

基于PC型EPA含量评价南极磷虾油产品

范雁^{1,2}, 杨森¹, 姜君鹏^{1,2}, 冯迪娜¹, 薛松^{3*}

(1. 中国科学院大连化学物理研究所, 辽宁大连 116023; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 大连理工大学生物工程学院, 辽宁大连 116024)

摘要: 南极磷虾油中卵磷脂(lecithin, PC)型二十碳五烯酸(ecosapentaenoic acid, EPA)相比于非PC型EPA具有更高的生物活性和生物利用度。为鉴定南极磷虾油中PC型EPA的分布比例, 通过薄层色谱法分离南极磷虾油中的PC, 利用气相色谱方法对其中的EPA进行定量。测定6种不同来源南极磷虾油中PC型EPA的含量, 利用南极磷虾油PC型EPA含量占总EPA含量的比例这一参数评价南极磷虾油的品质。研究表明, 二十碳五烯酸甲酯(methyl ecosapentaenoic acid, EPA-ME)相比于内标十七烷酸甲酯(methyl heptadecanoate, C17:0-ME)的相对质量校正因子为1.52; 所筛选出的优质南极磷虾油的PC型EPA含量占总EPA含量的比例在60%以上, 最高可达70%。

关键词: 南极磷虾油; 卵磷脂; 磷脂酰胆碱; 二十碳五烯酸; 品质分析

Evaluation of Antarctic Krill Oil Products Based on Their Content of EPA from PC

FAN Yan^{1,2}, YANG Miao¹, JIANG Jun-peng^{1,2}, FENG Di-na¹, XUE Song^{3*}

(1. Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023, Liaoning, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. School of Bioengineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, China)

Abstract: Lecithin (PC) associated ecosapentaenoic acid (EPA) from Antarctic krill has higher biological activity and bioavailability than non-PC associated EPA. To quantify the distribution ratio of PC-associated EPA in krill oil, the PC in Antarctic krill oil was isolated by thin-layer chromatography and its EPA was quantified by gas chromatography. The content of PC-associated EPA in six kinds of Antarctic krill oil from different sources was accurately determined. Antarctic krill oil quality was evaluated using the ratio of PC-associated EPA to total EPA. The relative mass correction factor for methyl ecosapentaenoic acid (EPA-ME) was 1.52, compared with the internal standard, methyl heptadecanoate (C17:0-ME). The ratio of PC-associated EPA to total EPA in high quality Antarctic krill oil ranged from >60% to 70%.

Key words: Antarctic krill oil; phospholipids; phosphatidylcholine; ecosapentaenoic acid; quality evaluation

引文格式:

范雁, 杨森, 姜君鹏, 等. 基于PC型EPA含量评价南极磷虾油产品[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(15): 158-162.

FAN Yan, YANG Miao, JIANG Junpeng, et al. Evaluation of Antarctic Krill Oil Products Based on Their Content of EPA from PC[J]. Food Research and Development, 2021, 42(15): 158-162.

南极磷虾是南极海洋中主要的磷虾种类, 近年来, 磷虾的营养保健功能已被广泛报道^[1-3], 其独特的

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20200708050YY); 中国博士后科学基金资助项目(2020M670806)

作者简介: 范雁(1993—), 女(汉), 博士, 研究方向: 南极磷虾油及其相关酶。

* 通信作者: 薛松(1972—), 女(汉), 教授, 博士, 研究方向: 蛋白质定向进化与酶的改造。

营养成分使得人们对磷虾产品研发的兴趣日益增加。极性脂和甘油三酯(tiglyceride, TAG)是南极磷虾的主要脂质组分, 分别占其总脂含量的56%~81%和12%~38%^[4]。南极磷虾油是从整个南极磷虾或磷虾粉获得的脂质提取物, 磷虾油中磷脂(phospholipid, PL)占总脂含量的40%以上^[5], 这与植物食用油以TAG(>95%)为主要脂质组分不同。南极磷虾油富含 ω -3型多不饱和脂肪酸(ω -3 polyunsaturated fatty acids, ω -3 PUFA), 特

别是二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)。研究表明, EPA 和 DHA 作为重要的功能性脂肪酸能改善人类的大脑功能^[9]、降低心血管风险^[10]和减少慢性炎症^[8]等。磷虾中的 EPA 和 DHA 主要以磷脂形式存在^[9-10], 而鱼类中的 ω -3 PUFA 主要以 TAG 形式存在。研究表明, 相比于 TAG 型 EPA 和 DHA, PL 型 EPA 和 DHA 能够更好地渗入组织中, 具有更强的心脏保护作用^[11]和生物活性^[12]。随着消费者对高品质磷虾油的需求量不断增加, 市场上出现的许多品牌的南极磷虾油, 品质差异较大^[13]。为了磷虾油产业的健康发展, 要健全其产品的过程控制及质量的评价体系。目前 EPA 和 DHA 含量为磷虾油品质评价指标之一^[14], 通过在磷虾油产品中添加鱼油可提高 EPA 和 DHA 含量。因此建立更准确地评价磷虾油产品方法对于磷虾油产品市场健康发展具有重要意义^[15-16]。

基于内标十七烷酸甲酯(methyl heptadecanoate, C17:0-ME)的 EPA 定量分析方法, 通过薄层色谱(thin-layer chromatography, TLC)分离, 采用气相色谱法定量分析南极磷虾油卵磷脂(lecithin, PC)型 EPA 的含量, 提出南极磷虾油 PC 型 EPA 占总 EPA 比例的评价指标, 这一指标可以有效定量 EPA 的单一存在形式, 甄别出含有外源添加 EPA 的南极磷虾油, 本文利用该指标分析了 6 种不同来源南极磷虾油的品质, 为南极磷虾产品的质量控制评价提供了科学依据。

1 材料与方法

1.1 试剂

正己烷(色谱纯): 德国 Merck 公司; 氯仿、甲醇、三乙胺、丙酮(分析纯): 天津科密欧有限公司; 二十碳五烯酸甲酯(methyl eicosapentaenoate, EPA-ME)标准品(纯度 \geq 98.5%)、C17:0-ME 标准品(纯度 \geq 99%)、磷脂酰乙醇胺(phosphatidyl ethanolamine, PE)标准品(纯度 \geq 99%)、PC 标准品(纯度 \geq 99%): 美国 SIGMA 公司。

1.2 南极磷虾油样品

南极磷虾油样品及厂家见表 1。

表 1 南极磷虾油样品及其厂家
Table 1 Antarctic krill oil samples and manufacturers

样品	厂家
1, 2, 3	中国吉林省中冠生物科技(珲春)有限公司
4	美国纽曼斯公司
5	澳大利亚斯维诗公司
6	加拿大维柏健公司
7	英国邦利公司
8	德国双心公司
9	美国海王星公司

1.3 仪器与设备

7890B 型气相色谱仪(附氢火焰离子化检测器): 美国 Agilent 公司; BS210S 分析天平: 德国 Sartorius 公司; Silica gel 60 F254 硅胶板(0.20 mm, 20 cm \times 20 cm): 德国 Merck 公司。

1.4 试验方法

1.4.1 标准品溶液的配制

EPA-ME 标准溶液: 用正己烷分别配制成浓度为 0.20、0.23、0.29、0.33、0.39 mg/mL; C17:0-ME 标准溶液: 用正己烷分别配制成浓度为 0.04、0.19、0.38、0.57、0.76 mg/mL, 现配现用。

1.4.2 南极磷虾油样品转酯化

称量南极磷虾油样品至 10 mL 圆底烧瓶中, 加入 5 mL 2%的 H₂SO₄-甲醇, 70 °C 油浴反应 1 h。反应结束后冷却至室温(25 °C), 向烧瓶中加入 2 mL 正己烷和 0.75 mL 蒸馏水, 混合 30 s^[17]。取上层有机相进行气相色谱分析^[18]。

1.4.3 气相色谱检测条件

色谱柱: DB-23 色谱柱(30 m \times 0.32 mm \times 0.25 μ m), 色谱柱升温程序: 130 °C 保持 1 min; 130 °C~170 °C, 10 °C/min; 170 °C~215 °C, 2.8 °C/min 保持 1 min。进样口温度: 270 °C, 氢火焰离子化检测器温度: 270 °C, 进样方式: 分流进样, 分流比 10:1, 进样量: 1 μ L, 载气: 高纯氮气(99.99%)。

1.4.4 校正因子的计算

分别读取 EPA-ME 和 C17:0-ME(内标)峰面积, 按下式计算校正因子。

$$f = \frac{A_{\text{内标}} \times M_{\text{标准品}}}{A_{\text{标准品}} \times M_{\text{内标}}} \quad (1)$$

式中: f 为校正因子; $A_{\text{内标}}$ 为内标 C17:0-ME 峰面积; $A_{\text{标准品}}$ 为 EPA-ME 峰面积; $M_{\text{内标}}$ 为内标 C17:0-ME 质量, mg; $M_{\text{标准品}}$ 为 EPA-ME 的质量, mg。

1.4.5 南极磷虾油中 EPA 含量的测定

采用校正的内标法对 EPA 进行定量, EPA 的含量(x_i)计算公式如下。

$$x_i/\% = \frac{A_i \times M_{\text{内标}}}{A_{\text{内标}} \times M_i} \times f \times 100 \quad (2)$$

式中: A_i 为 EPA 的峰面积; $A_{\text{内标}}$ 为内标 C17:0-ME 的峰面积; M_i 为所称取南极磷虾油的准确质量, mg; $M_{\text{内标}}$ 为内标 C17:0-ME 质量, mg。

1.4.6 PC 型 EPA 含量的定量分析

称取等质量的南极磷虾油样品, 用氯仿溶解于硅胶板上, 展开剂采用氯仿: 甲醇: 水: 三乙胺(50:40:8:

50, 体积比)^[19]。待溶剂完全挥发后, 利用浓度 0.05% (溶剂为 20%水和 80%丙酮) 樱草黄喷雾显色, 紫外灯 365 nm 下观察。将 PC 条带刮下, 按照 1.4.2 和 1.4.3 进行转酯化和气相色谱分析。

1.5 统计分析

试验数据采用 SPSS 18.0 进行统计分析, 结果以平均值±标准偏差表示 (n=3), 利用单因素方差分析 (ANOVA) 对不同南极磷虾油产品品质的差异显著性

进行分析, 当差异显著时, 对数据进行 Turkey 多重比较分析, 以 $P < 0.05$ 作为差异显著性水平。

2 结果与分析

2.1 基于 C17:0-ME 内标法的 EPA 定量分析

C17:0-ME、EPA-ME 标准品及不同来源南极磷虾油样品的气相色谱图见图 1。

由图 1 可知, EPA-ME 和 C17:0-ME 标准品的保

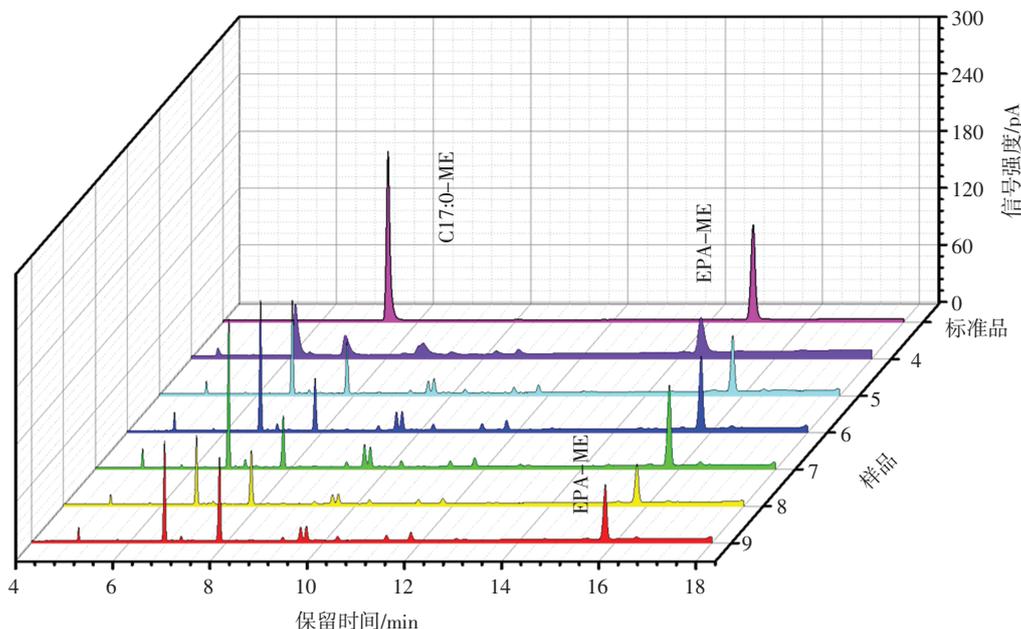


图 1 C17:0-ME、EPA-ME 标准品及不同来源南极磷虾油样品的气相色谱图

Fig.1 The gas chromatograph of EPA-ME, C17:0-ME standards and Antarctic krill oil samples from different sources

留时间分别为 14.9、7.5 min, 两种脂肪酸甲酯完全分离。此外, 南极磷虾油样品 4 的 EPA-ME 的保留时间为 14.9 min, 样品 5~9 的 EPA-ME 的保留时间为 15.8 min。从气相色谱分析图中可以定性比较不同来源南极磷虾油样品 PC 型 EPA 的含量, 图 1 显示, 样品 6 和样品 7 的 PC 型 EPA 的含量较高, 样品 5 和 9 次之, 样品 4 和 8 较低。

不同浓度 EPA-ME 对内标 C17:0-ME 的相对质量校正因子见表 2。

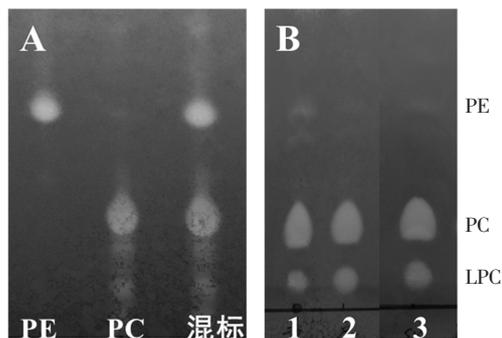
表 2 EPA-ME 对内标 C17:0-ME 的相对质量校正因子
Table 2 The relative mass correction factor of EPA-ME in relative to the internal standard C17:0-ME

C17:0-ME		EPA-ME		$f(EPA-ME/C17:0-ME)$	$f_{\text{平均值}}$
质量浓度/ (mg/mL)	峰面积	质量浓度/ (mg/mL)	峰面积		
0.04	58.7	0.20	189.9	1.55	1.52 ± 0.03
0.19	309.6	0.23	240.1	1.56	
0.38	622.3	0.29	317.8	1.50	
0.57	950.1	0.33	367.4	1.50	
0.76	1 265.3	0.39	440.5	1.47	

由表 2 可知, C17:0-ME 浓度的线性范围为 0.04 mg/mL~0.76 mg/mL, 在该范围内得到 EPA-ME 对 C17:0-ME 的相对质量校正因子为 1.52。

2.2 南极磷虾油 PC 型 EPA 的定量分析及 PC 型 EPA 含量占总 EPA 含量比例的确定

磷脂标准品和样品 1~3 的磷脂分离见图 2。



A. PE 标准品、PC 标准品、PE 与 PC 的混合标准品; B. 样品 1~3。

图 2 磷脂标准品和南极磷虾油磷脂的分离

Fig.2 Separation of phospholipid standard and Antarctic krill oil phospholipid

由图 2 可知, 南极磷虾油的 PL 主要包括 PC、溶血

磷脂酰胆碱(lysolecithin, LPC)和 PE, 而 PC 和 LPC 是南极磷虾油的主要组分, 本研究测定的 PC 组分是分离的 PC 和 LPC 含量之和。

基于 C17:0-ME 对 EPA-ME 的相对质量校正因子计算得到南极磷虾油样品 1~3 的 PC 型 EPA 的含量, 具体见表 3。

表 3 南极磷虾油样品 1~3 的品质分析

Table 3 Quality evaluation of Antarctic krill oils samples 1-3

样品编号	PC 型 EPA 含量/%	总 EPA 含量/%	(PC 型 EPA 含量/总 EPA 含量)/%
1	11.2±0.6 ^b	15.8±0.4 ^b	71.0±1.6 ^b
2	6.0±0.5 ^a	11.6±0.3 ^a	51.7±3.0 ^a
3	10.0±0.4 ^b	11.9±0.3 ^a	84.7±5.0 ^c

注: 同一列数值带有同一字母上标表示差异不显著($P>0.05$); 带有不同字母上标表示差异显著($P<0.05$)。

从 TLC 中获得的 PC 组分, 由于量非常少, 大约为 0.5 mg~1 mg, 用称重法难以进行准确定量。因此, 将 TLC 分离得到的样品 PC 经转酯化进行了脂肪酸甲酯的定量分析。比较样品 1 和 2 的总 EPA 含量以及 PC 型 EPA 的含量, 总 EPA 含量均为南极磷虾油质量的 10% 以上, 样品 1 中的总 EPA 含量比样品 2 高 27%。从总 EPA 含量来分析两个样品的品质, 样品 1 优于样品 2。通过对其 PC 型 EPA 的含量进行测定, 结果显示, 样品 1 的 PC 型 EPA 含量约为样品 2 的 2 倍, 结合总 EPA 的含量, 计算得到两个样品 PC 型 EPA 占总 EPA 含量的比例, 均大于 50%, 且样品 1 比样品 2 高 27%。从这一参数分析两个样品的品质, 得到的结论与通过总 EPA 含量分析得到的结果一致, 说明 PC 型 EPA 含量占总 EPA 含量比例这一参数可以作为分析不同来源南极磷虾油品质的指标, 且能够准确定量南极磷虾油样品中的 PC 型 EPA 含量。此外, 样品 3 所含 PC 型 EPA 含量占总 EPA 含量比例高达 85% 左右。虽然样品 1 和 2 的 PC 型 EPA 含量占总 EPA 含量的比例达到了 50% 以上, 但其品质还能够通过工艺优化进一步提高。

按照 1.4.5 和 1.4.6 方法计算不同来源南极磷虾油(样品 4~9)PC 型 EPA 含量占总 EPA 含量的比例, 结果见表 4。

从测定结果分析, 样品 5 和 6 的总 EPA 含量无显著差异, 但样品 6 中 PC 型 EPA 含量占总 EPA 含量的比例显著高于样品 5, 且样品 6 中 PC 型 EPA 含量是非 PC 型 EPA 含量的 2 倍左右, 综合总 EPA 含量的数据和 PC 型 EPA/总 EPA 含量数据, 说明了样品 6 中 EPA 的存在形式主要是 PC 型。比较样品 5 和 8, 样品 5 的总 EPA 含量约为样品 8 的 2 倍, 但两个样品 PC 型

表 4 不同来源南极磷虾油(样品 4~9)品质的比较

Table 4 Comparison of the quality of Antarctic krill oil samples (4-9) from different sources

样品编号	PC 型 EPA 含量/%	总 EPA 含量/%	(PC 型 EPA 含量/总 EPA 含量)/%	PC 型 EPA 含量/非 PC 型 EPA 含量
4	4.7±0.1 ^b	9.6±0.2 ^b	48.0±0.6 ^b	0.92
5	6.9±0.1 ^d	13.2±0.2 ^c	52.3±0.6 ^b	1.10
6	9.1±0.1 ^c	13.0±0.3 ^c	70.0±2.4 ^c	2.33
7	9.6±0.3 ^c	14.5±0.2 ^d	64.5±0.6 ^c	1.82
8	4.0±0.3 ^a	7.8±0.7 ^a	51.3±0.6 ^b	1.05
9	5.3±0.3 ^c	17.9±0.2 ^e	29.7±1.5 ^a	0.42

注: 同一列数值带有同一字母上标表示差异不显著($P>0.05$); 带有不同字母上标表示差异显著($P<0.05$)。

EPA 含量占总 EPA 含量的比例无显著差异, 同时样品 5 和样品 8 的 PC 型 EPA 含量与非 PC 型 EPA 含量的比值相当, 说明两个样品的 EPA 存在形式是一致的。

样品 9 的总 EPA 含量达到 17.9%, 均高于其它 5 种南极磷虾油, 但其 PC 型 EPA 含量占总 EPA 含量的比例只有 29.7%, 均低于其它 5 种南极磷虾油, 表明该样品的 EPA 主要以非磷脂型 EPA 形式存在, 如 TAG 型或游离型 EPA。因此南极磷虾油中总 EPA 含量不能反映 EPA 的存在形式, 而 PC 型 EPA 含量占总 EPA 含量的比例能够对南极磷虾油 EPA 的存在形式进行准确的表征, 区别出含有外加非磷脂型 EPA 的虾油。PC 型 EPA 含量占总 EPA 含量的比例作为过程控制参数, 也可以表征磷脂的水解情况。

根据这一参数分析本研究中这 6 种南极磷虾油样品的品质, 较优的为样品 6 和样品 7, PC 型 EPA 含量占总 EPA 含量的比例均在 60% 以上; 其次为样品 4、5、8。这 5 种样品 PC 型 EPA 含量占总 EPA 含量的比例在 48%~70% 之间; 而样品 9 的该参数显著低于其它 5 种样品, 以此为标准可以鉴定不同南极磷虾油产品的品质。

3 结论

本研究建立了基于 C17:0-ME 内标法准确测定 EPA 的定量方法, 测定得到的 EPA-ME 相比于 C17:0-ME 的相对质量校正因子为 1.52。结合 TLC 分离定量分析了南极磷虾油 PC 型 EPA 的含量, 提出了 PC 型 EPA 含量占总 EPA 含量的比例这一南极磷虾油品质评价指标, 根据这一参数分析了 6 种不同来源南极磷虾油的品质, 并筛选出优质南极磷虾油(样品 6 和样品 7), 其 PC 型 EPA 含量占总 EPA 含量的比例在 60% 以上, 最高可达 70%, 这些结果为南极磷虾油产品质量标准评价体系的建立提供科学依据。

参考文献:

- [1] TOU J C, JACZYNSKI J, CHEN Y C. Krill for human consumption: Nutritional value and potential health benefits[J]. *Nutrition Reviews*, 2007, 65(2): 63-77.
- [2] 麦康森, 魏玉婷, 王嘉, 等. 南极磷虾的主要营养组成及其在水产饲料中的应用[J]. *中国海洋大学学报*, 2016, 46(11): 1-15.
MAI Kangsen, WEI Yuting, WANG Jia, et al. Main nutrient composition of Antarctic krill and its application in aqua-feeds[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2016, 46(11): 1-15.
- [3] 孙昌华, 祝清芬, 王娜, 等. 南极磷虾油辅助降血脂预防作用与治疗作用的比较[J]. *中国实验动物学报*, 2018, 26(4): 480-488.
SUN Changhua, ZHU Qingfen, WANG Na, et al. Comparison of the auxiliary preventive and therapeutic lipid-lowering effects of Antarctic krill oil on rat models of hyperlipidemia [J]. *Acta Laboratorium Animalis Scientia Sinica*, 2018, 26(4): 480-488.
- [4] PHLEGER C F, NELSON M M, MOONEY B D, et al. Interannual and between species comparison of the lipids, fatty acids and sterols of Antarctic krill from the US AMLR Elephant Island survey area[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2002, 131(4): 733-747.
- [5] FRICKE H, GERCKEN G, SCHREIBER W, et al. Lipid, sterol and fatty acid composition of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) [J]. *Lipids*, 1984, 19(11): 821-827.
- [6] KONAGAI C, YANAGIMOTO K, HAYAMIZU K, et al. Effects of krill oil containing n-3 polyunsaturated fatty acids in phospholipid form on human brain function: A randomized controlled trial in healthy elderly volunteers[J]. *Clinical Interventions in Aging*, 2013, 8: 1247-1257.
- [7] BERGE K, MUSAVELOSO K, HARWOOD M, et al. Krill oil supplementation lowers serum triglycerides without increasing low-density lipoprotein cholesterol in adults with borderline high or high triglyceride levels[J]. *Nutrition Research*, 2014, 34(2): 126-133.
- [8] XIE Dan, GONG Mengyue, WEI Wei, et al. Antarctic krill (*Euphausia superba*) oil: A comprehensive review of chemical composition, extraction technologies, health benefits, and current applications[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2019, 18(2): 514-534.
- [9] GIGLIOTTI J C, DAVENPORT M P, BEAMER S K, et al. Extraction and characterisation of lipids from Antarctic krill (*Euphausia superba*) [J]. *Food Chemistry*, 2011, 125(3): 1028-1036.
- [10] 苏婷, 周德庆, 朱兰兰, 等. 南极磷虾油中磷脂检测方法的比较[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(19): 124-129.
SU Ting, ZHOU Deqing, ZHU Lanlan, et al. Comparison of phospholipid detection method in Antarctic krill oil[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(19): 124-129.
- [11] LIU L, BARTKE N, DAELE H V, et al. Higher efficacy of dietary DHA provided as a phospholipid than as a triglyceride for brain DHA accretion in neonatal piglets[J]. *Journal of Lipid Research*, 2014, 55(3): 531-539.
- [12] LI Lin, WANG Chengcheng, JIANG Shan, et al. The absorption kinetics of Antarctic krill oil phospholipid liposome in blood and the digestive tract of healthy mice by single gavage[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2020, 9(1): 88-94.
- [13] 刘建君, 汪胜福, 门敬菊, 等. 南极磷虾油的气相色谱指纹图谱和聚类分析[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(13): 91-95.
LIU Jianjun, WANG Shengfu, MEN Jingju, et al. The GC fingerprint of Antarctic krill oil and clustering analysis[J]. *Food Research and Development*, 2014, 35(13): 91-95.
- [14] 孙来娣, 高华, 刘坤, 等. 南极磷虾油关键质量指标检测及对比分析[J]. *中国油脂*, 2013, 12(38): 80-83.
SUN Laidi, GAO Hua, LIU Kun, et al. Detection and comparative analysis of key quality indicators of Antarctic krill oil[J]. *China Oils and Fats*, 2013, 12(38): 80-83.
- [15] 冯迪娜, 袁玥, 苏学锋, 等. 南极磷虾资源综合利用研究现状[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(8): 120-122.
FENG Dina, YUAN Yue, SU Xuefeng, et al. Research status of comprehensive utilization for Antarctic krill resource[J]. *Food Research and Development*, 2015, 36(8): 120-122.
- [16] 左青, 左晖. 南极磷虾开发现状和展望[J]. *粮食与食品工业*, 2019, 29(4): 13-16.
ZUO Qing, ZUO Hui. Outlook and present Antarctic krill development[J]. *Cereal and Food Industry*, 2019, 29(4): 13-16.
- [17] LIU Jiao, LIU Yanan, WANG Haitao, et al. Direct transesterification of fresh microalgal cells[J]. *Bioresource Technology*, 2015, 176: 284-287.
- [18] 汪胜福, 刘建君, 门敬菊, 等. 气相色谱外标法测定南极磷虾油中的EPA和DHA含量[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(13): 96-99.
WANG Shengfu, LIU Jianjun, MEN Jingju, et al. Determination of EPA and DHA in Antarctic krill oil by gas chromatography using external standard method[J]. *Food Research and Development*, 2014, 35(13): 96-99.
- [19] FUNCHS B, SCHILLER J, SUS R, et al. Analysis of stem cell lipids by offline HPTLC-MALDI-TOF MS[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2008, 392(5): 849-860.

加工编辑:王艳
收稿日期:2020-08-17