

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chovu hospodářských zvířat



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

Kvalita vajec v závislosti na genotypu a věku nosnice

Bakalářská práce

Autor práce: Pavlína Antošová

Studijní program: Chov hospodářských zvířat

Vedoucí práce: doc. Ing. Lukáš Zita, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Kvalita vajec v závislosti na genotypu a věku nosnice" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21.4. 2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Lukášovi Zitovi, Ph.D., jakožto vedoucímu mé práce, za velmi ochotný přístup, odbornou pomoc při psaní mé bakalářské práce a za zkušenosti s hodnocením kvality vajec v rámci výzkumů v laboratoři. Dále také Ing. Adamovi Krausovi, Ph.D. za pomoc při hledání odborné literatury. Speciální poděkování patří také mé rodině, příteli a kamarádům za podporu a trpělivost.

Kvalita vajec v závislosti na genotypu a věku nosnice

Souhrn

Vejde patří neodmyslitelně k základním a v současnosti velmi oblíbeným potravinám živočišného původu. Je to hlavně z toho důvodu, že mají výbornou stravitelnost a jsou rychle a lehce zpracovatelná. Velmi dobrá je také nutriční hodnota vajec. Vejce obsahují velké množství proteinů, které jsou pro člověka velmi důležité. Největší množství proteinů obsahuje bílek vajec. Stravitelnost těchto vaječných proteinů je velmi vysoká, pohybuje se kolem 98–100 %. Vaječný žloutek obsahuje vysoké množství mastných kyselin a lipidů. Ve vejcích se kromě lipidů, proteinů a mastných kyselin nacházejí i minerální látky a vitamíny. S lipidy vajec je často spojován i cholesterol.

O jejich velké oblíbě značí i statistiky, které vykazují celosvětové zvýšení v produkci i spotřebě vajec. Vejce slepic jsou součástí mnoha různých potravinářských výrobků. Využívají se pro přípravu různých salátů, majonéz, dresinků, krémů, těstovin, pomazánek, piškotů, cukrovinek nebo alkoholických nápojů. Oblíbená je také příprava vajec pro přímou konzumaci, kdy je lidé připravují vařená, smažená, míchaná, ale konzumují je i syrová. Kromě gastronomie lze vejce využít také ve farmacii, kosmetice nebo jako krmivo pro zvířata.

Se zvyšující se poptávkou po vejcích se zvyšují také nároky na jejich kvalitu. V rámci kvality se u vajec hodnotí kvalita vaječné skořápky, žloutku a bílku. Všechny tyto části mohou být kontaminovány, což může narušit jejich kvalitu a mohou se stát nekonzumovatelnými. Na kvalitu vajec může mít vliv mnoho faktorů, které lze rozdělit na faktory vnější a faktory vnitřní. Mezi vnější faktory patří například typ ustájení, podmínky prostředí, výživa a složení krmné směsi, podmínky skladování vajec nebo třeba znečištění vaječné skořápky. Genotyp nosnice, věk, doba snesení vejce a užitkový typ se řadí naopak mezi faktory vnitřní.

Z hlediska hodnocení kvality vejce se hodnotí hmotnost a index tvaru vejce, jehož optimem je 73-75 %. U vaječné skořápky lze zjišťovat hmotnost, podíl z hmotnosti celého vejce, deformaci, pevnost, tloušťku vaječné skořápky po oddělení podskořápečných blan a barvu. U vaječného žloutku a bílku se posuzuje jejich hmotnost, procentuální podíl z celého vejce nebo index tvaru těchto částí vejce. Index tvaru žloutku je optimálně 35-40 %, index tvaru bílku pak 5-12 %. Dále pak je hodnocena u žloutku jeho barva, a to buď subjektivně pomocí barevné stupnice La Roche nebo objektivně pomocí přístroje Minolta. U bílku se hodnotí šlehatelnost bílku, trvanlivost pěny a tzv. Haughovy jednotky, které vyjadřují vztah mezi výškou bílku a hmotností vejce.

Klíčová slova: genotyp, vejce, věk, skořápka, žloutek, bílek, kvalita

Egg quality depending on the genotype and age of the hen

Summary

Eggs are inherently one of the basic and currently very popular foods of animal origin. This is mainly because they have excellent digestibility and are quickly and easily processed. The nutritional value of eggs is also very good. Eggs contain a large amount of protein, which is very important for humans. Egg white contains the largest amount of protein. The digestibility of these egg proteins is very high, around 98-100 %. Egg yolk contains a high amount of fatty acids and lipids. In addition to lipids, proteins and fatty acids, eggs also contain minerals and vitamins. Cholesterol is often associated with egg lipids.

Their great popularity is also indicated by statistics that show a worldwide increase in the production and consumption of eggs. Chicken eggs are part of many different food products. They are used to prepare various salads, mayonnaise, dressings, creams, pasta, spreads, sponge cakes, sweets or alcoholic beverages. Preparing eggs for direct consumption is also popular, when people prepare them boiled, fried, scrambled, but also eat them raw. In addition to gastronomy, eggs can also be used in pharmacy, cosmetics or as animal feed.

As the demand for eggs increases, so do the demands on their quality. As part of quality, the quality of the egg shell, yolk and white is evaluated for eggs. All of these parts can become contaminated, which can impair their quality and render them inedible. Egg quality can be influenced by many factors, which can be divided into external factors and internal factors. External factors include, for example, the type of housing, environmental conditions, nutrition and the composition of the feed mixture, egg storage conditions or even contamination of the eggshell. The genotype of the laying hen, age, egg-laying time and utility type, on the other hand, are classified as internal factors.

From the point of view of evaluating egg quality, the weight and shape index of the egg are evaluated, the optimum of which is 73-75 %. For eggshells, the weight, proportion of the weight of the whole egg, deformation, strength, thickness of the eggshell after separation of the subshell membranes and color can be determined. For the egg yolk and white, their weight, percentage of the whole egg or the shape index of these parts of the egg is assessed. The shape index of the yolk is optimally 35-40 %, the shape index of the white is 5-12 %. Next, the color of the yolk is evaluated, either subjectively using the La Roche color scale or objectively using the Minolta device. For the egg white, the beatability of the egg white, the durability of the foam and the so-called Haugh units, which express the relationship between the height of the egg white and the weight of the egg, are evaluated.

Keywords: genotype, egg, age, shell, yolk, albumen, quality

Obsah

1 Úvod	7
2 Cíl práce.....	9
3 Literární rešerše.....	10
3.1 Nutriční hodnota vajec	10
3.2 Složení vajec.....	11
3.2.1 Vaječná skořápka.....	12
3.2.2 Podskořápečné blány a kutikula	12
3.2.3 Vaječný bílek	12
3.2.4 Vaječný žloutek	13
3.3 Kvalita vajec	14
3.3.1 Vnitřní kvalita vajec	14
3.3.2 Vnější kvalita vajec.....	15
3.4 Vnější a vnitřní faktory ovlivňující kvalitu vajec	17
3.4.1 Základní vnitřní faktory ovlivňující kvalitu vajec	17
3.4.2 Základní vnější faktory ovlivňující kvalitu vajec	20
4 Závěr	28
5 Literatura.....	30
6 Seznam použitých zkratk a symbolů	37
7 Seznam tabulek a obrázků	38
8 Samostatné přílohy	I

1 Úvod

Vejsce jsou v dnešní době jednou z nezákladnějších a nejvíce využívaných živočišných komodit. Český statistický úřad uvádí, že početní stavy drůbeže za rok 2021 vykazovaly 25 788 094 kusů drůbeže celkem, z toho 5 200 665 nosnic. Situace za rok 2022 byla však o poznání horší. Početní stavy vykazovaly 23 763 508, což je o cca dva miliony méně, než v roce 2021. Lze tedy říci, že se početní stavy drůbeže v České republice rapidně snižují. Kromě stavů nosnic, se snížila také produkce vajec. Za rok 2021 činila produkce vajec 1 735 143, na jednu nosnici připadalo necelých 311 vajec. Za rok 2022 činila produkce vajec asi 1 529 378 kusů vajec za rok, z toho na jednu nosnici připadalo asi 307 vajec. Z této statistiky lze opět pozorovat snížení počtu snesených vajec. Značné změny lze pozorovat i při sledování soběstačnosti České republiky v produkci vajec. Ta totiž od roku 2011 do roku 2021 značně kolísá. Nejnižší soběstačnost měla Česká republika v roce 2015, kdy činila 78,4 %. Naopak se za rok 2021 zvýšila soběstačnost na 86,1 %. Spotřeba vajec je v České republice v posledních letech kolem 240–270 kusů na osobu a rok. V 90. letech byla však spotřeba vajec na osobu 350 kusů, tudíž lze konstatovat, že se spotřeba snížila. Z hlediska cen bylo v meziročním srovnání zjištěno, že se průměrná cena vajec v roce 2021 zvýšila o 2,2 % v porovnání s průměrnou cenou v roce 2020. V srpnu roku 2022 cena vajec v porovnání s červencem 2022 stagnovala. Aktuální cena jednoho slepičího vejce je kolem šesti korun/kus.

V roce 2012 celková světová produkce vajec ve skořápce přesáhla 66 milionů tun, přičemž přes 57 % poskytlo pouze pět zemí, a to konkrétně Čína, Spojené státy americké, Indie, Japonsko a Mexiko. V rámci celého světa se roční produkce mezi lety 2000 až 2010 zvýšila o bez mála 2,5 %. Celosvětově největším producentem vajec je Čína, neboť zastřešuje asi 45 % celkové produkce vajec. V roce 2011 vyprodukovala skoro 24 tun vajec, v roce 2012 se jejich produkce ještě zvýšila na něco málo přes 28 tun. V roce 2010 vyprodukovalo jenom pět zemí, konkrétně Spojené státy americké, Mexiko, Brazílie, Kolumbie a Argentina, 10,8 milionu tun vajec. V roce 2012 se produkce vajec ve Spojených státech amerických, oproti roku 2011, zvýšila. Co se týče Evropy, tak bylo v roce 2012 zaznamenáno snížení produkce vajec, a to z důvodu zákazu konvekčních klecových chovů Evropskou unií. Mezi největší evropské producenty vajec patří Francie a Španělsko, následuje je Itálie, Německo, Nizozemsko a Velká Británie. Dle statistiky FAO se celková produkce vajec zvýšila z necelých 62 milionů tun v roce 2008 na skoro 77 milionů tun, zaznamenaných v roce 2018. Jedná se tak o velmi značné zvýšení. Soběstačnost v Evropské unií v produkci vajec byla za rok 2021 výborná, jelikož činila 102 %. Všechny výrobní metody se za posledních patnáct let poměrně změnilo s ohledem na dobré životní podmínky zvířat a změny v evropských předpisech. V Evropě se produkuje čím dál tím méně vajec v uzavřeném prostoru a zároveň došlo také k silnému zvýšení počtu systémů, které umožňují nosnicím přístup k venkovnímu výběhu.

Stejně jako všechny živočišné komodity i vejce a jejich produkce jsou velmi pečlivě kontrolována z hlediska kontroly kvality potravin. Proto je velmi důležité znát různé faktory, které na kvalitu vajec mají vliv, ať už se jedná o faktory vnější či faktory vnitřní. U slepičích vajec se z hlediska kvality hodnotí kvalita skořápky, žloutku a i bílku. Mezi faktory vnější se řadí např. skladování a manipulace s vejci, způsob ustájení a výživa nosnic, vliv prostředí nebo kontaminace vajec. Mezi faktory vnitřní lze zařadit např. věk nosnice, genotyp nosnice nebo

zdravotní stav. Kvalita vajec je společně s barvou vejce a jeho velikostí velmi důležitá a rozhodující nejen pro konzumenty, ale také pro následné zpracování vajec.

Vejce slepic jsou poměrně široce používána buďto jako nízkokalorická potravina s vysokou nutriční kvalitou anebo jsou součástí mnoha různých potravinářských výrobků. Využívají se pro přípravu salátů, majonéz, dresinků, krémů, těstovin, pomazánek, piškotů, cukrovinek nebo alkoholických nápojů, jmenovitě třeba pro přípravu vaječného likéru. Oblíbená je také příprava vajec pro přímou konzumaci, kdy je lidé připravují vařená, smažená, míchaná, ale konzumují je i syrová. V Číně je třeba velmi vyhledávanou specialitou tzv. stoleté vejce. Kromě gastronomie lze vejce využít také ve farmacii, kosmetice nebo jako krmivo pro zvířata. V tomto případě jsou přidávána do psích a kočičích granulí jako zdroj proteinů. Želvám a slepicím je možné podávat vaječné skořápky, a to jako plnohodnotný zdroj vápníku a minerálů. Ze sušených vajec se vyrábí i krmivo pro ryby nebo třeba boilies.

Nutriční hodnota vajec je výborná. Vejce obsahují velké množství proteinů, které jsou pro člověka nezbytné. Největší množství proteinů je obsaženo v bílku vajec. Stravitelnost vaječných proteinů je velmi vysoká, kolem 98–100 %. Vaječný žloutek obsahuje naopak značné množství mastných kyselin a lipidů. Ve vejcích se kromě lipidů, proteinů a mastných kyselin nacházejí i minerální látky a vitamíny. S lipidy vajec je často spojován i cholesterol. Nejvíce cholesterolu je obsaženo ve vejcích vodní drůbeže a krůt, dále pak ve vejcích od mladých nosnic, a to z důvodu, že je jeho koncentrace ve vejcích ovlivněna věkem nosnic.

Produkce vajec, stejně tak jako jejich spotřeba a jejich vliv na zdraví člověka, se rozšiřuje, vzhledem k jejich schopnosti snižovat rizika různých onemocnění, jako jsou například onemocnění očí, kardiovaskulární choroby nebo rakovina. V některých rozvinutých i rozvojových zemích by zvýšená produkce a spotřeba vajec mohla zlepšit nutriční potřeby člověka a dětí s rozvíjející se myslí. Vejce jsou obzvláště důležitá i pro duševní rozvoj dětí. Také jsou výborným zdrojem živin, a to především lipidů a proteinů.

2 Cíl práce

Předmětem práce bude zpracovat kvalitní literární přehled, zaměřený na kvalitu vajec v závislosti na faktorech, které ji ovlivňují, se zaměřením na vliv genotypu slepic a jejich věku.

3 Literární rešerše

Vejsle slepic konzumují lidé po staletí, protože jsou jednou z nejzdravějších potravin přírody a jsou přijímána ve většině kultur (Tang et al. 2015). Vzhled vejce je také velmi důležitý, protože udělá první dojem na spotřebitele. Pokud vejce nespĺňují očekávání, tak se důvěra spotřebitelů snižuje (Jones & Musgrove 2005).

3.1 Nutriční hodnota vajec

Nutriční hodnota vejce se odvíjí od kvality vejce (Oliveira et al. 2020). Nosnice snese více než 300 vajec ročně (Bouvarrel et al. 2011). Vejce se řadí mezi potraviny s jedním z nejvyváženějších obsahů nutričně významných látek a zároveň mají i vysokou stravitelnost, která může být u žloutku až 100 %. Dominantními složkami sušiny vajec jsou proteiny a lipidy (Míková 2010). Vejce je také kompletní potravina s poměrně nízkým obsahem kalorií, jelikož poskytují cca sedmdesát pět kcal na jedno vejce (Gautron et al. 2022).

Příslušné celkové sušiny je v bílku 11-12 % a 50-52 % sušiny je ve žloutku. Bílek obsahuje 90 % vody a 10 % proteinů. Uvnitř žloutku se nachází zárodečná buňka, což je místo buněčného dělení, pokud je vajíčko oplozené (Zaheer 2015). Barva žloutku se liší v závislosti na výživě nosnic, nemá však žádnou souvislost s nutriční hodnotou vejce.

Hlavním zdrojem proteinů je bílek, kde zmíněné proteiny tvoří důležitou složku sušiny a jejich obsah je v nativním bílku mezi 10-12 %. Ve žloutku je obsah proteinů okolo 16 %. Vaječné proteiny jsou cenné zejména pro vysoký obsah esenciálních aminokyselin, které jsou nezbytné pro člověka, neboť si je nedokáže sám v organismu vytvořit. Stravitelnost proteinů, obsažených ve vejcích, je 98-100 % (Míková 2010).

Aminokyseliny, nezbytných pro lidské zdraví, je ve vejcích obsaženo devět a jedná se konkrétně o histidin, izoleucin, leucin, lysin, methionin, fenylalanin, threonin, tryptofan a valin. Aminokyseliny jsou nezbytně důležité pro produkci enzymů, některých hormonů, hormonálních receptorů a složek DNA. Dále jsou aminokyseliny potřebné například pro růst a k regulaci metabolických funkcí. Další důležitou složkou vejce jsou polynenasycené mastné kyseliny, mezi které se řadí kyselina alfa-linolenová a kyselina linolová, které jsou nezbytné pro zdraví člověka. Vejce obsahují přibližně 70 mg omega-3 kyselin. Kyselina linolová se metabolizuje na kyselinu arachidonovou, kyselina alfa-linolenová na eikosapentaenovou kyselinu a dokosahexaenovou kyselinu. Tyto mastné kyseliny s dlouhým řetězcem jsou součástí fosfolipidů, které přispívají k pružnosti buněčných stěn a snižují hladinu cholesterolu v plazmě. Dokosahexaenová kyselina a eikosapentaenová kyselina navíc snižují rizika kardiovaskulárních onemocnění a centrálních onemocnění nervového systému. Navíc mají preventivní a terapeutické role u závažných chronických onemocnění (Zaheer 2015). Lipidy se nacházejí ve vaječném žloutku. Jsou tvořeny triacylglyceroly, diacylglyceroly, monoacylglyceroly a fosfolipidy. Představují zhruba 2/3 sušiny vaječného žloutku. Bílek lipidy neobsahuje. Z nutričního hlediska jsou nejvýznamnější fosfolipidy, které tvoří asi 1/3 vaječných lipidů. S lipidy, obsaženými ve vejcích, bývá často spojován i cholesterol, který je jedním z důvodů, proč bývají vejce často nepřijímána konzumenty, ale také lékaři (Míková 2010). Konzumace vajec je jedním z hlavních zdrojů cholesterolu v potravě a má v lidském těle mnoho zásadních funkcí. Dle řady studií byl prokázán pozitivní vliv cholesterolu na funkci steroidních

hormonů. Je také prekurzorem pro trávení a absorpci lipidů ve žlučníku. Bylo zjištěno, že neexistuje souvislost mezi konzumací vajec a onemocněním kardiovaskulárního systému. Střední vejce obsahuje 225 mg cholesterolu (Shin et al. 2013). Weggemans et al. (2001) uvádějí podobné množství, a to konkrétně cca 200 mg cholesterolu na vejce. Cholesterol je esenciální nutrient, který je velmi důležitý pro vývoj kuřecího embrya i pro funkci lidského organismu. Zvýšená hladina cholesterolu v krevním séru může patřit mezi rizikové faktory při onemocněních kardiovaskulárního systému. Ke zvýšení hladiny cholesterolu vede i konzumace vysoce energetické stravy, která neobsahuje cholesterol. V řadě studií bylo však prokázáno, že dlouhodobá konzumace dvou vajec denně vedla naopak k mírnému snížení sérového cholesterolu (Míková 2010). Weggemans et al. (2001) však uvádějí, že omezit příjem cholesterolu snížením konzumace vajec a dalších potravin, které jsou na cholesterol bohaté, je na místě.

Vejce obsahují vitamíny rozpustné v tucích, a to konkrétně vitamíny A, D, E a K a komplex vitamínu B, který je rozpustný ve vodě, a to jsou thiamin (B₁), riboflavin (B₂), kyselina pantotenová (B₅), pyridoxin (B₆), biotin (B₇), folát (B₉), kobalamin (B₁₂) a cholin (Zaheer 2015). Ve vejcích jsou zastoupeny všechny vitamíny kromě vitamínu C, tedy kyseliny askorbové (Míková 2010).

Vejce jsou také bohatým zdrojem minerálních látek, mezi které lze zařadit např. vápník, železo, hořčík, fosfor, selen, sodík nebo zinek. Vejce slepic je také výborným zdrojem protilátek, jako jsou „IgY“. Obsahuje také značné množství antioxidantů, které redukují volné radikály, jež vznikají z buněčného metabolismu. Mezi základní antioxidanty, které jsou obsaženy ve vejcích, se řadí selen, vitamin E a karotenoidy (Zaheer 2015).

Přesné číselné vyjádření zastoupení jednotlivých látek ve vejci je zobrazeno v následující tabulce.

Tabulka 1 Chemické složení vejce (Saláková 2014)

Složky vajec (%)	Skořápka	Bílek	Žloutek	Celé vejce
Voda	1,6	87,9	48,7	65,6
Sacharidy	Stopy	0,9	1,0	0,9
Lipidy	Stopy	Stopy	32,6	10,5
Proteiny	3,3	10,6	16,6	12,1
Sušina	98,4	12,1	51,3	34,4
Minerální látky	95,1	0,6	1,1	10,9

3.2 Složení vajec

Vejce se skládá ze tří základních částí, kam se řadí žloutek, bílek a skořápka. Žloutek se nachází uprostřed vejce a je obklopen bílkem. Obě tyto části vejce jsou uzavřeny ve vaječné skořápce. Formace a vývoj žloutku nastává v levém vaječníku slepice. Skořápka tvoří 9-12 %, bílek 60 % a žloutek 30-32 % z celkové hmotnosti vejce (Zaheer 2015).

3.2.1 Vaječná skořápka

Vaječná skořápka představuje vnější obal vejce a její podíl na celkové stavbě vejce je mezi 9-12 % (Tsai et al. 2006). Na stavbě vaječné skořápky se podílejí hlavně anorganické látky, které tvoří až 95 % jejího složení a dále také látky organické, které jsou zastoupeny pouze ze 3-5 % (Mine 2008). S tímto tvrzením souhlasí i Tsai et al. (2006). Vaječná skořápka se skládá z proteinových vláken, která jsou propojena pomocí krystalů uhličitanu vápenatého. Tyto krystaly jsou ve skořápce zastoupeny z 94 %. Kromě uhličitanu vápenatého se zde vyskytují i uhličitan hořečnatý a fosforečnan vápenatý (Zaheer 2015). Obě uvedené látky jsou ve skořápce zastoupeny z 1 %. Zbytek je tvořen organickými látkami a vodou (Mine 2008).

Tloušťka skořápky je v rozmezí od 0,28 do 0,41 mm (Ketta & Tůmová 2018a). Barva skořápky bývá velmi různá. Hlavním pigmentem skořápky vajec hnědovaječných nosnic je pigment protoporfyrin IX, ale mohou zde být přítomny i stopy biliverdinu a jeho chelátů zinku. Pigment je syntetizován ve skořápkové děloze a ukládá se ve všech vrstvách skořápky. Největší koncentrace tohoto pigmentu se však nachází ve vnější vrstvě skořápky a v kutikule (Samiullah et al. 2015). Barva ovlivňuje spotřebitelskou poptávku, ale neovlivňuje kvalitu nebo chuť vajec (Zaheer 2015). Spotřebitelské preference na barvu skořápky vajec jsou v různých částech světa odlišné. V Severní Americe spotřebitelé preferují spíše vejce s bílou skořápkou, vejce s hnědou skořápkou jsou naopak oblíbenější v Asii a v Evropě (Dikyel et al. 2018). Gautron et al. (2022) tvrdí, že genetika a krmení nosnic patří mezi nejdůležitější faktory, které ovlivňují skořápku vajec.

3.2.2 Podskořápečné blány a kutikula

Pod skořápkou se nacházejí dvě podskořápečné blány, které se dělí na vnitřní a vnější. Jejich funkcí je oddělení skořápky od bílku, obalení a ochrana vaječného obsahu. Na tupém konci vejce se mezi vnější a vnitřní podskořápečnou blánou vytváří vzduchová komůrka, která se zvětšuje se stářím vejce (Zaheer 2015). Vzduchová komůrka se tvoří ihned po snesení vejce a má 4 mm (Quattrocchi et al. 2022).

Vnější obal skořápky se nazývá kutikula. Jedná se o jedinečnou nekalcifikovanou organickou vrstvu a má důležitou roli při ochraně vejce před pronikáním bakterií do vejce, a to díky jejím baktericidním a antimikrobiálním účinkům. Také usnadňuje snesení vejce (Wilson et al. 2017). Její tloušťka je 5-10 μm . Je tvořena z několika složek, mezi které patří především glykoproteiny, polysacharidy, lipidy a fosfor (Walters 2007). Kutikulu lze jednoduše smýt při oplachování vejce. S mytím vajec jsou však spojeny negativní důsledky, jako je poškození této ochranné bariéry vejce, která je první linií obrany před pronikáním bakterií přes vaječnou skořápku (Gole et al. 2014).

3.2.3 Vaječný bílek

Guérin-Dubiard et al. (2006) konstatují, že bílek je originální biologická tekutina. Vaječný bílek se skládá přibližně z 88,5 % vody, 10,5 % proteinů 0,5 % uhlohydrátů a zbytků dalších rozpuštěných látek. Je velmi bohatý na proteiny, které tvoří přibližně 10 % jeho hmotnosti (Stevens 1991). Proteiny, obsažené ve vaječném bílku jako lysozym, ovotransferin nebo avidin se prokázaly četnou biologickou aktivitou (Zaheer 2015). Z výše uvedených

hlavních proteinů vaječného bílku má lysozym jako jediný katalytickou aktivitu (Stevens 1991). Ahmadi & Rahimi (2011) dodávají, že lysozym může působit jako ochranný faktor, zabraňující průchodu mikroorganismů přes skořápku vejce ke žloutku. Vaječný bílek zahrnuje čtyři vrstvy a jedná se o vnější řídký bílek, vnější tuhý bílek, vnitřní řídký bílek a vnitřní tuhý bílek, který se též označuje jako tzv. chalázový bílek (Ledvinka et al. 2009). Vnější řídká vrstva bílku kopíruje podskořápečnou membránu a vnitřní tuhá vrstva se nachází na povrchu vaječného žloutku. Nejvíce je z těchto zmíněných vrstev zastoupena vnější tuhá vrstva, která představuje více jak polovinu z celkové hmoty bílku. Následuje vnější řídká vrstva a vnitřní řídká vrstva (Mine 2008).

Bílek vajec slepic je mimo jiné i velmi bohatým zdrojem proteinových inhibitorů proteináz. Jsou jimi ovoinhibitor, ovomukoid, cystatin a ovostatin. Ovoinhibitor a ovomukoid jsou multidoménovými inhibitory Kazalova typu, přičemž každá tato doména obsahuje skutečné nebo domnělé reaktivní místo pro serinovou proteinázu. Cystatin představuje inhibitor cysteinové proteinázy, zatímco inhibitor ovostatin inhibuje proteinázy všech čtyř mechanistických tříd. Ovomukoidy navíc tvoří 10 % produkovaného proteinu tubulárními žlázy buňkami, nacházejícími se ve vejcovodu (Saxena & Tayyab 1997). Syntéza proteinů vaječného bílku se uskutečňuje ve vejcovodu a je řízena hormony, kterými jsou estrogeny nebo progesteron (Stevens 1991).

3.2.4 Vaječný žloutek

Vaječný žloutek představuje kulovitý útvar, který má u slepičích vajec v průměru 3,5-4 cm (Ledvinka et al. 2009) a uvnitř čerstvě sneseného vejce je kulatý a pevný. Žloutek je uspořádán pomocí dvou střídajících se vrstev světlého a tmavého žloutku. Světlý žloutek se nachází těsně pod vitelinní membránou, přímo ve středu žloutku. Hlavní složkou světlého žloutku je voda, tvořící přibližně 90 %, zbytek obsahu tvoří proteiny a lipidy. Světlý žloutek se na celkové hmotnosti vaječného žloutku podílí ze zhruba 5 %. Druhou vrstvou je žloutek tmavý, který má převážně zásobní funkci (Zaheer 2015). Obsahuje přibližně 35 % lipidů, 16 % proteinů a značné množství karotenoidních barviv.

Žloutek je velmi často složkou potravinářských výrobků, neboť kombinuje nutriční, organoleptické a funkční vlastnosti. Vaječný žloutek obsahuje proteiny a další živiny, mezi které se řadí vitamíny a minerální látky, dále esenciální mastné kyseliny, fosfolipidy a další lipidy (Anton 2013). Žloutek tvoří asi 30-32 % celkové hmotnosti vejce (Zaheer 2015). Je hlavním zdrojem energie, připadá na něj totiž asi 75 % využitelné energie (Míková 2010). Obsah celkové sušiny ve žloutku je asi 50-52 % (Zaheer 2015). Obsahuje také nejvíce lipidů (Ledvinka et al. 2009). Barva vaječného žloutku vždy neodmyslitelně patřila mezi hlavní znaky kvality vajec (Galobart et al. 2004). Zbarven do žluto-červena je díky karotenoidům (Blount et al. 2000), ale jeho barevnost se může lišit v závislosti na složení krmné dávky nosnice (Zaheer 2015). Karotenoidy se významně podílejí nejen na barvě vaječných žloutků, ale i na barvě kůže drůbeže (Kljak & Grbeša 2015). Barva žloutku ale nijak nesouvisí s nutriční hodnotou vejce (Zaheer 2015). Mimo jiné žloutek vajec poskytuje cenné organoleptické vlastnosti. Je to také velmi účinný emulgátor, stabilizuje totiž emulgované potraviny, kterými mohou být například majonézy nebo různé salátové dresinky (Anton 2013).

3.3 Kvalita vajec

Kvalita potravin je stále velmi zmiňovaným tématem. U vajec tomu není jinak, jelikož požadavky spotřebitelů se neustále zvyšují. Kvalita vajec je také velmi důležitou součástí jejich produkce. Vejce je však potravina, kterou po jeho snesení nelze nijak upravovat, tudíž je nezbytné mít na paměti možné faktory, které výslednou kvalitu vajec mohou ovlivnit, a to ještě před výběrem ideálního genotypu a způsobu ustájení nosnic (Ledvinka et al. 2008).

Oliveira et al. (2020) uvádějí, že se bezprostředně po snesení vejce začíná zhoršovat jeho vnitřní i vnější kvalita. Tento proces je nevyhnutelný a může být i negativně podpořen nesplněním požadavků na skladování vajec, jako je správná teplota a doba skladování. Nejúčinnějším způsobem, jak zabránit snížení vnitřní kvality vejce, je správné chlazení vajec.

Tůmová et al. (2007) uvádějí, že se kvalita vajec dělí na kvalitu vnitřní a vnější, kdy vnitřní kvalitativní znaky zahrnují především velikost vzduchových buněk nebo přítomnost masových a krevních skvrn. Vnější kvalitativní znaky vajec se hodnotí především na základě vaječné skořápky, kdy zohledňujeme její čistotu, tvar a strukturu. Vlastnosti a kvalitu vajec a vaječných výrobků celkově mohou ovlivňovat různé faktory (Gautron et al. 2022).

Kvalita vajec je důležitou součástí produkce a bývá charakterizována hmotností a indexem tvaru vejce, tloušťkou, pevností a deformací skořápky, hmotností a podílem bílku a žloutku a jejich indexy, dále třeba barvou žloutku a popřípadě i přítomností masových a krevních skvrn (Ledvinka et al. 2008). Všeobecně je kvalita vaječné skořápky a vnitřní kvalita vajec nezbytně důležitá pro celý vaječný průmysl (Ahmadi & Rahimi 2011).

3.3.1 Vnitřní kvalita vajec

3.3.1.1 Kvalita bílku

Kvalita bílku může být ovlivněna hned několika různými faktory, mezi které patří například systém ustájení, výživa (Ahmadi & Ramini 2011) nebo věk nosnice, který je poměrně důležitý, neboť čím je nosnice starší, tím se kvalita bílku zhoršuje. Prokázáno bylo, že indukovaná pauza při snášce vajec výrazně zlepšuje kvalitu bílku při následující snášce (Jacob et al. 2000). Kvalita bílku je charakterizována jeho indexem, pH a výškou hustého bílku (Tůmová et al. 2009a).

U kvality bílku jsou na rozdíl od kvality žloutku uváděny poměrně značně zvýšené koeficienty heritability pro kvalitu bílku. Jejich hodnoty jsou v rozmezí od 0,30 do 0,60 koeficientu heritability pro kvalitu bílku. Kvalita bílku bývá popisována Haughovými jednotkami. Tyto jednotky zohledňují hmotnost vejce a výšku bílku (Ledvinka et al. 2008) a pro jejich výpočet se využívá vzorec indexu bílku $HU = 100 \log_{10} (H - 1,7x EW^{0,37} + 7,6)$, kde H zastupuje výšku bílku v mm a EW je hmotnost vejce (Duman et al. 2016). Negativním jevem, který ovlivňuje kvalitu bílku, je i přítomnost masových skvrn.

Krevní skvrny (viz. Obrázek 2, Přílohy) představují drobné skvrnky krve, nacházející se obvykle na povrchu žloutku. S bílkem se pojí převážně skvrny masové (viz. Obrázek 3, Přílohy). Ty se jeví jako červené, hnědé nebo bílé skvrny, vyskytující se v bílku. Jedná se buďto o kousky tkáně z reprodukčních orgánů nebo o krevní skvrny, které změnilly barvu v důsledku ředění (Honkatukia et al. 2011).

3.3.1.2 Kvalita žloutku

Kvalita žloutku se odvíjí od jeho vzhledu, textury, pevnosti a vůně (Jacob et al. 2000). Na hodnocení kvality vaječného žloutku má vliv celá řada faktorů jak vnitřních, tak vnějších. Mezi ty nejdůležitější faktory, které kvalitu vaječného žloutku dokážou ovlivnit, lze opět zařadit genotyp a věk nosnice, výživu, systém ustájení, všeobecný stres, tepelný stres a mnoho dalšího (Ahmadi & Rahimi 2011).

Žloutek uvnitř čerstvě sneseného vejce by měl být kulatý a pevný. Tím, jak žloutek stárne, absorbuje vodu z vaječného bílku, čímž se zvětšuje jeho velikost. To však velmi oslabuje vitelinní membránu, což způsobuje zploštělý a nekulatý tvar žloutku. Někdy mnohou vznikají tzv. dvoužloutky, tedy vejce, které obsahuje dva žloutky místo jednoho a vznikají v případě, že se dva žloutky posouvají přes vejcovod společně, a to buď při současné ovulaci nebo z důvodu zpoždění průchodu žloutku přes vejcovod. Tato vejce bývají větší. Může však dojít i ke vzniku vejce se třemi, popřípadě i více žloutky. Tato vejce jsou však extrémně vzácná (Jacob et al. 2000). Na barvě žloutku se podílí správná výživa. Důležité je množství dietních karotenoidů, ale účinnost zabarvení se liší i podle zdroje xantofylu (Bouvarel et al. 2011). Důležitý je také správný procentuální podíl žloutku (Ledvinka et al. 2008).

3.3.2 Vnější kvalita vajec

3.3.2.1 Hmotnost vajec

Hmotnost vajec je důležitým znakem, který ovlivňuje kvalitu vajec a je důležitá i pro třídění vajec. Hmotnost je parametr, který lze jednoduše určit i bez rozbití vejce a je přímou úměrou skořápky, žloutku a bílku (Şekeroğlu et al. 2008). Tůmová et al. (2007) zmiňují, že hmotnost vajec také ovlivňuje kvalitu skořápky. Hmotnost vejce a tloušťka skořápky velmi koreluje.

Hmotnost vajec slepic je od 30 do 80 g, lze tedy říci, že je velmi proměnlivá. Dle hmotnosti lze vejce klasifikovat podle kanadských standardů velikosti vajec. Na základě těchto standardů existují vejce malá, střední, velká, extra velká a jumbo. Hmotnost vajec malých je mezi 42,0–48,9 g, u vajec středních mezi 49,0–55,9 g, u velkých okolo 56,0–63,9 g, u extra velkých kolem 64,0–69,9 g a u jumbo nad 70,0 g. Nejběžněji dostupné jsou klasifikace střední, velké a extra velké (Şekeroğlu et al. 2008). Na hmotnost vajec má vliv hned několik faktorů, ať už vnějších nebo vnitřních. Mezi faktory vnitřní patří genotyp. Důležitá je také dědivost neboli heritabilita, se kterou je spjat koeficient heritability, který udává, jak moc je proměnlivost znaku zapříčiněna geneticky, tedy genotypem. Koeficient heritability pro průměrnou hmotnost vejce se udává v hodnotách $h^2 = 0,51-0,63$. Dalším důležitým faktorem, který má vliv na hmotnost vejce, je hmotnost nosnice. Fenotypová korelace mezi hmotností nosnice a hmotností vejce je mezi hodnotami 0,4 až 0,7. U korelace genotypové v hodnotách 0,2 až 0,3. Kromě genotypu má na hmotnost vajec vliv například intenzita snášky, ta se nachází na vrcholu v období od 34. do 35. týdně věku, poté se snižuje, a to až o 2,7 – 3,5 % měsíčně. Mezi intenzitou snášky a hmotností vejce bývá negativní korelace (Ledvinka et al. 2008). Dále má vliv například také spotřeba vody a krmiva či zdravotní stav dané nosnice (Şekeroğlu et al. 2008). Dle Van den Branda (2004) a Şekeroğlu et al. (2008) se s věkem nosnice zvyšuje i hmotnost vejce, ale pevnost skořápky se snižuje. Velký vliv na hmotnost vejce má také pohlavní dospělost nosnice.

Dále lze uvést ještě perzistenci snášky vajec. Je prokázáno, že v krátkých a středních sériích se index a hmotnost vejce zvyšuje. V sériích dlouhých je tomu naopak (Ledvinka et al. 2008).

3.3.2.2 Kvalita vaječné skořápky

Co se týče kvality vaječné skořápky, tak je zde posuzována především její pevnost. Dále lze hodnotit její tloušťka a barva (Ketta & Tůmová 2018b). Ahmadi & Rahimi (2011) konstatují, že kvalitu skořápky lze ovlivnit řadou faktorů, jedná se především genotyp a věk nosnice, systém ustájení, stres a onemocnění nebo nutriční faktory, jako třeba obsah fosforu, vápníku a vitamínů v krmné dávce, kvalita vody, kontaminace krmiva nebo různé enzymy. Tyto, ale i mnoho dalších faktorů, které ovlivňují kvalitu nejen skořápky, ale i vajec jako takových, jsou nadále podrobovány dalším novým výzkumům. K určení kvality vaječné skořápky se využívá hodnocení jejích vlastností. Těmito základními vlastnostmi jsou hmotnost skořápky vejce, barva skořápky, její pevnost a deformace. Dále také například tloušťka skořápky, procentuální zastoupení skořápky z celého vejce anebo také struktura skořápky.

Kvalita vaječných skořápek je důležitá i z hlediska ekonomiky, protože má významný vliv na líhivost a produkci vajec. Měření kvality vaječné skořápky zahrnuje hmotnost skořápky, procentuální zastoupení skořápky z vejce, pevnost a tloušťku (Ketta & Tůmová 2018b). Velký vliv na mikrobiální kontaminaci vaječné skořápky má především i systém chovu a ustájení nosnic (Ledvinka et al. 2008).

Jelikož je proces tvorby vaječné skořápky poměrně složitý, může se stát, že různé nedokonalosti mohou vzniknout při procesu tvorby vejce ve vejcovodu nosnice (Ahmadi & Rahimi 2011).

Kvalitu vaječné skořápky snižují nerovnoměrnosti či drsný povrch. Vejce by měla mít hladkou skořápkou, vejce s drsnou skořápkou totiž častěji praskají (Jacob et al. 2000). Za účelem stanovení pevnosti skořápky byl vyvinut velký počet metod, které lze rozdělit na ty, které měří pevnost skořápky nepřímou a na ty, které měří přímo. Mezi metody nepřímé se řadí specifická hmotnost vejce, nedestruktivní deformace, hmotnost a podíl skořápky a její tloušťka. Přímé metody se dělí na metody destruktivní a nedestruktivní. Nedestruktivní metody měří deformaci skořápky při určitém zatížení. Metody destruktivní slouží k měření tlaku, potřebného k prasknutí skořápky. U přímých metod skořápka během měření praská, kdežto u metody nepřímé lze vejce i po provedení zkoušek líhnout, a to je poměrně velká výhoda (Hamilton 1982).

3.3.2.3 Tvar vejce a jeho index

Obecně lze říct, že existují vejce dvou tvarových typů. Jedná se o tvar oválný (vejčitý) a o takový tvar, kdy je konec vejce špičatý (Kayadan & Uzun 2023). Právě kvůli tomu lze konstatovat, že je variabilita tvaru vajec velmi vysoká, což znesnadňuje popis ideálního tvaru vejce. Díky tomu byly pro stanovení tvaru vejce vytvořeny metody, které obsahují velmi složité postupy. Tyto metody zahrnují matematické výpočty i měření. Tvar vejce se dá zhodnotit pomocí dvou způsobů. První možností je využití matematických rovnic, druhou možností je využití různých indexů, které vyjadřují velikost odchýlení od ideálního modelu vejce (Havlíček et al. 2008). Z hlediska hodnocení vajec nelze zařadit slepičí vejce neobvyklého tvaru, jako jsou například ta, která jsou dlouhá a úzká, kulatá nebo třeba plochá, do první třídy v rámci stupně

hodnocení jakosti vajec. Kulatá vejce nebo vejce neobvykle dlouhá se díky svému atypickému tvaru špatně skladují a při jejich přepravě dochází velmi často k jejich rozbití (Duman et al. 2016).

Van den Brand (2004) uvádí, že vejce, snesena na začátku snáškového cyklu nosnic, nevykazují typický tvar vejce, až s věkem nosnic vejce získávají více typický protáhlý tvar. U starších nosnic lze také častěji pozorovat nadstandardně velká nebo různě tvarově modifikovaná vejce.

Kayadan & Uzun (2023) vypracovali studii, která se zabývala přesným určením pohlaví oplozeného vejce pomocí indexu vejce, a to z důvodu, že ostatní metody jsou nákladné a obtížně použitelné v sériové analýze. Uvádějí, že obecně platí, že vejce s nízkým tvarovým indexem budou kohouti. Naopak vejce s vysokým tvarovým indexem budou slepice.

Index tvaru vejce (It) je definován jako poměr šířky (b) k délce vejce (a) a je důležitým kritériem při určování kvality vajec (Duman et al. 2016).

$$It = \frac{b}{a} * 100 \text{ [\%]}$$

3.4 Vnější a vnitřní faktory ovlivňující kvalitu vajec

Jak již bylo uvedeno, na kvalitu vajec má značný vliv řada faktorů, a to jak vnitřních, tak i vnějších. Mezi základní a nejdůležitější vnitřní faktory patří genotyp nosnice, věk, zdravotní stav nebo období snášky. Mezi faktory vnější pak lze řadit například systém chovu, výživu, stresové podněty nebo mikroklima (Ledvinka et al. 2008).

3.4.1 Základní vnitřní faktory ovlivňující kvalitu vajec

Vnitřní kvalitu vajec ovlivňuje celá řada faktorů. Mezi ty nejvýznamnější patří věk nosnice a její genotypová příslušnost. Velký vliv mají i onemocnění. Ta mohou totiž významně negativně ovlivnit výslednou kvalitu vajec (Ahmadi & Ramini 2011).

3.4.1.1 Genotyp nosnice

Genotyp nosnice se jednoznačně řadí mezi základní vnitřní faktory, které ovlivňují kvalitu vajec. Pro produkci vajec se nejčastěji využívají užitkoví hybridi liniových kombinací a diferencovaně šlechtěných linií. Nosný typ slepic se dělí do dvou velkých skupin dle toho, jaká produkují vejce dle barvy. Jedná se o hnědovaječné a bělovaječné nosnice. Převážná většina těchto nosných hybridů má mohutnější stavbu těla, než jakou by měla původní plemena slepic ve volné přírodě. Právě proto jsou tyto nosnice schopné vyprodukovat i desetinásobný počet vajec oproti volně žijícím jedincům. Na druhou stranu, pro produkci masa, se využívají užitkoví kříženci, kteří se označují jako tzv. brojlerová kuřata. Tito kříženci mají velmi vyvinutou svalovou hmotu. Dále tito hybridy, ve srovnání s běžnými plemeny slepic, dříve ukončují svůj vývoj (Blair 2008).

Genotyp má velký vliv na hmotnost vejce, ale také na složení vajec, čímž je myšleno množství lipidů, sušiny atd. (Kraus & Zita 2019). Zita et al. (2009) uvádějí, že dle několika

studii bylo prokázáno, že hnědovaječné nosnice snášely těžší vejce než nosnice s bílou barvou skořápky vejce. Sokolowicz et al. (2018) udávají, že genotyp má i společně se systémem ustájení vliv nejen na již zmiňovanou hmotnost, ale také na tloušťku a pevnost vaječné skořápky. S tímto tvrzením souhlasí i Tůmová et al. (2007). Významně však ovlivňuje, stejně jako věk, i její barvu (Samiullah et al. 2016; Kraus & Zita 2019).

Z výsledků studie Sokolowicz et al. (2018) má genotyp nosnic méně významný vliv na hmotnost žloutku. Dalším významným vlivem genotypu je ovlivnění indexu tvaru vajec. Kraus & Zita (2019) uvádějí, že na index tvaru žloutku není vliv genotypu nijak významný. Kde je však vliv genotypu velmi významný, je barva žloutku. Tůmová et al. (2007) konstatují, že z kvalitativních charakteristik bílku jsou pouze Haughovy jednotky ovlivněny genotypem. Dle Zity et al. (2009) byla prokázána výrazně vyšší hodnota Haughových jednotek u bělovaječných nosnic než u nosnic hnědovaječných.

Poznatky ze studie Bozkurta & Tekerliho (2009) poukazují na to, že genotyp do jisté míry ovlivňuje i skladování vajec. Zjistili totiž, že v rámci skladování vajec při teplotě 24 °C bylo značnější zhoršení kvality vajec pozorováno u hybridů hnědovaječných v porovnání s hybridy bělovaječnými. Ledvinka et al. (2009) uvádějí, že genotyp nosnic je spjat také s výskytem masových a krevních skvrn. U hnědovaječných nosnic byla přítomnost těchto skvrn až u 10-15 % vajec. Naopak u nosnic bělovaječných pouze i 1-3 % vajec.

Také barva skořápky je významně ovlivněna genotypem nosnice. Pigment hnědé skořápky pozitivně koreluje s pevností skořápky, tloušťkou skořápky a líhnivostí. Lze konstatovat, že hnědý pigment má fotodynamicky závislé antibakteriální funkce proti některým druhům grampozitivních bakterií, mezi které lze zařadit například *Staphylococcus aureus* a *Bacillus cereus*. Intenzita hnědé skořápky je ovlivněna různými faktory, kterými mohou být výživa, zdravotní stav nebo třeba věk (Samiullah et al. 2016).

Genotyp nosnice ovlivňuje také koncentraci cholesterolu u slepic. Zita et al. (2018) se zabývali vlivem typu ustájení a plemene na koncentraci cholesterolu ve žloutku a v krvi. Pro výzkum byla použita dvě plemena slepic, česká slepice a oravka. Výsledky studie dokazují, že u plemene slepic oravka, byla přítomnost cholesterolu v krvi a ve žloutku značně vyšší.

3.4.1.2 Věk nosnice

Věk nosnice se řadí mezi další významný vnitřní faktor, ovlivňující kvalitu vajec. Beyer (2005) tvrdí, že věk nosnice je dokonce nejspolehlivějším vnitřním faktorem, který ovlivňuje kvalitu vajec, jelikož mladá nosnice produkuje menší vejce se silnou skořápkou a kvalitnějším bílkem. S věkem nosnice začíná bílek postupně řídnout. Bozkurt & Tekerli (2009) poukazují na to, že při uvádění konzumních vajec na trh je třeba vzít v úvahu, mimo teplotu a dobu skladování, také věk slepice. Roland (1978) uvádí, že existují tři příčiny, jak si lze vysvětlit snížení kvality skořápky vlivem toho, že slepice stárne. První příčinou je, že se s věkem snižuje schopnost absorbovat vápník, další možností je, že se s věkem snižuje schopnost mobilizovat vápník z medulárních kostí a poslední příčinou je, že se její genetický potenciál pro produkci během let genetického výběru zvyšuje rychleji než její schopnost udržovat adekvátní depozici skořápky.

Ledvinka et al. (2009) uvádějí, že začátek snášení vajec nosnicemi je úzce spjat se snáškovým cyklem. První fáze snáškového cyklu začíná pohlavní dospělostí a dochází k ní

v období 18. až 23. týdne věku. S věkem slepice se zvyšuje nejen intenzita snášky, ale také hmotnost vajec. První fáze snáškového cyklu trvá do 40. týdne věku slepice. Nosnice rostou. Od 45. týdne následuje fáze druhá, ve které se začíná postupně snižovat intenzita snášky, ale hmotnost vajec se naopak zvyšuje. Poslední, třetí fáze, nastává ve věku 64 týdnů. V této fázi pokračuje proces identický jako ve fázi druhé. Slepice se obvykle vyřazují po třetí fázi snáškového cyklu, protože nechávat si nosnice déle by bylo pro chovatele velmi neekonomické. Je to převážně z důvodu, že se snáška každým rokem snižuje o 20 %.

Zita et al. (2009) uvádějí, že podíl bílku a žloutku souvisí s věkem. Příkladem je s věkem se zvyšující podíl žloutku u hnědovajčených slepic ze 23,1 % na 28,1 %. Procentuální podíl bílku se mezitím snižuje ze 63,8 % na 59,2 %. Uvádějí také, že věk pozitivně působí na index tvaru žloutku, nikoliv však na jeho barvu. S věkem se zvýšila také hmotnost žloutku. Toto tvrzení potvrdili i Rossi & Pompei (1995), kteří se zabývali vlivem věku na základní složky vajec. Také výsledky autorů Padhi et al. (2013) jasně ukazují, že věk nosnic významně ovlivňuje kvalitu vajec. S věkem se kvalitativní parametry vajec postupně zhoršovaly. Zároveň také potvrdili fakt, že se s věkem zvyšuje hmotnost vajec. Stejného názoru je i Roland (1978). Zita et al. (2009) prokázali, že se s věkem nosnic zvyšuje tloušťka a pevnost skořápky, ale zároveň se snižuje intenzita jejího zbarvení a její procentuální podíl. Molnár et al. (2016) se zabývali změnami ve vlastnostech kvality vajec během poslední fáze produkce. Jednalo se o terénní studii a všechna vejce pocházela z komerčních farem v Belgii. Výsledky této studie ukazují, že se po šedesátém týdnu věku nosnic zvýšila každý týden hmotnost vejce o 0,07 g, index tvaru se však snížil o 0,04. Haughovy jednotky se také snižovaly, konkrétně o 0,38 týdně. Hmotnost žloutku nebyla po šedesátém týdnu věku nijak ovlivněna. Podíl bílku z vejce se zvyšoval, a to každý týden o 0,02 procentního bodu. Snížení zaznamenali u procentuálního podílu skořápky z vejce, a to konkrétně o 0,02 procentního bodu. týdně až do období konce snášky. Závěrem uvádějí, že ačkoli mělo stárnutí významný vliv na většinu znaků kvality vajec, kvalita vajec byla na konci snášky přijatelná, což naznačuje potenciál na prodloužení snáškového cyklu.

Rossi & Pompei (1995) také uvádějí, že věk slepice nijak neovlivňuje obsah glukózy, uridinu a ani kyseliny močové ve vejcích. Co se však v průběhu věku nosnice měnilo byla koncentrace kyseliny pyroglutamové. Ta se nachází ve žloutku, v bílku však nikoliv. Její koncentrace se dramaticky zvýšila uprostřed snáškového cyklu a poté se hodnota snížila, čímž se opět přiblížila k hodnotě, pozorované ve vejcích od mladých nosnic. Dále také uvádějí, že se s věkem snižuje koncentrace cholesterolu ve žloutku a také obsah celkových lipidů ve vejcích. Safaa et al. (2008) konstatují, že u starších nosnic byla horší absorpce vápníku než u nosnic mladších.

3.4.1.3 Doba snesení vejce

Ke snesení vejce dochází vlivem podnětu, přicházejícího z hypotalamu, na zadní lalok hypofýzy a působením jeho hormonů oxytocinu, vazopresinu a vazotocinu. Doba snesení vejce je dalším důležitým vnitřním faktorem působícím na kvalitu vajec. Lze konstatovat, že hmotnost vajec a kvalita vaječné skořápky jsou skutečně dobou snesení ovlivněny (Tůmová et al. 2007). Mimo výše uvedeného, ovlivňuje doba snesení vajec i složení a produkci vajec (Samiullah et al. 2016). Touto problematikou se zabývalo hned několik studií, které

prokazatelně potvrzují, že vejce snesená nosnicemi časně ráno vážila více, než vejce snesená v pozdějších hodinách (Tůmová et al. 2007). Studie na toto téma byla vyhotovena i Samiullahem et al. (2016). Ti se zaměřili na dobu snesení vajec a věk hejna ve vztahu k hnědě barvě skořápky u nosnic. Zjistili, že nejvyšší hmotnost měla vejce, která byla snesena brzy ráno. Doplnují také, že například na barvu skořápky měl vyšší vliv věk dané nosnice než právě doba snesení vejce. Rozdíly v barvě však byly velmi malé a pouhým okem je nebylo možné pozorovat.

Rozsáhlou studii na toto téma vypracovali i Hrnčár et. al (2013). Předmětem studie bylo zjištění vlivu doby snesení vejce na kvalitu vajec. Posuzovány byly tři plemena slepic, konkrétně brahmanka, oravka a leghorna ve věku od 20. do 64. týdnů věku. Vejce byla sbírána třikrát denně v časech 6.00 h, 10.00 h a 14.00 h a byla sbírána na začátku, uprostřed a na konci snáškového období. Výsledky dokazují, že u leghorny neměla doba snesení vejce žádný vliv na hmotnost vejce, procentuální podíl žloutku a na index žloutku. Změny byly však pozorovány u tloušťky skořápky, indexu bílku a u Haughových jednotek. U plemene oravka neměla doba snesení vliv na hmotnost vajec, index bílku, Haughovy jednotky, pevnost skořápky a na procentuální podíl skořápky. Naopak tloušťka skořápky byla dobou snesení vejce ovlivněna. U plemene brahmanka byla hmotnost vejce, procentuální podíl skořápky, tloušťka skořápky a pevnost skořápky významně ovlivněna dobou snesení vejce.

Tůmová & Ebeid (2005) zkoumali vliv doby snesení vajec na kvalitu vajec, a to ve dvou různých systémech ustájení, konkrétně v klecovém chovu a na hluboké podestýlce. Do experimentu byly zařazeny nosnice ISA Brown ve věku od 20. do 64. týdne. Sběr vajec byl třikrát denně, a to v časech 6.00 h, 10.00 h a 14.00 h. Výsledky ukázaly, že největší počet vajec, pocházejících od nosnic ustájených v klecích, byl snesen časně ráno. Procento vajec, pocházejících od nosnic ustájených na hluboké podestýlce, bylo však nejvyšší v odpoledních hodinách. Dodávají, že nejtěžší vejce byla snesena brzy ráno, což se shoduje i s výsledky od Samiullah et al. (2016).

Co se týče kvality skořápky, bylo prokázáno, že lepší kvalitativní znaky vykazovala skořápka vajec, snesených v odpoledních hodinách. Doba snesení vejce je klíčová i pro hmotnost žloutku a kvalitu bílku. Nejdůležitějším podnětem, ovlivňujícím dobu snesení vejce, je světlo (Tůmová et al. 2007).

3.4.2 Základní vnější faktory ovlivňující kvalitu vajec

Mezi vnější faktory, které mohou ovlivňovat kvalitu vajec, se řadí výživa nosnice, teplota prostředí, relativní vlhkost vzduchu, světelný režim, a hlavně systém chovu. Všechny tyto faktory mohou mít vliv na kvalitu vajec a kvalitu vaječné skořápky (Ledvinka et al. 2008).

3.4.2.1 Výživa nosnic

Ahmadi & Rahimi (2011) uvádějí, že výživa má velký vliv na kvalitu vajec, nejvíce však na kvalitu vaječné skořápky. Tu může narušit například nedostatek vápníku, fosforu nebo některých vitamínů. Mimo správnou výživu je třeba pečlivě kontrolovat i kvalitu vody na napájení, protože i ta má na kvalitu vajec značný vliv. Pro nosnice se vyrábějí kompletní krmné směsi s obsahem 15-17 % dusíkatých látek a 11,3 až 12,3 MJ metabolizovatelné energie. Nosnice se krmí ad libitum, spotřeba krmiva se však liší. Bouvarel et al. (2011) také souhlasí s

tím, že je výživa slepic zásadní pro optimalizaci kvality vajec. Například hmotnost a kvalitu vajec ovlivňují nejen bílkovinná a energetická hodnota krmiva, obsah aminokyselin a mastných kyselin, ale také způsob podávání krmiva během dne. Tyto faktory mohou, byť v menší míře, ovlivnit i podíl žloutku a bílku. Vyvážená krmná dávka pro nosnice by měla obsahovat adekvátní množství vápníku a dalších důležitých prvků a vitamínů, a to v takové formě, aby byly tyto složky efektivně a co nejvíce a nejlépe využity. Vápník však není důležitý pouze při tvorbě skořápky, ale je také velmi potřebný pro růst a správnou funkci kostí (Ahmadi & Rahimi 2011).

Dalším důležitým prvkem je fosfor, který je nezbytný pro růst drůbeže, zejména tedy pro vývoj kostí. Většina krmiv, určených pro drůbež, se obvykle vyrábějí na bázi kukuřično-sójového šrotu. Přestože má toto krmivo vyšší obsah fosforu než ostatní obiloviny, nachází se až 80 % z celkového fosforu ve formě kyseliny fytové nebo fytátu. Moderní chovy drůbeže jsou řízeny velmi intenzivně a vysoký obsah fosforu v trusu drůbeže představuje riziko pro rozvoj živočišného průmyslu, zaměřeného na chov drůbeže (Park et al. 2009). Liu et al. (2007) dodávají, že fytáza hydrolyzuje fytát a také zvyšuje trávení fosforu. To je důsledkem toho, že se snižuje vylučování fosforu a zároveň se tak snižuje znečištění životního prostředí. Ideální poměr fosforu a vápníku je 1:7. Pro správný vývoj vaječné skořápky je důležitý kromě vápníku také vitamín D. Jedinou účinnou formou vitamínu D u ptáků je vitamín D₃. Dle výzkumů bylo také zjištěno, že i vitamín C měl u nosnic, které byly vystavené tepelnému stresu, značně pozitivní vliv na kvalitu vaječné skořápky a pevnost kostí (Bouvairel et al. 2011).

Mezi další látky, jež se nachází v krmné směsi nosnic, patří karotenoidy, které se používají jako prostředek pro pigmentaci vajíček a kůže. Do krmných směsí lze přidávat xantofyly. Mezi povolená aditiva patří kapsanthin, ethylester kyseliny β-apo-8'-karotenové, lutein, kanthaxanthin, zeaxanthin a citranaxanthin. Maximální obsah kanthaxanthinu v krmivu nesmí u nosnic přesahovat 8 mg na kg. Krmné směsi pro drůbež s obsahem karotenoidů jsou vhodné pro všechny kategorie drůbeže. Mohou se zkrmovat brojlerovým kuřatům za účelem pigmentace kůže masa, ale také nosnicím, a to pro zajištění optimální barvy žloutku. Mimo jiné také zvyšují oxidační stabilitu drůbežích produktů (Marounek & Pebriansyah 2018). Tang et al. (2015) uvádějí, že si nosnice nedokážou syntetizovat pigmenty z karotenoidních barviv, jsou však schopné si je ukládat do žloutku. Základním zdrojem karotenoidů a také plodina, která tvoří velkou část složení krmných směsí pro nosnice, je kukuřice. V rámci zlepšení barvy žloutku jsou do krmných směsí přidávána i přírodní barviva, mezi něž se řadí například barvivo zvané annatto (Tang et al. 2015). Výživa má značný vliv na barvu žloutku. Kromě již zmíněné kukuřice, způsobuje sytě žlutou barvu žloutku také například vojteška. Nosnice, které jsou krmené čirokem, pšenicí nebo ječmenem budou snášet vejce s tzv. platinovými, tedy světle zbarvenými žloutky. Mezi přírodní látky, které lze přidávat do krmných směsí, mající vliv na barvu vaječného žloutku, patří třeba okvětní lístky měsíčku (Jacob et al. 2000).

Na kvalitu a produkci vajec má vliv také koncentrace aminokyselin obsažených v krmné směsi. Požadavky na aminokyseliny se mohou lišit v závislosti na plemeni, věku, krmných strategiích nebo na podmínkách ustájení nosnic (Macelline et al. 2021).

V neposlední řadě je velmi důležitá také kvalita vody, která ovlivňuje hlavně kvalitu vaječné skořápky. Voda, která je používána pro napájení nosnic, musí být zdravotně nezávadná. Musí také splňovat všechny hygienické požadavky. Teplota vody má na nosnice a produkci vajec také velký vliv, zejména při vyšších teplotách prostředí. Při vysoké teplotě vody nosnice

snížují její příjem, v některých případech může dojít i k tomu, že nosnice přestanou pít úplně, což může vést ke zhoršení kvality vaječné skořápky nebo až k dehydrataci slepice (Ahmadi & Rahimi 2011).

3.4.2.2 Typ ustájení nosnic

Ustájení nosnic má značný vliv na kvalitu vajec (Tůmová et al. 2009b). Správné ustájení je však velmi důležité i pro zdraví nosnic a jejich přirozené chování (Lewko & Gornowicz 2011).

V rámci produkce vajec jsou preferovány chovy nosnic v obohacených klecových chovech nebo v různých systémech alternativního ustájení, což může být například voliéra, podestýlka nebo výběh (Tůmová et al. 2009b). Jsou náhradou za chov v konvenčních chovech, které byly dle Směrnice Evropské komise 1999/74/EC zakázány stavět či poprvé uvádět do provozu od 1. ledna 2003 a od 1. ledna 2012 jsou zakázány úplně (Ledvinka et al. 2009). V České republice je velký počet nosnic ustájen v klecovém typu ustájení. Zákaz tohoto způsobu ustájení vstoupí v platnost od roku 2027 (Válková et al. 2021). Vits et al. (2005) konstatují, že při ustájení nosnic v konvenčních chovech dochází k častému stresu a frustracím. Je to z toho důvodu, že zde slepice nemohou plně projevit své přirozené chování. Podmínky chovu slepic v různých systémech jsou upravována dle vyhlášky Ministerstva zemědělství 208/2004 Sb., která je platná od 1. ledna 2007 (Tůmová et al. 2009a). Ledvinka et al. (2008) uvádějí, že do snáškových hal se nosnice přesouvají 10-15 dní před snesením prvního vejce, což znamená ve věku od 15. do 17. týdne života.

Nosnice, chované v klecových chovech, mají průkazně nižší hmotnost vajec než ty, které jsou chované například v klecích obohacených. Nejvyšší hmotnosti měla vejce nosnic, pocházejících z podestýlkových chovů (Ledvinka et al. 2008). Lewko & Gornowicz (2011) publikovali studii, zaměřující se na kvalitu vajec v závislosti na ustájení nosnic. Zkoumali a hodnotili například hmotnost vajec, hmotnost bílku, hmotnost žloutku, index tvaru vejce, výšku bílku a jeho pH, Haughovy jednotky, barvu a pH žloutku, dále barvu skořápky, její tloušťku, pevnost a různé deformace. Zjistili, že nosnice ustájené v klecových chovech mají nejtěžší vejce s nejnižším indexem tvaru. Tato vejce však měla nejlehčí skořápku.

Podobnou studii se zabývali také Yilmaz Dikmen et al. (2017). Ti hodnotili 720 vajec od nosnic Lohmann Brown, které pocházely z chovů konvenčních, obohacených a z volných výběhů. Hodnocenými komponenty byly například celková hmotnost vejce, dále hmotnost bílku, skořápky a žloutku, tloušťka a pevnost vaječné skořápky, tvar vejce, bílek, index žloutku a jeho barva, poměr proteinů ve vejci nebo Haughovy jednotky. Z jejich výzkumu vyplývá, že nejvyšší hmotnost vajec, a také hmotnost vaječných částí, byla pozorována u vajec, pocházejících z volného výběhového chovu. Tloušťka a také pevnost vaječné skořápky, barva žloutku a podíl skořápky, žloutku a bílku měly ve všech systémech ustájení nosnic velmi podobné výsledky. Závěrem studie autoři uvádějí, že vejce z výběhového chovu měla lepší kvalitu než vejce z chovů konvenčních a z chovu v obohacených klecích.

Stojčić et al. (2012) se zaměřili na vliv genotypu a systému ustájení na produkci vajec, kvalitu vajec a welfare nosnic. Do jejich studie byly použity nosnice Hisex White a Hy Line Brown, které byly chovány v různých systémech ustájení, a to konkrétně v konvenčních bariérových klecích a obohacených klecích. Výsledky studie ukázaly mimo jiné například to,

že nejvyšší počet vajec snesly bělovaječné nosnice, ustájené v konvenčních klecích, nejnižší počet snesených vajec byl zaznamenán u hnědovaječných nosnic, které byly ustájené v obohacených klecích. Z hlediska srovnání lze říct, že bělovaječné nosnice snesly celkově více vajec s lepší kvalitou skořápky, a to v obou typech ustájení. Z hlediska typu ustájení snášely nejméně vajec nosnice ustájené v obohacených klecích.

Ustájení nosnic má velký vliv na technologickou hodnotu vajec, ale také na kontaminaci vaječné skořápky. Ke kontaminaci vaječného obsahu totiž může dojít při prostupu mikroorganismů přes vaječnou skořápku. I na její kvalitu má tedy ustájení vliv (Ledvinka et al. 2008). Systém ustájení totiž ovlivňuje také celkový počet mikroorganismů na povrchu vajec a následnou mikrobiální kontaminaci bakteriemi, kterými mohou být *Enterococcus* a *Escherichia coli* (Engmaierová et al. 2014).

Ustájení nosnic má mimo jiné vliv také na koncentraci cholesterolu ve vaječném žloutku a v krevní plazmě. Výzkum, který vypracovali Zita et al. (2018), se přímo zabýval vlivem ustájení a plemene slepice na kvalitu vajec a koncentraci cholesterolu ve žloutku a v krvi. Výsledky ukázaly, že je skutečně koncentrace cholesterolu ve žloutku ovlivněna systémem ustájením nosnic. Vyšší hodnota byla zjištěna u nosnic, ustájených v klecových chovech. V rámci ustájení slepic je důležité brát v potaz i hustotu osazení klecí, voliér či chovných prostor. I to totiž může mít poté negativní vliv na produkci a kvalitu vajec (Erensoy et al. 2021).

3.4.2.3 Znečištění a kontaminace snesených vajec

Vejsce mohou, jakožto nejvýživnější potravina živočišného původu, podléhat různým kontaminacím, které mají značný vliv na jejich kvalitu (Zaheer 2015.) Aby se dalo kontaminaci zamezit, je třeba klást důraz na přísná pravidla a na opatrnost při manipulaci jak s vaječnými výrobky, tak i s vejci samotnými po jejich snesení. Tam je třeba především dodržení správného postupu při produkci vajec a při jejich následném zpracování. Kontaminovaná vejce totiž představují vážné riziko pro spotřebitele, protože může dojít k vyvolání různých onemocnění, která mohou být i vážná. Tato onemocnění mohou vzniknout buďto chemickou kontaminací vajec, za působení například toxických látek anebo právě kontaminací mikrobiální (Zaheer 2015). Za hlavní ochrannou bariéru, zabraňující průniku mikroorganismů do vejce, je považována vaječná skořápka (Ledvinka et al. 2008). Většina vajec bývá po snesení čistá (Jacob et al. 2000).

Hlavní příčinou pandemie salmonelóz u lidí, která se přenáší pomocí potravin, je bezesporu *Salmonella enteritidis* (Gantois et al. 2009). Jedná se o střevní bakterii, pro jejíž růst jsou vejce velmi vhodným médiem. Kontaminace vajec střevními bakteriemi, zejména tedy *Salmonellou enteritidis*, představuje velké riziko pro produkci vajec a následnou výrobu (Zaheer 2015). Vejce mohou být kontaminována na vnějším povrchu skořápky, ale i uvnitř vejce. Vnitřní kontaminace může být důsledkem průniku patogenů přes skořápku vejce nebo přímou kontaminací obsahu vajec, pocházející z infekce reprodukčních orgánů nosnice. Salmonelly dokážou proniknout přes skořápku a podspořápečné blány skořápky, a to po přímé kontaminaci skořápky vejce. Příčinou povrchové kontaminace je nejčastěji kontaminace fekáliemi (Gantois et al. 2009). Vejce mohou být nejčastěji kontaminována exogenní cestou, a to po snesení vejce. O znečištění vajec rozhodují ve velké míře faktory vnějšího prostředí, jako

je prašnost, relativní vlhkost vzduchu, systém ustájení nosnic a manipulace s vejci (Ledvinka et al. 2008).

Mezi epidemiemi *Salmonelly enteritidis* od roku 1985 až do roku 2003 mělo až 75 % ohnisek nákazy touto bakterií spojitost buďto primárně s vejci nebo s výrobky, které obsahovaly vaječné složky (Wan et al. 2017).

Mikrobiální kontaminaci vajec lze zamezit přijetím přísných opatření. Základními opatřeními jsou především výběr chovných zvířat s odolností vůči patogenům, využití různých systémů a postupů, které zabraňují praskání skořápek vajec, důkladná dekontaminace zařízení při obměně hejn v rámci turnusového chovu drůbeže, preventivní vakcinace nosnic proti patogenům, zkrmování krmiva bez patogenů, udržování zařízení bez škůdců nebo třeba usnadnění rozvoje přirozené žaludeční mikroflóry pro posílení pasivní imunity. K dosažení bezpatogeniny vajec je třeba vejce shromažďovat a ochlazovat co nejdříve po snesení a uchovávat je v chladném a čistém skladu. Konzumentům a spotřebitelům se doporučuje kupovat vejce, která byla před jejich zpracováním chlazená, čistá a s nepoškozenou skořápkou. Toto doporučení platí obzvláště pro těhotné ženy a děti. Doporučené postupy při produkci, třídění, skladování, přepravě, zpracování a distribuci vajec pro lidskou spotřebu určuje Kodex hygienické praxe pro vejce a výrobky z vajec (Zaheer 2015).

Englmaierová et al. (2014) se zabývali vlivem systému ustájení nosnic na užitkovost, kvalitativní vlastnosti vajec a mikrobiální kontaminaci vajec. Prokázali, že systém ustájení nosnic skutečně ovlivňuje kontaminaci vajec patogeny. Studie se zaměřovala především na výskyt bakterií rodu *Enterococcus* a *Escherichia coli*. Z výsledků plyne, že nejnižší hodnoty bakteriální kontaminace byly pozorovány u vajec z obohacených a konvenčních klecí. Následovala vejce od nosnic z chovů voliérových. Naopak nejvyšší hodnoty kontaminace byly zjištěny u vajec, pocházejících z podestýlkových chovů. To je důkazem, že z hlediska bezpečnosti vajec jsou nevhodnější vejce od nosnic z obohacených klecí. S tímto tvrzením souhlasí i Ledvinka et al. (2008). Jejich studie dokazují, že vejce z klecových chovů vykazovala nižší mikrobiální kontaminaci, oproti vejcům pocházejícím od nosnic z podestýlkových či voliérových chovů.

Jones et al. (2015) se zaměřili na mikrobiální kontaminaci vajec v závislosti na typu ustájení. Nosnice Lohmann White, které byly pro tento výzkum využity, byly ustájeny ve třech základních typech ustájení, a to konkrétně v konvenčních klecích, obohacených klecích a voliérovém systému. Odběry vzorků byly realizovány po čtyři produkční období. Z výsledků vyplývá, že nejvyšší průměrný počet aerobních organismů byl nalezen ve vzorcích, pocházejících od nosnic z voliéry. Lze říct, že během všech čtyř období vykazovaly vzorky, pocházející z voliér, nejvyšší kontaminaci mikroorganismy. Následovaly je obohacené klece. Konvenční klece a obohacené klece vykazovaly nejnižší úroveň aerobní kontaminace, a to po celou dobu studie. S tímto tvrzením souhlasí i Englmaierová et al. (2014). Jejich studie vykazuje velmi podobné výsledky. Bylo zjištěno, že nejnižší hodnoty bakteriální kontaminace byly pozorovány u vajec z obohacených a konvenčních klecí, následovala vejce od nosnic z chovů voliérových. Naopak nejvyšší hodnoty kontaminace byly zjištěny u vajec, pocházejících od nosnic ustájených v podestýlkovém chovu. To je důkazem, že z hlediska bezpečnosti vajec jsou nevhodnější vejce od nosnic z obohacených klecí.

Gantois et al. (2008) vypracovali srovnávací studii o patogenezi kontaminace vajec různými sérotypy bakterií rodu *Salmonella*. Ve studii byly využity dva sérotypy bakterie

Salmonella enterica enteritidis a dále pak jeden kmen každého ze sérotypů *Salmonella typhimurium*, *Salmonella heidelberg*, *Salmonella virchow* a *Salmonella hadar*. Nosnice byly intravenózně infikovány bakteriemi. Po infekci bylo pozorováno, že schopnost kmenů sérotypu *enteritidis* kolonizovat reprodukční orgány byla značně vyšší ve srovnání s kmeny *Salmonella heidelberg*, *Salmonella virchow* a *Salmonella hadar*. Pomocí dvou různých specificky navržených modelů infekce vajec bylo prokázáno, že všechny kmeny, využití v této studii, byly schopny proniknout do žloutku a množit se uvnitř něj při teplotě 25 °C. Tyto výsledky naznačují, že schopnost růstu salmonel ve vejcích po snášce není specifická pro sérotyp *enteritidis*.

Kontaminace chemickými kontaminanty mohou pocházet od zbytků veterinárních medikamentů, přísad do krmiv nebo z neúmyslných kontaminantů životního prostředí jako jsou například furany, dioxiny nebo polychlorované bifenoly. Ošetření léčiva a přísadami do krmiv se řídí dle toxicity léčiva a jeho účinnosti na základě maximálních limitů reziduí, léčby a ochranných lhůt. Všechny produkty během medikace a ochranných lhůt jsou nevhodné pro lidskou spotřebu a musí být tedy zlikvidovány. Některé léky jsou zakázány a nesmí se používat a podávat zvířatům, jejichž produkty jsou určeny k lidské spotřebě. Existují však i bezpečné léky, které při použití u zvířat, jejichž produkty jsou určeny pro spotřebu lidí, nevyžadují ochranné lhůty. Kromě toho mohou nosnice pozřít kontaminovanou půdu, krmivo nebo vodu, a to v případě, kdy zemědělci aplikují různé pesticidy na plodiny a do půdy (Zaheer 2015).

3.4.2.4 Podmínky prostředí v chovu nosnic

Správné podmínky prostředí v chovech drůbeže jsou velmi důležitým pilířem úspěchu v živočišném průmyslu, zaměřující se na chov drůbeže. Podmínky prostředí se dělí na faktory fyzikální, kam patří teplota, vlhkost a proudění vzduchu a chemické, jako je koncentrace amoniaku a oxidu uhličitého ve vzduchu (Kocaman et al. 2006). Důležitá je také optimální termoneutrální zóna, která je pro nosnice mezi teplotami 19 až 22 °C (Kim et al. 2021). Dle Ledvinky et al. (2009) je optimální termoneutrální zóna mezi 20 až 22 °C.

Z hlediska důležitosti má zřejmě největší vliv na výslednou kvalitu vajec teplota prostředí (Samli et al. 2005), která kromě kvality vajec značně ovlivňuje i produkci vajec (Al-Saffar & Rose 2002). Při teplotách vyšších než je optimum dochází u nosnic k tepelnému stresu, což je jev, kdy se u nosnice spouští řada obranných mechanismů, mezi kterými je například i lapání po dechu. Nosnice mohou být citlivé na tepelný stres také z důvodu absence potních žláz a nadměrné tvorbě tělesného tepla. Velkou nevýhodou tepelného stresu je jeho velký vliv na produkci a následnou kvalitu vajec. Nosnice totiž snižují příjem krmiva a tím také tělesnou hmotnost. Při vysokých teplotách nosnice zvyšuje příjem tekutin. Dochází ke snižování hmotnosti vajec a také pevnosti skořápky, což se děje z důvodu snížení příjmu důležitého vápníku, jehož vstřebávání se na úrovni střeva značně snižuje (Kim et al. 2021). Mashaly et al. (2004) se zabývali vlivem tepelného stresu na kvalitu a produkci vajec. Z výsledků jejich studie vyplývá, že u nosnic, vystavených tepelnému stresu, byla produkce vajec, hmotnost vajec, hmotnost vaječné skořápky a tloušťka vaječné skořápky významně nižší. Tělesná teplota nosnic se výrazně zvyšuje při teplotách vyšších než 40 °C a v tomto případě může dojít i k úhynu zvířete (Ledvinka et al. 2009). S tímto tvrzením souhlasí také Ahmadi & Rahimi

(2011). Udávají, že vliv vysokých teplot může mít špatný vliv na kvalitu vajec, konkrétně na kvalitu vaječné skořápky.

Prokázáno bylo, že ani nízké teploty nemají na snášku pozitivní vliv. Pokud se teplota sníží pod 10 °C, dochází sice u nosnic ke zvýšení spotřeby krmiva, avšak snáška se snižuje. Důvodem je využití energie na zajištění udržení tělesného tepla. Výrazné snížení počtu vyprodukovaných vajec lze zaznamenat při teplotách nižších než je 5 °C. Velmi kritická je i teplota pod -5 °C, kdy začnou nosnicím omrzat koncové části těla, jako například lalůčky a hřebeny (Ledvinka et al. 2009).

Osvětlení a intenzita světla je dalším neopomenutelným faktorem prostředí, který má vliv nejen na pohodu a chování zvířat, ale také na průběh snášky a kvalitu vajec. Intenzita a kvalita světla, která se používá v chovech drůbeže, ovlivňuje reprodukční schopnost nosnic, a to je důvod, proč jsou i v dnešní době moderní umělá osvětlení, hojně využívána pro optimalizaci produkce vajec. Bylo prokázáno, že intenzita světla nižší než 5 luxů výrazně nestimuluje snášku nosnic, zatímco intenzita vyšší než 50 luxů může mít na snášku negativní dopad. Na toto téma bylo zaměřeno mnoho studií, některé z nich doporučují využít intenzitu světla alespoň 10 luxů, jiné zase naopak uvádějí, že k adekvátní kvalitě vajec a optimální produkci vajec je nutné využít osvětlení s intenzitou světla minimálně 30 luxů (Erensoy et al. 2021). Dle Ledvinky et al. (2008) by měla být intenzita v době snášky od 5 do 10 luxů. Při nízké intenzitě světla lze u nosnic pozorovat pozdní nástup pohlavní dospělosti a také nižší produkci vajec. Při intenzitě vysoké potom může docházet ke stresu (Erensoy et al. 2021). Ledvinka et al. (2009) konstatují, že minimální délka světelného dne je zhruba 14 hodin. Maximální nesmí přesáhnout 16 hodin. Erensoy et al. (2021) se ve studii zabývali tím, jaký je vliv intenzity světla a hustoty osazení na užítkovost, kvalitu vajec a stav peří nosnic chovaných v klecovém způsobu ustájení. Autoři se shodují, že užítkovost, kvalitu vajec a optimální stav peří slepic lze na dobré úrovni udržet při intenzitě světla 50–60 luxů.

Vliv, ať už pozitivní či negativní, na kvalitu vajec má kromě teploty také relativní vlhkost vzduchu v chovu nosnic. Ta by měla být v rozmezí od 60 % do 75 % (Ledvinka et al. 2009). S tímto výrokem souhlasí také Kocaman et al. (2006), kteří udávají hodnoty od 60 % do 70 %. Pokud by byla relativní vlhkost prostředí příliš nízká, mohlo by docházet ke zvýšené prašnosti, což může mít za následek respirační onemocnění zvířat. Yahav et al. (2000) vypracovali studii, zaměřující se na problematiku nedostatečné reakce nosnic na relativní vlhkost při vysoké okolní teplotě. Zjistili, že značně snížená produkce vajec byla pozorována u starších nosnic, které se nacházely v chovu při relativní vlhkosti 60 %. Hmotnost vejce, hmotnost skořápky a tloušťka skořápky se se zvyšující teplotou výrazně snižovaly.

V neposlední řadě jsou také pro produkci a kvalitu vajec důležité chemické faktory, jako například koncentrace oxidu uhličitého, metanu, sirovodíku nebo amoniaku v ovzduší. Pokud není zajištěno kvalitní větrání, dochází k hromadění těchto plynů a plyny mohou dosahovat až toxických úrovní, čímž mohou narušit zdraví nosnic. Zhoršení zdravotního stavu nosnic vede ke snížení snášky vajec (Kocaman et al. 2006).

3.4.2.5 Skladování vajec

Cesta vajec ze snáškových hal až k rukám spotřebitelů bývá někdy dlouhá. Jak bylo již několikrát zmíněno, kvalitu vajec ovlivňují vnější a vnitřní faktory. Mezi faktory vnější, které

mají na kvalitativní ukazatele vajec, byť i zanedbatelný vliv, patří skladování vajec (Tůmová et al. 2009b). Mimo to mají také teplota a relativní vlhkost při skladování vajec, podobně jako koncentrace plynu v ovzduší, vliv na oplozenost vajec, a to takovým způsobem, že jsou schopny ovlivnit úspěšnost inkubace, a to buďto negativně anebo pozitivně (Brake et al. 1997).

Během skladování se mění vaječný obsah, a to jak fyzikálně, tak chemicky (Nedomová & Simeonovová 2010). S dobou skladování vajec se kvalita vaječného žloutku a bílku zhoršuje, a to proto, že dochází ke snižování hmotnosti vajec. Mimo hmotnost se snižují také indexy žloutku, bílku a Haughovy jednotky. To se odráží jak na kvalitě vejce, tak i na jeho následném kuchyňském zpracování. Co se však s dobou skladování zvyšuje je hodnota pH bílku, což je pozitivní jev, neboť se v tomto případě tvoří uvnitř bílku nepříznivé prostředí pro vývoj mikroorganismů (Tůmová et al. 2009b). Nedomová & Simeonovová (2010) uvádějí, že během skladování se mění i chuť a vůně skladovaných vajec, což se děje díky tvorbě metabolitů.

Během skladování vitelinní membrána postupně slábne, nakonec se úplně rozpadne. Stává se to především při vysokých teplotách. Během skladování se dostává voda do žloutku, což způsobuje skvrnitost vaječného žloutku (Jacob et al. 2000).

Ztráta hmotnosti vajec vlivem skladování je dána odpařováním vody přes skořápku vejce (Nasri et al. 2019). S tímto tvrzením souhlasí i Nedomová & Simeonovová (2010), z jejichž výsledků je jasně patrný úbytek hmotnosti vajec v průběhu skladování, jenž je dán vysycháním vajec. Teplota skladování a délka skladování měla průkazný vliv na ztrátu hmotnosti zejména v počátečním období skladování.

Za dodržení podmínek správného skladování vydrží slepičí konzumní vejce až 28 dnů od jeho třídění (Ledvinka et al. 2009). Předpokladem skladování tak, aby vejce tuto minimální trvanlivost dodržela, je skladování při teplotách 5 až 18 °C. Spodní hranicí skladovací teploty je 5 °C. Pokud by však byla vejce uchovávána pod teplotou nižší, označují se potom jako vejce chladírenská. Horní teplotní hranice není ve směrnících Evropské unie nijak striktně definována, v ostatních zemích tomu tak být nemusí, a tak tam platí přísné požadavky jak pro hranici dolní, tak pro hranici horní. Typickou zemí, kde platí velmi přísné teplotní požadavky jsou Spojené státy americké, kde byla skladovací teplota stanovena na 7,2 °C, a to z důvodu hrozby salmonelóz. V Austrálii je požadované teplotní rozmezí mezi 10 až 12 °C. Podobně je tomu tak i ve Velké Británii. Kanada stanovila skladovací teplotu vajec na 13 °C. Francie na 12 °C. Itálie, Polsko a další evropské země udržují rozmezí mezi 16-18 °C (Nedomová & Simeonovová 2010).

4 Závěr

Vejde, jakožto stále více a více oblíbená potravina živočišného původu, mají vynikající nutriční hodnotu a výbornou stravitelnost. Vejce obsahují značné množství prospěšných látek, jako jsou například proteiny, lipidy, vitamíny a minerální látky. Jsou také z hlediska kulinářské úpravy velmi snadno zpracovatelná. Velmi oblíbená jsou vejce vařená, smažená, míchaná, ale také syrová. Jsou nezbytnou součástí velké spousty potravinářských výrobků, jako například majonéz, dresingů, salátů, pomazánek, aspikových lahůdek či alkoholických nápojů. Vejce se dají, mimo lidskou spotřebu, využít i ve farmacii, kosmetice nebo jako krmivo pro zvířata. Velkou výhodou vajec také je, že jsou přijímána ve většině kultur. Rozhodujícím faktorem koupě vejce je pro konzumenty kromě ceny, velikosti a barvy také jejich kvalita. Nároky na kvalitu nejen vajec, ale potravin obecně se stále více zvyšují, a proto je důležité mít na paměti faktory, které mohou kvalitu vajec významně ovlivnit, a to buď pozitivně nebo negativně.

Z hlediska hodnocení kvality vajec lze dělit kvalitu vajec na vnitřní a vnější. V rámci vnitřní kvality vajec se hodnotí kvalita žloutku a kvalita bílku. Hmotnost vajec, tvar vejce a jeho index nebo kvalita vaječné skořápky se naopak hodnotí v rámci vnější kvality vajec. Kvalita žloutku a bílku je nezbytně důležitá pro nezávadnost a konzumovatelnost vejce. Při hodnocení kvality žloutku je kladen velký důraz na hodnocení tvaru žloutku, hmotnosti žloutku, procentuálního podílu z vejce, barvě žloutku a přítomnosti krevních skvrn. Barvu žloutku lze posuzovat buďto objektivně, pomocí přístroje Minolta nebo subjektivně, pomocí barevné stupnice La Roche. Hmotnost je hodnocena pomocí digitálních vah. U kvality bílku se hodnotí například index bílku, výška hustého bílku, hmotnost bílku a Haughovy jednotky. V rámci hodnocení kvality skořápky lze hodnotit barva vaječné skořápky, její pevnost, která se stanovuje pomocí destruktivních metod a její deformace. Ta se stanovuje pomocí metod nedestruktivních. Dále také tloušťka skořápky, hmotnost skořápky, procentuální zastoupení skořápky z celého vejce nebo třeba struktura vaječné skořápky.

Vnitřní faktory, které mají na kvalitu vajec vliv, jsou především genotyp, věk nosnice a užitkový typ. Genotyp má skutečně na kvalitu vajec velký vliv. Ovlivňuje totiž celkovou hmotnost vejce, jelikož hnědovaječné nosnice snášejí těžší vejce než nosnice bělovaječné. Kromě hmotnosti vejce má genotyp nosnice vliv také na hmotnost žloutku, pevnost a tloušťku vaječné skořápky, barvu vaječné skořápky a hodnotu Haughových jednotek. Haughovy jednotky byly prokazatelně vyšší u nosnic bělovaječných. Také výskyt masových a krevních skvrn je významně genotypem nosnice ovlivněn. V neposlední řadě ovlivňuje genotyp nosnic i koncentraci cholesterolu ve vejcích. Z tohoto hlediska je v rámci kvality vajec vhodný správný výběr genotypu nosnice. Vhodnými kombinacemi mohou být nosnice ISA Brown, Hy-Line Brown nebo Hisex Brown.

Kromě genotypu hraje také významnou roli v rámci ovlivnění kvality vajec věk slepice. Z hlediska vaječné skořápky dochází s věkem ke zvětšení tloušťky a pevnosti. Naopak intenzita zbarvení a procentuální podíl vaječné skořápky se s věkem snižovaly. Procentuální podíl bílku se s věkem snižuje. Věk nosnic má pozitivní vliv i na hmotnost žloutku a index tvaru žloutku, na jeho barvu však nikoliv. Hmotnost celého vejce se s věkem zvyšovala.

Z hlediska kvality vajec v rámci výskytu krevních a masových skvrn ve vejci je pro spotřebitele lepší volbou nákup vajec, pocházejících od nosnic bělovaječných než od nosnic

hnědovaječných. Výskyt těchto skvrn je totiž u těchto nosnic výrazně nižší. Také čistota vaječné skořápky a způsob chlazení má na kvalitu vajec značný vliv. V rámci zamezení konzumace mikrobiálně kontaminovaných vajec se spotřebitelům a konzumentům doporučuje kupovat vejce, která byla před zpracováním chlazená, čistá a s nepoškozenou skořápkou. Toto doporučení platí obzvláště pro děti a těhotné ženy. Znečištění vajec a jejich mikrobiální kontaminy jsou silně spjaty také se způsobem ustájení nosnic. Z hlediska bezpečnosti vajec je nejlepší volbou nákup vajec, která pocházejí od nosnic, ustájených v obohacených klecích. Také vejce od nosnic z konvenčních chovů vykazovala nižší mikrobiální znečištění, oproti vejcům od nosnic z voliérovy chovů. Konvenční chovy však byly od 1. ledna 2012 zakázány. V České republice je však stále velký počet nosnic ustájen v klecovém typu ustájení. Zákaz tohoto způsobu ustájení vstoupí v platnost od roku 2027.

Závěrem lze rozhodně potvrdit teorie o přímém vlivu genotypu a věku nosnic na kvalitu vajec.

5 Literatura

- Al-Saffar AA, Rose SP. 2002. Ambient temperature and the egg laying characteristics of laying fowl. *World's Poultry Science Journal* **58**(e3) DOI: 10.1079/WPS20020025
- Ahmadi F, Rahimi F. 2011. Factors affecting quality and quantity of egg production in laying hens: a review. *World Applied Sciences Journal* **12**:372–384.
- Anton M. 2013. Egg yolk: structures, functionalities and processes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **93**(e12) DOI: 10.1002/jsfa.6247.
- Beyer RS. 2005. Factors affecting egg quality. Kansas State University Available from: <https://krex.kstate.edu/bitstream/handle/2097/21697/KSUL0009KSREEPPUBSEP127a.pdf?sequence=1> (accessed February 2022)
- Blair R. 2008. *Nutrition and Feeding of Organic Poultry*. CAB International. Trowbridge.
- Blount JD, Houston DC, Møller AP. 2000. Why egg yolk is yellow. *Trends in Ecology & Evolution* **15**(e2) DOI:10.1016/S0169-5347(99)01774-7
- Bouvarel I, Nys Y, Lescoat P. 2011. Hen nutrition for sustained egg quality. *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products* 261-299 DOI: 10.1533/9780857093912.3.261
- Bozkurt Z, Tekerli M, 2009. The Effects of Hen Age, Genotype, Period and Temperature of Storage on Egg Quality. *Kafkas Üniversitesi Veteriner fakültesi Dergisi* **15**: 517–524.
- Brake J, Walsh TJ, Benton CE, JrPetitte JN, Meijerhof R, Penalva G.1997. Egg handling and storage. *Poultry Science* **76**(e1) DOI: 10.1093/ps/76.1.144
- Duman M, Şekeroğlu A, Yildirim A, Eleroğlu H, Camci Ö. 2016. Relation between egg shape index and egg quality characteristics. *European Poultry Science* **80** DOI: 10.1399/eps.2016.117
- Englmaierová M, Tůmová E, Charvátová V, Skřivan M. 2014. Effects of laying hens housing system on laying performance, egg quality characteristics, and egg microbial contamination. *Czech Journal of Animal Sciences* **59**(e8) DOI: 10.17221/7585-CJAS
- Erensoy K, Sarica M, Noubandiguim M, Gur M, Aslan R. 2021. Effect of light intensity and stocking density on the performance, egg quality, and feather condition of laying hens reared in a battery cage system over the first laying period. *Tropical Animal Health and Production* **53**(e2) DOI: 10.1007/s11250-021-02765-5

- Galobart J, Sala R, Rinco'n-Carruyo X, Manzanilla EW, Vilá B, Gasa J. 2004. Egg Yolk Color as Affected by Saponification of Different Natural Pigmenting Sources. *Journal of Applied Poultry Research* **13**(e2) DOI: 10.1093/japr/13.2.328
- Gantois I, Ducatelle R, Pasmans F, Haesebrouck F, Gast R, Humphrey TJ, Immerseel FV. 2009. Mechanisms of egg contamination by *Salmonella* Enteritidis. *FEMS Microbiology Reviews* **33**(e4) DOI: 10.1111/j.1574-6976.2008.00161.x
- Gantois I, Eeckhaut V, Pašmans F, Haesebrouck F, Ducatelle R, Van Immerseel F. 2008. A comparative study on the pathogenesis of egg contamination by different serotypes of *Salmonella*. *Avian Pathology* **37**(e4) DOI: 10.1080/03079450802216611
- Gautron J, Dombrea C, Nau F, Feidt C, Guilliard L. 2022. Review: Production factors affecting the quality of chicken table eggs and egg products in Europe. *Animal* **16** DOI: 10.1016/j.animal.2021.100425
- Gole CV, Roberts JR, Sexton M, May D, Kiermeier A, Chousalkar KK. 2014. Effect of egg washing and correlation between cuticle and egg penetration by various *Salmonella* strains. *International Journal of Food Microbiology* **182** DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.04.030
- Guérin-Dubiard C, Pasco M, Mollé D, Désert C, Croguennec T, Nau F. 2006. Proteomic Analysis of Hen Egg White. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **54**(e11) DOI: 10.1021/jf0529969
- Hamilton R. 1982. Methods and Factors That Affect the Measurement of Egg Shell Quality. *Poultry Science* **61**(e10) DOI: 10.3382/ps.0612022
- Havlíček M, Nedomová Š, Simeonovová J, Severa L, Křivánek I. 2008. On the evaluation of chicken egg shape variability. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **56**:69–74.
- Honkatukia M. et al. 2011. Mapping of QTL affecting incidence of blood and meat inclusions in egg layers. *BMC Genetics* **12**(e1) DOI: 10.1186/1471-2156-12-55
- Hrnčár C, Hässlerová M, Bujko J. 2013. The Effect of Oviposition Time on Egg Quality Parameters in Brown Leghorn, Oravka and Brahma Hens. *Animal Science and Biotechnologies* **46**:53-57
- Jacob JP, Miles RD, Mather FB. 2000. Egg quality. Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida PS 24

- Jones DR, Cox NA, Guard J, Fedorka-Clay PJ, Buhr RJ, Gast RK, Abdo Z, Rigsby LL, Plumblee JR, Karcher DM, Robinson CI, Blatchford RA, Makagon MM. 2015. Microbiological impact of three commercial laying hen housing systems. *Poultry Science* **94**(e3) DOI: 10.3382/ps/peu010
- Jones DR, Musgrove MT. 2005. Effects of extended storage on egg quality factors. *Poultry Science* **84**(e11) DOI: 10.1093/ps/84.11.1774
- Kayadan M, Uzun Y. 2023. High accuracy gender determination using the egg shape index. *Scientific Reports* **13**(e1) DOI: 10.1038/s41598-023-27772-4
- Ketta M, Tůmová E. 2018a. Eggshell Characteristics and Cuticle Deposition in Three Laying Hen Genotypes Housed in Enriched Cages and on Litter. *Czech Journal of Animal Science* **63**(e1) DOI: 10.17221/75/2017-CJAS
- Ketta M, Tůmová E. 2018b. Relationship between eggshell thickness and other eggshell measurements in eggs from litter and cages. *Italian Journal of Animal Science* **17**(e1) DOI: 10.1080/1828051X.2017.1344935
- Kim DH, Lee YK, Kim SH, Lee KW. 2021. The Impact of Temperature and Humidity on the Performance and Physiology of Laying Hens. *Animals* **11**(e1) DOI: 10.3390/ani11010056
- Kljak K, Grbeša D. 2015. Carotenoid content and antioxidant activity of hexane extracts from selected Croatian corn hybrids. *Food Chemistry* **167** DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.07.002
- Kocaman B, Esenbuga N, Yildiz A, Laçin E, Macit M. 2006. Effect of Environmental Conditions in Poultry Houses on the Performance of Laying Hens. *International Journal of Poultry Science* **5**:26-30.
- Kraus A, Zita L. 2019. The effect of age and genotype on quality of eggs in brown egg-laying hybrids. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **67**(e2) DOI: 10.11118/actaun201967020407
- Ledvinka Z, Tůmová E, Šolc L. 2008. Užítkovost nosnic a kvalita vajec v různých systémech chovu. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha.
- Ledvinka Z, Zita L, Tůmová E. 2009. Vybrané kapitoly z chovu drůbeže. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha.
- Lewko L, Gornowicz E. 2011. Effect of housing system on egg quality in laying hens. *Annals of Animal Science*. **14**: 607-616.

- Liu N, Liu GH, Li FD, Sands JS, Zheng AJ, Ru YJ. 2007. Efficacy of phytases on egg production and nutrient digestibility in layers fed reduced phosphorus diets. *Poultry Science* **86**(e11) DOI: 10.3382/ps.2007-00079
- Macelline SP, Toghyani M, Chrystal PV, Selle PH, Liu SY. 2021. Amino acid requirements for laying hens: a comprehensive review. *Poultry Science* **100**(e1) DOI: 10.1016/j.psj.2021.101036
- Marounek M, Pebriansyah A. 2018. Use of carotenoids in feed mixtures for poultry. *Agricultura Tropica et Subtropica* **51**(e3) DOI: 10.2478/ats-2018-0011
- Mashaly MM, Hendricks GL, Kalama MA, Gehad AE, Abbas AO, Patterson PH. 2004. Effect of Heat Stress on Production Parameters and Immune Responses of Commercial Laying Hens. *Poultry Science* **83**(e6) DOI: 10.1093/ps/83.6.889
- Míková K. 2010. Vejce jako vynikající potravina. Naše vejce. Available from <http://www.nasevejce.cz/o-vejci/vejce-jako-potravina> (accessed February 2022).
- Mine Y. 2008. Egg bioscience and biotechnology. John Wiley & Sons. New Jersey.
- Nasri H, Brand H, Najjar T, Bouzouaia M. 2019. Egg storage and breeder age impact on egg quality and embryo development. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **104**(e1) DOI: 10.1111/jpn.13240
- Nedomová Š, Simeonovová J. 2010. Vliv délky a teploty skladování na jakostní parametry vajec. *Potravinářstvo (mimoriadne číslo)* **4**:196–203.
- Oliveira GS, Santos VM, Rodrigues JC, Santana AP. 2020. Conservation of the internal quality of eggs using a biodegradable coating. *Poultry Science* **99**(e12) DOI: 10.1016/j.psj.2020.09.057
- Padhi MK, Chatterjee RN, Haunshi S, Rajkumar U. 2013. Effect of age on egg quality in chicken. *Indian Journal of Poultry Science* **48**: 122-125.
- Park KW, Rhee AR., Hm JS, Paik IK. 2009. Effect of dietary available phosphorus and organic acids on the performance and egg quality of laying hens. *Journal of Applied Poultry Research* **18**(e3) DOI: 10.3382/japr.2009-00043
- Quattrocchi A, Freni F, Montanini R, Turrisi S, Zappa E. 2022. Development, Validation and Preliminary Experiments of a Measuring Technique for Eggs Aging Estimation Based on Pulse Phase Thermography. *Sensors* **22**(e9) DOI: 10.3390/s22093496
- Roland DA. 1978. Factors Influencing Shell Quality of Aging Hens. *Poultry Science* **58**(e4) DOI: 10.3382/ps.0580774

- Safaa HM, Serrano MP, Valencia DG, Frikha M, Jiménez-Moreno E, Mateos GG. 2008. Productive Performance and Egg Quality of Brown Egg-Laying Hens in the Late Phase of Production as Influenced by Level and Source of Calcium in the Die. *Poultry Science* **87**(e10) DOI: 10.3382/ps.2008-00110
- Saláková A. 2014. Hygiena drůbežního masa, vajec a zvěřiny. Veterinární a farmaceutická univerzita Brno. Brno.
- Samiullah S, Roberts JR, Chousalkar K. 2015. Eggshell color in brown-egg laying hens — a review. *Poultry Science* **94**(e10) DOI: 10.3382/ps/pev202
- Samiullah S, Roberts JR, Chousalkar K. 2016. Oviposition time, flock age, and egg position in clutch in relation to brown eggshell color in laying hens. *Poultry Science* **95**(e9) DOI: 10.3382/ps/pew197
- Saxena I, Tayyab S. 1997. Protein proteinase inhibitors from avian egg whites. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS* **53**(e1) DOI: 10.1007/PL00000575
- Şekeroğlu A, Altuntaş E. 2008. Effects of egg weight on egg quality characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **89**(e3) DOI: 10.1002/jsfa.3454Cita
- Shin JY, Xun P, Nakamura Y, He K. 2013. Egg Consumption in Relation to Risk of Cardiovascular Disease and Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition* **98**(e1) DOI: 10.3945/ajcn.112.051318
- Sokołowicz Z, Krawczyk J, Magdalena D. 2018. Effect of alternative housing system and hen genotype on egg quality characteristics. *Emirates Journal of Food and Agriculture* **30**(e8) DOI: 10.9755/ejfa.2018.v30.i8.1753
- Stevens L. 1991. Egg white proteins. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry* **100**(e1) DOI: 10.1016/0305-0491(91)90076-P
- Stojčić MD, Peric L, Milošević N, Rodic V, Glamocic D, Skrbic Z, Lukic M. 2012. Effect of Genotype and Housing System on Egg Production, Egg Quality and Welfare of Laying Hens. *Journal of Food Agriculture & Environment* **10**: 556–559.
- Šonka F. 1997. Chov a výkrm drůbeže v drobných chovech. DONA. České Budějovice.
- Tang SGH, Siew CC, Kalavathy R, Saad WZ, Yong ST, Wong HK, Ho YW. 2015. Chemical Compositions of Egg Yolks and Egg Quality of Laying Hens Fed Prebiotic, Probiotic, and Synbiotic Diets. *Journal of Food Science* **80**(e8) DOI: 10.1111/1750-3841.12947

- Tsai WT, Yang JM, Lai CW, Cheng YH, Lin CC, Yeh CW. 2006. Characterization and adsorption properties of eggshells and eggshell membrane. *Bioresource Technology* **97**(e3) DOI: 10.1016/j.biortech.2005.02.050
- Tůmová E, Ebeid T. 2005. Effect of time of oviposition on egg quality characteristics in cages and in a litter housing system. *Czech Journal Of Animal Science* **50**:129-134
- Tůmová E, Zita L, Hubený M, Skřivan M, Ledvinka Z. 2007. The effect of oviposition time and genotype on egg quality characteristics in egg type hens. *Czech Journal Animal Science* **52**: 26–30
- Tůmová E, Englmaierová M, Ledvinka Z. 2009a. Skladovatelnost vajec z různých systémů ustájení. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha.
- Tůmová E, Skřivan M, Englmaierová M, Zita L. 2009b. The effect of genotype, housing system and collection time on egg quality in egg type hens. *Czech Journal of Animal Science* **53**: 17–23
- Válková L, Voslarová E, Večerek V, Doležalová P, Zavřelová V, Weeks C. 2021. Traumatic Injuries Detected during Post-Mortem Slaughterhouse Inspection as Welfare Indicators in Poultry and Rabbits. *Animals* **11**(e9) DOI: 10.3390/ani11092610
- Van den Brand H, Parmentier HK, Kemp B. 2004. Effect of housing system (outdoor vs. cages) and age of laying characteristics. *British Poultry Science* **45**: 745–752
- Vits A, Weitzenbürger D, Hamann H, Distl O. 2005. Production, egg quality, bone strength, claw length, and keel bone deformities of laying hens housed in furnished cages with different group sizes. *Poultry Science* **84**(e10) DOI: 10.1093/ps/84.10.1511
- Walters M. 2007. Ptačí vejce. Knižní klub. Praha.
- Wan Z, Chen Y, Pankaj SK, Keener KM. 2017. High voltage atmospheric cold plasma treatment of refrigerated chicken eggs for control of *Salmonella Enteritidis* contamination on egg shell. *LWT-Food Science and Technology* **76** DOI: 10.1016/j.lwt.2016.10.051
- Wilson PW, Suther CS, Bain MM, Icken W, Jonesová A, Quinlan-Pluck F, Olori V, Gautron J, Dunn I.C. 2017. Understanding avian egg cuticle formation in the oviduct: a study of its origin and deposition. *Biology Of Reproduction* **97**(e1) DOI: 10.1093/biolre/iox070
- Weggemans RM, Zock PL, Katan MB. 2001. Dietary cholesterol from eggs increases the ratio of total cholesterol to high-density lipoprotein cholesterol in humans: a meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition* **73**(e5) DOI: 10.1093/ajcn/73.5.885

- Yahav S, Shinder D, Razpakovskij V, Rusal M, Bar A. 2000. Lack of response of laying hens to relative humidity at high ambient temperature. *British Poultry Science* **41**(e5) DOI: 10.1080/713654988
- Yilmaz Dikmen B, Ipek A, Şahan Ü, Sözcü A, Baycan SC. 2017. Impact of different housing systems and age of layers on egg quality characteristics. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* **41** DOI: 10.3906/vet-1604-71
- Zaheer K. 2015. An Updated Review on Chicken Eggs: Production, Consumption, Management Aspects and Nutritional Benefits to Human Health. *Food and Nutrition Sciences* **6**(e13) DOI: 10.4236/fns.2015.613127
- Zita L, Jeníková M, Härtlová H. 2018. Effect of housing system on egg quality and the concentration of cholesterol in egg yolk and blood of hens of native resources of the Czech Republic and Slovakia. *Journal of Applied Poultry Research* **27**(e3) DOI: 10.3382/japr/pfy009
- Zita L, Tůmova E, Štolc L. 2009. Effects of genotype, age and their interaction on egg quality in brown-egg laying hens. *Acta Veterinaria Brno* **78**(e1) DOI: 10.2754/avb200978010085

6 Seznam použitých zkratek a symbolů

FAO – Food and Agriculture Organization (Organizace pro výživu a zemědělství)

DNA – Deoxyribonucleic acid (Deoxyribunukleová kyselina)

IgY – Imunoglobulin Y

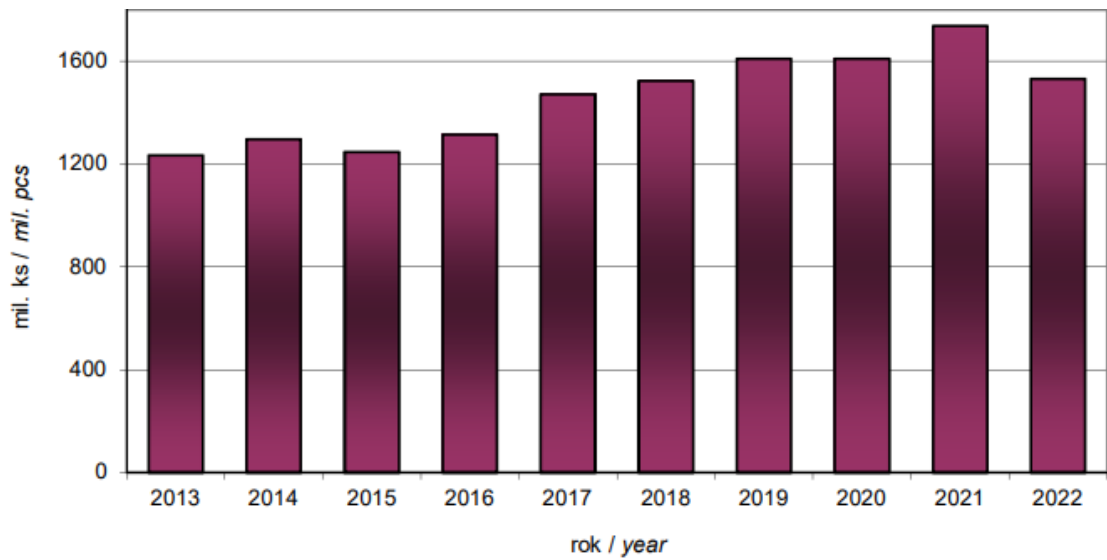
HU – Haughovy jednotky

MJ – megajoule

7 Seznam tabulek a obrázků

Obrázek 1 Grafické vyjádření celkové snášky konzumních vajec v České republice	I
Obrázek 2 Krevní skvrna ve vejci	I
Obrázek 3 Masová skvrna ve vejci	II
Obrázek 4 Subjektivní hodnocení barvy vaječného žloutku pomocí barevné stupnice La Roche	II
Obrázek 5 Objektivní hodnocení barvy vaječného žloutku pomocí přístroje Minolta	III
Obrázek 6 Měření šířky vaječného bílku pomocí posuvného měřítka	III
Obrázek 7 Měření délky vejce pomocí posuvného měřítka	IV
Obrázek 8 Měření tloušťky vaječné skořápky pomocí digitálního mikrometru.....	IV
Obrázek 9 Digitální váhy sloužící k zjišťování hmotnosti vejce a jeho jednotlivých částí.....	V
Obrázek 10 Přístroj Instron sloužící k zjišťování pevnosti vaječné skořápky.....	V

8 Samostatné přílohy



Obrázek 1 Grafické vyjádření celkové snášky konzumních vajec v České republice (Český statistický úřad 2023)



Obrázek 2 Krevní skvrna ve vejci (Autorka BP 2023)



Obrázek 3 Masová skrvna ve vejci (Autorka BP 2023)



Obrázek 4 Subjektivní hodnocení barvy vaječného žloutku pomocí barevné stupnice La Roche (Autorka BP 2022)



Obrázek 5 Objektivní hodnocení barvy vaječného žloutku pomocí přístroje Minolta (Autorka BP 2023)



Obrázek 6 Měření šířky vaječného bílku pomocí posuvného měřítka (Autorka BP 2023)



Obrázek 7 Měření délky vejce pomocí posuvného měřítka (Autorka BP 2023)



Obrázek 8 Měření tloušťky vaječné skořápky pomocí digitálního mikrometru (Autorka BP 2023)



Obrázek 9 Digitální váhy sloužící k zjišťování hmotnosti vejce a jeho jednotlivých částí (Autorka BP 2023)



Obrázek 10 Přístroj Instron sloužící k zjišťování pevnosti vaječné skořápky (Autorka BP 2023)