

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241028005

Hilic 柱高效液相色谱法检测卵磷脂粉饮品中的 磷脂酰胆碱

颜方亮*, 李玉珍

[捷通(广州)检测技术服务有限公司, 广州 510730]

摘要: **目的** 建立亲水作用高效液相色谱法用于检测大豆卵磷脂粉饮品中的磷脂酰胆碱。**方法** 样品中的磷脂酰胆碱用氯仿甲醇溶液(2:1, V:V)提取, 色谱柱为 XBridge Hilic BEH (250 mm×4.6 mm, 5 μ m), 流动相以乙腈和乙腈水溶液(2:1, V:V)进行梯度洗脱, 检测波长为 205 nm, 流量为 1.0 mL/min, 以峰面积为指标进行定量分析。**结果** 大豆磷脂酰胆碱的保留时间为 18.04 min, 且在 0.009971~0.498600 mg/mL 范围内线性关系良好, 相关系数(r^2)为 0.9994; 方法检出限为 7.5 μ g/g, 测定结果的相对标准偏差为 1.18%, 加标回收率为 95.39%~99.52%, 样品溶液 24 h 内测定结果的相对标准偏差为 0.49%。**结论** 该方法使用亲水作用 Hilic 柱检测大豆卵磷脂粉饮品中的磷脂酰胆碱, 前处理简单、快速、准确度高、分离度好、检测灵敏, 有效解决高效液相法检测大豆磷脂酰胆碱需要经过氨基固相柱净化处理、分析时间长、操作复杂的问题, 适用于大批量检测大豆卵磷脂粉饮品中的磷脂酰胆碱。

关键词: 磷脂酰胆碱; 高效液相色谱法; 亲水作用 Hilic 柱

Determination of phosphatidylcholine in soybean lecithin powder by high performance liquid chromatography with Hilic column

YAN Fang-Liang*, LI Yu-Zhen

[Access (Guangzhou) Testing Technology Service Co., Ltd., Guangzhou 510730, China]

ABSTRACT: Objective To establish a hydrophilic high performance liquid chromatography for detecting phosphatidylcholine in soy lecithin powder beverages. **Methods** Phosphatidylcholine in the sample was extracted using chloroform methanol solution (2:1, V:V), and the chromatographic column was XBridge Hilic BEH (250 mm×4.6 mm, 5 μ m). The mobile phase was gradient eluted with acetonitrile and acetonitrile aqueous solution (2:1, V:V), and the detection wavelength was 205 nm, with a flow rate of 1.0 mL/min. Quantitative analysis was performed using peak area as the indicator. **Results** The results showed that the retention time of soybean phosphatidylcholine was 18.04 min, and there was a good linear relationship within the range of 0.009971–0.498600 mg/mL, with a correlation coefficient (r^2) of 0.9994; the limit of detection of the method was 7.5 μ g/g, the relative standard deviation of the determination result was 1.18%, the recovery rate of spiked solution was 95.39%–99.52%, and the relative standard deviation of the determination result within 24 hours of the sample solution was 0.49%. **Conclusion** This method uses a hydrophilic Hilic column to detect phosphatidylcholine in soy lecithin powder beverages. The

*通信作者: 颜方亮, 助理工程师, 主要研究方向为食品和保健食品质量检测。E-mail: 573246322@qq.com

*Corresponding author: YAN Fang-Liang, Assistant Engineer, Access (Guangzhou) Testing Technology Service Co., Ltd., No.4 Quartz Road, Huangpu District, Guangzhou 510730, China. E-mail: 573246322@qq.com

pre-treatment is simple, fast, accurate, well separated, and the detection is sensitive. It effectively solves the problems of sample purification, long analysis time, and complex operation required for high performance liquid chromatography detection of soy lecithin choline. It is suitable for large-scale detection of phosphatidylcholine in soy lecithin powder beverages.

KEY WORDS: phosphatidylcholine; high performance liquid chromatography; hydrophilic Hilic column

0 引 言

磷脂酰胆碱^[1](phosphatidylcholine, PC)是一种两性分子,由亲水的头部和疏水的尾部组成,是磷脂的一种,在头部插有一个胆碱基团。PC 不但有亲水性,也有一定的脂溶性,是生物膜的重要组成成分,具有很好的乳化性能,能转化体内的胆固醇^[2-3],调节脂肪和脂质代谢^[4-8],保持皮肤水分,增强记忆力^[9-11]等。

正相色谱法^[12]在磷脂酰胆碱检测^[13-17]有很多的应用,GB 5009.272—2016《食品安全国家标准 食品中磷脂酰胆碱、磷脂酰乙醇胺、磷脂酰肌醇的测定》检测 PC 也是正相色谱法,其流动相中的正己烷对液相仪器有一定的损伤,样品前处理需要用氨基固相萃取柱净化,操作复杂,分析时间长。高效液相色谱法的首选应该是反相色谱法,文献中也有不少反相色谱法^[18-19]配置不同的检测器^[20-24]来检测 PC 的含量。但文献方法在实际检测中发现存在杂质色谱峰干扰、测试结果重现性差等问题。

卵磷脂粉饮品中 PC 大多数是由大豆类植物提取获得,因而也称大豆 PC^[25]。由于饮品的配方成分比较复杂,按照反相色谱法使用不同浓度的乙醇水溶液萃取样品,分离度未能达到检测要求。

近年研究中发现,二酰胺基色谱柱(Hilic)对强极性化合物的分离效果理想^[26-27],但应用于 PC 的检测很少,考虑到 PC 也具有亲水性,本研究使用亲水作用色谱法搭配紫外检测器来分离 PC。通过方法学的考察,探索 Hilic 亲水作用^[28-30]高效液相色谱法的优点或者特点,并建立 Hilic 柱高效液相色谱法检测卵磷脂粉饮品中 PC 的含量,可为 Hilic 亲水作用色谱分离研究提供更多的应用数据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

大豆卵磷脂粉(市售); 磷脂产品(纯度 80%, 市售)。
PC 标准品(纯度 99.7%, 中国食品药品检定研究所); 甲醇、乙腈(色谱纯, 德国 MERCK 公司); 氯仿(分析纯, 广州化学试剂厂)。

1.2 仪器与设备

Alliance 高效液相色谱仪(配置紫外检测器, 美国 Waters 公司); XPE205 分析天平(感量为 0.1 mg, 瑞士

METTLER 公司); Elma S180H 超声波水浴器(广东东南科创科技有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 标准储备溶液的制备

准确称取 PC 标准品 50 mg, 用甲醇溶解并定容到 50 mL, 质量浓度为 1.00 mg/mL, 在 4 °C 下保存, 备用。

1.3.2 样品前处理

精密称取约 0.1 g 大豆磷脂粉末于 25 mL 容量瓶中, 加入 20 mL 萃取液-氯仿甲醇溶液(2:1, V:V)超声提取 20 min, 冷却至室温, 萃取液定容, 混匀。通过 0.22 μm 膜过滤即得样品溶液。

1.3.3 制备标准工作溶液

使用标准储备溶液按表 1 配制相应浓度的标准工作溶液, 过 0.22 μm 有机滤膜过滤, 在 4 °C 下保存。

表 1 标准工作溶液配制
Table 1 Preparation of standard working solution

序号	移取体积/mL	定容体积/mL	质量浓度/(mg/mL)
1	0.1	10	0.009971
2	0.2	10	0.019940
3	0.5	10	0.049860
4	1.0	10	0.099710
5	2.0	10	0.199400
6	5.0	10	0.498600

1.3.4 色谱分析条件

色谱柱为有亲水作用的 XBridge Hilic BEH (250 mm×4.6 mm, 5 μm), 流动相 A 相为乙腈, B 相为乙腈水溶液(2:1, V:V), 按表 2 进行梯度洗脱, 检测波长为 205 nm, 流量为 1.0 mL/min, 进样量 10 μL。

表 2 梯度洗脱设置
Table 2 Gradient elution setting

时间/min	流速/(mL/min)	A/%	B/%
0	1.0	100	0
8	1.0	80	20
12	1.0	55	45
16	1.0	20	80
20	1.0	0	100
22	1.0	0	100
24	1.0	100	0
25	1.0	100	0

1.3.5 方法验证

称取大豆卵磷脂粉样品, 按照色谱优化后的方法, 平行测定 6 次, 计算 PC 的相对标准偏差, 考察方法的重现性; 根据大豆磷脂中 PC 的含量, 按本底值的 40%、60%、80% 共 3 个水平, 完成加标回收率实验, 从而计算和评估方法的准确度。

1.4 数据处理

本研究检测数据的定性定量分析和目标物质质谱图在沃特世 Empower 3 on WAT 12 软件中完成, 数据分析利用 Microsoft Excel 365 进行数据录入及整理, 可视化图形的绘制由 Minitab 21 软件完成。

2 结果与分析

2.1 色谱条件的优化

流动相洗脱条件为: A 相为乙腈, B 相为乙腈水溶液 (2:1, V:V), 按表 2 梯度洗脱, 色谱柱为硅胶柱 LiChro CART Si 60A 5 (250 mm×4.0 mm, 5 μ m), 测定 PC 样品含量时, 目标峰拖尾因子为 1.4, 峰宽不尖锐。色谱图如图 1 所示。

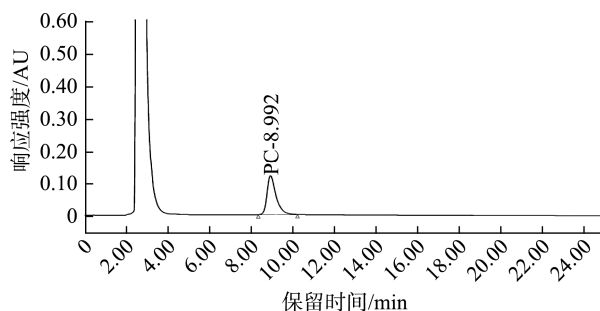


图 1 PC 供试样品的色谱图(1)

Fig.1 Chromatogram of PC samples (1)

流动相洗脱条件为: A 相为乙腈, B 相为乙腈水溶液 (2:1, V:V), 按表 2 梯度洗脱, 色谱柱为有亲水作用的 Zic-cHilic (100 mm×4.6 mm, 3 μ m), 测定 PC 样品含量时, 峰高明显增加, 峰形比硅胶柱改善, 但目标峰附近有干扰峰, 分离效果不佳。色谱图如图 2 所示。

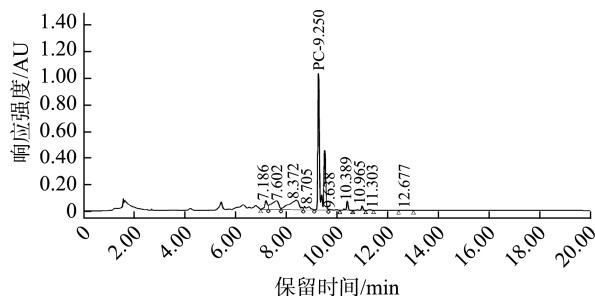


图 2 PC 供试样品的色谱图(2)

Fig.2 Chromatogram of PC samples (2)

流动相洗脱条件为: A 相为乙腈, B 相为乙腈水溶液 (2:1, V:V), 按表 2 梯度洗脱, 色谱柱为有亲水作用的 XBridge Hilic BEH (250 mm×4.6 mm, 5 μ m), 高效液相色谱法在测定 PC 含量时, PC 标准品和供试样品的色谱图如图 3 所示。标准品和样品峰型良好, 目标峰附近没有杂峰或干扰峰出现。

最终确定色谱柱为: 有亲水作用的 XBridge Hilic BEH (250 mm×4.6 mm, 5 μ m)。

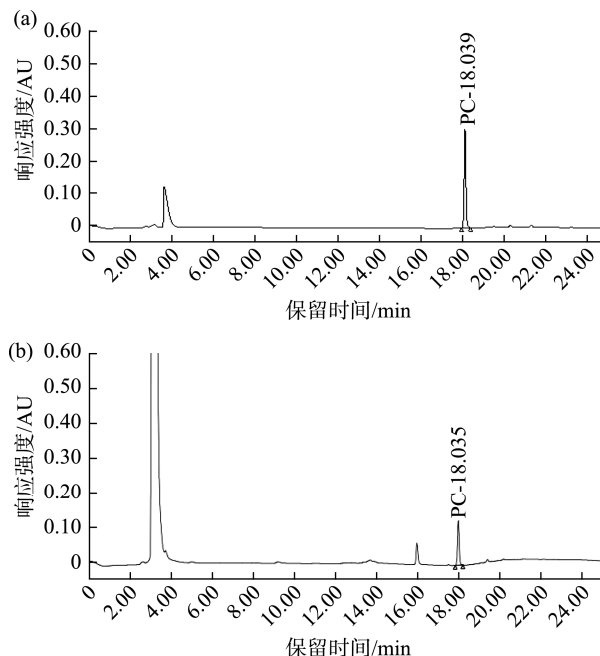


图 3 PC 标准品(a)和供试样品(b)的色谱图

Fig.3 Chromatograms of PC standards (a) and samples (b)

2.2 提取溶剂的选择

有研究表明, 低碳醇适合提取 PC, 超声强化乙醇提取^[31]是可行的萃取方法, 但使用不同浓度的乙醇水溶液萃取供试样品时, 测得 PC 峰附近有一定的干扰。按照 GB 5009.272—2016 的前处理, 直接用氯仿提取样品, 用反相色谱法进样分析可能存在问题。本研究配制不同浓度的氯仿甲醇溶液来萃取样品, 以化合物响应值和峰形态为评价标准, 发现当氯仿甲醇溶液=2:1 (V:V)时, 溶剂能极好地溶解样品, 测出的目标峰分离度良好, 峰形也好, 回收率也能达到检测要求。因此本研究选择氯仿甲醇溶液(2:1, V:V)作为大豆卵磷脂粉饮品供试品的提取溶剂。

2.3 方法学验证

2.3.1 线性关系和检出限

将表 1 溶液测得的 PC 峰面积(Y)为纵坐标, 质量浓度(X, mg/mL)为横坐标绘制标准曲线(图 2), 得到回归方程为

$Y=1905354X-13127$ ($r^2=0.9994$), 表明 PC 在 0.009971~0.498600 mg/mL 范围内具有良好的线性关系。按照色谱仪 3 倍信噪比(S/N), 得出本方法的检出限为 7.5 $\mu\text{g/g}$, 比 GB 5009.272—2016 方法检测 PC(检出限为 1.2 mg/g)的灵敏度高。

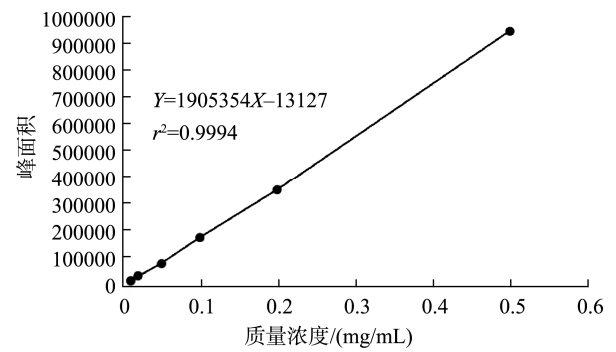


图 4 PC 标准曲线
Fig.4 Standard curve of PC

2.3.2 重复性实验

按实验方法要求, 制备供试品样品 6 份, 并检测样品中 PC 含量, 结果见表 3。样品含量的相对标准偏差为 1.18%, 说明该方法重复性良好, 适用于检测饮品中 PC 含量。

表 3 PC 含量 Table 3 PC content		
测定次数	PC 含量/(mg/g)	相对标准偏差/%
1	60.49	1.18
2	61.34	
3	60.15	
4	61.92	
5	60.24	
6	61.31	
平均值	60.91	

2.3.3 准确度

按实验方法要求, 制备供试品样品 9 份, 加入低、中、高 3 个水平的加标溶液, 由表 4 可知, PC 的回收率为 95.39%~99.52%, 回收率的相对标准偏差为 1.29%, 平均回收率为 97.65%, 都能达到检测的要求。采用这个方法检测卵磷脂粉饮品中 PC 含量具有较好的准确度。

2.3.4 稳定性实验

按实验方法要求, 制备供试品样品, 分别于 0、2、4、8、12、24 h 进样, 通过比较峰面积的大小变化来评价样品溶液的稳定性, 检测结果见表 5。平均值为 5337566, 相对标准偏差为 0.49%, 表明该样品溶液在 0~24 h 内较为稳定, 符合《中国药典》2020 版 9101 分析方法验证指导原则。

表 4 准确度结果(n=3)
Table 4 Results of accuracy (n=3)

PC 加标量 /mg	PC 本底值 /mg	PC 测定值 /mg	PC 回收率 /%	平均回收率 /%	PC 的相对标准偏差 /%
2.6002	6.2312	8.7573	97.15	97.65	1.29
	8.5060	11.0390	97.42		
	7.3625	9.8427	95.39		
3.9002	7.9678	11.8130	98.59		
	6.6592	10.4196	96.41		
	7.7722	11.6538	99.52		
5.2003	7.2646	12.3980	98.71		
	7.6743	12.7420	97.45		
	8.3225	13.4276	98.17		

表 5 样品溶液的稳定性
Table 5 Stabilities of sample solution

时间/h	峰面积	平均值	相对标准偏差/%
0	537457	5337566	0.49
2	536340		
4	533311		
8	530884		
12	532758		
24	531785		

2.3.5 实际样品测定

用本方法对 3 个厂家 4 种大豆磷脂产品中 PC 含量进行测定。由表 6 可知, 不同大豆磷脂样品中测得 PC 的含量与 COA 相差不大, 说明该方法可用于大豆磷脂中的 PC 的检测, 结果准确。

表 6 大豆磷脂中 PC 的测定结果
Table 6 Determination results of PC in soybean phospholipids

样品编号	PC 含量/%	PC 平均含量/%	COA 值/%
厂家 1 产品	18.10	18.16	16.60
	18.22		
厂家 2 产品	78.46	79.66	80.80
	80.86		
厂家 3 产品 a	31.86	31.88	35.65
	31.91		
厂家 3 产品 b	22.38	22.30	21.84
	22.23		

注: 厂家质量报告(certificate of analysis, COA)。

3 结 论

本研究建立了 Hilic 柱高效液相色谱法检测大豆卵磷脂粉饮品中的 PC。该方法使用有亲水作用的 Hilic 柱分离 PC, 氯仿甲醇溶液(2:1, V:V)作为提取溶剂, 乙腈-水二元体系作为流动相, 超声处理即可上机检测, 不需要过氨基

固相萃取柱净化样品, 提高了检测效率。相比 GB 5009.272—2016, 目标峰的保留时间大大提前, 缩短了检测时间。经过方法学考察, 目标峰峰形良好, 分离度、线性关系和重复性都能满足检测的要求, 检出限为 7.5 $\mu\text{g/g}$, 相比国标方法, 灵敏度更高, 加标回收率在 95.39%~99.52%之间, 准确度较高, 实际检测值与产品出厂检测报告值比结果差异不大。本研究结果可丰富卵磷脂中 PC 的检测方法, 为 PC 的高效检测提供参考。

参考文献

- [1] 尹明雨, 张彩霞, 松冈亮辅, 等. 卵磷脂的生物活性及其应用研究进展[J]. 包装工程, 2020, 41(13): 31–39.
- YIN MY, ZHANG CX, RYOSUKE M, *et al.* Advances in biological activity and application of phosphatidylcholine [J]. Packag Eng, 2020, 41(13): 31–39.
- [2] 罗有文, 卢劲晔, 曹云, 等. 深海鱼油与大豆卵磷脂对犬血脂和抗氧化功能的影响[J]. 家畜生态学报, 2019, 40(4): 48–51.
- LUO YW, LU JY, CAO Y, *et al.* Effects of deep-sea fish oil and soybean phospholipid on serum-lipid and anti-oxidant status of poodle [J]. Acta Ecol Anim Doma, 2019, 40(4): 48–51.
- [3] 洪烨, 倪艳, 傅君芬. 溶血磷脂酰胆碱在肥胖相关代谢性疾病中的研究进展[J]. 中国科学, 2024, 84: 1–15.
- HONG Y, NI Y, FU JF. Research progress of lysophosphatidylcholines in obesity-related metabolic diseases [J]. Sci Sin Vit, 2024, 84: 1–15.
- [4] 刘建成, 臧长江, 李凤鸣. 大豆磷脂的生理作用及其在动物生产中的应用的研究进展[J]. 饲料研究, 2024, 19(5): 156–159.
- LIU JC, ZANG CJ, LI FM, *et al.* Research progress on physiological function of soybean lecithin and its application in animal production [J]. Feed Res, 2024, 19(5): 156–159.
- [5] CAI ZN, FENG SH, XIANG XJ, *et al.* Effects of dietary phospholipid on lipase activity, antioxidant capacity and lipid metabolism-related gene expression in large yellow croaker larvae (*Larimichthys crocea*) [J]. Comp Biochem Physiol Biochem Molec Biol, 2016, 201: 46–52.
- [6] LIN ZD, BU XY, WANG N, *et al.* Dietary phospholipid alleviates the adverse effects of high-lipid diet in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Aquaculture, 2021, 531: 735899.
- [7] 栾金玲, 程倩, 梁秋元, 等. 大豆磷脂软胶囊对人体降血脂功能的研究[J]. 食品工业, 2023, 44(3): 148–153.
- LUAN JL, CHENG Q, LIANG QY, *et al.* Study on the function of soybean phospholipid soft capsules in lowering blood lipid [J]. Food Ind, 2023, 44(3): 148–153.
- [8] 崔常乐, 滕英来, 汪勇, 等. 核磁共振磷谱内标法测定磷脂酰胆碱的含量[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(5): 159–162.
- CUI CL, TENG YL, WANG Y, *et al.* Quantitative determination of phosphatidylcholine by ^{31}P nuclear magnetic resonance (^{31}P -NMR) with internal standard method [J]. J Chin Cere Oils Ass, 2016, 31(5): 159–162.
- [9] 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 Y, LI ZH. Effects of sea cucumber phospholipids on cognitive function in Alzheimer's disease model rats [J]. Chin Clin Res, 2019, 32(7): 915–918.
- [10] 周梦丽, 饶先玥, 方婧, 等. 大豆磷脂散对神经损伤保护作用的研究[J]. 安徽医科大学学报, 2024, 59(5): 797–802.
- ZHOU ML, RAO XY, FANG J, *et al.* Study on the protective effect of soybean phospholipid powder on nerve injury [J]. Acta Univ Med Anhui, 2024, 59(5): 797–802.
- [11] 范志影, 石冬冬, 常碧影, 等. 高效液相色谱法测定大麦虫磷脂酰胆碱含量[J]. 生物技术进展, 2014, 4(1): 59–62.
- FAN ZY, SHI DD, CHANG BY, *et al.* Determination of phosphatidylcholine in *Zoehydromorpha* L. by high performance liquid chromatography [J]. Curren Biotechnol, 2014, 4(1): 59–62.
- [12] 林辉, 关晴, 刁富城. 正相高效液相色谱法测定琥珀酸曲列汀中的 (R)-3-氨基哌啶[J]. 广东化工, 2023, 50(504): 133–135.
- LIN H, GUAN Q, DIAO FC. Determination of (R)-3-aminopiperidinein trelagliptin succinate by normal phase high performance liquid chromatography [J]. Guangdong Chem, 2023, 50(504): 133–135.
- [13] 刘彬丽, 唐亚利, 金绍明, 等. 高效液相色谱法测定大豆磷脂类保健食品中磷脂酰胆碱含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(1): 90–94.
- LIU BL, TANG YL, JIN SM, *et al.* Determination of phosphatidylcholine from soybean phospholipid health products by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(1): 90–94.
- [14] 王海波, 莫紫梅, 袁光蔚, 等. 高效液相色谱法测定磷脂软胶囊中磷脂酰胆碱、磷脂酰肌醇、磷脂酰乙醇胺的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(2): 579–585.
- WANG HB, MO ZM, YUAN GW, *et al.* Determination of phosphatidylcholines, phosphatidyl ethanolamine and phosphatidylinositol in phospholipid soft capsules by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(2): 579–585.
- [15] 王瑞, 段旭林, 张琦弦, 等. 氨基柱高效液相色谱法检测大豆提取物中的磷脂酰胆碱[J]. 中国测试, 2022, 48(4): 68–72.
- WANG R, DUAN XL, ZHANG QX, *et al.* Determination of phosphatidylcholine in soybean extract by high performance liquid chromatography with amino column [J]. Chin Measurment Test, 2022, 48(4): 68–72.
- [16] 贺茜, 吕卓, 史朝辉, 等. 高效液相色谱法测定大豆磷脂类保健食品中的磷脂酰胆碱、磷脂酰乙醇胺、磷脂酰肌醇[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(19): 6793–6797.
- HE Q, LV Z, SHI ZY, *et al.* Determination of phosphatidylcholine, phosphatidylethanolamine and phosphatidylinositol in soybean phospholipid health food by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(19): 6793–6797.
- [17] 刘鹏莉, 张双灵, 魏玉良, 等. 分光光度法测定大豆卵磷脂中磷脂酰胆碱含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(2): 555–561.
- LIU PL, ZHANG SL, WEI YL, *et al.* Spectrophotometric method determination of phosphatidyl choline content in soybean lecithin [J]. J Food Saf Qual, 2013, 4(2): 555–561.
- [18] 朱梦男, 金日生, 张华, 等. 反相高效液相色谱法测定大豆磷脂中磷脂酰胆碱含量[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(11): 159–162.
- ZHU MN, JIN RS, ZHANG H, *et al.* Determination of phosphatidylcholine content in soybean phospholipids by reversed phase high performance liquid chromatography method [J]. J Cere Oils, 2023, 36(11): 159–162.
- [19] 胡明月, 卢文燕, 杨静娜, 等. 不同粒径牛乳脂肪球中磷脂酰胆碱含量

- 的质谱分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2022(16): 38–43.
- HU MY, LU WY, YANG JN, *et al.* Mass spectrometry analysis of phosphatidylcholine content in cow's milk fat globules with different sizes [J]. Heilongjiang Anim Sci Vet Med, 2022(16): 38–43.
- [20] 黄思静, 汪义杰, 朱斌. 超高效液相色谱-高分辨质谱法测定磷脂酰胆碱的含量[J]. 化学试剂, 2018, 40(4): 341–344.
- HUANG SJ, WANG YJ, ZHU B. UPLC-HRMS for determination of phosphatidylcholine [J]. Chem Reagent, 2018, 40(4): 341–344.
- [21] 要爽. 高效液相色谱法测定牛奶中磷脂酰胆碱的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(14): 4722–4725.
- YAO S. Determination of phosphatidylcholine in milk by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(14): 4722–4725.
- [22] 陈兴, 张娟, 张军慧. 聚能式脉冲超声-HPLC-ELSD 测定概念鸡蛋中磷脂酰胆碱[J]. 食品工业, 2020, 41(6): 314–318.
- CHEN X, ZHANG J, ZHANG JH. Determination of phosphatidylcholine in conceptual eggs by energy-gathered pulsed ultrasonic-HPLC-ELSD [J]. Food Ind, 2020, 41(6): 314–318.
- [23] 刘悦含, 刘婷婷, 牛静琪, 等. 基于液相色谱-离子阱飞行时间质谱的大豆磷脂组分分析[J]. 卫生研究, 2023, 52(3): 465–473.
- LIU YH, LIU TT, NIU JQ, *et al.* Analysis of soybean phospholipids based on liquid chromatography-ion trap-time of flight-mass spectrometry [J]. J Hyg Res, 2023, 52(3): 465–473.
- [24] 吴盼盼, 王春贺, 姜晓菊, 等. HPLC-ELSD 法测定卵磷脂片中的磷脂酰乙醇胺和蛋黄磷脂酰胆碱[J]. 中国医药工业杂志, 2024, 55(2): 271–274.
- WU PP, WANG CH, JIANG XJ, *et al.* Determination of phosphatidyl ethanolamine and egg yolk phosphatidylcholine in lecithin tablets by HPLC-ELSD [J]. Chin J Pharm, 2024, 55(2): 271–274.
- [25] 林森, 陈磊, 时文兴, 等. 液相色谱法测定核桃中磷脂酰胆碱含量[J]. 上海电气技术, 2023, 16(1): 64–68.
- LIN M, CHEN L, SHI WX, *et al.* Determination of phosphatidylcholine content in walnuts by liquid chromatography [J]. J Shanghai Elect Technol, 2023, 16(1): 64–68.
- [26] 廖欣怡, 曹雅, 杨雅楠, 等. HILIC-HPLC 法检测三乙基四胺铜的含量[J]. 西南民族大学学报, 2023, 49(4): 409–413.
- LIAO XY, CAO Y, YANG YN, *et al.* Determination of triethylenetetramine copper by HILIC-HPLC [J]. J Southwest Minzu Univ, 2023, 49(4): 409–413.
- [27] 黄晓艳, 于晓慧, 张萍. 高效液相色谱-二酰胺基色谱柱 HILIC 模式下对人参口服液中三种人参皂苷的测定[J]. 山东化工, 2024, 53(14): 170–175.
- HUANG XY, YU XH, ZHANG P. Determination of 3 kinds of ginsenosides in ginseng oral liquid by high performance liquid chromatography-diamide-based column with HILIC mode [J]. Shandong Chem Ind, 2024, 53(14): 170–175.
- [28] 郑旭颖, 孙晓杰, 李兆新, 等. 利用亲水作用色谱-质谱联用技术检测-贝类毒素研究进展[J]. 海洋湖沼通报, 2024, 46(2): 187–191.
- ZHENG XY, SUN XJ, LI ZX, *et al.* Progresses in detecting shellfish toxins with hydrophilic interaction chromatography-mass spectrometry [J]. Marin Lake Marsh Notif, 2024, 46(2): 187–191.
- [29] 黄燕, 张兴, 蒋婷婷, 等. 反相/亲水相互作用双模式交替液相色谱-串联质谱分离系统的构建及其在代谢物全谱研究中的应用[J]. 色谱, 2024, 50(10): 1–8.
- HUANG Y, ZHANG X, ZHANG TT, *et al.* Construction of an alternating reversed phase and hydrophilic interaction liquid chromatography tandem mass spectrometry dual mode chromatography system and its application in comprehensive metabolite profiling and analysis [J]. Chin J Chromatogr, 2024, 50(10): 1–8.
- [30] 陈韦韦, 袁旻嘉. 亲水作用色谱-三重四极杆串联质谱法 测定化妆品中的牛磺酸和硫代牛磺酸[J]. 上海轻工业, 2024(5): 121–123.
- CHEN WW, YUAN MJ. Hydrophilic interaction chromatography triple quadrupole tandem mass spectrometry determination of taurine and thiotaurine in cosmetics [J]. Shanghai Light Ind, 2024(5): 121–123.
- [31] 余祥英, 王志祥, 周黎明. 超声波辅助提取大豆磷脂酰胆碱的研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(7): 27–29.
- YU XY, WANG ZX, ZHOU LM. Ultrasonic-assisted extraction of phosphatidylcholine from soybean phospholipids [J]. J Chin Cere Oils Assoc, 2010, 25(7): 27–29.

(责任编辑: 于梦娇 安香玉)

作者简介



颜方亮, 助理工程师, 主要研究方向为食品和保健食品质量检测。
E-mail: 573246322@qq.com