

鸡蛋黄中天然活性物质的开发与利用

杨福明, 王立枫, 赵英, 张华江, 迟玉杰*

(东北农业大学食品学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 鸡蛋中蛋白质、脂类、碳水化合物、维生素、矿物质等营养成分含量丰富, 是人类饮食的重要组成部分。鸡蛋黄中的蛋黄油、卵磷脂、卵黄高磷蛋白、免疫球蛋白等多种成分具有抑菌、抗氧化、提高免疫力、消炎、防癌等生理功能。目前, 蛋黄中生物活性成分及其生产新技术的开发已经成为国内外研究的热点, 部分成果已经实现了商业化应用。如何充分利用蛋中的活性物质并将其开发成具有治疗、保健功能的原料是蛋品科学与加工技术研究的一个主要课题。本文以蛋黄油、卵磷脂、卵黄高磷蛋白、免疫球蛋白4种物质的开发为主线, 就鸡蛋黄中天然活性物质的含义、制备方法、生理功能、开发利用情况进行综述, 以期对蛋黄中活性物质的进一步研究开发提供参考。

关键词: 蛋黄; 活性物质; 蛋黄油; 卵磷脂; 卵黄高磷蛋白; 免疫球蛋白

Development and utilization of natural active substances in egg yolk

YANG Fu-Ming, WANG Li-Feng, ZHAO Ying, ZHANG Hua-Jiang, CHI Yu-Jie*

(Food College of Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

ABSTRACT: Eggs are rich in nutrients such as protein, lipids, carbohydrates, vitamins and minerals, and are an important part of human diet. Egg yolk oil, lecithin, yolk high-phosphorus protein, immunoglobulin and other components in egg yolk have physiological functions such as bacteriostatic, anti-oxidation, immunity, anti-inflammatory and anti-cancer. At present, the development of bioactive ingredients in egg yolk and the new product technology has become a hot research topic at home and abroad, and some of the achievements have been commercialized. How to make full use of the active substances in eggs and develop them into therapeutic and health-care materials is a major topic in egg science and processing technology research. This paper reviewed the development of egg butter, lecithin, yolk high-phosphorus protein and immunoglobulin as the main line, the meaning, preparation method, physiological function, development and utilization of natural active substances in egg yolk, in order to provide reference for further research and development of active substances in egg yolk.

KEY WORDS: egg yolk; active substance; egg butter; lecithin; yolk high-phosphorus protein; immunoglobulin

1 引言

鸡蛋是一种传统食品, 主要由蛋黄和蛋清(蛋白)2大部分组成, 具有氨基酸组成合理、营养价值高、生物活性成分多的特性^[1]。随着研究的不断深入, 除了烹饪用途外,

蛋中天然活性成分得到了较好的开发利用, 鸡蛋已逐渐成为生物医学和营养学应用的最佳原料之一^[2]。

蛋黄是鸡蛋中营养价值最丰富的部分, 脂类物质(油、磷脂)、脂溶性维生素(维生素A、E)、必需脂肪酸(二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)、二十碳四烯酸

*通讯作者: 迟玉杰, 教授, 主要研究方向为蛋品加工。E-mail: yjchi@126.com

*Corresponding author: CHI Yu-Jie, Professor, Food College of Northeast Agricultural University, No.600, Changjiang Road, Xiangfang District, Haerbin 150030, China. E-mail: yjchi@126.com

(eicosatetraenoic acid, ARA)、矿物质(磷、铁)在蛋清中含量很少,几乎全部存在于蛋黄中。除了蛋清中含有蛋白外,蛋黄中同样含有高活性的蛋白。常态下,蛋黄是一种高度复杂的乳化蛋白质-脂质复合物系统,属于假塑性的非牛顿流体。蛋黄的结构类似于血液,含有一种类血浆的物质,这种物质中悬浮着微小颗粒,颗粒状部分含有丰富的卵黄蛋白和蛋黄磷脂^[3,4]。蛋黄也是最大的生物细胞之一,除了蛋白和磷脂外还含有蛋黄油、胆固醇、类胡萝卜素、维生素等成分,是鸟类胚胎发育中必不可少的营养储备^[5]。蛋黄油、蛋黄磷脂、蛋白质是鸡蛋黄的3种主要组分,分别占蛋黄干重的44%、24%和31%,这几种组分也是蛋黄中天然活性物质的主要来源^[3]。正是由于蛋黄中生物活性物质含量丰富,且比其他动物来源的活性物质研究方便,鸡蛋黄中的生物功能成分的开发一直是国内外学者研究的热点。

本文以蛋黄油、卵磷脂、卵黄高磷蛋白、免疫球蛋白4种物质的开发为主线,对鸡蛋黄中天然活性物质的含义、制备方法、生理功能、开发利用情况进行综述,以期对蛋黄中活性物质的进一步研究开发提供参考。

2 蛋黄中的天然活性物质

2.1 蛋黄油

蛋黄油是从蛋黄中分离得到的一种功能性油脂,含有多种类型的脂肪酸(表1)^[6],约占蛋黄干重的30%,具有提高人体免疫力、抗菌、消炎、护肤的保健功能,兼备食品和药品的双重特性^[7,8]。

表1 蛋黄油脂脂肪酸组成与含量

Table 1 Fatty acid component and content of yolk oil

组分	含量/%	组分	含量/%
肉豆蔻酸(C14:0)	0.36	亚油酸(C18:2)	10.81
十五碳酸(C15:0)	0.13	亚麻酸(C18:3)	0.60
棕榈酸(C16:0)	24.50	花生四烯酸(C20:4)	0.32
棕榈一烯酸(C16:1)	5.25	二十二碳六烯酸(C22:6)	0.33
硬脂酸(C18:0)	6.08	其他	1.85
油酸(C18:1)	49.78		

我国传统医学著作《本草纲目》中已有蛋黄油治疗皮肤疾病的相关记载,所采用的方法是将鸡蛋煮熟后取黄,然后将蛋黄粉置于铁锅中高温翻炒(>200℃),熬至锅中蛋黄粉发黑、冒烟并有油状物质渗出时停止加热,最后通过挤压得到蛋黄油^[9]。传统的熬制方法多是家庭式的手工制作,得到的蛋黄油质量差异很大,且高温煎炒会造成蛋黄中脂类成分的氧化、酸败以及产生苯并芘等有害成分^[10]。

国外已见有关蛋黄的相关研究,主要集中在蛋黄卵磷脂^[11]、蛋黄粉理化性质^[12-14]、蛋黄粉实际应用几个方面^[15-17],蛋黄中脂类物质提取和成分分析的报道较少,蛋黄油生物活性和药用价值方面的研究则更少。目前,国外对蛋黄油的研究还不够透彻,也正是由于这个原因,国外蛋黄油产品的开发和应用仍然有很大的提升空间。

随着油脂化学研究的不断深入,功能性油脂的开发和应用日益引起人们的重视。蛋黄油来源于普通食品,不存在食用安全性顾虑。我国早期对蛋黄油的应用主要源于传统医学的实践经验。近年来,国内开展了对蛋黄油制备方法改进的相关研究,主要有干馏法^[18]、溶剂法^[19]、亚临界法^[20]、超临界法^[21]。干馏法是将蛋黄粉放在260℃的烘箱里直接烘烤,蒸掉蛋黄粉中的水分等挥发成分直到馏出油脂,省去了高温翻炒的麻烦,缺点是油脂经过了长时间的高温加热,易发生氧化、变质^[18]。溶剂法是采用有机化学试剂为萃取剂,将蛋黄粉中的脂类物质提取出来,然后经过真空蒸馏回收溶剂,分离得到蛋黄油。溶剂法的提取率高、萃取和分离温度低,得到的蛋黄油颜色浅,但存在溶剂残留的问题^[19]。亚临界法是以亚临界状态下的丙烷为溶解介质进行萃取,此法的优点是萃取温度和压力低,生产成本低,缺点是同样存在溶剂残留的问题^[20]。超临界法是以超临界状态下的CO₂来溶解蛋黄粉中的脂类物质,此法的优点是萃取温度低、无溶剂残留,且提取的蛋黄油中磷脂含量少,但存在萃取压力高、生产成本高的缺点^[21]。目前国内的蛋黄油尚未实现产业化、标准化,市场上销售的产品多是电商平台上的手工制品,中药制剂里采用的蛋黄油是各中医学院的自制品。手工蛋黄油颜色深、产量小,产品未进行质量指标检测,品质无法保障,食用安全性堪忧;中药制剂的蛋黄油来自于医院的药物加工处,制法稍规范,但依然存在产量小、批次间差异大、质量控制不完善等缺点。

2.2 蛋黄卵磷脂

磷脂是细胞膜的基本组成成分之一,在动植物组织中起着重要的作用,属于细胞中不可或缺的物质^[22]。细胞膜作为细胞的保护屏障,细胞内外环境物质交换的通道,众多酶系统进行生物化学反应的场所,是生命物质的基础,而磷脂以其特有的结构和性质参与细胞的代谢,保证细胞的正常功能^[23]。磷脂也是大脑细胞和神经组织的重要组成部分,占大脑重量的30%,是大脑中神经信息传递的重要物质^[24]。

磷脂主要组成成分包括磷脂酰胆碱(卵磷脂(phosphatidylcholine, PC))、磷脂酰乙醇胺(脑磷脂(phosphatidyl ethanolamines, PE))、磷脂酰肌醇(肌醇磷脂(phosphatidyl inositols, PI))、磷脂酸(phosphatidic acid, PA)、磷脂酰丝氨酸(phosphatidyl serines, PS)等,其中卵磷脂含量最高,生物活性最强^[25]。蛋黄和某些油料作物种子(大

豆、油菜籽等)中卵磷脂的含量最丰富,由于蛋黄制备卵磷脂的成本较高,大豆仍然是目前卵磷脂的主要来源^[22]。和植物来源的磷脂相比,蛋黄磷脂具有更加平衡和独特的磷脂组分(表 2)^[26],并且含有植物来源磷脂中所没有的特定脂肪酸(表 3)^[27]。蛋黄来源的卵磷脂是蛋黄颗粒状部分的一种成分,约占蛋黄中所有磷脂的 70%^[28]。蛋黄卵磷脂能够延缓衰老,保护胃和肝脏,支持脂溶性维生素的利用并改善血液循环效率,具备良好的生理和药物功能^[29]。蛋黄卵磷脂也是特殊药用乳液的基本成分,具有成为新一代药物的潜力。目前,蛋黄卵磷脂已在精神分裂症、儿童自闭症、老年痴呆等改善记忆方面,器官移植过程中的抗氧化方面得到应用^[27,30]。

表 2 蛋黄磷脂的组分与含量

Table 2 Component and content of egg yolk phospholipid

组分	含量/%	组分	含量/%
磷脂酰胆碱	73.0	溶血磷脂酰胆碱	5.8
磷脂酰乙醇胺	15.0	溶血磷脂酰乙醇胺	2.1
磷脂酰丝氨酸	0.9	鞘磷脂	2.5
磷脂酰肌醇	0.6	其他磷脂	0.1

表 3 蛋黄磷脂的脂肪酸组成与含量

Table 3 Fatty acid component and content of yolk phospholipid

组分	含量/%	组分	含量/%
肉豆蔻酸(C14:0)	0.23	油酸(C18:1)	57.80
十五碳酸(C15:0)	0.10	亚油酸(C18:2)	7.45
棕榈酸(C16:0)	19.44	亚麻酸(C18:3)	1.67
棕榈一烯酸(C16:1)	1.09	花生四烯酸(C20:4)	0.83
十七碳酸(C17:0)	0.33	二十二碳六烯酸(C22:6)	2.62
硬脂酸(C18:0)	7.72	其他	0.72

当前,蛋黄卵磷脂的提取主要有溶剂提取法和超临界萃取法 2 种。溶剂法在提取过程中需要加热回收溶剂,产品中存在溶剂残留^[31,32];超临界法是在高压、低温条件下萃取,且避免了溶剂残留问题,但超临界设备昂贵,生产成本很高^[33,34]。蛋黄卵磷脂主要应用于食品和制药工业,因此超临界萃取工艺生产的蛋黄卵磷脂是实际应用的首选。另外,蛋黄卵磷脂还是具有抗氧化性能的乳化剂、保湿剂和脂肪代谢促进剂^[35]。正是由于这些特性的存在以及生产技术的日趋成熟,使得蛋黄卵磷脂得到了较好的实际应用。蛋黄磷脂在食品工业中用于婴幼儿配方奶粉、儿童辅食和老年食品的生产;在制药工业中用于提高免疫类药物、治疗皮肤病凝胶、脂质体和新一代药物的生产;在化妆品工业中用于皮肤保护剂和色素改善剂的生产^[36]。伴随着科研和技术的不断进步,蛋黄卵磷脂在食品、药品、化

妆品等领域的应用将会得到进一步加强,未来的市场前景广阔。

2.3 卵黄高磷蛋白

卵黄高磷蛋白也是蛋黄颗粒的重要组成部分,由一个大的卵黄蛋白原前体分子形成。这种蛋白质分别由分子量为 160 kDa 和 190 kDa 的两部分蛋白质组成,是蛋黄中磷的基本来源^[37]。卵黄高磷蛋白容易与蛋黄中的脂蛋白和金属离子形成复合物,是 Ca^{2+} 和 Fe^{2+} 的载体,卵黄高磷蛋白几乎结合了蛋黄中所有的铁离子,因此具有较好的抗氧化功能^[38,39]。

卵黄高磷蛋白含有大量的丝氨酸(约 54%),无蛋氨酸、色氨酸或酪氨酸,具有非常好的乳化性和乳化稳定性^[40,41]。正是由于这种特殊的氨基酸组成和良好的乳化性质,促使卵黄高磷蛋白得到了日益广泛的实际应用。食品工业中,卵黄高磷蛋白通常用作植物脂肪和黄油的抗氧化剂、防腐剂以及乳化剂和乳化稳定剂^[42]。制药工业中,卵黄高磷蛋白可用来生产脂质体或加工成磷酸肽(抗骨质疏松药物)^[43]。

卵黄高磷蛋白可在卵黄组分中分离得到,分离方法主要有 2 种。一种是通过传统的超速离心方法分离蛋白质,然后进行脂质提取,去除掉其中的脂类成分后得到纯度较好的高磷脂蛋白。另一种方法是先用有机溶剂提取脂质,然后从产生的蛋白质沉淀中分离出高磷蛋白^[44,45]。2 种方法的分离率取决于从蛋黄中提取脂质和蛋白质的先后顺序以及脂蛋白复合物的分离效果,一个蛋黄中可以分离得到 100~150 mg 不同纯度的卵黄高磷蛋白。虽然卵黄高磷蛋白富含磷和铁等矿物质,并具有较好的抗氧化性和乳化性,但由于含量较少,目前尚未实现较大规模的生产,此方面的开发还处于研究和实验阶段,需要未来进行更多的探索和尝试。

2.4 免疫球蛋白

免疫球蛋白 Y(IgY)是从禽类血清中转运到蛋黄血浆的一类蛋白质, IgY 与人和动物血液中发现的免疫球蛋白 IgG 具有相似性质^[46]。免疫球蛋白 IgY 的主要作用是诱导胚胎中抗性的生成,直到胚胎能够产生自身的全功能抗体^[47,48]。作为一种研究、诊断和治疗的工具,禽免疫球蛋白 IgY 比哺乳动物抗体 IgG 更有价值、更具优越性。IgY 从蛋黄中分离得到,生产方式具有简单、高效、低侵袭性的特点,整个过程不会使动物受苦,提取方式更加人性化^[49]。

与 IgG 相比,禽源抗体具有结构差异大、系统发育距离大、与哺乳动物抗原同源性低、活性高、抗原价廉等特点。此外,禽源抗体不激活哺乳动物补体系统,从而增强流式细胞检测的敏感性和特异性^[49]。免疫球蛋白对呼吸系统的细菌和病毒性疾病非常有效,且没有副作用,可以开发成治疗人类和动物呼吸系统和消化系统疾病的药物^[50]。

表 4 蛋黄中生物活性组分研究进展
Table 4 Research progress of bioactive components in egg yolk

组分	生理功能	研究进展
蛋黄油	抗菌、消炎、护肤、提高免疫力	国内研究较多, 并应用于中医, 国外研究较少
蛋黄卵磷脂	护肝、健脑、延缓衰老、改善血液循环	国内外研究多, 已应用于食品和医药
卵黄高磷蛋白	乳化、防腐、抗氧化、抗骨质疏松	处于研究阶段, 利用较少, 需要开发生产技术
免疫球蛋白	治疗呼吸及消化系统疾病	取得较大研究进展, 应用少, 需要生产技术及政策支持

每个鸡蛋黄平均含有 8~20 mg/mL 的免疫球蛋白 IgY, IgY 是在抗原出现后 5~6 d 形成的。目前, 已有多对禽抗体进行分级和纯化的方法, 提取方法中最常用的是聚乙二醇(polyethylene glycol, PEG)、氯仿、异丙醇、硫酸葡聚糖和海藻酸钠, 色谱技术、凝胶分馏和乙醇沉淀也有应用^[51,52]。基于这些方法, 已经开发了用于 IgY 分离的商业试剂盒。尽管近年来在禽类抗体研究方面取得了相当大的进展, 但是将抗体应用于生产实际的技术开发还远远不够。这主要是由于免疫球蛋白的技术及其适用性的相关信息缺乏, 再加上许多国家中地方立法不适合禽类抗体的实际使用或者立法程序通常非常昂贵和费力, 这在一定程度上阻碍了研究人员从事此类工作, 限制了 IgY 的应用。当前, 仅有少数国家克服了这些困难, 具有 IgY 的食品在促进对人类多种疾病的抵抗力方面得到了应用^[53]。

免疫球蛋白在蛋黄中含量少, 提取和纯化的技术要求高, 再加上政策以及立法方面的原因使得 IgY 开发和利用难度大, 将来需要在生产技术及政府支持方面进行更多的努力。

蛋黄中的生物活性物质及其研究进展情况如表 4 所示。

3 结论与展望

鸡蛋是一种日常食品, 其蛋黄中含有大量的蛋黄油、蛋黄卵磷脂、卵黄蛋白、核黄素等生物活性成分, 也含有钙、磷、铁、维生素 A、维生素 E、DHA、ARA 等微量元素, 是人们平时生活的必需品, 更是婴幼儿食品中重要的营养物质^[54]。卵磷脂和蛋黄油是蛋黄中含量最多的活性物质, 开发和利用程度最高, 尤其是卵磷脂在国内外都实现了较大规模的应用, 蛋黄油在国内传统的中医药领域应用较多。卵黄高磷蛋白和免疫球蛋白虽然也具有很好的生理功能, 具备未来利用于食品、医药领域的潜力, 但由于总体含量较少目前还处于研究、探索阶段, 尚未实现完善的商业化应用。

近年来, 随着研究的不断深入, 更多新技术在蛋黄中生物活性物质的开发方面得到应用, 人工设计蛋已经出现。通过用富含 ω -3 脂肪酸的亚麻籽或鱼油饲料来喂养蛋鸡, 得到的蛋黄中 ω -3 脂肪酸的含量明显升高。以这种方式获得的一个鸡蛋可以提供 600 mg 以上的 ω -3 脂

肪酸, 相当于大约 100 g 鱼中所含有的 ω -3 脂肪酸^[55]。本世纪早期, 现代分子生物学中的转基因和克隆技术在蛋鸡领域得到应用^[56]。设计蛋和转基因蛋是现代蛋品科学和加工技术发展趋势的产物, 设计蛋由于具有更高的营养价值其在市场上的需求量不断扩大, 转基因鸡蛋则为生产抗病药物提供了一种简单而廉价的方法, 未来蛋黄以及全蛋中生物活性物质的开发具备良好的发展前景。

参考文献

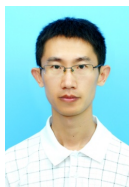
- [1] Sinanoglou VJ, Strati IF, Miniadis-Meimaroglou S. Lipid, fatty acid and carotenoid content of edible egg yolks from avian species: A comparative study [J]. Food Chem, 2011, 124(3): 971-977.
- [2] 迟玉杰. 浅析中国蛋品加工行业现状及发展方向[J]. 中国家禽, 2014, 36(12): 2-5.
Chi YJ. A brief analysis of the current situation and development direction of Chinese egg processing industry [J]. China Poultry, 2014, 36(12): 2-5.
- [3] Anton M, Gandemer G. Composition, solubility and emulsifying properties of granules and plasma of egg yolk [J]. J Food Sci, 1997, 62(3): 484-487.
- [4] Hartmann C, Wilhelmson M. The hen's egg yolk: A source of biologically active substances [J]. World Poultry Sci J, 2001, 57(1): 13-28.
- [5] Ali AH, Zou X, Lu J, et al. Identification of phospholipids classes and molecular species in different types of egg yolk by using UPLC-Q-TOF-MS [J]. Food Chem, 2017, (221): 58-66.
- [6] 王辉, 许学勤, 陈洁. 蛋黄甘油三酸酯的脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2003, 28(6): 28-29.
Wang H, Xu XQ, Chen J. Fatty acids composition in egg yolk triglyceride [J]. China Oil, 2003, 28(6): 28-29.
- [7] 王卫芬. 蛋黄油脱酸及蛋黄卵磷脂纯化工艺研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
Wang WF. Studies on deacidification of egg yolk oil and purification of egg yolk lecithin [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [8] 熊丝丝, 龚千锋, 肖鹏超, 等. 基于双烫伤模型的不同蛋黄油治疗效果的比较[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(10): 175-179
Xiong SS, Gong QF, Xiao PC, et al. Therapeutic effect of different yolk oil based on establishment of two sides skin scald model in mice [J]. Chin J Exp Trad Med Form, 2014, 20(10): 175-179
- [9] 王春丽, 唐汉钧. 蛋黄油医用价值研究近况[J]. 中国中医药信息杂志, 2005, 12(6): 100-102.
Wang CL, Tang HJ. Recent research on the medical value of egg yolk oil [J]. Chin J Inform TCM, 2005, 12(6): 100-102.

- [10] 孙晔, 龙全江. 蛋黄油的不同炮制品中苯并(a)芘的含量测定[J]. 甘肃中医药大学学报, 1999, (1): 47-49.
Sun Y, Long QJ. Determination of benzo(a)pyrene in different processed products of egg yolk [J]. J Gansu Coll TCM, 1999, (1): 47-49.
- [11] Su Y, Tian Y, Yan R, *et al.* Study on a novel process for the separation of phospholipids, triacylglycerol and cholesterol from egg yolk [J]. J Food Sci Technol, 2015, 52(7): 4586-4592.
- [12] Xu L, Zhao Y, Xu M, *et al.* Changes in physico-chemical properties, microstructure, protein structures and intermolecular force of egg yolk, plasma and granule gels during salting [J]. Food Chem, 2019, (275): 600-609.
- [13] Navidghasemizad S, Temelli F, Wu J. Physicochemical properties of leftover egg yolk after livetins removal [J]. LWT Food Sci Technol, 2014, 55(1): 170-175.
- [14] Laca A, Paredes B, Diaz M. Thermal behaviour of lyophilized egg yolk and egg yolk fractions [J]. J Food Eng, 2011, 102(1): 77-86.
- [15] Santipanichwong R, Suphantharika M. Influence of different β -glucans on the physical and rheological properties of egg yolk stabilized oil-in-water emulsions [J]. Food Hyd, 2009, 23(5): 1279-1287.
- [16] Kim H, Choe E. Effects of egg yolk powder addition to the flour dough on the lipid oxidation development during frying [J]. LWT Food Sci Technol, 2008, 41(5): 845-853.
- [17] Nikiforidis CV, Biliaderis CG, Kiosseoglou V. Rheological characteristics and physicochemical stability of dressing-type emulsions made of oil bodies-egg yolk blends [J]. Food Chem, 2012, 134(1): 64-73.
- [18] 杜俊民, 张朔生, 庞维荣, 等. 高温热处理制备蛋黄油研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(23): 29-33.
Du JM, Zhang SS, Pang WR, *et al.* Study on the preparation of egg tar with high temperature processing methods [J]. Food Res Dev, 2015, 36(23): 29-33.
- [19] 张振凌, 房方, 李军, 等. 不同方法制蛋黄油中脂肪油的研究[J]. 中国中药杂志, 2001, 26(1): 28-30.
Zhang ZL, Fang F, Li J, *et al.* Studies on fatty oils in yolk oil processed by different methods [J]. China J Chin Mater Med, 2001, 26(1): 28-30.
- [20] 张民, 孙学文, 赵锁奇, 等. 亚临界丙烷萃取蛋黄粉中蛋黄油的研究[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(5): 117-119.
Zhang M, Sun XW, Zhao SQ, *et al.* Sub-critical extraction of egg yolk oil from egg yolk powder by propane [J]. J Chin Cereal Oil Assoc, 2006, 21(5): 117-119.
- [21] 王岩, 迟玉杰. 响应面法优化超临界 CO₂ 萃取蛋黄油工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(7): 173-175.
Wang Y, Chi YJ. Optimized of supercritical carbon dioxide extraction of egg yolk oil via response surface method [J]. Sci Technol Food Ind, 2008, 29(7): 173-175.
- [22] Asomaning J, Curtis JM. Enzymatic modification of egg lecithin to improve properties [J]. Food Chem, 2017, (220): 385-392.
- [23] Li J, Wang X, Zhang T, *et al.* A review on phospholipids and their main applications in drug delivery systems [J]. Asian J Pharm Sci, 2015, 10(2): 81-98.
- [24] Singh P, Gangadharappa HV, Mruthunjaya K. Phospholipids: Unique carriers for drug delivery systems [J]. J Drug Deliv Sci Technol, 2017, (39): 166-179.
- [25] Ali AH, Zou X, Lu J, *et al.* Identification of phospholipids classes and molecular species in different types of egg yolk by using UPLC-Q-TOF-MS [J]. Food Chem, 2017, (221): 58-66.
- [26] 李才明. 酶法提取鲜鸡蛋蛋黄脂质成分的工艺研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
Li CM. Study on enzymatic extraction of lipids from egg yolk [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [27] Katarzyna STa, Joanna K, Monika C, *et al.* Positive effects of egg-derived phospholipids in patients with metabolic syndrome [J]. Adv Med Sci, 2016, 61(1): 169-174.
- [28] Navidghasemizad S, Temelli F, Wu J. Moisture impact on extractability of phospholipids from leftover egg yolk after enzymatic treatment using supercritical carbon dioxide [J]. Food Bioprod Proc, 2015, (94): 473-481.
- [29] Darryl DS, Blake B, Williams I, *et al.* Dietary lecithin supplementation can improve the quality of the m. longissimus thoracis [J]. Animals, 2015, 5(4): 1180-1191.
- [30] Micha AW, Ewa D, Tomasz C. Lecithin-based wet chemical precipitation of hydroxyapatite nanoparticles [J]. Colloid Polym Sci, 2015, 293(5): 1561-1568.
- [31] 田莹. 蛋黄粉制备高纯度磷脂酰胆碱的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
Tian Y. Studies on preparation of high-purity phosphatidylcholine from egg yolk powder [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [32] Wang H, Yao L, Wang T. Extraction of phospholipids from structured dry chicken egg [J]. Lipid Technol, 2012, 24(4): 86-88.
- [33] 孙建伟. 二氧化碳超临界萃取技术在蛋黄粉、石榴籽实际生产中的应用[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
Sun JW. Supercritical carbon dioxide extraction technology in egg yolk powder, pomegranate seeds in actual production application [D]. Changchun: Jilin University, 2009.
- [34] Froning GW, Wehling RL, Cuppett SL, *et al.* Extraction of cholesterol and other lipids from dried egg yolk using supercritical carbon dioxide [J]. J Food Sci, 2010, 55(1): 95-98.
- [35] Miranda J, Anton X, Redondo-Valbuena C, *et al.* Egg and egg-derived foods: effects on human health and use as functional foods [J]. Nutrients, 2015, 7(1): 706-729.
- [36] Lesnierowski G, Stangierski J. What's new in chicken egg research and technology for human health promotion-A review [J]. Trend Food Sci Technol, 2018, (71): 46-51.
- [37] Golab K, Gburek J, Gawel A, *et al.* Changes in chicken egg white cystatin concentration and isoforms during embryogenesis [J]. British Poult Sci, 2001, 42(3): 394-398.
- [38] Jiang B, Mine Y. Phosphopeptides derived from hen egg yolk phosvitin: effect of molecular size on the calcium-binding properties [J]. Biosci, Biotechnol Biochem, 2001, 65(5): 1187-1190.
- [39] Xu X, Katayama S, Mine Y. Antioxidant activity of tryptic digests of hen egg yolk phosvitin [J]. J Sci Food Agric, 2010, 87(14): 2604-2608.
- [40] Castellani O, David-Briand E, Catherine GD, *et al.* Effect of aggregation and sodium salt on emulsifying properties of egg yolk phosvitin [J]. Food Hydrocolloid, 2005, 19(4): 769-776.
- [41] 介怡琳, 陈婵, 刘晴丽, 等. 卵黄高磷蛋白调控生物矿化的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(9): 220-226.
Jie YL, Chen C, Liu QL, *et al.* Research progress on phosvitin in the regulation of biomineralization [J]. Food Sci, 2016, 37(9): 220-226.

- [42] Meram C, Yusef E, Hui H, *et al.* Physicochemical and functional properties of leftover egg yolk granules after phosvitin extraction [J]. *Food Chem*, 2018, 268(1): 369–377.
- [43] Yoo H, Bamdad F, Gujral N, *et al.* High hydrostatic pressure-assisted enzymatic treatment improves antioxidant and anti-inflammatory properties of phosvitin [J]. *Curr Pharm Biotechnol*, 2017, 18(2): 158–167
- [44] Jung S, Ahn DU, Nam KC, *et al.* Separation of phosvitin from egg yolk without using organic solvents [J]. *Asian-Australas J Anim Sci*, 2013, 26(11): 1622–1629.
- [45] Wallace RA, Morgan JP. Isolation of phosvitin: Retention of small molecular weight species and staining characteristics on electrophoretic gels [J]. *Anal Biochem*, 1986, 157(2): 256–261.
- [46] Ulmer-Franco AM. Transfer of chicken immunoglobulin Y (IgY) from the hen to the chick [J]. *Avian Biol Res*, 2012, 5(2): 81–87.
- [47] Ma SY, Zhang YP. Preparation of immunoglobulin Y (IgY) against lipopolysaccharide using gel chromatography from the yolks of eggs laid by immunized hens [J]. *Protein J*, 2010, 29(7): 475–480.
- [48] Aizenshtein E, Yosipovich R, Kvint M, *et al.* Practical aspects in the use of passive immunization as an alternative to attenuated viral vaccines [J]. *Vaccine*, 2016, 34(22): 2513–2518.
- [49] Amro WA, Al-Qaisi W, Al-Razem F. Production and purification of IgY antibodies from chicken egg yolk [J]. *J Genet Eng Biotechnol*, 2018, (16): 99–103.
- [50] Yi L, Qin Z, Lin H, *et al.* Features of chicken egg yolk immunoglobulin (IgY) against the infection of red-spotted grouper nervous necrosis virus [J]. *Fish Shellfish Immunol*, 2018, (80): 534–539.
- [51] Akita EM, Nakai S. Production and purification of Fab' fragments from chicken egg yolk immunoglobulin Y (IgY) [J]. *J Immunol Method*, 1993, 162(2): 155–164.
- [52] Tini M, Jewell UR, Camenisch G, *et al.* Generation and application of chicken egg-yolk antibodies [J]. *Compar Biochem Physiol Part A*, 2002, 131(3): 569–574.
- [53] Gujral N, Löbenberg R, Suresh M, *et al.* *In-vitro* and *in-vivo* binding activity of chicken egg yolk immunoglobulin Y (IgY) against gliadin in food matrix [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(12): 3166–3172.
- [54] Su Y, Tian Y, Yan R, *et al.* Study on a novel process for the separation of phospholipids, triacylglycerol and cholesterol from egg yolk [J]. *J Food Sci Technol*, 2015, 52(7): 4586–4592.
- [55] Neijat M, Ojekudo O, House JD. Effect of flaxseed oil and microalgae DHA on the production performance, fatty acids and total lipids of egg yolk and plasma in laying hens [J]. *Prostaglandin Leukotrienes Essent Fatt Acid*, 2016, (115): 77–88.
- [56] Alper J. Hatching the golden egg: a new way to make drugs [J]. *Science*, 2003, (300): 729–730.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



杨福明, 博士, 讲师, 主要研究方向为蛋品加工。

E-mail: yfmhj@163.com



迟玉杰, 博士, 教授, 主要研究方向为蛋品加工。

E-mail: yjchi@126.com