

分光光度法测定大豆卵磷脂中 磷脂酰胆碱含量

刘鹏莉, 张双灵, 魏玉良, 庄桂东, 于丹, 迟玉森*

(青岛农业大学食品科学与工程学院, 青岛 266109)

摘要: 目的 建立一种简单、准确的卵磷脂测定方法。**方法** 采用 KOH 溶液将磷脂酰胆碱中的胆碱游离, 加雷氏盐反应后, 在波长 525 nm 处, 通过分光光度法测定胆碱的量。**结果** 该方法在 0.075 ~ 0.225 mmol 范围内线性关系良好, 线性方程为 $Y = 3.6457X + 0.026$, $R^2 = 0.9987$, 方法的回收率在 95% ~ 103% 之间, 相对标准偏差小于 1.0%, 待测液在 2.5 h 之内稳定, 能够满足检测要求。**结论** 本方法具有操作简单、准确性高、稳定性好、抗干扰性强的优点, 可以用于卵磷脂产品中磷脂酰胆碱含量的测定。

关键词: 卵磷脂; 磷脂酰胆碱; 碱水解; 分光光度法; 雷氏盐

Determination of phosphatidylcholine in soybean lecithin by spectrophotometry

LIU Peng-Li, ZHANG Shuang-Ling, WEI Yu-Liang, ZHUANG Gui-Dong, YU Dan, CHI Yu-Sen*

(College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

ABSTRACT: Objective To establish a simple and accurate method for determination of phosphatidylcholine. **Methods** Free choline was obtained from phosphatidylcholine by alkaline hydrolysis and was determined by spectrophotometry under the wavelength of 525 nm after reaction with Reinecke's salt. **Results** The method showed a good linearity over the range of 0.075 mmol ~ 0.225 mmol, and the linear equation was $Y = 3.6457X + 0.026$ with $R^2 = 0.9987$. The recoveries was in range of 95% ~ 103%, and the relative standard deviations (RSDs) were lower than 1%. The liquid was stable in 2.5h, which can meet the testing requirements. **Conclusion** This method is simple, accurate, stable, and anti-interference, and it can be used for the determination of phosphatidylcholine from lecithin products.

KEY WORDS: lecithin; phosphatidylcholine; alkaline hydrolysis; spectrophotometry; Reinecke's salt

卵磷脂被誉为与蛋白质、维生素并列的“第三营养素”^[1], 在日本和我国台湾省被称为“脑黄金”。大量研究表明, 卵磷脂具有提高记忆^[2]、增强免疫、保护肝肾^[3-6]、调节血脂、防治糖尿病及延缓机体衰老等多种保健功能^[7-10]。近年来随着人民生活水平的大幅提高, 人们对自身健康日益重视, 对保健品的需求越

来越大。大豆卵磷脂保健品作为一种天然的功能性食品, 一经问世就风靡全球。目前, 卵磷脂年总销量仅次于复合维生素 VE, 与蛋白质并列第三, 被商家誉为“黄金保健品”。

目前, 卵磷脂保健品琳琅满目, 品牌众多, 已经成为一种热门的保健食品。然而, 其市场上却存在一

*通讯作者: 迟玉森, 博士, 教授, 主要研究方向为生物活性物质。E-mail: sd-chiyusen@163.com

*Corresponding author: CHI Yu-Sen, Professor, College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, No.700, Changcheng Road, Chengyang District, Qingdao 266109, China. E-mail: sd-chiyusen@163.com

个严重的问题：卵磷脂测定方法很多，甚至有些混乱。一些测定方法准确，但是繁琐耗时，设备投资高；另一些方法虽然不繁琐，但是不够准确^[11-19]。这一问题造成卵磷脂保健品的功效成分及其含量标注不明，使得消费者在购买卵磷脂产品时无法比较、难以选择，同时也造成了卵磷脂保健品市场的混乱，阻碍了其进一步发展。因此，探索一种简单、准确的卵磷脂测定方法来统一市场，显得非常重要。

目前，卵磷脂的检测方法有两类，一类是间接法，另一类是直接法。间接测定法常见的有钼蓝比色法和重量法。钼蓝比色法测定原理是：卵磷脂中的磷能与硫酸联氨和钼酸根形成一种有色复合物，通过测定其吸光度来确定磷元素的含量，此含磷量即为卵磷脂中的含磷量，进行换算。实际上，不仅卵磷脂，其他磷脂以及含磷物中的磷也都当做卵磷脂的磷计算在内，因此，所测得的结果是产品中总磷脂。重量法是利用油脂溶于丙酮而磷脂不溶于丙酮的性质，用丙酮萃取样品，称量丙酮不溶物的质量作为卵磷脂的量，结果更为粗糙。直接测定法主要有薄层色谱法、高压液相色谱法及核磁共振法。薄层色谱法方便、快速、直观，但干扰因素较多、重复性差；高效液相色谱法及核磁共振法计量准确，但对操作人员技术要求较高，而且耗时长、设备昂贵，限制了其应用^[11-19]，此外，由于磷脂酰胆碱分子中结合脂肪酸链的不同，造成了磷脂酰胆碱结构不固定，分子量大小不一，换句话说，磷脂酰胆碱并不是一种物质，因此无法确定其标准品。没有标准品，也就难以用薄层色谱和高压液相对其进行定量测定了。

卵磷脂中的主要功能成分为磷脂酰胆碱，磷脂酰胆碱对人体的主要保健意义在于其能够为人体提供胆碱，胆碱与人体内的乙酰基结合为乙酰胆碱，乙酰胆碱是大脑的一种信息传递物质，能够提高脑细胞的活化程度，提高记忆与智力水平。因此，卵磷脂产品中的胆碱才是卵磷脂保健功能的决定因素，胆碱含量的多少才是卵磷脂产品质量的关键指标，本研究拟从此入手，探索一种直接、特异性与卵磷脂功效成分——胆碱反应的方法，直接测定卵磷脂的有效成分——胆碱的含量，进一步计算出磷脂酰胆碱的含量。原理是：将磷脂酰胆碱在碱性条件下水解，游离出胆碱，游离的胆碱与雷氏盐反应生成粉红色复盐结晶^[20-26]，该结晶可溶于丙酮，其丙酮溶液在 525 nm 处有最大吸收，利用分光光度法对结晶的丙酮溶液

进行测定，从而计算出磷脂酰胆碱的含量。

1 材料与amp;方法

1.1 试剂和仪器

标准品氯化胆碱、磷脂酰胆碱、磷脂酰乙醇胺购自美国 sigma 公司；大豆卵磷脂(生物试剂，磷脂酰胆碱含量%=26%，上海将来实业有限公司)；雷氏盐(分析纯，国药集团化学试剂有限公司)；丙酮、冰乙酸均为分析纯，购自莱阳市康德化工有限公司；氢氧化钠、氢氧化钾均为分析纯，购自天津市北方天医化学试剂厂。

TU-1810S 型紫外-可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)；AR1140 电子分析天平(奥豪斯国际贸易(上海)有限公司)；电子调温万用电炉(龙口市先科仪器公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 试剂配制

雷氏盐溶液：称取 2~3 g 雷氏盐，加入 100 mL 水中，搅拌 10 min，过滤除去多余的盐，当天配制。

氯化胆碱标准储备液：精确称取干燥至恒重的氯化胆碱标准品(含量 $\geq 99.5\%$) (0.1400 \pm 0.0002) g，加蒸馏水溶解，定容至 100 mL，摇匀，配制浓度为 0.01 mmol/mL，保存在 4 °C 冰箱中，有效期为一个月。

1.2.2 最佳吸收波长的选择

取氯化胆碱水溶液，加 10 mL 雷氏盐溶液，冰箱静置析晶。滤取结晶，用冰乙酸洗涤三次，丙酮溶解。用紫外-可见分光光度计在 400~800 nm 波长范围内进行波长扫描。

1.2.3 标准曲线的绘制

准确吸取氯化胆碱标准储备液 5、10、15、20、25、30、35 mL 分别置于 100 mL 烧杯中，分别标号 1、2、3、4、5、6、7，加水至 40 mL，各加入 10 mL 的雷氏盐溶液，混匀，置冰箱 4 °C 静置 10 min，得粉红色结晶。滤取结晶，用冰乙酸洗涤 3 次，以丙酮溶取结晶并定容至 25 mL 容量瓶中。以丙酮为空白对照，在 525 nm 处测定吸光度 A。

1.2.4 样品测定

称取 0.5 g 样品于 150 mL 锥形瓶中，加 40 mL KOH 溶液，搅拌至样品溶解，电炉加热，保持微沸，回流水解 5 h。水解液冷却后，用冰乙酸调 pH 值至 5~6，过滤，滤渣用水洗涤多次，合并滤液。

向滤液中加 10 mL 雷氏盐溶液, 混匀, 置冰箱中 4 °C 放置 10 min, 得粉红色结晶。过滤, 用冰乙酸洗涤结晶 3 次, 再用丙酮溶解, 并定容至 25 mL。以丙酮作空白对照, 在 525 nm 处测定溶液吸光度 A 。按下式计算样品中磷脂酰胆碱含量:

$$\text{磷脂酰胆碱含量(\%)} = \frac{n \times 750}{1000 \times m} \times 100$$

n : 标准曲线查得吸光度 A 对应的胆碱离子的物质的量

750: 磷脂酰胆碱平均分子量

m : 大豆卵磷脂样品质量

2 结果与讨论

2.1 最佳吸收波长的选择

由图 1 可知, 雷氏盐可以定量与胆碱反应, 形成红色复合物, 从复合物在 400~800 nm 之间的吸收图谱可以看出, 在 525 nm 处有一最大吸收峰, 因此选择 525 nm 作为测定波长。

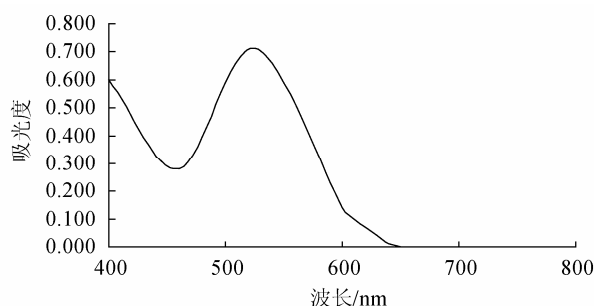


图 1 雷氏盐胆碱复合物吸收图谱

Fig.1 Absorption spectrum of Reinecke's salt-choline compound

2.2 标准曲线的绘制

卵磷脂的分子结构是磷脂酰胆碱, 1 mol 磷脂酰胆碱中含有 1 mol 胆碱, 通过测定其中胆碱的量可以计算出磷脂酰胆碱的量。1 mol 氯化胆碱中含有 1 mol 胆碱, 因此可以用氯化胆碱制作标准曲线, 其横坐标氯化胆碱的物质的量即为磷脂酰胆碱的物质的量。

以吸光度为纵坐标, 氯化胆碱的量为横坐标,

绘制标准曲线, 线性回归方程为 $Y=3.6457X+0.026$, $R^2=0.9987$, 线性范围为 0.075~0.225 mmol, 检出限 0.05 mmol。

2.3 反应时间对雷氏盐胆碱复合物生成的影响

准确称取 0.1000 g 氯化胆碱标准品, 用蒸馏水溶解, 定容到 100 mL。取 18 个小烧杯, 分为 6 组, 每组 3 个。向 6 组小烧杯中分别加入 10 mL 氯化胆碱溶液, 然后加入 10 mL 雷氏盐溶液, 混合均匀, 放置在 4 °C 条件下, 分别静置 5, 10, 15, 20, 25, 30 min, 过滤得到雷氏盐胆碱复合物结晶。用冰乙酸洗涤结晶 3 次, 用丙酮溶解结晶并定容至 25 mL。以丙酮作为空白, 在 525 nm 波长处测定溶液吸光度。以吸光度为指标, 考察反应时间对雷氏盐胆碱复合物生成的影响。测定结果如表 1 所示。

表 1 不同反应时间下测得的吸光度
Table 1 Absorbance in different reaction time

反应时间(min)	吸光度($n=3$)
5	0.287± 0.002
10	0.287± 0.001
15	0.286± 0.001
20	0.288± 0.003
25	0.287± 0.001
30	0.287± 0.001

根据表 2 方差分析所示结果, $F < F_{0.05}(5, 12)$, 因此反应时间对吸光度无显著影响, 实验过程中, 吸光度不随时间的延长而发生变化。在实际操作过程中发现, 两溶液混合后, 混合液中立刻有晶体析出, 反应迅速。为了确保结晶完全, 我们选择静置时间为 10 min。

2.4 水解用碱液的种类对测定结果的影响

卵磷脂的分子结构是磷脂酰胆碱, 必须将分子中的胆碱基团水解下来, 才能用雷氏盐测定。胆碱的碱性氢氧化钠相近, 因此选用氢氧化钠及碱性更强的氢氧化钾作为水解用碱液, 并比较了两种碱对水解结果的影响。

称取 0.5 g 样品 2 份, 分别向其中加入 40 mL 5

表 2 反应时间的方差分析表

Table 2 Analysis of variance for reaction time

差异源	SS	df	MS	F 值	P 值	F 临界值
静置时间(组间)	5.61×10^{-6}	5	1.12×10^{-6}	0.577143	0.717036	3.105875
误差(组内)	2.33×10^{-5}	12	1.94×10^{-6}			
总和	2.89×10^{-5}	17				

mol/L 氢氧化钠溶液及 5 mol/L 氢氧化钾溶液, 电炉加热水解 2 h, 水解过程保持微沸。水解液冷却后, 用冰乙酸调 pH 值至 5~6, 过滤, 水洗滤渣。向滤液中加入 10 mL 雷氏盐溶液, 混匀, 静置 10 min, 过滤。冰乙酸洗涤结晶 3 次, 用丙酮溶解结晶并定容至 25 mL。以丙酮作空白, 在 525 nm 处测定吸光度。

表 3 碱液种类对测定结果的影响
Table 3 Effect of alkali on the determination of phosphatidylcholine

碱液种类	NaOH	KOH
磷脂酰胆碱含量(%) (n=3)	14.46±0.13	19.31±0.07

由表 3 可以看出, 氢氧化钾的水解效果优于氢氧化钠。由表 4 检验结果知, 由于 $|t| > "t$ 双尾临界", P 双尾 < 0.05 , 所以两平均值之间存在显著差异, 可以判断, 氢氧化钾的水解效果显著优于氢氧化钠, 因此选择氢氧化钾作为碱解用碱。

2.5 水解时间对卵磷脂测定结果的影响

水解时间会对胆碱的游离程度产生影响, 从而影响测定结果。水解时间过短, 卵磷脂水解不完全, 水解时间过长, 游离的胆碱被破坏。实验考察了不同

水解时间对测定值的影响, 结果如表 5。

由表 5 可见, 随着水解时间的延长, 测得样品中磷脂酰胆碱含量逐渐增加, 水解 4h, 测得的磷脂酰胆碱含量达到 25.67%, 与样品已知磷脂酰胆碱含量相符。继续延长水解时间, 磷脂酰胆碱变化平稳。当水解时间超过 6h, 测得的磷脂酰胆碱含量下降, 这可能是由于游离出的胆碱在碱和热的作用下被破坏。

对第 4、5、6 组数据进行方差分析见表 6。

对第 3、4 组数据进行方差分析见表 7。

对第 6、7 组数据进行方差分析见表 8。

根据表 6 方差分析结果, $F < F_{0.05}(2,6)$, 三组数据之间不存在显著性差异, 表 7 及表 8 结果显示, $F > F_{0.05}(1,4)$, 表明第 3、4 组数据, 及第 6、7 组数据间存在显著差异。因此, 将水解时间控制在 4~6 h 之内。

2.6 其他组分的干扰及消除

大豆卵磷脂的主要组成成分为磷脂酰胆碱(PC)、磷脂酰乙醇胺(PE)和磷脂酰肌醇(PI)。其中, 磷脂酰肌醇在制取的过程中很容易去除, 在最终的卵磷脂产品中不存在, 而磷脂酰乙醇胺在乙醇中的溶解度

表 4 成对双样本均值分析表

Table 4 Paired two-samples mean analysis table

	平均	方差	观测值	假设平均差	df	t Stat	P(T≤t) 双尾	t 双尾临界
变量 1	14.46	0.0175	3	0	2	-68.695	0.000212	4.302653
变量 2	19.30667	0.004433	3					

表 5 水解时间对磷脂酰胆碱测定结果的影响

Table 5 Effect of hydrolysis time on the determination of phosphatidylcholine

水解时间(h)	磷脂酰胆碱含量(%)	平均值(%)	SD
1	16.08	17.15	16.64
2	19.91	19.89	20.74
3	22.47	21.74	22.77
4	25.89	25.98	25.13
5	25.39	25.97	25.83
6	25.87	25.86	24.77
7	21.34	21.31	22.04
8	20.67	20.61	21.23

表 6 方差分析表

Table 6 Variance analysis table

差异源	SS	df	MS	F 值	P 值	F 临界值
组间	0.084689	2	0.042344	0.179088	0.840342	5.143253
组内	1.418667	6	0.236444			
总计	1.503356	8				

表 7 方差分析表
Table 7 Variance analysis table

差异源	SS	df	MS	F 值	P 值	F 临界值
组间	16.7334	1	16.7334	67.11257	0.001209	7.708647
组内	0.997333	4	0.249333			
总计	17.73073	5				

表 8 方差分析表
Table 8 Variance analysis table

差异源	SS	df	MS	F 值	P 值	F 临界值
组间	23.24602	1	23.24602	81.5173	0.000834	7.708647
组内	1.140667	4	0.285167			
总计	24.38668	5				

与磷脂酰胆碱相差不大, 不容易去除。磷脂酰乙醇胺在碱性条件下水解游离出乙醇胺, 乙醇胺与雷氏盐反应生成粉红色复盐结晶, 对磷脂酰胆碱的测定造成干扰。

称取 100 mg 磷脂酰胆碱标准品 2 份, 加入锥形瓶中, 编号 1, 2, 向 2 号瓶中加入 50 mg 磷脂酰乙醇胺标准品。按 1.2.4 节方法水解并将水解液与雷氏盐溶液反应得到粉红色结晶。用蒸馏水洗涤结晶 3 次, 用丙酮溶解结晶并定容至 25 mL, 测定丙酮溶液的吸光度, 结果如表 9 所示。

表 9 磷脂酰乙醇胺对测定结果的影响
Table 9 Effect of phosphatidyl ethanolamine on the results

编号	1	2
吸光度 ($n=3$)	0.512 ± 0.003	0.780 ± 0.005

由表 9 可以看出, 2 号测定结果明显高于 1 号, 说明磷脂酰乙醇胺确实会对磷脂酰胆碱的测定造成干扰。

干扰的消除: 称取 100 mg 磷脂酰胆碱标准品 3 份, 加入锥形瓶中, 编号 1, 2, 3, 向 2 号、3 号锥形瓶中加入 50 mg 磷脂酰乙醇胺标准品。按 1.2.4 节方法水解, 并将水解液与雷氏盐溶液反应得粉红色结晶。过滤, 1 号、2 号结晶用冰乙酸洗涤 3 次, 3 号结晶用蒸馏水洗涤 3 次, 洗涤后的结晶用丙酮溶出, 并定容至 25 mL。以丙酮作空白对照, 在 525 nm 处测溶液吸光度 A。结果如表 10 所示。

乙醇胺与雷氏盐反应生成复盐, 该复盐溶于冰乙酸, 而雷氏盐胆碱复合物不溶于冰乙酸, 因此, 用冰乙酸洗涤结晶可以消除磷脂酰乙醇胺的干扰。由表

10 结果可以看出, 2 号结晶用冰乙酸洗涤后, 测定结果与 1 号相近, 与 3 号测定结果有很大差别, 表明冰乙酸洗涤结晶可以消除磷脂酰乙醇胺的干扰。

表 10 冰乙酸洗涤结晶对测定结果的影响
Table 10 Effect of washing crystallization with glacial acetic acid on the results

编号	1	2	3
吸光度	0.513 ± 0.006	0.517 ± 0.289	0.787 ± 0.004

2.7 重复性实验结果

取 0.5 g 卵磷脂样品 6 份, 按 1.2.4 节方法水解 5 h, 测定雷氏盐胆碱复合物吸光度。结果如表 11 所示。

表 11 重复性实验结果
Table 11 Repeatability experimental results

实验号	吸光度	RSD(%)
1	0.640	
2	0.649	
3	0.653	
4	0.645	0.840
5	0.655	
6	0.648	

由表 11 可知, 重复性时验的 RSD 值小于 1%, 证明新建立的测定方法重复性好, 方法具有较高的稳定性, 可以满足检测要求。

2.8 雷氏盐胆碱复合物丙酮溶液稳定性实验结果

取 0.5 g 卵磷脂样品加入到 150 mL 锥形瓶中, 按 1.2.4 节方法水解 5 h, 测定雷氏盐胆碱复合物丙酮溶液的吸光度, 每隔 30 min 测定一次。结果如表 12 所示。

表 12 稳定性实验结果
Table 12 Stability experimental results

丙酮溶液放置时间(min)	吸光度($n=3$)
0	0.657±0.002
30	0.657±0.001
60	0.656±0.001
90	0.658±0.003
120	0.656±0.004
150	0.656±0.002

由表 13 方差分析结果可以看出, $F < F_{0.05}(5,12)$, 在实验考察的时间范围内, 丙酮溶液放置时间对测定结果无显著影响, 因此, 雷氏盐胆碱复合物的丙酮

表 13 丙酮放置时间的方差分析表
Table 13 Analysis of variance for placed time of acetone

差异源	SS	df	MS	F 值	P 值	F 临界值
静置时间(组间)	8.78×10^{-6}	5	4.39×10^{-6}	1.141618	0.345538	3.68232
误差(组内)	5.77×10^{-5}	12	3.84×10^{-6}			
总和	6.64×10^{-5}	17				

表 14 加标回收率实验
Table 14 Recovery experimental results

样品量/g	样品中含量/mg	标准品加入量/mg	测得值/mg	回收率/%	平均回收率/%	RSD(%)
0.1982	51.45	50.00	99.26	95.62		
0.1993	51.74	50.00	99.79	96.10		
0.1892	49.12	50.00	100.48	102.72	98.37	2.30
0.1989	51.63	50.00	100.95	98.64		
0.1997	51.84	50.00	100.79	97.90		
0.1898	49.27	50.00	98.89	99.24		

26%), 分别采用本方法及高压液相色谱法测定磷脂酰胆碱含量, 每种方法测定 6 次, 比较测定结果。

由检验结果知, 由于 $|t| < t$ 双尾临界, P 双尾 > 0.05 , 所以两平均值之间无显著差异, 因此可以判断, 新方法 with 高压液相色谱法正确度是一致的。

溶液在 2.5 h 之内有良好的稳定性。

2.9 准确度实验结果

平行称取 6 份大豆卵磷脂样品(磷脂酰胆碱含量=26%), 每份约 0.2 g, 分别加入磷脂酰胆碱标准品 50 mg。按 1.2.4 节方法测定磷脂酰胆碱含量, 计算回收率。

由加标回收率实验结果可以看出, 该方法的回收率在 95%~103%之间, RSD 值为 2.30%, 由此可知, 本方法具有较好的准确度, 可靠性高。

2.10 本实验方法与高压液相色谱法比较

取 0.5 g 大豆卵磷脂样品(磷脂酰胆碱含量为

表 15 本方法与高压液相色谱法测定结果比较
Table 15 Comparison between the new method and HPLC

	新方法	高压液相色谱法
磷脂酰胆碱含量(%) ($n=6$)	25.67±0.29	25.99±0.01

表 16 成对双样本均值分析表
Table 16 Paired two-samples mean analysis table

	平均	方差	观测值	假设平均差	df	t Stat	$P(T<=t)$ 双尾	t 双尾临界
变量 1	25.672	0.08498	6	0	5	-2.567	0.0502	2.571
变量 2	25.985	0.00011	6					

3 结 论

用碱解法处理样品,通过测定游离出的胆碱的量来检测磷脂酰胆碱含量,操作简便,抗干扰性强。经方法学验证,具有较高的精密度和稳定性,回收率在95%~103%之间,测定结果准确、可信,适用于测定卵磷脂制品中磷脂酰胆碱含量。

通过测定卵磷脂中胆碱含量的多少,计算出磷脂酰胆碱的含量。该方法的建立,不仅能够准确地测定出产品中磷脂酰胆碱的含量,统一卵磷脂的测定标准,而且能够衡量出卵磷脂产品保健功能的优劣。

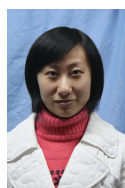
参考文献

- [1] 关明,李燕,赵淑贤.紫外分光光度法测定卵磷脂胶囊中的磷脂酰胆碱[J].中国酿造,2008,(12):95-96.
Guan M, Li Y, Zhao SX. Determination of phosphatidylcholine in lecithin capsule by UV [J]. China Brew, 2008, (12): 95-96.
- [2] 董翠红,李密,李永平.壳聚糖磷脂酰胆碱对轻度认知功能障碍患者事件相关电位N270的影响[J].山东医药,2010,50(41):42-43.
Dong CH, Li M, Li YP. Influence of chitosan and phosphatidylcholine on event related potential N270 in patients with mild cognitive impairment [J]. Shandong Med J, 2010, 50(41): 42-43.
- [3] Canty DJ, Zeisel SH. Lecithin and Choline in Human Health and Disease [J]. Nutr Rev, 1994, 52(10): 327-339.
- [4] Liebe CS, Robins SJ, Li JJ. Phosphatidylcholine Protects Against Fibrosis and Cirrhosis in the Baboon [J]. Gastroenterology, 1994, 106(1): 152-159.
- [5] Buchman AL. Lecithin Increase Plasma Free Choline and Decrease Hepatic Steatosis in Long-Term Total Parenteral Nutrition Patients [J]. Gastroenterology, 1992, 102(4): 1363-1370.
- [6] 刘保连,张国高,宋忠发,等.卵磷脂与脑磷脂对染尘肺泡巨噬细胞的影响[J].同济医科大学学报,1990,19(19):19-21.
Liu BL, Zhang GG, Song ZF, et al. The Effects of Phosphoditylcholine and Phosphotidylethanolamine on Alveolar Macrophages Treatedwith Quartz [J]. J Tongji Med Univ, 1990, 19(19): 19-21.
- [7] 马挺军,秦晓健,贾昌喜.大豆卵磷脂的研究概况[J].农产品加工. 学刊,2009,(10):55-57.
Ma TJ, Qin XJ, Jia CX. Research progress of the soybean lecithin [J]. Acad Period Farm Prod Proces, 2009, (10): 55-57.
- [8] 胡小中.磷脂酰胆碱的生理功能和作用机理[J].粮油食品科技,2011,19(4):42-44.
Hu XZ. Physiological function of phosphatidy lcholine and its possible mechanism of action [J]. Sci Technol Cereals, Oils Foods, 2011, 19(4): 42-44.
- [9] 肖峰,刘学武,李志义.卵磷脂的提取与应用[J].食品研究与开发,2003,24(5):40-42.
Xiao F, Liu XW, Li ZY. Research Advance in the Extraction and Application of Lecithin [J]. Food Res Dev, 2003, 24(5): 40-42.
- [10] 宋国安.大豆卵磷脂的开发及应用前景[J].中国油脂,2001,26(4):33-35.
Song GA. Development and application prospects of soy lecithin[J]. China Oils Fats, 2001, 26(4): 33-35.
- [11] 张云光,卢安根.高效液相色谱法测定畜禽肉中磷脂酰胆碱的含量[J].广西科学院学报,2010,(3):242-244.
Zhang YG, LU AG. Determinationof Phosphatidyl CholineinMeat by High Performance Liquid Chromatography [J]. J Guangxi Acad Sci, 2010, (3): 242-244.
- [12] 吴丽芹,邵荣,云志.高效液相色谱测定大豆卵磷脂中磷脂酰胆碱的含量[J].化工时刊,2008,22(11):35-37.
Wu LQ, Zhao R, Yun Z. Analysis of Phosphatidylcholine in Soy Lecithins by HPLC [J]. Chem Ind Times, 2008, 22(11): 35-37.
- [13] 张茜.高效液相色谱法测定倍轻灵胶囊中磷脂酰胆碱的含量[J].医药导报,2009,28(3):364-365.
Zhang Q. Determination of Phosphatidyl Choline in BeiQing-Ling capsule by HPLC [J]. Her Med, 2009, 28(3): 364-365.
- [14] 龚文杰,马建明,赵立达.高效液相色谱法测定奶粉中磷脂酰胆碱含量研究[J].中国卫生检验杂志,2005,15(11):1331-1332.
Gong WJ, Ma JM, Zhao LD. Determination of Phosphatidyl Choline in Milk Powder by HPLC [J]. Chin J Health Lab Technol, 2005, 15(11): 1331-1332.
- [15] Ikarashi Y, Sasahara T, Maruyama Y. Determination of choline and acetylcholine levels in rat brain regions by liquid chromatography with electrochemical detection [J]. J Chromatogr A, 1985, 322: 191-199.
- [16] Mazzola G, Kent C. Separation of choline and ethanolamine labeled metabolites by Ion exchange HPLC [J]. Anal Biochem, 1984, 141: 137-142.
- [17] 莫建光,卢安根.食品中磷脂酰胆碱检测技术的研究进展[J].食品工业科技,2010,(1):409-411.
Mo JG, Lu AG. Research progress of the determination of phosphatidylcholine in food [J]. Sci Technol Food Ind, 2010, (1): 409-411.
- [18] 杨海锋,赵志辉.饲料级大豆磷脂中磷脂酰胆碱、磷脂酰乙醇胺、磷脂酰肌醇的检测研究[J].中国饲料,2010,(6):41-43.
Yang HF, Zhao ZH. Determination of phosphatidyl choline, phosphatidyl ethanolamine and phosphatidyl inositol in soybean phospholipids by HPLC [J]. China Feed, 2010, (6): 41-43.
- [19] 王永平,谭永霞,肖飞.卵磷脂保健食品中磷脂酰胆碱的含量测定[J].食品科学,2005,26(6):208-209.
Wang YP, Tan YX, Xiao F. The Quanlity Dedermintion of PC in

- Lethicin Function Foods [J]. Food Sci, 2005, 26(6): 208–209.
- [20] 谷明欣. 大豆卵磷脂的分离纯化研究[D]. 中国石油大学, 2009.
- Gu MX. Separation and Purification of Soybean Lecithin[D]. China Univ Petrol, 2009.
- [21] 张颖颖. 高含量磷脂酰胆碱制备方法研究[D]. 浙江大学, 2005.
- Zhang YY. Study on the Purification Method of Phosphatidylcholine with High Content [D]. Zhejiang University, 2005.
- [22] 丁明. SPE-分光光度法测定花粉中总胆碱[J]. 分析实验室, 2009, 28(B05): 49–51.
- Ding M. Determining total choline in pollen by SPE-spectrophotometric method [J]. Chin J Anal Lab, 2009, 28(B05): 49–51.
- [23] 熊绿芸. 刺梨中胆碱的含量测定[J]. 贵州农学院学报, 1991, 10(1): 97–100.
- Xiong LY. Determination of Choline Content in Rosa Roxburghii Tratt [J]. J Mt Agr Biol, 1991, 10(1): 97–100.
- [24] 冯振兴. 柿叶中胆碱含量测定[J]. 天津中医药, 2004, 21(3): 248–249.
- Feng ZX. Mensuration of the content of choline in diospyros leaves [J]. Tianjin J Tradit Chin Med, 2004, 21(3): 248–249.
- [25] 张丽娟. 婴儿奶粉及食品中胆碱的测定[J]. 营养学报, 1993, 15(2): 207–211.
- Zhang LJ. Determination of Total Choline in Infant Milk Powder and Foods [J]. Acta Nutr Sinica, 1993, 15(2): 207–211.
- [26] 崔蓉, 王洪玮. 卵磷脂类保健食品中 PE、PC 的高效液相色谱测定[J]. 中国食品卫生杂志, 2002, 14(4): 21–24.
- Cui R, Wang HW. A study on determination of major phospholipid classes in lecithin dietary supplements by high-performance liquid chromatography [J]. Chin J Food Hyg, 2002, 14(4): 21–24.

(责任编辑: 赵静)

作者简介



刘鹏莉, 硕士研究生, 主要研究方向为生物活性物质。

E-mail: milly.liu@163.com



迟玉森, 博士, 教授, 主要研究方向为生物活性物质。

E-mail: sd-chiyusen@163.com