

降低鸡蛋胆固醇含量的调控措施及其机制

汪加明 魏艳红 何柳青 曲湘勇*

(湖南农业大学动物科学技术学院, 长沙 410128)

摘要: 鸡蛋营养价值很高,但由于含有较高浓度的胆固醇从而限制了公众对鸡蛋的消费,开发低胆固醇鸡蛋具有重要的理论价值和现实意义。通过遗传选育和在饲料中添加脂肪(或脂肪酸)、中草药、植物甾醇、矿物质以及他汀类药物等方法能够有效地降低鸡蛋胆固醇含量。本文从遗传因素、营养因素和非营养因素3个方面综述了国内外学者在降低鸡蛋胆固醇领域的最新研究成果。

关键词: 鸡蛋胆固醇含量;调控措施;遗传因素;营养因素;非营养因素

中图分类号: S873

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2012)04-0617-07

冠心病是一种严重的心血管疾病,血液总胆固醇(TC)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)浓度升高是诱发冠心病等心血管疾病的重要危险因素之一^[1],氧化胆固醇比非氧化胆固醇更容易造成高胆固醇血症和冠状动脉粥样硬化^[2]。血液TC水平还与中老年人心脏病死亡率有着明确的关系,降低血液TC水平1 mmol/L可以降低中老年人缺血性心脏病死亡率17%~50%^[3]。此外,降低血液中胆固醇浓度,也可以降低缺血性中风的风险^[4]。

20世纪70年代,美国心脏协会发布报告建议公众限制鸡蛋的食用,以降低冠心病发生的几率^[5]。饲料胆固醇对餐后血脂含量具有明显的影响,高胆固醇处理(700 mg 胆固醇,相当于3个鸡蛋)显著提高了血液胆固醇和甘油三酯的含量($P < 0.05$),这些都有可能导致冠状动脉粥样硬化^[6]。Gruody^[7]的研究也证实,人类摄食大量胆固醇,使机体血液胆固醇含量明显上升。然而,近几年的研究表明,鸡蛋中的一些活性物质(如卵黏蛋白和鞘磷脂)能够抑制肠壁细胞对胆固醇的吸收,卵磷脂能降低淋巴细胞对胆固醇的吸收^[8-10]。膳食鸡蛋对机体的胆固醇代谢影响还需要进一步

的评估。

由于鸡蛋营养价值很高,但是鸡蛋中的胆固醇含量又使公众望而生畏,因此研究开发低胆固醇鸡蛋具有重要的理论价值和现实意义。近年来,国内外学者通过在饲料中添加脂肪(或脂肪酸)、中草药、植物甾醇、矿物质和他汀类药物以及遗传选育等方法,对降低蛋中胆固醇含量做了大量的研究。本文旨在从遗传因素、营养因素和非营养因素3个方面综述国内外学者在降低鸡蛋胆固醇领域的最新研究成果,并提出相应的鸡蛋胆固醇调控策略。

1 通过遗传因素降低鸡蛋胆固醇

鸡的品种、品系和年龄等都可影响鸡蛋胆固醇的含量。通过对我国7个品种蛋鸡的鸡蛋胆固醇含量进行测定,发现我国地方鸡种每个鸡蛋的胆固醇含量平均约为196 mg,低于国外鸡种,但是差异不是很大^[11]。

鸡蛋胆固醇代谢受多种基因控制,包括3-甲基-3-羟基戊二酸单酰辅酶A还原酶(HMGR)基因^[12]、载脂蛋白-II(Apo-II)基因、卵母细胞卵黄生成受体(OVR)基因等^[13]。HMGR是机体

收稿日期:2011-11-28

基金项目:湖南农业大学校企合作基金(10068)

作者简介:汪加明(1988—),男,安徽泾县人,硕士研究生,从事家禽营养与生长发育的研究。E-mail: wangjm1988@live.com

*通讯作者:曲湘勇,教授,博士生导师,E-mail: quxy99@126.com

胆固醇合成过程中的限速酶, Apo-Ⅱ在血液中与胆固醇结合,起到运输的作用,而 OVR 则通过内吞作用介导脂蛋白完整转运进入生长中的卵母细胞,最后使胆固醇沉积在蛋黄中。从这些基因中找出影响胆固醇含量的分子标记,然后对低胆固醇品系进行标记辅助选择,对加快选育进程具有重要的作用。对 Apo-Ⅱ基因、OVR 基因和卵黄蛋白原-Ⅱ(VTG-Ⅱ)基因 3 种胆固醇调控基因的单链核苷酸多态性以及和蛋黄胆固醇之间的联系研究表明^[13], VTG-Ⅱ基因发现多态位点,但产生的 2 种基因型个体间蛋黄胆固醇含量差异不显著($P>0.05$)。由于 VTG-Ⅱ基因外显子众多,且卵黄蛋白原(VTG)对蛋黄胆固醇含量影响相对较小,所以抽样差异会削弱结果的有效性。另外,直接以血浆胆固醇浓度为选育指标来选择低胆固醇含量鸡蛋的鸡品种,也是一种重要的方法^[14]。刘影等^[15]以极低密度脂蛋白(VLDL)为指标选育低胆固醇蛋鸡品种,取得了很好的效果。血浆 VLDL 浓度与全蛋胆固醇总量和全蛋胆固醇含量的遗传相关估计值较高(分别为 0.46 和 0.52)。

蛋黄胆固醇含量与遗传有一定的关系,遗传力为中等,从育种的角度来得到低胆固醇含量的鸡蛋是可行的。近年来,随着鸡基因组测序的完成和转基因技术的发展,通过部分敲除与胆固醇合成和代谢相关的基因,可培育出可用于商业生产的低蛋黄胆固醇转基因鸡品系。它表明通过遗传的措施是未来降低鸡蛋胆固醇领域最有前景的发展方向。

2 通过营养因素降低鸡蛋胆固醇

2.1 苜蓿

研究表明,苜蓿中含有皂苷、黄酮苷等多种生理活性物质,对降低血清胆固醇以及预防和减轻动脉粥样硬化等疾病具有重要的作用^[16]。蛋鸡饲料中添加苜蓿草粉能够极显著降低每克蛋黄中胆固醇含量($P<0.01$),添加 7% 苜蓿草粉使其降幅达 9%;随着苜蓿草粉添加水平的增加,每克蛋黄中胆固醇含量逐渐降低,当蛋黄胆固醇含量降低到一定程度后就趋于稳定^[17]。这也说明苜蓿草粉对蛋黄胆固醇含量的调节具有一个阈值。同样, Ponte 等^[18]和 Dong 等^[19]的研究都证实了苜蓿草粉对鸡的脂肪代谢、血脂水平的调控具有重要的作用,同时还发现苜蓿草粉能够降低鸡胸肉的胆

固醇含量,并且对鸡的生产性能无不利影响^[19]。

随后张丽娜^[20]系统地对苜蓿经水提后喷雾干燥形成的固体物质——苜蓿素对海兰褐蛋鸡的脂质代谢的影响进行了研究,发现饲料中添加 1 000 mg/kg 苜蓿素使蛋鸡产蛋前期全蛋胆固醇含量下降了 7.8%,每个蛋胆固醇含量平均为 190 mg ($P<0.05$),同时苜蓿素能够提高蛋鸡血清中脂蛋白脂酶活性($P<0.05$),但是对蛋鸡主要的生产性能指标以及血清胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量都没有显著的影响($P>0.05$)。董晓芳等^[21]的研究还表明,添加 500 mg/kg 苜蓿素能显著降低肉仔鸡血清 TC 水平($P<0.05$)。皂苷是苜蓿素中的主要生理活性物质,通过肠道中的胆汁酸介导,它能降低肠道对胆汁的吸收,增加胆固醇的排泄,以降低鸡蛋中胆固醇的沉积^[22-23]。作为一种应用广泛的牧草资源,再加上其在减少鸡蛋胆固醇沉积方面的有益作用,苜蓿将成为未来蛋鸡饲料中很有前景的原料来源。

2.2 油脂与脂肪酸

动物饮食中的油脂种类及成分已被证明对胆固醇代谢具有重要的调节作用。红棕榈油(PRO)能够影响蛋鸡的脂肪代谢,蛋鸡饲料中添加 PRO 显著减少了血液中胆固醇含量($P<0.05$),使亚油酸等多不饱和脂肪酸含量上升($P<0.01$)^[24]。王成章等^[17]在蛋鸡饲料中添加 1.6% 和 2.4% 的大豆油脂发现,2.4% 油脂添加组蛋黄胆固醇略有降低,但与不添加组差异不显著($P>0.05$)。油脂的成分复杂,含有大量的不饱和脂肪酸,油脂的种类和添加量的不同可能对试验的结果造成差异。

饲料脂肪酸及其饱和程度影响机体的胆固醇代谢,多不饱和脂肪酸通过抑制肝脏中脂肪酸合成相关酶的基因表达、诱导参与脂肪酸氧化分解酶类以及载脂蛋白基因的表达来调节蛋鸡的脂质代谢。早期的研究显示,不饱和脂肪酸(如油酸、亚油酸)相比硬脂酸可显著提高血浆胆固醇水平^[25]。与此不同的是,近几年的研究表明,多不饱和脂肪酸对降低血清胆固醇含量和减少胆固醇在蛋黄中的沉积具有积极的作用^[26]。在罗曼粉壳蛋鸡饲料中添加 4.0% α -亚麻酸(ALA)发现,蛋鸡肝脏 HMGR 酶活性显著下降($P<0.05$),HMGR 基因 mRNA 表达丰度下降($P>0.05$),肝脏乙酰辅酶 A 羧化酶(ACC)活力下降($P<0.01$),ACC

基因表达量下降 33.99% ($P < 0.01$),一磷酸腺苷激活蛋白激酶 (AMPK) 活力有小幅增加,但是效果不显著^[27-29],另外添加 ALA 可提高蛋鸡生产性能^[28-29]。ALA 通过抑制肝脏 ACC 和脂肪酶的活性,减少了 VLDL 进入心血管系统的量,同时 ALA 还抑制了机体胆固醇代谢的限速酶 HMGR 的基因表达和酶活性,减少了体内胆固醇的合成^[27]。此外,AMPK 使 HMGR、ACC 等磷酸化而失去活性,从而抑制胆固醇的合成,达到降低鸡蛋胆固醇的目的^[30]。

共轭亚油酸 (CLA) 具有抗氧化、调节免疫功能、降低胆固醇和防止动脉粥样硬化等生理功能,作为一种天然的功能性营养添加剂具有很大的应用前景。富含 CLA 的鸡蛋能够改善试验大鼠的冠状动脉粥样硬化^[31],CLA 通过诱导蛋鸡的脂肪和脂肪酸的代谢,进而影响鸡蛋中各种脂肪酸组成和胆固醇含量^[32]。关于 CLA 影响蛋黄胆固醇的分子机理研究显示,饲料中添加 CLA 可增加鸡蛋中 CLA 的含量 ($P < 0.01$),极显著减少肝脏和卵巢组织 OVR 基因的表达量 ($P < 0.01$),但是对 Apo-Ⅱ 基因表达量没有影响 ($P > 0.05$)^[33]。CLA 通过抑制 OVR 基因的表达,可减少 OVR 的生成,降低 VLDL 在蛋黄中的沉积,从而减少鸡蛋胆固醇的含量。与此结论所不同的是,Beata 等^[34]研究发现,CLA 对鸡蛋脂肪酸组成可能具有不利的影响,使其中硬脂酸等饱和脂肪酸含量升高,不饱和脂肪酸下降,并且与蛋黄胆固醇浓度没有相关性。尽管如此,富含 CLA 并且低含量胆固醇的鸡蛋仍然会是一种很有潜力的功能性食品。

2.3 其他营养性因素

微量元素是动物机体内很多激素和酶的辅助因子,对机体新陈代谢具有重要的作用。铬和锌能够有效改善蛋鸡在寒冷环境中的应激反应,并且降低血清胆固醇浓度,提高其生产性能^[35]。在蛋鸡饲料中添加 400~800 $\mu\text{g/kg}$ 酵母铬可以显著降低蛋黄胆固醇含量 ($P < 0.05$)^[36]。李静等^[37]研究发现,铬和硒互作可极显著降低蛋鸡血清 TC 含量以及蛋黄胆固醇含量 ($P < 0.01$),且极显著提高产蛋率 ($P < 0.01$)。铬是葡萄糖耐受因子活性中心的组成部分,机体补充铬可降低血液胰岛素水平,减少 LDL-C 的合成,同时又可提高肝脏对胆固醇的摄取能力,从而达到降低鸡蛋胆固醇的目的。

功能性多糖和益生菌对蛋鸡脂质代谢以及降低胆固醇在蛋黄中的沉积有着积极的作用。菊苣提取物具有明显的降血糖、降血脂作用,并且能够增强免疫力。在蛋鸡饲料中添加菊苣提取物是降低鸡蛋胆固醇的一条可行途径,1.5% 的添加水平可显著减少鸡蛋胆固醇浓度,降低动脉粥样硬化指数,且菊苣提取物对蛋鸡生产性能和蛋品质没有不利的影响^[38]。对低聚木糖的研究也表明,0.010% 和 0.015% 添加量分别降低了蛋中胆固醇含量 20.66% ($P < 0.01$) 和 26.42% ($P < 0.01$)^[39]。此外,膳食益生菌的添加也可以提高蛋鸡生产性能指标 ($P < 0.05$),降低血清和蛋黄中胆固醇含量 ($P < 0.05$)^[40]。在蛋鸡饲料中添加柑橘皮渣,不仅可降低蛋鸡血清胆固醇浓度,而且对生产性能和蛋品质无不利影响,还可大大减轻农业废弃物对环境的污染^[41]。

3 通过非营养因素以及药物降低鸡蛋胆固醇

3.1 植物甾醇

植物甾醇是一种天然活性物质,其结构与胆固醇类似,在降低人体血液胆固醇、减少冠状动脉疾病风险、调节动物生长等方面具有重要的生理作用,通过抑制小肠对胆固醇的吸收,植物甾醇对降低人体胆固醇浓度有着显著的效果^[42]。

对于补充植物甾醇是否可以有效地降低蛋鸡肠道对胆固醇的吸收,调节体内胆固醇代谢,降低血浆和蛋黄中胆固醇含量,已有很多有意义的探索。Liu 等^[43]在饲料中添加植物甾醇,6 周试验期结束时发现,蛋黄中的胆固醇浓度轻微下降,但是没有统计学上的差异 ($P > 0.05$)。与此结论不同,王龙昌等^[44]在伊莎褐蛋鸡饲料中添加 20 mg/kg 植物甾醇,发现蛋黄中 TC 浓度比对照组降低 16.73% ($P < 0.05$)。植物甾醇降胆固醇作用与剂量有关,添加的含量不同,效果也有差异。植物甾醇降胆固醇机制以及最佳添加量有待进一步的研究。

3.2 他汀类药物

通过遗传选择、添加各种营养物质等方法引起蛋黄胆固醇含量的变化较小(小于 10%)。相反地,HMGR 抑制剂(他汀类药物)能使蛋黄胆固醇浓度下降高达 46%^[45],是目前最好的一种降胆固醇物质。Wood 等^[46]的研究也证实,蛋鸡饲料组

成成分的变化并不会改变鸡蛋中的胆固醇含量,鸡蛋胆固醇对饲料的改变具有明显的抗性。

他汀类药物是有效的降胆固醇药物,可减少心血管疾病的风险,常被用于治疗人类高胆固醇血症以及胆固醇酯贮积病^[47]。他汀类药物在用于降低蛋黄胆固醇方面取得了很好的效果。研究显示,母鸡饲喂 0.06% 阿托伐他汀使血浆中主要运载胆固醇到蛋黄的 LDL-C 微粒直径降低,运载的 TC 下降了 38%,鸡蛋胆固醇含量减少了 46% ($P < 0.05$)^[48]。赵宗胜等^[49]的试验也证明了辛伐他汀对降低蛋黄胆固醇含量具有明显的效果。洛伐他汀作为 HMGCR 抑制剂,通过 AMPK 的介导作用,减少了肝脏胆固醇的合成^[50]。此外,口服 0.06% HMGCR 抑制剂普伐他汀可降低 20% 鸡蛋胆固醇^[51]。值得注意的是,他汀类物质可能会对蛋鸡的生产性能产生不利影响^[48],加上药物本身的残留问题以及高昂的价格,使他汀类药物的使用受到的限制。但是,角鲨烯合酶抑制剂可通过选择性地抑制胆固醇合成途径,减少胆固醇的合成,且没有任何有害影响,是最有前途的新一代他汀类药物,在降低鸡蛋胆固醇方面具有广阔的应用前景^[45]。

3.3 盐酸二甲双胍

盐酸二甲双胍是一种治疗 II 型糖尿病的药物,近年来的研究表明其对蛋鸡脂肪和胆固醇的代谢具有重要的调节作用。盐酸二甲双胍通过激活体外培养的蛋鸡肝细胞 AMPK 活性,降低细胞 TC 含量 ($P < 0.05$)^[52]。王瑜铭等^[53]在每只蛋鸡饲料中添加盐酸二甲双胍 0.55 g/d,试验组比对照组血浆 Apo-B 基因表达水平显著降低 ($P < 0.05$),蛋黄 TC 含量下降 12.5% ($P < 0.05$),然而需要注意的是,盐酸二甲双胍使产蛋率下降 59.9% ($P < 0.01$),降低了蛋鸡生产性能。

3.4 茶多酚

茶多酚是从茶叶中提取并由儿茶素和类黄酮等物质组成的一类生物活性物质的总称,具有抗氧化、降血脂以及降胆固醇等多种功能,在畜牧生产上应用前景十分广阔。研究表明,蛋鸡饲料中添加 200 mg/kg 茶多酚可降低蛋黄胆固醇 41.65% ($P < 0.01$)^[54]。茶多酚能够有效地抑制胰脂肪酶活性,降低肠道对脂质的吸收^[55];同时,茶多酚可通过降低血清 VLDL 水平来调控蛋鸡的胆固醇代谢^[56]。

3.5 大蒜素

大蒜素可通过增加肠道细胞对胆固醇的排出,降低血液 LDL-C 水平,对减少鸡蛋胆固醇沉积具有积极的作用^[57]。饲料中添加 2% 干燥大蒜粉末可以降低白来航鸡血清和蛋黄胆固醇含量 ($P < 0.01$),随着添加水平的提高,蛋黄胆固醇含量逐渐降低,8% 添加量时蛋黄胆固醇降低 23.6% ($P < 0.01$)^[58]。研究表明,大蒜素可通过上调小肠上皮细胞跨膜转运蛋白的表达,促进细胞内胆固醇的排出,降低细胞内胆固醇的含量,从而控制血液胆固醇水平^[59]。

4 小 结

通过遗传选育和在饲料中添加脂肪(或脂肪酸)、中草药、植物甾醇等降低蛋黄胆固醇取得了很好的效果;但在饲料中添加脂肪(或脂肪酸)、中草药、植物甾醇等,由于添加剂成分复杂、受添加量的影响较大,需要进行进一步的研究。蛋鸡口服他汀类药物可使其蛋黄胆固醇降低最多,但他汀类药物可能对蛋鸡生产性能产生不利影响,机体的药物残留和成本问题也限制了他汀类药物的使用。

角鲨烯合酶抑制剂可选择性地抑制胆固醇合成途径,是最有前途的新一代他汀类药物,在降低鸡蛋胆固醇方面具有广阔的应用前景。此外,随着鸡基因组测序的完成和转基因技术的发展,通过部分敲除与胆固醇合成和 VLDL 组装有关的基因或 VTG 基因,培育出可商业化生产的低蛋黄胆固醇转基因鸡品系,是未来降低鸡蛋胆固醇领域最有前景的发展方向。

参考文献:

- [1] NAKAMURA Y, ISO H, KITA Y, et al. Egg consumption, serum total cholesterol concentrations and coronary heart disease incidence: Japan Public Health Center-based prospective study[J]. British Journal of Nutrition, 2006, 96(5): 921–928.
- [2] HO N C, XIAO Q Y, YU H, et al. Oxidised cholesterol is more hypercholesterolaemic and atherogenic than non-oxidised cholesterol in hamsters[J]. British Journal of Nutrition, 2008, 99(4): 749–755.
- [3] LEWINGTON S, WHITLOCK G, CLARKE R, et al. Blood cholesterol and vascular mortality by age, sex and blood pressure: a meta-analysis of individual data

- from 61 prospective studies with 55000 vascular deaths[J]. The Lancet, 2007, 370 (9602): 1829 – 1839.
- [4] COLLINS R, ARMITAGE J, PARISH S, et al. Effects of cholesterol-lowering with simvastatin on stroke and other major vascular events in 20536 people with cerebrovascular disease or other high-risk conditions[J]. The Lancet, 2004, 363 (9411): 757 – 767.
- [5] HERRON K L, FERNANDEZ K L. Are the current dietary guidelines regarding egg consumption appropriate? [J]. The Journal of Nutrition, 2004, 134 (1): 187 – 190.
- [6] CLIFTON P M, NESTEL P J. Effect of dietary cholesterol on postprandial lipoproteins in three phenotypic groups[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1996, 64 (3): 361 – 367.
- [7] GRUUDY S D. Multifactorial etiology of hypercholesterolemia[J]. Arteriosclerosis, Thrombosis and Vascular Biology, 1991, 11: 1619 – 1635.
- [8] NOH S K, KOO S I. Milk sphingomyelin is more effective than egg sphingomyelin in inhibiting intestinal absorption of cholesterol and fat in rats[J]. The Journal of Nutrition, 2004, 134 (10): 2611 – 2616.
- [9] JIANG Y Z, NOH S K, KOO S I. Egg phosphatidylcholine decreases the lymphatic absorption of cholesterol in rats[J]. The Journal of Nutrition, 2001, 131 (9): 2358 – 2363.
- [10] NAGAOKA S, MASAOKA M, ZHANG Q, et al. Egg ovomucin attenuates hypercholesterolemia in rats and inhibits cholesterol absorption in Caco-2 cells[J]. Lipids, 2002, 37 (3): 267 – 272.
- [11] 陆俊贤, 葛庆联, 施祖瀚, 等. 不同品种鸡蛋中胆固醇含量比较[J]. 中国家禽, 2010, 32 (8): 64 – 65.
- [12] DING J X, JIANG D C, KURCZY M, et al. Inhibition of HMG CoA reductase reveals an unexpected role for cholesterol during PGC migration in the mouse[J]. BMC Developmental Biology, 2008, 8: 120 – 134.
- [13] 陈东军. 鸡蛋含量相关性研究胆固醇代谢候选基因 SNPs 筛查及其与蛋黄胆固醇[D]. 硕士学位论文. 合肥: 安徽农业大学, 2010: 2 – 8.
- [14] MINVIELLE F, OGUZ Y. Effects of genetics and breeding on egg quality of Japanese quail [J]. World's Poultry Science Journal, 2002, 58: 291 – 295.
- [15] 刘影, 陈立侨. 以极低密度脂蛋白为指标选育低胆固醇鸡蛋品系[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2005 (2): 98 – 102.
- [16] 丛学滋, 秦孟根, 李子行. 苜蓿皂甙的降血清胆固醇及减轻试验性动脉粥样硬化形成的作用[J]. 中国药理学通报, 1988, 4 (5): 293 – 296.
- [17] 王成章, 杨雨鑫, 胡喜峰, 等. 不同苜蓿草粉水平对产蛋鸡蛋胆固醇含量影响的研究[J]. 草业学报, 2005, 14 (2): 76 – 83.
- [18] PONTE P I, MENDES I, QUARESMA M, et al. Cholesterol levels and sensory characteristics of meat from broilers consuming moderate to high levels of alfalfa [J]. Poultry Science, 2004, 83 (5): 810 – 814.
- [19] DONG X F, GAO W W, TONG J M, et al. Effect of polysavone (alfalfa extract) on abdominal fat deposition and immunity in broiler chickens[J]. Poultry Science, 2007, 86 (9): 1955 – 1959.
- [20] 张丽娜. 苜蓿草对蛋鸡生产性能及其鸡蛋与组织脂质的影响[D]. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学, 2010: 18 – 34.
- [21] 董晓芳, 江勇, 高微微, 等. 苜蓿草对肉仔鸡免疫、内分泌和脂类代谢的一些指标的影响[J]. 动物营养学报, 2007, 19 (4): 407 – 410.
- [22] SIM J S, KITTS W D, BREGG D B. Effect of dietary saponin on egg cholesterol level and laying hen performance[J]. Canadian Journal of Animal Science, 1984, 64: 977 – 984.
- [23] GEORGE F, ZOHAR K, HARINDER P S, et al. The biological action of saponins in animal systems: a review[J]. British Journal of Nutrition, 2002, 88 (6): 587 – 605.
- [24] PUNITA A, CHATURVEDI A. Effect of feeding crude Red Palm Oil (*Elaeis guineensis*) and grain Amaranth (*Amaranthus paniculatus*) to hens on total lipids, cholesterol, PUFA levels and acceptability of eggs[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2000, 55 (2): 147 – 157.
- [25] CHEEMA S K, AGELLON L B. Metabolism of cholesterol is altered in the liver of C3H mice fed fats enriched with different C-18 fatty acids[J]. The Journal of Nutrition, 1999, 129 (9): 1718 – 1724.
- [26] 李志琼. α - 亚麻酸对产蛋鸡脂质代谢及蛋黄胆固醇沉积的影响及其机理[D]. 博士学位论文. 雅安: 四川农业大学, 2007: 67 – 78.
- [27] 李志琼, 陈代文, 张克英. 添加 α - 亚麻酸对产蛋鸡内分泌激素和肝脏 HMGR 的影响[J]. 动物营养学报, 2007, 19 (5): 588 – 592.
- [28] 李志琼, 余冰, 张克英, 等. α - 亚麻酸对产蛋鸡肝脏 ACC 的影响[J]. 动物营养学报, 2008, 20 (1): 98 – 101.

- [29] 李志琼,余冰,张克英,等. 饲料中添加 α -亚麻酸对产蛋鸡生产性能和肝脏 AMPK 的影响[J]. 动物营养学报,2008,20(1):58-62.
- [30] 陈晓春. AMPK 对产蛋鸡胆固醇代谢的调节作用[D]. 博士学位论文. 雅安:四川农业大学,2006:13-15.
- [31] MAGDALENA F Z, RENATA B K, BEATA S, et al. Functional effects eggs, naturally enriched with conjugated linoleic acid, on the blood lipid profile, development of atherosclerosis and composition of atherosclerotic plaque in apolipoprotein E and low-density lipoprotein receptor double-knockout mice (apoE/LDLR-/-) [J]. British Journal of Nutrition, 2008, 99(1):49-58.
- [32] SCHAFER K, MANNER K, SAGREDOS A, et al. Incorporation of dietary linoleic and conjugated linoleic acids and related effects on eggs of laying hens[J]. Lipids, 2001, 36(11):1217-1222.
- [33] 李晓轩. 共轭亚油酸对固始鸡蛋胆固醇及其相关基因表达的影响[D]. 硕士学位论文. 郑州:河南农业大学,2009:38-41.
- [34] BEATA S, PAWEL M P. Effects of dietary conjugated linoleic acid on fatty acid composition and cholesterol content of hen egg yolks[J]. British Journal of Nutrition, 2003, 90(1):93-99.
- [35] NURHAN S, MUHITTIN O, KAZIM S. Effects of dietary chromium and zinc on egg production, egg quality, and some blood metabolites of laying hens reared under low ambient temperature[J]. Biological Trace Element Research, 2002, 85(1):47-58.
- [36] 张加力,王开,张春,等. 酵母铬对蛋鸡的生产性能、蛋黄胆固醇含量、铬沉积规律的影响[J]. 吉林农业大学学报,2008,30(5):730-733.
- [37] 李静,井婧,李绍钰,等. 硒和铬对蛋鸡脂质代谢及鸡蛋硒含量的影响[J]. 动物营养学报,2009,21(4):540-545.
- [38] 尚红梅,呼天明,鲁友均,等. 菊苣提取物对蛋鸡鸡蛋胆固醇、肠道菌群和生产性能的影响[J]. 动物营养学报,2010,22(4):1037-1045.
- [39] 郑学斌,杜江,余先祥,等. 低聚木糖对海兰蛋鸡产蛋性能、鸡蛋品质及血清生化指标的影响[J]. 安徽农业大学学报,2009,36(2):267-272.
- [40] PANDA A K, REDDY M R, RAMA RAO S V, et al. Production performance, serum/yolk cholesterol and immune competence of white leghorn layers as influenced by dietary supplementation with probiotic[J]. Tropical Animal Health and Production, 2003, 35(1):85-94.
- [41] NAZOK A, REZAEI M, SAYYAHZADEH H. Effect of different levels of dried citrus pulp on performance, egg quality, and blood parameters of laying hens in early phase of production[J]. Tropical Animal Health and Production, 2010, 42(4):737-742.
- [42] GYLLING H, MIETTINEN T A. The effect of plant stanol and sterol-enriched foods on lipid metabolism, serum lipids and coronary heart disease[J]. Annals of Clinical Biochemistry, 2005, 42(4):254-263.
- [43] LIU X, ZHAO H L, THIESSEN S, et al. Effect of plant sterol-enriched diets on plasma and egg yolk cholesterol concentrations and cholesterol metabolism in laying hens[J]. Poultry Science, 2010, 89(2):270-275.
- [44] 王龙昌,顾莞婷,周岩民,等. 植物甾醇对蛋鸡产蛋后期生产性能、鸡蛋胆固醇含量及血清生殖激素水平的影响[J]. 中国粮油学报,2008,23(6):166-171.
- [45] ELKIN R G. Reducing shell egg cholesterol content II: Review of approaches utilizing non-nutritive dietary factors or pharmacological agents and an examination of emerging strategies[J]. World's Poultry Science Journal, 2007, 63(1):5-32.
- [46] WOOD D L, NITMAN J. The effect of feeding di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) on the lipid metabolism of laying hens[J]. Lipids, 1979, 15(3):151-156.
- [47] VENU T T, DORA M L, BROOKE A M, et al. Treatment of dyslipidemia with lovastatin and ezetimibe in an adolescent with cholesterol ester storage disease[J]. Lipids in Health and Disease, 2005, 4(1):26-31.
- [48] ELKIN R G, YAN Z H, ZHONG Y, et al. Select-3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme A reductase inhibitors vary in their ability to reduce egg yolk cholesterol levels in laying hens through alteration of hepatic cholesterol biosynthesis and plasma VLDL composition[J]. The Journal of Nutrition, 1999, 129(5):1010-1019.
- [49] 赵宗胜,张红梅,陈宏,等. 辛伐他汀对鸡产蛋性能及蛋中胆固醇含量的影响[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2009,27(1):42-45.
- [50] 陈晓春,陈代文. 辛伐他汀对鸡产蛋性能及蛋中胆固醇含量的影响[J]. 动物营养学报,2009,21(3):341-347.
- [51] KIM J H, HONG S T, LEE H S, et al. Oral adminis-

- tration of pravastatin reduces egg cholesterol but not plasma cholesterol in laying hens [J]. *Poultry Science*, 2004, 83(9):1539–1543.
- [52] 陈晓春, 陈代文, 张克英, 等. AICAR 和二甲双胍对产蛋鸡肝细胞 AMPK 活性及脂质代谢的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2006, 37(8):769–773.
- [53] 王瑜铭, 余冰, 张金伟, 等. 以猪油为日粮能量来源并添加盐酸二甲双胍对产蛋鸡脂质代谢和生产性能的影响[J]. *动物营养学报*, 2010, 22(5):1382–1389.
- [54] 张旭, 蒋桂韬, 王向荣, 等. 茶多酚对蛋鸡生产性能、蛋品质和蛋黄胆固醇含量的影响[J]. *动物营养学报*, 2011, 23(5):869–874.
- [55] KOBAYASHI M, ICHITANI M, SUZUKI Y, et al. Black-tea polyphenols suppress postprandial hypertriglycerolemia by suppressing lymphatic of dietary fat in rat[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(15):7131–7136.
- [56] 胡忠泽, 金光明, 刘海, 等. 茶多酚对肉鸡脂肪代谢的影响及作用机制[J]. *南京农业大学学报*, 2006, 29(2):85–88.
- [57] 陈常秀, 李同树. 大蒜对肉鸡血脂指标和组织胆固醇含量的影响[J]. *动物营养学报*, 2006, 18(1):55–58.
- [58] KHAN S H, SARDAR R, ANJUM M A. Effects of dietary garlic on performance and serum and egg yolk cholesterol concentration in laying hens [J]. *Asian Journal of Poultry Science*, 2007, 1(1):22–27.
- [59] 赵战芝, 胡艳, 宋砚明, 等. 大蒜素对 Caco-2 细胞胆固醇排出的影响[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2010, 18(10):775–778.

Control Measures and Mechanisms for Reducing Egg Cholesterol Content

WANG Jiaming WEI Yanhong HE Liuqing QU Xiangyong*

(College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: The nutritional value of egg is very high, but its high content of cholesterol limits its consumption for public at large, so reducing the content of egg cholesterol has important theoretical and practical significance. The genetic breeding and adding fat, Chinese herbal medicine, plant sterol, minerals and statins into the diet of chickens could effectively reduce the egg cholesterol content. This paper reviews the latest research results on reducing egg cholesterol at home and abroad. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(4):617-623]

Key words: egg cholesterol content; control measures; genetic selection; nutritional factors; non-nutritional factors