

动物源胆固醇的生理功效及其开发应用的研究进展

孟亚娟¹, 贺稚非^{1,2}, 李洪军^{1,2,*}

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2.重庆市特色食品工程技术研究中心(重庆), 重庆 400715)

摘要:胆固醇广泛存在于动物体内,对维持机体的正常生理功能具有重要的意义。本文对动物源胆固醇的含量、生理功效、提取方法及应用前景进行了综述,为动物源胆固醇的进一步开发利用提供有力的理论指导。

关键词:含量,生理功效,提取检测,应用

Research progress in the physiological functions and application of cholesterol from animals

MENG Ya-juan¹, HE Zhi-fei^{1,2}, LI Hong-jun^{1,2,*}

(1.College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2.Chongqing Special Food Engineering and Technology Research Center, Chongqing 400715, China)

Abstract: Cholesterol is widespread in animals, it has important significance to maintain the animals' normal physiological function. In this paper, the cholesterol content, physiological effects, extraction methods and application prospects were reviewed to provide a strong theoretical guidance for the further development and utilization of cholesterol from animals.

Key words: content; physiological effects; extraction and detection; application

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)05-0388-04

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.05.074

胆固醇(cholesterol)又被称为胆甾醇,是一种环戊烷多氢菲的衍生物。胆固醇是机体内重要的固醇之一,其溶解性与脂肪类似,不溶于水,可溶于乙醚、氯仿等有机溶剂。胆固醇在动物体内的脑及神经组织中最为丰富,在肾、脾、皮肤、肝和胆汁中含量也较高。近些年来,由于心脑血管疾病不断增加,大多数人认为这与过多摄入胆固醇有关,其实这种观点是不够全面的。人体血液中胆固醇过多积累,是导致高血压、动脉粥样硬化、冠心病、胆病的重要原因之一。人体内的胆固醇^[1]分为内源性和外源性两类,来自食物的外源性胆固醇占30%,机体肝脏合成的内源性胆固醇占70%。外源胆固醇不是导致心血管疾病的直接原因,但是适当的控制外源胆固醇的摄入有助于减少心血管疾病的发生。但是胆固醇更是人体不可少的一种脂肪营养物质,胆固醇对于维持机体的正常生理功能具有重要的意义。在动物组织中,胆固醇不仅参与机体形成细胞膜,而且是合成胆汁酸、维生素D₃以及甾体激素的主要原料。近年来动物源胆固醇成品在日用化工、医药、饲料等工业中发挥了巨大的作用,因此让人们正确看待胆固醇的理化性质及其生理功效,在此基础上对动

物源胆固醇进行合理的开发利用,有助于促进食品、化工、医药等工业的迅速发展。

1 动物源胆固醇的分布及含量

动物源胆固醇主要来源于肉类、禽蛋、内脏及动物的附属品中。由表1中肉的胆固醇含量不高,其含量多少的区分主要在肥瘦肉间的不同,这可能是胆固醇需要与脂蛋白结合,因此脂肪较多的肉中含量略高。牛肉中胆固醇含量大约58~84mg/100g,研究表明多种因素影响牛肉的胆固醇含量:如动物品种、性别、成熟度、皮下脂肪厚度、日粮能量水平、饲养方式、肌肉的部位与切割类型^[2-6]等。猪肉中的胆固醇含量同样是受成熟度、脂肪厚度、生长饮食、大理石花纹和遗传变异类型^[7-9]等影响;猪肉的胆固醇含量的变化还受到激素条件的影响,如使用莱克多巴胺等强效的兴奋剂,它可降低猪肉背最长肌的胆固醇的含量,因为一定量浓度的兴奋剂将会刺激猪兴奋多动,减少脂肪沉积^[10]。兔肉相比牛羊肉更健康,其“三高三低”就包括胆固醇含量低^[11],其胆固醇的含量在59mg/100g左右。胆固醇在动物体内的脑及神经组织中最为丰富,其中肝脏是内源性胆固醇

收稿日期:2014-04-18

作者简介:孟亚娟(1990-),女,硕士,研究方向:食品加工与安全。

*通讯作者:李洪军(1961-),男,博士,教授,研究方向:肉类科学与酶工程。

基金项目:国家兔产业技术体系肉加工与综合利用(CARS-44-D-1);农业部公益性行业(农业)科研专项(201303144)。

合成的场所,因此其胆固醇水平较高。

禽类的胆固醇含量在 70~110mg/100g 之间,家禽肉中的胆固醇含量比牛肉和猪肉的含量高,由于禽类的皮脂中富含丰富的胆固醇。王晓明等研究显示^[12]禽类胆固醇含量也受日粮、遗传等因素的影响。研究^[13]分别取扬州鹅的胸肌和腿肌采用高效液相色谱法和气相色谱法测定其胆固醇含量,得到品种、组织部位以及日粮成分等对扬州鹅鸡肉的胆固醇含量均有影响。另外,禽类蛋黄中含有丰富的胆固醇,鸡蛋黄中含有大量的胆固醇,其大约在 1500mg/100g。海产品中同样也富含胆固醇,例如一些软体动物和贝类,有鱿鱼、乌贼、扇贝、墨鱼和牡蛎等,其胆固醇含量均超过 100mg/100g。虾蟹类产品的胆固醇含量虽然在 240mg/100g 左右,但虾蟹类自身不能合成胆固醇,并且通过蜕壳实现生长,需要摄食含胆固醇为添加剂的饲料来提高虾蟹的品质和产量^[15]。

胆固醇在动物体内的脑及神经组织中最为丰富,其中含量最高的是动物的脑、脊髓和肝脏^[16-18],肝脏是胆固醇合成的重要器官,动物肝脏中含量大约在 300mg/100g;猪脑的胆固醇含量高达 2571mg/100g,牛脑和羊脑的胆固醇的含量也在 2000~2400mg/100g。动物的附属物中也同样含有胆固醇,其中羊毛脂含有较为丰富的胆固醇^[19],羊毛脂不是常见的油脂,它是羊的皮脂腺的分泌物,主要在羊毛纤维上,是一种由羊毛酸和羊毛醇共同构成的化酯。

表 1 动物源胆固醇的含量(mg/100g)

Table 1 Content of cholesterol from animals(mg/100g)

食物名称	胆固醇含量 (mg/100g)	食物名称	胆固醇含量 (mg/100g)
牛肉(瘦)	58	牛脑	2447
牛肉(肥,瘦)	84	羊脑	2004
猪肉(肥)	109	猪肝	288
猪肉(瘦)	81	牛肝	297
猪肉(肥瘦)	80	羊肝	349
羊肉(瘦)	58	鸡肝	356
羊肉(肥瘦)	60	鸭肝	341
兔肉	59	鹅肝	285
鸡肉(均值)	106	蟹、虾	240
鸭(均值)	94	鸡蛋黄	1510
鹅	74	鸭蛋黄	1576
猪脑	2571	鹅蛋黄	1696

注:数据来源^[14]:杨月欣,中国食品成分表 2004 第二版。

2 胆固醇生理功效

胆固醇是一种多用途的分子^[20],对人体的功效表现在正面和负面功效,归纳如下:

2.1 正面功效

2.1.1 构成细胞膜 胆固醇广泛存在动物体内,胆固醇以游离形式或是脂肪酸酯化的形式存在,游离胆固醇是细胞膜的重要组成部分,占质膜脂类的 20% 以上。胆固醇能阻止细胞膜双分子层的无序化,影响细胞膜对脂溶性物质的通透性,同时保证细

胞膜的流动性。

2.1.2 合成激素 胆固醇是合成类固醇激素的原料^[1],还可被性腺转化为性激素包括黄体酮(progesterone)、睾丸酮(testosterone)、雌激素(estrogen)以及胆酸(cholic acid)等类固醇激素。激素是机体代谢的信使,可作为辅助因子传导分子信号协调多细胞机体中不同细胞代谢作用^[21]。胆固醇形成的肾上腺皮质激素影响人体糖和蛋白质的代谢参与机体内各种物质的代谢,包括糖、蛋白质和脂肪的代谢等。

2.1.3 合成维生素 D₃ 胆固醇是维生素 D₃ 合成的主要原料。胆固醇在机体内可形成 7-脱氢胆固醇,当受到紫外线的照射,7-脱氢胆固醇可转换成维生素 D₃。维生素 D₃ 对机体的生长具有重要的意义,它不仅能促进骨骼的生长发育^[22],还可帮助神经系统机能正常运转。

2.1.4 促进脂肪消化 机体内的胆汁能将大颗粒的脂肪变成小颗粒,使其易于与小肠中的酶作用。胆酸盐是机体的胆固醇衍生而来的胆汁形成的,胆酸盐是具有甾核结构的两性大分子,能够帮助脂肪和胆固醇的消化吸收,胆固醇可参与调控脂溶性维生素 A、D、E、K 的吸收及酶的活性^[23]。

2.2 负面功效

胆固醇的负面功效表现在:受到光、热、氧作用^[24],其 A、B 环或支链结构自动引起氧化反应,生成多种氧化产物(Cholesterol Oxidation Products,简称“COPs”)^[25]。目前食品中因加工不当能够检测到的 COPs 有数十种^[26]。胆固醇氧化物的吸收储存在肠腔内,运输通过脂蛋白,酯化代谢主要是在肝脏中进行的^[27]。COPs 是一种有害物质,当人体内胆固醇氧化物过高,可引起 DNA 损伤和致突变性等^[28-30]。人体能自身可以合成胆固醇,一般不会缺乏,因此胆固醇分为内源性和外源性两种。研究^[31]表明内源性胆固醇主要帮助维持机体的正常运转,若内源性胆固醇的水平过高,将导致疾病的发生,威胁身体健康。

3 动物源胆固醇开发与利用

随着科技的进步,资源的紧张,开发利用动物副产品是一大发展趋势,动物源胆固醇的开发利用在被逐渐的重视。动物源胆固醇的商业化开发与利用表现出较好的前景,主要集中应用在合成维生素 D₃、日用化工和虾蟹饲料激素等产业。

3.1 胆固醇分离提取

胆固醇广泛在动物体内存在,因此其开发与利用从动物源着手。目前胆固醇的制备工艺主要有两个^[32]:一种是使用有机溶剂浸提动物脑髓得到胆固醇成品。胆固醇主要以游离态的形式存在与脑髓中,并且含量最高。一般选用羊脑、牛脑或者脏器,采用丙酮浸渍提取,然后将提取物用乙醇结晶得到胆固醇粗产品,粗胆固醇再经过精制与脱色后可变为成品。这种胆固醇的生成方式简单、方便,同时利用了动物的脑、脏器等附属物,节约资源,提高动物源的利用率,但是原料分散,不易大批量生产。

另一种方法是以羊毛脂为原料,通过对羊毛脂

表2 食品中胆固醇检测方法比较
Table 2 Comparison of the determination methods of cholesterol in food

检测方法	特点	适用范围
比色法	不需特别仪器,传统方法,重现性较好,但是耗时长,致使结果偏高	用于肉类、禽蛋蛋黄总胆固醇的分析测定
皂化法	取样少,且不需要脂肪提取,步骤简单,快速,准确	适用动物肉类、肝脏等胆固醇含量的测定
酶催化法	酶法灵敏度高、特异性强、快速,需使用特定的试剂盒	多用于各种禽蛋类总胆固醇含量的分析测定
薄层扫描法	方法简便,但喷雾显色过程不易掌控,造成结果不准确	适用于多种食物,如禽蛋类、鱿鱼、腊肠等;
气相色谱法	此法操作简单,试剂用量少,结果准确	多用于不同肌肉胆固醇含量的检测分析
高效液相色谱法	操作温度较低,样品不易破坏操作简便、快速,但易出现叠峰	可用于肉类、牛组织、鸡肉等胆固醇的检测
气相色谱-质谱联用	此法适用范围广,快速简便,精密度高,重现性好	适用肉类以及含有大量混合油脂的食品中的胆固醇含量检测

的皂化、羊毛醇的抽提、胆固醇的连续萃取分离和结晶等工艺后得到胆固醇^[33]。胆固醇主要存在于羊毛醇中,从羊毛脂中提取胆固醇,首先将羊毛脂进行皂化或转酯化,使羊毛醇从羊毛脂中游离出来,这个工艺的目的是使胆固醇从化合态转化为游离态。然后利用柱分离或化学方法将胆固醇从羊毛醇中分离出来,现有的从羊毛脂中提取胆固醇的方法^[34]有分子蒸馏法、配色法、超临界萃取和溶剂结晶选择法等。得到的粗胆固醇再进行精制,最后得到胆固醇成品。羊毛脂分离胆固醇的生产工艺原料具有易收集、方便产业化生产等优点。

3.2 胆固醇检测技术

人体血胆固醇的检测方法有很多种,目前最先进的有动态光谱法^[35],常见的有气质联用法、温度测定法、分子发光法、比色法和电化学方法等。食品中的胆固醇的分析检测方法^[36-39]参加表2。

3.3 胆固醇的应用前景

生产维生素 D₃ 的主要原料是胆固醇^[40]。脂溶性维生素 A、B、C、D 环的结构来源于类固醇的环戊氢烯菲环结构。维生素 D₃ 作为机体重要的营养素之一,它具有促进肠道钙吸收、诱导骨质钙磷沉着和防止佝偻病等功效。随着人们对健康问题的关注,全球维生素 D₃ 的需求量也在逐年增加^[41]。我国作为维生素 D₃ 的生产大国和出口大国,对于胆固醇的需求量也在逐年增加。

胆固醇可用作化妆品中生物活性成分的多功能助剂^[32]。早在2005年美国CTFA化妆品原料手册已将其列为化妆品中可添加活性成分。胆固醇结构含亲水的羟基和憎水的侧链,使其具有表面活性剂的性能,因此具有保湿的功效。胆固醇结构中含有一个四元碳骨架,三个侧链,能消除光偏振,具备了防晒的功效。脂类有乳化性,可帮助形成稳定的乳液,因此胆固醇具有乳化功效。添加在化妆品中的胆固醇多来源于羊毛脂中,我国的新疆、内蒙和青海等地区具有丰富的羊毛脂资源,因此添加胆固醇在

高档化妆品中,我们国家在动物源资源上占有有利优势。

胆固醇还可作为虾蜕皮激素,是一种良好的饲料添加剂^[42]。虾属于节肢动物门甲壳纲,而节肢动物中大部分都有生长蜕皮、生态蜕皮和变态蜕皮这三种蜕皮方式,通过蜕皮后迅速吸收水分和营养物质,实现生长。胆固醇作为多种激素的前提物质,可缩短虾蜕皮的周期,因此胆固醇具有促进其蜕皮生长的功效。现如今,我国沿海地区虾养殖处于快速发展阶段,对于优质、高效的虾饲料需求日益增长,因此胆固醇在虾饲料中作为添加剂变得越来越重要,其需求量的不断增加,将会有个全新的格局变化。

4 展望

胆固醇具有多种生理功效,且能够广泛应用于医药、日用化工和饲料等领域。通过对动物源胆固醇的分离提取与利用,不仅降低了膳食中外源胆固醇的摄入量,同时还有助于提高产品的附加值,带动其他产业的发展,对于推动我国的经济的发展具有重要的作用。但是胆固醇的分离提取方法比较局限,采用脏器开发的安全风险评估工作不易开展,羊毛脂提取方成本高,因此国内对于胆固醇的提取研究缺乏,新方法的研究是当前的发展趋势,新的利用方向也将是未来研究的重点。随着科技的进步,航天工程、电子成像、医学检测、日用化工和畜牧养殖等领域对胆固醇成品的需求的不断增大,经济发展对虾养殖的需求的日益增加,胆固醇的开发与利用在我国将具有广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 左玉,冯丽霞,魏世芳.胆固醇的研究及应用[J].太原师范学院学报:自然科学版,2011,9(4):104-107.
- [2] Cifuni G F, Napolitano F, Riviezzì A M, et al. Fatty acid profile, cholesterol content and tenderness of meat from Podolian young bulls[J]. Meat Science, 2004, 67(2): 289-297.
- [3] Girolami A, Marsico I, D'andrea G, et al. Fatty acid profile,

- cholesterol content and tenderness of ostrich meat as influenced by age at slaughter and muscle type [J]. *Meat Science*, 2003, 64 (3): 309-315.
- [4] Padre R G, Aricetti J A, Moreira F B, et al. Fatty acid profile, and chemical composition of Longissimus muscle of bovine steers and bulls finished in pasture system [J]. *Meat Science*, 2006, 74 (2): 242-248.
- [5] Duckett S K, Neel J P S, Fontenot J P, et al. Effects of winter stocker growth rate and finishing system on: III. Tissue proximate, fatty acid, vitamin, and cholesterol content [J]. *Journal of animal science*, 2009, 87(9): 2961-2970.
- [6] Muchenje V, Hugo A, Dzama K, et al. Cholesterol levels and fatty acid profiles of beef from three cattle breeds raised on natural pasture [J]. *Journal of food composition and analysis*, 2009, 22 (4): 354-358.
- [7] Bragagnolo N, Rodriguez - Amaya D B. Simultaneous determination of total lipid, cholesterol and fatty acids in meat and backfat of suckling and adult pigs [J]. *Food Chemistry*, 2002, 79 (2): 255-260.
- [8] Nollet, Leo ML, Fidel Toldrá, et al. Handbook of muscle foods analysis [M]. CRC Press, 2010.
- [9] Cannata S, Engle T E, Moeller S J, et al. Effect of visual marbling on sensory properties and quality traits of pork loin [J]. *Meat science*, 2010, 85(3): 428-434.
- [10] Perkins EG, McKeith FK, Jones DJ, et al. Fatty acid and cholesterol changes in pork longissimus muscle and fat due to ractopamine [J]. *Journal of food science*, 1992, 57 (5): 1266-1268.
- [11] 陈浩, 董亚维. 兔肉的营养价值及影响肉品质的因素 [J]. *草业与畜牧*, 2012(2): 42-42.
- [12] 王晓明, 徐汉文, 王在贵, 等. 日粮中复合添加剂水平对鸡肉中胆固醇含量的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2006, 33(10): 1870-1871.
- [13] 谢恺舟, 孙瑛瑛, 陈学森, 等. 扬州鹅及其杂交配套组合肌肉中硫胺素和胆固醇含量的比较 [J]. *中国畜牧杂志*, 2013, 49(15): 26-29.
- [14] 杨月欣. 中国食物成分 [M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2005, 118-119.
- [15] 黄磊, 詹勇, 许梓荣. 虾蟹类胆固醇需要量的最新研究 [J]. *饲料研究*, 2005(11): 41-43.
- [16] Kunsman J E, Collins M A, Field R A, et al. Cholesterol content of beef bone marrow and mechanically deboned meat [J]. *Journal of Food Science*, 1981, 46(6): 1785-1788.
- [17] Mourot J, Hermier D. Lipids in monogastric animal meat [J]. *Reproduction Nutrition Development*, 2001, 41(2): 109-118.
- [18] Williams P. Nutritional composition of red meat [J]. *Nutrition & Dietetics*, 2007, 64(s4): S113-S119.
- [19] 胡芬, 谭兰兰, 杨景昌, 等. 从羊毛醇中提取胆甾醇的工艺研究 [J]. *化学研究与应用*, 2008, 11: 1441-1446.
- [20] Gibbons G F, Mitropoulos K A, Myant N B. Biochemistry of cholesterol [J]. 1982.
- [21] Pfrieger F W. Cholesterol homeostasis and function in neurons of the central nervous system [J]. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 2003, 60(6): 1158-1171.
- [22] 杨德智, 魏时来, 李发弟. 维生素 D 生理功效研究进展 [J]. *广东饲料*, 2012(7): 23-26.
- [23] 李静. 禽蛋胆固醇检测方法的研究及应用 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [24] Baggio S R, Bragagnolo N. The effect of heat treatment on the cholesterol oxides, cholesterol, total lipid and fatty acid contents of processed meat products [J]. *Food chemistry*, 2006, 95 (4): 611-619.
- [25] Otaegui - Arrazola M, Menendez - Carreno D, Ansorena I, et al. Oxysterols: A world to explore [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2010, 48: 3289-3303.
- [26] 张明霞, 周建科, 梁俊红. 胆固醇受热氧化产物研究 [J]. *食品科学*, 2002, 23(5): 99-102.
- [27] William J, Griffiths M H. Discovering Oxysterols in Plasma: A Window on the Metabolism [J]. *Journal of Proteome Research*, 2008(7): 3602-3612.
- [28] Anne V, Gérard L. Cytotoxic effects of oxysterols associated with human diseases: Induction of cell death (apoptosis and/or oncosis), oxidative and inflammatory activities, and phospholipidosis [J]. *Molecular Aspects of Medicine*, 2009, 30: 153-170.
- [29] Kosmider B, Loader J E, Murphy R C, et al. Apoptosis induced by ozone and oxysterols in human alveolar epithelial cells [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2010, 48 (11): 1513-1524.
- [30] Sevanian A, Peterson A R. The cytotoxic and mutagenic properties of cholesterol oxidation products [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 1986, 24(10): 1103-1110.
- [31] Tabas I. Cholesterol in health and disease [J]. *Journal of Clinical Investigation*, 2002, 110(5): 583-590.
- [32] 马志军, 薛家禄, 薛雯月, 等. 液晶用羊毛脂胆固醇的精制研究 [J]. *创新科技*, 2013(9): 65.
- [33] 胡文娜, 苏宝根, 苏云, 等. 柱层析法提纯羊毛脂中胆固醇的工艺 [J]. *化工进展*, 2011(7): 1426-1430.
- [34] 刘勇, 杨扬, 杨景昌. 从羊毛醇中提取胆甾醇方法的评述 [J]. *日用化学工业*, 2006(2): 107-110 + 130.
- [35] 杨小金, 黄之初, 曾宇娟, 等. 动态光谱法无创检测人体血液胆固醇的探讨 [J]. *中国医学创新*, 2014, 15: 136-138.
- [36] 葛庆联, 葛庆丰, 刘迪, 等. 禽蛋中胆固醇的酶催化分光光度测定法研究 [J]. *食品科学*, 2009, 30(2): 208-210.
- [37] 彭科怀, 廖应萍, 赵年华. 直接皂化测定猪肝中胆固醇含量 [J]. *预防医学情报杂志*, 2008, 24(8): 663-664.
- [38] 李黎, 刘玉峰, 王晶. 高效液相色谱法测定食品中的胆固醇 [J]. *食品科学*, 2007, 28(4): 289-291.
- [39] 盛灵慧, 王晶, 武利庆, 等. 液相色谱-质谱联用测定面粉中胆固醇含量 [J]. *食品科学*, 2009, 29(12): 632-634.
- [40] 胆固醇生产格局及维生素 D₃ 的安全性 [J]. *中国畜牧杂志*, 2011, 22: 18-19.
- [41] 尹晓强, 金达威. 缔造全球胆固醇供应新格局 [J]. *饲料广角*, 2006, 24: 13.
- [42] 柳晓峰. 2010 年中国饲用维生素市场回顾及 2011 年展望 [J]. *中国畜牧杂志*, 2011, 47(4): 15-20.