

## 南极磷虾粉脂质及脂肪酸组成分析

楼乔明<sup>1,2</sup>, 王玉明<sup>2</sup>, 杨文鸽<sup>1</sup>, 徐大伦<sup>1</sup>, 薛长湖<sup>2\*</sup>

(1. 宁波大学海洋学院, 浙江 宁波 315211; 2. 中国海洋大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 为分析南极磷虾粉的脂质成分, 实验采用薄层层析法分离制备不同脂质组分, 通过酸甲酯化衍生结合气相色谱/质谱法对不同脂质的脂肪酸组成进行比较研究。结果显示: ①南极磷虾粉中脂质丰富, 总脂含量高达 11.37%, 且以甘油三酯、磷脂和游离脂肪酸为主, 胆固醇含量较低; ②总脂脂肪酸主要为 C16:0、C18:1n-9、C18:1n-7、C20:5n-3 和 C22:6n-3, 且 C20:5n-3 和 C22:6n-3 占总脂肪酸含量的 30.67%, 表明南极磷虾粉在脂质方面具有较高的营养价值和开发潜力。③不同脂质的脂肪酸组成差异显著, 胆固醇酯和甘油三酯中饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量均显著高于游离脂肪酸和磷脂( $P<0.05$ ); 而游离脂肪酸和磷脂富含多不饱和脂肪酸, 两者含量分别为 48.50%和 49.96%, 远高于胆固醇酯和甘油三酯的 13.11%和 24.36%, 具有显著差异( $P<0.05$ )。

**关键词:** 南极磷虾粉; 脂质; 脂肪酸

**中图分类号:** Q 5915.5; S 917.4

**文献标志码:** A

南极磷虾通常是指南极大磷虾(*Euphausia superba*), 为一类多年生的海洋浮游甲壳动物, 属节肢动物门(Arthropoda), 软甲纲(Malacostraca), 磷虾科(Euphausiidae), 磷虾属(*Euphausia*), 是地球上数量最大、繁衍最成功的单种生物资源之一<sup>[1-2]</sup>。南极磷虾除作为生态系统中的关键生物之外, 也因其含有丰富的蛋白质、脂质、矿物质以及甲壳质等营养成分, 具有较大的开发潜力, 而日益受到国际社会的关注<sup>[3-6]</sup>。近几年日本、挪威等国家都相继投入巨资进行南极磷虾的捕捞和加工开发; 中国已把南极磷虾列为远洋渔业发展的主要开发种类之一, 并取得了一定的进展<sup>[7-10]</sup>。

目前, 国际上主要将南极磷虾开发成磷虾粉作为一类理想的高价值水产饲料以及具有巨大潜力的食品添加剂或功能食品, 且国内外对南极磷虾粉的蛋白质、氨基酸、矿物质等营养成分已有系统研究, 但对其脂质的研究报道较少, 对其脂质成分的脂肪酸组成的比较分析尚未见报道<sup>[11-13]</sup>。本研究

对南极磷虾粉的脂质成分以及不同脂质的脂肪酸组成进行分析, 以期对南极磷虾粉的营养评价和相关脂质产品开发提供一定的理论基础和参考依据。

### 1 材料与amp;方法

#### 1.1 材料与仪器

南极磷虾粉(新鲜南极磷虾整虾经匀浆后, 加入 0.2%木瓜蛋白酶水解 1 h, 离心后, 浓缩至固形物含量 32%, 喷雾干燥制成南极磷虾粉)由日本水产株式会社提供, 冷冻方式运至实验室, 并贮藏于 -30 °C 冰柜。

37 种脂肪酸甲酯混标、鱼油脂肪酸甲酯混标和 3,7,11,15-四甲基十六烷酸甲酯标准品购于美国 Sigma 公司; 虾青素标准品购于德国 Dr. Ehrenstorfer 公司; 胆固醇试剂盒和甘油三酯试剂盒购于北京中生北控生物科技有限公司; 薄层层析硅胶板 GF254 购于青岛海洋化工厂; 甲醇、氯仿、正己烷等购于天津市科密欧化学试剂公司。

收稿日期: 2011-12-06 修回日期: 2012-03-05

资助项目: 泰山学者建设工程专项; 海洋公益性行业科研专项(201105029); 国际科技合作项目(2010DFA31330); 宁波大学王宽诚幸福基金

通讯作者: 薛长湖, E-mail: xuech@ouc.edu.cn

6980N 型气相色谱仪、5973 型质谱仪和 1100 型高效液相色谱仪: 美国 Agilent 公司; Laborota 4000 efficient 旋转蒸发器: 德国 Heidolph 公司; 721 型分光光度计: 上海精密科学仪器有限公司。

## 1.2 实验方法

**总脂提取** 取 10 g 南极磷虾粉, 加入 20 mL 蒸馏水进行溶胀, 用 400 mL 氯仿-甲醇(2 : 1, v/v)混合液超声 30 min, 并浸提 24 h。过滤后, 滤液用 1/5 体积的 0.9%氯化钠溶液洗涤, 倒入分液漏斗中静置分层。收集氯仿层, 并用无水硫酸钠干燥, 减压浓缩后, 得到样品总脂。

**磷脂含量测定** 将总脂用硝酸-高氯酸混合液(4 : 1, v/v)进行消化, 采用钼蓝比色法测定总脂中的磷脂含量<sup>[14]</sup>。

**胆固醇和甘油三酯含量测定** 将总脂用氯仿溶解并定容至 100 mL, 取一定体积的氯仿溶液, 减压干燥后, 按试剂盒说明测定总脂中的胆固醇和甘油三酯含量。

**游离脂肪酸含量测定** 取上述氯仿溶液, 经减压干燥, 用 4 mL 正庚烷溶解, 加入 1 mL 脂肪酸显色剂(5%醋酸铜溶液, 用吡啶调 pH 至 6.1), 充分振荡后, 离心取上层有机相于 710 nm 测定吸光度, 并计算总脂中的游离脂肪酸含量。

**虾青素含量测定** 参照文献[15]的方法经固相萃取后, 用反相高效液相色谱法分析测定。

**不同脂质的制备** 总脂正己烷溶解, 采用薄层层析法分离制备不同脂质组分。氯仿-甲醇(1 : 1, v/v)展开空白板, 立即吹干溶剂, 以除去板上污物。带状点样后, 正己烷-乙醚-冰乙酸(80 : 19 : 1, v/v/v)进行展层, 并显色刮板收集不同脂质成分。

**脂肪酸分析**<sup>[16]</sup> (1) 样品甲酯化。取总脂和收集的不同脂质成分的硅胶粉, 加入 1 mL 10%浓硫酸-甲醇溶液, 于 60 °C 水浴中甲酯化 15 min, 冷却后加入正己烷 1 mL 振荡, 静置分层后, 取上清

液供 GC/MS 分析。(2) 色谱条件。HP-INNOWax 石英毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm), 高纯氦气为载气, 采用恒压模式, 压力为 54 kPa, 分流比为 25 : 1。进样口温度为 230 °C, 检测器温度为 250 °C, 柱温以 3 °C/min 由 120 °C 升到 210 °C, 并在 210 °C 下保持 10 min, 整个分析过程为 40 min。(3) 质谱条件。GC/MS 接口温度 280 °C, EI 离子源, 电离能量 70 eV, 离子源温度 230 °C, 扫描周期 2.84 次/s, 质量扫描范围 m/z 50~500 u。

**数据处理** 利用 SPSS 18.0 软件对数据进行统计分析, 数据以平均值±标准差表示, 采用单因子方差分析法(ANOVA, Tukey 检验)进行显著性检验, 并采用 Duncan 氏法进行单因子多重比较分析,  $P < 0.05$  为差异显著。

## 2 结果与讨论

### 2.1 南极磷虾粉脂质组成

南极磷虾粉的脂质组成列于表 1。从表 1 可以看出南极磷虾粉中的总脂含量高达 11.37%, 表明南极磷虾粉中含有丰富的脂质成分; 且南极磷虾粉的脂质以甘油三酯(41.92%)、磷脂(33.16%)和游离脂肪酸(17.61%)为主, 三者总量占到总脂含量的 90%以上, 是南极磷虾粉脂质的主要成分; 而总胆固醇和虾青素含量相对较低, 仅占总脂含量的 1.44%和 0.15%。

### 2.2 总脂脂肪酸组成分析

南极磷虾粉总脂的脂肪酸组分通过标准品对照和数据库检索, 同时结合基峰离子(基峰离子 m/z74 为直链饱和脂肪酸, m/z55 为单烯脂肪酸, m/z67 为二烯脂肪酸, m/z79 为三烯及以上多不饱和脂肪酸)和分子离子等特征离子以及脂肪酸甲酯出峰顺序的 ECL 值进行定性分析<sup>[16-17]</sup>, 并按峰面积归一法进行定量, 分析鉴定结果列于表 2; 同时总脂脂肪酸组成的总离子流色谱图和基峰离子流色谱图分别见图 1 和图 2。

表 1 南极磷虾粉的脂质组成( $n=3$ )  
Tab. 1 Lipid compositions of Antarctic krill meal ( $n=3$ )

脂质成分 lipid components	总脂 <sup>a</sup> total lipids	甘油三酯 <sup>b</sup> triglycerides	磷脂 <sup>b</sup> phospholipids	游离脂肪酸 <sup>b</sup> free fatty acids	总胆固醇 <sup>b</sup> total cholesterol	虾青素 <sup>b</sup> astaxanthin
含量/% contents	11.37±0.54	41.92±3.76	33.16±0.91	17.61±2.25	1.44±0.17	0.15±0.02

注: a. 按干重计; b. 按总脂计。

Notes: a. as % of dry weight; b. as % of total lipids.

表 2 南极磷虾粉脂质成分的脂肪酸组成(n=3)  
Tab. 2 Fatty acid compositions of lipid components from Antarctic krill meal (n=3)

脂肪酸 fatty acids	总脂 total lipids	胆固醇酯 cholesterol esters	甘油三酯 triglycerides	游离脂肪酸 free fatty acids	磷脂 phospholipids
C14:0	8.27±0.35 <sup>c</sup>	17.62±0.83 <sup>a</sup>	11.70±0.46 <sup>b</sup>	4.81±0.27 <sup>d</sup>	3.12±0.14 <sup>e</sup>
C15:0	0.38±0.05 <sup>b</sup>	0.57±0.04 <sup>a</sup>	0.51±0.03 <sup>a</sup>	0.34±0.05 <sup>b</sup>	0.36±0.03 <sup>b</sup>
C16:0	20.78±1.12 <sup>ab</sup>	22.71±1.31 <sup>a</sup>	21.27±1.16 <sup>ab</sup>	19.24±0.86 <sup>b</sup>	22.55±1.39 <sup>a</sup>
C17:0	0.46±0.03 <sup>b</sup>	0.51±0.04 <sup>ab</sup>	0.48±0.02 <sup>b</sup>	0.47±0.06 <sup>b</sup>	0.58±0.05 <sup>a</sup>
3,7,11,15-TMHD	1.29±0.08 <sup>c</sup>	4.22±0.27 <sup>a</sup>	3.08±0.17 <sup>b</sup>	0.44±0.05 <sup>d</sup>	0.61±0.04 <sup>d</sup>
C18:0	1.59±0.06 <sup>c</sup>	1.85±0.12 <sup>b</sup>	2.29±0.21 <sup>a</sup>	1.33±0.09 <sup>d</sup>	1.61±0.11 <sup>c</sup>
C14:1n-5	0.15±0.03 <sup>c</sup>	0.32±0.05 <sup>a</sup>	0.23±0.04 <sup>b</sup>	0.11±0.03 <sup>c</sup>	0.13±0.02 <sup>c</sup>
C16:1n-9	6.03±0.18 <sup>c</sup>	11.15±0.39 <sup>a</sup>	8.88±0.32 <sup>b</sup>	4.30±0.17 <sup>d</sup>	3.18±0.17 <sup>e</sup>
C16:1n-7	0.44±0.06 <sup>b</sup>	0.58±0.04 <sup>a</sup>	0.46±0.07 <sup>b</sup>	0.46±0.03 <sup>b</sup>	0.22±0.05 <sup>a</sup>
C18:1n-9	10.74±0.27 <sup>c</sup>	17.52±1.07 <sup>a</sup>	15.46±0.79 <sup>b</sup>	9.17±0.56 <sup>d</sup>	7.45±0.23 <sup>e</sup>
C18:1n-7	7.16±0.31 <sup>b</sup>	7.38±0.35 <sup>b</sup>	6.83±0.43 <sup>b</sup>	8.35±0.49 <sup>a</sup>	5.89±0.29 <sup>e</sup>
C18:1	0.25±0.04 <sup>b</sup>	0.26±0.07 <sup>ab</sup>	0.35±0.06 <sup>ab</sup>	0.36±0.05 <sup>a</sup>	0.30±0.04 <sup>ab</sup>
C20:1n-9	0.86±0.06 <sup>b</sup>	1.09±0.08 <sup>a</sup>	0.91±0.11 <sup>b</sup>	0.67±0.04 <sup>c</sup>	0.69±0.05 <sup>c</sup>
C20:1	0.35±0.04 <sup>b</sup>	0.46±0.05 <sup>a</sup>	0.52±0.04 <sup>a</sup>	0.34±0.03 <sup>b</sup>	0.30±0.02 <sup>b</sup>
C22:1n-9	0.91±0.05 <sup>b</sup>	0.48±0.07 <sup>c</sup>	0.45±0.03 <sup>c</sup>	0.82±0.07 <sup>b</sup>	2.00±0.13 <sup>a</sup>
C22:1	0.24±0.03 <sup>b</sup>	0.17±0.03 <sup>c</sup>	0.11±0.02 <sup>c</sup>	0.15±0.03 <sup>c</sup>	0.34±0.05 <sup>c</sup>
C24:1n-9	0.30±0.06 <sup>c</sup>	-	2.10±0.09 <sup>a</sup>	0.14±0.02 <sup>d</sup>	0.71±0.04 <sup>b</sup>
C16:2n-4	0.50±0.04 <sup>c</sup>	1.02±0.09 <sup>a</sup>	0.74±0.06 <sup>b</sup>	0.36±0.04 <sup>d</sup>	0.19±0.03 <sup>c</sup>
C16:3n-3	0.22±0.03	0.30±0.04	0.25±0.04	0.22±0.06	0.24±0.05
C16:4n-3	0.63±0.07 <sup>b</sup>	0.82±0.11 <sup>a</sup>	0.60±0.03 <sup>b</sup>	0.22±0.03 <sup>c</sup>	0.26±0.04 <sup>c</sup>
C18:2n-6	1.87±0.11 <sup>a</sup>	1.37±0.15 <sup>c</sup>	1.45±0.07 <sup>bc</sup>	1.83±0.12 <sup>a</sup>	1.60±0.09 <sup>b</sup>
C18:3n-6	0.17±0.03 <sup>c</sup>	0.34±0.05 <sup>a</sup>	0.28±0.05 <sup>ab</sup>	0.24±0.05 <sup>bc</sup>	0.18±0.02 <sup>c</sup>
C18:3n-3	1.08±0.06 <sup>b</sup>	0.89±0.07 <sup>c</sup>	0.98±0.13 <sup>bc</sup>	1.47±0.09 <sup>a</sup>	1.43±0.08 <sup>a</sup>
C18:4n-3	2.52±0.15 <sup>b</sup>	3.02±0.21 <sup>a</sup>	2.51±0.21 <sup>b</sup>	2.53±0.17 <sup>b</sup>	2.47±0.13 <sup>b</sup>
C20:4n-6	0.50±0.04 <sup>c</sup>	0.12±0.03 <sup>c</sup>	0.30±0.05 <sup>d</sup>	1.07±0.09 <sup>a</sup>	0.74±0.06 <sup>b</sup>
C20:4n-3	0.38±0.02 <sup>b</sup>	0.19±0.04 <sup>c</sup>	0.19±0.04 <sup>c</sup>	0.49±0.06 <sup>a</sup>	0.49±0.04 <sup>a</sup>
C20:5n-3	18.89±1.27 <sup>c</sup>	3.03±0.14 <sup>d</sup>	10.76±0.42 <sup>c</sup>	26.78±1.29 <sup>a</sup>	24.38±1.53 <sup>b</sup>
C22:3n-3	0.68±0.05 <sup>b</sup>	0.26±0.03 <sup>c</sup>	0.26±0.03 <sup>c</sup>	0.64±0.07 <sup>b</sup>	1.32±0.07 <sup>a</sup>
C22:5n-3	0.56±0.03 <sup>c</sup>	0.19±0.05 <sup>d</sup>	0.25±0.04 <sup>d</sup>	0.71±0.05 <sup>b</sup>	0.91±0.06 <sup>a</sup>
C22:6n-3	11.78±0.36 <sup>b</sup>	1.58±0.12 <sup>d</sup>	5.79±0.37 <sup>c</sup>	11.96±0.53 <sup>b</sup>	15.76±0.72 <sup>a</sup>
ΣSFA	32.78 <sup>c</sup>	47.47 <sup>a</sup>	39.33 <sup>b</sup>	26.64 <sup>c</sup>	28.82 <sup>c</sup>
ΣMUFA	27.43 <sup>b</sup>	39.41 <sup>a</sup>	36.31 <sup>a</sup>	24.86 <sup>bc</sup>	21.21 <sup>c</sup>
ΣPUFA	39.79 <sup>b</sup>	13.11 <sup>d</sup>	24.36 <sup>c</sup>	48.50 <sup>a</sup>	49.96 <sup>a</sup>
EPA+DHA	30.67 <sup>b</sup>	4.61 <sup>d</sup>	16.55 <sup>c</sup>	38.74 <sup>a</sup>	40.14 <sup>a</sup>
n-3PUFA	36.74 <sup>b</sup>	10.28 <sup>d</sup>	21.59 <sup>c</sup>	45.02 <sup>a</sup>	47.26 <sup>a</sup>
n-6PUFA	2.54 <sup>b</sup>	1.83 <sup>c</sup>	2.03 <sup>c</sup>	3.14 <sup>a</sup>	2.52 <sup>b</sup>
n-3/n-6	14.46 <sup>b</sup>	5.62 <sup>d</sup>	10.64 <sup>c</sup>	14.34 <sup>b</sup>	18.75 <sup>a</sup>

注: 同行数据上标中含不同字母的两项间具有显著差异(P<0.05); TMHD, 四甲基十六烷酸; ΣSFA, 饱和脂肪酸总量; ΣMUFA, 单不饱和脂肪酸总量; ΣPUFA, 多不饱和脂肪酸总量; “-”, 表示未检出。

Notes: Value in the same line without the same letter on the superscript are significantly different (P<0.05); TMHD, tetramethylhexadecanoic acid; ΣSFA, sum of saturated fatty acids; ΣMUFA, sum of monounsaturated fatty acids; ΣPUFA, sum of polyunsaturated fatty acids; “-”, not detected.

从南极磷虾粉总脂的气相色谱/质谱图中共分析鉴定出 30 种已知脂肪酸, 由 C14-C24 脂肪酸组成, 以 C14:0、C16:0、C16:1n-9、C18:1n-9、

C18:1n-7、C20:5n-3 和 C22:6n-3 为主; 其中多不饱和脂肪酸为 39.79%, 高于饱和脂肪酸(32.78%)和单不饱和脂肪酸(27.43%)。在鉴定出的 6 种饱和脂

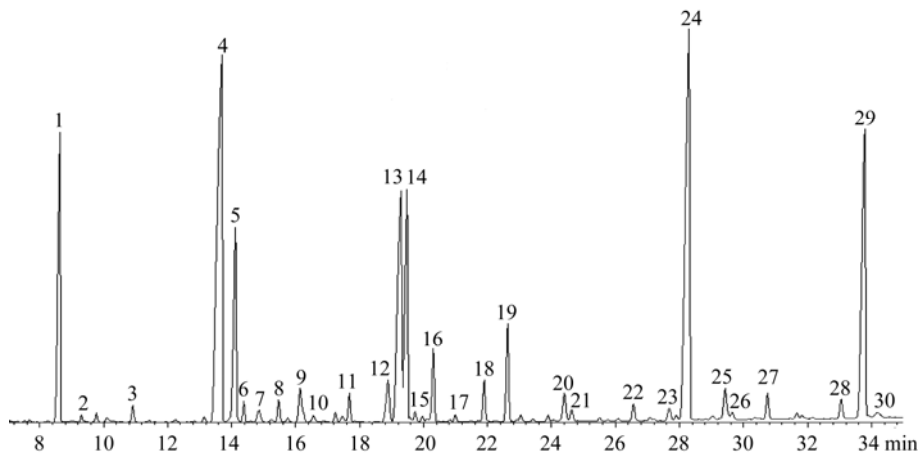


图 1 南极磷虾粉总脂脂肪酸组成的 GC/MS 总离子流色谱图

Fig. 1 Total ion chromatogram of fatty acid composition of total lipids from Antarctic krill meal by GC/MS

1. C14:0; 2. C14:1n-5; 3. C15:0; 4. C16:0; 5. C16:1n-9; 6. C16:1n-7; 7. C17:0; 8. C16:2n-4; 9. 3,7,11,15-TMHD; 10. C16:3n-3; 11. C16:4n-3; 12. C18:0; 13. C18:1n-9; 14. C18:1n-7; 15. C18:1; 16. C18:2n-6; 17. C18:3n-6; 18. C18:3n-3; 19. C18:4n-3; 20. C20:1n-9; 21. C20:1; 22. C20:4n-6; 23. C20:4n-3; 24. C20:5n-3; 25. C22:1n-9; 26. C22:1; 27. C22:3n-3; 28. C22:5n-3; 29. C22:6n-3; 30. C24:1n-9.

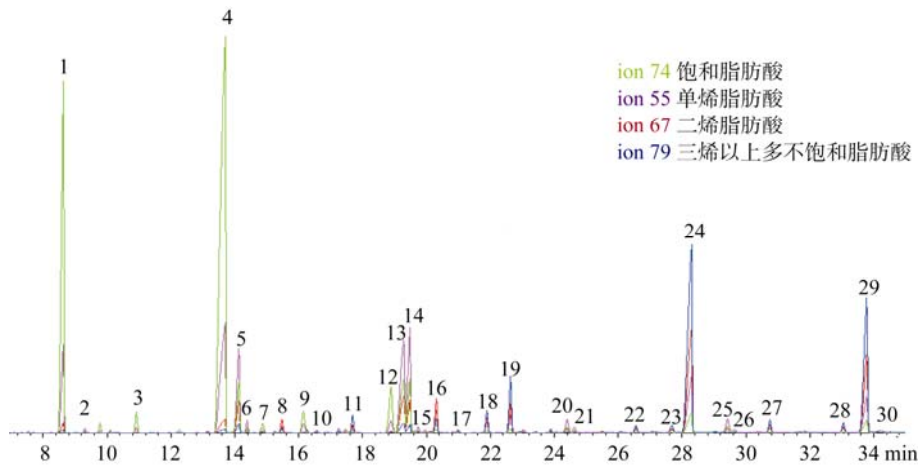


图 2 南极磷虾粉总脂脂肪酸组成的 GC/MS 基峰离子流色谱图

Fig. 2 Base-peak ion chromatogram of fatty acid composition of total lipids from Antarctic krill meal by GC/MS

脂肪酸中,以直链饱和脂肪酸 C16:0(20.78%)和 C14:0(8.27%)为主;并含有 3,7,11,15-四甲基十六烷酸(3,7,11,15-TMHD, 1.29%),表明南极磷虾对此多支链饱和脂肪酸具有一定的积累作用,且此多支链饱和脂肪酸为南极磷虾的特征脂肪酸,是南极磷虾区别于其他鱼虾贝类脂肪酸组成的一个重要标志,因此可成为鉴别南极磷虾相关脂质产品掺假真伪的一个重要依据<sup>[18-20]</sup>。单烯脂肪酸 11 种,以 C18:1n-9 (10.74%)、C18:1n-7(7.16%)和 C16:1n-9 (6.03%)为主;多不饱和脂肪酸 13 种,主要为 C20:5n-3(18.89%)和 C22:6n-3(11.78%),两者总含量高达 30.67%,且 C20:5n-3 含量显著高于 C22:6n-3。C20:5n-3 和 C22:6n-3 作为人和动物生长发育的必需脂肪酸,具有明显降低血脂、抑制血小板凝集和降血压等功效,因此能显著降低心血管疾

病的发病率<sup>[21-22]</sup>。南极磷虾粉总脂多不饱和脂肪酸以 n-3PUFA 为主,且 n-6PUFA 含量相对较低,两者的比值为 14.46,较高的 n-3PUFA/n-6PUFA 比值,能促进 T 细胞增殖、淋巴细胞衍生的胞浆产生以及细胞调节等免疫作用<sup>[23]</sup>。综合总脂脂肪酸组成分析表明,南极磷虾粉在脂质方面具有很好的营养价值,可作为人类膳食和动物饲料中多不饱和脂肪酸的重要来源。

### 2.3 不同脂质脂肪酸组成分析

南极磷虾粉总脂通过硅胶板薄层层析制备胆固醇酯、甘油三酯、游离脂肪酸和磷脂,4 种脂质成分经甲酯化处理和气相色谱/质谱分析,其脂肪酸组成列于表 2;其中胆固醇酯和磷脂的脂肪酸组成总离子流色谱图见图 3 和图 4。

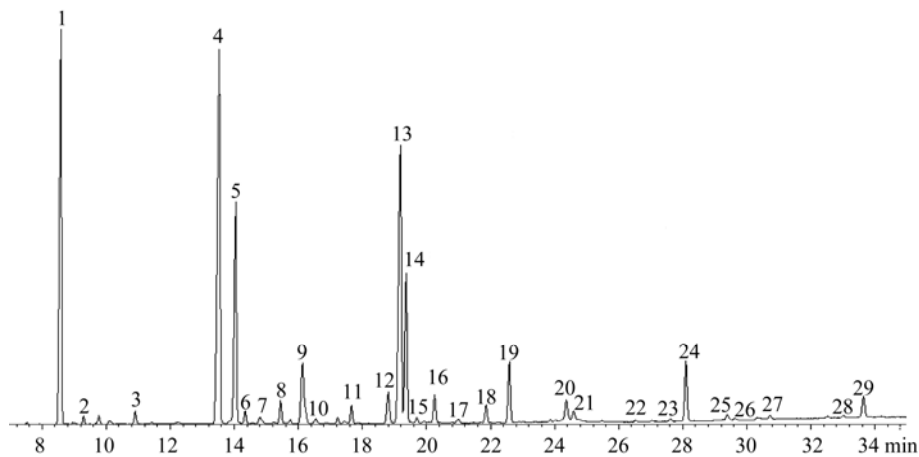


图3 南极磷虾粉胆固醇酯脂肪酸组成的 GC/MS 总离子流色谱图

Fig. 3 Total ion chromatogram of fatty acid composition of cholesterol esters from Antarctic krill meal by GC/MS

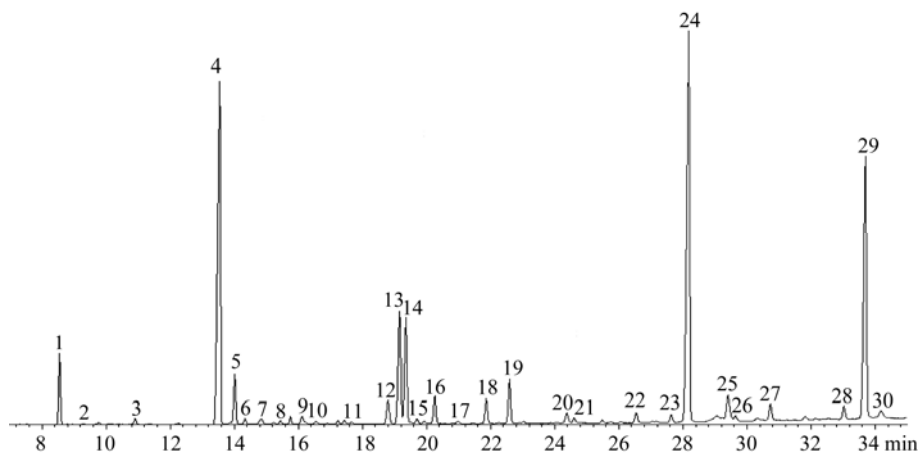


图4 南极磷虾粉磷脂脂肪酸组成的 GC/MS 总离子流色谱图

Fig. 4 Total ion chromatogram of fatty acid composition of phospholipids from Antarctic krill meal by GC/MS

从南极磷虾粉的甘油三酯、游离脂肪酸和磷脂中检测出 30 种已知脂肪酸, 而胆固醇酯中仅检测出 29 种, 未检测出 C24:1n-9。4 种脂质的饱和脂肪酸组成都以 C14:0 和 C16:0 为主, 其中 C16:0 (19.24%~22.71%) 作为主要饱和脂肪酸, 其含量相对稳定, 不同脂质间的变异系数较小; 而 C14:0 (3.12%~17.62%) 含量变化较大, 其在胆固醇酯和甘油三酯中的含量分别为 17.62% 和 11.70%, 远高于游离脂肪酸和磷脂的 4.81% 和 3.12%, 具有显著差异 ( $P < 0.05$ )。同时, 作为南极磷虾特征脂肪酸的 3,7,11,15-TMHD, 其在胆固醇酯和甘油三酯中的含量分别为 4.22% 和 3.08%, 亦远高于游离脂肪酸和磷脂的 0.44% 和 0.61%, 具有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

4 种脂质单不饱和脂肪酸以 C16:1n-9、C18:1n-9 和 C18:1n-7 为主, 其中 C18:1n-7 (5.89%~8.35%) 含量相对较稳定; 而 C16:1n-9 (3.18%~11.15%)

和 C18:1n-9 (7.45%~17.52%) 含量波动较大, 且胆固醇酯和甘油三酯中 C16:1n-9 和 C18:1n-9 的含量均远高于游离脂肪酸和磷脂, 具有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

在多不饱和脂肪酸方面, 胆固醇酯以 C18:4n-3 和 C20:5n-3 为主; 而甘油三酯、游离脂肪酸和磷脂则均以 C20:5n-3 和 C22:6n-3 为主。同时, 4 种脂质成分在 C20:5n-3 和 C22:6n-3 总量上具有较大差异, 胆固醇酯中两者总量仅为 4.61%, 极显著低于甘油三酯 (16.55%)、游离脂肪酸 (38.74%) 和磷脂 (40.14%)。

通过对 4 种脂质成分的主要脂肪酸比较分析发现, 胆固醇酯和甘油三酯以饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸为主, 其含量显著高于游离脂肪酸和磷脂; 游离脂肪酸和磷脂则以多不饱和脂肪酸为主, 且其多不饱和脂肪酸分别占脂肪酸总量的 48.50%

和 49.96%。南极磷虾粉中游离脂肪酸的含量较高, 占总脂的 17.61%, 且其脂肪酸组成与磷脂相近, 表明南极磷虾粉中的游离脂肪酸更倾向来源于磷脂的水解; 同时磷脂的多不饱和脂肪酸, 特别是 n-3 型多不饱和脂肪酸的含量显著高于总脂( $P < 0.05$ ), 表明磷脂易于富集多不饱和脂肪酸, 尤其是 C20:5n-3 和 C22:6n-3 等 n-3 型多不饱和脂肪酸。

### 3 结论

南极磷虾粉含有丰富的脂质成分, 总脂以甘油三酯、磷脂和游离脂肪酸为主, 总胆固醇含量较低; 且总脂富含 C20:5n-3 和 C22:6n-3 等 n-3 型多不饱和脂肪酸, 表明南极磷虾粉在脂质方面具有很高的营养价值和开发潜力, 可作为人类膳食和动物饲料中 C20:5n-3 和 C22:6n-3 等功能性多不饱和脂肪酸的重要来源。南极磷虾粉 4 种脂质成分在脂肪酸组成上具有较大差异, 胆固醇酯和甘油三酯以饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸为主, 而游离脂肪酸和磷脂以多不饱和脂肪酸为主, 且磷脂易于富集 n-3 型多不饱和脂肪酸。本研究为南极磷虾粉的脂质营养评价、综合利用以及相关脂质产品的开发提供了一定的理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 刘丽, 刘承初, 赵勇, 等. 南极磷虾的营养保健功效以及食用安全性评价[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 443-447.
- [2] 楼乔明, 王玉明, 刘小芳, 等. 南极磷虾脂肪酸组成及多不饱和脂肪酸质谱特征分析[J]. 中国水产科学, 2010, 18(4): 929-935.
- [3] 陈雪忠, 徐兆礼, 黄洪亮. 南极磷虾资源利用现状与中国的开发策略分析[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 451-458.
- [4] 李学英, 迟海, 杨宪时, 等. 南极磷虾冷藏过程中的品质变化[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 464-468.
- [5] 迟海, 李学英, 杨宪时. 南极磷虾加工利用研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2010, 22(B08): 283-287.
- [6] 孙松, 严小军. 南极大磷虾的生物活性物质及其用途研究进展[J]. 极地研究, 2001, 13(3): 213-216.
- [7] 迟海, 李学英, 杨宪时, 等. 南极磷虾冻藏温度下的品质变化及其货架期分析[J]. 水产学报, 2012, 36(1): 153-160.
- [8] 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.
- [9] 姚宏亮. 南极磷虾壳制备甲壳素/壳聚糖的工艺研究[J]. 水产科学, 2004, 23(5): 34-36.
- [10] 徐吟梅, 邱卫华, 余丽萍, 等. 南极磷虾粉的营养与功能[J]. 现代渔业信息, 2010, 25(8): 14-16.
- [11] Gigliotti J C, Davenport M P, Beamer Sarah K, et al. Extraction and characterisation of lipids from Antarctic krill (*Euphausia superba*)[J]. Food Chemistry, 2011, 125(3): 1028-1036.
- [12] 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.
- [13] Takaichi S, Matsui K, Nakamura M, et al. Fatty acids of astaxanthin esters in krill determined by mild mass spectrometry[J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2003, 136(2): 317-322.
- [14] 万楚筠, 黄凤洪, 李文林. 抗坏血酸-铜蓝光度法测定油脂中磷脂含量的研究[J]. 中国油脂, 2006(4): 46-49.
- [15] 赵立艳, 赵广华, 陈方芳, 等. 利用高效液相色谱法测定雨生红球藻中虾青素含量[J]. 食品工业科技, 2006, 27(5): 177-178.
- [16] 楼乔明, 徐杰, 王玉明, 等. 气相色谱/质谱法分析孔石莼中的脂肪酸[J]. 色谱, 2010, 28(7): 668-672.
- [17] 吴惠勤, 黄晓兰, 林晓珊, 等. 脂肪酸的色谱保留时间规律与质谱特征研究及其在食品分析中的应用[J]. 分析化学, 2007, 35(7): 998-1003.
- [18] 陈丽花, 肖作兵, 周培根. 中国对虾的脂肪酸分析及其营养价值评价[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(1): 125-129.
- [19] 刁全平, 侯冬岩, 回瑞华, 等. 三文鱼脂肪酸的气相色谱-质谱分析[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 547-548.
- [20] 元冬娟, 吴湃, 王璠, 等. 19 种湛江地区海产贝类中脂肪酸组成 GC-MS 分析[J]. 中国海洋药物杂志, 2009, 28(3): 29-33.
- [21] 梁志强, 李传武, 欧燎原, 等. 湘华凌肌肉营养成分分析与评价[J]. 营养学报, 2009, 31(4): 411-413.
- [22] 刘玉军, 孙明堂, 黄元伟, 等. 浓缩鱼油对高脂血症者血脂和血小板聚集及体外血栓形成的影响[J]. 营养学报, 1992, 14(1): 17-22.
- [23] 陆丽丽, 陈舜胜, 曲映红, 等. 鲤、鲫鱼卵脂质和脂肪酸的构成分析[J]. 营养学报, 2007, 29(4): 415-416.

## Lipid classes and fatty acid compositions of Antarctic krill meal

LOU Qiao-ming<sup>1,2</sup>, WANG Yu-ming<sup>2</sup>, YANG Wen-ge<sup>1</sup>, XU Da-lun<sup>1</sup>, XUE Chang-hu<sup>2\*</sup>

(1. School of Marine Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** The lipid classes of Antarctic krill meal were analyzed, and the fatty acid compositions of different lipid components were comparatively studied by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) after preparation by thin layer chromatography and acid-catalyzed esterification. The main results were as follows: ①The lipid components were abundant in Antarctic krill meal, and the content of total lipids was up to 11.37%. The total lipids were primarily composed of triglycerides, phospholipids and free fatty acids, while the total cholesterol content was low. ②The predominant fatty acids of total lipids were C16:0, C18:1n-9, C18:1n-7, C20:5n-3 and C22:6n-3, and the total content of C20:5n-3 and C22:6n-3 reached 30.67%, which indicated that Antarctic krill meal had the high nutritional value and great potential for development in lipids. ③Significant differences were demonstrated among the fatty acid compositions of different lipid components. The saturated fatty acids (SFA) and monounsaturated fatty acids (MUFA) of cholesterol esters and triglycerides were significantly higher than those of free fatty acids and phospholipids ( $P<0.05$ ); whereas the polyunsaturated fatty acids (PUFA) of free fatty acids and phospholipids were 48.50% and 49.96%, respectively, and were markedly more than 13.11% in cholesterol esters and 24.36% in triglycerides ( $P<0.05$ ).

**Key words:** Antarctic krill meal; lipids; fatty acids

**Corresponding author:** XUE Chang-hu. E-mail: xuech@ouc.edu.cn