

捕捞月份对南极磷虾营养成分的影响

方 兵,施文正*,汪之和,朱国平,韦 磊,刘洁琼
(上海海洋大学食品学院,上海 201306)

摘要:为了研究南极磷虾营养成分随月份的变化,以2016年3~8月份在南极48.1区捕捞的南极磷虾为材料,测定其水分、蛋白质、脂肪和灰分等基本营养成分含量,利用氨基酸分析仪测定其氨基酸种类和含量,并对其进行评分,利用气相色谱仪测定其脂肪酸含量,系统地分析评价了南极磷虾的营养价值,为南极磷虾的加工与利用提供参考。结果表明:南极磷虾蛋白质含量范围为13.07%~15.15%,脂肪含量范围为1.13%~4.36%,两者随着月份有相同的变化趋势,并在4月份达到最高。氨基酸分析结果表明,其总氨基酸含量(T)范围为99.83~151.33 mg/g,必需氨基酸含量(E)范围为41.63~64.66 mg/g,六个月份中E/T和E/N值(N表示非必需氨基酸总量)均高于FAO/WHO提出的理想蛋白质条件,但4~6月份T和E值为最高。各月份南极磷虾必需氨基酸指数(EAAI)均接近1,比例均衡,其中缬氨酸为限制性氨基酸。南极磷虾中共检出29种脂肪酸,不饱和脂肪酸有19种,占脂肪酸总量的60%以上,以C16:1、C18:1n9c、EPA和DHA为主,饱和脂肪酸总量(SFA)从3~8月份呈逐渐增加的趋势,增幅为2.34%; ω -3/ ω -6值在2.96~4.37,比例合适。综合分析,4~6月份的南极磷虾营养价值更高,可选择此阶段对南极磷虾进行捕捞。

关键词:南极磷虾,营养成分分析,氨基酸,脂肪酸

Effects of Fishing Months on Nutrients of Antarctic Krill

FANG Bing, SHI Wen-zheng*, WANG Zhi-he, ZHU Guo-ping, WEI Lei, LIU Jie-qiong

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to study the change in nutrient composition of Antarctic krill with the month, the Antarctic krill harvested in the Antarctic 48.1 area from March to August 2016 was used as the material to determine the contents of basic nutrients such as water, protein, fat and ash. Amino acid content was determined by amino acid analyzer, and the fatty acid content was measured by gas chromatograph. The nutritional value of Antarctic krill was analyzed and evaluated systematically of to provide reference for the processing and utilization of Antarctic krill. The results showed that: protein content Antarctic krill ranged from 13.07% to 15.15%, and fat content ranged from 1.13% to 4.36%, both showed the same trend with the month, and reached the highest in April. Amino acid analysis results showed that, the total amino acid content (T) ranged from 99.83 to 151.33 mg/g and the essential amino acid content (E) ranged from 41.63 to 64.66 mg/g. E/T and E/N values (N represents the total amount of non-essential amino acids) were higher than the ideal protein conditions proposed by FAO/WHO, and the T and E values in April-June were the highest. In each month, the EAAI of the Antarctic krill was close to 1, and the proportion was balanced. Proline was the limiting amino acid. 29 kinds of fatty acids, 19 kinds of unsaturated fatty acids were detected in Antarctic kill, accounting for more than 60% of the total fatty acids, mainly including C16:1, C18:1n9c, EPA and DHA, total saturated fatty acids (SFA) content from March to August showed a gradually increasing trend with an increase of 2.34%; the value of ω -3/ ω -6 was between 2.96 and 4.37, and the ratio was appropriate. In a comprehensive analysis, the nutritional value of Antarctic krill from April to June was even higher. This stage could be used to harvest Antarctic krill.

Key words: Antarctic krill; nutritional analysis; amino acids; fatty acids

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)23-0017-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.23.004

引文格式: 方兵,施文正,汪之和,等. 捕捞月份对南极磷虾营养成分的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(23): 17-22.

南极磷虾通常是指南极大磷虾(*Euphausia superba*),它隶属于节肢动物门(Arthropoda)、甲壳纲(Crustacea)、磷虾目(Euphausiacea)、磷虾科(Euphausiidae)、磷虾属(*Euphausia*),个体最大体长

可达65 mm,体重2 g,渔业捕捞的主要磷虾群体为体长介于40~65 mm的较大成体。南极磷虾是地球上数量最大、繁衍最成功的单种生物资源之一,其资源总量为 3.79×10^8 t左右,是地球上最大的动物性蛋白

收稿日期: 2018-03-28

作者简介: 方兵(1994-),男,硕士研究生,研究方向:水产品加工与贮藏, E-mail: 1261385657@qq.com。

* 通讯作者: 施文正(1975-),男,博士,教授,研究方向:水产品加工和食品, E-mail: wzshi@shou.edu.cn。

基金项目: 国家自然科学基金(41776185)。

资源库^[1-3]。多年来,国内外学者对南极磷虾展开了大量的研究,其中包括对其营养成分的研究,孙雷等^[4]研究表明,南极磷虾肌肉(干样)中粗蛋白含量 64.44%,粗脂肪含量 5.14%,粗灰分含量 10.90%,无氮浸出物含量 19.52%;楼乔明等^[5]从南极磷虾中鉴定出 27 种脂肪酸,其中多不饱和脂肪酸 13 种。但由于南极磷虾不易获取,且会因为捕捞区域、月份、捕捞后的保存方式等原因,导致其营养成分发生变化。目前对该领域的研究较少,因此系统的研究南极磷虾营养成分随以上影响因素变化的情况显得十分重要。

本文通过测定分析南极 48.1 区 2016 年 3~8 月份捕捞的南极磷虾中基本营养成分、氨基酸组成以及脂肪酸组成,研究该区域南极磷虾营养成分随月份变化的情况,为南极磷虾资源的捕捞以及加工提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

南极磷虾样品 于 2016 年 3~8 月份期间捕捞于南极 48.1 区, -20 ℃ 贮藏并运输至国内, 放置于 -40 ℃ 冰箱中进行保存, 实验所有测定步骤于 2017 年 3 月份开始并完成, 采用流水解冻样品, 经组织搅碎机搅碎均匀后备用; 浓硫酸、盐酸、硫酸铜、硫酸钾、氢氧化钠、硼酸、乙醇、甲醇、氯仿、正己烷、14% 三氟化硼-甲醇溶液等 为分析纯, 购于国药集团化学试剂有限公司; 氨基酸标准品 Sigma 公司; 三十七种脂肪酸标准品 Supelco 公司。

YL-C020 型组织搅碎机 九阳料理机; H2050R 台式高速冷冻离心机 湘仪离心机仪器有限公司; FE20-pH 计、AUW320 电子分析天平 梅特勒-托利多仪器有限公司; BGZ-140 电热鼓风干燥箱 上海博讯实业有限公司; SH220N 石墨消解仪 济南海能仪器股份有限公司; KJELTEC TM2300 型全自动凯氏定氮仪 丹麦福斯公司(FOSS); SZF-06 型脂肪测定仪 上海新嘉电子有限公司; PYRAMID TX 型陶瓷纤维马弗炉 北京皮尔美特科技有限公司; L-8800 氨基酸全自动分析仪 日本 Hitachi 公司; LC-2010CHT 高效液相色谱仪 日本岛津公司; Trace-GC 气相色谱仪 意大利 Thermo Fisher 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 基本营养成分测定 水分含量测定: 参照 GB 5009.3-2016 直接干燥法^[6]; 蛋白质含量测定: 参照 GB 5009.5-2016 凯氏定氮法^[7]; 脂质含量测定: 参照 GB 5009.6-2016 索氏抽提法^[8]; 灰分含量测定: 参照 GB 5009.4-2016 马弗炉高温灰化法^[9]。各组样品均取三次重复实验。

1.2.2 氨基酸含量测定

1.2.2.1 样品处理 参照 GB 5009.124-2016 酸水解处理^[10]。

1.2.2.2 氨基酸自动分析仪条件 分离柱: 4.6 mm × 60 mm, 分离树脂为阳离子交换树脂; 分离柱温度: 57 ℃; 检测波长: 570 nm (脯氨酸为 440 nm); 缓冲溶液流速: 0.40 mL/min; 反应液: 茚三酮试剂; 反应液流

量: 0.35 mL/min; 反应单元温度: 135 ℃; 进样量 20 μL。

1.2.3 色氨酸含量测定

1.2.3.1 样品处理 参照李成成等的方法^[11], 略有改动。向搅碎后的虾肉中加入 2 mol/L 的氢氧化锂 1.5 mL, 通入高纯氮气, 马上拧紧瓶盖, 放入 110 ℃ 的电热鼓风干燥箱中水解 24 h。取出冷却后, 将水解液转移到 50 mL 的容量瓶中, 用乙酸钠缓冲液润洗安培瓶, 将润洗液转移到容量瓶中, 加入 6 mol/L 的盐酸 7.5 mL 中和, 再用乙酸钠缓冲液定容, 摇匀, 然后在 4000 r/min 的离心机中离心 10 min, 取上清液过 0.22 μm 有机滤膜, 高效液相色谱仪检测。

1.2.3.2 高效液相色谱仪(HPLC)条件 GL Sciences 公司 Inertsil ODS-SP C18 (4.6 mm × 250 mm, 5 μm) 液相色谱柱; 保护柱柱芯 Inertsil ODS-SP (4 mm × 10 mm, 5 μm); 流动相 A 为纯甲醇, 流动相 B 为乙酸-乙酸钠缓冲液 (0.0085 mol/L 乙酸钠溶液用冰乙酸调 pH 为 4.00 ± 0.05), A:B 为 1:9; 流速 1.0 mL/min; 进样量 10 μL; 柱温 32 ℃; 紫外检测波长 280 nm; 等度洗脱。

1.2.4 脂肪酸含量测定 脂肪提取参照 GB 5009.6-2016 索氏抽提法^[8], 脂肪酸组成测定参照 GB 5009.168-2016^[12]。

1.2.5 氨基酸评分营养分析公式

氨基酸评分: $AAS = (\text{每克待评蛋白中必需氨基酸含量}(\text{mg/g})) / (\text{FAO/WHO 评分模式中相应必需氨基酸的含量}(\text{mg/g}))$ 式(1)

氨基酸化学评分: $CS = (\text{每克待评蛋白中必需氨基酸的含量}(\text{mg/g})) / (\text{鸡蛋蛋白中相应必需氨基酸的含量}(\text{mg/g}))$ 式(2)

必需氨基酸指数:

$$EAAI = \frac{n}{A} \times \frac{b}{B} \times \frac{c}{C} \times \cdots \times \frac{h}{H} \quad \text{式(3)}$$

注: n 为比较的必需氨基酸个数, a、b、c...g 为样品蛋白质中的必需氨基酸含量, A、B、C...H 为鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量。

1.3 数据分析

实验数据由 Excel 和 SPSS 21.0 进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分分析

3~8 份捕捞的南极磷虾中水分、蛋白质、脂肪以及灰分四种基本营养成分含量, 结果如表 1 所示。

由表 1 结果可知, 3~8 月份, 南极磷虾水分含量范围为 76.59%~82.69%, 蛋白质含量范围为 13.07%~15.15%, 脂肪含量范围为 1.13%~4.36%, 灰分含量范围为 1.31%~2.86%, 其中蛋白质、脂肪和灰分含量均在 4 月份达到最高, 而水分含量在 4 月份为最低, 6~8 月份期间, 蛋白质和脂肪含量变化无显著性差异 ($p > 0.05$)。和南美白对虾(蛋白质含量 18.71%、脂肪含量 1.07%)、中国对虾(蛋白质含量 18.27%、脂肪含量 0.52%)^[13]对比, 南极磷虾是一种蛋白质含量适中、高脂肪的虾类, 该研究结果和孙雷^[4]等的一致。

为进一步探究 3~8 月份之间南极磷虾营养成分

表1 各月份南极磷虾基本营养成分含量(%)
Table 1 Content of basic nutrients of Antarctic krill in different months(%)

名称	3月	4月	5月	6月	7月	8月
水分	80.44 ± 0.16 ^b	76.59 ± 0.02 ^c	79.99 ± 0.09 ^b	82.69 ± 0.19 ^a	80.90 ± 0.35 ^b	80.11 ± 0.26 ^b
蛋白质	13.07 ± 0.07 ^d	15.15 ± 0.16 ^a	13.89 ± 0.77 ^b	13.42 ± 0.34 ^c	13.28 ± 0.22 ^c	13.32 ± 0.04 ^c
脂肪	1.65 ± 0.16 ^c	4.36 ± 0.01 ^a	2.65 ± 0.54 ^b	1.47 ± 0.04 ^c	1.44 ± 0.60 ^c	1.13 ± 0.01 ^c
灰分	2.54 ± 0.05 ^b	2.86 ± 0.05 ^a	1.70 ± 0.06 ^c	1.31 ± 0.01 ^e	1.73 ± 0.29 ^c	1.54 ± 0.03 ^d

注:不含相同小写字母表示各组之间有显著性差异($p < 0.05$),表2、表5同。

变化情况,将各月份南极磷虾的蛋白质和脂肪含量制成图1。

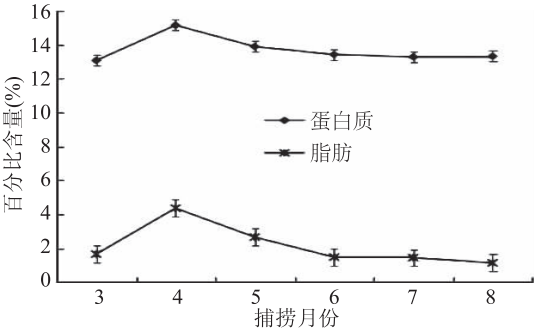


图1 各月份南极磷虾蛋白质及脂肪含量变化
Fig.1 Changes in protein and fat contents of Antarctic krill in different months

从图1可以明显看出,蛋白质和脂肪含量有着相同的变化趋势,这两者在3月份偏低,进入4月份均达到最高,为15.15%和4.36%,5月份呈下降趋势,在6月份达到最低(分别为13.42%和1.47%),6~8月份变化不明显。

导致该变化趋势的原因,可能与南极磷虾的生长习性以及南极的生态环境有关,大磷虾产卵开始时间较早(11月底至12月初),持续时间较长(3.0~3.5个月)^[14],因此南极磷虾在3月份产卵后,蛋白质和脂肪含量会有所下降;南极磷虾是植食性物种,主要以浮游植物为食,4~5月份南极进入秋季,此时浮游植物密度开始逐渐降低,南极磷虾食物逐渐减少,所以其蛋白质和脂肪含量会有下降的趋势;6~8月份,冬季到来,在浮游植物浓度较低的情况下,为了避免饥饿,磷虾也会以碎屑、细菌或后生动物为食^[15-17],因此其蛋白质和脂肪含量降低到一定程度后,呈稳定状态。

2.2 氨基酸组成与含量

各月份南极磷虾中水解氨基酸含量检测结果如表2所示。3~8月份南极磷虾中,均检出18种氨基酸,其中包括8种人体必需氨基酸。必需氨基酸中,亮氨酸和赖氨酸含量较高。亮氨酸可以为蛋白质合成提供能量,促进骨骼肌蛋白质合成^[18];赖氨酸在谷物中相对缺乏,对于以谷物为主食的我国居民来说,南极磷虾是一种优质的赖氨酸食物来源。非必需氨基酸中,天冬氨酸和谷氨酸含量较高,其中谷氨酸是一种重要的鲜味氨基酸。总氨基酸含量(T)范围为99.83~151.33 mg/g,必需氨基酸含量(E)范围为41.63~64.66 mg/g,其中4~6月份的T值和E值在各月份当中为最高,分别达到151.33和64.66 mg/g(6

月份),其次是7、8两月份,3月份为最低。

按照FAO/WHO提出的理想蛋白质条件:组成蛋白质的每种必需氨基酸/总氨基酸的值(E/T)应达总量的40%左右;必需氨基酸/非必需氨基酸的值(E/N)应在60%以上^[19]。从表2可以看出,六月份的南极磷虾,其E/T值范围在41.01%~42.73%,E/N值范围在69.50%~74.63%,均高于理想值,其中4和7两月份的E/T和E/N值在各组中最高。

综上所述,在3~8月份的南极磷虾必需氨基酸组成比例均达到理想蛋白模式的情况下,结合考虑T和E值,所以4~6月份的南极磷虾蛋白质营养价值更高,其中4月份为最高。

2.3 蛋白质营养评价

蛋白质的营养价值,不仅取决于蛋白质的含量、氨基酸的种类及含量,蛋白质中必需氨基酸的含量及组成比例也是重要的评价指标。将测得的必需氨基酸含量换算为每克蛋白质所含氨基酸含量后,与1973年FAO/WHO建议的氨基酸评分标准模式^[20]和全鸡蛋蛋白质评分标准模式进行比较分析,分别计算出氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI),结果如表3、表4所示。

从表4可知,氨基酸评分和化学评分结果类似,其中4月份南极磷虾中八种必需氨基酸AAS和CS值均大于或接近于1,为各组中最高;其他月份南极磷虾中,均有六种必需氨基酸的AAS和CS值大于或接近1(苏氨酸和缬氨酸除外)。六组南极磷虾中,缬氨酸的AAS和CS值均为最低,所以是第一限制性氨基酸;其次为苏氨酸,为第二限制性氨基酸。

必需氨基酸指数值(EAAI)反应了待评蛋白和全鸡蛋蛋白的营养价值接近程度,其值越接近1,营养价值就越高。根据相关EAAI实用评价标准:EAAI > 0.95为优质蛋白源,0.95 > EAAI > 0.86为良好蛋白源,0.86 > EAAI > 0.75为可用蛋白源,EAAI < 0.75为不适用蛋白源^[21]。计算结果可知4、7、8三个月份的南极磷虾为优质蛋白源,3月份南极磷虾为良好蛋白源,5、6月份的南极磷虾为可用蛋白源。

综合前面基本营养成分分析结果,无论在蛋白含量上,还是在必需氨基酸含量、组成比例上,4月份南极磷虾的营养价值最高,因此可在4月份对南极磷虾进行捕捞。

2.4 脂肪酸组成与评价

脂质是机体的主要能量贮存分子和能量来源之一,也是细胞膜结构和功能的重要物质基础,特别是多不饱和脂肪酸是生物体繁殖和生长所必需的^[22],因此脂质的含量及种类也是评价海产品的重要指标

表2 各月份南极磷虾氨基酸含量(mg/g)

Table 2 Amino acid content of Antarctic krill in different months(mg/g)

氨基酸名称	3月	4月	5月	6月	7月	8月
天冬氨酸(Asp)▲	9.73 ± 0.31 ^c	14.35 ± 0.82 ^a	13.39 ± 0.21 ^a	13.11 ± 0.14 ^{ab}	11.06 ± 0.22 ^c	11.45 ± 1.41 ^{bc}
苏氨酸(Thr)*	3.95 ± 0.11 ^c	6.58 ± 0.40 ^a	6.19 ± 0.07 ^a	6.03 ± 0.04 ^a	5.03 ± 0.13 ^b	4.57 ± 0.49 ^{bc}
丝氨酸(Ser)	3.83 ± 0.11 ^d	6.19 ± 0.39 ^a	5.55 ± 0.08 ^{bc}	5.39 ± 0.01 ^b	4.56 ± 0.17 ^c	4.42 ± 0.51 ^{cd}
谷氨酸(Glu)▲	13.38 ± 0.47 ^c	21.45 ± 1.39 ^a	21.48 ± 0.36 ^a	20.85 ± 0.14 ^a	17.15 ± 0.71 ^b	15.97 ± 2.07 ^{bc}
甘氨酸(Gly)▲	4.42 ± 0.10 ^c	6.46 ± 0.23 ^b	7.76 ± 0.04 ^a	7.95 ± 0.21 ^a	4.92 ± 0.18 ^c	4.86 ± 0.55 ^c
丙氨酸(Ala)▲	5.56 ± 0.16 ^c	8.13 ± 0.44 ^{ab}	9.27 ± 0.57 ^a	8.82 ± 0.57 ^a	6.84 ± 0.69 ^{bc}	6.48 ± 0.76 ^c
半胱氨酸(Cys)	4.64 ± 0.09 ^{bc}	5.16 ± 0.40 ^{ab}	5.39 ± 0.38 ^a	5.45 ± 0.20 ^a	4.09 ± 0.18 ^c	4.19 ± 0.07 ^c
缬氨酸(Val)*	4.63 ± 0.08 ^c	7.44 ± 0.24 ^a	7.15 ± 0.05 ^a	7.02 ± 0.02 ^a	5.75 ± 0.11 ^b	5.27 ± 0.53 ^b
蛋氨酸(Met)*	2.66 ± 0.11 ^c	5.79 ± 0.37 ^a	5.44 ± 0.09 ^a	5.27 ± 0.04 ^a	4.18 ± 0.44 ^b	2.89 ± 0.53 ^c
异亮氨酸(Ile)*	6.49 ± 0.19 ^d	9.25 ± 0.20 ^a	8.28 ± 0.13 ^b	8.27 ± 0.18 ^b	7.50 ± 0.25 ^c	6.43 ± 0.45 ^d
亮氨酸(Leu)*	8.28 ± 0.17 ^c	12.59 ± 0.63 ^a	11.92 ± 0.11 ^a	11.45 ± 0.01 ^a	9.87 ± 0.04 ^b	9.33 ± 0.92 ^{bc}
酪氨酸(Tyr)	4.54 ± 0.03 ^d	7.30 ± 0.20 ^a	6.75 ± 0.03 ^{ab}	6.64 ± 0.08 ^{bc}	6.08 ± 0.11 ^c	5.03 ± 0.56 ^d
苯丙氨酸(Phe)*	4.01 ± 0.04 ^d	7.45 ± 0.13 ^a	5.49 ± 0.04 ^c	5.46 ± 0.24 ^c	6.50 ± 0.55 ^b	5.68 ± 0.50 ^c
赖氨酸(Lys)*	8.16 ± 0.26 ^c	12.64 ± 0.69 ^a	12.79 ± 0.06 ^a	12.31 ± 0.06 ^a	10.03 ± 0.04 ^b	10.32 ± 1.29 ^b
色氨酸(Trp)*	3.45 ± 0.10 ^a	2.92 ± 0.17 ^{bc}	2.67 ± 0.08 ^c	3.02 ± 0.11 ^b	3.37 ± 0.11 ^a	3.05 ± 0.09 ^b
组氨酸(His)	2.32 ± 0.02 ^c	3.28 ± 0.16 ^a	3.12 ± 0.03 ^a	3.01 ± 0.06 ^a	2.80 ± 0.31 ^{ab}	2.35 ± 0.28 ^{bc}
精氨酸(Arg)	6.05 ± 0.09 ^c	10.93 ± 1.82 ^a	9.67 ± 0.23 ^{ab}	9.86 ± 0.26 ^{ab}	10.61 ± 1.80 ^a	7.36 ± 0.82 ^{bc}
脯氨酸(Pro)	3.72 ± 0.11 ^a	3.46 ± 0.21 ^a	3.85 ± 0.36 ^a	3.54 ± 0.11 ^b	2.94 ± 0.08 ^a	3.62 ± 0.30 ^c
T	99.83 ± 1.58 ^c	151.33 ± 6.04 ^a	146.13 ± 1.52 ^a	143.38 ± 0.56 ^a	123.23 ± 0.16 ^b	113.27 ± 8.59 ^{bc}
E	41.63 ± 0.75 ^d	64.66 ± 1.76 ^a	59.93 ± 0.14 ^{ab}	58.83 ± 0.05 ^b	52.23 ± 0.32 ^c	47.54 ± 3.12 ^c
(E/T) × 100%	41.70 ± 0.95 ^{ab}	42.73 ± 0.54 ^a	41.01 ± 0.33 ^b	41.03 ± 0.19 ^b	42.38 ± 0.24 ^a	41.97 ± 0.21 ^{ab}
(E/N) × 100%	71.60 ± 0.28 ^{ab}	74.63 ± 1.65 ^a	69.50 ± 0.95 ^b	69.51 ± 0.56 ^b	73.51 ± 0.73 ^a	72.36 ± 0.53 ^{ab}

注:T表示氨基酸总量;E表示必需氨基酸总量;N表示非必需氨基酸总量;▲代表呈味氨基酸;*代表必需氨基酸。

表3 各月份南极磷虾每克蛋白质氨基酸含量与两个模式比较(mg/g)

Table 3 The AA content per gram of protein of Antarctic krill in each month compared with two models(mg/g)

氨基酸	3月	4月	5月	6月	7月	8月	FAO/WHO模式	鸡蛋蛋白
异亮氨酸	49.66	61.06	42.86	41.56	54.00	47.91	40	49
亮氨酸	63.35	83.10	61.70	57.54	71.06	69.52	70	66
赖氨酸	62.43	83.43	66.20	61.86	72.21	76.90	55	66
蛋氨酸+半胱氨酸	55.85	72.28	56.06	53.87	59.54	52.76	35	47
苯丙氨酸+酪氨酸	65.42	97.36	63.35	60.80	90.57	79.81	60	86
苏氨酸	30.22	43.43	32.04	30.30	36.21	34.05	40	45
缬氨酸	35.42	49.11	37.01	35.28	41.40	39.27	50	54
色氨酸	26.40	19.27	13.82	15.18	24.26	22.73	10	17

表4 各月份南极磷虾氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)及必需氨基酸指数(EAAI)

Table 4 The amino acid scores(AAS)、chemical scores(CS) and essential amino acid index(EAAI) of Antarctic krill in different months

氨基酸	3月	4月	5月	6月	7月	8月
AAS	异亮氨酸	1.24	1.53	1.07	1.04	1.35
	亮氨酸	0.91	1.19	0.88	0.82	1.02
	赖氨酸	1.14	1.52	1.20	1.12	1.31
	蛋氨酸+半胱氨酸	1.60	2.07	1.60	1.54	1.70
	苯丙氨酸+酪氨酸	1.09	1.62	1.06	1.01	1.51
	苏氨酸▲▲	0.76	1.09	0.80	0.76	0.91
	缬氨酸▲	0.71	0.98	0.74	0.71	0.83
	色氨酸	2.64	1.93	1.38	1.52	2.43
	异亮氨酸	1.01	1.25	0.87	0.85	1.10
	亮氨酸	0.96	1.26	0.93	0.87	1.08
CS	赖氨酸	0.95	1.26	1.00	0.94	1.09
	蛋氨酸+半胱氨酸	1.19	1.54	1.19	1.15	1.27
	苯丙氨酸+酪氨酸	0.76	1.13	0.74	0.71	1.05
	苏氨酸▲▲	0.67	0.97	0.71	0.67	0.80
	缬氨酸▲	0.66	0.91	0.69	0.65	0.77
EAAI		1.55	1.13	0.81	0.89	1.43
		0.93	1.17	0.85	0.62	1.05
						0.99

注:▲为第一限制性氨基酸,▲▲为第二限制性氨基酸。

表5 各月份南极磷虾脂肪酸组成及相对百分含量(%)
Table 5 Composition and percentage of fatty acid of Antarctic krill in each month(%)

脂肪酸名称	3月	4月	5月	6月	7月	8月
C14:0	11.15 ± 0.25 ^c	12.98 ± 0.52 ^b	12.89 ± 0.20 ^b	11.58 ± 0.37 ^c	14.03 ± 0.54 ^a	13.31 ± 0.22 ^{ab}
C15:0	0.14 ± 0.18 ^a	0.32 ± 0.01 ^a	0.34 ± 0.01 ^a	0.15 ± 0.21 ^a	0.24 ± 0.03 ^a	0.22 ± 0.01 ^a
C16:0	22.57 ± 0.03 ^{ab}	21.11 ± 1.57 ^b	21.22 ± 1.44 ^b	23.78 ± 0.66 ^a	22.66 ± 0.70 ^{ab}	22.01 ± 0.46 ^b
C17:0	/	0.09 ± 0.01 ^b	0.18 ± 0.01 ^a	0.02 ± 0.01 ^c	0.02 ± 0.02 ^c	0.01 ± 0.01 ^c
C18:0	1.73 ± 0.32 ^a	2.04 ± 0.18 ^a	2.02 ± 0.08 ^a	1.90 ± 0.19 ^a	2.04 ± 0.08 ^a	2.01 ± 0.06 ^a
C20:0	0.11 ± 0.01 ^a	0.02 ± 0.01 ^b	0.07 ± 0.01 ^{ab}	0.03 ± 0.04 ^b	0.07 ± 0.02 ^b	0.06 ± 0.01 ^b
C21:0	/	0.01 ± 0.01 ^b	0.02 ± 0.01 ^a	/	0.01 ± 0.01 ^b	0.01 ± 0.01 ^b
C22:0	0.04 ± 0.01 ^{bc}	0.03 ± 0.01 ^c	0.06 ± 0.01 ^b	0.04 ± 0.01 ^{bc}	0.13 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.01 ^a
C23:0	/	0.22 ± 0.06 ^b	0.34 ± 0.01 ^{ab}	/	0.56 ± 0.05 ^a	0.26 ± 0.11 ^b
C24:0	/	0.02 ± 0.01 ^c	0.02 ± 0.01 ^c	/	0.13 ± 0.01 ^a	0.07 ± 0.01 ^b
C14:1	0.18 ± 0.14 ^a	0.15 ± 0.01 ^a	0.07 ± 0.01 ^a	0.19 ± 0.16 ^a	0.11 ± 0.02 ^a	0.10 ± 0.01 ^a
C16:1	10.44 ± 0.32 ^{bc}	13.50 ± 0.96 ^a	11.37 ± 0.16 ^b	9.55 ± 0.69 ^c	14.07 ± 0.17 ^a	13.71 ± 0.01 ^a
C17:1	0.38 ± 0.09 ^a	0.75 ± 0.01 ^b	0.12 ± 0.01 ^b	0.30 ± 0.07 ^a	0.12 ± 0.01 ^b	0.05 ± 0.01 ^b
C18:1n9T	/	0.07 ± 0.01 ^b	0.09 ± 0.01 ^a	/	0.11 ± 0.01 ^a	0.07 ± 0.01 ^b
C18:1n9c	13.12 ± 0.76 ^b	14.47 ± 1.15 ^b	13.56 ± 0.15 ^b	12.11 ± 1.68 ^b	14.81 ± 0.65 ^a	14.99 ± 0.65 ^a
C20:1	0.34 ± 0.30 ^b	1.08 ± 0.08 ^a	0.72 ± 0.17 ^{ab}	0.75 ± 0.18 ^{ab}	0.93 ± 0.14 ^a	1.09 ± 0.06 ^a
C22:1n9	0.56 ± 0.04 ^b	0.67 ± 0.05 ^{ab}	0.59 ± 0.05 ^a	0.61 ± 0.02 ^{ab}	0.66 ± 0.05 ^{ab}	0.69 ± 0.01 ^a
C24:1	1.01 ± 0.01 ^c	1.09 ± 0.01 ^c	1.10 ± 0.01 ^c	0.91 ± 0.01 ^d	1.73 ± 0.85 ^b	2.04 ± 0.47 ^a
C18:2n6t	0.86 ± 0.01 ^d	1.86 ± 0.01 ^a	1.54 ± 0.01 ^c	1.66 ± 0.01 ^c	1.82 ± 0.02 ^a	1.72 ± 0.02 ^b
C18:2n6c	2.63 ± 0.07 ^a	0.76 ± 0.04 ^d	1.37 ± 0.04 ^c	2.51 ± 0.18 ^a	2.14 ± 0.04 ^b	1.99 ± 0.03 ^b
C20:2	4.44 ± 0.07 ^a	2.86 ± 0.13 ^b	3.09 ± 0.24 ^b	4.80 ± 0.48 ^a	0.91 ± 0.02 ^c	0.69 ± 0.01 ^c
C22:2	0.50 ± 0.01 ^a	0.29 ± 0.06 ^d	0.39 ± 0.01 ^{bc}	0.45 ± 0.01 ^{ab}	0.35 ± 0.01 ^{cd}	0.37 ± 0.02 ^c
C18:3n6	0.08 ± 0.11 ^a	0.14 ± 0.01 ^a	0.15 ± 0.03 ^a	0.10 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.01 ^a	0.16 ± 0.01 ^a
C18:3n3	1.66 ± 0.41 ^a	0.35 ± 0.02 ^b	0.25 ± 0.11 ^b	2.25 ± 0.67 ^a	0.39 ± 0.07 ^b	0.43 ± 0.12 ^b
C20:3n6	0.15 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.07 ^b	0.11 ± 0.02 ^{ab}	0.10 ± 0.02 ^{ab}	0.18 ± 0.03 ^a	0.17 ± 0.04 ^a
C20:3n3	0.03 ± 0.01 ^b	0.02 ± 0.01 ^b	0.14 ± 0.19 ^b	0.02 ± 0.02 ^b	0.45 ± 0.03 ^a	0.03 ± 0.02 ^b
C20:4n6	0.36 ± 0.02 ^a	0.15 ± 0.21 ^b	/	/	/	0.27 ± 0.08 ^b
C20:5n3(EPA)	20.09 ± 0.35 ^a	16.45 ± 5.50 ^c	19.46 ± 0.12 ^{ab}	18.24 ± 1.01 ^b	16.28 ± 0.54 ^c	16.14 ± 0.37 ^c
C22:6n3(DHA)	7.45 ± 0.39 ^{ab}	8.45 ± 0.49 ^{ab}	8.72 ± 0.89 ^a	7.96 ± 0.83 ^{ab}	6.95 ± 0.35 ^b	7.21 ± 0.54 ^{ab}
SFA	35.74 ± 0.13 ^c	36.84 ± 0.22 ^b	37.16 ± 0.16 ^b	37.50 ± 0.18 ^{ab}	37.89 ± 0.10 ^a	38.08 ± 0.35 ^a
MUFA	26.03 ± 0.31 ^c	31.78 ± 0.21 ^b	27.62 ± 1.08 ^c	24.42 ± 0.27 ^d	32.54 ± 0.28 ^a	32.74 ± 0.37 ^a
PUFA	38.25 ± 0.32 ^a	31.38 ± 0.27 ^c	35.22 ± 0.41 ^b	38.09 ± 0.11 ^a	29.59 ± 0.47 ^d	29.18 ± 0.15 ^d
EPA + DHA	27.54 ± 0.31 ^a	24.90 ± 0.12 ^c	28.18 ± 0.87 ^a	26.20 ± 0.34 ^b	23.23 ± 0.23 ^d	23.35 ± 0.11 ^d
ω3-PUFA	29.23 ± 0.25 ^a	25.27 ± 0.52 ^c	28.57 ± 0.19 ^b	28.47 ± 0.13 ^b	24.07 ± 0.36 ^d	23.81 ± 0.23 ^d
ω6-PUFA	4.08 ± 0.12 ^b	2.96 ± 0.09 ^d	3.17 ± 0.34 ^c	4.37 ± 0.15 ^a	4.26 ± 0.05 ^a	4.31 ± 0.11 ^a
ω-3/ω-6	7.16 ± 0.32 ^c	8.54 ± 0.23 ^{ab}	9.01 ± 0.67 ^a	6.51 ± 0.18 ^d	5.65 ± 0.32 ^c	5.52 ± 0.27 ^c

注:SFA,饱和脂肪酸总量;MUFA,单不饱和脂肪酸总量;PUFA,多不饱和脂肪酸总量;“/”表示未检出。

之一。对南极磷虾的脂肪酸含量及组成测定结果如表5所示。

海洋生物体内的不饱和脂肪酸的合成受营养素、环境因子、激素、转录因子、遗传因子等多种因素的影响,这些因素可能通过影响其合成途径的关键酶的mRNA水平或酶活性来产生作用^[23]。由表5可知,从南极磷虾中共分析鉴定出29种已知脂肪酸,各组中C14:0、C16:0、C16:1、C18:1n9c、C20:5n3(EPA)和C22:6n3(DHA)六种脂肪酸含量明显占优。

3~8月份南极磷虾中,饱和脂肪酸共检出10种,含量范围为35.74%~38.08%,其中C14:0和C16:0含量在各组中均为最高,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^[5]。饱和脂肪酸总量(SFA)从3~8月份呈逐渐增加的趋势,其中3月份SFA最低,为35.74%;4、5两个月份分别增加到36.84%、37.16%,两者无显著性差异($p > 0.05$);到8月份达到最大,为38.08%。这可能和南极磷虾食品的逐渐减少以及适应秋冬季节有关。

单不饱和脂肪酸共检出8种,含量范围为24.42%~32.74%,以C16:1和C18:1n9c为主。其含量(MUFA)在7、8两个月份为最大,分别为32.54%和32.74%,两者无显著性差异($p > 0.05$);在6月份

为最低,为24.42%。

多不饱和脂肪酸共检出11种,含量范围为29.18%~38.25%,以C20:5n3(EPA)和C22:6n3(DHA)为主,二者总量高达23.23%~28.18%,这两类物质对人体的发育和健康起着重要的促进作用,研究表明,EPA和DHA可以抑制内源性胆固醇和甘油三酯的合成,降低心血管疾病的发病率^[24],还具有良好的免疫调节作用和抗炎作用^[25]。其含量(PUFA)在3、6两个月份达到最大,分别为38.25%和38.09%,两者无显著性差异($p > 0.05$);在7、8两个月份为最小,分别为29.59%、29.18%,无显著性差异($p > 0.05$)。

南极磷虾多不饱和脂肪酸以 ω 3-PUFA为主, ω 6-PUFA含量较少,二者的比值范围在2.96~4.37之间。关于这两类脂肪酸的摄入比例 ω -3/ ω -6值,中国营养学会2000年所指定的推荐标准如下:0~6个月的婴儿为1:4,其余(小学生、青少年、成人、老年人)均为1:(4~6),世界卫生组织推荐标准为小于1:6^[26]。我国主要食用的油如花生油、色拉油、豆油、葵花籽油、玉米油等食用油中 ω 3脂肪酸含量极少,导致其 ω -3/ ω -6值过低^[27],容易引发肥胖及心血管疾病,因此南极磷虾油可以作为一种优质的 ω -3PUFA来源,添加到中国人的餐桌上。

3 结论

对南极磷虾的基本营养成分分析结果表明:蛋白质和脂肪含量有着相同的变化趋势,两者均在3月份偏低,4月份最高,5月份呈下降趋势,6~8月份呈稳定状态。该变化特点可能和南极磷虾的生长特性以及南极季节变化相关。

氨基酸含量分析与评价结果表明:3~8月份的南极磷虾E/T值均大于40%,E/N值均大于60%,符合理想蛋白模式,结合T和E值考虑,4~6月份的南极磷虾蛋白质营养价值更高,而4月份的为最高,可选择此期间的南极磷虾样品来制成水产饲料等产品。

脂肪酸组成分析结果表明:3~8月份南极磷虾中,饱和脂肪酸含量呈逐渐增高,不饱和脂肪酸含量呈逐渐递减的趋势。六组中不饱和脂肪酸含量占比均很高,达到60%以上,以EPA和DHA为主, ω -3/ ω -6比例合适。

综上,4~6月份的南极磷虾营养价值较高,可选择该阶段对南极磷虾进行捕捞。本实验为南极磷虾的养殖和综合利用提供了依据。

参考文献

- [1]朱国平.南极磷虾种群生物学研究进展I—年龄、生长与死亡[J].水生生物学报,2011,35(5):862-868.
- [2]黄洪亮,陈雪忠,冯春雷.南极磷虾资源开发现状分析[J].渔业现代化,2007(1):48-51.
- [3]Atkinson A, Siegel V, Pakhomov E A, et al. A reappraisal of the total biomass and annual production of Antarctic krill[J]. Deep Sea Research (Part I): Oceanographic Research Papers, 2009,56(5):727-74.
- [4]孙雷,周德庆,盛晓风.南极磷虾营养评价与安全性研究[J].海洋水产研究,2008(2):57-64.

- [5]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,2011,18(4):929-935.

- [6]中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.GB 5009.3-2016 食品中水分的测定.

- [7]中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.GB 5009.5-2016 食品中蛋白质的测定.

- [8]中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.GB 5009.6-2016 食品中脂肪的测定.

- [9]中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.GB 5009.4-2016 食品中灰分的测定.

- [10]中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.GB 5009.124-2016 食品中氨基酸的测定.

- [11]李成成,尤晓蒙,付珺,等.高效液相色谱测定饲料中色氨酸含量方法的研究[J].食品工业科技,2016,37(9):308-310.

- [12]中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.GB 5009.168-2016 食品中脂肪酸的测定.

- [13]张高静,韩丽萍,孙剑锋,等.南美白对虾营养成分分析与评价[J].中国食品学报,2013,13(8):254-260.

- [14]朱国平.南极磷虾种群生物学研究进展II—繁殖[J].水生生物学报,2013,37(4):751-758.

- [15]朱国平,朱小艳.南极磷虾种群生物学研究进展III—摄食[J].水生生物学报,2014,38(6):1152-1160.

- [16]Pakhomov E A, Perissinotto R, Froneman P W, et al. Energetics and feeding dynamics of *Euphausia superba* in the South Georgia region during the summer of 1994[J]. Journal of Plankton Research, 1997,19(4):399-423.

- [17]Nishino Y, Kawamura A. Winter gut contents of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) collected in the South Georgia area[J]. Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology, 1994, 7:82-90.

- [18]毛湘冰,黄志清,陈小玲,等.亮氨酸调节哺乳动物骨骼肌蛋白质合成的研究进展[J].动物营养学报,2011,23(5):709-714.

- [19]李正中.花粉、灵芝与珍珠中必需氨基酸的定量测定与分析比较[J].氨基酸杂志,1988(4):41-43.

- [20]FAO/WHO. Energy and protein requirements[J]. FAO Nutriting Meeting Report Series, 1973(2):52-63.

- [21]李文义,杨志,史军义,等.达摩凤蝶幼虫、蛹和成虫的营养成分分析[J].江西农业大学学报,2014,36(3):556-561.

- [22]刘志东,陈雪忠,曲映红,等.南极冰鱼与南极磷虾营养成分分析及比较[J].现代食品科技,2014,30(2):228-233.

- [23]谢帝芝,王树启,游翠红,陈芳,张庆昊,李远友.鱼类高度不饱和脂肪酸合成的影响因素及其机理[J].中国水产科学,2013,20(2):456-466.

- [24]Nordoy A, Marchioli R, Arnesen H, et al. n-3 polyunsaturated fatty acid and cardiovascular disease[J]. Lipids, 2001,36:127-129.

- [25]朱路英,张学成,宋晓金,等.n-3多不饱和脂肪酸DHA、EPA研究进展[J].海洋科学,2007(11):78-85.

- [26]蒋瑜,熊文珂,殷俊玲,等.膳食中 ω -3和 ω -6多不饱和脂肪酸摄入与心血管健康的研究进展[J].粮食与油脂,2016,29(11):1-5.

- [27]马伏英,智光,张建红. ω -6/ ω -3脂肪酸平衡对动脉粥样硬化的影响[J].中国医刊,2005(11):50-51.