

南极磷虾粉作为鲾形目鱼饲料蛋白源的营养价值评价*

严俊丽^{1,2} 陈四清² 常青^{2①} 曹栋正^{1,2} 王贞杰^{1,2}

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

摘要 分析商品南极磷虾粉、自制酶解磷虾粉的主要营养成分(氨基酸和脂肪酸)组成,同时采用生化方法比较了 5 种鲾形目鱼肉蛋白的氨基酸组成。以 5 种鲾形目鱼肉蛋白为参比蛋白,利用必需氨基酸指数、氨基酸比值系数分和关联度分析法评价南极磷虾粉作为鲾形目鱼饲料蛋白源的营养价值,同时对 2 种磷虾粉的氟含量进行了分析。结果显示,鲾形目鱼肉(干样)中含有 16 种常见氨基酸,其中,7 种为人体必需氨基酸,4 种为呈味氨基酸(总量分别为 28.52%–38.03%、25.26%–33.56%);5 种鲾形目鱼氨基酸组成均符合 FAO/WHO 的理想模式。南极磷虾粉和酶解磷虾粉的粗蛋白分别为 60.84%和 68.60%,粗脂肪分别为 12.08%和 10.79%,达到了规定鱼粉的一级品甚至特级品的指标。酶解处理后蛋白含量显著升高($P<0.05$),脂肪含量显著下降($P<0.05$),灰分含量无差异($P>0.05$)。从必需氨基酸指数(EAAI)来看,EAAI 均大于 0.95,磷虾粉的必需氨基酸与鲾形目鱼的必需氨基酸拟合度较高。从氨基酸比值系数分(SRC)和关联度分析法来看,2 种磷虾粉对于鲾形目鱼的必需氨基酸平衡性较好,相关系数与鱼粉相差不大。氟含量方面,酶解后磷虾粉的氟含量[(331.21±6.70) mg/kg]显著降低($P<0.05$),低于欧盟标准(350 mg/kg)。综合来看,2 种磷虾粉氨基酸平衡性较好、营养价值较高,是优质蛋白源。

关键词 南极磷虾粉; 鲾形目鱼; 肌肉; 氨基酸; 脂肪酸

中图分类号 S965 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2016)05-0074-09

南极磷虾(*Euphausia superba*)为生活在南极海域的小型海洋浮游甲壳类动物,其生物量达 6.5–10 亿 t,被认为是地球上最大的动物蛋白质库(常青等, 2013)。目前,鱼粉是饲料行业中主要的优质蛋白源,但由于近年来鱼粉资源量不断减少,而水产养殖的规模逐年扩大,亟需寻求鱼粉替代物。随着磷虾捕捞和加工技术的突破,南极磷虾及其产品的应用价值显著提高。南极磷虾粉以其适口性强、氨基酸平衡性好、不含抗营养因子等优势受到许多研究者的关注(Shimizu *et al.*, 1990; 龚洋洋等, 2013a、b)。

鲾形目鱼(Pleuronectiformes)俗称比目鱼,是名贵的海水鱼类,其肉质鲜美、出肉率高,深受消费者喜爱,具有很高的经济价值。近年来,以名贵鱼种大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)、圆斑星鲆(*Verasper variegatus*)、条斑星鲆(*Verasper moseri*)、星突江鲆(*Platichthys stellatus*)和石鲆(*Platichthys bicoloratus*)等鲆类养殖在我国蓬勃发展,2014 年第一季度鲆类主要养殖区的总养殖储量达 4.24 万 t(杨正勇等, 2014)。研究发现,添加一定比例的磷虾粉作为蛋白源,对大西洋鲑(*Salmo salar*)、大西洋庸鲆(*Hippoglo-*

* 国家科技支撑计划项目(2013BAD13B03)、农业部项目“南极海洋生物资源开发利用”、山东省自主创新成果转化专项(2013ZHXX2A0803)和黄海水产研究所基本科研业务费(20603022016005)共同资助。严俊丽, E-mail: 643497252@qq.com

① 通讯作者: 常青, 研究员, E-mail: changqing@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2015-11-02, 收修改稿日期: 2015-11-21

ssus hiossusppog)和点带石斑鱼(*Epinephelus coiiaes*)等水产动物无不利影响或有一定的促生长作用(Julshama *et al.*, 2004; Suontama *et al.*, 2007; 黄艳青等, 2010), 但磷虾粉作为鲷形目鱼饲料蛋白源的应用仅在大菱鲆中有报道(孔凡华等, 2012)。本研究主要以大菱鲆、圆斑星鲷、条斑星鲷、星突江鲷以及石鲷为研究对象, 以鲷形目鱼肌肉蛋白为参比蛋白来评价南极磷虾粉作为饲料蛋白源的营养价值, 以期为南极磷虾粉及其副产品在鲷形目鱼配合饲料中的应用奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

大菱鲆、圆斑星鲷、条斑星鲷、星突江鲷及石鲷样品于 2015 年 6-7 月取自山东科合海洋高技术有限公司, 其养殖模式、投喂饲料和管理方法相同, 取体型完整、体色正常、健康活泼、规格基本一致的成鱼样品各 5 尾, 取背鳍基部的肌肉进行相应的检测分析。大菱鲆样本平均体重为(366.00±20.50) g, 平均体长为(25.75±1.06) cm。圆斑星鲷样本平均体重为(360.67±15.44) g, 平均体长为(31.27±1.10) cm。条斑星鲷样本平均体重为(315.40±7.64) g, 平均体长为(27.16±0.29) cm。星突江鲷样本平均体重为(337.33±11.59) g, 平均体长为(28.50±0.50) cm。石鲷样本平均体重为(331.00±16.67) g, 平均体长为(30.25±1.06) cm。

商品南极磷虾粉购于青岛康境海洋生物科技有限公司。胰蛋白酶(酶活力单位为 250 U/mg)购自北京索莱宝科技有限公司。酶解磷虾粉采用以下条件制成: 在 50℃、固液比 1:10 条件下, 用 1.5%胰蛋白酶酶解磷虾粉 4.5 h, 然后冻干粉碎, 制成酶解磷虾粉, 参照甲醛法(GB/T 5009.39-2003)测得室温下水解度为 26.99%。

1.2 营养成分测定及氟含量分析

南极磷虾粉及测试鱼肌肉样品的营养成分测定参照国家相关标准进行。采用 105℃烘干恒重法测得水分含量(GB5009, 3-85); 采用失重法测定粗灰分含量, 将样品在电炉上炭化至无烟后置于马弗炉里 550℃灼烧完全(GB5009, 4-85); 采用凯氏定氮仪测得粗蛋白含量(GB5009, 5-85); 采用瑞典 SOXTEC 2050 型 FOSS 脂肪测定仪测得粗脂肪含量(GB/T 5009, 168-2003); 样品中的氨基酸经 6 mol/L 盐酸处理后, 由日立 L-8800 型氨基酸自动分析仪测定(GB/T 5009, 124-2003); 采用美国 Agilent 公司 6980N/5973 型气质联用仪测定样品中的脂肪酸(GB/T 5009, 168-2003)。

氟含量测定参照国家规定的食品中氟含量的测定方法(GB/T5009.18-2003), 采用其中的第三法即氟离子选择电极法测定。

1.3 营养价值评价方法

蛋白质的营养价值与组成该蛋白质的氨基酸紧密相关, 食物蛋白质的氨基酸组成越接近人类的氨基酸组成, 其营养价值越高(陈学存, 1984)。同样, 鱼类饲料蛋白源的氨基酸组成与鱼类的氨基酸组成越相似, 则此蛋白源对鱼类的营养价值越高。根据世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)提出的评价蛋白质营养价值的氨基酸模式(范文润等, 1984)和氨基酸平衡理论(刁其玉, 2007), 本研究采用国际常用的 3 种指标评价 2 种磷虾粉作为鲷形目鱼饲料蛋白源的营养价值, 这 3 种指标分别为必需氨基酸指数(EAAI)、氨基酸比值系数分(SRC)和关联度分析法。

1.3.1 必需氨基酸指数(EAAI) EAAI 反映了蛋白质源的必需氨基酸与标准蛋白质氨基酸组成的拟合程度。由于鲷形目鱼肌肉的氨基酸组成与体组成有很大的相关性, 因此, 以鲷形目鱼肌肉的氨基酸组成为参考, 可以用 EAAI 来评价饲料蛋白源的营养价值。参考冯东勋(1997)的方法计算 EAAI, EAAI 评价标准: $n=6-12$, $EAAI>90$ 为优质蛋白源; $85<EAAI\leq 90$ 为良好蛋白源; $85\leq EAAI\leq 75$ 为可用蛋白源; $EAAI<75$ 为不适蛋白源。计算公式如下:

$$EAAI = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{aa_i}{AA_i}}$$

式中, n 为必需氨基酸种类数($n=8$), aa_i 为饲料蛋白源的某种必需氨基酸占总必需氨基酸的百分比, AA_i 为测试鱼肌肉中该必需氨基酸占总必需氨基酸量的百分比。

1.3.2 氨基酸比值系数分(SRC) SRC 是评价饲料蛋白源氨基酸组成平衡性的指标。参考朱圣陶等(1988)的计算方法, 以鲷形目鱼肌肉的氨基酸组成为参比对象, 先计算出南极磷虾粉的氨基酸比值(RAA)和氨基酸比值系数(RC), 然后计算出 SRC。评价标准: 若饲料蛋白源的必需氨基酸组成与标准必需氨基酸模式一致, 则 RC 的变异系数(CV)为 0, $SRC=100$, 营养价值相对较好; 若饲料蛋白源的必需氨基酸 RC 越分散, CV 就越大, SRC 就越小, 营养价值越低。计算公式如下:

RAA =饲料蛋白源中某氨基酸总量/模式中同种氨基酸总量

$RC=RAA/RAA$ 均数

$CV=RC$ 的标准差/ RC 的均数

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

1.3.3 关联度分析法 关联度分析法用来评价饲料蛋白与标准蛋白的接近程度。相关系数的计算参照雷兴刚等(2010)的方法,以鳎形目鱼必需氨基酸比例为参考模式,以2种南极磷虾粉的必需氨基酸比例为比较对象,计算磷虾粉与理想蛋白质之间的关联度,即相关系数 r ($0 < r \leq 1$)。评价标准: r 越大,表明这2种比例越接近,饲料蛋白源的平衡性越好。当 $r=1$ 时,饲料蛋白源的氨基酸组成模式与标准蛋白的氨基酸模式相同,为理想的饲料蛋白源。

必需氨基酸比例=某种必需氨基酸总量/该蛋白质中所有必需氨基酸的总量

1.4 数据处理

实验数据采用 SPSS 17.0 统计软件进行分析,数据差异显著时采用 Duncan's 进行多重比较,显著水平为 $P < 0.05$,数据以平均值±标准差表示。

2 结果

2.1 一般营养成分分析

由表1可见,圆斑星鲽的水分含量显著高于其他4种鱼($P < 0.05$)。粗蛋白含量在 80.69%–89.92%之间,圆斑星鲽、星突江鲽、石鲽的粗蛋白含量显著高于条斑星鲽和大菱鲆($P < 0.05$),而圆斑星鲽、星突江鲽和石鲽间无显著差异($P > 0.05$),条斑星鲽和大菱鲆间也无差异($P > 0.05$)。粗脂肪含量组间差异显著($P < 0.05$),条斑星鲽和大菱鲆的粗脂肪含量显著高于星突江鲽

和石鲽($P < 0.05$),而圆斑星鲽最低,为 1.16%,显著低于其他各组($P < 0.05$)。灰分含量在 4.19%–4.89%之间,圆斑星鲽和大菱鲆的灰分显著高于其他3种鱼($P < 0.05$),星突江鲽、石鲽和条斑星鲽间无显著差异($P > 0.05$)。

表2结果显示,酶解后的南极磷虾粉的粗蛋白含量显著升高($P < 0.05$);酶解磷虾粉的粗脂肪含量显著降低,为 10.79%($P < 0.05$);灰分含量无显著差异($P > 0.05$)。

2.2 氨基酸组成分析

2.2.1 氨基酸组成及含量 鳎形目鱼氨基酸组成见表3。除色氨酸(Trp)在样品水解过程中被完全破坏外,鳎形目鱼肌肉中共检测到16种氨基酸,其中,必需氨基酸7种,呈味氨基酸4种。鳎形目鱼的氨基酸组成比较丰富,总氨基酸含量(Σ AA)为 64.55%以上,必需氨基酸含量(Σ EAA)为 28.52%–38.03%。条斑星鲽的 Σ AA 和 Σ EAA 最高,星突江鲽的 Σ AA 和 Σ EAA 显著低于其他4种鱼($P < 0.05$),而圆斑星鲽、条斑星鲽、石鲽和大菱鲆的 Σ EAA 无显著差异($P > 0.05$);鳎形目鱼的必需氨基酸总量与非必需氨基酸的比值(Σ EAA/ Σ NEAA)均在 60%以上,鳎形目鱼 Σ EAA/ Σ AA 的比值均在 40%以上。

磷虾粉中共检测到17种氨基酸,2种磷虾粉的氨基酸组成差异显著($P < 0.05$),酶解磷虾粉中的 Σ AA、 Σ EAA、 Σ NEAA 和呈味氨基酸总量(Σ DAA)均显著高于商品南极磷虾粉($P < 0.05$)。南极磷虾粉和酶解磷虾粉的 Σ AA 分别为 50.01%和 59.71%, Σ EAA 分别为 24.20%和 26.34%。

表1 5种鳎形目鱼肌肉的一般营养成分
Tab.1 Comparison of general nutrients in muscles of five flatfishes (g/100 g dry weight)

种类 Species	圆斑星鲽 <i>V. variegatus</i>	星突江鲽 <i>P. stellatus</i>	石鲽 <i>P. bicoloratus</i>	条斑星鲽 <i>V. moseri</i>	大菱鲆 <i>S. maximus</i>
水分 Moisture	81.83±0.39 ^a	77.13±2.03 ^b	77.27±0.50 ^b	78.57±0.68 ^b	78.58±0.37 ^b
粗蛋白 Crude protein	89.92±0.58 ^a	88.05±1.65 ^a	89.42±0.70 ^a	81.66±1.61 ^b	80.69±1.53 ^b
粗脂肪 Crude lipid	1.16±0.11 ^a	5.09±0.41 ^b	4.81±0.54 ^b	11.74±0.29 ^c	11.05±0.79 ^c
灰分 Ash	4.89±0.23 ^a	4.42±0.38 ^b	4.19±0.18 ^b	4.36±0.18 ^b	4.87±0.12 ^a

注:表中同行不同上标字母表示差异显著($P < 0.05$),下同

Note: Data within the same row with different superscript indicate significant difference ($P < 0.05$). The same as below

表2 南极磷虾粉和酶解磷虾粉的一般营养成分
Tab.2 Comparison of general nutrients of Antarctic krill meals (g/100 g dry weight)

种类 Species	南极磷虾粉 Antarctic krill meal	酶解磷虾粉 Hydrolyzed krill meal
粗蛋白 Crude protein	60.84±0.37 ^a	68.60±0.98 ^b
粗脂肪 Crude lipid	12.35±0.38 ^a	10.79±0.08 ^b
灰分 Ash	11.19±0.34	11.72±0.10

表 3 两种磷虾粉及 5 种鲽形目鱼肌肉氨基酸组成

Tab.3 Amino acids composition in muscle samples of five flatfishes and two krill meals (mg/100 mg dry weight)

氨基酸 Amino acid	南极磷虾粉 Antarctic krill meal	酶解磷虾粉 Hydrolyzed krill meal	圆斑星鲽 <i>V. variegatus</i>	星突江鲽 <i>P. stellatus</i>	石鲽 <i>P. bicoloratus</i>	条斑星鲽 <i>V. moseri</i>	大菱鲆 <i>S. maximus</i>
天冬氨酸 ASP**	4.70±0.13 ^a	6.01±0.24 ^b	8.97±0.56 ^c	6.84±0.25 ^a	8.26±0.36 ^b	9.06±0.18 ^c	8.80±0.19 ^{bc}
苏氨酸 Thr*	2.17±0.05 ^a	2.39±0.09 ^b	3.88±0.26 ^{bc}	3.02±0.09 ^a	3.68±0.14 ^b	4.26±0.28 ^c	3.89±0.11 ^{bc}
丝氨酸 Ser	2.99±0.08 ^a	3.37±0.15 ^b	3.66±0.24 ^{bc}	2.78±0.05 ^a	3.44±0.12 ^b	3.83±0.12 ^c	3.35±0.12 ^b
谷氨酸 Glu**	3.21±0.19 ^a	4.17±0.17 ^b	14.57±0.96 ^b	11.09±0.31 ^a	13.30±0.73 ^b	14.29±0.04 ^b	14.49±0.40 ^b
甘氨酸 Gly**	3.13±0.74 ^a	4.02±0.14 ^b	4.36±0.36 ^c	3.03±0.09 ^a	3.65±0.01 ^b	4.26±0.10 ^c	4.02±0.11 ^c
丙氨酸 Ala**	4.71±0.08 ^a	6.19±0.21 ^b	5.66±0.30 ^c	4.30±0.15 ^a	5.20±0.13 ^b	5.70±0.22 ^c	5.59±0.10 ^c
缬氨酸 Val*	4.13±0.27 ^a	3.41±1.07 ^b	4.50±0.20 ^b	3.49±0.11 ^a	4.41±0.16 ^b	4.45±0.30 ^b	4.17±0.07 ^b
蛋氨酸 Met*	1.52±0.07 ^a	1.75±0.06 ^b	2.51±0.10 ^{ab}	1.75±0.12 ^a	2.33±0.11 ^{ab}	2.87±0.86 ^c	3.00±0.36 ^c
异亮氨酸 Ile*	2.86±0.07 ^a	2.78±0.11 ^a	4.19±0.21 ^b	3.17±0.11 ^a	4.04±0.19 ^b	4.02±0.29 ^b	3.98±0.74 ^b
亮氨酸 Leu*	4.55±0.04 ^a	5.05±0.30 ^b	7.13±0.40 ^b	5.43±0.19 ^a	6.73±0.33 ^b	7.08±0.36 ^b	6.88±0.15 ^b
酪氨酸 Tyr	2.44±0.02 ^a	2.63±0.05 ^b	3.21±0.07 ^b	2.39±0.10 ^a	3.14±0.28 ^b	3.22±0.38 ^b	2.98±0.08 ^b
苯丙氨酸 Phe*	2.58±0.14 ^a	2.81±0.07 ^b	3.93±0.24 ^b	2.78±0.14 ^a	3.69±0.39 ^b	3.91±0.41 ^b	3.62±0.07 ^b
赖氨酸 Lys*	3.74±0.73 ^a	5.35±0.17 ^b	8.20±0.47 ^b	6.49±0.22 ^a	7.63±0.33 ^b	8.23±0.47 ^b	8.28±0.36 ^b
组氨酸 His	1.47±0.15 ^a	1.61±0.03 ^a	1.93±0.08 ^{bc}	1.62±0.06 ^a	2.00±0.09 ^c	1.96±0.14 ^c	1.75±0.02 ^{ab}
精氨酸 Arg	3.56±0.03 ^a	5.23±0.20 ^b	5.44±0.37 ^b	4.10±0.05 ^a	5.01±0.18 ^b	5.43±0.26 ^b	5.53±0.22 ^b
胱氨酸 Cys	0.23±0.01 ^a	0.17±0.01 ^b	—	—	—	—	—
脯氨酸 Pro	2.03±0.05 ^a	2.76±0.15 ^b	2.67±0.25 ^c	2.27±0.07 ^b	2.41±0.11 ^b	3.31±0.10 ^c	1.93±0.05 ^a
ΣEAA	24.20±0.12 ^a	26.34±0.84 ^b	34.35±1.39 ^b	26.14±1.01 ^a	32.50±1.50 ^b	34.81±2.98 ^b	33.82±1.08 ^b
ΣNEAA	25.81±0.72 ^a	33.37±1.24 ^b	43.09±3.11 ^c	32.70±1.08 ^a	39.40±1.51 ^b	43.68±0.73 ^c	41.17±0.97 ^{bc}
ΣDAA	15.75±0.47 ^a	20.40±0.76 ^b	33.56±2.15 ^c	25.26±0.83 ^a	30.41±1.22 ^b	33.33±0.32 ^c	32.91±0.80 ^c
ΣAA	50.01±0.84 ^a	59.71±2.08 ^b	84.82±4.14 ^b	64.56±2.19 ^a	78.91±3.24 ^b	85.90±4.04 ^b	82.27±2.22 ^b
ΣEAA/ΣNEAA	93.74	78.93	79.72	79.94	82.49	79.69	82.14
ΣEAA/ΣAA	48.38	44.11	40.50	40.48	41.18	40.53	41.12
ΣNEAA/ΣAA	51.62	55.89	50.81	50.65	49.92	50.85	50.04
ΣDAA/ΣAA	31.50	34.16	39.56	39.13	38.54	38.8	40

*为必需氨基酸, **为呈味氨基酸, “—”表示含量太低, 未检测到, ΣAA 为氨基酸总量, ΣEAA 为必需氨基酸总量, ΣNEAA 为非必需氨基酸总量, ΣDAA 为呈味氨基酸

*: Essential amino acids; **: Delicious amino acids; —: Detectable; ΣAA: Total quantity of amino acids; ΣEAA: Total quantity of essential amino acids; ΣNEAA: Total quantity of non-essential amino acids; ΣDAA: Total quantity of delicious amino acids

2.2.2 氨基酸营养价值评价指标 2 种磷虾粉及鱼粉的 EAAI 和 SRC 如表 4 所示。鱼粉的氨基酸数据参照 2014 年第 25 版中国饲料成分与营养价值表(熊本海等, 2014)。2 种虾粉对于鲽形目鱼的 EAAI 均大于 0.95, 并且高于鱼粉; 南极磷虾粉对于 5 种鲽形目鱼的 SRC 值高于或与鱼粉相差不大, 而酶解后的磷虾粉的 SRC 值略低于鱼粉和南极磷虾粉, 但均大于 70。2 种磷虾粉的必需氨基酸关联度 *r* 如表 5 所示。酶解磷虾粉对于鲽形目鱼的关联系数 *r* 与鱼粉相差不大, 南极磷虾粉稍低, 但 *r* 均大于 0.72。

2.3 脂肪酸组成及含量

5 种鲽形目鱼肌肉及 2 种磷虾粉的脂肪酸组成见表 6。5 种鲽形目鱼和 2 种磷虾粉均含有 25 种脂肪酸, 其中, 饱和脂肪酸 7 种, 单不饱和脂肪酸 6 种, 多不饱和脂肪酸 12 种。5 种鲽形目鱼之间的饱和脂肪酸含量(ΣSFA)存在显著性差异($P < 0.05$); 圆斑星鲽和星突江鲽的高不饱和脂肪酸总量(ΣPUFA)显著高于石鲽和条斑星鲽($P < 0.05$), 大菱鲆的最低。5 种鲽形目鱼富含 EPA 和 DHA, 但 EPA+DHA 的总量组间差异显著($P < 0.05$),

表4 两种南极磷虾粉和鱼粉的必需氨基酸指数(EAAI)和氨基酸比值系数分(SRC)比较
Tab.4 EAAI and SRC of Antarctic krill meal, hydrolyzed krill meal and fish meal

种类 Species	南极磷虾粉 Antarctic krill meal		酶解磷虾粉 Hydrolyzed krill meal		鱼粉 Fish meal	
	EAAI	SRC	EAAI	SRC	EAAI	SRC
圆斑星鲽 <i>V. variegatus</i>	0.97	81.64	1.04	71.56	0.96	80.29
星突江鲽 <i>P. stellatus</i>	0.98	82.24	1.05	71.59	0.97	81.88
石鲽 <i>P. bicoloratus</i>	0.97	82.07	1.04	70.00	0.95	82.27
条斑星鲽 <i>V. moseri</i>	0.96	80.32	1.03	71.85	0.95	84.80
大菱鲆 <i>S. maximus</i>	0.98	76.24	1.06	67.71	0.95	78.34

表5 两种磷虾粉和鱼粉必需氨基酸关联度(*r*)比较

Tab.5 The relativity of essential amino acids (EAA) of Antarctic krill meal, hydrolyzed krill meal and fish meal

必需氨基酸关联度 Relativity of essential amino acids	南极磷虾粉	酶解磷虾粉	鱼粉
	Antarctic krill meal	Hydrolyzed krill meal	Fish meal
圆斑星鲽 <i>V. variegatus</i>	0.78	0.99	0.98
星突江鲽 <i>P. stellatus</i>	0.77	0.98	0.97
石鲽 <i>P. bicoloratus</i>	0.80	0.99	0.98
条斑星鲽 <i>V. moseri</i>	0.74	0.97	0.98
大菱鲆 <i>S. maximus</i>	0.71	0.96	0.96

其中,圆斑星鲽的高达 36.94%($P<0.05$)。

2 种磷虾粉相比,酶解磷虾粉的 EPA、DHA 和 Σ PUFA 显著升高($P<0.05$),单不饱和脂肪酸(Σ MUFA)和 Σ SFA 显著降低($P<0.05$)。

2.4 氟含量

商品南极磷虾粉和酶解磷虾粉的氟含量分别为(1642.80±31.78) mg/kg 和(331.21±6.70) mg/kg,酶解磷虾粉中氟含量显著降低($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 5 种鲽形目鱼营养价值分析

鱼肉营养成分的高低是衡量鱼类营养价值的重要指标,营养价值主要体现在蛋白质和脂肪的水平(尤宏争等, 2014)。5 种鲽形目鱼的粗蛋白和粗脂肪含量差别很大,平均蛋白含量为 85.99%,高于主要的经济鱼类中国花鲈(*Lateolabrax maculatus*)、舌虾虎鱼(*Glossogobius giuris*)、七带石斑鱼及江鲈(*Lota lota*)的蛋白含量,略低于梭鱼(*Liza haematocheila*)。与其他鱼相比,鲽形目鱼的粗脂肪含量较低(王远红等, 2003; 庄平等, 2010; 程波等, 2009; 徐革锋等, 2013; 王建新等, 2010)。可见,鲽形目鱼是高蛋白低脂肪的海水鱼类。

肌肉品质的高低受蛋白质的影响,而氨基酸的种类和数量是衡量蛋白营养价值的重要指标,尤其是

EAA(高露姣等, 2011)。5 种鲽形目鱼 Σ EAA/ Σ NEAA 均在 60%以上, Σ EAA/ Σ AA 均在 40%左右,均为理想的蛋白质,营养价值较高。鲽形目鱼的 Σ EAA 丰富,与梁萌青等(2010)测定的 3 种主养鲈类的 Σ EAA 相符,此外,其呈味氨基酸的总量为 38.54%–40.00%,高于中国花鲈(王远红等, 2003)、七带石斑鱼(程波等, 2009)、江鲈(徐革锋等, 2013)和梭鱼(王建新等, 2010)等其他经济鱼类。因此,鲽形目鱼也是氨基酸丰富且味道鲜美的优质海水鱼。

5 种鲽形目鱼的不饱和脂肪酸含量丰富,均在 60%以上。值得一提的是,5 种鲽形目鱼的 EPA+DHA 的含量高达 29.89%–36.94%,远高于日本花鲈(*Lateolabrax japonicus*) (王远红等, 2003)、七带石斑鱼(程波等, 2009)和江鲈(徐革锋等, 2013)等经济鱼类。因此,鲽形目鱼具有非常高的营养保健价值。

3.2 两种磷虾粉作为鲽形目鱼饲料蛋白源的营养价值评价

3.2.1 磷虾粉的一般营养成分分析 南极磷虾粉的营养成分与孙雷等(2008)测定的相近,虾粉中蛋白和脂肪含量均较高。根据 GB/T19164-2003 国家鱼粉标准规定,粗蛋白 $\geq 65\%$ 为特级品, $\geq 60\%$ 为一级品,本研究中南极磷虾粉达到一级品的标准,而酶解磷虾粉甚至达到了特级品的标准,蛋白含量高,可与鱼粉相较,可以满足鲽形目鱼体高蛋白的营养需求。实验

表 6 两种磷虾粉及 5 种鲽形目鱼肌肉脂肪酸组成分析
Tab.6 Fatty acid composition in muscles of five flatfishes and two krill meals (mg/100 mg dry weight)

脂肪酸 Fatty acid	酶解磷虾粉 Antarctic krill meal	南极磷虾粉 Hydrolyzed krill meal	圆斑星鲽 <i>V. variegatus</i>	星突江鲽 <i>P. stellatus</i>	石鲽 <i>P. bicoloratus</i>	条斑星鲽 <i>V. moseri</i>	大菱鲆 <i>S. maximus</i>
C12 : 0	0.22±0.01 ^a	0.26±0.01 ^b	0.07±0.01 ^{ab}	0.06±0.01 ^a	0.08±0.01 ^b	0.07±0.01 ^{ab}	0.07±0.01 ^{ab}
C14 : 0	10.14±0.02 ^a	11.94±0.02 ^b	1.63±0.01 ^a	3.53±0.01 ^d	3.62±0.01 ^e	2.99±0.02 ^b	3.38±0.06 ^c
C14 : 1	0.17±0.01 ^a	0.20±0.01 ^b	0.19±0.01 ^e	0.11±0.05 ^d	0.05±0.01 ^b	0.07±0.01 ^c	0.03±0.01 ^a
C15 : 0	0.37±0.02 ^a	0.44±0.02 ^b	21.54±0.05 ^a	16.61±0.02 ^c	18.63±0.01 ^c	17.76±0.20 ^b	19.28±0.01 ^c
C16 : 0	22.37±0.02 ^a	26.23±0.02 ^b	2.20±0.36 ^e	6.88±0.09 ^a	5.25±0.01 ^c	5.07±0.10 ^b	5.16±0.11 ^d
C16 : 1	4.28±0.01 ^a	5.07±0.02 ^b	2.20±0.36 ^a	6.88±0.09 ^d	5.25±0.01 ^c	5.07±0.10 ^b	5.16±0.11 ^{bc}
C16 : 2ω4	0.45±0.03 ^a	0.55±0.01 ^b	0.09±0.01 ^a	0.34±0.02 ^b	0.35±0.02 ^b	0.36±0.02 ^b	0.34±0.02 ^b
C17 : 0	1.92±0.04 ^a	2.34±0.02 ^b	1.24±0.01 ^d	0.76±0.07 ^a	0.95±0.03 ^b	0.74±0.02 ^a	1.11±0.02 ^c
C18 : 0	1.30±0.01 ^a	1.59±0.01 ^b	8.41±0.01 ^e	3.75±0.03 ^a	4.74±0.02 ^b	5.14±0.29 ^c	5.36±0.74 ^d
C18 : 1ω9	10.23±0.01 ^a	12.09±0.01 ^b	8.31±0.06 ^a	11.21±0.04 ^c	10.35±0.04 ^b	12.58±0.01 ^d	11.31±0.02 ^c
C18 : 1ω7	6.98±0.04 ^a	8.16±0.07 ^b	2.97±0.01 ^b	2.76±0.06 ^c	3.00±0.02 ^c	2.49±0.03 ^a	3.28±0.01 ^d
C18 : 2ω6	1.78±0.01 ^a	2.07±0.07 ^b	1.66±0.04 ^a	2.93±0.02 ^c	2.37±0.01 ^b	7.80±0.30 ^d	2.08±0.01 ^b
C18 : 3ω3	2.60±0.03 ^a	2.88±0.03 ^b	0.31±0.01 ^a	0.87±0.03 ^c	0.86±0.01 ^c	1.26±0.01 ^d	0.69±0.01 ^b
C18 : 4ω3	5.73±0.03 ^a	6.14±0.01 ^b	0.18±0.01 ^a	1.40±0.01 ^c	1.39±0.01 ^c	1.18±0.01 ^c	1.11±0.01 ^b
C20 : 0	0.07±0.01 ^a	0.07±0.01 ^a	0.35±0.01 ^b	0.28±0.01 ^a	0.28±0.01 ^a	0.24±0.03 ^a	0.34±0.01 ^b
C20 : 1ω9	0.74±0.04 ^a	0.87±0.07 ^a	1.60±0.01 ^a	1.84±0.05 ^b	2.24±0.01 ^d	2.35±0.03 ^e	2.09±0.01 ^c
C20 : 1ω7	0.39±0.01 ^a	0.18±0.01 ^a	0.14±0.01 ^a	0.18±0.01 ^b	0.22±0.02 ^{bc}	0.18±0.01 ^b	0.24±0.02 ^c
C20 : 2ω6	0.15±0.01 ^a	0.18±0.01 ^b	0.19±0.01 ^a	0.25±0.01 ^b	0.21±0.01 ^a	0.44±0.02 ^c	0.27±0.01 ^b
C20 : 3ω6	0.05±0.01 ^a	0.05±0.01 ^a	0.15±0.01 ^c	0.62±0.01 ^a	0.08±0.01 ^a	0.07±0.01 ^a	0.10±0.01 ^b
C20 : 3ω3	0.26±0.01 ^a	0.26±0.01 ^b	3.36±0.04 ^e	1.65±0.03 ^c	1.74±0.02 ^d	1.09±0.01 ^a	1.48±0.02 ^b
C20 : 4ω6	0.24±0.01 ^a	0.25±0.01 ^a	0.14±0.01 ^a	0.16±0.01 ^b	0.16±0.01 ^{ab}	0.18±0.01 ^b	0.19±0.01 ^c
C20 : 4ω3	0.46±0.03 ^a	0.45±0.07 ^a	0.39±0.01 ^a	0.48±0.07 ^{bc}	0.49±0.01 ^c	0.42±0.01 ^{ab}	0.63±0.04 ^d
C20 : 5ω3EPA	12.64±0.10 ^a	11.49±0.02 ^b	10.37±0.03 ^d	10.13±0.01 ^c	7.68±0.01 ^b	7.76±0.04 ^b	7.05±0.07 ^a
C22 : 5ω3	0.34±0.02 ^a	0.34±0.01 ^a	3.49±0.04 ^e	2.25±0.01 ^b	2.98±0.04 ^d	1.75±0.02 ^a	2.67±0.04 ^c
C22 : 6ω3DHA	7.59±0.06 ^a	6.54±0.03 ^b	26.57±0.35 ^d	22.92±0.01 ^b	24.27±0.01 ^c	20.26±0.03 ^a	22.85±0.01 ^b
EPA+DHA	20.23±0.04 ^a	18.03±0.05 ^b	36.94±0.32 ^e	33.05±0.01 ^c	31.95±0.02 ^d	28.02±0.01 ^a	29.90±0.06 ^b
ΣSFA	36.37±0.01 ^a	42.85±0.11 ^b	33.55±0.07 ^e	25.48±0.08 ^a	28.84±0.05 ^c	27.37±0.27 ^b	30.04±0.11 ^d
ΣMUFA	22.78±0.08 ^a	26.85±0.22 ^b	15.40±0.03 ^a	22.98±0.15 ^e	21.10±0.01 ^b	22.73±0.06 ^d	22.09±0.10 ^c
ΣPUFA	32.27±0.09 ^a	31.15±0.21 ^b	46.86±0.33 ^d	43.43±0.09 ^c	42.53±0.14 ^b	42.54±0.40 ^b	39.43±0.20 ^a
ΣUFA/ΣSFA	1.51	1.35	1.86	2.61	2.21	2.38	2.05

还证明酶解处理使粗蛋白升高,粗脂肪下降,一定程度上可以改善虾粉的质量。酶解后的磷虾蛋白主要含有各种小肽和游离氨基酸的混合物,蛋白酶解后更易于被鱼体消化吸收(Córdova-Muruetav *et al*, 2002),并且研究表明,30%酶解磷虾粉替代鱼粉可以明显提高珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的生长指标(魏佳丽等, 2016)。

3.2.2 磷虾粉的氨基酸营养价值分析 根据 FAO/WHO(1973)规定的理想蛋白的氨基酸模式,当 $\Sigma EAA/\Sigma NEAA > 60\%$ 、 $\Sigma EAA/\Sigma AA$ 为 40%左右时,为质量较好的蛋白质。2 种磷虾粉含有鲽形目鱼所需要的 8 种必需氨基酸,南极磷虾粉和酶解磷虾粉 $\Sigma EAA/\Sigma AA$ 的值分别为 48.38%和 44.11%, $\Sigma EAA/\Sigma NEAA$ 的值分别

为 93.74%和 78.93%,符合 FAO/WHO 规定的理想氨基酸模式。此外,2 种磷虾粉中富含呈味氨基酸, $\Sigma DAA/\Sigma AA$ 为 31.5%–34.16%,由于呈味氨基酸的高含量对于鱼类具有较大的诱食作用(赵红月等, 2010),可作为水产动物良好的诱食剂。2 种磷虾粉不仅营养价值高,且适口性较好。

饲料蛋白源的评价有生物评价法和化学评价法,化学评价法主要通过对蛋白源的氨基酸进行分析,以目标水产动物蛋白为参照进行比较分析,评价指标有 *EAAI*、*SRC* 和关联度分析法,本研究采用上述 3 种评价指标评价南极磷虾粉作为鲽形目鱼饲料蛋白源的营养价值。从 *EAAI* 指标来看,2 种磷虾粉的 *EAAI* 均大

于0.95,甚至高于鱼粉,说明虾粉的必需氨基酸与鳕形目鱼必需氨基酸的总体拟合程度较高,可视为适合鳕形目鱼的优质蛋白源。从SRC指标来看,2种磷虾粉的SRC均大于70,并且南极磷虾粉的SRC值稍大于鱼粉,说明2种磷虾粉中氨基酸模式与5种鳕形目鱼蛋白的氨基酸模式较为接近。由氨基酸比值系数(RC)可以得出,南极磷虾粉相对于5种鳕鱼的第一限制性氨基酸均为赖氨酸(Lys),酶解磷虾粉的第一限制性氨基酸均为苏氨酸(Thr);而鱼粉相对于圆斑星鳕、星突江鳕的第一限制性氨基酸为赖氨酸(Lys),相对于石鳕的第一限制性氨基酸为蛋氨酸(Met),相对于条斑星鳕和大菱鲆的第一限制性氨基酸为缬氨酸(Val)。这表明不同的蛋白源其氨基酸组成和含量不同,从而针对同一种鱼的限制性氨基酸不同;而同一种蛋白源不同处理后的第一限制性氨基酸也发生了改变,这和龚洋洋等(2013b)研究结果相一致,这可能是由于酶解过程使虾粉蛋白、氨基酸破坏和降解,最终使磷虾粉中的同种氨基酸含量发生了改变,从而导致第一限制性氨基酸不同。从EAA的关联度来看,2种磷虾粉的必需氨基酸平衡性较好,酶解后磷虾粉必需氨基酸的平衡性更佳,高于或与鱼粉相近。通过3种评价指标可以得出,南极磷虾粉和酶解磷虾粉的氨基酸平衡性好,营养价值高,是适合鳕形目鱼的优质蛋白源。

化学评价法可以在较短时间内初步评定饲料蛋白源的优劣,但不能综合其他营养成分进行评定。而生物评价法可以通过养殖实验验证,进而较好了解蛋白质在动物体内的消化、吸收和利用的情况。因此,除了通过化学评价外,还需要在养殖实验中进一步验证蛋白源对动物体的影响。

3.2.3 磷虾粉脂肪酸价值分析 脂肪的质量主要取决于不饱和脂肪酸的含量,单不饱和脂肪酸具有降血糖、调节血脂、降低胆固醇和抗血栓的作用(张伟敏等,2005),多不饱和脂肪酸具有降血压、抗肿瘤、抗炎等免疫调节作用,高不饱和脂肪酸对鱼体的生长速度和死亡率有很大的影响(吴志强等,2000),其中,EPA和DHA还具有很好的保健作用(杭晓敏等,2001),被称为鱼类必需的脂肪酸。2种磷虾粉含有鳕形目鱼所需要的各种脂肪酸,其中不饱和脂肪酸高达55%以上,脂肪质量较高。此外,酶解处理使磷虾粉的 Σ SFA降低, Σ PUFA升高,脂肪质量进一步得到改善。2种磷虾粉EPA+DHA的含量为18.03%~20.23%,与鱼粉的脂肪酸组成相近,营养价值高。磷虾粉作为鳕形目鱼饲料蛋白源,其不饱和脂肪酸也可满足鱼类的需要。

3.2.4 氟含量分析 南极磷虾粉中的高氟量常常

是影响其应用的一大因素,海洋动物体内的氟含量要远远超过陆生动物,主要是由于海水环境容易使氟富集,活的磷虾富集的氟含量就可达 $0.4 \times 10^6\%$ ~ $1.0 \times 10^6\%$ (潘建明等,2000)。氟是一种强氧化剂,呈强负电性,会对机体组织和器官造成极大的影响(Largent,1983)。动物若摄取过量的氟,会引起中毒反应,严重时可引发多个器官和组织的损伤和病变(Ozsvath,2009)。因此,在饲料中磷虾粉作为蛋白源时要衡量磷虾粉中的氟含量对水产动物生长、体内残留量和健康状况的影响。本研究测定了2种磷虾粉中氟含量,酶解磷虾粉的氟含量(331.21 ± 6.70 mg/kg)显著降低,低于欧盟标准(350 mg/kg)(EU,2008),一方面是因为酶解时离心取上清液冻干,舍弃了沉淀中氟含量较高的虾壳和骨骼;另一方面酶解工艺可能对样品中的氟有一定的破坏作用,导致氟含量下降。虽然商品磷虾粉的氟含量(1642.80 ± 31.78 mg/kg)仍高于欧盟标准,但有报道指出大西洋鲑、大西洋鳕鱼(*Gadus morhua*)、虹鳟(*Onchorhynchus mykiss*)和庸鳕4种海水鱼类的肌肉和骨骼中的氟含量不受饲料中氟含量的影响,生长指标和健康状况也无差异(Moren et al,2007),也有研究指出完全替代鱼粉会降低生长性能(Hansen et al,2010),针对不同的鱼类可能有不同的效果,南极磷虾粉作为鳕形目鱼蛋白源的氟含量的影响还需要养殖实验进行验证。

综上所述,南极磷虾粉和酶解磷虾粉的必需氨基酸平衡性好、营养均衡,适宜作为鳕形目鱼饲料的优质蛋白源,氟含量可以通过酶解等其他处理方式降低。南极磷虾粉作为鳕形目鱼蛋白源的实际应用效果,需要养殖实验进行验证。

参 考 文 献

- 刁其玉. 动物氨基酸营养与饲料. 北京: 化学工业出版社, 2007, 85-103
- 王远红, 吕志华, 高天翔, 等. 中国花鲈与日本花鲈营养成分的研究. 海洋水产研究, 2003, 24(2): 35-39
- 王建新, 邴旭文, 张成锋, 等. 梭鱼肌肉营养成分与品质的评价. 渔业科学进展, 2010, 31(2): 60-66
- 尤宏争, 孙志景, 张勤, 等. 豹纹鳃棘鲈肌肉营养成分分析与品质评价. 水生生物学报, 2014, 38(6): 1168-1172
- 孔凡华, 梁萌青, 吴立新, 等. 南极磷虾粉对大菱鲆生长、非特异性免疫及氟残留的影响. 渔业科学进展, 2012, 33(1): 54-60
- 冯东勋. 必需氨基酸指数(EAAI)在饲料中的应用. 饲料工业, 1997, 18(3): 21-22
- 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价-氨基酸比值系数法. 营养学报, 1988(2): 187-190
- 庄平, 宋超, 章龙珍. 舌虾虎鱼肌肉营养成分与品质的评价.

- 水产学报, 2010, 34(4): 559-564
- 孙雷, 周德庆, 盛晓风. 南极磷虾营养评价与安全性研究. 海洋水产研究, 2008, 29(2): 57-64
- 杨正勇, 王春晓, 李佳莹. 一季度鲆鲽类产业市场报告. 海洋与渔业(水产前沿), 2014(7): 94-95
- 吴志强, 丘书院, 杨圣云, 等. 闽南、台湾浅滩渔场六种主要中上层鱼类的脂肪酸研究. 水产学报, 2000, 24(1): 61-66
- 张伟敏, 钟耕, 王炜. 单不饱和脂肪酸营养及其生理功能研究概况. 粮食与油脂, 2005(3): 13-15
- 陈学存. 应用营养学. 北京: 人民卫生出版社, 1984, 8-14
- 范文洵等, 译. 蛋白质食物的营养评价. 北京: 人民卫生出版社, 1984, 10-55
- 杭晓敏, 唐涌濂, 柳向龙. 多不饱和脂肪酸的研究进展. 生物工程进展, 2001, 21(4): 18-21
- 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. 水生生物学报, 2010, 34(5): 956-965
- 徐革锋, 王裕玉, 白庆利, 等. 江鲈肌肉营养成分分析与品质评价. 动物营养学报, 2013, 25(12): 3027-3032
- 高露姣, 黄艳青, 夏连军, 等. 不同养殖模式下红鳍东方鲀的品质比较. 水产学报, 2011, 35(11): 1668-1676
- 黄艳青, 高露姣, 陆建学, 等. 饲料中添加南极大磷虾粉对点带石斑鱼幼鱼生长与肌肉营养成分的影响. 海洋渔业, 2010, 32(4): 440-446
- 龚洋洋, 陆建学, 黄艳青, 等. 南极磷虾粉氨基酸营养价值分析与评价. 饲料工业, 2013a, 34(16): 38-40
- 龚洋洋, 黄艳青, 陆建学, 等. 南极磷虾粉作为鲟鱼饲料蛋白源的营养和氟含量的分析. 海洋渔业, 2013b, 35(3): 349-357
- 常青, 秦帮勇, 孔凡华, 等. 南极磷虾在水产饲料中的应用. 动物营养学报, 2013, 25(2): 256-262
- 梁萌青, 雷霖霖, 吴新颖, 等. 3种主养鲆鲽类的营养成分分析及品质比较研究. 渔业科学进展, 2010, 31(4): 113-119
- 程波, 陈超, 王印庚, 等. 七带石斑鱼肌肉营养成分分析与品质评价. 渔业科学进展, 2009, 30(5): 51-57
- 魏佳丽, 王际英, 宋志东, 等. 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能、体组成及血清生化影响. 渔业科学进展, 2016, 37(1): 100-110
- 雷兴刚, 邓君明, 麦康森. 灰色关联度分析法评价蛋白质营养价值的可行性探讨. 云南农业大学学报(自然科学版), 2010, 25(4): 545-550
- 熊本海, 庞之洪, 赵峰, 等. 中国饲料成分及营养价值表(2014年第25版)制订说明. 中国饲料, 2014(21): 29-33
- 潘建明, 张海生, 刘小涯. 南大洋磷虾富氟机制 I. 氟的化学赋存形态研究. 海洋学报(中文版), 2000, 2(22): 58-60
- Córdova-Muruetav JH, García-Carreño FL. Nutritive value of squid and hydrolyzed protein supplement in shrimp feed. Aquaculture, 2002, 210(s 1-4), 371-384
- EU. Commission directive 2008/76/EC of 25 July 2008 amending Annex I to Directive 2002/32/EC of the European Parliament and the Council of 7 March 2002 on undesirable substances in animal feed as regards to lead, fluorine, and cadmium. Off J Eur Union, 2008, 198: 37-40
- FAO/WHO. Energy and protein requirements. FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973
- Hansen J, Penn M, Øverland M, et al. High inclusion of partially deshelled and whole krill meals in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture, 2010, 310(1): 164-172
- Julshama K, Malde MK, Bjorvatn K, et al. Fluoride retention of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed krill meal. Aquacult Nutr, 2004, 10(1): 9-13
- Largent EJ. Fluorine and compounds. Encyclopedia of Occupational Health and Safety, 1983, 891-894
- Moren M, Malde MK, Olsen RE, et al. Fluorine accumulation in Atlantic salmon (*Salmo salar*), Atlantic cod(*Gadus morhua*), rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets with krill or amphipod meals and fish meal based diets with sodium fluoride (NaF) inclusion. Aquaculture, 2007, 269(1-4): 525-531
- Ozsvath DL. Fluoride and environmental health: a review. Rev Environ Sci Biotechnol, 2009, 8(1): 59-79
- Shimizu C, Ibrahim A, Toroko T, et al. Feeding stimulation in sea bream, *Pagrus major*, fed diets supplemented with Antarctic krill meals. Aquaculture, 1990, 89: 43-53
- Suontama J, Karlsen Ø, Moren M, et al. Growth, feed conversion and chemical composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) fed diets supplemented with krill or amphipods. Aquacult Nutr, 2007, 13(4): 241-255

(编辑 冯小花)

Evaluation of Nutrition of Antarctic Krill Meal as Dietary Protein Source for Flatfishes

YAN Junli^{1,2}, CHEN Siqing², CHANG Qing^{2①}, CAO Dongzheng^{1,2}, WANG Zhenjie^{1,2}

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

Abstract In this study we evaluated the contents of major nutrients including amino acids and fatty acids of two krill meals, Antarctic krill meal and hydrolyzed krill meal, and analyzed the muscle samples of five species of flatfishes, *Verasper Variegates*, *Platichthys stellatus*, *Platichthys biocoloratus*, *Verasper moseri*, and *Scophthalmus maximus*. The nutritional values of the two krill meals were tested with the essential amino acid index, score of ratio coefficient of amino acid, and relativity of essential amino acids, and the levels of fluorine in the two krill meals were also measured. Sixteen kinds of amino acids were found in muscles of five flatfishes, including seven essential amino acids and four flavor amino acids. The amino acid composition of muscles of the five flatfishes complied the standards of Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization (FAO/WHO). The contents of crude proteins in Antarctic krill meal and hydrolyzed krill meal were 60.84% and 68.60% respectively, which satisfied the standards of the first class products index and the superfine products index. After hydrolysis, the content of crude proteins was significantly increased ($P<0.05$), whereas the content of crude lipids dropped ($P<0.05$). The content of ash was unaltered ($P>0.05$). These results suggested that there was a good balance in the amino acid composition of the two krill meals, and that the relativity of essential amino acids was similar to the fish meal. In addition, the content of fluorine in the hydrolyzed krill meal was significantly lower than that in the Antarctic krill meal ($P<0.05$). In conclusion, Antarctic krill meal and hydrolyzed krill meal had high nutritional values and potentially could be largely employed in aquaculture feeds.

Key words Antarctic krill meal; Flatfish; Muscle; Amino acid; Fatty acid

① Corresponding author: CHANG Qing, E-mail: changqing@ysfri.ac.cn