

卵磷脂的生物活性及其应用研究进展

尹明雨¹, 张彩霞¹, 松冈亮辅², 奚印慈¹, 王锡昌¹

(1.上海海洋大学, 上海 201306; 2.日本丘比株式会社, 东京 1820002)

摘要: **目的** 介绍卵磷脂的功能特性和开发利用的研究进展, 为磷脂及其功能性食品开发提供一定的思路和依据。**方法** 通过查阅国内外前沿文章对卵磷脂的来源分布、物化性质、功能活性及其机制进行全面概述, 总结目前磷脂的应用现状, 并对其未来发展前景予以展望。**结果** 卵磷脂具有降血脂、调节血糖、预防心脑血管疾病等功能, 可以缓释药物的递质、机能的维护, 同时可作为功能食品的开发、食品包装涂膜的最优选材料。**结论** 从未来的发展趋势看, 卵磷脂这种具有多重功能的天然活性成分必将拥有更加广阔的发展前景, 在食品中的应用将更加广泛。

关键词: 卵磷脂; 降血脂; 脂质代谢; 认知能力; 抗氧化

中图分类号: TQ645.9⁺6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)13-0031-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.13.005

Advances in Biological Activity and Application of Phosphatidylcholine

YIN Ming-yu¹, ZHANG Cai-xia¹, RYOSUKE Matsuoka², XI Yin-ci¹, WANG Xi-chang¹

(1.Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2.Kewpie Corporation, Tokyo 1820002, Japan)

ABSTRACT: The work aims to introduce the functional characteristics of phosphatidylcholine (PC) and the research advances of its development and utilization, so as to provide some ideas and basis for the development of PC and its functional food. The source, distribution, physicochemical properties, functional activity and mechanism of PC were overall summarized by looking up cutting-edge articles, the current application status of PC was summed up, and its future development was prospected. PC had the functions of lowering blood lipid, regulating blood glucose, preventing cardiovascular and cerebrovascular diseases, and could slowly release the neurotransmitter and maintain the function of the drug. It could also be used as the best material for the development of functional food and food packaging coating. From the perspective of the future development trend, PC, a natural active component with multiple functions, will have a broader development prospect and more extensive application in food.

KEY WORDS: phosphatidylcholine; hypolipidemic; lipid metabolism; cognitive ability; antioxidant

21 世纪以来, 我国鸡蛋年产量逐年递增。至 2018 年底, 我国鸡蛋的年产量达到 3128.46 万 t, 稳居世界第一, 中国禽蛋总量占世界的 39.61%, 是第 2 位美国的 5 倍多。可见中国是名副其实的畜牧业大国^[1], 但是目前中国在鸡蛋精深加工方面仍然存在问题, 对于蛋黄

内丰富的磷脂开发和利用程度依然值得研究。

磷脂 (Phospholipids, PLs) 是一种多功能生物大分子活性物质, 根据全球现有研究表明, 其在人类心脑血管疾病、慢性病以及女性疾病中都有着显著作用。磷脂是细胞膜成分, 对机体物质控释层面意义重

收稿日期: 2019-11-18

基金项目: 上海海洋大学-日本丘比株式会社合作研究项目 (D-8006-12-0034)

作者简介: 尹明雨 (1995—), 男, 上海海洋大学硕士生, 主攻食品营养与脂质活性。

通信作者: 王锡昌 (1964—), 男, 博士, 上海海洋大学教授, 主要研究方向为食品营养与品质评价。

大^[2]。作为食品类生物涂膜材料,通过调控膜内外环境物质的进出以抑制菌体的繁殖入侵,从而保证产品原有品质和营养成分基本不发生变化,达到保障消费者的身体健康的目的;另一方面,磷脂涂膜包装材料也给运输、贮存、销售和使用提供了便利。

1 卵磷脂的概述

磷脂最先由法国科学家 Gohley 从蛋黄中分离提取出来,故又借希腊文命名为 lecithos,通用名为

lecithin。磷脂是自然界中生物体膜和细胞膜中的主要成分,对于细胞胞体物质进出和代谢物的排泄等生理过程起着至关重要的作用^[3]。随着 20 世纪对油脂特性的深入探究以及分离技术的快速发展,不同来源的磷脂被慢慢发现并分离,通过参阅国内外相关文献报道发现,磷脂在动物体脏器、骨髓以及油料作物的种子内含量较多,如大豆、麦子、燕麦、棉籽、油菜等^[4]。卵黄、大豆、动物脑组织中的卵磷脂含量最为丰富,可以广泛用于提取卵磷脂。列举了一些常见食物磷脂组分的含量,见表 1。

表 1 动物和海洋来源的各种食物中磷脂含量的典型组成
Tab.1 Typical composition of the phospholipid content in various foods of animal and marine origin %

常见食物		总磷脂 (PLs)	磷脂酰胆 碱 (PC)	磷脂酰乙 醇胺(PE)	磷脂酰肌 醇(PI)	磷脂酰丝 氨酸(PS)	鞘磷脂 (SM)
乳制品 ^[3—6]	牛奶	0.3~1.1	20~40	20~42	0.6~12	2~11	18~35
	普通羊奶	0.2~1.0	26~28	26~40	4~7	4~11	22~30
	山羊奶	0.2~1.0	27~32	20~42	4~10	3~14	16~30
禽蛋类 ^[4,7]	蛋黄	28~33	65~75	10~20	0.5~2.0	—	2~5
禽肉类 ^[8—13]	鸡肝	43~47	42~48	30~34	—	5~7	10~12
	鸡胸脯	67~70	48~52	23~25	—	12~14	7~9
	牛肉	14~18	58~65	20~30	5~7	2~4	5~7
	猪肉	10~19	55~63	20~34	—	1~8	1~6
	羔羊肉	35~42	38~55	25~31	—	—	4~7
	兔肉	15~23	51~65	20~24	2~4	4~8	—
	鸽子肉	28~66	33~49	26~46	2~8	3~5	3~5
	鸭肉（鸭胸肉）	30~45	25~30	5~10	—	—	1~2
	火鸡	33~80	38~60	30~42	—	—	2~7
	海产类 ^[7,11,14—20]	乌贼	64~67	70~75	8~12	—	6~8
鳕鱼		24~30	50~77	12~25	3~4	4~6	5~11
鲑鱼（鱼卵）		30~32	80	13	4	—	3
鲑鱼（肌肉）		45~50	50~62	10~40	5~7	1~7	0.2~1
金头鲷（腹部肌肉）		1~5	45~60	20~30	5~8	3~4	2~5
海鲈鱼（腹部肌肉）		1~30	62	20	7	4	3.4
海鲈鱼（鱼卵）		10~22	11~15	12~14	47~66	—	5~18
红鲱鱼（腹部肌肉）		12~19	66	21~25	2	4	2
刺尾鱼（腹部肌肉）		9	56	29	7	4	—
石斑鱼		1~15	29~48	4~13	10~18	2~4	11~14
黑岩鱼		3~20	30~60	20~40	—	—	—
软体动物		1~12	35~50	21~37	4~6	5~12	5~17

注:总磷脂一列表示总磷脂占食物总脂质的质量分数(%) ; PC, PE, PI, PS, SM 各列分别表示各种磷脂占总磷脂的质量分数(%)

鸡蛋是多种重要营养物质和生物活性化合物的宝贵来源,这些物质可以影响人类健康,包括优质蛋白质、脂溶性维生素、B 族维生素、矿物质和胆碱,同时每克鸡蛋提供的饱和脂肪相对于其他动物的蛋而言较少。蛋黄是膳食磷脂最丰富的来源之一。平均而言,1 个鸡蛋含有 1.3 g 的 PL,约占鸡蛋总脂质质量的 28%~30%,而剩余的 66%是甘油三酯,5%是胆固醇。这些脂质独特地存在于蛋黄中,其中 PC 是主要的 PL 种类,约占 PLs 质量的 72%。其他 PL 的含量较少,比如 PE 的质量分数约为 20%,溶血 PC 的质量分数约为 3%,PI 的质量分数约为 2%,SM 的质量分数约为 3%。大部分卵磷脂包含长链饱和和单不饱和脂肪酸,脂肪酸分布的多样性在一定程度上反映了母鸡的饮食、年龄和环境条件^[8-9]。

磷脂是一类多不饱和脂类,其结构见图 1。磷脂有一个以 P 为主的磷酸基头,式中 R_1 , R_2 为饱和或不饱和脂肪酸,依据 R 基成分的不同,磷脂又分为很多种类型。目前,常见的磷脂有磷脂酰胆碱(PC)、磷脂酰乙醇胺(PE)、磷脂酰肌醇(PI)、磷脂酰丝氨酸(PS)、磷脂酸(PA)和鞘磷脂(SE)等。PC 是最为常见、被大众广泛认可的磷脂,同时 PC 的分离技术也是最成熟的。

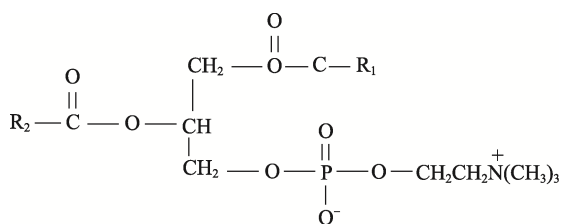


图 1 磷脂的结构通式

Fig.1 Structural formula of phospholipids

常温状态下,PLs 是无味、白色蜡状的固体。磷脂的提取工艺、贮藏温度以及稳定性差异较大,市面上出售的磷脂多为黄色或淡黄色。磷脂存在亲油的酯基和亲水的磷酸基,因此磷脂可溶于大部分有机溶剂中,如乙醚、氯仿等,但微溶于乙醇。磷脂不溶解于一些极性溶剂,如乙酸甲酯($\text{CH}_3\text{COOCH}_3$)和丙酮(CH_3COCH_3),在很多生产提取分离工艺中会应用到这一特殊的性质。PLs 具有独特化学性质的 R_1 基、 R_2 基和酯基, R_1 基、 R_2 基和酯基存在不同饱和度的不饱和键,在不同的酸、碱或特异性酶作用下磷脂能够发生水解反应,得到胆碱、磷酸以及小分子脂肪酸。磷脂结构中不饱和的 $\text{C}=\text{O}$ 键、 $\text{O}=\text{O}$ 键、 $\text{P}=\text{O}$ 键等会参与氧化还原反应、去饱和反应和加成反应等。PLs 在空气、阳光中不稳定,易氧化生成二烯键^[21],其氧化后的产物不仅改变了结构,而且生理功能也会发生不可逆转的变化,因而应于低温、干燥、避光的环境下生产和保存磷脂。

2 卵磷脂的生理活性及功能

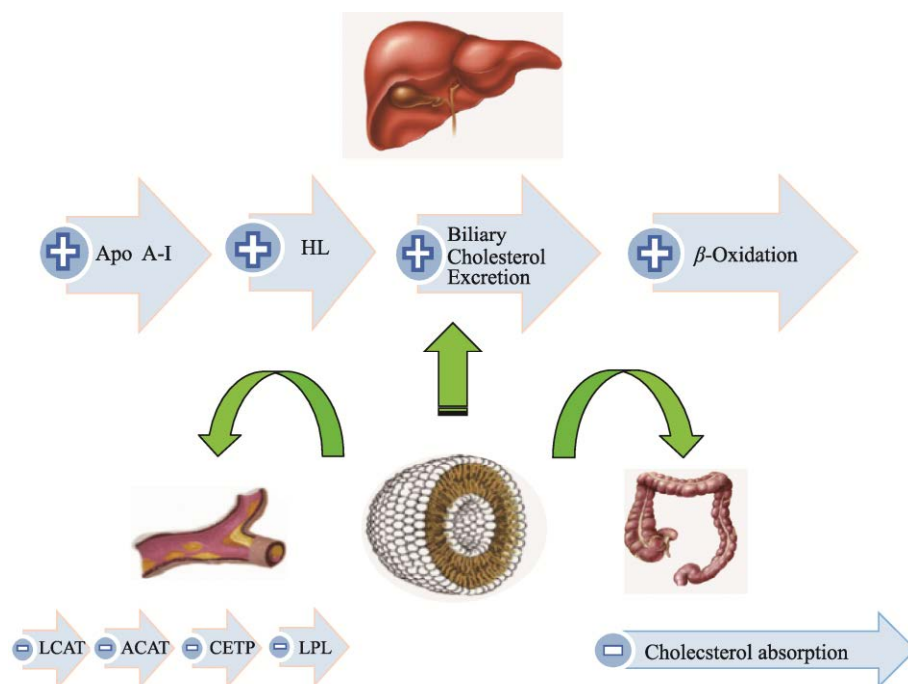
自然界中磷脂的存在形式主要为卵磷脂(Phosphatidylcholine, PC)。PC 具有的生物学功能活性主要体现在胆碱、脂肪酸链和整个分子等 3 个部分。大量研究表明,胆碱作为神经递质前体物质,在促进神经信号传导、提高大脑活力、延缓机体衰老、防止血管硬化和抗血栓等方面都有显著作用,故其被誉为“脑黄金”、“血管清道夫”^[22-26]。磷脂具体的作用机制也成为目前研究的热点问题,磷脂的生理活性主要表现在以下几方面。

2.1 降低血脂与预防心血管疾病作用

卵磷脂可以强化胆汁中胆固醇的排泄,调节参与脂蛋白代谢的转录因子和酶的表达和活性,卵磷脂具有特殊的溶解性^[27],可将血管壁上粘连的总胆固醇(TC)乳化成微粒,进而机体或者组织将乳化后更容易分解的微粒加以利用,进而达到降低血浆中 TC 的目的^[28-29]。如图 2 所示,卵磷脂通过抑制脂肪生成酶活性,诱导脂肪酸 β -氧化和增加胆汁胆固醇排泄来降低肝脏内脂肪的含量,在血浆和外周组织中,阴离子卵磷脂会抑制卵磷脂胆固醇酰基转移酶(LCAT)、酰基胆固醇酰基转移酶(ACAT)和脂蛋白脂肪酶(LPL)的活性,可降低机体和组织内部 TC 和甘油三酯(TG)的含量^[30],调节血脂状态,达到降血脂与预防心血管疾病的作用。

高脂血症(Hyperlipidemia)是一种因机体内部脂类合成和代谢过程不稳定、不规律,从而出现紊乱的慢性疾病病症,具体常表现为机体肝脏和血清中的 TC 和 TG,血清中脂蛋白胆固醇(DL-C)、谷草转氨酶(ALT)和谷丙转氨酶(AST)等浓度均出现异常升高。根据 2010—2016 年我国城市 60 岁及以上居民慢性疾病(E10—E14)死亡率与趋势的 APC 估计发现,慢性疾病已经成为目前影响人类健康生活水平的重要威胁之一。随着病情的发展,高脂血症会转变成血栓、动脉粥样硬化、中风、糖尿病等重度疾病。

Alvin Kamili 等^[31]研究发现,采用卵磷脂与高脂饲料复配饲喂小鼠饮食 5 周后比单独摄入高脂饲料可有效降低肝脏中 TC 的含量。Polichetti 等^[32]研究了纯化(PC 的质量分数为 93%)与未纯化(PC 的质量分数为 23%)大豆卵磷脂对低脂或高脂饮食大鼠血浆和胆汁脂质含量的影响,结果显示,血浆中 TC 和酯化胆固醇水平显著降低,并且在补充纯化或未纯化的卵磷脂 2 周后高密度脂蛋白(HDL-C)下降。西兰白兔补充纯化大豆卵磷脂(每千克饲料中添加 5 g 大豆卵磷脂)10 周后,与补充猪油的兔子相比,摄入纯化大豆 PC 的兔血浆中 TC 和 β -VLDL 相关的总胆固醇、酯化胆固醇和甘油三酯等含量得到显著降低^[33]。



注：+和-符号分别表示阴离子卵磷脂对靶标的刺激或抑制作用；HL 表示肝脂酶；LCAT 表示卵磷脂胆固醇酰基转移酶；ACAT 表示酰基胆固醇酰基转移酶；CETP 表示胆固醇酯转移蛋白；LPL 表示脂蛋白脂肪酶

图 2 卵磷脂代谢对血浆、肝脏和肠道血脂异常的多个分子靶点的影响

Fig.2 Effect of PC metabolism on multiple molecular targets of plasma, liver and intestinal dyslipidemia

S.Tandy 等^[34]研究显示,补充氢化大豆 PC 和鸡蛋 PC 复配喂食高脂肪饲料的小鼠 3 周后,总脂质、胆固醇、甘油三酯在血清和肝脏中的积累显著下降。李晓军等^[35]以灌胃方式给予 SD 大鼠益生菌联合大豆卵磷脂发现,该方法能够显著降低大鼠 TC 和低密度脂蛋白 (LDL-C),具有辅助降血脂功能。

2.2 参与细胞膜组成,改善脂类代谢

卵磷脂是细胞膜的重要组分。卵磷脂上脂肪酰基链的组成可以通过 Lands 循环中的脱酰和再酰化途径主动调节。机体缺乏 PC,会使脂质代谢紊乱、脂肪堆积,形成脂肪肝以及发炎肿胀。卵磷脂可增强肝细胞的再生能力和脂类转换方式与途径,有效避免出现肝硬化,并有助于肝功能的复原。蔡瑞军^[36]发现采用多烯磷脂酰胆碱、牛磺熊去氧胆酸联合治疗非酒精脂肪肝,可有效改善患者脂质代谢,缓解症状。Jin 等^[37]研究了卵磷脂对肉鸡脂质代谢的影响机制,结果表明,卵磷脂能改变血清激素水平,并影响肝脏基因的表达,从而调节肉鸡的脂肪代谢。Meng 等^[38]通过 2×2 因子实验研究了日粮卵磷脂和左旋肉碱对生长肥育猪皮下脂肪、背最长肌脂肪酸组成和脂质代谢基因表达的影响,结果表明,复配料饲喂生长肥育猪增加了脂肪生成基因的表达,增加了皮下脂肪和背最长肌中的多不饱和脂肪酸。近年来关于卵磷脂生物活性的研究进展见表 2。

2.3 改善脑及神经功能,预防老年性痴呆

乙酰胆碱具有促进大脑神经细胞兴奋、强化大脑神经突触迅速发达的效能。如图 3 所示,人体消化吸收 PC,一小部分参与能量代谢,大约 90 % 转化成胆碱,随后胆碱通过体液循环的方式进入脑部,在乙酰化酶特异性催化下与乙酰 CoA 反应生成乙酰胆碱^[30,43—46]。由此可见,补充 PC 可有效加速体内乙酰胆碱的转化,从而加快大脑神经细胞间信息传递的速度,提高大脑活力。

美国医学官方公开宣布青少年适量补充卵磷脂一段时间后,其记忆能力可提高约 25%。王颖等^[47]通过补充卵磷脂饲喂阿尔兹海默症 (Alzheimer Disease, AD) 模型鼠 2 周后,发现海马组织乙酰胆碱浓度饲喂组高于空白组,且小鼠认知能力得到增强。张晓辉等^[39]研究多烯卵磷脂酰胆碱对 β-淀粉样蛋白 (Aβ₁₋₄₀) 致 AD 模型大鼠的治疗作用中发现,PPC 对 AD 有治疗作用,并且效果非常明显。Higgins 等^[40]通过临床研究 259 例 AD 病人,发现卵磷脂对于减缓病人的记忆力衰退有一定作用。石瑜等^[48]研究发现,多烯磷脂酰胆碱联合丙戊酸钠可显著改善癫痫病症引起的认知能力下降,给药实验组大鼠的癫痫发作次数显著减少,对鼠的认知功能障碍有调节作用。

表 2 近 10 年来国内外对于卵磷脂生物活性的研究进展
Tab.2 Advances in research on PC biological activity at home and abroad in the past 10 years

种类	实验对象	实验结果	文献
纯化大豆卵磷脂	西兰白兔	血浆 TC、 β -VLDL 和酯化胆固醇以及 TG 含量显著降低	Polichetti E 等 ^[33]
卵磷脂	小鼠	与高脂饲料复配饮食 5 周后可有效降低肝脏 TC 含量	Alvin Kamili 等 ^[31]
大豆卵磷脂	大鼠	纯化与未纯化卵磷脂对低脂或高脂饮食大鼠血浆 TC 和酯化胆固醇水平显著降低	Polichetti 等 ^[32]
大豆与蛋黄卵磷脂	小鼠	小鼠总脂质，TC 和 TG 在血清和肝脏中的积累显著下降	S. Tandy 等 ^[34]
益生菌、大豆卵磷脂	大鼠	显著降低大鼠 TC 和 LDL-C，具有辅助降血脂功能。	李晓军等 ^[35]
卵磷脂	肉鸡	卵磷脂改变血清激素水平并影响肝脏基因表达，从而调节肉鸡的脂肪代谢	Jin 等 ^[37]
卵磷脂和左旋肉碱	肥育猪	复配饲料喂生长肥育猪增加了脂肪生成基因的表达、可增加皮下脂肪和背最长肌中的多不饱和脂肪酸	Meng 等 ^[38]
多烯磷脂酰胆碱	AD 模型大鼠	PPC 对 AD 有治疗作用，并且效果非常明显	张晓辉等 ^[39]
卵磷脂	259 例 AD 病人	卵磷脂对于 AD 病症有一定减缓作用	Higgins 等 ^[40]
蛋黄卵磷脂	大鼠	蛋黄卵磷脂可以显著改善记忆功能	陈闯等 ^[41]
蛋黄卵磷脂	小鼠	蛋黄卵磷脂的提取及其对小鼠记忆功能的影响	陈现伟等 ^[42]

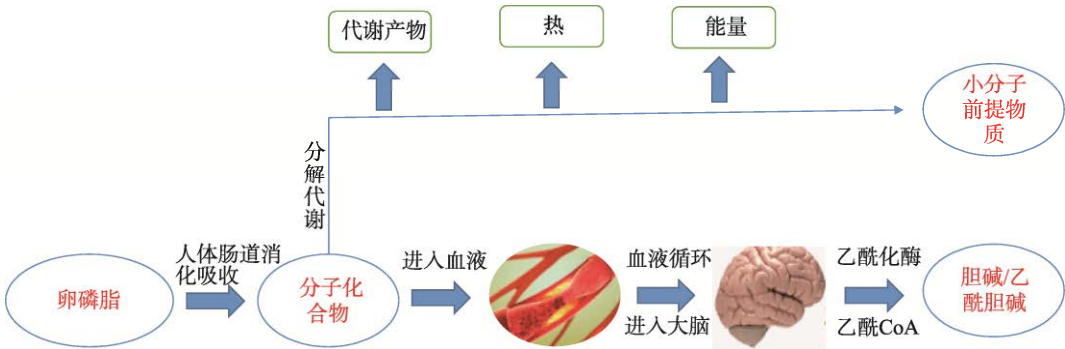


图 3 卵磷脂消化代谢路径简图
Fig.3 Diagram of PC digestive and metabolic pathways

2.4 抗炎抗氧化作用

卵磷脂具有不饱和价键，容易氧化，因此可作为抗氧化剂应用。随着年龄的增长，机体清除自由基的能力也随之下降，过量的自由基在体内堆积，与结合或游离态的脂肪酸发生反应，形成丙二醛（MDA）。丙二醛具有极不稳定的醛基，能迅速与卵磷脂酰乙醇胺（PE）交联形成荧光色素，后与体内的脂类、短链肽类、活性蛋白等结合，形成脂褐质层，并堆积在表面，因挤压作用致使细胞核和细胞器受压变形。卵磷脂能显著锁住皮肤角质层水分含量、抑制角质细胞中脂褐质的形成^[49—51]。正常人体内每天都会产生很多毒素，积累到一定量时，会在人体皮肤表面形成色斑或青春痘，PC 可分解和降低体内的毒素，减少脸上的斑点和青春痘。PC 具有亲水性和调节血红素的作用，能为皮肤提供氧和水。

相关研究证明，卵磷脂酰胆碱具有良好的抗微生物和抗氧化活性^[52]。关于磷脂抗炎作用的研究进展见表 3。质量比为 1：2 的玉米醇溶蛋白/卵磷脂复合纳米颗粒可作为槲皮素的有效载体，用于其活性的保护和长效利用^[52]。徐志祥^[53]研究发现，以等量大豆卵磷脂油替代质量分数为 0，50%，100%的大豆油生产浓缩饲料，可以延缓饲料中油脂的酸价、过氧化值及丙二醛值的变化，具有显著的抗氧化效果。PC 卓越的抗氧化功能正是其具有修复损伤生物膜、延缓机体衰老作用的原因所在。赵静等^[5]构建了衰老模型，对小鼠注射卵磷脂，实验结果表明南极磷虾卵磷脂能显著降低衰老模型小鼠体内丙二醛的水平，延缓肝脾等脏器的衰老水平，修复皮肤衰老损伤。夏锦明等^[54]研究发现，拟生物膜性卵磷脂单体的应用能明显提高小鼠红细胞膜上卵磷脂的比例。

表 3 卵磷脂对炎症等相关疾病的研究进展^[8,13,23,37,42,46,53,55]

Tab.3 Advances in research on the effects of PC on inflammation-related diseases

研究对象及组分	研究内容	研究结果
红酒、白酒、葡萄汁、葡萄皮和酵母的 PL	在兔血小板 (WRPs) 和 U937 巨噬细胞中的体外研究; 人体内餐后饮食干预研究	抑制血小板聚集和调节 PAF 代谢, 以降低 PAF 水平
鱼类 (鲈鱼、鲷鱼、鲑鱼等)	WRPs, 人类富血小板血浆 (hPRP) 和人类系膜细胞 (HMC) 中的体外研究; 高脂血症兔的体内研究	抑制高脂血症兔的血小板聚集, 调节 PAF 代谢, 降低 PAF 水平, 减少动脉粥样硬化层的厚度
PLs 橄榄油和橄榄果渣	WRPs 和 HMC 中的体外研究; 高脂血症兔的体内研究	抑制血小板聚集, 并调节 PAF 代谢, 降低高脂血症兔的 PAF 水平, 并降低动脉粥样硬化层的厚度
油 (大豆油、玉米油和芝麻油)	WRPs 的体外研究	抑制血小板凝集
鸡蛋中的 PLs	WRPs 的体外研究	抑制血小板凝集
乳制品 (牛奶、酸奶、奶酪等)	WRPs 和 hPRP 的体外研究	抑制血小板凝集

3 卵磷脂的应用

随着科学技术和科研手段的进一步发展,鸡蛋深加工工业也在快速进步,蛋黄中的磷脂提取率越来越高,纯化效率也越来越高。卵磷脂被广泛应用于食品加工业、医药保健业、饲料工业及化妆品业等领域。

卵磷脂营养价值丰富,多国已明确规定添加在婴儿配方食品、儿童食品和老年人食品中。卵磷脂在油脂的生产中被广泛应用,其可以提高油脂的分解活性。卵磷脂具有发泡性,不仅发泡持续性强,还能够抑制制品粘连和焦化,在油炸食品中应用较多^[56]。此外,卵磷脂还能与蛋白质、淀粉结合,改变食物的物理性质,达到提高食品品质和营养价值的目的。卵磷脂现在已广泛应用于冰激凌、焙烤食品、人造奶油、巧克力、乳饮料、糖果、火腿肠等食品加工中^[57]。卵磷脂被用于生产刺激免疫系统和增强健康的药物,用于治疗皮肤病的医用水凝胶和医用凝胶,用于脂质体和新一代药物的生产,用于生产化妆品、保护剂和皮肤色素等。在家禽饲料中添加卵磷脂可以降低其死亡率,改善家禽的营养代谢,进而提高其营养价值与口感。

在制药行业方面,由于 PC 为两性表面活性剂,可形成较稳定的双分子膜结构,因此,医药行业利用 PC 的这种特性作为 O/W 体系中的主要膜原料进行脂质体的生产^[58-59]。脂质体是一种人造的具有定时定向靶性的药物缓释载体,大多被用于制备抗病毒、抗癌、抗结核等药物的新型剂,具有提高药物生物利用率,提升药物治疗效果,减少毒副作用,降低药物毒性等优势^[60-62]。以磷脂作为包埋材料的脂质体在生物医学、免疫调节等领域的应用前景十分广阔,是当今药物剂型发展的看点,也是研究的热点。

卵磷脂还可以作为包装膜材料用于提高产品稳

定性。常见产品薄膜的力学性能较稳定,但是由于脂蛋白易污染薄膜,且薄膜的亲水性、防污性、生物相容性等较差,这会造成环境污染和资源浪费,制约了薄膜在污水处理、生物工程、医药食品、包装材料等领域的发展。卵磷脂的表面张力一般低于薄膜表面,可润湿表面。由于油脂的粘度较大,因而也容易粘附在薄膜表面。卵磷脂能够提升薄膜表面的亲水性能,减小蛋白粘附,当油脂在薄膜表面充分润湿时,也能改善油脂的粘附性。降低薄膜表层张力,增加表面粗糙度,油脂便难以浸润表面,疏水性也会得到提升,同时减少薄膜表面的油脂粘附量。通过改性卵磷脂介导入包装薄膜发现,PE 膜能获得极佳的亲水性能、良好的抗蛋白粘附性能、持久稳定的卵磷脂修饰层性能。

4 结语

中国作为世界第一大鸡蛋生产国,其鸡蛋精深加工业在不断革新。作为鸡蛋重要的成分磷脂也应该被充分利用。卵磷脂既是一种营养价值高的物质,同时还是一种极具生物活性的功能成分,目前已在多个领域内展现其独特的功效。30 多年以来,人们围绕卵磷脂对于缓释药物的递质、机能的维护、功能食品的开发以及工业生产过程中的改良剂开展了广泛而深入的研究。作为天然的乳化剂和湿润剂,卵磷脂除具有生物效能外,常作为静脉脂肪注射液的乳化剂,并且是组成脂质体的主要包埋材料。卵磷脂具有独特的膜通透性和渗透性,对于包装行业更是有着高度的利用价值。当前,随着卵磷脂提取制备工艺的不断改进,纯度高、价格低、纯天然、无毒副作用的卵磷脂将会被充分利用与开发。同时随着卵磷脂的开发将为蛋品深加工提供新方向。

目前,对于卵磷脂的研究集中在功能性食品开

发、乳化剂开拓以及降血脂功效的验证等方面,对于卵磷脂在人体内的代谢通路和在机体内生物活性体现的机制依然存在争议或者尚不明确,这是接下来要重点研究的方向之一。同时作为良好的乳化剂,卵磷脂作为载体进行脂质体和油脂体的制备依然是现在制药行业研究的热点,研发具有靶向与非靶向药物载体方向依然值得关注。基于百年来对于卵磷脂的深入研究发现,卵磷脂具有独特的降血脂和改善记忆的作用,并且对于人体自由基的清除、胃肠道环境改善都有着重要意义,对于其具有的作用机制研究有着非常重要的现实意义。卵磷脂既可作为将来具有有益作用的生物活性分子的优质营养来源,又可用于食品、制药、营养保健品和化妆品等行业。磷脂的进一步研究和开发必将带来重大的社会、商业、健康和环境效益。

参考文献:

- [1] SING W S, GRAY M S, BROWN M L, et al. Chromatographically Homogeneous Lecithin from Egg Phospholipids[J]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 1965, 42(1): 53.
- [2] PALACIOS L E, WANG T. Egg-yolk Lipid Fractionation and Lecithin Characterization[J]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 2005, 82(8): 571—578.
- [3] BUNGO S, KOJI N, et al. Effect of Dietary Omega 3 Phosphatidylcholine on Obesity-related Disorders in Obese Otsuka Long-evans Tokushima Fatty Rats[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(17): 7170—7176.
- [4] COHN J, KAMILI A, WAT E, et al. Dietary Phospholipids and Intestinal Cholesterol Absorption[J]. *Nutrients*, 2010, 2: 116—127.
- [5] 赵静. 南极磷虾卵磷脂提取纯化及抗衰老实验研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012: 23—45.
ZHAO Jing. Antarctic Krill Phospholipid Extraction and Anti-aging Experimental Research[D]. Qingdao: China Ocean University, 2012: 23—45.
- [6] BLESSO C. Egg Phospholipids and Cardiovascular Health[J]. *Nutrients*, 2015, 7: 2731—2747.
- [7] WEIHRAUCH J L, SON Y S. Phospholipid Content of Foods[J]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 1983, 60: 1971—1978.
- [8] LEWIS E D, ZHAO Y Y, RICHARD, et al. Measurement of the Abundance of Choline and the Distribution of Choline-containing Moieties in Meat[J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2015, 66(7): 743—748.
- [9] KUNSMAN J E, FIELD R A. The Lipid Content of Mechanically Deboned Red Meats[J]. *Journal of Food Science*, 1976, 41: 1439—441.
- [10] ANDERSEN C J. Bioactive Egg Components and Inflammation[J]. *Nutrients*, 2015, 7: 7889—7913.
- [11] KRISTIN F, ANNETTE B, EVEN F, et al. Effects of Frozen Storage on Phospholipid Content in Atlantic Cod Fillets and the Influence on Diet-Induced Obesity in Mice[J]. *Nutrients*, 2018, 10(6): 695—699.
- [12] THOMAS A J, PATTON S. Phospholipids of Fish Gills[J]. *Lipids*, 1972, 7: 76—78.
- [13] ACKMAN R G. Marine Biogenic Lipids, Fats and Oils[M]. Boca Raton: CRC Press, 1989: 15—34.
- [14] POLICHETTI E, THONG D, et al. Extraction of Phospholipids from Scallop By-product Using Supercritical CO₂/Alcohol Mixtures[J]. *LWT-food Science and Technology*, 2015, 60(2): 990—998.
- [15] ACOSTA S O, MARION W, FORSYTHE R. Total Lipids and Phospholipids in Turkey Tissues[J]. *Poultry Science*, 1966, 45: 169—184.
- [16] ISHII K, OKAJIMA H, et al. Studies on Furan Fatty Acids of Salmon Roe Phospholipids[J]. *Journal of Biochemistry*, 1988, 103: 836—839.
- [17] NEMOVA N, MURZINA S A, et al. Features in The Lipid Status of Two Generations of Fingerlings (0+) of Atlantic Salmon (*Salmo Salar* L) Inhabiting the Arenga River (*Kola Peninsula*) [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2015, 16(8): 17535—17545.
- [18] BENEDITO L, et al. Tissue-specific Robustness of Fatty Acid Signatures in Cultured Gilthead Sea Bream (*Sparus Aurata* L) Fed Practical Diets with a Combined High Replacement of Fish Meal and Fish Oil[J]. *Journal of Animal Science*, 2010, 88(5): 1759—1770.
- [19] BISHOP R E. Phospholipid Middle Management[J]. *Nature Microbiology*, 2019, 4(10): 1608—1609.
- [20] CORDIER M, BRICHON G, et al. Changes in the Fatty Acid Composition of Phospholipids in Tissues of Farmed Sea Bass (*Dicentrarchus Labrax*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology B-Biochemistry & Molecular Biology*, 2002, 133(3): 281—288.
- [21] GALLAGHER M L, PARAMORE L, et al. Comparison of Phospholipid and Fatty Acid Composition of Wild and Cultured Striped Bass Eggs[J]. *Journal of Fish Biology*, 1998, 52: 1218—1228.
- [22] XIE D, JIN J, SUN J, et al. Comparison of Solvents for Extraction of Krill Oil from Krill Meal: Lipid Yield, Phospholipids Content, Fatty Acids Composition and Minor Components[J]. *Food Chemistry*, 2017, 233: 434.
- [23] TONG C, CHEN Y, et al. Analysis of Lys-phospholipid Content in Low Phytate Rice Mutants[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2017, 65(26): 5435—5441.
- [24] 王洪飞. 大豆卵磷脂稳定性及酶法水解制备甘油磷脂酰胆碱研究[D]. 广州: 暨南大学, 2018: 22—23.
WANG Hong-fei. Study on Stability of Soy Lecithin and Enzymatic Hydrolysis for Preparation of Glycerol Phosphatidyl Choline[D]. Guangzhou: Jinan University

- ty, 2018: 22—23.
- [25] 陆基宗. 卵磷脂与人体健康[J]. 心血管病防治知识(科普版), 2018(4): 12—14.
LU Ji-zong. Lecithin and Human Health[J]. Knowledge on Prevention and Treatment of Cardiovascular Diseases (Science Edition), 2018(4): 12—14.
- [26] 吕旭, 关明, 古再丽努尔·阿尔肯. 高效液相色谱法测定胡麻卵磷脂中磷脂酰肌醇含量[J]. 山东化工, 2018, 47(4): 47—49.
LYU Xu, GUAN Ming, GUZAILIUNUER Alken. Determination of Phosphatidylinositol in Flax Lecithin By High Performance Liquid Chromatography[J]. Chemical Industry, 2018, 47(4): 47—49.
- [27] 杨福明, 王立枫. 鸡蛋黄中天然活性物质的开发与利用[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(7): 1890—1895.
YANG Fu-ming, WANG Li-feng. Developments and Utilization of Natural Active Substances in Egg Yolk[J]. Food Safety and Quality Testing, 2019, 10(7): 1890—1895.
- [28] 顾菲菲, 邹阳春. 抗卵磷脂综合征与心血管病[J]. 中国动脉硬化杂志, 2008, 16(12): 1002—1004.
GU Fei-fei, ZOU Yang-chun. Anti-phospholipid Syndrome and Cardiovascular Disease[J]. Journal of Arteriosclerosis, 2008, 16 (12): 1002—1004.
- [29] AMIRHOSSEIN S. Fat Lowers Fat: Purified Phospholipids as Emerging Therapies for Dyslipidemia[J]. Biochemical et Biophysical Acta, 2013, 1831(4): 887—893.
- [30] CZESNY S, RINCHARD J, DABROWSKI K. Intrapopulation Variation in Egg Lipid and Fatty Acid Composition and Embryo Viability in a Naturally Spawning Walleye Population from an Inland Reservoir[J]. North American Journal of Fisheries Management, 2005, 25(1): 122—129.
- [31] ALVIN K, ELAINE W, ROSANNA W, CHUNG. Hepatic Accumulation of Intestinal Cholesterol is Decreased and Fecal Cholesterol Excretion is Increased in Mice Fed a High-fat Diet Supplemented with Milk Phospholipids[J]. Nutrition & Metabolism, 2010, 31(7): 90.
- [32] POLICHETTI E, DIACONESCU N. Cholesterol-lowering Effect of Soy-bean Lecithin in Normal Lipid Aemic Rats by Stimulation of Biliary Lipid Secretion[J]. British Journal of Nutrition, 1996, 75: 471—478.
- [33] POLICHETTI E, JANISSON A, PORTE. Chanussot, Dietary Polyenyl Phosphatidyl Choline Decreases Cholesterolemia in Hypercholesterolemic Rabbits: role of the hepato-biliary axis[J]. Life Science, 2000, 16: 2563—2576.
- [34] TANDY S, CHUNG R W, KAMILI A, WAT E. Hydrogenated Phosphatidylcholine Supplementation Reduces Hepatic Lipid Levels in Mice Fed a High-fat Diet[J]. Atherosclerosis, 2000, 2013: 142—147.
- [35] 李晓军, 马跃英, 王海霞, 等. 降胆固醇益生菌联合大豆卵磷脂辅助降血脂保健食品的功能评价[J]. 中国微生态学杂志, 2016, 28(10): 1126—1129.
LI Xiao-jun, MA Yue-ying, WANG Hai-xia, et al. Evaluation of the Function of Cholesterol-lowering Probiotics Combined with Soybean Lecithin in Blood Lipid-lowering Health Foods[J]. Chinese Journal of Microecology, 2016, 28 (10): 1126—1129.
- [36] 蔡瑞军. 多烯磷脂酰胆碱联合牛磺熊去氧胆酸治疗非酒精性脂肪性肝病的临床效果[J]. 世界最新医学信息文摘, 2019, 62(19): 159—160.
CAI Rui-jun. Clinical Effects of Polyene Phosphatidylcholine Combined with Taurodeoxycholic Acid in The Treatment of Non-alcoholic Fatty Liver Disease[J]. World Medical Abstracts, 2019, 62(19): 159—160.
- [37] JIN H, YANG D, GAO S, et al. Effects of Soy-lecithin on Lipid Metabolism and Hepatic Expression of Lipogenic Genes in Broiler Chickens[J]. Livestock Science, 2008, 118(1): 53—60.
- [38] MENG Q, SUN S, SUN Y, et al. Effects of Dietary Lecithin and l-carnitine on Fatty Acid Composition and Lipid-metabolic Genes Expression in Subcutaneous Fat and Longissimus Thoracis of Growing-finishing Pigs[J]. Meat Science, 2018, 136: 68—78.
- [39] 张晓辉. 多烯磷脂酰胆碱对于阿尔茨海默病治疗作用的研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2011: 12—15.
ZHANG Xiao-hui. Study on the Therapeutic Effect of Polyene Phosphatidylcholine on Alzheimer's Disease[D]. Xi'an: Fourth Military Medical University, 2011: 12—15.
- [40] HIGGINS J P, FLICKER L. Lecithin for Dementia and Cognitive Impairment[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2003, 3(3): CD001—015.
- [41] 陈闯, 王思玲, 苏德森. 卵磷脂药物制剂研究进展[J]. 中国生化药物杂志, 2003, 24(2): 98—101.
CHEN Chuang, WANG Si-ling, SU De-sen. Research Progress on Phospholipid Drug Preparations [J]. Chinese Journal of Biochemical Pharmacy, 2003, 24(2): 98—101.
- [42] 陈现伟. 蛋黄卵磷脂的提取及其对小鼠记忆功能的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 314—317.
CHEN Xian-wei. Extraction of Egg Yolk Lecithin and Its Effect on Memory Function in Mice[J]. Food Science, 2011, 32(13): 314—317.
- [43] 彭明喜, 戴梦玲. 丙酮酸钠与贮存红细胞膜磷脂酰丝氨酸暴露的相关性研究[J]. 临床血液学杂志(输血与检验), 2019, 32(4): 571—574.
PENG Ming-xi, DAI Meng-ling, et al. ship between Sodium Pyruvate and Phosphatidylserine Exposure of Storage Red Blood Cell Membrane[J]. Journal of Clinical Hematology (Transfusion and Testing), 2019, 32(4): 571—574.
- [44] YAN B, PARK S H, BALASUBRAMANIAM V M.

- Influence of High-pressure Homogenization with and Without Lecithin on Particle Size and Physicochemical Properties of Whey Protein-based Emulsions[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2017, 40(6): 119—125.
- [45] ENCINA C, VERGARA C, MÁRQUEZRUIZ G, et al. Influence of Solvent and Lecithin in Microencapsulation of Fish Oil by Spray-drying[J]. *RSC Advances*, 2018, 8(8): 4172—4181.
- [46] KUCHAROVA K, STALLCUP W B. Dissecting the Multifactorial Nature of Demyelinating Disease[J]. *Neural Regeneration Research*, 2018, 13(4): 628.
- [47] 王颖, 李忠辉. 海参磷脂对阿尔兹海默病模型大鼠认知功能的影响[J]. *中国临床研究*, 2019, 32(7): 915—918.
WANG Ying, LI Zhong-hui. Effects of Sea Cucumber Phospholipids on Cognitive Function in Alzheimer's Disease Model Rats[J]. *Clinical Research*, 2019, 32(7): 915—918.
- [48] 石瑜, 邓艳春, 王津存, 等. 多烯磷脂酰胆碱改善癫痫大鼠认知功能的研究[J]. *科学技术与工程*, 2012, 12(16): 3816—3821.
SHI Yu, DENG Yan-chun, WANG Jin-cun, et al. Study on Polyene Phosphatidylcholine to Improve Cognitive Function in Epileptic Rats[J]. *Science Technology and Engineering*, 2012, 12(16): 3816—3821.
- [49] BECCAGLIA M, ANASTASI P, CHIGIONI S, et al. TRIS-lecithin Extender Supplemented with Antioxidant Catalase for Chilling of Canine Semen[J]. *Reproduction in Domestic Animals*, 2010, 44(S2): 345—349.
- [50] LI J, PEDERSEN J N, ANANKANBIL S, et al. Enhanced Fish Oil-in-water Emulsions Enabled by Rape-seed Lecithin Obtained under Different Processing Conditions[J]. *Food Chemistry*, 2018, 264: 233—240.
- [51] BALAKRISHNA M, KAKI S, KARUNA M. Prasad RBN. Synthesis and in Vitro Antioxidant and Antimicrobial Studies of Novel Structured Phosphatidylcholines with Phenolic Acids[J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 664—672.
- [52] 邓卓丹, 陈文学, 兰思琪, 等. 玉米醇溶蛋白-卵磷脂-槲皮素纳米颗粒的制备与抗氧化特性[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(23): 103—108.
DENG Zhuo-dan, CHEN Wen-xue, LAN Si-qi, et al. Preparation and Antioxidant Properties of Zein-lecithin-quercetin Nanoparticles[J]. *Food and Fermentation Industry*. 2019, 45(23): 103—108.
- [53] 徐志祥. 大豆卵磷脂油对保育猪浓缩料中油脂氧化的影响[J]. *饲料业*, 2017, 38(8): 51—54.
XU Zhi-xiang. Effects of Soybean Phospholipid Oil on Lipid Oxidation in Concentrated Pig Feed [J]. *Feed Industry*, 2017, 38(8): 51—54.
- [54] 夏锦明. 拟生物膜性卵磷脂单体延缓生命衰老研究[D]. 沈阳: 辽宁中医药大学, 2006: 44—48.
XIA Jin-ming. Study on The Delay of Life Aging by Pseudo-biofilm Phospholipid Monomer[D]. Shenyang, Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2006: 44—48.
- [55] KASSEM A, EL-ALIM S H, BASHA M, et al. Phospholipid Complex Enriched Micelles: a Novel Drug Delivery Approach for Promoting the Antidiabetic Effect of Repaglinide[J]. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2017, 99: 75—84.
- [56] MERIAM T, IMEN. Differential Impact of Sex on Seasonal Changes in Mantle and Tentacle Phospholipids and Triacylglycerols in *Sepia officinalis*[J]. *Lipids*, 2019, 54(2): 163—176.
- [57] 廖祝胜. 聚合物包装膜的卵磷脂表面改性及性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018: 9—29.
LIAO Zhu-sheng. Lecithin Surface Modification and Properties of Polymer Packaging Films[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018: 9—29.
- [58] VAKANI S, KAJWE A, SUVARNA V, et al. Influence of Auxiliary Agents on Solubility and Dissolution Profile of Repaglinide with Hydroxypropyl- β -cyclodextrin: Inclusion Complex Formation and Its Solid-state Characterization[J]. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, 2015, 83(3/4): 239—250.
- [59] 李新松, 杜亚伟, 凌龙兵. 一种速释型药物卵磷脂化合物及其药物组合物: 中国, 201510756327.6 [P]. 2016-05-16.
LI Xin-song, DU Ya-wei, LING Long-bing. An Immediate-release Drug Phospholipid Compound and Its Pharmaceutical Composition: China, 201510756327.6 [P]. 2016-05-16.
- [60] ELM E H, MANSFIELD R K, TIMONI G A, et al. Phospholipid-based Pharmaceutical Preparations and Their Production and Use Methods: USA, 200680017621.4[P]. 2008-05-28.
- [61] 韦晶, 韩希思, 张承武. 微小RNA 纳米递送体系的构建及其研究进展[J]. *材料导报*, 2019, 33(1): 19—29.
WEI Jing, HAN Xi-si, ZHANG Cheng-wu. Construction and Research Progress of MicroRNA Nano-delivery System [J]. *Materials Review*, 2019, 33(1): 19—29.
- [62] ZEISEL S H, WISHNOK J S, BLUSZTAJN J K. Formation of Methylamines from Ingested Choline and Lecithin. [J]. *Journal of Pharmacology & Experimental Therapeutics*, 1983, 225(2): 320—324.