

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2013.06.010

不同加工方式的南极大磷虾粉营养品质评价

黄艳青，龚洋洋，陆建学，黄洪亮，高露姣

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090)

摘要: 对3种加工方式的南极大磷虾(*Euphausia superba*)粉(磷虾粉A为冷冻运回中国,冻干;磷虾粉B为捕捞现场蒸煮加工,未添加抗氧化剂;磷虾粉C为捕捞现场蒸煮加工,添加抗氧化剂)的营养品质进行分析和评价。结果显示,3种磷虾粉中粗蛋白占干物质的质量分数为61.73%~68.48%,氨基酸总量(Σ AA)为51.46%~66.32%,10种鱼虾必需氨基酸总量(Σ EAA)为23.69%~31.78%,多不饱和脂肪酸总量(Σ PUFA)占脂肪酸总量的44.05%~52.74%,EPA和DHA占脂肪酸总量的38.55%~46.38%。其中磷虾粉C的 Σ AA、 Σ EAA、EAAI值、SRC值、 Σ PUFA、EPA和DHA的质量分数均高于磷虾粉A和B。磷虾粉C的粗蛋白质量分数高,氨基酸组成合理,多不饱和脂肪酸丰富,具有最高的营养价值。

关键词: 南极大磷虾粉; 营养成分; 氨基酸; 脂肪酸

中图分类号: S 985.2⁺¹

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2013)06-0058-08

Evaluation of nutritional quality of Antarctic krill meal by different processing methods

HUANG Yanqing, GONG Yangyang, LU Jianxue, HUANG Hongliang, GAO Lujiao

(Key Lab. of East China Sea and Oceanic Fishery Resources Exploitation, Ministry of Agriculture; East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: We evaluate the nutritional quality of Antarctic krill (*Euphausia superba*) meals: meal A (freeze-dried Antarctic krill meal), meal B (steam cooked Antarctic krill meal, processed on board without adding anti-oxidant) and meal C (steam cooked Antarctic krill meal, processed on board with adding anti-oxidant). Results show that all the 3 samples have good nutritional quality, with high content of crude protein (61.73%~68.48%), total content of amino acids (Σ AA) (51.46%~66.32%), total content of 10 essential amino acids for shrimp and fish (Σ EAA) (23.69%~31.78%), respectively. Moreover, the contents of poly-unsaturated fatty acids (Σ PUFA) is 44.05%~52.74%, and a high proportion of EPA and DHA is also found in the 3 samples (38.55%~46.38%). Based on the results of Σ AA, Σ EAA, the essential amino acids index (EAAI), score of ratio coefficient of amino acid (SRC), Σ PUFA, and the total contents of EPA and DHA, Antarctic krill meal C has the highest nutritional quality compared with the other two, and has high nutritional value for further development and utilization.

Key words: Antarctic krill meal; nutritional component; amino acids; fatty acids

中国作为第一水产养殖大国,随着水产养殖业的不断发展和养殖规模的不断增长,对人工配合饲

收稿日期: 2013-04-28; 修回日期: 2013-06-21

资助项目: 中央级公益性科研院所基本业务费专项资金(中国水产科学研究院东海水产研究所2009M06); 农业部专项“南极海洋生物资源开发利用”(2010-2013); 国家海洋局“南北极环境综合考察与评估专项”(CHINARE 2013-01-06); 农业部财政专项(2130135-探捕); 公益性行业(农业)科研专项(201103034)

作者简介: 黄艳青(1977-),女,助理研究员,从事水产动物饲料与营养及营养与免疫相关研究。E-mail: hyqrich@163.com

通信作者: 高露姣(1971-),女,博士,研究员,从事水产动物饲料与营养学研究。E-mail: gaolujiaoyxk@126.com

料的需求不断增加, 鱼粉是水产饲料中主要的优质蛋白源^[1], 中国国产鱼粉产量不能满足国内饲料企业的需求, 每年都从国外进口大量鱼粉。对鱼粉的强劲需求和鱼粉有限产量之间的矛盾导致了鱼粉的价格不断上涨^[2]。而高价格的鱼粉, 给鱼粉刚性需求较大的饲料企业控制产品成本带来了严峻的挑战, 饲料蛋白源的短缺已成为制约中国饲料行业和水产养殖业发展的主要因素^[3]。因此, 加强新的优质蛋白源的研究与开发^[4], 减少对鱼粉的依赖, 是中国水产养殖研究的重要内容。

南极大磷虾(*Euphausia superba*)隶属节肢动物门, 甲壳纲, 磷虾目, 磷虾科, 磷虾属, 是世界海洋中生物储备量最大的单种生物之一, 其生物量保守估算为 $(3.42 \sim 5.36) \times 10^8 \text{ t}$ ^[5], 南极大磷虾蛋白含量高, 氨基酸种类齐全, 脂肪酸种类丰富, 矿物元素含量较高, 具有较高的营养和开发利用价值^[6]。在世界海洋渔业资源普遍衰退的背景下, 南极大磷虾资源日益受到世界各国关注。目前, 加工生产南极大磷虾粉是南极大磷虾资源开发利用的主要途径之一。根据鱼粉生产经验, 不同的生产加工方式对鱼粉质量具有较大的影响^[7]。因此, 笔者研究旨在通过比较分析不同加工方式下南极大磷虾粉的营养品质差异, 探讨南极大磷虾粉适宜加工方式, 为南极大磷虾粉在水产饲料中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与制备

南极大磷虾由中国“南极海洋生物资源开发利用项目组”2010年1月于南极FAO 48.1区捕捞。在捕捞后的2 h内, 一部分磷虾被及时冷冻成块, 储存于船载低温冷库中, -40℃冷冻运回中国, 冷冻冻干后粉碎加工制成南极大磷虾粉(磷虾粉A)。另一部分磷虾通过改装的鱼粉生产线, 现场进行蒸煮加工制成南极大磷虾粉(未添加饲用抗氧化剂的为磷虾粉B, 添加了饲用抗氧化剂的为磷虾粉C)。每一生产线的南极大磷虾粉均采集3份, 冷冻保存备用。

1.2 营养成分测定

粗蛋白测定采用凯氏定氮法(GB/T 5009.5-2010); 粗脂肪测定采用索式抽提法(GB/T 5009.6-2010); 灰分测定采用550℃高温灼烧法(GB/T 5009.4-2010)。

1.2.1 氨基酸测定 按GB/T 5009.124-2003方法使用Biochrom 20型氨基酸自动分析仪测定除色氨酸、胱氨酸外的16种氨基酸; 采用GB/T 18246-2000碱水解法前处理, 然后反相高效液相色谱法测定色氨酸质量分数; 先按GB/T 15399-1994氧化酸解法前处理样品, 然后根据GB/T 18246-2000方法使用Biochrom 20型氨基酸自动分析仪测定胱氨酸质量分数。

1.2.2 脂肪酸含量测定 参照GB/T 22223-2008的气相色谱法, 参照FOLCH等^[8]方法用氯仿-甲醇浸提脂肪, 提取的脂肪用2%氢氧化钠和15%三氟化硼甲醇溶液进行水解和甲酯化, 用正庚烷溶液静止分层, 取上清后使用Agilent 6890型气相色谱仪分析。以混合脂肪酸及单一脂肪酸的甲酯标准品(SUPELCO公司提供)做定性, 以色谱峰峰面积归一法计算出各脂肪酸相对含量。

1.3 营养品质评价方法

1.3.1 必需氨基酸指数(EAAI) 由于EAAI反映了饲料蛋白源的必需氨基酸组成与养殖对象的必需氨基酸需求组成的拟合程度, 因此文章以水产动物的氨基酸需求为参照, 用EAAI来评价南极大磷虾粉对几种水产动物的营养价值。参考冯东勋和赵保国^[9]EAAI的计算方法, 公式如下:

$$EAAI = n \sqrt{\prod_{i=1}^n \frac{aai}{AAi}}$$

式中n为比较的氨基酸数, aai为饲料蛋白源中某必需氨基酸占必需氨基酸总量的百分数, AAi为参考动物的该必需氨基酸占必需氨基酸总量的百分数。

1.3.2 氨基酸比值系数法 参考朱圣陶和吴坤^[10]的方法, 以几种水产动物氨基酸需求为参考模式, 计算样品中的氨基酸比值(RAA)和氨基酸比值系数(ratio coefficient of amino acid, 简称RC), 得出第一、第二和第三限制性氨基酸。进一步计算氨基酸比值系数分(score of RC, 简称SRC), 公式如下:

$$RC = \frac{RAA}{RAA \text{ 均数}}$$

$$RAA = \frac{\text{试验蛋白质氨基酸质量分数}}{\text{模式同种氨基酸质量分数}}$$

$$SRC = 100 \times (1 - CV)$$

式中CV为RC的变异数, CV=RC的标准差/均数, 若CV=0, 则SRC=100。

1.4 数据分析

采用 SPSS 16.0 统计软件用 Duncan's 进行两两之间的多重比较, 显著性水平采用 0.05, $P < 0.05$ 表示有显著差异。

2 结果与分析

2.1 一般营养成分

3 种磷虾粉一般营养成分的测定结果见表 1。磷虾粉中粗蛋白质量分数为 61.73%~68.48%, 粗

脂肪质量分数为 3.56%~6.23%, 灰分质量分数为 14.72%~17.15%。其中粗蛋白质量分数, 磷虾粉 B 显著高于磷虾粉 C($P < 0.05$), 磷虾粉 C 显著高于磷虾粉 A($P < 0.05$)。粗脂肪质量分数, 磷虾粉 C 显著高于磷虾粉 B($P < 0.05$), 磷虾粉 B 显著高于磷虾粉 A($P < 0.05$)。粗灰分质量分数, 磷虾粉 A 显著高于磷虾粉 C($P < 0.05$), 磷虾粉 C 显著高于磷虾粉 B($P < 0.05$)。

表 1 南极大磷虾粉中一般营养成分比较(干样, $n=3$)

Tab. 1 Comparison of main nutritional composition of Antarctic krill meals (dry basis)

	磷虾粉 A Antarctic krill meal A	磷虾粉 B Antarctic krill meal B	磷虾粉 C Antarctic krill meal C	%
粗蛋白 crude protein	61.73 ± 0.17 ^c	68.48 ± 0.51 ^a	67.41 ± 0.48 ^b	
粗脂肪 crude fat	3.56 ± 0.03 ^c	5.74 ± 0.07 ^b	6.23 ± 0.19 ^a	
灰分 ash	17.15 ± 0.05 ^a	14.72 ± 0.21 ^c	15.21 ± 0.20 ^b	

注: 同一行数据上标字母不同表示有显著差异($P < 0.05$), 后表同此

Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different from one other ($P < 0.05$); the same case in the following tables.

2.2 氨基酸组成与含量

氨基酸的种类和含量是衡量蛋白质质量高低的一项重要指标。3 种磷虾粉中水解氨基酸组成见表 2, 均检测出 18 种氨基酸(10 种鱼虾必需氨基酸和 8 种非必需氨基酸)及牛磺酸(Tau, 0.61%~0.76%)。氨基酸总量(Σ AA)、10 种鱼虾必需氨基酸总量(Σ EAA)、非必需氨基酸总量(Σ NEAA)、呈味氨基酸总量(Σ DAA)占氨基酸总量的质量分数(Σ DAA/ Σ AA 比值)、必需氨基酸总量占氨基酸总量的质量分数(Σ EAA/ Σ AA 比值)和必需氨基酸总量与非必需氨基酸总量之比(Σ EAA/ Σ NEAA 比值), 磷虾粉 B 和 C 均显著高于磷虾粉 A($P < 0.05$), 其中磷虾粉 C 的 Σ AA、 Σ EAA、 Σ NEAA 及 Σ DAA 占干物质中的百分比显著高于磷虾粉 B($P < 0.05$)。与鱼粉^[11]相比, 磷虾粉 B 和 C 的 Σ AA、 Σ EAA、 Σ NEAA 及 Σ DAA/ Σ AA 比值略低于鱼粉中的对应值。但磷虾粉 A、B 和 C 的 Σ EAA/ Σ AA 比值为 46.04%~47.88%, 且 Σ EAA/ Σ NEAA 比值为 85.31%~92.00%, 均高于 FAO/WHO 提出的参考蛋白质模式标准—— Σ EAA/ Σ AA 比值为 0.4 左右, Σ EAA/ Σ NEAA 比值在 0.6 以上^[12]。因此, 该研究中磷虾粉 A、B 和 C 和鱼粉一样, 均为优质蛋白源, 其中磷虾粉 B 和 C 氨基酸和蛋白营养价值更

高。

2.3 营养品质评价

参照《鱼虾营养需求标准 2011》^[13] 中大西洋鲑(*Salmo salar*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)、斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)和斑节对虾(*Penaeus monodon*)的必需氨基酸需求数据, 计算 3 种磷虾粉的 EAAI 和 SRC 值, 并与鱼粉和大豆粕^[14]进行比较。利用 EAAI 值评价饲料蛋白的实用标准是: EAAI 值大于 0.90 的为优质蛋白源; 在 0.8~0.9 之间的为良好蛋白源; 在 0.7~0.8 之间的为可用蛋白源; 小于 0.70 的为不适宜蛋白源^[9]。3 种磷虾粉对于上述水产动物的 EAAI 值高低顺序为磷虾粉 C > 磷虾粉 A > 磷虾粉 B, 且 3 种磷虾粉的 EAAI 值均 ≥ 0.90 , 但低于鱼粉和大豆粕的 EAAI 值, 说明 3 种磷虾粉某些方面不如鱼粉和豆粕, 但仍属于优质的蛋白源。

根据氨基酸比值系数 RC 值可判断出蛋白质中限制性氨基酸种类。对斑节对虾, 磷虾粉 A 的第一限制性氨基酸为组氨酸(His), 而磷虾粉 B、C、鱼粉和豆粕中第一限制性氨基酸均为苏氨酸(Thr)。对尼罗罗非鱼, 磷虾粉 B 的第一限制性氨基酸为色氨酸(Trp), 而其余几种蛋白源的第

一限制性氨基酸都为 His。对斑点叉尾鮰, 磷虾粉 A、B 和鱼粉的第一限制性氨基酸为 Trp, 而磷虾粉 C 和大豆粕的第一限制性氨基酸为蛋氨酸 +胱氨酸 (Met + Cys)。对虹鳟和大西洋鲑, 磷虾粉 A、B、C 的第一限制性氨基酸分别为 His、Trp 和 Met + Cys, 而鱼粉和大豆粕的第一限制性氨基酸

为赖氨酸 (Lys)。对鲤, 磷虾粉 B 的第一限制性氨基酸为 Trp, 而磷虾粉 A、C、鱼粉和大豆粕的第一限制性氨基酸均为 Thr。可见, 对除斑点叉尾鮰外的另外 5 种养殖动物而言, 鱼粉和大豆粕的第一限制性氨基酸完全一致, 但 3 种磷虾粉对同种养殖对象的第一限制性氨基酸各有不同。

表 2 南极大磷虾粉中氨基酸质量分数比较(干样, $n=3$)

Tab. 2 Comparison of amino acid content of Antarctic krill meal (dry basis)

氨基酸 amino acids	磷虾粉 A Antarctic krill meal A	磷虾粉 B Antarctic krill meal B	磷虾粉 C Antarctic krill meal C	%
苏氨酸* Thr	2.27 ± 0.02 ^c	3.00 ± 0.03 ^b	3.11 ± 0.02 ^a	
缬氨酸* Val	2.80 ± 0.03 ^c	3.43 ± 0.02 ^b	3.59 ± 0.01 ^a	
亮氨酸* Leu	3.82 ± 0.03 ^c	5.29 ± 0.02 ^b	5.39 ± 0.04 ^a	
异亮氨酸* Ile	2.45 ± 0.02 ^c	3.18 ± 0.03 ^b	3.28 ± 0.01 ^a	
蛋氨酸* Met	0.90 ± 0.02 ^a	0.54 ± 0.02 ^b	0.24 ± 0.01 ^c	
苯丙氨酸* Phe	2.36 ± 0.02 ^c	3.15 ± 0.01 ^b	3.26 ± 0.01 ^a	
赖氨酸* Lys	4.01 ± 0.01 ^b	5.61 ± 0.02 ^a	5.57 ± 0.03 ^a	
色氨酸* Trp	0.51 ± 0.01 ^b	0.53 ± 0.02 ^b	0.80 ± 0.02 ^a	
精氨酸* Arg	3.37 ± 0.02 ^c	4.74 ± 0.03 ^a	4.69 ± 0.01 ^b	
组氨酸* His	1.20 ± 0.01 ^c	1.89 ± 0.02 ^a	1.85 ± 0.01 ^b	
酪氨酸 Tyr	2.43 ± 0.02 ^c	2.81 ± 0.04 ^b	2.87 ± 0.02 ^a	
胱氨酸 Cys	1.88 ± 0.01 ^c	1.95 ± 0.02 ^b	2.01 ± 0.01 ^a	
谷氨酸** Glu	6.91 ± 0.02 ^c	9.18 ± 0.03 ^b	9.32 ± 0.02 ^a	
天门冬氨酸** Asp	5.46 ± 0.03 ^c	6.94 ± 0.01 ^b	7.08 ± 0.02 ^a	
丙氨酸** Ala	2.98 ± 0.01 ^c	3.81 ± 0.01 ^b	3.92 ± 0.01 ^a	
甘氨酸** Gly	3.25 ± 0.02 ^c	3.45 ± 0.02 ^a	3.41 ± 0.01 ^b	
脯氨酸 Pro	2.76 ± 0.03 ^c	2.85 ± 0.02 ^b	2.89 ± 0.02 ^a	
丝氨酸 Ser	2.10 ± 0.02 ^c	3.15 ± 0.02 ^a	3.04 ± 0.01 ^b	
牛磺酸 Tau	0.76 ± 0.02 ^a	0.72 ± 0.02 ^b	0.61 ± 0.01 ^c	
必需氨基酸 ΣEAA	23.68 ± 0.06 ^c	31.37 ± 0.08 ^b	31.78 ± 0.06 ^a	
非必需氨基酸 ΣNEAA	27.76 ± 0.07 ^c	34.15 ± 0.08 ^b	34.54 ± 0.04 ^a	
呈味氨基酸 ΣDAA	18.60 ± 0.04 ^c	23.39 ± 0.03 ^b	23.73 ± 0.01 ^a	
氨基酸总量 ΣAA	51.46 ± 0.08 ^c	65.52 ± 0.12 ^b	66.32 ± 0.10 ^a	
ΣEAA/ΣAA	46.04 ± 0.10 ^c	47.88 ± 0.08 ^a	47.92 ± 0.02 ^a	
ΣEAA/ΣNEAA	85.31 ± 0.36 ^b	91.85 ± 0.30 ^a	92.00 ± 0.08 ^a	
ΣDAA/ΣAA	36.13 ± 0.06 ^a	35.70 ± 0.03 ^b	35.77 ± 0.05 ^b	

注: *. 10 种鱼虾必需氨基酸; **. 呈味氨基酸; ΣAA. 10 种鱼虾氨基酸总量; ΣEAA. 必需氨基酸总量; ΣNEAA. 非必需氨基酸总量; ΣDAA. 呈味氨基酸总量

Note: *. 10 essential amino acids for fish and shrimp; **. delicious amino acids; ΣAA. total 10 amino acids for fish and shrimp contents; ΣEAA. total essential amino acids contents; ΣNEAA. total non-essential amino acid contents; ΣDAA. total delicious amino acids content

SRC 是理论上评价蛋白质“质”的指标, *SRC* 值越接近 100, 其蛋白质的 EAA 组成比例与参考模式越一致, 营养价值越高^[10]。3 种磷虾粉针对不同的养殖动物, 其 *SRC* 值各不相同。对大西洋鲑, 5 种蛋白源的 *SRC* 值大小顺序依次为鱼粉(86.51)、磷虾粉 C(82.38)、磷虾粉 B(80.56)、磷虾粉 A(80.50)、大豆粕(79.07)。对鲤, *SRC* 值大小顺序依次为磷虾粉 A(80.02)、磷虾粉 C(79.46)、磷虾粉 B(75.75)、大豆粕(75.63)、鱼粉(74.66); 对虹鳟, *SRC* 值大小顺序依次为鱼粉(87.36)、磷虾粉 C(82.43)、磷虾粉 A(81.17)、磷虾粉 B(80.12)、大豆粕(77.98); 对斑点叉尾鮰, *SRC* 值大小顺序依次为鱼粉(85.40)、大豆粕(81.28)、磷虾粉 C(80.67)、磷虾粉 A(79.86)、磷虾粉 B(77.61); 对尼罗罗非鱼, *SRC* 值大小顺序依次为鱼粉(76.78)、磷虾粉 C(65.97)、磷虾粉 A(63.88)、磷虾粉 B(63.68)、大豆粕(65.10); 对斑节对虾, *SRC* 值大小顺序依次为磷虾粉 B(78.11)、鱼粉(77.90)、磷虾粉 C(74.07)、磷虾粉 A(73.46)、大豆粕(66.80)。

2.4 脂肪酸组成的比较

笔者对 3 种磷虾粉进行了脂肪酸组成和相对含量的检测(表 3), 共检测到 26 种脂肪酸, 其中包括 9 种饱和脂肪酸(SFA), 5 种单不饱和脂肪酸(MUFA) 和 12 种多不饱和脂肪酸(PUFA)。3 种磷虾粉中, 多不饱和脂肪酸总量(Σ PUFA) 占脂肪酸总量的百分比最高(44.05%~52.74%), 其次是饱和脂肪脂肪酸(Σ SFA) 总量(29.13%~35.54%), 单不饱和脂肪脂肪酸总量(Σ MUFA) 相对最低。

磷虾粉 B 中 Σ SFA 显著高于磷虾粉 A, 而磷虾粉 A 显著高于磷虾粉 C($P < 0.05$)。3 种磷虾粉的 SFA 中, 棕榈酸($C_{16:0}$) 百分比含量最高, 其次是豆蔻酸($C_{14:0}$)。磷虾粉 A 中 Σ MUFA 显著高于磷虾粉 B, 而磷虾粉 B 显著高于磷虾粉 C($P < 0.05$)。3 种磷虾粉的 MUFA 中, 油酸($C_{18:n-9}$) 的百分比含量最高。磷虾粉 C 中 Σ PUFA 显著高于磷虾粉 A, 而磷虾粉 A 显著高于磷虾粉 B($P < 0.05$)。A、B 和 C 磷虾粉中, EPA + DHA 含量高达 40.40%、38.55% 和 46.38%, 其中 EPA 含量高于 DHA。

3 讨论

3.1 3 种磷虾粉一般营养成分的比较分析

有报道指出, 南极大磷虾活体内丰富且高效的蛋白酶活性(包括 8 种蛋白自溶酶^[15-16]) 被其体内功能强大的蛋白酶抑制系统控制着, 一旦南极大磷虾死亡, 其体内蛋白酶抑制系统活性减弱, 活性极高的内源蛋白酶极易使其自溶而变质腐烂^[17-18]; 南极大磷虾体内的蛋白酶在低温下也有较高的酶活力^[19], 南极大磷虾蛋白在储存过程中能发生降解, 降解产物主要是肽类与氨基酸^[18]。因此, 磷虾粉 B 和 C 的粗蛋白含量显著高于磷虾粉 A, 可能是由于南极大磷虾在长期的冷冻储存中, 蛋白部分被降解而流失。

GB/T 19164-2003 鱼粉国家标准中规定, 鱼粉粗蛋白质质量分数 $\geq 65\%$ 为特级品, $\geq 60\%$ 为一级品, $\geq 55\%$ 为二级品, $\geq 50\%$ 为三级品, 文章中磷虾粉 B 和 C 粗蛋白质质量分数达到特级品指标, 磷虾粉 A 粗蛋白质量分数达到一级品指标。因粗脂肪质量分数过高易发生脂肪氧化酸败而降低营养价值, 因此优质鱼粉粗脂肪质量分数最好在 10% 以下, 磷虾粉 A、B 和 C 的粗脂肪质量分数均低于 10%, 达到特级品指标。鱼粉国家标准中规定, 粗灰分质量分数 $\leq 18\%$ 为特等品, 磷虾粉 A、B 和 C 的粗灰分质量分数均在特级品范围。该研究结果提示, 南极大磷虾的储存和加工方式对磷虾粉的基本营养成分有显著影响, 其中捕捞现场蒸煮并添加抗氧化剂的方式获得的磷虾粉 C 的一般营养价值较高。

3.2 3 种磷虾粉氨基酸营养的比较分析

蛋白源营养价值的科学评价是决定该蛋白源能否作为优质饲料蛋白源, 并加以开发利用的重要的前提条件。目前, 蛋白源营养价值的评价方面尚存在不少问题, 研究方法的不统一和不规范, 导致蛋白源的应用价值存在较大的缺陷^[3]。饲料蛋白源的生物评定法, 即用增重率、蛋白质效率、体成分变化等指标作为评价饲料蛋白源质量标准, 是目前国内外常用的方法之一, 具有现实的意义^[3], 但生物评定法需要饲喂养殖动物, 较为耗时耗力。饲料蛋白源的化学评定法主要从蛋白源的氨基酸组成及含量着手, 通过经典指标(如 *EAAI*) 的比较来评判某种蛋白源的优劣^[3]。

水产品的品质评价时, 研究者多根据 FAO/WHO 1973 年建议的氨基酸评分标准模式^[20] 和以

全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式^[21]来计算氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和EAAI^[22]。笔者研究中磷虾粉主要用途是作为动物性蛋白源饲料原料。目前, 大西洋鲑、鲤、虹鳟、斑点叉尾鮰、尼罗罗非

鱼、斑节对虾这6种水产动物的必需氨基酸需求研究已知。因此, 文章中以此6种水产动物的必需氨基酸需求为参照, 评价3种磷虾粉的营养价值。磷虾粉A、B和C的EAAI值均>0.90, 属优质蛋白

表3 磷虾粉中脂肪酸相对含量比较

Tab. 3 Comparison of fatty acids composition of Antarctic krill meals

脂肪酸 fatty acids	磷虾粉 A Antarctic krill meal A	磷虾粉 B Antarctic krill meal B	磷虾粉 C Antarctic krill meal C	%
饱和脂肪酸(ΣSFA)	30.49±0 ^b	35.54±0.07 ^a	29.13±0.06 ^c	
月桂酸 C _{12:0}	0.21±0 ^a	0.14±0 ^b	0.10±0.01 ^c	
豆蔻酸 C _{14:0}	7.12±0.01 ^b	9.76±0.01 ^a	6.93±0.01 ^c	
十五碳酸 C _{15:0}	0.25±0.01 ^c	0.35±0 ^a	0.27±0 ^b	
棕榈酸 C _{16:0}	13.31±0.04 ^c	19.77±0.07 ^a	18.46±0.04 ^b	
十七碳酸 C _{17:0}	—	1.72±0.01	—	
硬脂酸 C _{18:0}	0.53±0 ^c	1.24±0.01 ^a	1.12±0.02 ^b	
二十一碳酸 C _{21:0}	8.20±0.02 ^a	2.06±0.02 ^b	1.73±0.04 ^c	
山嵛酸 C _{22:0}	—	0.12±0	0.08±0.01	
二十三碳酸 C _{23:0}	0.87±0 ^a	0.38±0.01 ^c	0.44±0 ^b	
单不饱和脂肪酸(ΣMUFA)	23.08±0.02 ^a	20.29±0.04 ^b	18.13±0.06 ^c	
肉豆蔻油酸 C _{14:1}	0.23±0	0.20±0.01	—	
棕榈油酸 C _{16:1}	5.62±0.01 ^b	6.26±0.03 ^a	5.13±0.04 ^c	
十七碳一烯酸 C _{17:1}	—	0.60±0	0.47±0.01	
油酸 C _{18:1n-9}	16.59±0.03 ^a	12.53±0.01 ^b	11.80±0.03 ^c	
贡多酸 C _{20:1n-9}	0.64±0.00 ^b	0.70±0.02 ^a	0.73±0.02 ^a	
多不饱和脂肪酸(ΣPUFA)	46.43±0.02 ^b	44.05±0.03 ^c	52.74±0.01 ^a	
反式亚油酸 C _{18:2n-6}	—	—	0.32±0	
亚油酸 C _{18:2n-6}	3.48±0.02 ^a	2.49±0.01 ^c	2.61±0.01 ^b	
γ-亚麻酸(GLA) C _{18:3n-6}	0.16±0 ^b	0.23±0 ^a	0.23±0 ^a	
α-亚麻酸(LNA) C _{18:3n-3}	0.85±0.02 ^c	1.04±0.01 ^b	1.12±0 ^a	
二十碳二烯酸 C _{20:2}	0.21±0.02 ^b	0.20±0 ^c	0.23±0 ^a	
二十碳三烯酸 C _{20:3n-3}	1.16±0.02 ^a	0.16±0.01 ^b	0.17±0 ^b	
二十碳三烯酸 C _{20:3n-6}	—	0.82±0.03	1.01±0.02	
二十碳四烯酸 C _{20:4n-3}	0.17±0.01	—	—	
花生四烯酸(AA) C _{20:4n-6}	—	0.23±0	0.26±0	
二十碳五烯酸(EPA) C _{20:5n-3}	23.54±0.05 ^b	19.66±0.05 ^c	23.88±0.05 ^a	
二十二碳五烯酸(DPA) C _{22:6n-3}	—	0.33±0.01	0.41±0	
二十二碳六烯酸(DHA) C _{22:6n-3}	16.86±0.05 ^c	18.89±0.02 ^b	22.50±0.03 ^a	
EPA+DHA	40.40±0 ^b	38.55±0.06 ^c	46.38±0.03 ^a	
P/S(ΣPUFA/ΣSFA)	1.52 ^b	1.24 ^c	1.81 ^a	

注: 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

Note: ΣSFA. total saturated fatty acids contents; ΣMUFA. total monounsaturated fatty acids contents; ΣPUFA. total polyunsaturated fatty acids contents

质。3种磷虾粉中对同一种养殖对象的第一限制性氨基酸种类各有不同，且3种磷虾粉针对不同的养殖动物，SRC值各不相同。因此，在利用不同的加工方式制备的磷虾粉作为饲料蛋白源时，应针对不同的养殖动物的营养需求，将磷虾粉与其他蛋白源进行合理搭配加以利用。

水产品蛋白质的营养价值，一般根据氨基酸的组成和含量，尤其是必需氨基酸含量的高低和构成比例来评价^[23]。该研究中3种磷虾粉均含全部鱼虾必需氨基酸，磷虾粉B和C的ΣAA、ΣEAA、ΣNEAA、ΣDAA都显著高于磷虾粉A的对应值；除Met和Trp质量分数略有不同外，磷虾粉C的单个氨基酸含量占干物质的百分比显著高于磷虾粉B，磷虾粉B显著高于磷虾粉A。说明加工处理方式及储存时间对磷虾粉的单个氨基酸含量具有显著影响。磷虾粉A的单个氨基酸含量及ΣAA、ΣEAA、ΣNEAA、ΣDAA显著低于磷虾粉B和C的原因，估计与南极大磷虾蛋白在储存过程中会发生蛋白降解有关。尽管3种磷虾粉的单个氨基酸含量及ΣAA、ΣEAA、ΣNEAA、ΣDAA的变化显著，但磷虾粉的ΣEAA/ΣAA比值、ΣEAA/ΣNEAA比值和ΣDAA/ΣAA比值与鱼粉的对应值近似。因此，根据FAO/WHO的优质蛋白的判定标准，磷虾粉A、B、C和鱼粉一样，均属于优质蛋白源。

另外，磷虾粉B和C的ΣDAA占干物质的百分比达到23%左右，由于DAA的含量和组成主要决定了产品的鲜香味，含量越高诱食作用越明显^[24]。因此，磷虾粉B和C对水产动物诱食性可能要强于磷虾粉A。同时，3种磷虾粉中都检测到了一定含量的Tau，而对于鱼类而言，Tau不仅能够刺激鱼类摄食、提高鱼类的生长率^[25]，并具有预防由植物蛋白引起的营养性疾病的功^[26]。

总之，尽管磷虾粉中粗蛋白含量丰富，氨基酸组成比例均衡，但不一定对所有的水产养殖动物都是优质蛋白源。若南极大磷虾在捕捞后及时加工成虾粉，能最大限度保存南极大磷虾蛋白中丰富的蛋白和氨基酸，尤其是DAA的含量。另外，文章中的氨基酸数据是由氨基酸自动分析仪测定的，对不同动物来说，饲料蛋白源氨基酸的消化吸收率达不到100%。因此，在化学评价南极大磷虾粉作为饲料蛋白营养价值的基础上，还需要结合生物评价的方法进一步探讨其营养价值。这也充分说明，准确

科学地评价蛋白源对喂养动物（参比蛋白）的营养价值的工作难度大，评价的工作需要进一步科学细化^[3]。

3.3 3种磷虾粉脂肪酸营养的比较分析

有报道表明，PUFA具有广泛的生理和药理功能，其中的EPA、DHA和ARA是必需脂肪酸，在水产动物生长发育以及繁殖中起着重要作用^[27]。因脂肪的双键数目越多，越易于氧化的发生^[28]，温度对EPA、DHA的氧化速度影响显著^[29]，SFA的自动氧化极慢，仅为PUFA的1/10^[30]。饲料中粗脂肪含量高，尤其是含PUFA多的饲料随着外界环境因子（氧气、光照、温度、湿度等）影响更易导致饲料油脂氧化酸败、营养价值降低等，最终导致动物生长缓慢^[31]。饲料的生产中，低温加工以及添加抗氧化剂是减少PUFA损失的常用方法。在此研究中，磷虾粉A、B和C的PUFA的相对质量分数较高，达到了44.05%~52.74%，且磷虾粉C的ΣPUFA、EPA和DHA占脂肪酸总量中的百分比都显著高于磷虾粉A和B的对应值，说明抗氧化剂对磷虾粉中的PUFA，尤其是对EPA和DHA具有良好的保护作用。磷虾粉B中EPA含量显著低于磷虾粉A，说明冷冻加工方式对水产品中EPA有显著的保护作用。

营养学上一般用P/S(ΣPUFA/ΣSFA)值来评价脂肪酸营养价值^[32]，此值越高代表其脂肪酸营养价值越好，磷虾粉C的P/S值达到了1.81，显著高于磷虾粉A(1.52)和磷虾粉B(1.24)，说明磷虾粉C的脂肪酸营养价值最高，提示当以热加工的方式制备磷虾粉时应注意及时添加抗氧化剂来保护产品中的不饱和脂肪酸营养价值。尽管磷虾粉A是冷冻南极大磷虾经长途冷冻运回中国后，冷冻冻干加工，在粗蛋白含量方面有所损失。但对其脂肪酸的分析结果表明，冷冻冻干加工方式对南极大磷虾体内的PUFA有较好的保护作用，尤其是减少了EPA和DHA被氧化的可能性。

4 结论

笔者研究的结果表明，加工方式（蒸煮与冷冻冻干）及是否添加抗氧化剂对南极大磷虾粉的品质有较明显的影响。南极大磷虾在捕捞后及时蒸煮加工并添加抗氧化剂，能最大限度保存南极大磷虾蛋白中丰富的蛋白和氨基酸及脂肪酸的营养价值。

参考文献：

- [1] 杨勇, 解绶启, 刘建康. 鱼粉在水产饲料中的应用研究[J]. 水产学报, 2004, 28(5): 573-578.
- [2] TACON A G J, METIAN M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects [J]. Aquaculture, 2008, 285(1): 146-158.
- [3] 李二超, 陈立杰, 顾顺樟, 等. 水产饲料蛋白源营养价值的评价方法[J]. 海洋科学, 2009, 33(7): 113-117.
- [4] 周歧存, 麦康森, 刘永坚, 等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展[J]. 水产学报, 2005, 29(3): 404-410.
- [5] ATKINSON A, SIEGEL V, PAKHOMOV E A, et al. A reappraisal of the total biomass and annual production of Antarctic krill [J]. Deep-Sea Res I, 2009, 56(5): 727-740.
- [6] 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.
- [7] OPSTVEDT J, NYGÅRD E, SAMUELSEN T A, et al. Effect on protein digestibility of different processing conditions in the production of fish meal and fish feed[J]. J Sci Food Agric, 2003, 83(8): 775-782.
- [8] FOLCH J, LEES M, SLOANE S G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. J Biol Chem, 1957, 226: 497-509.
- [9] 冯东勋, 赵保国. 利用必需氨基酸指数(EAAI)评价新饲料蛋白源[J]. 中国饲料, 1997, (7): 10-13.
- [10] 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价——氨基酸比值系数法[J]. 营养学报, 1988, 30(2): 187-190.
- [11] 袁玥, 李学英, 杨宪时, 等. 南极磷虾粉营养成分的分析与比较[J]. 海洋渔业, 2012, 34(4): 457-463.
- [12] FAO. Amino acid content of foods and biological data on proteins [J]. Food Policy Food Sci Serv Nutr Div, 1970, 24: 56.
- [13] NRC. National research council. Nutrient requirements of fish and shrimp [M]. Washinton, D. C., USA: National Academy Press, 2011: 144.
- [14] 中国饲料数据库情报中心. 中国饲料成分及营养价值表 2012 年第 23 版[J]. 中国饲料, 2012(21): 34-43.
- [15] SJÖDAHL J, EMMER A, KARLSTAM B, et al. Separation of proteolytic enzymes originating from Antarctic krill (*Euphausia superba*) by capillary electrophoresis [J]. J Chromatogr B, 1998, 705(2): 231-241.
- [16] SJÖDAHL J, EMMER A, VINCENT J, et al. Characterization of proteinases from Antarctic krill (*Euphausia superba*) [J]. Protein Expr Purifi, 2002, 26(1): 153-161.
- [17] KAWAMURA Y, NISHIMURA K, IGARASHI S, et al. Characteristics of autolysis of Antarctic krill [J]. Agric Biol Chem, 1981, 45(1): 93-100.
- [18] ELLINGSEN T E, MOHR V. Biochemistry of the autolytic processes in Antarctic krill post mortem. Autoproteolysis [J]. Biochem J, 1987, 246(2): 295-305.
- [19] TURKIEWICZ M, GALAS E, KALINOWSKA H. Collagenolytic serine proteinase from *Euphausia superba* Dana (Antarctic krill) [J]. Comp Biochem Physiol B, 1991, 99(2): 359-371.
- [20] Energy and protein requirements in human nutrition[R]. Geneva: World Health Organization, 1973: 63.
- [21] 桥本芳郎. 养鱼饲料学[M]. 蔡完其, 译. 北京: 中国农业出版社, 1980: 114-115.
- [22] 宋超, 庄平, 章龙珍, 等. 野生及人工养殖中华鲟幼鱼肌肉营养成分的比较[J]. 动物学报, 2007, 53(3): 502-510.
- [23] 章龙珍, 宋超, 庄平, 等. 长江口斑尾刺虾虎鱼与纹缟虾虎鱼肌肉营养成分比较[J]. 海洋渔业, 2011, 33(3): 304-309.
- [24] 赵红月, 薛敏, 韩冬, 等. 氨基酸等化学刺激物对异育银鲫摄食行为的影响[J]. 水生生物学报, 2010, 34(5): 956-965.
- [25] 陈超, 陈京华. 牛磺酸、晶体氨基酸对大菱鲆摄食、生长和饲料利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(23): 108-112.
- [26] 于道德, 郑永允, 宁璇璇, 等. 牛磺酸在鱼类中的生物学功能[J]. 海洋科学, 2010, 34(2): 86-91.
- [27] 王吉桥, 张欣, 刘革利. 海水鱼类必需脂肪酸营养与需要的研究进展[J]. 水产科学, 2001, 20(5): 39-43.
- [28] 谢守华. 油脂的自动氧化和氧化稳定性及检测方法[J]. 四川粮油科技, 1998(4): 53-55.
- [29] 宋广磊, 戴志远. 水产品中 EPA, DHA 的氧化和保护方法[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(5): 177-179.
- [30] 陈杭君, 毛金林, 陈文煊, 等. 富含油脂食品的抗氧化研究现状[J]. 浙江农业科学, 2006(3): 335-337.
- [31] 卢豪良, 杨哲, 蔺晓丽. 生物源抗氧化剂的研发及其在饲料中的应用前景[J]. 湖南饲料, 2013(1): 20-22.
- [32] 李超峰, 邹晓兰, 于艳卿, 等. 加工工艺对刺参体壁氨基酸和脂肪酸的影响[J]. 海洋科学, 2012, 36(1): 42-48.