuky, oleje, vosky, vitaminy rozpustné v tucích neboli lipofilní vitaminy (A, D, E, K a F), hormony a další.

Vitamin F není klasický vitamin. Tímto termínem bývá označován tuk, přesněji esenciální tuk, který je tvořen esenciálními mastnými kyselinami jako je linolová kyselina, linolenová kyselina a arachidonová kyselina. Tyto kyseliny jsou esenciální proto, protože si je organismy zpravidla nedokážou vytvořit samy a musí je přijímat z potravy.

Lipidy se dělí na jednoduché lipidy (acylglyceroly, vosky), složené lipidy (sfingolipidy, glykolipidy, lipoproteiny a fosfolipidy) a odvozené lipidy. Odvozené lipidy jsou látky lipidické povahy, které svou strukturou ale nemohou být řazeny mezi ostatní lipidy, protože se jim pouze podobají. Do odvozených lipidů jsou řazeny steroidy (např. cholesterol), lipofilní vitaminy, prostaglandiny a nejdůležitější v přírodě se vyskytující barviva – karotenoidy.



## 3.6 Karotenoidy

„Sdružení barev a přijatelnost potravin je univerzální a vhodně zbarvené potraviny jsou vnímány se silnější intenzitou a kvalitnější vůní a chutí“ (Christensen 1983).

Z pohledu konzumentů je kvalita vajec velmi často hodnocena na základě barvy žloutku. To, jaký odstín žluté bude snesené vejce mít, závisí na množství, zdroji a polaritě karotenoidů obsažených v krmivu pro slepice (Englmaierová et al. 2019).

### 3.6.1 Obecná charakteristika, účast při fotosyntéze a chemická struktura

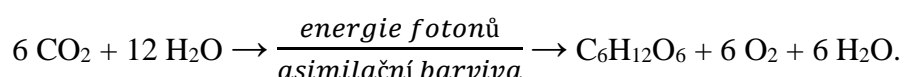
Karotenoidy, které jsou zodpovědné za zbarvení vaječného žloutku, představují jednu z nejrozšířenějších skupin přírodních pigmentů rozpustných v tucích. Jedná se o organické látky lipofilní povahy, odvozené lipidy, patřící do skupiny tetraterpenoidů. Tyto pigmenty jsou zodpovědné za žluté, žlutozelené, zelené, oranžové, červené a až červenofialové zbarvení.

Svůj název dostaly karotenoidy od hlavního zástupce skupiny karotenů, oranžového pigmentu  $\beta$ -karotenu, který byl poprvé izolován německým chemikem Wackenroderem v roce 1831 z mrkve karotky (*Daucus carota*) (Gross 1991).

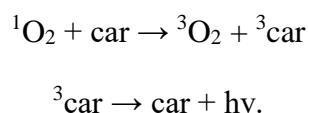
Karotenoidy jsou syntetizovány *de novo* (od počátku) všemi rostlinami a některými mikroorganismy (řasy, bakterie, houby), ale také se nacházejí v živočišné říši, kde se hromadí buď beze změny ve stravě nebo jsou metabolicky modifikovány (Goodwin 1984).

V rostlinách a protistech (řasy, prvoci, protisté podobní houbám apod.) fungují karotenoidy jako lapače vysoce aktivního singletového kyslíku ( $^1\text{O}_2$ ) produkovaného hlavně během fotosyntézy (Goodwin 1986). Fotosyntetická asimilace – fotosyntéza je biochemický proces, při kterém se mění přijatá energie světelného záření na energii chemických vazeb. K syntéze neboli přeměně jednoduchých minerálních látek ( $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{CO}_2$ ) na složitější organické látky využívají zelené rostliny (fotoautotrofové) energie fotonů viditelné části slunečního spektra, tj. fotonů vlnových délek 400 až 750 nm (Jelínek & Zicháček 2000). Tyto fotony dle Jelínka & Zicháčka (2000) zachycují barviva plastidů, jako jsou chlorofyly a, b, fykocyan a fykoerytrin, karoteny a xantofyly. Zachycením světla rostlinným barvivem začíná vlastní proces fotosyntézy. Molekuly asimilačních barviv (chlorofyly, karoteny, xantofyly) tvoří systémy (Jelínek & Zicháček 2000), které zachycují části dopadajícího světelného záření a převádí zachycenou světelnou energii z míst zachycení do reakčních center fotosystémů. Podle Jelínka & Zicháčka (2000) může z mnoha molekul určitého systému pohltit (absorbovat) dopadající foton jedině molekula chlorofylu a (reakční centrum). Energie fotonů, zachycených

asimilačními barvivy, je postupně předávána molekulám chlorofylu a, který se zachyceným fotonem excituje, tj. uvolní energeticky bohatý elektron (Jelínek & Zicháček 2000). Jeden z jeho elektronů se uvolní z jeho molekuly, je zachycen molekulou přenašeče (ten se redukuje), předá elektron dalšímu přenašeči (tím se oxiduje, zatímco tento následující přenašeč se redukuje) (Jelínek & Zicháček 2000). Přenos elektronů se tedy dle Jelínka & Zicháčka (2000) uskutečňuje řadou přenašečů – řadou redoxních reakcí, přičemž se uvolňuje energie, která se skladuje do chemických vazeb molekul ATP (adenosintrifosfát). Obecně pak fotosyntéza probíhá ve dvou fázích: světlé a tmavé, které lze souhrnně zapsat v rovnici fotosyntézy:



Karotenoidy jako asimilační barviva rostlin chrání fotosyntetický aparát při nadměrném světelném ozáření. Singletový kyslík ( $^1\text{O}_2$ ) je reaktivní forma kyslíku, která vzniká při chemických, biochemických a fotochemických reakcích, jako je například fotosyntéza. Goodwin (1986) vysvětluje, že při této reakci se generuje základní tripletový kyslík ( $^3\text{O}_2$ ) společně s tripletovým karotenem ( $^3\text{car}$ ), který rozptyluje svou energii do svého okolí a následně se vrací do svého základního stavu (car, viz rovnice níže). Poté je dle Bramley (1981) tripletový karoten připraven pokračovat v reakci cyklickým způsobem.



Podle Nys (2000) mají karotenoidy v rostlinách mnoho biochemických rolí, včetně důležité funkce sběru světla a fotoprotekce ve fotosyntéze a prevence fotodynamické senzibilizace chlorofylů. Fotoprotekce je obecně metoda, která využívá přírodních karotenoidů za účelem vytvoření ochrany před škodlivými účinky slunečního záření.

Reaktivní formy kyslíku včetně singletového kyslíku (reactive oxygen species – ROS) a reaktivní formy dusíku (reactive nitrogen species – RNS) jsou souhrnně nazývány jako volné radikály. Mezi neradikálové reaktivní formy kyslíku a dusíku patří např. peroxid vodíku ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Ve vyšších organismech jsou dle Jopp (2014) upřednostňovaným cílem reaktivních forem kyslíku, buněčné tuky, konkrétně nenasycené mastné kyseliny v membránových lipidech. U těch dochází nejprve, díky jejich nenasycenosti, ke žluknutí a poté k nalepení na stěny arterií, čímž vzniká kornatění tepen – ateroskleróza (Jopp 2014). Volné radikály se tak podílejí na vzniku srdečně-cévních onemocnění, Alzheimerovy nemoci, demence (Jopp 2014) a řady

dalších chronických onemocnění. Látky, které výrazně omezují aktivitu reaktivních forem kyslíku tvořených při fotochemických reakcích (singletový kyslík), snižují pravděpodobnost jejich vzniku nebo je převádí do nereaktivních stavů, jsou antioxidanty (Ginter 1998), mezi které řadíme i karotenoidy. Ochrana buněk a organismů před oxidačním zničením spočívá ve schopnosti karotenoidů zhaset volné radikály (především alkylperoxylové radikály v lipidech) (Gross 1991). Miller et al. (1996) uvedli, že schopnost karotenoidů zhaset volné radikály je ovlivněna přítomností polárních funkčních skupin (karbonylových a hydroxylových) stejně jako počtem konjugovaných dvojných vazeb.

Potravou přijímané karotenoidy jsou tedy látky s antioxidační aktivitou bez nebo s provitaminovou aktivitou, které mají široké uplatnění ve výživě drůbeže.

Karotenoidy se skládají z izoprenových jednotek spojených za vzniku konjugovaného systému dvojných vazeb, uhlíkového skeletu s 40 uhlíkovými atomy, od kterého jsou odvozeny všechny jednotlivé varianty (Borenstein & Bunnell 1966, Britton 1959). Podle Nys (2000) typicky obsahují osm izoprenoidních jednotek navázaných tak, že jednotky jsou obráceně ve středu molekuly. Obecně tak sestávají z nenasyceného řetězce o 22 atomech uhlíku s methylovým větvením. Marounek & Havlík (2020) uvádějí, že karotenoidy mají velké množství dvojných vazeb a díky skeletu sestávajícího z mnoha jednotek izoprenů se vyskytují v celé řadě *poly-*, *cis-* a *trans-* izomerů. V přírodě však převažují karotenoidy s „*all-trans*“ konfigurací (Marounek & Havlík 2020) kvůli nižší stabilitě formy *cis-* (Nys 2000). Konfigurace „*all-trans*“ znamená, že všechny dvojně vazby mají konfiguraci *trans*. Chemická struktura každého karotenoidu určuje jeho výslednou barvu, ale i fotochemické vlastnosti jeho molekuly.

Olson & Krinsky (1995) ve své literatuře uvedli, že izolováno a identifikováno už bylo více než 600 přirozeně se vyskytujících karotenoidů, ale že celkový počet v důsledku přítomnosti konjugovaných dvojných vazeb, které mohou tvořit četné izomery, přesahuje 200 000. Současná literatura uvádí okolo 600 až 800 známých přirozeně se vyskytujících karotenoidů s výrazným antioxidačním potenciálem.

### 3.6.2 Karoteny a xantofyly a jejich efektivita ukládání

Karotenoidy se dělí na dvě základní skupiny:

- uhlovodíky – karoteny
- oxidované molekuly s alespoň jednou hydroxy nebo epoxy skupinou – xantofyly

(Marounek & Havlík 2020).

Mezi uhlovodíky karoteny, zodpovědné za oranžovo-červené zbarvení, se řadí  $\alpha$ -karoten,  $\beta$ -karoten,  $\gamma$ -karoten,  $\delta$ -karoten, lykopen a další. Karoteny jsou významné provitaminy (prekurzory) retinolu, vitamínu A. Z celkového množství karotenoidů vykazuje pouze 10 % aktivitu vitamínu A a tyto se nazývají retinoidy (Gross 1991). Obecně jsou retinoidy skupinou derivátů vitamínu A, který má významné antioxidační vlastnosti včetně funkce zhášení singletového kyslíku. Nejdůležitějším provitaminem je  $\beta$ -karoten. Z jedné molekuly  $\beta$ -karotenu vznikají dvě molekuly vitamínu A (Stenesh 1989). Harrison (2005) uvedl, že na vznik 1 mg vitamínu A je třeba 12 mg  $\beta$ -karotenu nebo dvojnásobek  $\alpha$ -karotenu a  $\gamma$ -karotenu.

Xantofyly neboli oxykarotenoidy, odvozené od karotenů, které se z velké části používají ve výživě drůbeže, odpovídají skupině obsahující jednu nebo více kyslíkových skupin (Nys 2000). V přírodě jsou velmi rozšířené, včetně forem hydroxy (R-OH), methoxy (R-CH<sub>3</sub>), glykosyloxy a karboxy (R-COOH) derivátů, které mohou být navíc ještě esterifikovány (Nys 2000). Xantofyly způsobující zbarvení od žluté až po červenofialovou barvu jsou rozšířenější. Mezi všeobecné zástupce z přírodních i syntetických karotenoidů patří astaxantin, citranaxantin, kantaxantin, kapsantin, kapsorubin, kryptoxantin, lutein, ethylester kyseliny  $\beta$ -apo-8' karotenové, zeaxantin a další.

Xantofyly, včetně luteinu, jsou podle Chung et al. (2004) právě díky hydroxylové skupině výrazně polární, resp. hydrofilnější (ve vodě rozpustné) než hydrofobní (ve vodě nerozpustné) karoteny. Kvůli této hydrofilní vlastnosti se předpokládá, že podstatná část volného luteinu bude umístěna na povrchu kapiček lipidů ve formě emulze (Chung et al. 2004). Například ve vztahu k  $\beta$ -karotenu je xantofyl lutein snadněji absorbován (van het Hof et al. 1999). Xantofyly jsou podle Zelenky et al. (2007) nestabilní, snadno podléhají oxidaci a jejich ztráty během skladování krmiv lze omezit přidávkou antioxidantů (například vit. E).

Jak již bylo zmíněno, Englmaierová et al. (2019) uvádějí, že ukládání karotenoidů z krmiva do žloutků je velmi variabilní a odvíjí se také od jejich polarity. Efektivita ukládání neboli účinnost pigmentace daného zdroje závisí dle Nys (2000) na absorpci, transportu, vylučování, rychlosti depozice v různých tkáních a přeměně karotenoidů, která se liší do značné míry zdroji karotenoidů.

Nižší efektivita ukládání je podle Englmaierové et al. (2019) u nepolárních karotenů, což jsou uhlovodíky. Z karotenů lze uvést jako příklad  $\beta$ -karoten, u něhož byla dle Englmaierové et al. (2019) zaznamenána efektivita ukládání pouze 0,5 %. Naopak u xantofylů, které obsahují alespoň jeden atom kyslíku, je efektivita mnohem vyšší (Englmaierová et al. 2019). U slepic se depozice ve žloutku, měřená radioaktivními karotenoidy, pohybuje od 14 %

pro astaxantin, přes 25 % pro lutein a zeaxantin, až do 30 – 40 % pro kantaxantin (Hencken 1992). Depozice xantofylů je u slepic rychlá (48 hodin po požití), ale pro získání jednotné barvy celého žloutku je zapotřebí období asi 10 dnů (Marusich & Bauernfeind 1981).

### 3.6.3 Výskyt, absorpce, skladování a metabolismus karotenoidů u drůbeže

Marounek & Havlík (2020) uvádějí, že tyto široce rozšířené pigmenty jsou zodpovědné za svítivě červenou, oranžovou nebo žlutou barvu v ovoci a zelenině, a že rovněž sehrávají roli i u hmyzu, korýšů nebo ptáků.

Více než 90 % rostlinných karotenoidů je obsaženo v buňkách listů, obvykle jako směs 20 – 40 % karotenů (více než 70 % z nich tvoří  $\beta$ -karoten) a 60 – 80 % jejich oxidačních produktů (Vodrážka 1996). Organismy, které nejsou schopny fotosyntézy přijímají karotenoidy potravou (Englmaierová et al. 2019). Podle Marounka & Havlíka (2020) živočichové karotenoidy netvoří, nýbrž je ukládají ve svých tělech z přijaté rostlinné potravy. U živočichů jsou karotenoidy přítomné hlavně v povrchových tkáních (kůže, krovky, šupiny, peří, zobák), ale též ve žloutku ptačích vajec a jako zrakové pigmenty (Vodrážka 1996).

Karotenoid  $\beta$ -karoten nepřispívá u drůbeže k pigmentaci (Goodwin 1986), protože ptáci hromadí hlavně oxykarotenoidy – xantofyly (Nys 2000). Hlavním místem ukládání karotenoidů u drůbeže je podle Englmaierové et al. (2019) tuková tkáň, žloutek, kůže a běháky. Účinek pigmentace je závislý na stravitelnosti, přenosu, metabolismu a ukládání karotenoidů v cílové tkáni a na jejich barevném odstínu. Ukládání karotenoidů z krmiva do žloutků je velmi variabilní a odvíjí se také od jejich polarity (Englmaierová et al. 2019).

Goodwin (1986) ve své literatuře uvedl, že v pokusech, kde byla zkrmována krmná směs bohatá na karotenoidy zeaxantin a astaxantin, se tyto objevily v krvi, svalech, játrech, tuku, kůži a peří mladé drůbeže. Zásoby těchto karotenoidů ve svalech a kůži se podle Goodwin (1986) přenáší do vaječnicků až s nástupem pohlavní dospělosti zvířat. Směs konvenčních karotenoidů, včetně luteinu, zeaxantinu a astaxantinu se dle Goodwin (1984) vyskytovala i v barevných kapičkách oleje kužele ptačích sítnic.

Schiedt et al. (1985) uvádějí, že u nosnic se 50 % celkového tělesného karotenoidu zeaxantinu lokalizuje ve vaječnicích a 20 % je vylučováno ve vaječném žloutku.

Bartov & Bornstein (1967) uvádějí, že slepice mají schopnost transportovat 20 – 60 % pigmentů ze své stravy do vaječných žloutků.

### 3.7 Zdroje karotenoidů

Barviva neboli pigmenty, mezi které patří i zmiňované karotenoidy, jsou řazena mezi doplňkové látky (aditiva), jejichž použití do krmiv pro zvířata v současné době v České republice závazně podléhá Zákonu o krmivech č. 91/1996 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

Karotenoidy jsou využívány k barvení vaječného žloutku, kůže jatečně upravených kuřat, zvyšují oxidační stabilitu výsledných produktů chovu drůbeže a jsou prospěšné pro lidské zdraví. Ve výživě drůbeže mají karotenoidy dobré uplatnění.

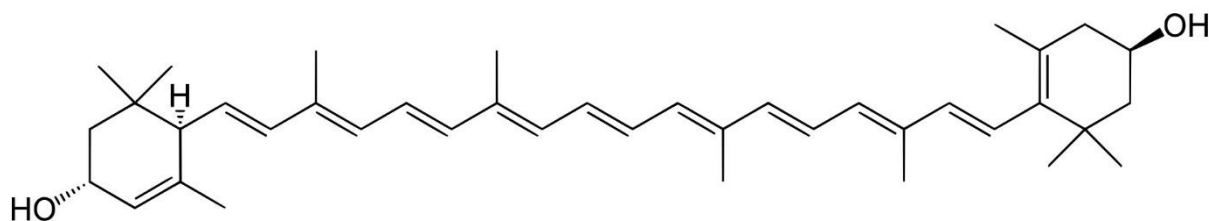
Podle původu dělíme karotenoidy na přírodní a syntetické.

#### 3.7.1 Přírodní karotenoidy

Mezi nejčastěji se objevující pigmenty přírodního původu ve výživě drůbeže patří karotenoidy lutein a zeaxantin (viz Obrázek č. 4 a Obrázek č. 5).

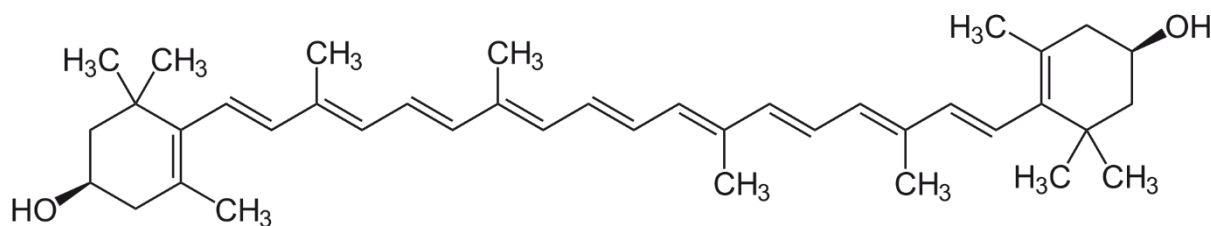
Dle Nys (2000) tyto xantofyly z rostlinných zdrojů, které obsahují kyslíkovou skupinu, účinně přispívají k zabarvení vaječného žloutku. Karotenoidy patřící do skupiny xantofylů způsobují zbarvení především od žluté až po červenofialovou barvu.

Žlutý karotenoid lutein se jako potravinářské barvivo s označením E161b získává extrakcí za pomoci rozpouštědel z ovoce, zeleniny a rostlin. Karotenoid zeaxantin s označením E161h se jako přírodní barvivo v potravinářství v Evropské unii nepoužívá.



Obrázek č. 4: Chemická struktura: karotenoid lutein (xantofyl)

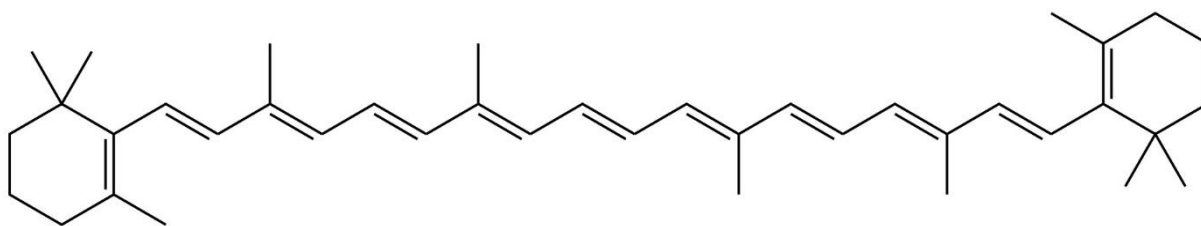
(Wikimedia Commons contributors)



Obrázek č. 5: Chemická struktura: karotenoid zeaxantin (xantofyl)

(Wikimedia Commons contributors)

Dalšími přírodními karotenoidy, se kterými se můžeme ve výživě drůbeže setkat jsou například astaxantin (E161j),  $\beta$ -karoten (E160a, viz Obrázek č. 6),  $\beta$ -kryptoxantin (E161c), kantaxantin, kapsantin, kapsorubin, violaxantin, zeinoxantin a další.



Obrázek č. 6: Chemická struktura: karotenoid  $\beta$ -karoten (karoten)  
(Wikimedia Commons contributors)

Zdroji karotenoidů pro drůbež jsou podle Englmaierová et al. (2019) jednotlivé komponenty krmných směsí. Variantou, jak obarvit vaječný žloutek, je podle Englmaierové et al. (2019) použití některého z přírodních zdrojů karotenoidů. Těmi mohou být například řasa *Chlorella*, aksamitník – afrikán, pastevní porost, byliny, tolice vojtěška, kopřiva dvoudomá, mrkev, nebo červená paprika či rajče. Využívaná je i kukuřice a její moučka, moučka z bobulí rakytníku řešetlákového nebo hořčičné semínko (v současné době není tak často využíváno).

### 3.7.1.1 Řasa *Chlorella vulgaris*

Autotrofní řasa *Chlorella vulgaris*, z řeckého slova „*chloros*“ = zelený a latinské přípony „*ella*“ = malá, obsahuje podle Skřivanové et al. (2017) vysokou koncentraci luteinu a zeaxantinu. Z této mikrořasy nebo i z jednobuněčných hub kvasinek lze podle Nys (2000) extrahovat přírodní červené zdroje karotenoidů a mezi nimi například i astaxantin. Astaxantin je široce rozšířen v živočišné říši, zejména u korýšů, ryb a hmyzu, ale také v některých řasách (Nys 2000), jako je právě zmiňovaná *Chlorella*. Mikrořasa *Chlorella vulgaris*, která obsahuje 360 mg/kg kantaxantinu a 550 mg/kg astaxantinu, výrazně zvyšuje zabarvení žloutku, pokud je začleněna do stravy nosnic (Gouveia et al. 1996). Ve studii od Englmaierové et al. (2013) je uvedeno, že *Chlorella* sušená metodou rozprašování je vhodným zdrojem karotenoidů, který čtyřnásobně zvyšuje koncentraci luteinu a zeaxantinu ve žloutcích a zvyšuje oxidační stabilitu žloutkových lipidů, čímž prodlužuje minimální trvanlivost výsledného produktu (vejce).

Jako dietní doplněk výživy drůbeže je díky vysokému obsahu karotenoidního barviva astaxantinu používána také kvasinka *Phaffia rhodozyma*. Pokud jsou hydrolyzované buňky této kvasinky přidány ke krmivu, astaxantin je snadno absorbován ve střevech a mění barvu vaječného žloutku nebo masa drůbeže (Wikipedia contributors 2020).

### 3.7.1.2 Aksamitník vzpřímený, afrikán, mexický měsíček (*Tagetes erecta*)

Žlutá přírodní barviva (zejména lutein a méně i zeaxantin) jsou podle Kodeše et al. (2003) získávána z aksamitníku vzpřímeného, afrikánu (*Tagetes erecta*), jehož původ je na jihozápadě USA, v Mexiku a na jihu Jižní Ameriky. Tato bylina z čeledi hvězdnicovité (*Asteraceae*) se v literatuře objevuje také pod názvem lékařský nebo mexický měsíček (mexican marigold).

Měsíček se komerčně pěstuje a dehydratované okvětní lístky nebo extrakt z měsíčku se používá k barvení žloutků (Nys 2000). Efektivním a finančně nenáročným zdrojem přírodních karotenoidů je v krmných směsích pro slepice podle Englmaierové et al. (2019) právě extrakt z květů afrikánu (marigold flower extract, MFE) ve formě Avizant<sup>®</sup> Yellow 20 HS. Aksamitník vzpřímený, afrikán, se pro dané účely pěstuje v zemích jako je Mexiko, Peru, Ekvádor, Indie, Čína nebo z evropských zemí Španělsko.

Efekt z afrikánu se nevyrovná v intenzitě zbarvení žloutku syntetickým karotenoidům, předčí je však v obohacení žloutku luteinem a zeaxantinem (Englmaierová et al. 2019). Extrakt z květů měsíčku ve stravě slepic nezpůsobuje zhoršení kvality vajec, ale zvyšuje tmavost barvy žloutku a obsah karotenoidů ve žloutku (Skřivan et al. 2016).

Extrakt přidaný do krmiva pro slepice v množství 350 mg/kg zajistí zbarvení vaječného žloutku na úrovni stupně 8 až 9 dle stupnice La Roche, což je pro konzumní vejce naprosto postačující hodnota (Englmaierová et al. 2019). Na stupnici Hoffman-La Roche (15 stupňová škála od jedničky do patnácti, ve formě vějíře) se hodnotí barva žloutku od světle žluté po oranžovou. Dávka 350 mg/kg zvýší obsah luteinu ve žloutku o 230 % a zeaxantinu o 250 % (Englmaierová et al. 2019). Englmaierová et al. (2019) uvádějí, že mimoto přídavek extraktu z afrikánu výrazně zlepšuje oxidační stabilitu lipidů žloutků. Podle Englmaierové et al. (2019) je dávkování extraktu účinné do množství 550 mg/kg, poté již nedochází k tak výraznému zvyšování koncentrace karotenoidů ve žloutku a jeho barvy.

Skřivan et al. (2016) uvádějí, že extrakt z květů afrikánu je vhodnou alternativou ke komerčním syntetickým karotenoidům, ale aby nedošlo ke snížení výkonu nosnic, jsou vhodné nižší dávky (150 mg/kg extraktu z květů afrikánu, MFE, ve stravě).

### 3.7.1.3 Pastevní porost, tráva a byliny

Bohatým zdrojem přírodních karotenoidů je čerstvá zelená píce neboli pastva, pastevní porost, která dobře zbarvuje vaječné žloutky. Pastevní porost zahrnuje podle Englmaierové et al. (2019) traviny, jeteloviny a různé byliny. Použití objemného krmiva, jako jsou trávy



a byliny v případě organického chovu slepic, svým obsahem ovlivňuje kvalitu organických vajec a jejich komponent (Hammershøj & Johansen 2016).

Různé byliny ve směsi trav se liší obsahem mastných kyselin, karotenoidů a aromatických sloučenin, což má za následek vejce s různým složením mastných kyselin, barvou vaječného žloutku a smyslovými vlastnostmi (Hammershøj & Johansen 2016). Použití specifických bylin v travní směsi může podle Hammershøj & Johansen (2016) rozlišovat organická vejce jako vysoce kvalitní. Hammershøj & Johansen (2016) uvádějí jako jeden z nejučinnějších zdrojů pro dodání pigmentových sloučenin do vaječného žloutku travní pastvinu, která bývá v organických chovech součástí venkovního prostoru slepic.

Podle Guil-Guerrero et al. (2003) je dobře zdokumentováno, že tráva a jiné rostlinné materiály obsahují xantofyly, které při zkrmování nosnicím ovlivňují barvu vaječného žloutku. Tráva obsahuje lutein, zeaxantin a  $\beta$ -karoten v množství, které jsou podle Skřivana & Englmaierové (2014) pro lutein a  $\beta$ -karoten srovnatelné s vojtěškovou silází. Ve studii od Skřivana & Englmaierové (2014) bylo zjištěno, že lyofilizovaná mladá tráva obsahuje 128 mg/kg DM (dry matter, sušiny) luteinu, 115 mg/kg DM zeaxantinu, 79 mg/kg DM  $\beta$ -karotenu a 75 mg/kg DM  $\alpha$ -tokoferolu (vitamin E). V případě tohoto zdroje ale musíme mít na paměti, že se kvalita pastevního porostu a s tím i obsah karotenoidů během roku mění (Englmaierová et al. 2019). Englmaierová et al. (2019) dodává, že navíc ke konci vegetačního období se zvyšuje obsah vlákniny, který má negativní vliv na využití živin. Množství karotenoidů v zelené píce je podle Englmaierové et al. (2019) ovlivněno i botanickou strukturou pastevního porostu.

Vejce slepic, které mají přístup do pastevního výběhu, vykazují významně vyšší hodnoty koncentrací luteinu, zeaxantinu a  $\beta$ -karotenu ve srovnání s vejci slepic, které byly chovány ve venkovním výběhu bez vegetace (Englmaierová et al. 2019). Nosnice, které mají přístup k travě, mají ve vejcích vysoký obsah polynenasycených mastných kyselin (PUFA) a  $\alpha$ -tokoferolu (Lopez et al. 1998). Mugnai et al. (2014) zjistili, že přístup slepice na 10 m<sup>2</sup> pastvy má v jarním období největší vliv na obsah žloutkových mastných kyselin ve srovnání s jinými obdobími (léto, podzim, zima) a se slepicemi bez přístupu na pastvu. Englmaierová et al. (2019) uvádějí, že díky vysokému obsahu karotenoidů pastva slepic dobře zbarvuje vaječné žloutky a společně s obsahem  $\alpha$ -tokoferolu zvyšuje dle Skřivana & Englmaierové (2014) oxidační stabilitu vaječných žloutků.  $\alpha$ -tokoferol a karotenoidy přítomné v pastvě obvykle snižují náchylnost polynenasycených mastných kyselin k oxidaci (Skřivan & Englmaierová 2014). A tak podle Englmaierové et al. (2019) antioxidační aktivita karotenoidů a dalších látek přítomných v pastevním porostu prodlužuje dobu, po kterou mohou být vejce použita.

Řady druhů bylin a trav ovlivňuje kvalitu živočišných produktů, tj. masa a vajec zvířat, která se pasou na rostlinách buď na pastvě, nebo jim jsou rostliny dodávány v krmném materiálu. Složení mastných kyselin, barva vaječného žloutku a také sensorické vlastnosti jsou ovlivněny příjmem a složením trav a bylin. Pastva nebo zkrmování trav v krmném materiálu jako zdroj n-3 mastných kyselin je vhodné pro příznivé složení mastných kyselin ve vaječném žloutku (Hammershøj & Johansen 2016).

Hammershøj & Johansen (2016) uvádějí, že na světě se ve směsích trav a bylin objevují a někdy také ke krmení hospodářských zvířat, včetně drůbeže, používají i jetel luční červený (*Trifolium pratense*), jetel plazivý bílý (*Trifolium repens*), čekanka obecná (*Cichorium intybus*), kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*), konopí seté (*Cannabis sativa*), štírovník růžkatý (*Lotus corniculatus*), bazalka pravá (*Ocimum basilicum*), tymián obecný (*Thymus vulgaris*), dříve používaný vičenec ligrus (*Onobrychis viciifolia*), který byl v současnosti nahrazen tolici vojteškou (*Medicago sativa*) nebo výše popsáný mexický měsíček (*Tagetes erecta*).

#### **3.7.1.4 Kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*)**

Alternativou díky svým zvláštním vlastnostem v barvení vaječného žloutku může být známá stará léčivá bylina kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*) z čeledi kopřivovité (*Urticaceae*), jejíž suplementace v experimentu od Loetscher et al. (2013) vedla k významně zvýšenému žloutnutí kůží brojlerů.

Kopřiva je zajímavou bylinou hned z několika hledisek. Dle Hammershøj & Johansen (2016) snadno roste uvnitř mírného podnebí, má vysoký obsah kyseliny linolové v listech a může zvyšovat žlutost barvy vaječného žloutku. V České republice je kopřiva dvoudomá nejznámější a nejrozšířenější zástupce rodu kopřiva (*Urtica*). Dominantní mastnou kyselinou v listech kopřivy je kyselina linolenová (29,6 – 40,7 %), následována kyselinou palmitovou (17,9 – 20,1 %) a kyselinou linolovou (11,6 – 18,1 %) (Guil-Guerrero et al. 2003).

Protože mexický měsíček je původem z tropů, kopřiva by byla zajímavou alternativou jako přírodní barvivo, které by bylo možné místně pěstovat v mírném podnebí (Loetscher et al. 2013). Loetscher et al. (2013) taktéž uvádějí, že při současných cenách by to bylo ekonomicky proveditelné, ale pouze v případě, že by se kopřiva ukázala jako stejně účinné barvivo.

Kopřiva dvoudomá je dle Guil-Guerrero et al. (2003) skutečně bohatým zdrojem žlutě zbarvených xantofylů jako je lutein a jeho izomery. Experimentálně bylo zjištěno, že kopřiva je bohatá na karotenoidy, přičemž převládající sloučeninou je lutein (366 – 525 mg/kg), následovaný  $\beta$ -karotenem (100 – 111 mg/kg) a zeaxantinem (23 – 60 mg/kg), z nichž

jsou vysoce aktivními barvivy žloutku právě lutein a zeaxantin (Loetscher et al. 2013). Lutein a zeaxantin jsou převládajícími xantofyly v listnatých rostlinách, jako je kopřiva, ale jejich vysoký podíl je i v kukuřici, vojtěšce a lístcích měsíčku (Karunajeewa et al. 1984). Obsah karotenoidů v kopřivě se podle Hammershøj & Johansen (2016) podobá hladině karotenoidů v trávě nebo vojtěšce. Guil-Guerrero et al. (2003) uvádějí, že obsah karotenoidů v listech kopřivy se zvyšuje s vyšším věkem rostlin.

Kopřiva dvoudomá často roste na slepičím dvoře, protože je ukazatelem půdy bohaté na dusík (Hammershøj & Johansen 2016). Slepice se však čerstvým rostlinám vyhýbají kvůli bodavému a pálivému účinku žahavých chlupů – trichomů, jimiž je celá rostlina pokryta. Hammershøj & Johansen (2016) uvádějí, že po sklizni a několika hodinách sušení rostliny se bodavý a pálivý účinek žahavých chlupů – trichomů zcela úplně ztratí.

Sušené a mleté celé rostliny kopřivy zahrnuté do krmiva na úrovních 6,25 – 25 g/kg pro nosnice vedou ke zvýšení barvy vaječného žloutku. Těmto úrovním odpovídá zvýšení barevného skóre žloutku RYCF od 2, kdy ve stravě nejsou zahrnuty žádné kopřivy až do skóre RYCF 6, při zahrnutí 25 g kopřivy / kg krmiva (Loetscher et al. 2013). Loetscher et al. (2013) uvedli, že experimentální přídavek kopřivy neměl v pokusu žádný vliv na výkon a obecnou kvalitu vajec. Kopřivu lze tedy považovat za vhodnou přírodní alternativu žluté barvy pro nasycení vaječného žloutku. Přídavek kopřivy i na nejnižší úrovni v množství 6,25 g/kg byl dostatečně účinný, aby odpovídal syntetickému obsahu doplňování pigmentu v doporučených úrovních (Loetscher et al. 2013). Loetscher et al. (2013) v závěru svého experimentu uvedli, že samotné doplňování kopřivy bylo vždy horší v porovnání se syntetickou pigmentací, pokud se jednalo o barevné skóre žloutku (RYCF), ale stále lepší než u vajec od slepic přijímajících dietu bez kopřiv. Suplementace kopřivy totiž nepřináší významné množství červených pigmentů (Loetscher et al. 2013).

Navzdory tomu, že kopřiva obsahuje různé antioxidační složky, jako jsou tokoferoly, kyselina ferulová, fenolová, flavonoidy (Proestos et al. 2006) a karotenoidy, nedochází při jejím zkrmování k přenosu těchto látek do složek vaječného žloutku v množství, které by dostatečně prokázalo jasnou antioxidační vlastnost.

Zejména v regionech, kde chybí přírodní zdroje karotenoidů, jako je například měsíček, může být kopřiva dvoudomá dle Loetscher et al. (2013) regionální a nákladově efektivní alternativou. Před mícháním stravy je však podle Loetscher et al. (2013) doporučeno provést u kopřivy analýzu obsahu přítomných karotenoidů.

### 3.7.1.5 Tolice vojtěška (*Medicago sativa*)

Dobrym zdrojem n-3 mastných kyselin, vitaminů, karotenoidů a minerálů, který se odráží v mase a ve vejcích drůbeže, je vojtěška (*Medicago sativa*, *alfalfa*) (Grela et al. 2014). Dle Hammershøj & Johansen (2016) je dobrým zdrojem zejména kyseliny linolové. Pícnina tolíce vojtěška je modrofialově až fialově kvetoucí rostlina z čeledi bobovité (*Fabaceae*).

Převládajícím xantofylem ve vojtěšce je podle Nys (2000) lutein (45 – 75 %). V nízkých koncentracích jsou zde přítomny i karotenoidy zeaxantin (4 – 6 %) a kryptoxantin (1 – 7 %), ale i neoxantin, který se často nachází v zelené listové zelenině nebo violaxantin (E161e) oranžové barvy (Nys 2000). Marusich & Bauernfeind (1981) uvádějí, že koncentrace celkových xantofylů je velmi proměnlivá v závislosti na vyspělosti rostliny, pořadí sklizně, procesu dehydratace a podmínkách skladování. Hammershøj & Johansen (2016) uvádějí, že obsah karotenoidů se ve vojtěšce zvyšuje se zvyšujícím se obsahem bílkovin a jejich obsahem v listech, který je obvykle větší než ve stonku.

Karadas et al. (2007) uvádějí, že vojtěška, jako přírodní zdroj karotenoidů, zvyšuje koncentraci luteinu, zeaxantinu a  $\beta$ -karotenu ve vaječných žlutcích. Podle Ponte et al. (2004) vojtěška obsahuje také velké množství saponinů (2 – 3 % sušiny), u nichž bylo prokázáno, že mají hypocholesterolemické, antikarcinogenní, protizánětlivé a antioxidační účinky.

Vojtěška je dle Jiang et al. (2012) komerčně dostupné krmivo, které je bohaté na bílkoviny (17,5 %) s vyváženým profilem aminokyselin, ale s vysokým obsahem vlákniny (24,1 %) a relativně nízkou hodnotou metabolizovatelné energie (5024 kJ/kg). V současné době se vojtěška zkrmuje zvířatům ve formě sušené nebo jako siláž. Vojtěšková siláž se široce používá jako krmivo pro dobytek, ale dle Hammershøj & Steinfeldt (2015) se může zkrmovat i nosnicím v organickém chovu. Obsah luteinu je ve vojtěškové siláži srovnatelný jako v trávě a 2 až 15krát vyšší než u kukuřičné siláže (Hammershøj & Steinfeldt 2015). Englmaierová et al. (2019) uvádějí, že vzhledem k vysokému obsahu vlákniny a nízkému obsahu energie se při krmení drůbeže používá dehydratovaná vojtěška.

Englmaierová et al. (2019) uvádějí, že z proběhlých studií vyplývá, že vyšší obsah antioxidantů karotenoidů ve žlutcích ošetřených dehydratovanou vojtěškou ve stravě snižuje náchylnost těchto žlutků k oxidaci. Vyšší hodnota retinolu ve vaječných žlutcích slepic krmených stravou s dehydratovanou vojtěškou je způsobena skutečností, že dehydratovaná vojtěška je zdrojem  $\beta$ -karotenu, který je prekurzorem retinolu (Englmaierová et al. 2019).

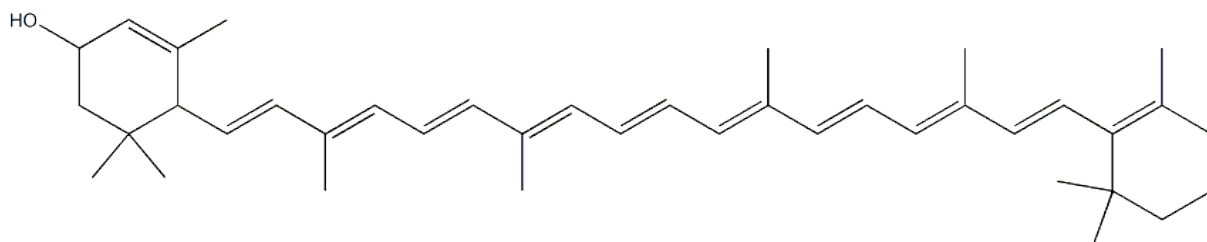
Dehydratovaná vojtěška v množství 40 g/kg přidaná do krmné dávky slepic, je dle Englmaierové et al. (2019) dobrým zdrojem karotenoidů, které se ukládají ve žloutcích.

Vojtěška má velice dobrý pigmentační účinek na vaječný žloutek a podle Leeson & Caston (2004) je její použití srovnatelné s moukou z kukuřičného lepku, která se často používá ve standardním ekologickém krmivu pro poskytnutí žlutkových pigmentů.

### 3.7.1.6 Kukuřice setá (*Zea mays*)

Kukuřice setá (*Zea mays*) je jednoděložná rostlina z čeledi lipnicovité (*Poaceae*).

Koncentrace karotenoidů a konkrétně xantofylů v kukuřici se značně liší mezi kmeny a dle Nys (2000) se koncentrace může měnit i s dobou trvání a podmínkami skladování, což vede k velké variabilitě. Marusich & Bauernfeind (1981) uvádějí, že celková koncentrace xantofylů v kukuřici je v rozmezí 20 – 48 mg/kg. Kukuřice obsahuje 10 % karotenů a 90 % xantofylů, mezi kterými se vyskytuje lutein, zeaxantin, ale i kryptoxantin nebo zeinoxantin (viz Obrázek č. 7) (Nys 2000).



Obrázek č. 7: Chemická struktura: karotenoid zeinoxantin (xantofyl)  
(Chemical Book)

Z kukuřice se vyrábí kukuřičná lepková moučka, u které se podle Nys (2000) koncentrace xantofylů zvyšuje se zvyšující se koncentrací bílkovin, a u které obsah xantofylů rovněž závisí na genetickém původu kukuřice. Marusich & Bauernfeind (1981) uvádějí, že účinnost pigmentace kukuřičného lepkového prášku na žloutek je nižší než u odpovídající kukuřice.

### 3.7.1.7 Mrkev obecná (*Daucus carota*)

Mrkev obecná (*Daucus carota*), původem z jižní Asie, z oblasti Afghánistánu, Íránu a Pákistánu, je dvouletá rostlina z čeledi miříkovité (*Apiaceae*).

Mrkev je zdrojem převážně karotenů a v menší míře i xantofylů, jejichž obsah se ale v různých barevných odrůdách velmi liší (Hammershøj et al. 2010). Obsah karotenoidů je v současně používaných mrkvích a jejich barevných odrůdách dle Hammershøj et al. (2010)

velmi variabilní. Žluté a červené odrůdy mrkve obsahují hlavně žluté karotenoidy lutein, zeaxantin,  $\alpha$ -karoten a  $\beta$ -karoten (Hammershøj et al. 2010). Fialové odrůdy mrkvi dle Hammershøj et al. (2010) obsahují navíc antokyany, které jsou fialovočervenými pigmenty a které mohou také nepatrně přispívat svým účinkem na zbarvení žloutku.

Depozice a složení karotenoidů ve vaječném žloutku odvozené od slepic krmenými mrkvi nejsou dle Hammershøj et al. (2010) v literatuře často uváděné. Ve studii od Hammershøj et al. (2010), která se zabývala ukládáním karotenoidů ve vaječném žloutku krátkodobým doplňkem barevné mrkve bylo zjištěno, že při použití barevné mrkve jako krmného materiálu u nosnic se zvýšila celková koncentrace karotenoidů ve vaječném žloutku na úroveň o 25 – 75 % výše než u nosnic, které mrkvi krmeny nebyly. Z jednotlivých karotenoidů se zvýšil lutein až o 54 % a  $\beta$ -karoten stokrát (Hammershøj et al. 2010). Největší dopad na vaječný žloutek a obsah karotenoidů měla ve studii dle Hammershøj et al. (2010) fialová odrůda mrkve, která měla nejvyšší koncentraci luteinu a  $\beta$ -karotenu.

Hammershøj et al. (2010) uvádějí, že doplnění zejména žluté a fialové mrkve do krmného materiálu nosnic zlepšuje nutriční hodnotu vaječného žloutku. Karotenoidy z čerstvé mrkve vedly v experimentu od Hammershøj et al. (2010) k významnému zbarvení vaječného žloutku, avšak současně s tím se snížil výkon snášky a příjem krmiva.

Jako běžným krmným materiálem pro ekologickou produkci vajec se v organických chovech drůbeže stala mrkev například v Dánsku (Hammershøj et al. 2010).

### **3.7.1.8 Paprika setá (*Capsicum annuum*)**

Paprika setá (*Capsicum annuum*), původem ze Severní Ameriky a severní části Jižní Ameriky, je nejnámější a nejvíce pěstovaný druh papriky z čeledi lilkovité (*Solanaceae*).

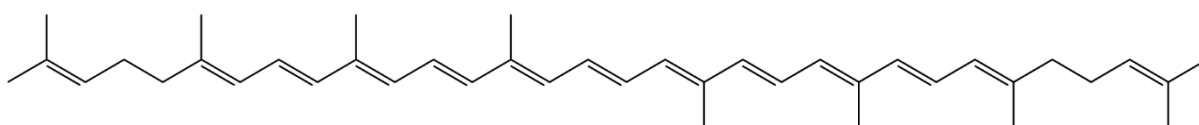
Z vybraných odrůd paprik jsou podle Kodeše et al. (2003) získávána převážně červená přírodní barviva kapsantin a kapsorubin. Výtažky z papriky poskytují dle Nys (2000) pouze růžová až načervenalá barviva, a proto se musí používat společně se zdrojem žlutého karotenoidního pigmentu. Koncentrace karotenoidů ve zdrojích papriky je variabilní, stejně jako efekt a účinnost přenosu těchto karotenoidů.

V obecném potravinářství je využíván paprikový extrakt (E160c) složený z kapsantinu, kapsorubinu a paprikového oleoresinu, který se získává z paprik a chilli papriček za pomoci organických rozpouštědel. Více druhů barviv obsahují především chilli papričky.

### 3.7.1.9 Lilek rajče (*Solanum lycopersicum*)

Mezi červená barviva rostlinného původu patří i lykopen (viz Obrázek č. 8), který je podle Englmaierové et al. (2019) silný antioxidant a jeho významným zdrojem jsou například rajčata (*Solanum lycopersicum*) z čeledi lilkovité (*Solanaceae*). U červenoplodých odrůd rajčat tvoří lykopen až 90 % celkového obsahu karotenoidů (Gross 1991).

Karotenoid lykopen nemá aktivitu provitaminu A, ale je silným antioxidantem a podle Marounka & Havlíka (2020) se využívá jako průmyslový antioxidant v tučných matricích. Jako přírodní potravinářské barvivo se lykopen (E160d) získává buď ze zralých rajčat nebo z jiných druhů červeného ovoce pomocí rozpouštědel, nebo se vyrábí synteticky.



Obrázek č. 8: Chemická struktura: karotenoid lykopen (karoten)

(Wikimedia Commons contributors)

Směs lykopenu (červená barva) s výtažkem z měsíčku lékařského (žlutý luteinový pigment) může dle Karadas et al. (2007) ve skutečnosti poskytnout oranžovou barvu ve vejcích, která může být pro spotřebitele atraktivní. Lykopen tak může být důležitou složkou ve vaječném žloutku, avšak údaje ze studie od Karadas et al. (2007) naznačují, že účinnost přenosu lykopenu do žloutku ze stravy je 4 až 6krát nižší než u luteinu. Účinnost ukládání lykopenu do vaječného žloutku je tedy mnohem nižší než u jiných karotenoidů.

### 3.7.1.10 Požadavky na množství, chov na pastvě a domácí zdroje karotenoidů

Karadas et al. (2007) ve své literatuře uvádějí, že výpočet výtěžků karotenoidů z krmiva a jejich uložení do vaječného žloutku je možné vypočítat z následující rovnice:

$$\text{Účinnost depozice karotenoidů} = \frac{\text{produkce karotenoidů ve vejcích (A)}}{\text{spotřeba karotenoidů krmivem (B)}} * 100 (\%)$$

Písmeno „A“ představuje hmotnost žloutku (g) × koncentrace karotenoidů ve žloutku (μg/g) × produkce vajec (%). Písmeno „B“ představuje spotřebu krmiva (g/den/pták) × koncentrace karotenoidů v krmivu (μg/g) (Karadas et al. 2007).

Pro dosažení přiměřené pigmentace vaječných žloutků se vyžaduje přítomnost alespoň 15 mg xantofylů na 1 kg krmné směsi (Zelenka et al. 2007). Koncentrace umožňující významněji ovlivnit barvu drůbežích produktů dosahují z běžných krmiv zejména vojtešková

moučka (260 – 350 mg/kg) a žluté odrůdy kukuřice (20 – 25 mg/kg), kterými lze zajistit daný obsah alespoň 15 mg xantofylů na 1 kg např. použitím 40 – 50 % žluté kukuřice a 2 – 3 % vojtěškové moučky (Zelenka et al. 2007). Vojtěšková moučka obsahuje velké množství luteinu a kukuřice obohacuje krmivo o lutein, zeaxantin a  $\beta$ -kryptoxantin (Englmaierová et al. 2019).

Přírodní zdroje karotenoidů pro slepice chované ve vnitřních klecích bez přístupu do venkovních prostor jsou podle Skřivanové et al. (2017) bohužel dražší než syntetické karotenoidy. Výjimkou je chov slepic na pastvě.

Při volném chovu slepic na pastvině nejsou třeba dle Skřivana & Englmaierové (2020) krmné přídatky karotenoidů, protože samotný luční porost obohacuje vejce a maso o lipofilní vitaminy, zejména vitamin E, karotenoidy a mastné kyseliny řady n-3. Skřivan & Englmaierová (2020) uvádějí, že toto prokázal jako první v České republice výzkum ve Výzkumném ústavu živočišné výroby, v. v. i. v Praze Uhřetěvsi, který má dobrý ohlas i v zahraničí. Faktem je to, že vejce z pastvy na lučním porostu jsou kvalitnější než vejce z téměř všech našich halových chovů (Skřivan & Englmaierová 2020). Skřivan & Englmaierová et al. (2014) uvádějí, že jedno 60g vejce z chovu slepic na pastvě obsahuje 0,48 mg luteinu a 0,36 mg zeaxantinu. Těmto koncentracím se podle Skřivanové et al. (2017) nevyrovnají koncentrace ve vejcích slepic, kterým byly do krmných směsí přidávány přírodní zdroje karotenoidů, jako např. extrakt z květů afrikánu (marigold flower extract, MFE, Avizant<sup>®</sup> Yellow 20 HS) nebo sušená autotrofní řasa *Chlorella vulgaris*. Dosáhnout stejné kvality vajec z haly jako z pastvy sice není podle Skřivana & Englmaierové (2020) tak velký problém, ale při požadovaném dosažení se zvýší náklady, kterým se producent pochopitelně vyhýbá.

Skřivan & Englmaierová (2020) uvádějí, že z domácích zdrojů karotenoidů pro drůbež v chovech bez pastvy je perspektivní semeno hořčice (brukev sítinovitá – *Brassica juncea*), které zvýší karotenoidy ve vejcích i v mase a produktu dodá žlutší barvu. Avšak v současné době je podle Skřivana & Englmaierové (2020) pro daný účel nepoužitelné ve vyšším množství než 1 % v krmné směsi vzhledem k vysokému obsahu antinutričních látek, jako je kyselina eruková a glukosinoláty. Šlechtění hořčice za účelem snížení koncentrace těchto antinutričních látek se v současné době zatím neprovádí.

Na druhou stranu byla ale vyšlechtěna speciální odrůda pšenice se zvýšeným obsahem karotenoidů luteinu a zeaxantinu. Tento genotyp pšenice s názvem PEXESO, o který je velký zájem v České republice i zahraničí vyšlechtila firma Selgen, a.s. Pokusy s touto novou odrůdou pšenice PEXESO u slepic proběhly ve Výzkumném ústavu živočišné výroby, v. v. i. v Praze Uhřetěvsi a tato bakalářská práce obsahuje dílčí výsledky jednoho z těchto pokusů.

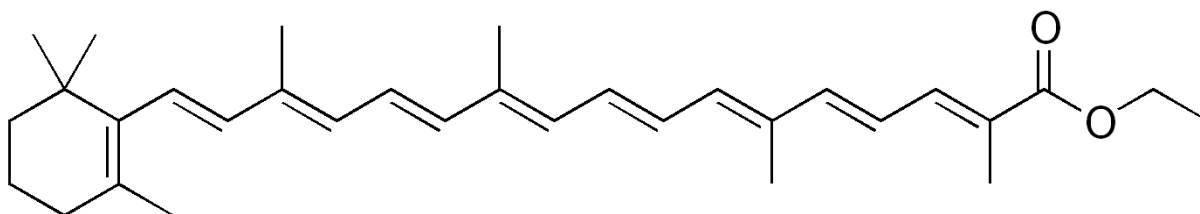


### 3.7.2 Syntetické karotenoidy

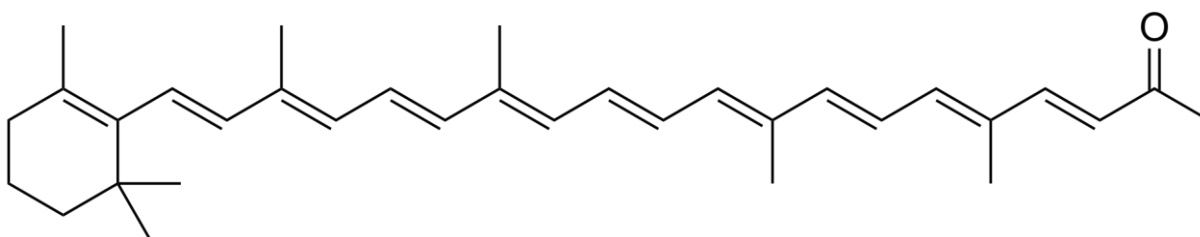
Syntetické karotenoidy jsou barviva vyráběna chemickou syntézou. Chemická syntéza neboli chemické slučování je druh chemické reakce, při které ze dvou nebo více prvků nebo jejich sloučenin, zpravidla organických, vznikne produkt, který je většinou složitější než výchozí látky (Wikipedia contributors 2019). V průmyslu se chemická syntéza používá k výrobě produktů ve velkém množství (Britannica 2012).

Kodeš et al. (2003) uvádějí, že v chovech drůbeže bývá syntetické barvivo žluté barvy nejčastěji zastoupeno apoesterem ( $\beta$ -apo-8'-ethylester kyseliny karotenové viz Obrázek č. 9) nebo méně často citranaxantinem (viz Obrázek č. 10), zatímco syntetické červené barvivo bývá reprezentováno kantaxantinem.

Tyto syntetické karotenoidy patří rovněž do skupiny xantofylů způsobující zbarvení od žluté až po červenofialovou barvu.



Obrázek č. 9: Chemická struktura:  $\beta$ -apo-8'-ethylester kyseliny karotenové (xantofyl)  
(Wikipedia contributors)



Obrázek č. 10: Chemická struktura: karotenoid citranaxantin (xantofyl)  
(Wikimedia Commons contributors)

Englmaierová et al. (2019) uvádějí, že v intenzivních chovech se k barvení vaječného žloutku používají syntetické karotenoidy jako je výše zmiňovaný ethylester kyseliny  $\beta$ -apo-8'-karotenové (E160f) a kantaxantin (E161g), známé jako Carophyll<sup>®</sup> Yellow a Carophyll<sup>®</sup> Red. Carophyll<sup>®</sup> Red obsahuje 10 % kantaxantinu a Carophyll<sup>®</sup> Yellow obsahuje 10 % ethylesteru kyseliny  $\beta$ -apo-8'-karotenové. Englmaierová et al. (2013) uvádějí, že příbuznými těchto syntetických karotenoidů jsou i karotenoidy Lucantin<sup>®</sup> Yellow a Lucantin<sup>®</sup> Red. Tyto uvedené syntetické karotenoidy lze nalézt pod těmito různými obchodními názvy.

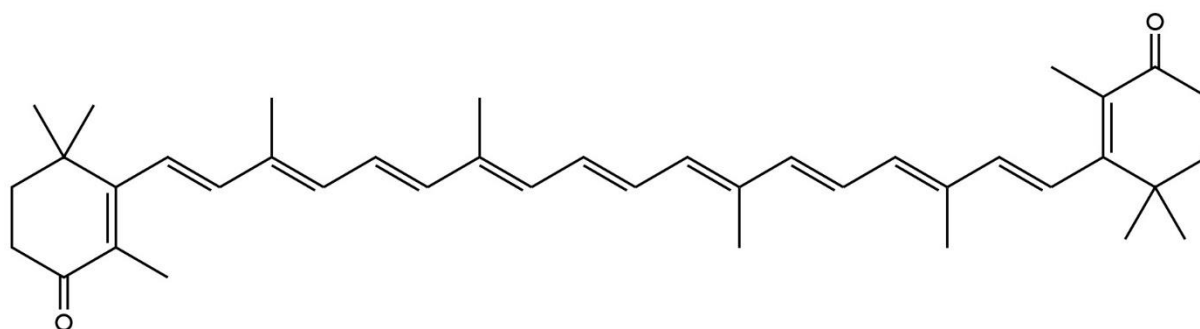
### 3.7.2.1 Žluté syntetické karotenoidy

Mezi žluté syntetické karotenoidy patří  $\beta$ -apo-8'ethylester kyseliny karotenové, zkráceně apoester, který byl dle Nys (2000) poprvé nalezen v kukuřici, a citranaxantin (E161i). Ten byl nejprve izolován z citrusové kůry a až potom syntetizován (Nys 2000). Citranaxantin má podle Marusich & Bauernfeind (1981) nižší účinnost než kantaxantin v porovnání s rychlostí depozice nebo výslednou kapacitou barvení.

$\beta$ -apo-8'ethylester kyseliny karotenové je jako neaktivnější xantofyl znám díky své nižší aktivitě vitamínu A, ale zato větší kapacitě barvení. Tento karotenoid je součástí poměrně malé skupiny xantofylů, s méně než 40 atomy uhlíku v molekule, nazývané jako degradované karotenoidy neboli apokarotenoidy.

### 3.7.2.2 Červené syntetické karotenoidy

Do červených syntetických karotenoidů vyráběných chemickou syntézou patří nejrozšířenější karotenoid kantaxantin (viz Obrázek č. 11). Kantaxantin byl poprvé izolován z jedlé houby *Cantharellus cinnabarinus* (Haxo 1950). Tato houba, z čeledi liškovitých (*Cantharellaceae*) pocházející z východní části Severní Ameriky, byla pojmenována podle své červené barvy, kterou jí dodává právě karotenoid kantaxantin (Haxo 1950). Historicky první syntetizace kantaxantinu proběhla z  $\beta$ -karotenu (Petracek & Zechmeister 1956; Marusich & Bauernfeind 1981). V přírodě se tento pigment poměrně běžně vyskytuje v některých houbách, zelených řasách, bakteriích nebo rybách. Karotenoid kantaxantin je široce rozšířen v různých korýších, což by mohlo vysvětlit jeho přítomnost v peří u vodních ptáků, jako jsou plameňáci (Nys 2000), kteří se právě těmito drobnými členovci živí.



Obrázek č. 11: Chemická struktura: karotenoid kantaxantin (xantofyl)

(Wikimedia Commons contributors)

Kantaxantin je velmi účinný pigment žlutku a je vhodný pro získání žlutooranžového odstínu, jestliže je smíchán se žlutým zdrojem (Nys 2000).

Používání kantaxantinu bylo povoleno na úrovni společenství pod číslem E161g (CI potravinářská oranž 8) Evropské komise jako barvivo v krmivech za podmínek stanovených v Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1831/2003 o doplňkových látkách používaných ve výživě zvířat (European Commission 2002).

Podle Evropské komise (European Commission 2002) je kantaxantin jedním z povolených syntetických karotenoidů pro použití v krmivech pro zvířata jako:

- barvivo v krmivech pro drůbež (viz Tabulka č. 1) a
- barvivo v krmivech pro ryby (tj. chovné lososy a pstruhy).

Zvířata krmená s doplňkem syntetického karotenoidu kantaxantinu vykazují výrazněji zbarvený vaječný žloutek u drůbeže, resp. výrazněji zbarvené maso u lososů a pstruhů.

Mimo krmiva je kantaxantin podle Evropské komise (European Commission 2002) povolen také jako barevná přísada do některých potravin a jako barvivo pro léčivé přípravky nebo doplňky stravy. V České republice však není pro použití v potravinách povolen.

Tabulka č. 1: Kantaxantin jako doplňková látka (European Commission 2002)

Evropská komise (European Commission 2002) uvádí, že kantaxantin je používán jako doplňková látka pouze za účelem barvení:

a) u lososovitých, samostatně nebo společně s astaxantinem, aby se získala načervenalá barva masa čerstvých a zpracovaných ryb,

**b) pro nosnice jako zdroj pigmentu pro úpravu barvy vaječného žloutku ve vejcích pro přímou spotřebu nebo pro další potravinářské zpracování,**

c) pro brojlery jako zdroj pigmentu k získání žlutého odstínu kůže.

### 3.7.2.3 Požadavky na množství, maximální množství a zbarvení žloutku

Podle Evropské komise (European Commission 2002) je v současné době v Evropské unii povoleno použití kantaxantinu jako barviva do maximálního množství 80 mg/kg v kompletních krmivech (kompletních krmných směsích).

V Evropské unii se jedná o jediný karotenoidní pigment, pro který bylo stanoveno přijatelné denní množství (Acceptable Daily Intake – ADI) 0,03 mg kantaxantinu na kg živé hmotnosti (European Commission 2002).

Maximální bezpečnou koncentraci kantaxantinu v krmivech uvádí Tabulka č. 2.

Tabulka č. 2: Maximální koncentrace kantaxantinu (European Commission 2002)

Bezpečnost spotřebitele by dle Evropské komise (European Commission 2002) na základě dostupných údajů byla zajištěna stanovením maximální koncentrace kantaxantinu následovně:

a) při dávce 25 mg kantaxantinu / kg krmiva pro lososy,

**b) při dávce 8 mg kantaxantinu / kg krmiva pro nosnice,**

c) při dávce 25 mg kantaxantinu / kg krmiva pro brojlery.

Tyto koncentrace jsou v současné době podle Evropské komise (European Commission 2002) výrazně pod 80 mg/kg krmné dávky, která je v současné době povolena.

Vzhledem k nízké ceně se používají podle Skřivanové et al. (2017) ve výživě drůbeže výhradně syntetické xantofyly. Englmaierová et al. (2019) taktéž uvádějí, že použití syntetických karotenoidů je výrazně levnější, i vzhledem k nižším aplikačním dávkám, a zaručuje standardnost barvy v průběhu celého roku na rozdíl od pastevního (volného nebo organického) chovu i dalších přírodních zdrojů karotenoidů.

Množství těchto karotenoidů (ethylester kyseliny  $\beta$ -apo-8'-karotenové a kantaxantin) v krmných směsích pro nosnice je omezené, a to kvůli známému negativnímu účinku na lidské zdraví (Breithaupt 2007). Maximální obsah těchto dvou syntetických karotenoidů v krmných směsích uvádí Evropský úřad pro bezpečnost potravin (European Food Safety Authority, EFSA). Kantaxantin by neměl překročit 8 mg/kg (EFSA 2014) a bezpečná dávka ethylesteru kyseliny  $\beta$ -apo-8'-karotenové pro nosnice je také 8 mg/kg (EFSA 2016). Důvodem těchto limitů je tvorba krystalických usazenin v sítnici oka u lidí, kteří přijímají vysoké množství především kantaxantinu ve stravě (Geoffrey & Felix 2008).

Kodeš et al. (2003) uvádějí, že lze používat kombinaci přírodního žlutého barviva se syntetickým červeným. Míchání červeného a žlutého pigmentu je nejúčinnějším a nejekonomičtějším prostředkem k získání hluboce zbarveného žlutku (> 11 RYCF), ale zavedení červeného pigmentu jako hlavního zdroje vyvolává zbarvení (růžový až oranžovo-červený žloutek), i když vyškolení pozorovatelé hlásí vysokou hodnotu RYCF pro čerstvý žloutek (Nys 2000). Marusich & Bauernfeind (1981) a Nys (2000) uvádějí, že doplnění 2 až 4 mg/kg kantaxantinu navíc k 10 až 20 mg/kg rostlinných xantofylů je dostatečné pro získání RYCF 12 až 15. Barva žlutku roste úměrně se žlutými xantofyly (Nys 2000). Nys (2000)

uvádí, že se rovněž ukazuje, že je nezbytné zavést červený zdroj, pokud je požadována žloutková barva, vyšší než 10 v RYCF, zejména u rostlinných xantofylů.

Dle Skřivana et al. (2016) se syntetické karotenoidy běžně používají ve stravě drůbeže ke zvýšení pigmentace žloutku a zlepšení oxidační stability žloutkových lipidů. V současné době ale existuje tendence nahrazovat syntetická krmná aditiva přírodními látkami získávanými z rostlin, které nezpůsobují nežádoucí vedlejší účinky (Skřivan et al. 2016), jako je například tvorba krystalických usazenin v sítnici oka u lidí v případě přijímání vysokého množství kantaxantinu ve stravě.

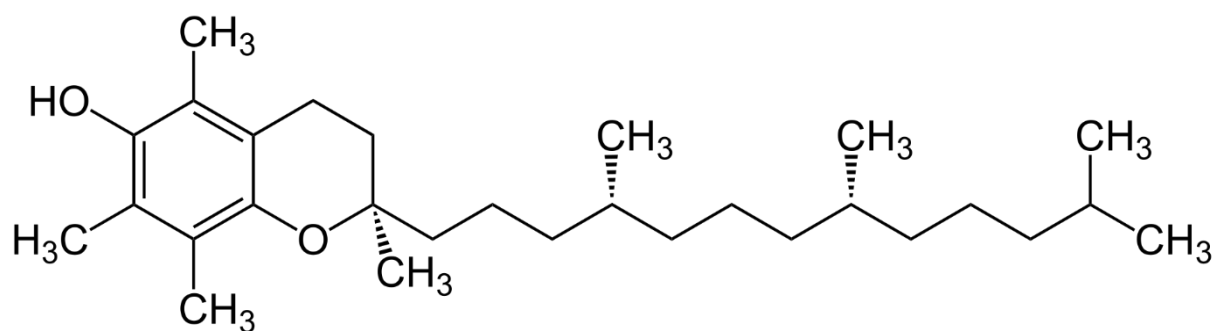
Roberts (2004) uvádí, že v některých zemích, např. ve Švédsku, jsou syntetické pigmenty pro dané použití úplně zakázané. Použití syntetických karotenoidních pigmentů není rovněž povoleno v ekologickém zemědělství (Skřivan et al. 2016).

### 3.8 Faktory ovlivňující obsah karotenoidů a vitaminů ve žloutku

Vaječný žloutek je vysoce biologicky dostupným zdrojem lipofilních, resp. hydrofobních vitaminů (A, D, E, a K) a karotenoidů, ale na druhou stranu dle Aydin (2017) také obsahuje významné množství cholesterolu, obvykle nad 0,2 g. Dikmen & Sahan (2007) uvádějí negativní korelaci mezi cholesterolem ve vaječném žloutku a líhivostí oplodněných vajec. Přestože jsou vejce obsahující nízké množství cholesterolu mnohdy považována za lepší volbu pro zdravou výživu, jejich líhivost však může být nízká.

Ve výživě drůbeže existují mezi různými složkami a komponenty potravy významné interakce. Jedny z nejvýznamnějších jsou interakce s tukem. Například některé doplňky dietních tuků nebo olejů do stravy slepic mohou ovlivnit absorpci karotenoidů xantofylů, nebo zvýšit koncentraci lipofilních vitaminů ve vaječném žloutku. Absorpce vitaminu E vyžaduje vždy přítomnost tuku a je ovlivňována potravinovou maticí (Jeanes et al. 2004).

Vitamin E (viz Obrázek č. 12) a přírodní karotenoidy jsou účinné antioxidanty chránící buněčné membrány a plazmatické lipoproteiny před reaktivními formami kyslíku (Diplock et al. 1998).



Obrázek č. 12: Chemická struktura: vitamin E ( $\alpha$ -tokoferol)

(Wikibooks contributors)

Jedním z faktorů, kterým lze ovlivnit obsah lipofilních vitaminů a karotenoidů ve vaječném žloutku, je dietní tuk. Prévéraud et al. (2015) uvádějí, že po přidání 3 % lněného oleje do stravy kohoutků se výrazně zvýšil plazmatický  $\alpha$ -tokoferol. Vliv a účinek tuku v potravě na ukládání  $\alpha$ -tokoferolu ve vejcích byl podobný, ale méně výrazný i ve studii od Marounek et al. (2019). Kang et al. (1998) uvádějí, že po přidání palmového oleje (1,5 % a 3 %) do stravy se zvýšil tokotrienol a obsah karotenu ve vejcích a jaterní tkáni způsobem závislým na dávce. Tokotrienol je forma vitaminu E s nejsilnější antioxidantní aktivitou. Přirozeně se vyskytuje ve vyšších množstvích v některých rostlinných olejích.

Rozdíl v depozici  $\beta$ -karotenu a dalších karotenoidů může být výsledkem jejich odlišné polariry, kdy polární xantofyly mohou být snadněji začleněny do smíšených micel a transportovány v krvi než vysoce hydrofobní (nepolární) karoteny (Marounek et al. 2019). Údaje o vlivu tuku v potravě na dostupnost karotenoidů u drůbeže jsou ale podle Marounka et al. (2019) vzácné. Marounek et al. (2019) uvádějí, že dostupnost lipofilních vitaminů a karotenoidů může být ovlivněna nenasycením lipidů ve stravě.

Potřeba vitaminu E závisí na obsahu dietních polynenasycených mastných kyselin (Marounek et al. 2019). Marounek et al. (2019) uvádějí, že strava bohatá na nasycené mastné kyseliny snižuje absorpci vitaminu E, zatímco polynenasycené mastné kyseliny ve stravě neomezují vstřebávání vitaminu E.

Gleize et al. (2013) dospěli k tomu, že dietní tuky bohaté na nasycené mastné kyseliny vedou k vyšší dostupnosti luteinu a zeaxantinu ve srovnání s tuky bohatými na nenasycené mastné kyseliny. Hamilton (1992) uvádí, že nasycené mastné kyseliny s krátkým řetězcem a nenasycené mastné kyseliny s dlouhým řetězcem podporují absorpci luteinu. Z pokusných studií dle Nys (2000) vyplývá, že 6 % přidaného tuku do krmné dávky u kuřat vyvolalo trojnásobné zvýšení depozice luteinu ve srovnání s kontrolní skupinou bez přidaného tuku.

Lipidy mají tedy pozitivní účinek na absorpci karotenoidů a výsledné zbarvení žloutku. Dietní zařazení tuku zvýší dle Marounka et al. (2019) ukládání  $\alpha$ -tokoferolu, retinolu, luteinu a zeaxantinu ve vejcích slepic, budou-li tyto krmeny stravou obsahující například sušenou vojtěšku jako zdroj karotenoidů a lipofilních vitaminů. Doplnění stravy tukem zvýší produkci slepičích vajec a současně sníží příjem krmiva (Marounek et al. 2019), protože tuk je zdrojem vysokého obsahu energie.

Jedním z faktorů, který negativně ovlivňuje obsah karotenoidů a vitaminů ve žloutku jsou mykotoxiny – toxiny hub. Podle Hamilton (1992) je dobře známo, že mykotoxiny, jako je například aflatoxin nebo ochratoxin, výrazně snižují absorpci pigmentů, zvyšují podíl jejich diesterové formy v játrech a snižují její akumulaci v tkáních u kuřat (zhoršená pigmentace kůže, syndrom bledých ptáků). Tyto toxiny způsobující aflatoxikózu a ochratoxikózu drůbeže jsou produkovány zejména plísněmi z rodu *Aspergillus* a *Penicillium*.

### 3.9 Barevný tón žloutku

Kodeš et al. (2003) uvádějí, že žloutek se v organismu nosnice barví postupně, žádaného stupně dosáhne do 10 dnů, a že totéž platí i pro jeho odbarvení.

Zbarvení vaječného žloutku lze libovolně upravovat. Zelenka et al. (2007) uvádějí, že podle barevného vzorníku se vybere vhodná barva a z tabulky se určí množství, popřípadě vzájemný poměr žlutého a červeného barviva v krmné směsi.

Barva vaječného žloutku přímo odráží koncentraci pigmentů ve stravě nosnic (European Commission 2002). Englmaierová et al. (2013) uvádějí, že intenzitu a barvu žloutků lze regulovat podle koncentrace a typu karotenoidů v dietě (od žluté po červenou). Englmaierová et al. (2019) uvádějí, že profil karotenoidů je pro zbarvení žloutků mnohem důležitější než množství celkových karotenoidů ve vaječném žloutku.

Depozice karotenoidů ve žloutcích závisí dle Englmaierové et al. (2013) na jejich polaritě, která je u nepolárních karotenů nižší než u xantofylů, které obsahují alespoň jeden atom kyslíku.

Podle Skřivana & Englmaierové (2015) určují barevný tón žloutku hlavně přírodní, v pastvě obsažené karotenoidy, a ne syntetická barviva.

Barevný tón žloutku neboli jeho barevné skóre, od světle žluté po oranžovou, se hodnotí na stupnici Hoffman-La Roche, což je 15 stupňová škála od jedničky do patnácti ve formě vějíře. Běžný stupeň zbarvení se pohybuje mezi 9. až 12. stupněm (Kodeš et al. 2003).

Barva vaječného žloutku je považována za důležitou pro spotřebitele, kteří obecně upřednostňují jednotnou barvu žloutku v rozmezí od mírné zlatožluté po oranžovou (Nys 2000).

Obzvlášť v Evropské unii je barva žloutku důležitým kritériem pro výběr spotřebitele. Většina spotřebitelů dává podle Zelenky et al. (2007) přednost sytě žlutým až oranžově zbarveným žloutkům. Preference barvy vaječného žloutku se v různých zemích Evropské unie výrazně liší (viz Tabulka č. 3). Galobart et al. (2004) ve své literatuře uvádějí, že lidé v Evropě a Asii mají tendenci preferovat zbarvení žloutku mezi 10. a 14. stupněm, a proto se podle Skřivana & Englmaierové (2014) pigmenty buď přírodního nebo syntetického původu do stravy slepic často přidávají.

Většina spotřebitelů však nesprávně spojuje barvu žloutku s věkem a zdravotním stavem zvířete a s jakostí vajec a vaječných výrobků (Loetscher et al. 2013).



Tabulka č. 3: Preference barvy vaječného žloutku v různých evropských zemích (měřeno stupnicí Hoffman-La Roche, RYCF – Roche Yolk Color Fan) (Hernandez et al. 2000)

Země	Hodnota na stupnici RYCF
Belgie	12–13
Dánsko	9–10
Finsko	9–10
Francie	11–12
Holandsko	7–9
Itálie	12–13
Německo	11–14
Portugalsko	12–14
Rakousko	12–14
Řecko	11
Spojené království a Irsko	10–11
Španělsko	11–14
Švédsko	9–10

Z tabulky vyplývá, že země více na severu Evropy upřednostňují slabě zbarvené vaječné žloutky v porovnání se zeměmi jižní a jihozápadní Evropy, které dávají přednost žloutkům výraznější barvy a sytosti. Více oranžová barva měřená stupnicí Hoffman-La Roche je preferována v Belgii, Portugalsku, Rakousku a Španělsku, středně oranžová barva v severní Francii, jižní Anglii a Itálii a světlejší oranžová barva pak v severní Anglii, Irsku nebo Řecku. Preference nejsvětleji zbarveného žloutku byla zaznamenána v Holandsku a Švédsku.

Nys (2000) uvádí, že barva žloutku je prvním parametrem kvality žloutku a že po čerstvosti a kvalitě se řadí na třetí místo mezi parametry kvality vajec. Spotřebitelé tomuto vnitřnímu parametru kvality připisují větší důležitost než velikosti samotného vejce nebo barvě jeho skořápky (Nys 2000). Z mnoha studií vyplývá, že pro spotřebitele je důležité hlavně to, aby barva vaječného žloutku měla stálou barvu a výrazně se neměnila.

### 3.10 Vliv karotenoidů na kvalitu vajec

Karotenoidy jako jedny z všudypřítomných pigmentů rozpustných v tucích hrají všestrannou biologickou roli, která podle Nabi et al. (2020) přispívá k terapeutickému účinku, včetně účinků protirakovinných, imunomodulačních, protizánětlivých, antibakteriálních, antidiabetických a neuroprotektivních.

Komerční produkci drůbeže ohrožuje řada nemocí a faktorů, jako jsou například patogenní bakterie, viry, tepelný stres (včetně stresu oxidačního), podmínky prostředí, ale i další patologické faktory (Nabi et al. 2020). Karotenoidy a několik dalších přírodních sloučenin odvozených z rostlin se ukázaly jako vynikající terapeutický a zdraví podporující potenciál ke zvýšení produkční výkonnosti drůbeže (Saeed et al. 2018). Doplněk karotenoidů do stravy nejen zlepšuje produkční výkon a zdraví drůbeže, ale také zvyšuje kvalitu živočišných produktů, tj. vajec a masa (Nabi et al. 2020).

Oxidační stres je jev způsobený nerovnováhou mezi produkcí a akumulací látek reagujících s kyslíkem (ROS) v buňkách a tkáních a schopností biologického systému detoxikovat tyto reaktivní produkty (Pizzino et al. 2017). Karotenoidy obecně snižují oxidační stres u vylíhlých ptáků, a to prostřednictvím různých mechanismů, včetně zhašení volných radikálů, aktivace antioxidantních enzymů a inhibice signálních drah (Nabi et al. 2020).

Rovnoměrná pigmentace drůbežích produktů dle Nabi et al. (2020) obecně odpovídá zdravotnímu stavu jedince a jejich kvalitě. Ptáci a další oviparní (vejcorodá) zvířata využívají karotenoidy jako silné imunomodulační a antioxidantní činidlo, které zachycuje cytotoxické (buňky ničící) ROS, které tyto zvířata produkují během normálních fyziologických procesů (Krinsky 2001).

Například ve studii hodnotící dopad suplementace karotenoidu lykopenu na produkční výkon, biochemické parametry a antioxidantní kapacitu od Sun et al. (2015) bylo zjištěno, že přidavek dietního lykopenu (40 mg/kg) významně zlepšil tělesnou hmotnost kuřat, celkovou antioxidantní kapacitu jater a snížil jaterní malondialdehyd (MDA) u brojlerových kuřat. Malondialdehyd je reaktivní látka vznikající a narůstající při peroxidaci (oxidační degradaci lipidů) polynenasycených mastných kyselin reaktivními kyslíkatými látkami. Výsledky studie od Sun et al. (2015) také ukázaly, že doplňkový lykopen zvyšuje index imunitních orgánů, výšku klků a lipoproteiny s vysokou hustotou v séru (HDL).

Podobný suplementační účinek karotenoidů na úrovni (2,5 %, 5,0 % a 7,5 %) sušených rajčat spolu s n-3 polynenasycenou mastnou kyselinou ukázal ve studii od Panaite et al. (2019) významně nižší oxidaci lipidů a zlepšil barevné skóre vaječného žloutku slepic.

Vaječný žloutek obsahuje velké množství lipidů. Stupka et al. (2013) uvádějí, že téměř všechny vaječný tuk s vysokým podílem nenasycených mastných kyselin a fosfolipidů je obsažen ve žloutku. Nejvíce sledované jsou omega-3 mastné kyseliny, které se dle Fraeye et al. (2012) do vajec začleňují krměním rybiho oleje, lněného semene, řas nebo jiných přísad. Vysoký obsah omega-3 mastných kyselin může zvyšovat náchylnost k oxidaci těchto mastných kyselin, a proto bylo navrženo současné obohacování vajec o antioxidanty, jako je vitamin E a karotenoidy, které snižují oxidaci mastných kyselin a jsou dobrým zdrojem dietního antioxidantu (Surai et al. 2006).

I některé samotné sloučeniny ve vaječném žloutku a bílku vykazují antioxidační aktivitu. Nimalaratne & Wu (2015) uvádějí, že antioxidační vlastnosti má mnoho vaječných proteinů, jako je ovoalbumin, ovotransferin, ovomucin, lysozym, fosvitin, vaječné lipidy – fosfolipidy, ale také některé mikroživiny, jako je vitamin E, vitamin A, selen, nebo právě karotenoidy, kterými mohou být vejce ještě navíc obohacena.

Stahl & Sies (2003) uvádějí, že nenasycený řetězec a aromatické kruhy karotenoidů pomáhají neutralizovat singletový kyslík a volné radikály. Tímto způsobem je vejce chráněno před oxidačním poškozením a přirozeným způsobem je prodloužena jeho údržnost, resp. trvanlivost – skladovatelnost.

Několika studií bylo prokázáno, že karotenoidy z přírodních zdrojů mohou zvýšit produktivitu drůbeže, zmírnit oxidační stres (Nabi et al. 2020) a spolu s tím i zvýšit oxidační stabilitu žloutku. Pokusy se zkrmováním karotenoidů v krmivu u drůbeže ukázaly výhody v produktivním a reprodukčním výkonu a také zlepšily oxidační stabilitu drůbežích produktů jako jsou vejce a maso (Nabi et al. 2020).

Nabi et al. (2020) uvádějí, že k úplnému pochopení terapeutického a zdraví podporujícího potenciálu přírodních karotenoidů je však zapotřebí dalšího výzkumu na molekulární úrovni u různých modelů drůbeže.

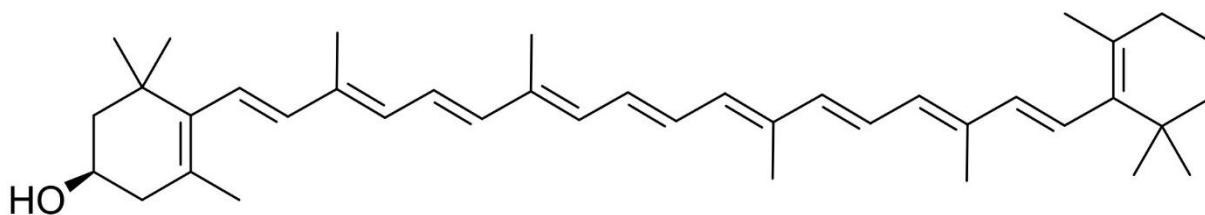
Nimalaratne & Wu (2015) uvádějí, že vejce jako vynikající zdroj vysoce kvalitních bílkovin, lipidů, vitaminů, minerálů, ale taky i antioxidantů karotenoidů, jsou důležitou součástí stravy lidí, ve které by měly zaujímat své opodstatněné místo.

### 3.11 Vliv karotenoidů na zdraví člověka

Zdraví člověka začíná dle Jopp (2014) v molekulární oblasti sedmdesáti miliard tělesných buněk, kdy každé jednotlivé buňce musí být díky co nejlepšímu zásobení mikroživinami umožněno optimálně fungovat a dlouhodobě tak předcházet onemocněním. Během evoluce se imunitní systém člověka a látková výměna vyvinuly na základě čtyřiceti sedmi životně důležitých a nenahraditelných výživných látek, ke kterým patří třiatřicet mikroživin, třináct vitaminů, šest minerálů, čtrnáct stopových prvků, dva tuky (omega-6 a omega-3) a osm aminokyselin pro budování všech bílkovinných struktur. Těchto látek se tělo nemůže vzdát, ostatní si umí samo vyrobit. Při nedostatku čtyřiceti sedmi esenciálních mikroživin se zpomaluje látková výměna a imunitní systém ochabuje (Jopp 2014). Nedostatek minerálů a stopových prvků vede podle Jopp (2014) krátkodobě k podstatnému snížení výkonnosti a je dlouhodobě odpovědný za množství chronických onemocnění. Při nedostatku antioxidantních vitaminů a rostlinných látek, mezi které řadíme i pigmenty karotenoidy, vznikají škody na buňkách, které dlouhodobě vedou ke vzniku rakoviny, srdečně-cévních chorob a dalších onemocnění způsobených volnými radikály (Jopp 2014).

Přestože až dosud bylo v potravě identifikováno přes 600 karotenoidních barviv, lidský organismus jich umí využít pouze šest. Mezi tyto karotenoidy patří kromě  $\beta$ -karotenu, který je z nich nejznámější, také  $\alpha$ -karoten, lutein, lykopen, kryptoxantin (viz Obrázek č. 13) a zeaxantin (Jordán & Hemzalová 2001).

Lidské tělo však není schopno syntetizovat karotenoidy, získávat je musí ze stravy, a proto je důležité zvážit typ a biologickou dostupnost karotenoidů ve stravě (Nimalaratne & Wu 2015). Britton et al. (2009) uvádějí, že izomerické formy (cis/trans) karotenoidů mohou být důležitým faktorem v biologické aktivitě karotenoidů, především ve vztahu k jejich biologické dostupnosti, přenosu a ukládání v tekutinách a tkáních lidského těla. Krinsky et al. (1990) uvádějí, že lidská plazma obsahuje několik karotenoidů včetně  $\alpha$ -karotenu,  $\beta$ -karotenu,  $\beta$ -kryptoxantinu, luteinu, zeaxantinu a jejich izomerů.



Obrázek č. 13: Chemická struktura: karotenoid  $\beta$ -kryptoxantin (xantofyl)

(Wikimedia Commons contributors)

Skřivan & Englmaierová (2014) uvádějí, že dietní lutein pochází z doplňků a funkčních potravin. Vejce obohacené o karotenoidy lutein a zeaxantin můžeme nazývat funkční potravinou. Vejce jsou výborným transportérem luteinu z rostlin člověku (Skřivan & Englmaierová 2015). Mezi hlavní zdroje luteinu pro člověka patří zelená zelenina, jako je špenát, listové zelí a brokolice (Mangels et al. 1993). Chung et al. (2004) uvádějí, že biologická dostupnost luteinu pro člověka je ale vyšší z vajec obohacených o lutein než z jiných doplňků, listové zeleniny či špenátu (viz Tabulka č. 4). Lepší biologická dostupnost karotenoidů z vajec je díky solubilizaci žloutkových lipidů, což z vajec činí jedinečný a důležitý nosič bioaktivních karotenoidů. Větší biologickou dostupnost luteinu z vajec obohacených o lutein uvádějí i Englmaierová et al. (2019).

Tabulka č. 4: Koncentrace luteinu v lidském séru (Chung et al. 2004)

Z vědeckých studií od Chung et al. (2004) vyplývá následující:

**a) koncentrace luteinu v lidském séru je nejvyšší po konzumaci vajec ve srovnání s doplňky obsahující lutein a ve srovnání se špenátem,**

b) koncentrace luteinu v séru ze špenátu je srovnatelná s doplňky luteinu,

c) koncentrace luteinu v séru z doplňků luteinu a jiných přísad luteinu se neliší.

Ve vaječných žloutcích je karotenoid lutein umístěn ve stravitelné lipidové matici, která se skládá z cholesterolu, triacylglycerolu a fosfolipidů (Cotterill et al. 1977). Chung et al. (2004) tvrdí, že obsah cholesterolu ve žloutku může zvyšovat biologickou dostupnost luteinu.

Karotenoidy mají pozitivní vliv na imunitní systém člověka (Britton et al. 2009). Hlavní příznivý vliv a účinek karotenoidů spočívá v jejich antioxidačních schopnostech. Ačkoli se přírodní antioxidanty karotenoidy vzájemně podobají, každý z nich účinkuje specificky na určitou tkáň (Jordán & Hemzalová 2001).

### 3.11.1 Aktivita vitamínu A - retinolu

U lidí má 10 % karotenoidů aktivitu provitaminu A, retinolu (Nys 2000), který plní řadu fyziologických funkcí, genovou transkripci, vidění, imunitní roli apod. (Marounek & Havlík 2020). Goodwin (1986) uvádí, že konkrétně xantofyly mohou být prekurzory vitamínu A na základě jejich přeměny na  $\beta$ -karoten, který je podle Morton (1957) jednoznačně prekurzorem vitamínu A u savců. Dle Nicolle et al. (2003) jsou prekurzory vitamínu A karotenoidy  $\alpha$ -karoten,  $\beta$ -karoten a  $\beta$ -kryptoxantin, které mají antioxidační vlastnosti, podporují

zdraví a jsou prevencí nemocí u lidí. Podle Goodwin (1986) bylo zjištěno, že xantofyly, které nejsou prekurzory vitamínu A u savců, jsou aktivní u nižších zvířat (ptáků) z důvodu schopnosti těchto zvířat reduktivně je metabolizovat na  $\beta$ -karoten, který se pak převádí na vitamín A.

Podle Marounka & Havlíka (2020) se v přírodě vyskytuje kolem 600 karotenoidů, z nichž přibližně 50 plní alespoň slabě roli provitamínu A. Na druhou stranu Hammershøj et al. (2010) uvádějí, že sloučeniny s vysokým obsahem aktivity vitamínu A mají obecně nízkou pigmentační schopnost.

V případě splnění požadavku na vitamín A u slepic výživou, jsou dle Hammershøj et al. (2010) vedeny spekulace o tom, že přebytek  $\beta$ -karotenu je uložen ve vaječném žloutku, který pak lze pokládat za dobrý zdroj tohoto vitamínu.

### 3.11.2 Ochrana kůže

Karotenoidy (především  $\beta$ -karoten) chrání lidskou kůži před vysokou intenzitou slunečního záření a UV zářením, které může vést k poškození kůže, popř. být příčinou rakoviny kůže (Britton et al. 2009). Rovněž dle Marounka & Havlíka (2020) pomáhají karotenoidy chránit buňky před fotosenzitizací (zvýšenou citlivostí kůže na sluneční záření).

Goodwin (1986) uvádí, že je zvažován vědecký aspekt používání karotenoidů k léčbě onemocnění zahrnující fotocitlivost spolu s důkazy naznačujícími, že karotenoidy mohou oddálit nástup některých nádorů. To Goodwin (1986) potvrzuje ve své literatuře, kde uvádí, že z obecných závěrů vyplývá, že karotenoidy zpomalují růst nádorů vyvolaných ultrafialovým zářením UV-A, UV-B, BP (benzo(*a*)pyrenem), BP/UV-A a 8-methoxypsoralenem (jinak methoxsalemem) bez ohledu na jejich neoddělitelnou schopnost nebo nadměrné působení jako prekurzory vitamínu A.

Konkrétně benzo(*a*)pyren je jako nejznámější polycyklický aromatický uhlovodík (PAH) řadící se mezi perzistentní organické polutanty (POP) pokládán Agenturou pro ochranu životního prostředí (US EPA) za karcinogen s výraznými karcinogenními, mutagenními a teratogenními účinky. Ve vodě nerozpustný (hydrofobní) respektive lipofilní (rozpustný v tuku) benzo(*a*)pyren, vznikající při nedokonalém spalovacím procesu (např. kouření, uzení masa apod.), se využívá ke stanovení zdravotního rizika. PAH jako je benzo(*a*)pyren způsobují poškození kůže zasažené těmito látkami a následně vystavené slunečnímu záření (fototoxicita) (Pavlíková et al. 2008). Ochranu buněk kůže před fototoxicitou, slunečním zářením a ultrafialovým zářením je tak možné zajistit přírodními karotenoidy a jejich dostatečným obsahem v lidské stravě.

### 3.11.3 Ochrana makuly (*macula lutea*)

Makula (*macula lutea*), nazývaná též žlutá skvrna, je místem nejostřejšího vidění v oku, odkud vede 130 milionů světelných tyčinek optické informace přímo do mozku (Jopp 2014).

Toto malé místo na sebe koncentruje největší množství uložených antioxidantů v celém těle, a sice proto, aby ochránilo sítnici oka před poškozením volnými radikály (Jopp 2014). Jopp (2014) uvádí, že ten, kdo se spolehne na nízké hodnoty DGE – referenční hodnota pro příjem živin (100 mg vitamínu C denně), nechrání svoje oči optimálně. Nejdůležitějšími mikroživinami pro oko jsou vitamíny C (kyselina L-askorbová) a E,  $\beta$ -karoten, selen a zinek. Ve žluté skvrně jsou uloženy především rostlinné látky lutein a zeaxantin (Jopp 2014). Lutein, zeaxantin, ale i meso-zeaxantin jsou dle Landrum & Bone (2001) hlavními složkami molekulárního pigmentu oka.

Landrum et al. (1999) uvádějí, že akumulovaný lutein a zeaxantin v makule člověka pozitivně koreluje se sníženým rizikem věkem podmíněné makulární degenerace (age-related macular degeneration – ARMD). Podle Krinsky et al. (2003) jsou lutein a zeaxantin dobře známé karotenoidy pro svou roli při ochraně oka před věkem podmíněnou makulární degenerací. Věkem podmíněná makulární degenerace je stav, který vede ke ztrátě zraku ve středu zorného pole v důsledku poškození oční sítnice.

Karotenoidy lutein a zeaxantin hromadí se v tzv. žluté skvrně na sítnici a v oční čočce jsou pro zrak a vidění velmi důležité. Lutein a zeaxantin se ukládají v oční sítnici, chrání ji před oxidačním poškozením a brání vzniku šedého zákalu (Englmaierová et al. 2019). Schopnost luteinu a zeaxantinu aktivně zachycovat singletový kyslík a volné radikály je považováno za jeden ze dvou hlavních mechanismů jejich příznivých účinků proti oxidačnímu poškození oka způsobenému světlem a zejména proti věkem podmíněné makulární degeneraci (Krinsky et al. 2003). Krinsky et al. (2003) uvádějí, že druhým hlavním mechanismem je jejich schopnost absorbovat modré světlo, a to zejména předtím, než poškodí fotoreceptorové buňky, což je také považováno za pasivní antioxidační účinek. Lutein a zeaxantin tak svými mechanismy chrání makulární oblast absorpcí světla na modrých vlnových délkách, které zasahují přímo do žluté skvrny (makuly) v oční sítnici (Haegerstrom-Portnoy 1988). Lutein hraje navíc důležitou roli v percepčním jevu, nazvaném Haidingerův snop, umožňující člověku spatřit a určit rovinu polarizovaného světla či směr rotace kruhově polarizovaného světla (Britton et al. 2009).

Důležitost těchto antioxidantů spočívá v ochraně oka před poškozením ultrafialovým zářením a následnou ztrátou zraku a snižováním rizika makulární degenerace a šedého zákalu.

Ve studiích od Cho (2004) se 118 000 účastníky bylo zjištěno, že především vysoký přísun ovoce a zeleniny snižuje riziko makulární degenerace až o 64 %.

Úroveň luteinu v lidské stravě nezbytná k prevenci makulární degenerace nebyla podle Landrum et al. (1997) jasně definována, ale doporučené hodnoty se pohybují v rozmezí od 10 do 20 mg denně (Landrum et al. 1999). U lidí konzumující méně než 1 mg luteinu a zeaxantinu denně, poskytuje jedno vejce obohacené o lutein denně ochranu oka před oxidačním stresem a rozvojem makulární degenerace související s věkem (Skřivan et al. 2016).

#### **3.11.4 Všeobecný účinek**

Marounek & Havlík (2020) uvádějí, že epidemiologické studie ukazují souvislost mezi příjmem karotenoidů a jejich akumulací v tkáních s možným vlivem na snížení rizika výskytu některých chronických degenerativních chorob spojených se západním stylem života. Dietní příjem potravin, bohatých na karotenoidy, je spojen s poklesem výskytu některých chronických chorob včetně rakoviny, kardiovaskulárních onemocnění a vyšším věkem podmíněné degenerace oční sítnice, v jejíž prevenci má hlavní vliv lutein a zeaxantin (Tapiero et al. 2004).

V současnosti se předpokládá, že karotenoidy se v organismu podílí jako antioxidanty s širokým potenciálem eliminovat volné radikály, což umožňuje velké množství dvojných vazeb v jejich molekule (Marounek & Havlík 2020). Karotenoidy a vitamin E jsou účinné antioxidanty, které chrání buněčné membrány a lipoproteiny v plazmě před reaktivními formami kyslíku (Diplock et al. 1998). Englmaierová et al. (2019) taktéž uvádějí, že karotenoidy jsou významnými antioxidanty, a proto tedy ovlivňují oxidační stabilitu žloutků a mohou tak prodloužit dobu skladování vajec.

Mimo roli karotenoidů jako přímých antioxidantů se v současné době spíše předpokládá, že hlavní efekt v metabolismu živočichů a člověka leží v ovlivňování buněčných signálů, cytokinů, expresi genů spojených s ovlivňováním civilizačních chorob, imunitní odpovědi a detoxikačních enzymů (Marounek & Havlík 2020).

Lidský organismus ale není schopen biosyntézy karotenoidů, a proto je odkázán na jejich příjem potravou, zejména v zelenině a ovoci, popř. v doplňcích stravy (Britton et al. 2009) nebo ve vejcích obohacených karotenoidy (= funkční potravina). Vyšší denní dávky karotenoidů než doporučené, získané ať už z potravy nebo z doplňků stravy, mohou oranžově zbarvit kůži, zvláště na dlaních a chodidlech (Jordán & Hemzalová 2001). Dle Jordána & Hemzalové (2001) je tento příznak neškodný a postupně vymizí, sníží-li se denní dávka karotenoidů ve stravě.



## 3.12 Vejce

V chovech drůbeže představují vejce výsledný produkt samičích pohlavních orgánů využívaný k reprodukci (násadová vejce) nebo pro lidský konzum (konzumní vejce) (Kodeš et al. 2003). Vejce se tedy využívají jednak k líhnutí mláďat a jednak jsou významnou potravinou.

Jako potravina mají vejce vysokou výživnou hodnotu, obsahují ve vhodném množství a poměru všechny důležité živiny a další potřebné látky nezbytné pro lidskou výživu (Tůmová 2011). Právě díky optimálnímu vzájemnému poměru jednotlivých složek živin a jejich dokonalou využitelností člověkem je v literatuře uváděno, že vejce mají vysokou biologickou aktivitu, která je dokonce vyšší než u masa nebo mléka. Stravitelnost vaječné bílkoviny je 98% a používá se jako referenční bílkovina (Zelenka et al. 2007). Podle Zelenky et al. (2007) má vejce rovněž vhodné složení mastných kyselin, ze kterých tvoří až 80 % příznivě působící nenasycené mastné kyseliny. Hlavní mastné kyseliny ve vaječném žloutku jsou olejová, palmitová, linolová, stearová, palmitoolejová, arachidonová, linolenová a dokosaheptaenová kyselina (Samman et al. 2009). Složení mastných kyselin ve vaječném žloutku závisí do značné míry na složení mastných kyselin v krmivu pro nosnice.

### 3.12.1 Cholesterol

Za problematický bývá podle Tůmové (2011) někdy označován ve vejcích obsah cholesterolu, který je 180 – 240 mg, tj. 60 % denní potřeby člověka. Na stranu druhou je však více než 60 % z celkového cholesterolu tvořeno estery nenasycených mastných kyselin, které jsou označovány jako tzv. dobrý cholesterol (Zelenka et al. 2007). Koncentrace cholesterolu ve vejci je možné do určité míry snížit výživou nebo selekcí (Stupka et al. 2013). Hladina cholesterolu ve žloutku (v průměru 210 mg/vejce) není silně geneticky podmíněná, ačkoli moderní hybridní linie mají tendenci produkovat vejce s nižším obsahem cholesterolu oproti tradičním plemenům (Elkin 2006).

Marounek & Havlík (2020) ve své literatuře uvádějí, že cholesterol je jednak součástí buněčných membrán a jednak je výchozí sloučeninou k syntéze steroidních hormonů, žlučových kyselin a vitamínu D<sub>3</sub>. Na jedné straně je cholesterol látkou, která pomáhá udržovat lidský život, je podstatnou složkou všech buněk, součástí buněčných membrán a prekurzorem pohlavních hormonů, ale na straně druhé je vysoký obsah cholesterolu v krvi zdravotně rizikovým faktorem. Při vyšetření lidské krve se stanovuje obsah LDL („škodlivý cholesterol“) a HDL („užitečný neboli hodný cholesterol“), který má schopnost odstraňovat cholesterol LDL, který se usazuje na cévních stěnách (Stupka et al. 2013).

Z hlediska spotřeby jsou dle Zelenky et al. (2007) nejvhodnější vejce čerstvá nebo krátkodobě skladovaná. Marounek & Havlík (2020) uvádějí, že příjem cholesterolu potravou ale má na cholesterolémii (koncentraci cholesterolu v krvi) menší vliv, než se soudí.

Zavádějící informace o nižší koncentraci cholesterolu ve vejcích křepelk, která se v literatuře často uvádí není pravdivá, protože množství cholesterolu je nižší pouze ve vztahu k hmotnosti vejce (křepelka 8 – 15 g, slepice 50 – 75 g) a při přepočtu na hmotnostní jednotku, např. na 1 kg vaječné hmoty je koncentrace cholesterolu téměř shodná (Stupka et al. 2013).

Největší změnou byla skutečnost, že novější epidemiologické studie poskytly důkazy o kontrole účinků cholesterolu na lidské zdraví, která by měla vést k lepšímu přijetí vajec v lidské stravě (Seuss-Baum 2007).

### 3.12.2 Produkce a tvorba vejce

Produkce vajec je výsledkem snášky, která vyjadřuje hlavně počet snesených vajec za určitou dobu, jejich hmotnost a kvalitu (Stupka et al. 2013).

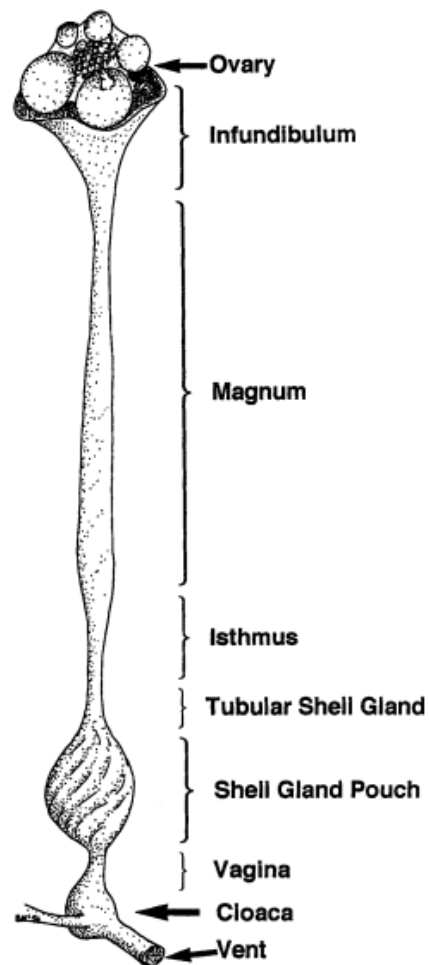
Příčinou toho, že slepice snáší vejce po celý rok, skoro každý den jedno vejce a bez přítomnosti kohouta (s výjimkou některých přírodě dosud nevzdálených plemen), je šlechtění. Množství vajec, které slepice za svůj život snese, je pevně dáno už v okamžiku, kdy se sama vyklube z vejce. Slepice má totiž už při narození omezenou zásobu vaječných buněk, která může být u výkonných nosnic spotřebována za několik let (Verhoef 2005).

Na tvorbě vejce se podílejí vaječník (*ovary, ovarium*) hroznovitého tvaru a u slepic 60 cm dlouhý vejcovod (*oviductus*) v podobě roztažitelné zřasené trubice (viz Obrázek č. 14).

Vlastním vajíčkem (samičí pohlavní buňkou) je žloutek, protože ten se vytváří na vaječníku. Ostatní části vejce se tvoří ve vejcovodu. Vaječník se vyvíjí od 3. dne embryonálního vývoje do diferenciaci pohlaví (5. – 6. den inkubace) jako párový orgán, později se vyvíjí pouze levý vaječník. Podobně jako vaječník je i vejcovod vyvinut pouze levý (Stupka et al. 2013). Pravý vaječník a pravý vejcovod se při komerčním snášení u slepic nevyvíjejí (Roberts 2004). Funkcí vejcovodu je zachycení ovulovaného vajíčka (žloutkové koule) do nálevky vejcovodu (*infundibulum*) a tvorba dalších částí vejce, včetně bílků v bílkotvorných kličkách (*magnum*) vejcovodu (Stupka et al. 2013) a vaječných blan (vnitřní a vnější) v krčku (*isthmus*) vejcovodu.

Samotná skořápka vzniká v děloze (části *tubular shell gland* a *shell gland pouch* na Obrázku č. 14). Dle Stupky et al. (2013) je hlavním stavebním kamenem skořápky anorganický uhličitan vápenatý ( $\text{CaCO}_3$ ), následovaný uhličitanem hořečnatým ( $\text{MgCO}_3$ ),

fosforečnanem vápenatým ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) a fosforečnanem hořečnatým ( $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ ). Organická matrice skořápky se skládá z plášťových membrán, mamilárního jádra, skořepinové matrice a kutikuly (Roberts 2004). V pochvě (*vagina*) vznikající kutikula je průhledná blána na povrchu skořápky, která má význam při snesení vejce a po zaschnutí brání pronikání mikroorganismů a nečistot do vejce, protože překrývá póry ve skořápce (Stupka et al. 2013). Na samotný konec proběhne pomocí pochvy a kloaky (*cloaca*) snesení vytvořeného vejce do vnějšího prostředí.



Obrázek č. 14: Slepíčí vaječník (*ovary, ovarium*) a vejcovod (*oviductus*)  
(Roberts 2004)

Tvorba vejce se u drůbeže řídí procesy, které jsou společné pro všechny druhy. Celková doba tvorby vejce činí 22 – 28 hodin, tj. doba od ovulace vajíčka na vaječníku do snesení vejce. Délka tvorby vejce není vždy stejná, záleží na jeho pořadí v cyklu a v sérii. První vejce bývá sneseno ráno, u každého dalšího vejce se doba snesení posouvá o 10 – 30 minut (Tůmová 2011).

V kterékoliv z několika fází tvorby vejce – složitého procesu formování vnitřních složek vejce a skořápky, mohou nastat problémy, které se projeví ve výsledné kvalitě (Roberts 2004).

### 3.12.3 Složení vejce

Kodeš et al. (2003) uvádí, že vejce je složeno z:

- pevného obalu – skořápky, tvořené vrstvami (mamilární a palisádovou) krystalů vápence, které jsou z vnitřku lemovány podskořápkovými blánami a z vnějšku kryty kutikulou,
- různě hustého bílku, tvořeného koloidním roztokem bílkovin,
- různě intenzivně zbarveného a vrstveného žloutku, jehož sušina je tvořena z 1/3 bílkovinami a ze 2/3 tukem.

Vejce obsahují zhruba 40 bílkovin. Nejhodnotnější bílkovinou, která představuje až 50 % ze všech bílkovin vejce, je ovoalbumin. Další vaječné bílkoviny jsou ovotransferin (13 %), globuliny (8 %), ovomucin, imunoglobulin, lysozym a další (Stupka et al. 2013).

Téměř všechny vaječný tuk je obsažen ve žloutku. Žloutek je důležitým zdrojem energie, protože tuky tvoří přibližně 60 % jeho sušiny. Slepíčí vejce je bohatým a důležitým zdrojem esenciálních mastných kyselin, zejména kyseliny linolové, při cíleném složení krmné směsi kyseliny  $\alpha$ -linolenové a kyseliny olejové, která má významné zastoupení ve zdravé výživě a prevenci chorob člověka (Stupka et al. 2013). Lipidy vaječného žloutku jsou hodnotné příznivou skladbou mastných kyselin, mezi nimiž jsou v poslední době zdůrazňovány polyenové mastné kyseliny řady n-3 a n-6 i jejich výhodný vzájemný poměr (Tůmová 2011). Celkově je skladba vaječného tuku s vyšším podílem nenasycených mastných kyselin a fosfolipidů lepší a pro člověka cennější než u většiny živočišných tuků (Stupka et al. 2013).

Většina sacharidů je ve vejci obsažena v bílku a jejich celkový obsah představuje 1 % hmotnosti celého slepičího vejce (Stupka et al. 2013).

Podle Stupky et al. (2013) jsou téměř veškeré vitaminy rozpustné v tucích (A, D, E a K) obsaženy ve vaječném žloutku a ten jen zdrojem většiny nezbytných vitaminů. Z vitaminů není ve vejci přítomen vitamin C (Kodeš et al. 2003).

Minerální látky se ve vejcích vyskytují ve formě volné (sodík, draslík, chlór) nebo vázané na bílkoviny a fosfolipidy. Vejce je důležitým zdrojem fosforu, železa, zinku, mědi, síry, hořčíku a dalších prvků (Stupka et al. 2013). Koncentrace těchto látek je vyšší v bílku.

Z nutričního hlediska jsou vejce cennou a plnohodnotnou potravinou pro lidskou výživu, která bývají negativně hodnocena pouze pro svůj obsah cholesterolu, jehož vliv však v současné době není tak negativní, jak se od nedávna uvádělo (Stupka et al. 2013; Tůmová 2011).

### 3.12.4 Komponenty vejce

Základní částí vejce je žloutek, kulovitého tvaru a průměru 3,5 – 4 cm, jehož podíl se pohybuje mezi 30 – 35 % a nacházejí se v něm především tuky a bílkoviny. Tuky jsou přítomny zejména ve formě lipoproteinových komplexů, ze kterých připadá 60 % na fosfolipidy (lecitin, kefalin, sfingomyelin), 36 % na triglyceridy a 4 % na cholesterol. Bílkoviny žloutku jsou především lipoproteiny obsahující zejména albumin. Se stářím vejce ztrácí žloutek svou pružnost a pevnost (Tůmová 2011)

Kolem žloutku se ukládá v jednotlivých vrstvách bílek, jehož podíl bývá v rozmezí 52 – 58 %. Bílek je vodný roztok více než 40 bílkovin, které tvoří až 92 % celkové sušiny bílku (Tůmová 2011). Dle Stupky et al. (2013) je bílek tvořen 4 vrstvami: chalázový bílek (3 %), vnitřní řídký bílek (17 %), vnější tuhý bílek (57 %) a vnější řídký bílek (23 %). Vnitřní a vnější řídký bílek obsahují velký podíl bílkovin rozpustných ve vodě. Podíl těchto vrstev se zvyšuje zejména během skladování vajec v důsledku rozkladu tuhého bílku (Tůmová 2011).

Zbývajících 9 – 14 % připadá na skořápku a vaječné blány – vnitřní a vnější podskořápečné (0,5 %). Skořápka obsahuje zejména minerální látky (98 %) a vodu (2 %). Barva skořápky, jejíž koncentrace je vyšší především na vnější vrstvě, je způsobena pigmenty ze skupiny ovoporfynů, které se syntetizují v děloze. Kutikula na povrchu skořápky brání pronikání mikroorganismů a má význam pro uchování kvality (Tůmová 2011).

Podrobnější údaje o jednotlivých částech vejce, jejich procentuálním zastoupení a chemickém složení celého slepičího vejce přináší Tabulka č. 5.

Tabulka č. 5: Chemické složení vejce kura domácího (%) (Kodeš et al. 2003)

Jednotlivé části vejce a procentuální zastoupení	Voda	Sušina	Bílkoviny	Tuky	Sacharidy	Minerální látky
Skořápka (10 %)	1,6	98,4	3,3	stopy	–	95,1
Bílek (60 %)	88,0	12,0	10,6	stopy	0,9	0,5
Žloutek (30 %)	48,7	51,3	16,6	32,6	1,0	1,1
Vaječná hmota (90 %)	73,6	26,4	12,8	11,8	1,0	0,8
Vejce ve skořápce (100 %)	65,6	34,4	12,1	10,5	0,9	10,9

### 3.13 Kvalitativní parametry vejce

Hodnota konzumních vajec je dána zejména obsahem živin, jejich stravitelností a senzorickými vlastnostmi. U vajec se posuzuje technologická hodnota vajec vyjadřující jejich vnitřní a vnější kvalitu. Z vnějších vlastností se při technologické hodnotě posuzuje hmotnost vajec, jejich tvar a vlastnosti skořápky. Vnitřní kvalitu vejce vyjadřují vlastnosti bílku a žloutku (Tůmová 2011). Mimo základní technologické kvalitativní hodnocení vajec existuje i mnoho subjektivních a objektivních metod pro stanovení funkční kvality vajec a vaječných výrobků.

Při současné nadprodukcí vajec je jednou z možností, jak ovlivnit spotřebu a následně i produkci konzumních vajec, zvyšování nutriční hodnoty (= vejce jako funkční potravina). Existuje řada nutričních faktorů, které mohou ovlivnit kvalitu vejce. Zejména se jedná o obsah vaječných bílkovin a složení aminokyselin, obsah tuků a profil mastných kyselin a obsah vitaminů a minerálních látek (Tůmová 2011). Hlavní prioritou pro všechny chovatele drůbeže, farmáře, potravináře, jednotlivé třídičky vajec a marketingové společnosti je spotřebitelům dodávat bezpečný produkt, který jimi bude akceptován. Konkrétně nutriční hodnota vajec obohacených o zvláštní živiny, jako jsou aminokyseliny, mastné kyseliny, vitaminy, stopové prvky nebo pigmenty karotenoidy, je důležitá pro některé specializované trhy.

Kvalitní vejce by nemělo obsahovat vnitřní skvrny, jako jsou krevní skvrny, pigmentové skvrny a skvrny masové (Roberts 2004). Výskyt krevních (nejčastěji na žloutku) a masových (častěji v bílku) skvrn ve vejcích je ovlivněn především genotypovou příslušností nosnic, kdy u bělovaječných nosnic se krevní a masové skvrny vyskytují u 1 – 3 % vajec, zatímco u hnědovaječných nosnic až u 10 – 15 % vajec (Stupka et al. 2013).

#### 3.13.1 Hmotnost vajec

Hmotnost vajec je kvantitativní vlastnost a je závislá na mnoha faktorech. V průběhu domestikace se vlivem zlepšených životních podmínek a selekce hmotnost vajec zvyšovala (Tůmová 2011). Hmotnost vajec je závislá na druhu drůbeže, popř. na užitkovém typu (Stupka et al. 2013). Hmotnost vajec slepic nosného typu je 58 – 64 g, a je variabilní vlastností, která je závislá na faktorech vnitřní a vnější povahy. Bělovaječné nosnice jsou lehčího typu, odvozené od leghornky bílé, a snášejí vejce o průměrné hmotnosti 57 – 61 g, zato nosnice, které snášejí vejce s hnědou skořápkou, jsou těžší a jejich vejce dosahují hmotnosti 60 – 63 g (Tůmová 2011). Z faktorů ovlivňujících hmotnost sneseného vejce Tůmová (2011) uvádí: věk drůbeže, pořadí vejce v sérii, dobu snesení během dne, selekci (vliv genotypu), výživu a v neposlední řadě teplotu. Podle hmotnosti se vejce třídí do čtyř hmotnostních skupin (viz Tabulka č. 6).

### 3.13.2 Tvar vajec

Tvar vajec, který udává vyrovnanost tvaru, má praktický význam při balení a transportu vajec (Stupka et al. 2013), protože ovlivňuje mechanickou pevnost vajec (Tůmová 2011). Při transportu tvarově nevyrovnaných vajec vznikají ztráty jejich rozbitím. Proto je pro manipulaci s vejci třeba co nejuniformnější tvar. Tvar vajec je ovlivňován druhem drůbeže, genotypem a liniemi (Tůmová 2011). Stupka et al. (2013) uvádějí, že tvar vejce se vyjadřuje indexem tvaru.

$$\text{Index tvaru vejce} = \frac{\text{šířka vejce (mm)}}{\text{délka vejce (mm)}} * 100 (\%)$$

Optimální hodnoty indexu tvaru vejce jsou 73 – 75 % (Stupka et al. 2013). Tvar vejce se podle Tůmové (2011) mění zejména během snáškového cyklu, kdy na začátku snášky ještě nemají vejce typický vejčitý tvar, jsou kulatější a s postupující snáškou se prodlužují.

### 3.13.3 Kvalita žloutku

Kvalita vaječného žloutku se vyjadřuje jeho hmotností nebo procentuálním podílem z celého vejce (Tůmová 2011), jeho výškou, barvou, pH a pevností vitelinní (žloutkové) membrány. Pokud je žloutek obklopující vitelinní membrána slabá (jako např. ve starém vejci), žloutek se zlomí snadněji (Kirunda & McKee 2000), resp. po rozbití vejce snadněji praskne.

Významným ukazatelem kvality je tvar žloutku vypočítávaný jako index tvaru žloutku, který se stanoví z výšky a průměru žloutku (Tůmová 2011). Výška žloutku se měří pomocí mikrometrické hlavice a čím je výška žloutku vyšší, tím je vyšší jakost a čerstvost vejce. Výška žloutku je u čerstvých vajec nad 16 mm a klesá stářím a vlivy uchování pod 14 mm.

$$\text{Index tvaru žloutku} = \frac{\text{výška žloutku}}{\text{průměr dvou na sebe kolmých měření délky žloutku}} * 100 (\%)$$

Výška žloutku a průměr dvou na sebe kolmých měření délky žloutku se udávají v mm. Optimální hodnoty indexu tvaru žloutku jsou u čerstvých vajec 34 – 45 % (Stupka et al. 2013). Čím je hodnota indexu vyšší, tím je žloutek čerstvější. Index žloutku se snižuje stářím vajec v důsledku chemických a fyzikálních změn. Během skladování dochází k prostupování vody z bílku do žloutku, sušina žloutku klesá a žloutek ztrácí svůj tvar a zplošťuje se (Tůmová 2011).

Při metodách, kdy se prosvícuje vejce, by měl být žloutek uprostřed vejce a nepohyblivý. Změny ve struktuře bílku v průběhu skladování vedou k vychylování žloutku ze středové polohy a žloutek se přibližuje směrem ke skořápce (Tůmová 2011).

Barva žloutku je ovlivněna pigmenty, přírodního nebo syntetického původu, jejichž hlavním zdrojem jsou krmiva. Podle Tůmové (2011) mohou některá krmiva negativně ovlivnit barvu žloutku (např. bavlníková moučka a její složka gosypol způsobují olivové zbarvení). Barevný tón žloutku se posuzuje subjektivně (škála barev), objektivně fotokolorimetricky (fotokolorimetr) nebo objektivně spektrofotometricky (spektrofotometr). Tůmová (2011) uvádí, že nejčastěji se hodnotí subjektivně porovnáním s barevnou stupnicí, kdy nejběžněji používanou stupnicí je standard Hoffman-La Roche (RYCF – Roche Yolk Color Fan).

### 3.13.4 Kvalita bílku

Kvalita bílku se opět vyjadřuje jeho hmotností nebo procentuálním podílem z celého vejce, jeho výškou a hodnotou pH. Kvalita bílku je posuzována především podle vnějšího hustého bílku. Hmotnost a podíl vnějšího hustého bílku závisí na věku nosnice, stáří vajec a vnějších podmínkách (Tůmová 2011). Výška bílku se měří pomocí mikrometrické hlavice a čím je výška bílku vyšší, tím je vyšší jakost a čerstvost vejce. Výška bílku je u čerstvých vajec nad 5 mm, u starých vajec klesá pod 2 mm. Tvar bílku se hodnotí indexem tvaru bílku především vnějšího tuhého (Stupka et al. 2013).

$$\text{Index tvaru bílku} = \frac{\text{výška bílku (mm)}}{\text{průměr největší šířky a délky bílku (mm)}} * 100 (\%)$$

Optimální hodnoty u čerstvých vajec jsou 5 – 12 % (Stupka et al. 2013). Tůmová (2011) uvádí, že během stárnutí se uvolňuje oxid uhličitý, čímž se zvyšuje pH bílku a mění se struktura bílku (bílek řídne, roztéká se a jeho výška klesá).

Přesnějším a také jedním z nejrozšířenějších ukazatelů kvality bílku jsou Haughovy jednotky (HU). Hodnoty Haughových jednotek se staly jedním z nejuznávanějších způsobů hodnocení kvality vajec. Haughovy jednotky, které pro kvantifikaci kvality vajec zavedl Raymond Haugh v roce 1937, vyjadřují jakost vejce na základě vztahu mezi výškou bílku a hmotností vejce (Stupka et al. 2013). V současné době se tyto jednotky stanovují přístrojově.

$$HU = 100 \log (v - 1,7 H_{0,37} + 7,6)$$

Malé písmeno „v“ představuje ve vzorci výšku vnějšího tuhého bílku a velké písmeno „H“ hmotnost vejce. Hodnoty Haughových jednotek se pohybují v rozmezí 20 – 100, kdy vyšší hodnoty znamenají vyšší kvalitu vajec. Čerstvá vejce nejvyšší jakosti mají HU 72 a vyšší. Za dobrou až ještě přijatelnou kvalitu lze považovat HU v rozmezí 60 – 72 (Tůmová 2011).



Jednotky výšky bílku a hodnoty Haughových jednotek klesají s dobou skladování a při vyšších teplotách (Roberts 2004). Zjišťování výsledků Haughových jednotek je citlivé na teplotu, a proto by testy na vejcích měly probíhat v přísném teplotním rozsahu. United States Department of Agriculture (2000) specifikuje testovací teplotu vajec v rozmezí 7,2 – 15,6 °C.

Pro stanovení funkční kvality vajec a vaječných výrobků se kvalita bílku technologicky hodnotí a posuzuje na základě šlehatelnosti bílku a trvanlivosti vzniklé pěny. Šlehání je dle Baniel et al. (1997) často používáno pro funkční analýzu bílku, ve které se hodnotí výška vyšlehané pěny při určitém objemu bílku, čas šlehání a následně stabilita vzniklé pěny. Tyto parametry, které mají velký význam obzvláště pro cukráře se dle Tůmové (2011) vyjadřují za pomoci indexů a závisejí především na stáří vejce (vyšších hodnot dosahují vejce čerstvá).

$$\text{Šlehatelnost bílku} = \frac{\text{objem bílku po našlehání (ml)}}{\text{objem bílku před našleháním (ml)}}$$

$$\text{Trvanlivost pěny} = \frac{\text{objem ihned po našleh. (ml)} - \text{objem po 30 min. po našleh. (ml)}}{\text{objem bílkové pěny po 30 min. po našlehání (ml)}}$$

Průměrná hodnota indexu šlehatelnosti bílku je 6,0 (rozmezí 200 – 400) a indexu trvanlivosti bílkové pěny 0,6 (rozpětí 15 – 90). Při vyšších hodnotách pH se šlehatelnost bílku zhoršuje, ale na druhou stranu se trvanlivost pěny zlepšuje. Index šlehatelnosti bílku pozitivně ovlivňuje zvýšení teploty a trvanlivost pěny se zvyšuje přidávkem cukru.

Při hodnocení kvality žloutku a bílku se může měřit ještě pH za pomoci pH metru. Žloutek čerstvě sneseného vejce dosahuje hodnoty 6 pH a během skladování se zvyšuje na 6,3 – 6,8 pH. Bílek čerstvě sneseného vejce dosahuje hodnoty 7,6 pH a během několika dní po snesení vzrůstá na 9,5 pH díky uvolňování CO<sub>2</sub> z bílku. Čím je hodnota pH žloutku a bílku nižší, tím je vyšší jakost a čerstvost vejce. Hodnota pH vajec se mění během skladování, ale také v případě přítomných prasklin (Romanoff & Romanoff 1949).

### 3.13.5 Kvalita skořápky

Kvalita skořápky má význam z hlediska ekonomiky produkce, protože 6 – 8 % vajec má defektní skořápku a představují pro chovatele ztrátu (Tůmová 2011). Kvalita skořápky je dána zejména hmotností, tloušťkou a pevností skořápky.

Hmotnost, respektive podíl skořápky, jsou přímo úměrné velikosti vajec a tloušťce skořápky (Tůmová 2011). Specifickou měrnou hmotnost (hustotu) skořápky je možné měřit ponořením vajec do nádoby se slanou vodou. Hodnoty u vajec jsou v rozmezí 1,065- 1,100 (ρ).

Tloušťka skořápky se u slepic pohybuje v rozmezí 0,30 – 0,42 mm. Skořápka není rovnoměrně silná, tenčí je v ekvatoriální rovině a silnější na koncích (nejsilnější na ostrém konci) (Tůmová 2011). Tloušťka skořápky v mm se měří pomocí mikrometru a podle Stupky et al. (2013) bez podskořápečných blan. Podle Tůmové (2011) má na kvalitu skořápky významný vliv výživa, zejména obsah Ca a poměr Ca : P v krmné směsi. Dle Roberts (2004) obsahuje každá vaječná skořápka až 3 g vápníku, a proto musí výživa slepic obsahovat dostatečné množství vápníku ve formě, kterou lze efektivně využít. Poměr vápníku a fosforu je ve stravě důležitý, protože vysoké hladiny fosforu mohou narušovat absorpci vápníku ze střev, což má za následek sníženou kvalitu skořápky (Boorman & Gunaratne 2001). Navíc úvahy o životním prostředí vedly dle Roberts (2004) k tlaku na minimalizaci úrovně fosforu ve stravě, zejména v některých hustě obydlených zemích. Na výslednou kvalitu skořápky mají vliv i určité vitaminy (např. vitamin D, vitamin E, vitamin C), kvalita vody, obsah neškrobových polysacharidů v dietě, mykotoxiny v krmivu nebo enzym fytáza (látka bílkovinného charakteru), který se v drůbeží stravě používá k uvolňování organicky vázaného fosforu na fytát (kyselina fytová) v rostlinných zdrojích (Roberts 2004). Za normálních okolností 30% využitelnost fosforu z rostlinných zdrojů (např. pšenice) je po přidání enzymu fytázy významně zvýšena. Tloušťka skořápky (300 – 390  $\mu\text{m}$ ), s ohledem na značný (12 – 15 %) podíl mechanicky poškozených vajec u slepic za snáškové období, patří k nejdůležitějším technologickým vlastnostem a je ovlivňována jak celým spektrem vlivů souvisejících se zvířetem a chovatelským prostředím, tak s živinovou vyvážeností krmných diet (Kodeš et al. 2003).

Nejdůležitější technologickou vlastností je pevnost vaječné skořápky, protože podmiňuje odolnost vůči poškození. Pevnost závisí na stavbě skořápky, tloušťce, struktuře a kompaktnosti (Tůmová 2011). Stupka et al. (2013) uvádí, že pevnost lze stanovit přímými (nedestruktivní v mm a destruktivní v  $\text{g}/\text{cm}^2$ ) a nepřímými metodami, jejichž použití vyžaduje dle Roberts (2004) speciálního vybavení. U destruktivní (destruktivní) metody se měří síla (tlak) potřebná k prasknutí skořápky a u nedestruktivní (nedestruktivní) metody se měří deformace (prohnutí) skořápky při určitém zatížení (Tůmová 2011). Nepřímé metody jsou založeny na korelaci mezi pevností a jinými ukazateli. Nejčastěji se však pevnost skořápky měří kvazistatickou kompresí, při které je vejce stlačeno za kontrolovaných podmínek, dokud nepraskne nebo se nerozlije (Tyler 1961). Pevnost skořápky je poměrně vysoká a vydrží zatížení 3 až 4  $\text{kg}/\text{cm}^2$ . Vejce s hnědou skořápkou od hnědovaječných slepic mají často pevnější skořápku než vejce s bílou skořápkou od bělovaječných slepic i přesto, že bílá vejce mají skořápku silnější (Tůmová 2011).

Barva skořápky může být bílá, hnědá nebo modrá, je kontrolována několika geny, které regulují ukládání pigmentu a na vnitřní kvalitu vejce ani na kvalitu skořápky nemá vliv (Tůmová 2011). V Evropě jsou více oblíbená vejce s hnědou skořápkou, což pravděpodobně souvisí s tím, že tato vejce jsou větší (Tůmová 2011) a jejich skořápka je pevnější. Barva skořápky se stanovuje pomocí kolorimetru nebo spektrofotometru.

Mezi obecné faktory ovlivňující kvalitu nejen vaječné skořápky, ale i ostatních komponent vejce, patří podmínky skladování, kmen ptáků, jejich věk, období pelichání, výživa, požití kontaminujících látek, stres včetně stresu tepelného a oxidačního, nemoci, produkční systém a proprietární produkty (jako jsou např. minerály zinek nebo mangan) atd.

### 3.14 Značení a jakostní třídění vajec

Od 1. 1. 2004 musí být každé jednotlivé vejce na trhu v Evropské unii označeno na skořápce rozlišovacím číslem. Označení musí jasně ukázat, kde a za jakých podmínek bylo vejce vyrobeno. Vejce musí být označeno již na farmě, kde bylo vyprodukováno, třídění a balení vajec už může být provedeno na jiném pracovišti (Stupka et al. 2013).

Rozlišovací číslo, kterým je vejce označeno se skládá z číslice uvádějící produkční systém chovu drůbeže, kód členské země a identifikační číslo výrobního zařízení, které stanovují jednotlivé členské státy:

- Kód pro systém chovu: 0 – ekologický chov (organický, BIO)  
1 – chov ve volném výběhu  
2 – halový chov  
3 – klecový chov
- Kód země – CZ (Česká republika), SK (Slovensko), PL (Polsko), DE (Německo) apod.
- Kód farmy – rozlišovací číslo hospodářství, v ČR je přidělováno z ústřední evidence hospodářských zvířat, číslo je čtyřmístné
- Kód haly na farmě – v ČR není povinné.

Dle vyhlášky č. 69/2016 Sb., o požadavcích na maso, masné výrobky, produkty rybolovu a akvakultury a výrobky z nich, vejce a výrobky z nich, která je součástí zákona č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů, jsou slepičí vejce rozlišovány na dvě jakostní kategorie vajec.

Vejce třídy A (resp. I. třída jakosti) jsou určena pro maloobchodní prodej a vejce třídy B (resp. II. třída jakosti) jsou určena pro průmyslové zpracování (potravinářský či jiný průmysl).

I. třída jakosti – vejce třídy A neboli „čerstvá“ se dělí na dvě podskupiny s označením:

- čerstvá vejce EXTRA A
- čerstvá vejce A

II. třída jakosti – vejce třídy B

Čerstvá vejce třídy A musí podle zákona splňovat minimální charakteristiku následujících kritérií. Škořápka a podškořápečné blány musí být normální, čisté a nepoškozené. Vzduchová bublina musí být nepohyblivá a její výška nesmí přesahovat 6 mm. U vajec určených k označení „čerstvá vejce EXTRA A“ nesmí vzduchová bublina přesáhnout 4 mm a tyto vejce mohou být nabízena pouze 9 dní ode dne snesení a třídění. Dále musí mít vejce třídy A bílek průhledný, čirý, želatinové konzistence a bez cizích látek jakéhokoliv druhu. Žloutek musí být při prosvětlení viditelný pouze jako stín, bez zřetelně rozeznatelných obrysů, při otáčení se výrazně nevzdalující od středu vejce, bez cizích látek jakéhokoliv druhu, s nepostřehnutelným vývojem zárodka a bez cizího pachu. Vejce třídy A se po třídění neomývají, ani jiným způsobem nečistí, nekonzervují, ani uměle nechladí pod 5 °C. Vejce jsou uchovávána a přepravována v suchu při nekolísavé teplotě 5 °C až 18 °C nejvýše, rovněž musí být celou dobu chráněna před sluncem. Vejce jakostní třídy A a EXTRA A musí být hmotnostně tříděna do hmotnostních skupin.

Vejce II. třídy jakosti s označením vejce třídy B, určená pro potravinářské nebo jiné průmyslové zpracování, jsou vejce, která nesplňují kritéria pro jakostní třídu A. Tato vejce mohou být určena pouze podnikům potravinářského nebo nepotravinářského průmyslu. Vejce jakostní třídy B nemusí být hmotnostně tříděna do hmotnostních skupin.

Minimální trvanlivost slepičích vajec konzumních je 28 dnů od snesení a zatřídění v třídírnách za předpokladu správného skladování. Značení hmotnosti vajec v podobě velkých písmen se uvádí i na spotřebitelském obalu vajec. Hmotnostní třídění vajec uvádí Tabulka č. 6.

Tabulka č. 6: Hmotnostní třídění vajec (Stupka et al. 2013)

Označení skupiny hmotnosti vejce	Hmotnost vejce
XL – velmi velká	73 g a více
L – velká	63 g – 72 g
M – střední	53 g – 62 g
S – malá	menší než 53 g



## 4 Metodika

Ve Výzkumném ústavu živočišné výroby, v. v. i. v Praze Uhřetěvesi proběhla řada pokusů s náhradou syntetických karotenoidů v krmných směsích drůbeže přírodními zdroji luteinu a zeaxantinu, včetně pokusu s novou odrůdou pšenice PEXESO, jehož dílčí výsledky jsou uvedeny v této bakalářské práci. Tento pokus probíhal v oddělení fyziologie výživy a jakosti produkce Výzkumného ústavu živočišné výroby, v. v. i. v Praze Uhřetěvesi.

V krmných směsích pro slepice byla srovnávána pšenice PEXESO se zvýšeným obsahem karotenoidů luteinu a zeaxantinu s pšenicí TERCIE (obyčejnější odrůda pšenice). Oba tyto genotypy pšenice byly vyšlechtěny českou firmou Selgen, a.s. a poskytnuty zdarma k pokusům s drůbeží ve Výzkumném ústavu živočišné výroby, v. v. i. v Praze Uhřetěvesi.

Pšenice genotypu PEXESO je registrovaná odrůda jarní pšenice firmy Selgen, a.s. Jedná se o intenzivně odnožující odrůdu se středně dlouhým stéblem (90 – 92 cm) jakostní třídy A vhodnou pro intenzivní pěstování. Tato odrůda pšenice má vysoký obsah karotenoidů, konkrétně luteinu 2x více než běžné odrůdy. Jakostně se tato odrůda hodí ke zpracování na výrobu pečiva a těstovin (žlutý nádech pečiva a těstovin) a na krmení. Mezi jakostní ukazatele patří vysoká a stabilní objemová hmotnost (cca 820 g/l), vysoký objem pečiva – velmi vysoká hodnota Zelenyho testu (62 ml), vysoký obsah dusíkatých látek (13,6 %), vysoká vaznost mouky, stabilní číslo poklesu a střední až vyšší hmotnost 1000 zrn/g (HTS 43 g). PPS (počet produktivních stébel na m<sup>2</sup>) se rovná hodnotě 613. Klíčovými vlastnostmi této odrůdy jsou stabilní výnos zrna ve všech oblastech pěstování (103 %), snášení nízkých teplot, vhodnost pro rané setí, velmi dobrý zdravotní stav, střední odolnost vůči poléhání a odolnost ke rzi pšeničné a plevelové. Vysoce odolává braničnatce, rzi pšeničné a plevelové, padlí pšenice v klasu, komplexu listových skvrnitostí a středně pak odolává padlí pšenice na listu. V zahraničí (Irsko, Anglie) má tato odrůda pšenice výborné výsledky. Charakteristika pšenice genotypu PEXESO byla převzata od Hořčíčky et al. (2018), Selgen, a.s. Stupice.

Odrůda pšenice PEXESO má zvýšenou koncentraci karotenoidů luteinu a zeaxantinu, a proto můžeme hypoteticky předpokládat vliv vyšší koncentrace luteinu a zeaxantinu v této odrůdě pšenice na užítkovost slepic a kvalitu vajec.

Cílem tohoto pokusu bylo zjistit vliv zvýšené koncentrace karotenoidů luteinu a zeaxantinu ve vybrané odrůdě pšenice PEXESO na užítkovost nosnic a kvalitu vajec – zahrnující jejich technologickou hodnotu, obsah karotenoidů v lyofilizovaných žloutcích a oxidační stabilitu žloutku v miligramech malondialdehydu (MDA) na kilogram žloutku.

## 4.1 Metodika experimentu

### 4.1.1 Slepice, pšenice PEXESO v krmných směsích pro slepice, ustájení

Do pokusu s pšenicí PEXESO bylo zařazeno 240 nosnic Lohmann Brown ve věku 42 týdnů. Lohmann Brown je řada nosnic hnědého odstínu peří, která byla speciálně pro produktivitu snášení vajec selektivně vyšlechtěna z linií plemen Rhode Island a White Rock. Tyto nosnice byly ustájeny v obohacených klecích a zařazeny do 4 skupin dle odrůdy pšenice (pšenice TERCIE a pšenice PEXESO se zvýšeným obsahem luteinu a zeaxantinu) a dle zdroje tuku (řepkový olej a vepřové sádlo) v krmné směsi (viz Tabulka č. 7). Důvodem zařazení obou tuků bylo, že z důvodu dosažení normované potřeby metabolizovatelné energie je nezbytné přidávat do krmných směsí pro drůbež tuk. Dnes je to převážně živočišný tuk, méně i rostlinné oleje. V každé skupině bylo 6 opakování (podskupin) po deseti slepicích, tzn. že slepice byly umístěny vždy po deseti kusech/klec a celkem tak do 6 klecí na skupinu. Ve všech krmných směsích v pokusu bylo 61 % pšenice jednoho nebo druhého genotypu (TERCIE × PEXESO).

Pro tento pokus byly sestaveny vlastní receptury a krmné směsi pro drůbež byly namíchány ve státním podniku Mezinárodní testování drůbeže, s. p. v Ústrašicích.

Tabulka č. 7: Schéma pokusu

Skupina	Počet slepic	Odrůda pšenice	Zdroj tuku
1	60	TERCIE	Řepkový olej
2	60	TERCIE	Vepřové sádlo
3	60	PEXESO	Řepkový olej
4	60	PEXESO	Vepřové sádlo

Technologické a mikroklimatické podmínky ustájení odpovídaly technologickému postupu daného hybrida Lohmann Brown. Délka světelného dne byla 16 hodin (02:30 – 18:30) a slepice byly krmeny *ad libitum*. Složení krmné směsi uvádí Tabulka č. 8.

Denně byl sledován zdravotní stav slepic a počet uhynulých kusů. Snáška byla evidována denně, příjem krmiva týdně, všechna vejce byla vážena týdně, 2x během pokusu byla u všech vajec laboratorně stanovena jejich technologická hodnota, 2x byla sbírána vejce a brány vzorky krmných směsí na chemické analýzy. Rozbory byly realizovány v laboratoři VÚŽV. Obsah některých analyticky stanovených živin, včetně karotenoidů, je uveden v Tabulce č. 9.

Tabulka č. 8: Složení krmné směsi

<b>Komponenta (%)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Pšenice TERCIE	60,91	60,91	–	–
Pšenice PEXESO	–	–	60,91	60,91
Sójový extrahovaný šrot	24,80	24,80	24,80	24,80
Řepkový olej	3,00	–	3,00	–
Vepřové sádlo	–	3,00	–	3,00
Dihydrogenfosforečnan vápenatý	1,20	1,20	1,20	1,20
Chlorid sodný	0,19	0,19	0,19	0,19
Uhličitan sodný	0,26	0,26	0,26	0,26
Vápenec drcený	9,05	9,05	9,05	9,05
DL-Methionin	0,09	0,09	0,09	0,09
Vitamino-minerální doplněk	0,50	0,50	0,50	0,50

Tabulka č. 9: Obsah dusíkatých látek, metabolizovatelné energie a karotenoidů luteinu a zeaxantinu v krmných směsích

<b>Krmná směs</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
<b>Odrůda pšenice</b>	TERCIE		PEXESO	
<b>Zdroj tuku</b>	ŘO	VS	ŘO	VS
Dusíkaté látky (%)	15,81	15,95	15,80	15,66
Metabolizovatelná energie (MJ/kg)	10,96	10,69	10,83	10,56
Lutein (mg/kg)	0,39	0,33	0,69	0,76
Zeaxantin (mg/kg)	0,22	0,21	0,44	0,43

**Obsah luteinu a zeaxantinu byl u odrůdy TERCIE 0,45 a 0,22 mg/kg.**

**Obsah luteinu a zeaxantinu byl u odrůdy PEXESO 1,14 a 0,79 mg/kg.**



#### 4.1.2 Technologická hodnota vajec

Vejsce pro stanovení technologické hodnoty vajec byla odebírána ve 28denním intervalu, a to veškerá snesená vejce. Vejce byla sbírána v 07:00. Ihned následovalo stanovení ukazatelů technologické hodnoty vajec. Celkem bylo zanalyzováno 438 ks vajec. Rozbory byly realizovány v laboratoři VÚŽV. Hmotnost vajec a jeho komponent se zjišťovala na běžných elektronických laboratorních váhách. Kvalita bílku byla vyjádřena pomocí Haughových jednotek a indexu bílku. Haughovy jednotky byly spočítány dle vzorce (Haugh 1937). Barva žlutku byla stanovena pomocí škály barev DSM (DSM Nutritional Products, Basel, Switzerland) od 1 do 15. Pevnost skořápky byla vyhodnocena přístrojem Instron 3360 (Instron, Canton, USA) a tloušťka skořápky (průměr ze tří hodnot – z ostrého a tupého konce a ekvatoriální roviny) byla po odstranění podskořápečných blan zjištěna pomocí mikrometru (Mitutoyo, Kawasaki, Japan).

#### 4.1.3 Stanovení obsahu karotenoidů ve žloutku

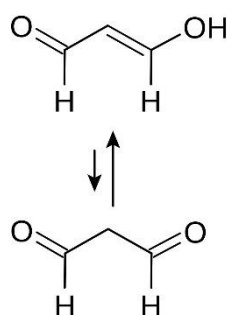
Vejsce pro stanovení karotenoidů ve žloutcích byla sbírána v 10. týdnu pokusu (3 vejce na vzorek,  $n = 8$ ). Před samotnou analýzou byly žloutky lyofilizovány. Obsah karotenoidů luteinu a zeaxantinu v krmivu a ve žloutcích byl stanoven kapalinovou chromatografií (HPLC – High-performance liquid chromatography) dle metody Froescheis et al. (2000).

Jeden gram homogenizovaného vzorku byl umístěn do plastové zkumavky spolu s 20 ml acetonu. Po mixování ve vortexu (2 minuty) se vzorek chladil v ledu po dobu 10 minut a odstředil se při 13000 g po dobu 10 minut při teplotě 4 °C. Supernatant byl přenesen do skleněné baňky a zbytek se extrahoval ještě jednou postupem popsaným výše. Spojené extrakty byly odpařeny do sucha při teplotě 50 °C s profouknutím N<sub>2</sub>, zbytek se rozpustil ve 2 ml směsi ethanol-voda (1:1, v/v) a extrahoval se dvakrát s hexanem (4 a 2 ml). Každý krok extrakce se provedl mixováním ve vortexu po dobu 2 minut s následným odstředěním při 13000 g (10 minut, 4 °C). Po odpaření spojených organických fází do sucha při 50 °C a profouknutí N<sub>2</sub> byl zbytek rozpuštěn v 1 ml směsi hexan/dichlormethan (1:1, v/v). Alikvotní (odpovídající) část 60 ml byla analyzována HPLC (VP series, Shimadzu, Kyoto, Japan). Byla použita kolona Kinetex C18 (100 x 4,6 mm, 2,6 μm, Phenomenex, Torrance, CA, USA). Gradientová eluce zahrnovala jako mobilní fázi A acetonitril:voda:ethylacetát (80:10:2) a jako mobilní fázi B acetonitril:voda:ethylacetát (88:0:15).

#### 4.1.4 Stanovení oxidační stability lipidů žloutku

Peroxidace (oxidační degradace) lipidů ve žloutcích byla měřena u čerstvých vajec a vajec, která byla skladována po dobu 28 dní při teplotě 18 °C. Byla použita modifikovaná metoda Czauderna et al. (2011).

Půl gramu vzorku (vaječného žloutku) bylo zmýdelněno působením 5 ml 1 M KOH (hydroxid draselný) a 50 µl 0,02 M 2,6-di-*tert*-butyl-*p*-cresolu (BHT) v metanolu. Směs byla v plastové zkumavce umístěna na 1 hodinu do vodní lázně o teplotě 60 °C, kde byla kontinuálně míchána za temna. Poté se nechal výsledný roztok zchladnout a okyselil se koncentrovanou kyselinou chlorovodíkovou (HCl) přibližně na pH 2. Následně byl okyselený roztok hydrolyzátu 10 minut odstředován. K odebranému supernatantu (tekutina nad sedimentem, 500 µl) byl přidán roztok 2,4-dinitrophenylhydrazinu (DNPH). Výsledná směs byla intenzivně míchána při teplotě 50 °C po dobu 1 hodiny ve tmě. Čirý roztok byl přenesen do vialky a pak 40 µl roztoku bylo nastříknuto do kolony za účelem chromatografické analýzy (HPLC). Byl použit kapalinový chromatograf (VP series, Shimadzu, Koyto, Japan) vybavený detektorem s diodovým polem. Kolona byla zvolena Phenomenex C<sub>18</sub> (Synergi 2.5 µm, Hydro-RP, 100 Å, 100 mm x 3 mm). Vzorky byly analyzovány pomocí binárního gradientu acetonitrilu ve vodě. Solvent A se sestával z voda-acetonitril (95:5, v/v) a solvent B z acetonitrilu. Oxidační stabilita lipidů byla vyjádřena v miligramech malondialdehydu (MDA, viz Obrázek č. 15) na kilogram vaječného žloutku.



Obrázek č. 15: Chemická struktura: Malondialdehyd (MDA, propandial, rovnovážná směs)  
(Wikimedia Commons contributors)

#### 4.1.5 Statická analýza

Zjištěné výsledky byly zpracovány dvoufaktoriální analýzou variance (ANOVA) pomocí general linear modelu (GLM) programem SAS (SAS Institute 2003). Hlavními faktory byly odrůda pšenice a zdroj tuku v krmivu a interakce mezi těmito faktory. Pravděpodobnost menší než 0,5 byla považována za průkaznou. Výsledky v tabulkách jsou uvedeny jako průměry.

## 5 Výsledky

V experimentu, který proběhl v oddělení fyziologie výživy a jakosti produkce VÚŽV, v. v. i. v Praze Uhřetěvesi, byl zjištěn vliv zvýšené koncentrace luteinu a zeaxantinu ve vybrané odrůdě pšenice PEXESO na užitkovost slepic a kvalitu vajec. Kvalitu vajec představuje hlavně jejich technologická hodnota. Dále byl experimentálně stanoven obsah karotenoidů v lyofilizovaných žloutcích a oxidační stabilita žloutku v hodnotách MDA (mg/kg).

Ve snášce nebyly významné rozdíly mezi skupinami (viz Tabulka č. 10). Nevýznamné difference jsou označeny ve sloupcích Průkaznost písmeny NS. Vyšší hladina průkaznosti je označena nižším číslem. Jestliže je např. významnost 0,05, znamená to, že při opakování 100 x by bylo 95 případů významně rozdílných a pouze 5 případů nevýznamných atd.

Intenzita snášky, která se nejčastěji vyjadřuje v procentech, byla nepatrně vyšší u pšenice odrůdy PEXESO v kombinaci s vepřovým sádlem jako zdrojem tuku v krmné směsi. Produkce vaječné hmoty na slepici a den byla ovlivněna tukem a interakcí tuk × odrůda, nikoliv však samotnou odrůdou. Hlavní výsledek v rámci ukazatelů užitkovosti ve prospěch PEXESA byl nižší denní příjem krmiva ( $P < 0,001$ ) a nižší spotřeba krmné směsi na 1 kg vaječné hmoty ( $P = 0,013$ ). Průkazná interakce odrůdy a zdroje tuku byla zaznamenána u produkce vaječné hmoty ( $P < 0,05$ ), kdy nejvyšší produkci vykazovaly slepice krmené směsí s odrůdou PEXESO a řepkovým olejem oproti slepicím s TERCÍÍ a řepkovým olejem v dietě (viz Tabulka č. 10).

Haughovy jednotky vyjadřují kvalitu bílku, a tedy i vejce na základě vztahu mezi výškou bílku a hmotností vejce. K jejich výpočtu slouží rovnice a logaritmy. Hodnoty Haughových jednotek se pohybují v rozmezí 20 – 100, kdy vyšší hodnoty znamenají vyšší kvalitu vajec. Zařazení pšenice odrůdy PEXESO do krmné směsi pro slepice významně snížilo hodnotu Haughových jednotek ( $P < 0,001$ , viz Tabulka č. 11).

Pšenice odrůdy PEXESO kladně ovlivnilo barvu vaječného žloutku dle stupnice DSM (interakce s řepkovým olejem 3,48 DSM a interakce s vepřovým sádlem 3,52 DSM, viz Tabulka č. 11), ale intenzita zbarvení byla i tak nižší, než je optimum dle našich spotřebitelů. Proto se ještě doporučuje přídavek přírodního organického zdroje karotenoidů, nejlépe Avizant<sup>®</sup> Yellow 20 HS nebo jiná alternativa z aksamitníku, afrikánu (*Tagetes erecta*).

Nejdůležitější technologickou vlastností vejce je pevnost vaječné skořápky, která přímo souvisí s ekonomikou chovu. Podíl tzv. křapů nebo mikrokřapů se běžně pohybuje okolo 5 % a někdy i více tuto hodnotu převyšuje. Pevnost skořápky byla měřena přístrojem Instron a pšenice odrůdy PEXESO tuto hodnotu významně zvýšila ( $P < 0,001$ , viz Tabulka č. 11).

Tabulka č. 10: Užítkovost slepic

Skupina	I	II	III	IV			
Odrůda pšenice	TERCIE		PEXESO		Průkaznost		
Zdroj tuku	ŘO	VS	ŘO	VS	Odrůda	Tuk	Odrůda*tuk
Intenzita snášky	93,48	93,93	93,77	94,70	NS	NS	NS
Vaječná hmota (g/slepice/den)	58,00 <sup>b</sup>	58,15 <sup>ab</sup>	59,03 <sup>a</sup>	58,56 <sup>a</sup>	NS	<0,01	<0,05
Spotřeba krmiva ks/den (g)	115,7	114,7	111,6	111,2	<0,001	NS	NS
Spotřeba krmiva kg/kg vaječné hmoty	1,99	1,98	1,89	1,90	0,013	0,037	NS
Spotřeba krmiva/vejce (g)	124,1	122,4	119,1	117,6	<0,001	NS	NS

<sup>ab</sup> číslo na stejném řádku označené jiným písmenem než předchozí, se průkazně liší; NS = neprůkazný

Tabulka č. 11: Technologická hodnota vajec

Skupina	I	II	III	IV			
Odrůda pšenice	TERCIE		PEXESO		Průkaznost		
Zdroj tuku	ŘO	VS	ŘO	VS	Odrůda	Tuk	Odrůda*tuk
Haughovy jednotky	86,61 <sup>a</sup>	88,33 <sup>a</sup>	84,52 <sup>b</sup>	82,11 <sup>c</sup>	<0,001	NS	0,003
Podíl bílku (%)	64,08 <sup>a</sup>	63,43 <sup>b</sup>	63,54 <sup>b</sup>	63,61 <sup>b</sup>	NS	NS	0,043
Podíl žloutku (%)	25,77	26,37	26,03	26,09	NS	0,031	NS
Barva žloutku dle DSM	1,62	1,61	3,48	3,52	<0,001	NS	NS
Průměrná tloušťka skořápky (μm)	327	320	334	328	0,037	NS	NS
Pevnost skořápky (g/cm <sup>2</sup> )	4504	4439	4757	4659	<0,001	NS	NS

<sup>abc</sup> číslo na stejném řádku označené jiným písmenem než předchozí, se průkazně liší; NS = neprůkazný

Lyofilizované žloutky jsou žloutky sušené pod bodem mrazu tak, aby byly zachovány všechny přítomné živiny. Koncentrace karotenoidů luteinu ( $P < 0,001$ ) a zeaxantinu ( $P < 0,001$ , viz Tabulka č. 12), stanovená kapalinovou chromatografií v lyofilizovaných žloutcích, byla výrazně vyšší u skupin s PEXESEM v krmivu oproti TERCII. Rovněž zdroj tuku v krmivu měl významný vliv na ukládání karotenoidů luteinu ( $P < 0,001$ ) a zeaxantinu ( $P = 0,001$ ) ve žloutku. Vyšší hodnoty byly naměřeny v případě krmných směsí v kombinaci s vepřovým sádlem (lutein 6,08 mg/kg a zeaxantin 4,28 mg/kg), které vykazuje převahu nasycených mastných kyselin oproti řepkovému oleji, který je zase bohatý na nenasycené mastné kyseliny.

Tabulka č. 12: Obsah karotenoidů v lyofilizovaných žloutcích

Skupina	I	II	III	IV			
Odrůda pšenice	TERCIE		PEXESO		Průkaznost		
Zdroj tuku	ŘO	VS	ŘO	VS	Pšenice	Tuk	Pšenice*tuk
Lutein (mg/kg)	1,62	1,93	5,51	6,08	<0,001	<0,001	NS
Zeaxantin (mg/kg)	0,95	1,58	3,97	4,28	<0,001	0,001	NS

NS = neprůkazný

Důležitou vlastností je skladovatelnost neboli oxidační stabilita produktu, v tomto případě vajec. Skladovatelnost se měří chemickým stanovením oxidačních produktů, nejčastěji malondialdehydu (MDA). Tvorba této reaktivní látky vzniká a narůstá při peroxidaci (oxidační degradaci lipidů) polynenasycených mastných kyselin reaktivními kyslíkatými látkami. Tvorba aldehydů a konkrétně malondialdehydu se využívá jako znak pro měření oxidační stability žloutku. Čím je číslo vyšší, tím je vyšší i stupeň oxidace.

Pšenice odrůdy PEXESO snížila oxidaci, resp. zvýšila oxidační stabilitu čerstvých vajec ( $P < 0,001$ , viz Tabulka č. 13) i vajec skladovaných po dobu 4 týdnů při pokojové teplotě ( $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 0,005$ ). S jistotou můžeme říct, že se na tomto snížení oxidace bezesporu podílely karotenoidy lutein a zeaxantin, protože tyto karotenoidy jsou zároveň i silnými antioxidanty.

Významná interakce odrůdy pšenice a zdroje tuku v krmivu byla zjištěna u obsahu malondialdehydu v čerstvých vejcích ( $P = 0,046$ , viz Tabulka č. 13). Krmná směs s odrůdou pšenice TERCIE spolu s řepkovým olejem snížila oxidační stabilitu žloutků čerstvých ( $0,45^a$  mg/kg) i skladovaných ( $0,46$  mg/kg) vajec ve srovnání s ostatními skupinami. Snížená oxidační stabilita zde byla způsobena snadnější oxidací řepkového oleje v porovnání s vepřovým sádlem.

Tabulka č. 13: Oxidační stabilita žloutku v hodnotách MDA (mg/kg)

Skupina	I	II	III	IV			
Odrůda pšenice	TERCIE		PEXESO		Průkaznost		
Zdroj tuku	ŘO	VS	ŘO	VS	Pšenice	Tuk	Pšenice*tuk
MDA – čerstvá vejce	0,45 <sup>a</sup>	0,37 <sup>b</sup>	0,35 <sup>b</sup>	0,33 <sup>b</sup>	<0,001	0,008	0,046
MDA – vejce po 28 dnech	0,46	0,41	0,41	0,37	0,005	0,007	NS

<sup>ab</sup> číslo na stejném řádku označené jiným písmenem než předchozí, se průkazně liší; NS = neprůkazný

## 6 Diskuse

Cílem pokusu bylo zjistit vliv zvýšené koncentrace karotenoidů luteinu a zeaxantinu ve vybrané odrůdě pšenice PEXESO na užitkovost nosnic a kvalitu vajec, zahrnující jejich technologickou hodnotu, obsah karotenoidů v lyofilizovaných žloutcích a oxidační stabilitu žloutku v miligramech malondialdehydu (MDA) na kilogram žloutku.

Registrovaná odrůda jarní pšenice genotypu PEXESO má především potravinářský význam. V zahraničí, kde je takto chápána poskytuje výborné výsledky. Přestože se během šlechtění této odrůdy pšenice obsah karotenoidů 2,5 – 4x zvýšil, koncentrace xantofylů zůstala na poměrně nízké úrovni. Mezi významné zdroje přírodních karotenoidů patří sladkovodní autotrofní řasa *Chlorella vulgaris* a z ní vyráběná moučka, extrakt (MFE) nebo moučka z květů afrikánu (*Tagetes erecta*), sušená vojtěšková moučka, paprikový extrakt, barevná odrůda mrkve, červená rajčata, kukuřice a kukuřičná moučka, nebo případně jiný druh obilnin.

Na základě našeho experimentu s 240 kusy nosnic Lohmann Brown ve věku 42 týdnů, ve kterém jsme zkrmovali a porovnávali dvě odrůdy pšenice (61 % pšenice PEXESO s obsahem luteinu 1,14 mg/kg a zeaxantinu 0,79 mg/kg a 61 % pšenice TERCIE s obsahem luteinu 0,45 mg/kg a zeaxantinu 0,22 mg/kg, viz. Tabulka č. 8 a Tabulka č. 9) s odpovídajícím přídatkem živočišného tuku nebo rostlinného oleje v krmné směsi, došlo po 10 týdnech krmení v případě zařazení pšenice PEXESA se zvýšeným obsahem karotenoidů luteinu a zeaxantinu do krmných směsí pro slepice k těmto významným výsledkům.

Mezi jednotlivými skupinami a jejich intenzitou snášky nebyly v našem experimentu zaznamenány významné rozdíly. Produkce vaječné hmoty na slepici a den byla ovlivněna tukem a z velké části interakcí tuk × odrůda, nikoliv však samotnou odrůdou. Zato byl v našem experimentu zaznamenán hlavní výsledek v rámci ukazatelů užitkovosti, a to ve prospěch pšenice PEXESA, u které byl nižší denní příjem krmiva ( $P < 0,001$ ) a nižší spotřeba krmné směsi na 1 kg vaječné hmoty ( $P = 0,013$ , viz Tabulka č. 10). Průkazná interakce odrůdy a zdroje tuku byla zaznamenána u produkce vaječné hmoty ( $P < 0,05$ ), kdy nejvyšší produkci (59,03<sup>a</sup> g/slepice/den) vykazovaly slepice krmené směsí s PEXESEM a řepkovým olejem oproti slepicím s TERCÍÍ a řepkovým olejem v dietě. Ve všech směsích byl zařazen stejný přídatek tuku v podobě řepkového oleje nebo vepřového sádla, které se z důvodu dosažení normované potřeby metabolizovatelné energie do krmných směsí pro drůbež přidávají. Tuky a oleje mají vysoký energetický obsah a určitou dobu po požití způsobují pocit sytosti, který je vyvolán hydrolýzou na mastné kyseliny v tenkém střevě (Pánek et al. 2002) a který přetrvává delší dobu.

Zařazení pšenice odrůdy PEXESO do krmné směsi pro slepice významně snížilo hodnotu Haughových jednotek ( $P < 0,001$ , viz Tabulka č. 11). Hodnoty Haughových jednotek v případě pšenice PEXESA v kombinaci s řepkovým olejem ( $84,52^b$ ) a v kombinaci s vepřovým sádlem ( $82,11^c$ ) byly tak nižší, než v případě pšenice TERCIE v kombinaci s řepkovým olejem ( $86,61^a$ ) nebo vepřovým sádlem ( $88,33^a$ ). Snížené hodnoty Haughových jednotek mohly být v našem experimentu ovlivněny i genotypem, ustájením, výživou nebo popřípadě dalšími faktory.

Barva vaječného žloutku měřená dle stupnice DSM – Yolk Color Fan (RYCF) byla pšenicí odrůdy PEXESO kladně ovlivněna. Intenzita zbarvení žloutku ovlivněná pšenicí genotypu PEXESO, která byla v případě interakce s řepkovým olejem 3,48 DSM a v případě interakce s vepřovým sádlem 3,52 DSM, byla ale i tak nižší, než je optimum našich českých spotřebitelů. Přestože doplňky některých dietních tuků nebo olejů do stravy slepic mohou ovlivnit absorpci karotenoidů a zvýšit jejich koncentraci ve vaječném žloutku, ovlivnění barvy žloutku odpovídajícím druhem tuku nebo interakcí tuk  $\times$  odrůda mělo v našem experimentu nevýznamnou diferenci (NS) a barva žloutku tak byla průkazně ovlivněna z velké části odrůdou pšenice PEXESO (viz Tabulka č. 11). Dle Galobart et al. (2004) mají lidé v Evropě a Asii tendenci preferovat zbarvení žloutku mezi 10. a 14. stupněm. Tomuto rozmezí odpovídá jednotná barva žloutku od mírné zlatožluté po oranžovou. Vzhledem k tomu, že intenzita zbarvení vaječného žloutku byla nižší, než je optimum našich českých spotřebitelů, se doporučuje ještě přídavek jiného přírodního zdroje karotenoidů.

Například ve studii od Skřivana & Englmaierové (2014) se stodvaceti kusy slepic, z nichž pouze šedesát mělo přístup k trvalým travním porostům bylo experimentálně zjištěno, že pastva slepic spolu se sekvenčním zkrmováním pšenice a vyváženou smíšenou stravou významně zvýšila koncentraci karotenoidů ve žloutku a jeho barevné skóre na hodnotu 10,3 RYCF. V experimentu od Loetscher et al. (2013) s doplňkem kopřivy v množství 0 g/kg, 6,25 g/kg, 12,5 g/kg a 25 g/kg se barevné skóre žloutku zvýšilo z hodnoty 1,7 DSM bez doplňku kopřivy na hodnotu 4,2 DSM s 6,25 g kopřivy / kg krmiva a až na hodnotu 6,5 DSM s 25 g kopřivy / kg krmiva. Dle Loetscher et al. (2013) bylo barevné skóre žloutku vždy horší v případě doplňku kopřivy než doplňku syntetických pigmentů, ale na druhou stranu lepší v porovnání s vejci od slepic přijímajících dietu bez kopřiv. Kopřiva je tak dle Loetscher et al. (2013) považována za účinný prostředek k dosažení požadovaného zbarvení žloutku, ale pouze v kombinaci se zdrojem červených pigmentů, jejichž obsah je v samotné kopřivě nedostatečný. Další možností, jak účinně zvýšit barevné parametry a obsah karotenoidů ve žloutku je doplnění krmiva pro slepice barevnou mrkví. Experimentální přídavek 70 g barevné odrůdy mrkve (oranžová, žlutá



a fialová) ke standartnímu krmivu měl ve studii od Hammershøj et al. (2010) ve srovnání se standartní kontrolou krmení významný vliv na zvýšení barvy žloutku v pořadí < žlutá (4,5 RYCF) < oranžová (4,6 RYCF) < fialová (5,5 RYCF). V konečném výsledku zlepšil nutriční hodnotu vaječného žloutku doplněk zejména žluté a fialové mrkve (Hammershøj et al. 2010).

Pšenice odrůdy PEXESO v našem pokusu významně zvýšila hodnotu pevnosti vaječné skořápky ( $P < 0,001$ , viz Tabulka č. 11). V kombinaci s řepkovým olejem byla naměřena pevnost skořápky  $4757 \text{ g/cm}^2$  a v kombinaci s vepřovým sádlem  $4659 \text{ g/cm}^2$ . Největší ( $334 \mu\text{m}$ ) průměrná tloušťka vaječné skořápky byla mikrometricky zjištěna u pšenice odrůdy PEXESO v kombinaci s řepkovým olejem jako zdrojem tuku v krmné směsi.

Ve studii od Englmaierové et al. (2019) byla po přidání sušené vojtěšky výrazně snížena produkce vajec a kvalita vaječné skořápky. Přestože je vojtěška dobrým zdrojem karotenoidů, tloušťka ( $356 \mu\text{m}$ ) a pevnost skořápky ( $45,27 \text{ N/cm}^2$ ) byly v této studii negativně ovlivněny přídatkem sušené vojtěšky v množství  $40 \text{ g/kg}$  v porovnání s vejci od slepic krmených bez doplnku vojtěšky. Snížená kvalita skořápky zde byla způsobena antinutričními faktory – taniny, které jsou běžnou součástí vojtěšky. Vodný extrakt vojtěšky v množství  $0,1 \%$  a  $0,15 \%$  měl na druhou stranu ve studii od Deng et al. (2012) pozitivní vliv na kvalitu a zvýšení pevnosti skořápky. Přídavek extraktu z květů afrikánu (MFE), v množství  $150 \text{ mg/kg}$  v experimentu od Skřivana et al. (2016) poskytl nejpevnější vaječné skořápky ( $38,3 \text{ N/cm}^2$ ) v porovnání s přídatkem jiného množství MFE ( $0 \text{ mg/kg}$ ,  $250 \text{ mg/kg}$  a  $350 \text{ mg/kg}$ ), ale výsledná tloušťka skořápky byla ovlivněna pouze na ostrém konci vejce ( $365 \mu\text{m}$ ).

Koncentrace luteinu ( $P < 0,001$ ) a zeaxantinu ( $P < 0,001$ , viz Tabulka č. 12), stanovená kapalinovou chromatografií v lyofilizovaných žloutcích, byla v našem experimentu výrazně vyšší u skupin s PEXESEM v krmivu oproti TERCII. Rovněž zdroj tuku v krmivu měl v pokusu významný vliv na ukládání karotenoidů luteinu ( $P < 0,001$ ) a zeaxantinu ( $P = 0,001$ ) ve žloutku. Vyšší hodnoty byly naměřeny v případě krmných směsí v kombinaci s vepřovým sádlem (lutein  $6,08 \text{ mg/kg}$  a zeaxantin  $4,28 \text{ mg/kg}$ ), které vykazuje převahu nasycených mastných kyselin oproti řepkovému oleji, který je zase bohatý na nenasycené mastné kyseliny.

Tuky, resp. lipidy mají pozitivní účinek na absorpci lipofilních karotenoidů – xantofylů, lipofilních vitaminů a výsledné zbarvení vaječného žloutku. Vepřové sádlo obsahuje z veškerých mastných kyselin  $40 \%$  nasycených,  $55 \%$  monoenoových a  $5 \%$  polyenoových. Řepkový olej obsahuje z veškerých mastných kyselin  $6 \%$  nasycených,  $64 \%$  monoenoových a  $30 \%$  polyenoových (Pánek et al. 2002). Dietní tuky bohaté na nasycené mastné kyseliny vedou k vyšší dostupnosti luteinu a zeaxantinu ve srovnání s tuky bohatými na nenasycené mastné

kyseliny (Gleize et al. 2013). Ze studie od Nys (2000) vyplývá, že 6 % přidaného tuku do krmné dávky u kuřat vyvolalo trojnásobné zvýšení depozice luteinového pigmentu ve srovnání s kontrolní skupinou bez přidaného tuku.

Ve studii od Skřivana et al. (2016) hodnotící dopad suplementace extraktu z květů afrikánu (MFE) na zvýšení obsahu luteinu a zeaxantinu ve vejcích od slepic krmených tímto extraktem, se při současném zvyšování dávky extraktu, významně zvyšovala i koncentrace karotenoidů luteinu a zeaxantinu ve žloutcích. V porovnání s kontrolní skupinou tohoto experimentu se po přidání maximální koncentrace 350 mg/kg MFE zvýšil obsah luteinu (o 11,7 a 11,5 mg/kg sušiny) a obsah zeaxantinu (o 6,9 a 5,9 mg/kg sušiny) ve žloutcích vajec ze dvou provedených experimentů. Přídavek extraktu z afrikánu v množství 350 mg/kg zajistí mimo výrazné zlepšení oxidační stability lipidů žloutku také zbarvení na úrovni stupně 8 až 9 dle stupnice La Roche (Englmaierová et al. 2019). Tato hodnota je pro konzumní vejce naprosto postačující. Zvýšení celkové koncentrace karotenoidů ve vaječném žloutku na úroveň o 25 – 75 % vyšší za použití barevné mrkve (oranžová, žlutá, fialová) jako krmného materiálu pro nosnice prokázali v experimentu Hammershøj et al. (2010). Nejvyšší koncentraci pigmentů a významně největší dopad na žloutek a obsah karotenoidů měla fialová odrůda mrkve. Z jednotlivých karotenoidů se v pokusu zvýšil lutein o 54 % a  $\beta$ -karoten stokrát. Nejvyšší celkové koncentrace karotenoidů ve vaječném žloutku křepelky bylo ve studii od Karadas et al. (2007) se 75 japonskými křepelkami (*Coturnix japonica*) dosaženo pomocí extraktu z aksamitníku a doplňku stravy v podobě extraktu z aksamitníku a rajčatového prášku. Tento doplněk zvýšil koncentraci karotenoidů v porovnání s kontrolní skupinou patnáctkrát. U skupin, jejichž standardní strava byla doplněna o kombinaci rajčatového prášku (20 g/kg) a extraktu z aksamitníku (2 g/kg) se v porovnání s kontrolní skupinou zvýšil obsah luteinu (o 26,92  $\mu$ g/g), zeaxantinu (o 2,53  $\mu$ g/g) a lykopenu (o 1,38  $\mu$ g/g) ve žloutcích křepelčích vajec.

Leeson et al. (2007) uvedli, že 60g vejce lze obohatit o lutein na hodnotu 1,6 mg luteinu od základní hladiny 0,10 mg / 60g vejce přídavkem přírodního luteinu do stravy slepic v množství 250 mg/kg.

Pšenice odrůdy PEXESO v našem experimentu významně snížila oxidaci, resp. zvýšila oxidační stabilitu čerstvých vajec ( $P < 0,001$ , viz Tabulka č. 13) i vajec skladovaných po dobu 4 týdnů při pokojové teplotě (18 °C,  $P = 0,005$ ). Oxidační stabilita žloutku vyjádřená v hodnotách MDA byla u čerstvých vajec v kombinaci s řepkovým olejem 0,35<sup>b</sup> mg/kg a vepřovým sádlem 0,33<sup>b</sup> mg/kg a u vajec skladovaných po dobu 4 týdnů v kombinaci s řepkovým olejem 0,41 mg/kg a vepřovým sádlem 0,37 mg/kg. Na snížení procesu oxidace

vajec se bezesporu podílely karotenoidy lutein a zeaxantin z komponent krmných směsí, protože tyto přírodní pigmenty jsou zároveň i silnými antioxidanty. Lutein a zeaxantin chrání lecitinové liposomální membrány vaječného žloutku před oxidačním poškozením (Sujak et al. 1999). Nenasycený řetězec a aromatické kruhy těchto karotenoidů pomáhají neutralizovat singletový kyslík a volné radikály (Stahl & Sies 2003). Tímto způsobem jsou vejce a k oxidaci náchylný žloutek s vysokým obsahem n-3 mastných kyselin chráněny před oxidačním poškozením a přirozeným způsobem je za pomoci karotenoidů prodloužena skladovatelnost. Navíc byla v našem experimentu ještě zjištěna u obsahu malondialdehydu v čerstvých vejcích ( $P = 0,046$ ) významná interakce odrůdy pšenice a zdroje tuku v krmivu (viz Tabulka č. 13). Krmná směs s odrůdou pšenice TERCIE spolu s řepkovým olejem snížila oxidační stabilitu žloutků ve srovnání s ostatními skupinami. Oxidační stabilita žloutku vyjádřená v hodnotách MDA byla u čerstvých vajec  $0,45^a$  mg/kg a u vajec skladovaných po dobu čtyř týdnů  $0,46$  mg/kg.

Díky kombinovanému účinku  $\alpha$ -tokoferolu a karotenoidů přítomných v pastvě byla v experimentu od Skřivana & Englmaierové (2014), se stodvaceti nosnicemi původního českého genotypu Dominant Silver ustájenými ve volném systému chovu, výrazně zvýšena oxidační stabilita vaječných žloutků. Slepice, které měly přístup na pastvu spolu v kombinaci s dietní pšenicí a vyrovnávacím krmivem produkovaly vejce se zvýšenou oxidační stabilitou i po 28 denním skladování při  $18^\circ\text{C}$ . Ke stanovení oxidační stability byla v tomto experimentu použita metoda thiobarbiturové kyseliny, která se používá jako činidlo při stanovení malondialdehydu. Oxidační stabilita žloutku vyjádřená v hodnotách MDA byla u čerstvých vajec z pastvy a vajec z pastvy skladovaných 28 dnů  $0,95$  mg/kg. Tokoferoly a karotenoidy přítomné na pastvině obvykle snižují náchylnost PUFA k oxidaci. Hodnota MDA skladovaných vajec z pastvy ( $0,95$  mg/kg) byla ale nižší, než ve vaječných žloutcích od slepic z kontrolních skupin ( $1,06$  mg/kg). Sniženou náchylnost vaječných žloutků k oxidaci zajistil i přírůstek sušené mikrořasy – *Chlorella vulgaris* (Englmaierová et al. 2013), extraktu z afrikánu – *Tagetes erecta* (Skřivan et al. 2016), nebo sušené vojtěšky – *Medicago sativa* (Englmaierové et al. 2019). Nejvyšší oxidační stabilita čerstvých ( $0,230$  mg/kg) a 28 dní skladovaných ( $0,348$  mg/kg) žloutků vyjádřená v hodnotách MDA byla v této studii od Englmaierové et al. (2019) zaznamenána u vajec ošetřených přírůvkem sušené vojtěšky ( $200$  g/kg) v kombinaci s kyselinou askorbovou ( $200$  mg/kg).

## 7 Závěr

Shromážděním velkého množství literatury a odborných článků českých i zahraničních autorů a jejich pečlivým prostudováním byl splněn hlavní cíl této bakalářské práce, vypracovat literární rešerši zaměřenou převážně na přírodní, ale i syntetické karotenoidy ve výživě nosnic.

Důvodem položení si tohoto cíle práce bylo to, že v současné době existuje tendence v nahrazování běžných syntetických krmných aditiv – karotenoidů nejen ve výživě drůbeže přírodními látkami získávanými z rostlin. Tyto přírodní látky lipofilní povahy nezpůsobují nežádoucí vedlejší účinky, jako je například ukládání krystalků v sítnici oka v případě syntetického kantaxantinu při jeho nadměrném a dlouhodobém příjmu, zajišťují přirozenou pigmentaci vaječného žloutku (dále kůže vykrmovaných brojlerů nebo výrazněji zbarvené maso lososovitých ryb), svým antioxidačním potenciálem zvyšují oxidační stabilitu lipidů, resp. prodlužují trvanlivost živočišných produktů (maso, vejce) a navíc mají široké spektrum vlivů na imunitní systém a zdraví člověka jako konečného konzumenta. Konkrétně přírodní karotenoidy lutein a zeaxantin navíc působí proti věkem podmíněné makulární degeneraci (age-related macular degeneration) žluté skvrny (*macula lutea*) na sítnici oka.

Teoretickým objasněním fyziologie trávicí soustavy drůbeže a základů výživy nosnic v jednotlivých stupních odchovu se zaměřením na nejdůležitější energetickou živinu – tuk, která úzce souvisí s problematikou karotenoidů, byl splněn další cíl této bakalářské práce.

V neposlední řadě byl splněn i cíl se zaměřením na vliv karotenoidů na obohacování vajec a s pomocí odborné literatury byly popsány jednotlivé živinové složky a komponenty slepičího vejce a sepsány kvalitativní parametry a metody hodnocení kvality vajec.

Nejen pro českého spotřebitele je nejdůležitějším kvalitativním znakem vajec jejich barevný tón, resp. barevné skóre. Preference sytosti vaječného žloutku, která se v jednotlivých státech Evropské unie výrazně liší, je důležitou charakteristikou a kritériem pro výběr potravin spotřebitelem. Spotřebitelé produktů chovu drůbeže se v současnosti stále více zajímají o podmínky jednotlivých chovů slepic a kuřat a o konečnou kvalitu a jakost produktů živočišného původu, zahrnující zmiňovanou barvu vaječného žloutku. Z tohoto důvodu se do krmných směsí pro drůbež často přidávají buď syntetická nebo přírodní karotenoidní barviva. S aktuálně se zvyšujícím počtem spotřebitelů, kteří se zajímají o podmínky jednotlivých chovů a o původ a jakostní kvalitu živočišných produktů, se zvyšuje i celkový trh s produkty z volného (výběhového) a organického (BIO) chovu drůbeže. V ekologickém zemědělství a některých zemích, např. ve Švédsku, jsou však syntetické pigmenty pro dané použití zcela zakázané.

V souvislosti s literární rešerší této bakalářské práce byla stanovena i hypotéza práce a cíle pokusu, který proběhl v oddělení fyziologie výživy a jakosti produkce Výzkumného ústavu živočišné výroby, v. v. i. v Praze Uhřetěvesi.

Zařazení jarní pšenice PEXESO se zvýšeným obsahem karotenoidů luteinu (1,14 mg/kg) a zeaxantinu (0,79 mg/kg) do krmných směsí pro slepice pozitivně ovlivnilo ukazatele užitečnosti slepic a některé ukazatele kvality vajec. Pšenice odrůdy PEXESO zlepšila kvalitu vaječné skořápky a zvýšila obsah karotenoidů ve vaječném žloutku. S vyšší koncentrací karotenoidů – silných antioxidantů se zvýšila i oxidační stabilita a výsledná barva vaječného žloutku. Na ukládání karotenoidů do žloutku měl velký vliv zdroj tuku v krmivu. Vepřové sádlo známé svým vyšším obsahem nasycených mastných kyselin zvýšilo efektivitu ukládání karotenoidů luteinu a zeaxantinu do vaječného žloutku.

Lidem, kteří konzumují méně než 1 mg luteinu a zeaxantinu denně, může jedno vejce obohacené o lutein a zeaxantin (= funkční potravina) denně poskytnout ochranu oka před oxidačním stresem a rozvojem makulární degenerace související s věkem.

Potravinářky významná jarní pšenice genotypu PEXESO se zvýšeným obsahem karotenoidů luteinu a zeaxantinu přinesla v pokusu na nosnicích významné výsledky. Jelikož ale výsledná sytost barvy vaječného žloutku byla z hlediska preferencí konzumentů nedostatečná, svůj význam by tato odrůda pšenice určitě obhájila v tzv. sekvenčním krmení (vyrovnávací krmná směs + celé pšeničné zrna) nebo v kombinaci s volným či organickým chovem drůbeže s možností přístupu na přirozenou kvalitní pastvu. Ta mimo významné zvýšení koncentrace karotenoidů luteinu, zeaxantinu,  $\beta$ -karotenu, vitamínu E a dalších cenných látek zvýší i oxidační stabilitu vajec a poskytne kvalitní produkt.

Hypoteticky předpokládaný vliv vyšší koncentrace karotenoidů luteinu a zeaxantinu ve vybrané odrůdě pšenice na užitečnost slepic a kvalitu vajec, zahrnující jejich technologickou hodnotu, obsah karotenoidů v lyofilizovaných žloutcích a oxidační stabilitu žloutku vyjádřenou v mg malondialdehydu na kg žloutku, byl experimentálně prokázán. Hypotéza práce potvrzuje, že přírodní karotenoidy ovlivňují některé parametry kvality vajec.

## 8 Seznam zkratk a symbolů použitých v textu

<b>ADI</b>	přijatelné denní množství (Acceptable Daily Intake)
<b>ARMD</b>	věkem podmíněná makulární degenerace (Age-Related Macular Degeneration)
<b><math>\alpha</math></b>	alfa, písmeno z řecké abecedy
<b>BIO</b>	certifikované označení pro produkty ekologického zemědělství
<b>BP</b>	benzo( <i>a</i> )pyren (PAH)
<b><math>\beta</math></b>	beta, písmeno z řecké abecedy
<b>DHA</b>	kyselina dokosahexaenová (PUFA)
<b><math>\delta</math></b>	delta, písmeno z řecké abecedy
<b>EPA</b>	kyselina eikosapentaenová (PUFA)
<b>E160a</b>	$\beta$ -karoten, směs karotenů (CI potravinářská oranž 5), přírodní barvivo
<b>E160c</b>	kapsantin, kapsorubin, paprikový oleoresin (paprikový extrakt), přírodní barvivo
<b>E160d</b>	lykopen, přírodní barvivo
<b>E160f</b>	ethylester kyseliny $\beta$ -apo-8'-karotenové, přírodní barvivo
<b>E161b</b>	lutein, přírodní barvivo
<b>E161c</b>	$\beta$ -kryptoxantin, přírodní barvivo
<b>E161e</b>	violaxantin, přírodní barvivo
<b>E161g</b>	kantaxantin (CI potravinářská oranž 8), přírodní barvivo
<b>E161h</b>	zeaxantin, přírodní barvivo
<b>E161i</b>	citranaxantin, přírodní nebo přírodně identické barvivo
<b>E161j</b>	astaxantin, přírodní nebo přírodně identické barvivo
<b><math>\gamma</math></b>	gama, písmeno z řecké abecedy
<b>HDL</b>	vysokodenzitní lipoprotein (High Density Lipoprotein, „hodný cholesterol“)
<b>HPLC</b>	vysokoúčinná kapalinová chromatografie (High-performance liquid ch.)
<b>HU</b>	Haughovy jednotky (Haugh Units)

<b>LDL</b>	nízkodenzitní lipoprotein (Low Density Lipoprotein, „špatný/zlý cholesterol“)
<b>Lx</b>	lux, představuje jednotku intenzity osvětlení, osvětlení způsobené světelným tokem dopadajícím na jednotku plochy
<b>MDA</b>	malondialdehyd (propandial), organická sloučenina, k měření úrovně oxidace
<b>ME</b>	hodnota bilančně metabolizovatelné energie opravená na dusíkovou rovnováhu, vyjadřuje potřebu energie pro drůbež i její obsah v krmivech, udává se v kilojoulech (kJ) nebo megajoulech (MJ)
<b>MFE</b>	extrakt z květů afrikánu (Marigold Flower Extract)
<b>MUFA</b>	monoenové (mononenasyčené) mastné kyseliny (Mono Unsaturated Fatty Acids), v řetězci jedna dvojná vazba
<b>n-3</b>	omega-3 nenasycené mastné kyseliny (PUFA omega-3)
<b>n-6</b>	omega-6 nenasycené mastné kyseliny (PUFA omega-6)
<b>PAH</b>	polycyklický aromatický uhlovodík (PolyAromatic Hydrocarbons)
<b>POP</b>	perzistentní organický polutant (Persistent Organic Pollutants)
<b>PUFA</b>	polyenové (polynenasycené) mastné kyseliny (PolyUnsaturated Fatty Acids), v řetězci více než jedna dvojná vazba (např. omega-3/n-3 nebo omega-6/n-6)
<b>RNS</b>	reaktivní formy dusíku (Reactive Nitrogen Species)
<b>ROS</b>	reaktivní formy kyslíku (Reactive Oxygen Species)
<b>RYCF</b>	hodnota barvy žloutku vyjádřená na 15 stupňové stupnici Hoffman-La Roche, RYCF – Roche Yolk Color Fan, dnes známá pod názvem DSM Yolk Color Fan
<b>SAFA</b>	nasyčené mastné kyseliny (SATurated Fatty Acids), v řetězci žádná dvojná vazba
<b>Vit. A</b>	vitamin A (retinol)
<b>Vit. D</b>	vitamin D (D <sub>3</sub> – cholekalciferol, D <sub>2</sub> – ergokalciferol)
<b>Vit. E</b>	vitamin E (tokoferol, $\alpha$ -tokoferol, $\beta$ -tokoferol, $\gamma$ -tokoferol, $\delta$ -tokoferol)
<b>Vit. K</b>	vitamin K (K <sub>1</sub> – fylochinon, K <sub>2</sub> – menachinon)

V seznamu zkratk a symbolů použitých v textu nejsou uvedeny zkratky a symboly všeobecně známé nebo používané jen ojediněle s vysvětlením v textu.

## 9 Literatura

- AYDIN, R. Egg intake and serum low density lipoprotein cholesterol in humans. *World's Poultry Science Journal* [online]. 2017, **73**(4), 813-822. ISSN 0043-9339. Dostupné z: doi:10.1017/S0043933917000575
- BANIEL, A., A. FAINS a Y. POPINEAU. Foaming Properties of Egg Albumen with a Bubbling Apparatus Compared with Whipping. *Journal of Food Science* [online]. 1997, **62**(2), 377-381. ISSN 0022-1147. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.1997.tb04005.x
- BARTOV, I. a S. BORNSTEIN. Studies on Egg Yolk Pigmentation. *Poultry Science* [online]. 1967, **46**(4), 796-805. ISSN 00325791. Dostupné z: doi:10.3382/ps.0460796
- BORENSTEIN, B. a R.H. BUNNELL. Carotenoids: Properties, Occurrence, and Utilization in Foods. *Advances in Food Research Volume 15* [online]. Elsevier, 1966, 1966, s. 195-276. *Advances in Food Research*. ISBN 9780120164158. Dostupné z: doi:10.1016/S0065-2628(08)60081-6
- BOORMAN, K.N. a S.P. GUNARATNE. Dietary phosphorus supply, egg-shell deposition and plasma inorganic phosphorus in laying hens. *British Poultry Science* [online]. 2001, **42**(1), 81-91. ISSN 0007-1668. Dostupné z: doi:10.1080/713655018
- BRAMLEY, P. M. The Biochemistry of the Carotenoids, Volume 1: Plants (Second Edition). *Biochemical Society Transactions* [online]. 1981, **9**(5), 484-485. ISSN 0300-5127. Dostupné z: doi:10.1042/bst0090484
- BREITHAUPT, D.E. Modern application of xanthophylls in animal feeding – a review. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2007, **18**(10), 501-506. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2007.04.009
- BRENTJES, Burchard. *Jak zvířata zdomácněla*. Praha: Horizont, 1979.
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Chemical synthesis". *Encyclopedia Britannica*, 15 Jun. 2012, <https://www.britannica.com/science/chemical-synthesis>. Accessed 5 February 2021.
- BRITTON, George, Hanspeter PFANDER a Synnøve LIAAEN-JENSEN, ed. *Carotenoids* [online]. Basel: Birkhäuser Basel, 2009. ISBN 978-3-7643-7500-3. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-7643-7501-0
- BRITTON, G. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *The FASEB Journal* [online]. 1995, **9**(15), 1551-1558. ISSN 0892-6638. Dostupné z: doi:10.1096/fasebj.9.15.8529834
- COTTERILL, O.J., W.W. MARION a E.C. NABER. A Nutrient Re-evaluation of Shell Eggs. *Poultry Science* [online]. 1977, **56**(6), 1927-1934. ISSN 00325791. Dostupné z: doi:10.3382/ps.0561927



- CZAUDERNA, Marian, Jan KOWALCZYK a Milan MAROUNEK. The simple and sensitive measurement of malondialdehyde in selected specimens of biological origin and some feed by reversed phase high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography B* [online]. 2011, **879**(23), 2251-2258. ISSN 15700232. Dostupné z: doi:10.1016/j.jchromb.2011.06.008
- DENG, W., X. F. DONG, J. M. TONG, T. H. XIE a Q. ZHANG. Effects of an aqueous alfalfa extract on production performance, egg quality and lipid metabolism of laying hens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* [online]. 2012, **96**(1), 85-94. ISSN 09312439. Dostupné z: doi:10.1111/j.1439-0396.2010.01125.x
- DIPLOCK, A. T., J.-L. CHARULEUX, G. CROZIER-WILLI, F. J. KOK, C. RICE-EVANS, M. ROBERFROID, W. STAHL a J. VIÑA-RIBES. Functional food science and defence against reactive oxidative species. *British Journal of Nutrition* [online]. 1998, **80**(S1), S77-S112. ISSN 0007-1145. Dostupné z: doi:10.1079/BJN19980106
- DIKMEN, B. Yilmaz a U. SAHAN. Correlations between breeder age, egg cholesterol content, blood cholesterol level and hatchability of broiler breeders. *British Poultry Science* [online]. 2007, **48**(1), 98-103. ISSN 0007-1668. Dostupné z: doi:10.1080/00071660601161412
- ELKIN, R.G. Reducing shell egg cholesterol content. I. Overview, genetic approaches, and nutritional strategies. *World's Poultry Science Journal* [online]. 2006, **62**(4), 665-687. ISSN 0043-9339. Dostupné z: doi:10.1017/S0043933906001206
- ENGLMAIEROVÁ, M., M. SKŘIVAN a T. VÍT. Alfalfa meal as a source of carotenoids in combination with ascorbic acid in the diet of laying hens. *Czech Journal of Animal Science* [online]. 2019, **64**(1), 17-25. ISSN 12121819. Dostupné z: doi:10.17221/116/2018-CJAS
- ENGLMAIEROVÁ, M., M. SKŘIVAN a I. BUBANCOVÁ. A comparison of lutein, spray-dried Chlorella, and synthetic carotenoids effects on yolk colour, oxidative stability, and reproductive performance of laying hens. *Czech Journal of Animal Science* [online]. 2013, **58**(9), 412-419. ISSN 12121819. Dostupné z: doi:10.17221/6941-CJAS
- European Commission (EC), 2002. Opinion of the Scientific Committee on Animal Nutrition on the use of canthaxanthin in feedingstuffs for salmon and trout, laying hens, and other poultry. Adopted on 17 April 2002, European Commission Health & Consumer Protection Directorate-General, Directorate C - Scientific Opinions, C2 - Management of scientific committees; scientific co-operation and networks.* [online]. 2002. Dostupné z: [http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scan/out81\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scan/out81_en.pdf)
- FRAEYE, Ilse, Charlotte BRUNEEL, Charlotte LEMAHIEU, Johan BUYSE, Koenraad MUYLAERT a Imogen FOUBERT. Dietary enrichment of eggs with omega-3 fatty acids: A review. *Food Research International* [online]. 2012, **48**(2), 961-969. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2012.03.014

- FROESCHEIS, O, S MOALLI, H LIECHTI a J BAUSCH. Determination of lycopene in tissues and plasma of rats by normal-phase high-performance liquid chromatography with photometric detection. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications* [online]. 2000, **739**(2), 291-299. ISSN 03784347. Dostupné z: doi:10.1016/S0378-4347(99)00562-9
- GALOBART, J., R. SALA, X. RINCÓN-CARRUYO, E.G. MANZANILLA, B. VILÀ a J. GASA. Egg Yolk Color as Affected by Saponification of Different Natural Pigmenting Sources. *Journal of Applied Poultry Research* [online]. 2004, **13**(2), 328-334. ISSN 10566171. Dostupné z: doi:10.1093/japr/13.2.328
- GEOFFREY, B. Arden a M. Barker FELIX. Canthaxanthin and the eye: a critical ocular toxicologic assessment. *Journal of Toxicology: Cutaneous and Ocular Toxicology* [online]. 2008, **10**(1-2), 115-155. ISSN 0731-3829. Dostupné z: doi:10.3109/15569529109057908
- GOODWIN, T W. Metabolism, Nutrition, and Function of Carotenoids. *Annual Review of Nutrition* [online]. 1986, **6**(1), 273-297. ISSN 0199-9885. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.nu.06.070186.001421
- GOODWIN, T. W. *The biochemistry of the carotenoids*. 2nd ed. New York: Chapman and Hall, 1984. ISBN 0412237709.
- GINTER, Emil. Antioxidanty v ľudskej výžive. *Vesmír* 77. 1998, , 434-437.
- GLEIZE, Béatrice, Franck TOURNIAIRE, Laurence DEPEZAY, et al. Effect of type of TAG fatty acids on lutein and zeaxanthin bioavailability. *British Journal of Nutrition* [online]. 2013, **110**(1), 1-10. ISSN 0007-1145. Dostupné z: doi:10.1017/S0007114512004813
- GOUVEIA, L., V. VELOSO, A. REIS, H. FERNANDES, J. NOVAIS a J. EMPIS. Chlorella vulgaris used to colour egg yolk. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. 1996, **70**, 167-172. Dostupné z: doi:10.1002/(sici)1097-0010(199602)70:2<167::aid-jsfa472>3.0.co;2-2
- GRELA, E.R., K. OGNIK, A. CZECH a J. MATRAS. Quality assessment of eggs from laying hens fed a mixture with lucerne protein concentrate. *Journal of Animal and Feed Sciences* [online]. 2014, **23**(3), 236-243. ISSN 1230-1388. Dostupné z: doi:10.22358/jafs/65686/2014
- GROSS, Jeana. *Pigments in Vegetables* [online]. Boston, MA: Springer US, 1991. ISBN 978-1-4613-5842-8. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4615-2033-7
- GUIL-GUERRERO, J.L., M.M. REBOLLOSO-FUENTES a M.E.Torija ISASA. Fatty acids and carotenoids from Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *Journal of Food Composition and Analysis* [online]. 2003, **16**(2), 111-119. ISSN 08891575. Dostupné z: doi:10.1016/S0889-1575(02)00172-2
- HAEGERSTROM-PORTNOY, Gunilla. Short-wavelength-sensitive-cone sensitivity loss with aging: a protective role for macular pigment? *Journal of the Optical Society of America A* [online]. 1988, **5**(12). ISSN 1084-7529. Dostupné z: doi:10.1364/JOSAA.5.002140

- HAMMERSHØJ, Marianne a Niels Finn JOHANSEN. Review: The effect of grass and herbs in organic egg production on egg fatty acid composition, egg yolk colour and sensory properties. *Livestock Science* [online]. 2016, **194**, 37-43. ISSN 18711413. Dostupné z: doi:10.1016/j.livsci.2016.11.001
- HAMMERSHØJ, M. a S. STEENFELDT. Organic egg production. II: The quality of organic eggs is influenced by hen genotype, diet and forage material analyzed by physical parameters, functional properties and sensory evaluation. *Animal Feed Science and Technology* [online]. 2015, **208**, 182-197. ISSN 03778401. Dostupné z: doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.07.012
- HAMMERSHØJ, Marianne, Ulla KIDMOSE a Sanna STEENFELDT. Deposition of carotenoids in egg yolk by short-term supplement of coloured carrot ( *Daucus carota* ) varieties as forage material for egg-laying hens. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. 2010, **90**(7), 1163-1171. ISSN 00225142. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.3937
- HAMILTON, PAT B. The Use of High-Performance Liquid Chromatography for Studying Pigmentation. *Poultry Science* [online]. 1992, **71**(4), 718-732. ISSN 00325791. Dostupné z: doi:10.3382/ps.0710718
- HARRISON, Earl H. MECHANISMS OF DIGESTION AND ABSORPTION OF DIETARY VITAMIN A. *Annual Review of Nutrition* [online]. 2005, **25**(1), 87-103. ISSN 0199-9885. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.nutr.25.050304.092614
- HAXO, Francis. Carotenoids of the Mushroom *Cantharellus cinnabarinus*. *Botanical Gazette* [online]. 1950, **112**(2), 228-232. ISSN 0006-8071. Dostupné z: doi:10.1086/335653
- HENCKEN, H. Chemical and Physiological Behavior of Feed Carotenoids and Their Effects on Pigmentation. *Poultry Science* [online]. 1992, **71**(4), 711-717. ISSN 00325791. Dostupné z: doi:10.3382/ps.0710711
- HERNANDEZ, J. M., A. J. BLANCH a F. H. L. ROCHE. *Perceptions of egg quality in Europe* [online]. *International Poultry Production* 8, 2000, , 7-11.
- HORSTED, Klaus, Marianne HAMMERSHØJ a Bodil H ALLESEN-HOLM. Effect of grass-clover forage and whole-wheat feeding on the sensory quality of eggs. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. 2010, **90**(2), 343-348. ISSN 00225142. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.3825
- HORČIČKA, Pavel, Ondřej VEŠKRNA, Irena BÍŽOVÁ, et al. *Rádce pěstitele jarní pšenice*. České Budějovice: Kurent, [2018]. ISBN 978-80-87111-73-4.
- CHO, Eunyong. Prospective Study of Intake of Fruits, Vegetables, Vitamins, and Carotenoids and Risk of Age-Related Maculopathy. *Archives of Ophthalmology* [online]. 2004, **122**(6). ISSN 0003-9950. Dostupné z: doi:10.1001/archoph.122.6.883
- CHRISTENSEN, CAROL M. Effects of Color on Aroma, Flavor and Texture Judgments of Foods. *Journal of Food Science* [online]. 1983, **48**(3), 787-790. ISSN 0022-1147. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.1983.tb14899.x

- CHUNG, Hae-Yun, Helen M. RASMUSSEN a Elizabeth J. JOHNSON. Lutein Bioavailability Is Higher from Lutein-Enriched Eggs than from Supplements and Spinach in Men. *The Journal of Nutrition* [online]. 2004, **134**(8), 1887-1893. ISSN 0022-3166. Dostupné z: doi:10.1093/jn/134.8.1887
- JEANES, Yvonne M., Wendy L. HALL, Susan ELLARD, Elizabeth LEE a John K. LODGE. The absorption of vitamin E is influenced by the amount of fat in a meal and the food matrix. *British Journal of Nutrition* [online]. 2004, **92**(4), 575-579. ISSN 0007-1145. Dostupné z: doi:10.1079/BJN20041249
- JELÍNEK, Jan a Vladimír ZICHÁČEK. *Biologie pro gymnázia: (teoretická a praktická část)*. 4. rozš. vyd. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2000. ISBN 80-7182-107-1.
- JIANG, J.F., X.M. SONG, X. HUANG, J.L. WU, W.D. ZHOU, H.C. ZHENG a Y.Q. JIANG. Effects of alfalfa meal on carcass quality and fat metabolism of Muscovy ducks. *British Poultry Science* [online]. 2012, **53**(5), 681-688. ISSN 0007-1668. Dostupné z: doi:10.1080/00071668.2012.731493
- JORDÁN, Václav a Marie HEMZALOVÁ. *Antioxidanty: zázračné zbraně : vitaminy, minerály, stopové prvky, aminokyseliny a jejich využití pro zdravý život*. Brno: Jota, 2001. Jak na to (Jota). ISBN 80-7217-156-9.
- JOPP, Andreas. *Vitaminy a stopové prvky pro zdraví: optimalizace látkové výměny : význam pro imunitní a nervový systém : osobní program minerálních látek*. Praha: Eminent, 2014. ISBN 978-80-7281-489-3.
- KANG, KYUNG R., GEETHA CHERIAN a JEONG S. SIM. Tocopherols, Retinol and Carotenoids in Chicken Egg and Tissues as Influenced by Dietary Palm Oil. *Journal of Food Science* [online]. 1998, **63**(4), 592-596. ISSN 00221147. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.1998.tb15792.x
- KARADAS, F., E. GRAMMENIDIS, P. F. SURAI, T. ACAMOVIC a N.H.C. SPARKS. Effects of carotenoids from lucerne, marigold and tomato on egg yolk pigmentation and carotenoid composition. *British Poultry Science* [online]. 2007, **47**(5), 561-566. ISSN 0007-1668. Dostupné z: doi:10.1080/00071660600962976
- KARSTEN, H.D., P.H. PATTERSON, R. STOUT a G. CREWS. Vitamins A, E and fatty acid composition of the eggs of caged hens and pastured hens. *Renewable Agriculture and Food Systems* [online]. 2010, **25**(1), 45-54. ISSN 1742-1705. Dostupné z: doi:10.1017/S1742170509990214
- KARUNAJEEWA, H., R. J. HUGHES, M. W. MCDONALD a F. S. SHENSTONE. A Review of Factors Influencing Pigmentation of Egg Yolks. *World's Poultry Science Journal* [online]. 1984, **40**(1), 52-65. ISSN 0043-9339. Dostupné z: doi:10.1079/WPS19840006
- KIRUNDA, D.F.K. a S.R. MCKEE. Relating Quality Characteristics of Aged Eggs and Fresh Eggs to Vitelline Membrane Strength as Determined by a Texture Analyzer. *Poultry Science* [online]. 2000, **79**(8), 1189-1193. ISSN 00325791. Dostupné z: doi:10.1093/ps/79.8.1189

- KODEŠ, Alois a Jarmil VÝMOLA. *Základy moderní výživy drůbeže*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2003. ISBN 80-213-1077-4.
- KRINSKY, Norman I., John T. LANDRUM a Richard A. BONE. Biochemical Mechanisms of the Protective Role of Lutein and Zeaxanthin in the Eye. *Annual Review of Nutrition* [online]. 2003, **23**(1), 171-201 [cit. 2021-01-15]. ISSN 0199-9885. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.nutr.23.011702.073307
- KRINSKY, Norman I. Carotenoids as antioxidants. *Nutrition* [online]. 2001, **17**(10), 815-817. ISSN 08999007. Dostupné z: doi:10.1016/S0899-9007(01)00651-7
- KRINSKY, Norman I., Mark D. RUSSETT, Garry J. HANDELMAN a D. Max SNODDERLY. Structural and Geometrical Isomers of Carotenoids in Human Plasma. *The Journal of Nutrition* [online]. 1990, **120**(12), 1654-1662. ISSN 0022-3166. Dostupné z: doi:10.1093/jn/120.12.1654
- LANDRUM, John T a Richard A BONE. Lutein, Zeaxanthin, and the Macular Pigment. *Archives of Biochemistry and Biophysics* [online]. 2001, **385**(1), 28-40. ISSN 00039861. Dostupné z: doi:10.1006/abbi.2000.2171
- LANDRUM, J. T., R. A. BONE, Y. CHEN, Christian HERRERO, C. M. LLERENA a E. TWAROWSKA. Carotenoids in the human retina. *Pure and Applied Chemistry* [online]. 1999, **71**(12), 2237-2244. ISSN 1365-3075. Dostupné z: doi:10.1351/pac199971122237
- LANDRUM, JOHN T, RICHARD A BONE, HILDA JOA, MARK D KILBURN, LINDA L MOORE a KATHLEEN E SPRAGUE. A One Year Study of the Macular Pigment: The Effect of 140 Days of a Lutein Supplement. *Experimental Eye Research* [online]. 1997, **65**(1), 57-62. ISSN 00144835. Dostupné z: doi:10.1006/exer.1997.0309
- LEESON, S., L. CASTON a H. NAMKUNG. Effect of dietary lutein and flax on performance, egg composition and liver status of laying hens. *Canadian Journal of Animal Science* [online]. 2007, **87**(3), 365-372. ISSN 0008-3984. Dostupné z: doi:10.4141/A06-043
- LEESON, S. a L. CASTON. Enrichment of Eggs with Lutein. *Poultry Science* [online]. 2004, **83**(10), 1709-1712. ISSN 00325791. Dostupné z: doi:10.1093/ps/83.10.1709
- LOETSCHER, Y., M. KREUZER a R.E. MESSIKOMMER. Utility of nettle (*Urtica dioica*) in layer diets as a natural yellow colorant for egg yolk. *Animal Feed Science and Technology* [online]. 2013, **186**(3-4), 158-168. ISSN 03778401. Dostupné z: doi:10.1016/j.anifeedsci.2013.10.006
- LOPEZ-BOTE, C.J, R SANZ ARIAS, A.I REY, A CASTAÑO, B ISABEL a J THOS. Effect of free-range feeding on n-3 fatty acid and  $\alpha$ -tocopherol content and oxidative stability of eggs. *Animal Feed Science and Technology* [online]. 1998, **72**(1-2), 33-40. ISSN 03778401. Dostupné z: doi:10.1016/S0377-8401(97)00180-6
- MAGDELAINE, P. *CDrom proceeding of the XII European Symposium on the quality of egg and egg product* [online]. Prague, 2007, 2-5 sept 2007, , 9-14.

- MANGELS, Ann Reed, Joanne M HOLDEN, Gary R BEECHER, Michele R FORMAN a Elaine LANZA. Carotenoid content of fruits and vegetables: An evaluation of analytic data. *Journal of the American Dietetic Association* [online]. 1993, **93**(3), 284-296. ISSN 00028223. Dostupné z: doi:10.1016/0002-8223(93)91553-3
- MAROUNEK, Milan a Jaroslav HAVLÍK. *Živiny a živinové potřeby člověka: učebnice pro studenty ČZU v Praze*. 3. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2020. ISBN 978-80-213-3018-4.
- MAROUNEK, M., M. SKŘIVAN a M. ENGLMAIEROVÁ. Effect of dietary fat on the content of vitamins and carotenoids in egg yolks. *European Poultry Science* [online]. 2019, **83**. Dostupné z: doi:10.1399/eps.2019.265
- MARUSICH, W.L and J.C. BAUERNFEIND, 1981: Oxycarotenoids in poultry feeds. In carotenoids as colorants and vitamin A precursors. BAUERNFEIND J.C, ed., 320-462.
- MILLER, Nicholas J., Julia SAMPSON, Luis P. CANDEIAS, Peter M. BRAMLEY a Catherine A. RICE-EVANS. Antioxidant activities of carotenes and xanthophylls. *FEBS Letters* [online]. 1996, **384**(3), 240-242. ISSN 00145793. Dostupné z: doi:10.1016/0014-5793(96)00323-7
- MORTON, R. A. Vitamin A. *Nature* [online]. 1957, **180**(4584), 452-452. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/180452a0
- MUGNAI, Cecilia, Evangelia N SOSSIDOU, Alessandro DAL BOSCO, Silvia RUGGERI, Simona MATTIOLI a Cesare CASTELLINI. The effects of husbandry system on the grass intake and egg nutritive characteristics of laying hens. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. 2014, **94**(3), 459-467. ISSN 00225142. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.6269
- NABI, Fazul, Muhammad A. ARAIN, Nasir RAJPUT, et al. Health benefits of carotenoids and potential application in poultry industry: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* [online]. 2020, **104**(6), 1809-1818. ISSN 0931-2439. Dostupné z: doi:10.1111/jpn.13375
- NICOLLE, Catherine, Nicolas CARDINAULT, Olivier APRIKIAN, et al. Effect of carrot intake on cholesterol metabolism and on antioxidant status in cholesterol-fed rat. *European Journal of Nutrition* [online]. 2003, **42**(5), 254-261. ISSN 1436-6207. Dostupné z: doi:10.1007/s00394-003-0419-1
- NIMALARATNE, Chamila a Jianping WU. Hen Egg as an Antioxidant Food Commodity: A Review. *Nutrients* [online]. 2015, **7**(10), 8274-8293. ISSN 2072-6643. Dostupné z: doi:10.3390/nu7105394
- NYS, Yves. *Dietary carotenoids and egg yolk coloration - A review* [online]. Verlag Eugen Ulmer Gmh Co, Stuttgart: Archiv fur Geflugelkunde 64(2):45-54, March 2000. ISSN 0003-9098. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/279647522\\_Dietary\\_carotenoids\\_and\\_egg\\_yolk\\_coloration\\_-\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/279647522_Dietary_carotenoids_and_egg_yolk_coloration_-_A_review)

- OLSON, J A a N I KRINSKY. Introduction: the colorful, fascinating world of the carotenoids. *The FASEB Journal* [online]. 1995, **9**(15), 1547-1550. ISSN 0892-6638. Dostupné z: doi:10.1096/fasebj.9.15.8529833
- PANAITE, Tatiana Dumitra, Violeta NOUR, Petru Alexandru VLAICU, Mariana ROPOTA, Alexandru Radu CORBU a Mihaela SARACILA. Flaxseed and dried tomato waste used together in laying hens diet. *Archives of Animal Nutrition* [online]. 2019, **73**(3), 222-238. ISSN 1745-039X. Dostupné z: doi:10.1080/1745039X.2019.1586500
- PÁNEK, Jan, Jan POKORNÝ a Jana DOSTÁLOVÁ. *Základy výživy a výživová politika*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2002. ISBN 80-7080-468-8.
- PAVLÍKOVÁ, Daniela. *Ekotoxikologie*. 2., dopl. a přeprac. vyd. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, 2008. ISBN 978-80-213-1843-4.
- PETRACEK, F. J. a L. ZECHMEISTER. Reaction of  $\beta$ -Carotene with N-Bromosuccinimide: The Formation and Conversions of Some Polyene Ketones. *Journal of the American Chemical Society* [online]. 1956, **78**(7), 1427-1434. ISSN 0002-7863. Dostupné z: doi:10.1021/ja01588a044
- PIZZINO, Gabriele, Natasha IRRERA, Mariapaola CUCINOTTA, et al. Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* [online]. 2017, **2017**, 1-13. ISSN 1942-0900. Dostupné z: doi:10.1155/2017/8416763
- PONTE, P.I.P., L.M.A. FERREIRA, M.A.C. SOARES, M.A.N.M. AGUIAR, J.P.C. LEMOS, I. MENDES a C.M.G.A. FONTES. Use of Cellulases and Xylanases to Supplement Diets Containing Alfalfa for Broiler Chicks: Effects on Bird Performance and Skin Color. *Journal of Applied Poultry Research* [online]. 2004, **13**(3), 412-420. ISSN 10566171. Dostupné z: doi:10.1093/japr/13.3.412
- PRÉVÉRAUD, D.P., E. DEVILLARD a P. BOREL. Dietary fat modulates dl- $\alpha$ -tocopheryl acetate (vitamin E) bioavailability in adult cockerels. *British Poultry Science* [online]. 2015, **56**(1), 94-102. ISSN 0007-1668. Dostupné z: doi:10.1080/00071668.2014.982074
- PROESTOS, C., I.S. BOZIARIS, G.-J.E. NYCHAS a M. KOMAITIS. Analysis of flavonoids and phenolic acids in Greek aromatic plants: Investigation of their antioxidant capacity and antimicrobial activity. *Food Chemistry* [online]. 2006, **95**(4), 664-671. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2005.01.049
- Prispěvatelé Wikipedie, *Chemická syntéza* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2019, Datum poslední revize 10. 12. 2019, 00:08 UTC, <[https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Chemick%C3%A1\\_synt%C3%A9za&oldid=17928785](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Chemick%C3%A1_synt%C3%A9za&oldid=17928785)>
- Prispěvatelé Wikipedie, *Kvasinky* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2020, Datum poslední revize 11. 11. 2020, 15:52 UTC, <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Kvasinky&oldid=19151997>>

- RAVINDRAN, V., P. TANCHAROENRAT, F. ZAEFARIAN a G. RAVINDRAN. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilisation. *Animal Feed Science and Technology* [online]. 2016, **213**, 1-21. ISSN 03778401. Dostupné z: doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.01.012
- ROBERTS, Juliet R. Factors Affecting Egg Internal Quality and Egg Shell Quality in Laying Hens. *The Journal of Poultry Science* [online]. 2004, **41**(3), 161-177. ISSN 1346-7395. Dostupné z: doi:10.2141/jpsa.41.161
- ROMANOFF, Alexis Lawrence a Anastasia J ROMANOFF. *The avian egg*. New York: John Wiley, 1949.
- SAEED, M., D. BABAZADEH, M.A. ARAIN, et al. The use of chicoric acid from Echinacea purpurea as a feed additive in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal* [online]. 2018, **74**(1), 69-78. ISSN 0043-9339. Dostupné z: doi:10.1017/S0043933917001027
- Safety and efficacy of ethyl ester of  $\beta$ -apo-8'-carotenoic acid as a feed additive for poultry for fattening and poultry for laying. *EFSA Journal* [online]. 2016, **14**(4). ISSN 18314732. Dostupné z: doi:10.2903/j.efsa.2016.4439
- SAMMAN, Samir, Fan Piu KUNG, Lissa M. CARTER, Meika J. FOSTER, Zia I. AHMAD, Jenny L. PHUYAL a Peter PETOCZ. Fatty acid composition of certified organic, conventional and omega-3 eggs. *Food Chemistry* [online]. 2009, **116**(4), 911-914. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2009.03.046
- SAS.SAS/STAT User's Guide (Release 9.3); SAS Institute: Cary, NC, USA, 2003.
- Scientific opinion on the safety and efficacy of canthaxanthin as a feed additive for poultry and for ornamental birds and ornamental fish. *EFSA Journal* [online]. 2014, **12**(1). ISSN 18314732. Dostupné z: doi:10.2903/j.efsa.2014.3527
- SEUSS-BAUM, Ingrid. Nutritional Evaluation of Egg Compounds. HUOPALAHTI, Rainer, Rosina LÓPEZ-FANDIÑO, Marc ANTON a Rüdiger SCHADE, ed. *Bioactive Egg Compounds* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007, 2007, s. 117-144. ISBN 978-3-540-37883-9. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-37885-3\_18
- SCHIEDT, K., F. J. LEUENBERGER, M. VECCHI a E. GLINZ. Absorption, retention and metabolic transformations of carotenoids in rainbow trout, salmon and chicken. *Pure and Applied Chemistry* [online]. 1985, **57**(5), 685-692. ISSN 1365-3075. Dostupné z: doi:10.1351/pac198557050685
- Skřivan M., Englmaierová M.: Nová odrůda pšenice PEXESO se zvýšeným obsahem karotenoidů je v pokusech u drůbeže ve VÚŽV. *Drůběžář-hydinář*, 2020, 14(1), 12-15.
- SKŘIVAN, M., M. ENGLMAIEROVÁ, E. SKŘIVANOVÁ a I. BUBANCOVÁ. Increase in lutein and zeaxanthin content in the eggs of hens fed marigold flower extract. *Czech Journal of Animal Science* [online]. 2016, **60**(3), 87-96. ISSN 12121819. Dostupné z: doi:10.17221/8073-CJAS



- SKŘIVAN, M., M. MAROUNEK, M. ENGLMAIEROVÁ a E. SKŘIVANOVÁ. Effect of increasing doses of marigold (*Tagetes erecta*) flower extract on eggs carotenoids content, colour and oxidative stability. *Journal of Animal and Feed Sciences* [online]. 2016, **25**(1), 58-64. ISSN 1230-1388. Dostupné z: doi:10.22358/jafs/65588/2016
- SKŘIVAN, Miloš a Michaela ENGLMAIEROVÁ. *Chov slepic na pastvě zvyšuje obsah vitaminů a karotenoidů ve vejcích: metodika*. Praha Uhřetěves: Výzkumný ústav živočišné výroby, 2015. ISBN 978-80-7403-138-0.
- SKŘIVAN, M. a M. ENGLMAIEROVÁ. The deposition of carotenoids and  $\alpha$ -tocopherol in hen eggs produced under a combination of sequential feeding and grazing. *Animal Feed Science and Technology* [online]. 2014, **190**, 79-86. ISSN 03778401. Dostupné z: doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.01.009
- SKŘIVANOVÁ, V., M. ENGLMAIEROVÁ, M. BENDO VÁ a M. SKŘIVAN. Effect of the source and level of carotenoids in diets on their retention in eggs. *Czech Journal of Animal Science* [online]. 2017, **62**(8), 323-330. ISSN 12121819. Dostupné z: doi:10.17221/17/2017-CJAS
- SKŘIVANOVÁ, Eva. Vybrané zásady chovu a výživy drůbeže In: LEDVINKA, Zdeněk. *Chov drůbeže I*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2174-8.
- STAHL, Wilhelm a Helmut SIES. Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine* [online]. 2003, **24**(6), 345-351. ISSN 00982997. Dostupné z: doi:10.1016/S0098-2997(03)00030-X
- STANĚK, Eduard. *Příručka pro ošetřovatele drůbeže*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1963. Živočišná výroba (Státní zemědělské nakladatelství).
- STENESH, J. *Dictionary of biochemistry and molecular biology*. 2nd ed. New York: Wiley, c1989. ISBN 0471840890.
- STUPKA, Roman. *Chov zvířat*. 2. vyd. Praha: Powerprint, 2013. ISBN 978-80-87415-66-5.
- SUJAK, Agnieszka, Janina GABRIELSKA, Wojciech GRUDZIŃSKI, Robert BORC, Piotr MAZUREK a Wiesław I. GRUSZECKI. Lutein and Zeaxanthin as Protectors of Lipid Membranes against Oxidative Damage: The Structural Aspects. *Archives of Biochemistry and Biophysics* [online]. 1999, **371**(2), 301-307. ISSN 00039861. Dostupné z: doi:10.1006/abbi.1999.1437
- SUN, B., C. CHEN, W. WANG, et al. Effects of lycopene supplementation in both maternal and offspring diets on growth performance, antioxidant capacity and biochemical parameters in chicks. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* [online]. 2015, **99**(1), 42-49. ISSN 09312439. Dostupné z: doi:10.1111/jpn.12196
- Surai, P.F.; Simons, P.C.M.; Dvorska, J.E.; Aradas, F.; Sparks, N.H.C. Antioxidant-enriched eggs: Opportunities and limitations. In *The Amazing Egg: Nature's Perfect Functional Food for Health Promotion*; Sim, J.S., Sunwoo, H.H., Eds.; University of Alberta: Edmonton, AB, Canada, 2006; pp. 68–93.

- TAPIERO, H, D.M TOWNSEND a K.D TEW. The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. *Biomedicine & Pharmacotherapy* [online]. 2004, **58**(2), 100-110. ISSN 07533322. Dostupné z: doi:10.1016/j.biopha.2003.12.006
- TŮMOVÁ, Eva, Michaela ENGLMAIEROVÁ, Darina CHODOVÁ a Martina LICHOVNÍKOVÁ. *Chov drůbeže II*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2019. ISBN 978-80-213-2937-9.
- TŮMOVÁ, Eva. Vejce a snáška drůbeže In: LEDVINKA, Zdeněk. *Chov drůbeže I*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2174-8.
- TYLER, C. Shell strength: Its measurement and its relationship to other factors. *British Poultry Science* [online]. 1961, **2**(1-3), 3-19. ISSN 0007-1668. Dostupné z: doi:10.1080/00071666109382385
- USDA. USDA egg grading manual. *United States Department of Agriculture: Agricultural Marketing Service* [online]. Agricultural Handbook no. 75, 2000. Dostupné z: <https://www.ams.usda.gov/publications/content/egg-grading-manual>
- VAN HET HOF, Karin H, Ingeborg A BROUWER, Clive E WEST, et al. Bioavailability of lutein from vegetables is 5 times higher than that of  $\beta$ -carotene. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1999, **70**(2), 261-268. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn.70.2.261
- VERHOEF-VERHALLEN, Esther. *Slepice*. Dobřejovice: Rebo Productions, 2005. Příručka začínajícího chovatele. ISBN 80-7234-404-8.
- VODRÁŽKA, Zdeněk. *Biochemie*. 2. oprav. vyd. Praha: Academia, 1996. ISBN 80-200-0600-1.
- ZELENKA, Jiří, Jaroslav HEGER a Ladislav ZEMAN. *Doporučený obsah živin v krmných směsích a výživná hodnota krmiv pro drůbež: Recommended nutrient content in poultry diets and nutritive value of feeds for poultry*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2007. ISBN 978-80-7375-091-6.

## 10 Obrázky

### **Obrázek č. 1: Chemická struktura: polynenasycená mastná linolová kyselina**

Prispěvatelé Wikipedie, *Kyselina linolová* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2020, Datum poslední revize 4. 07. 2020, 15:31 UTC, <[https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Kyselina\\_linolov%C3%A1&oldid=18783401](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Kyselina_linolov%C3%A1&oldid=18783401)>

### **Obrázek č. 2: Chemická struktura: polynenasycená mastná $\alpha$ -linolenová kyselina**

Prispěvatelé Wikipedie, *Omega-3 nenasycené mastné kyseliny* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2020, Datum poslední revize 29. 02. 2020, 15:02 UTC, <[https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Omega-3\\_nenasycen%C3%A9\\_mastn%C3%A9\\_kyseliny&oldid=18202219](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Omega-3_nenasycen%C3%A9_mastn%C3%A9_kyseliny&oldid=18202219)>

### **Obrázek č. 3: Chemická struktura: polynenasycená mastná arachidonová kyselina**

Wikimedia Commons contributors, 'File:AAnumbering.png', *Wikimedia Commons, the free media repository*, 12 September 2020, 17:19 UTC, <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:AAnumbering.png&oldid=456741446>>

### **Obrázek č. 4: Chemická struktura: karotenoid lutein (xantofyl)**

Prispěvatelé Wikipedie, *Lutein* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2020, Datum poslední revize 19. 11. 2020, 19:57 UTC, <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Lutein&oldid=19178977>>

### **Obrázek č. 5: Chemická struktura: karotenoid zeaxantin (xantofyl)**

Prispěvatelé Wikipedie, *Zeaxantin* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2019, Datum poslední revize 20. 10. 2019, 11:56 UTC, <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Zeaxantin&oldid=17744242>>

### **Obrázek č. 6: Chemická struktura: karotenoid $\beta$ -karoten (karoten)**

Prispěvatelé Wikipedie, *Betakaroten* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2020, Datum poslední revize 23. 10. 2020, 08:33 UTC, <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Betakaroten&oldid=19098560>>

### **Obrázek č. 7: Chemická struktura: karotenoid zeinoxantin (xantofyl)**

[https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty\\_EN\\_CB01415872.htm](https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB01415872.htm)

### **Obrázek č. 8: Chemická struktura: karotenoid lykopen (karoten)**

Prispěvatelé Wikipedie, *Lykopen* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2019, Datum poslední revize 28. 11. 2019, 22:33 UTC, <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Lykopen&oldid=17894564>>

**Obrázek č. 9: Chemická struktura:  $\beta$ -apo-8'ethylester kyseliny karotenové**

Wikipedia contributors, 'Food orange 7', *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, 29 January 2021, 15:13 UTC, <[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Food\\_orange\\_7&oldid=1003554079](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Food_orange_7&oldid=1003554079)>

**Obrázek č. 10: Chemická struktura: karotenoid citranaxantin (xantofyl)**

Wikipedia contributors, 'Citranaxanthin', *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, 26 April 2020, 13:07 UTC, <<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Citranaxanthin&oldid=953252808>>

**Obrázek č. 11: Chemická struktura: karotenoid kantaxantin (xantofyl)**

Prispěvatelé Wikipedie, *Kantaxantin* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2020, Datum poslední revize 14. 09. 2020, 07:40 UTC, <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Kantaxantin&oldid=18995342>>

**Obrázek č. 12: Chemická struktura: vitamin E ( $\alpha$ -tokoferol)**

Wikibooks contributors, 'Structural Biochemistry/Chemistry of important organic molecules in Biochemistry/Vitamin E', *Wikibooks, The Free Textbook Project*, 9 September 2016, 21:33 UTC, <[https://en.wikibooks.org/w/index.php?title=Structural\\_Biochemistry/Chemistry\\_of\\_important\\_organic\\_molecules\\_in\\_Biochemistry/Vitamin\\_E&oldid=3117400](https://en.wikibooks.org/w/index.php?title=Structural_Biochemistry/Chemistry_of_important_organic_molecules_in_Biochemistry/Vitamin_E&oldid=3117400)>

**Obrázek č. 13: Chemická struktura: karotenoid  $\beta$ -kryptoxantin (xantofyl)**

Prispěvatelé Wikipedie, *Kryptoxantin* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2019, Datum poslední revize 22. 09. 2019, 17:31 UTC, <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Kryptoxantin&oldid=17664890>>

**Obrázek č. 14: Slepíčí vaječník (*ovary, ovarium*) a vejcovod (*oviductus*)**

ROBERTS, Juliet R. Factors Affecting Egg Internal Quality and Egg Shell Quality in Laying Hens. *The Journal of Poultry Science* [online]. 2004, **41**(3), 161-177. ISSN 1346-7395. Dostupné z: doi:10.2141/jpsa.41.161

**Obrázek č. 15: Chemická struktura: Malondialdehyd (MDA, propandial)**

Prispěvatelé Wikipedie, *Malondialdehyd* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2020, Datum poslední revize 8. 09. 2020, 07:34 UTC, <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Malondialdehyd&oldid=18980356>>