

南极磷虾粉对大菱鲆生长、非特异性免疫及氟残留的影响

孔凡华^{1,2} 梁萌青^{1*} 吴立新² 郑珂珂¹ 王新星¹ 常青¹ 龚蓉珠³

(¹中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室, 266071)

(²大连海洋大学生命科学与技术学院, 116023)

(³北京大卫麦克食品公司, 100026)

摘要 以鱼粉、南极磷虾粉和豆粕为蛋白源, 以南极磷虾粉蛋白分别替代饲料中的0(对照组)、20%、40%、60%的鱼粉蛋白制成4种等氮等能的饲料, 并以此饲料饲喂大菱鲆(37.36±2.12g)56 d。试验结果显示, 饲料中南极磷虾粉水平对大菱鲆的成活率及特定生长率(SGR)没有显著性影响($P>0.05$); 对各组的饲料干物质表观消化率均有显著性影响($P<0.05$), 替代40%组与替代60%组蛋白质表观消化率较对照组有显著性差异($P<0.05$); 对大菱鲆血清中的碱性磷酸酶(AKP)、酸性磷酸酶(ACP)、溶菌酶及总超氧化物歧化酶(T-SOD)活力无显著性影响($P>0.05$)。大菱鲆各组间肌肉中氟残留量没有显著性差异($P>0.05$), 且肌肉中氟含量均在可食用范围内, 大菱鲆各组间骨骼中氟残留量均有显著性差异($P<0.05$)。

关键词 大菱鲆 南极磷虾粉 生长 非特异性免疫 氟残留

中图分类号 S948 **文献识别码** A **文章编号** 1000-7075(2012)01-0054-07

Effect of different level of Antarctic krill meal on growth, non-specific immunity and fluoride retention in diets of turbot *Scophthalmus maximus*

KONG Fan-hua^{1,2} LIANG Meng-qing^{1*} WU Li-xin² ZHENG Ke-ke¹

WANG Xin-xing¹ CHANG Qing¹ GONG Rong-zhu³

(¹Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute,

Chinese Academy of Fishery Sciences, 266071)

(²College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, 116023)

(³David Michael(Beijing)-Flavor Co. Ltd, 100026)

ABSTRACT The effects of partial replacement of fish meal (FM) with meal made from Antarctic krill *Euphausia superba* as protein source in the diets for turbot *Scophthalmus maximus* on growth, non-specific immunity and fluoride retention were studied. Four experimental diets were prepared using an FM diet as the control. The other diets included Antarctic krill where 20%, 40% or 60% of the dietary FM protein was replaced by the protein from Antarctic krill. All diets were iso-nitrogenous and iso-caloric. Four diets were fed to groups of turbot(37.36±2.12 g) for 8 weeks. Experimental results showed that in fish fed diets containing Antarctic krill, survival, specific growth rate (SGR), alkaline phosphatase (AKP), acid phosphatase (ACP), lysozyme (LZM) and total superoxide dismutase (T-SOD) were significantly different

公益性行业(农业)科研专项(nyhyzx07-046-鲆鲽)和农业部“南极海洋生物资源开发利用”项目共同资助

* 通讯作者。E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85822914

收稿日期: 2011-04-18; 接受日期: 2011-05-25

作者简介: 孔凡华(1984-), 女, 硕士研究生, 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: weicaijiu@163.com, Tel: (0532)85822914

compared with fish fed the control diet ($P > 0.05$). The apparent digestibility of each experimental group has significant difference ($P < 0.05$), and the protein digestibility rate of 3(40) group and 4(60) group had significant difference with the control group ($P < 0.05$). The fluoride retention in muscles of each experimental group has no significant difference ($P > 0.05$), but in bones, each experimental group has significant difference ($P < 0.05$).

KEY WORDS Turbot Antarctic krill Growth Non-specific immunity
Fluoride retention

南极磷虾是南大洋南极水域所发现的磷虾中的一种。南极磷虾资源丰富,根据最新估计,南极磷虾的生物量为(6.5~10.0)亿 t(孙松 2002)。在南极生态系统中,仅南极磷虾这一种生物就足以维持以它为饵料的鲸鱼、海豹、企鹅的生存和繁衍。南极磷虾不仅在数量上很大,而且是一种有价值的蛋白质来源。南极磷虾肌肉干样中含粗蛋白 64.44%,粗脂肪 5.14%(孙雷等 2008),氨基酸含量丰富,不饱和脂肪酸(EPA、DHA)含量高,饱和脂肪酸的含量低(Saito *et al.* 2002),还含有各种营养的金属元素,南极磷虾的眼球中还含有丰富的胡萝卜素(黄洪亮等 2007)。国外已在大西洋鲑、大西洋大比目鱼(Suontama *et al.* 2007)、鲍鱼(Cho *et al.* 2008)、虹鳟(Yoshitomi *et al.* 2006)饲料中添加南极磷虾粉进行研究。

大菱鲆 *Scophthalmus maximus* 俗称欧洲比目鱼、多宝鱼,富含多种营养成分(雷霖霖等 2008)。因此,大菱鲆的养殖已成为北方海水养殖业的主导。国内外尚未见对南极磷虾粉替代鱼粉饲喂大菱鲆的报道。本研究以不同水平的南极磷虾粉替代鱼粉,以观察其对大菱鲆生长、非特异性免疫及氟残留的影响。

1 材料和方法

1.1 试验饲料

以鱼粉、南极磷虾粉和豆粕为蛋白源,高筋粉为糖源,鱼油为脂肪源,分别以南极磷虾粉蛋白替代饲料中的 0%、20%、40%、60% 的鱼粉蛋白制成 4 种等氮等能的饲料,依次记为 1(0)、2(20)、3(40)、4(60)组。试验饲料配方如表 1 所示。饲料原料均粉碎到 60 目以上,在饲料制作过程中,各原料按配比定量混匀后,用 2% 的明胶做粘合剂,制成粒径为 3 mm 的颗粒饲料,干燥保存。

1.2 饲养与管理

试验于 2009 年 9 月 26 日~11 月 21 日在山东省海阳市黄海水产有限公司进行。试验鱼选用当年孵化的同一批鱼,体重 35 ± 0.23 g 左右。在正式试验前,试验鱼投喂不含南极磷虾粉的饲料(1 号饲料)10 d,使之逐渐适应配合饲料。经过 10 d 的驯养后,挑选出体格健壮、规格一致的大菱鲆(37.36 ± 2.12 g)进行分组试验。试验用养殖桶的规格为 500 L,放养密度为 30 尾/桶,每个处理设 3 个重复,每桶代表一个重复。每天饱食投喂两次(08:00 和 18:00)。每次投饵 30 min 后清除残饵及排泄物,每隔 2h 用虹吸法收集 1 次粪便(排粪高峰期一般在摄食后 4~6h)。挑选包膜完整的粪便置于称量瓶中,70 °C 烘干,保存在 -20 °C 条件下待测。试验为期 56d。试验期间水温 11~22 °C,盐度 25~30,溶解氧含量在 6 mg/L 以上。

1.3 样品处理与分析

56 d 生长试验结束后,大菱鲆饥饿 24 h,然后记数、称重。分别从每桶随机抽取 5 尾大菱鲆,以无菌注射器自每尾大菱鲆尾静脉取血约 1 ml,用体积分数为 1% 的肝素钠抗凝,低温放置 4 h,避免振荡,防止溶血,然后以 3 000 r/min 离心 10 min,取其血清。每桶随机取 8 尾大菱鲆,在背部脊柱右侧上方取长约 4 cm,宽约 2 cm,厚度约为 0.5 cm 的肌肉,去皮,-20 °C 保存备用。取完肌肉的大菱鲆在微波炉中高火煮 10 min。之后,去头,去除肌肉,取鱼骨骼,洗净,烘干。

各饲料及鱼体样品均在 105℃ 烘干至恒重后,求得干物质含量。采用凯氏定氮法(总氮×6.25)测得粗蛋白含量;采用索氏提取法(以乙醚为抽提液)测得粗脂肪含量;将样品在马福炉(550℃)中灼烧 6h 测得灰分含量;肌肉和骨骼中氟残留采用 GB/T5009.18-2003 第三法检测。饲料和粪便样品中的 Cr₂O₃ 通过 ICP 原子吸收光谱法测定。

表1 试验饲料组成(%)

Table 1 Composition of the experiment diet

饲料原料 Ingredient	南极磷虾粉蛋白替代鱼粉蛋白 Antarctic krill meal level				饲料原料 Ingredient	南极磷虾粉蛋白替代鱼粉蛋白 Antarctic krill meal level			
	1(0)	2(20)	3(40)	4(60)		1(0)	2(20)	3(40)	4(60)
鱼粉 Fish meal	60	48	36	24	矿物质 Mineral premix ²	1	1	1	1
磷虾粉 Krill meal	0	12.8	25.5	38.3	Cr ₂ O ₃	0.5	0.5	0.5	0.5
高筋粉 High-gluten flour	15	13.2	12	10.7	Vc	0.5	0.5	0.5	0.5
豆饼 Soybean meal	10	10	10	10	主要营养成分分析 Nutrients analysis				
磷脂 Phospholipid	1.5	1.5	1.5	1.5	粗蛋白 Crude protein	53.04	52.54	51.90	50.33
胆碱 Choline	1	1	1	1	粗脂肪 Crude lipid	13.68	15.13	15.81	17.95
鱼油 Fish oil	8	9	9.5	10	灰分 Crude ash	12.15	12.18	12.26	12.24
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.5	1.5	1.5	1.5	氟含量 Fluorine content(mg/kg)	110	260	390	530
维生素混合物 Vitamin premix ¹	1	1	1	1					

注:¹维生素混合物(mg/kg or g/kg 饲料):硫胺素 25 mg;核黄素 45 mg;盐酸吡哆醇 20 mg;维生素 B₁₂ 0.1 mg;维生素 K₃ 10 mg;肌醇 800 mg;泛酸 60 mg;烟酸 200 mg;叶酸 20 mg;生物素 1.2 mg;维生素 A 32 mg;维生素 D 5 mg;维生素 E 120 mg;次粉 18.67 g

²矿物质(mg/kg or g/kg 饲料):氟化钠 2 mg;碘化钾 0.8 mg;氯化钴 50 mg;硫酸铜 10 mg;硫酸铁 80 mg;硫酸锌 50 mg;硫酸镁 1 200 mg;磷酸二氢钙 3 000 mg;氯化钠 100 mg;沸石粉 15.51 g

Notes:¹Vitamin premix (mg/kg or g/kg diet): Thiamine 25 mg; Riboflavin 45 mg; Pyridoxine 20 mg; Vitamin B₁₂ 0.1 mg; Menadione 10 mg; Inositol 800 mg; Pantothenate 60 mg; Tocopherol acetate 200 mg; Folic acid 20 mg; Biotin 1.2 mg; Vitamin A 32 mg; Vitamin D 5 mg; Vitamin E 120 mg; Wheat flour 18.67 g

²Mineral premix (mg/kg or g/kg diet): NaF 2 mg; KI 0.8 mg; CoCl₂ · 6H₂O 50 mg; CuSO₄ · 5H₂O 10 mg; FeSO₄ · 7H₂O 80 mg; ZnSO₄ · 7H₂O 50 mg; MnSO₄ · 4H₂O 1 200 mg; Ca (H₂PO₄)₂ · H₂O 3 000 mg; NaCl 100 mg; Mordenzeo 15.51 g

溶菌酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶及总超氧化物歧化酶活力均采用南京建成生物工程研究所试剂盒进行测定。

溶菌酶测定按南京建成试剂盒步骤进行:配 2.5 μg/ml 溶菌酶标准液 0.1 ml,蒸馏水做空白,取等量样本 0.1 ml,标准管、空白管、测定管分别加 1 ml 应用菌液,混匀,37℃ 水浴 15 min,立即取出置于 0℃ 以下的冰水浴 3 min,530 nm 蒸馏水调透光度 100%,比色测定。溶菌酶含量(μg/ml)=(测定管 UT15-空白管 OT15)/(标准管 ST15-空白管 OT15)×2.5 μg/ml×样本测试前稀释倍数。OT15 为水浴 15 min 后的空白管透光度,UT15 为水浴 15 min 后的测定管透光度,ST15 为水浴 15 min 后的标准管透光度。

酸性磷酸酶活力定义为:100 ml 血清在 37℃ 与基质作用 30 min 后产生 1mg 酚的酶量为 1 个酸性磷酸酶活力单位(U)。酸性磷酸酶活力(U/100ml)=A_{测定值}/A_{标准值}×酚含量×稀释倍数。

碱性磷酸酶活力定义为:100 ml 血清在 37℃ 与基质作用 15 min 后产生 1 mg 酚的酶量为 1 个碱性磷酸酶活力单位(U)。碱性磷酸酶活力(U/100 ml)=A_{测定值}/A_{标准值}×酚含量×稀释倍数。

总超氧化物歧化酶活力定义为:每毫升反应液中 SOD 抑制率达 50%时所对应的 SOD 量为 1 个 SOD 活力单位(U)。总超氧化物歧化酶活力(U/ml)=(A_{对照值}-A_{测定值})/A_{对照值}÷50%×反应体系的稀释倍数。

每份样品重复测定两次,当相对偏差超过 2%时,增加重复次数,取偏差在 2%以下的两个测定值的平均数为记录结果。

1.4 计算公式与统计分析

试验期间鱼的成活率(Survival)、特定生长率(Specific growth rate, SGR)分别按以下公式计算:

成活率(Survival%) = 终末试验鱼数量/初始试验鱼数量 × 100

特定生长率(SGR, %/d) = $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$

式中, W_0 为试验初鱼的体重(g); W_t 为试验末鱼的体重(g); t 为试验天数(d)。

试验饲料中干物质、蛋白质的表观消化率计算公式为:

饲料干物质表观消化率(%) = $(1 - \text{饲料中 } Cr_2O_3\% / \text{粪便中 } Cr_2O_3\%) \times 100$

营养成分中蛋白质的表观消化率(%) = $[1 - (\text{饲料中 } Cr_2O_3\% \times \text{粪便中粗蛋白}\%) / (\text{粪便中 } Cr_2O_3\% \times \text{饲料中粗蛋白}\%)] \times 100$

所得试验数据采用平均值 ± 标准差表示,并以 SPSS 16.0 分析软件进行单因子方差分析(ANOVA),多重比较采用 Duncan's 检验方法,以 $P < 0.05$ 为显著水平。

2 结果

2.1 饲料中南极磷虾粉水平对大菱鲆成活率和特定生长率的影响

南极磷虾粉替代水平对大菱鲆成活率及特定生长率的影响如表 2。经 56 d 生长试验,饲料中南极磷虾粉替代水平对大菱鲆的成活率和特定生长率均没有显著性影响($P > 0.05$)。各试验组的特定生长率较对照组有增加的趋势,但无显著性差异($P > 0.05$)。

表 2 南极磷虾粉水平对大菱鲆成活率及特定生长率的影响

Table 2 Effects of dietary krill meal on the survival and growth of turbot

2.2 饲料中南极磷虾粉水平对大菱鲆体成分的影响

试验结束后,各组试验大菱鲆全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分分析数据见表 3。大菱鲆全鱼水分含量范围为 73.69%~74.65%,粗蛋白含量范围为 15.72%~17.22%,粗脂肪含量范围为 4.83%~5.08%,灰分含量范围为 2.93%~3.41%,各饲料组间没有显著性差异($P > 0.05$)。

项目 Item	南极磷虾粉蛋白替代鱼粉蛋白 Antarctic krill meal level			
	1(0)	2(20)	3(40)	4(60)
初始重 Initial weight(g)	36.43 ± 0.63	36.71 ± 3.86	37.77 ± 2.16	38.55 ± 0.72
末重 Final weight(g)	97.44 ± 6.70	114.03 ± 0.81	112.61 ± 0.82	110.31 ± 4.61
成活率 Survival(%)	100	100	100	100
特定生长率 SGR(%/d)	1.75 ± 0.15	1.92 ± 0.03	1.95 ± 0.12	1.88 ± 0.06

注:同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P < 0.05$)

Note: Values within a row having different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

表 3 南极磷虾粉水平对大菱鲆体成分的影响

Table 3 Effects of dietary krill meal on the composition of turbot body

2.3 饲料中南极磷虾粉水平对大菱鲆消化率的影响

试验测定了大菱鲆对饲料干物质和蛋白质的表观消化率,试验结果见表 4。由表 4 看出,饲料中南极磷虾粉水平对大菱鲆消化率影响较大。大菱鲆对各组饲料的干物质表观消化率都有显著性差异($P < 0.05$)。其中对照组(1(0)组)的干

项目 Item	南极磷虾粉蛋白替代鱼粉蛋白 Antarctic krill meal level			
	1(0)	2(20)	3(40)	4(60)
水分 Moisture(%)	74.36 ± 1.86	74.14 ± 1.04	74.65 ± 2.03	73.69 ± 1.46
粗蛋白 Crude protein(%)	17.22 ± 1.06	16.68 ± 0.02	15.72 ± 1.14	16.71 ± 0.51
粗脂肪 Crude lipid(%)	4.90 ± 0.54	4.83 ± 0.30	4.94 ± 0.54	5.08 ± 0.13
灰分 Ash(%)	2.93 ± 0.31	3.17 ± 0.03	3.32 ± 0.28	3.41 ± 0.23

注:同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P < 0.05$)

Note: Values within a row having different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

物质表观消化率为44.11%，是4个组中的最小值，最大值为南极磷虾粉蛋白替代60%鱼粉蛋白组(4(60)组)，干物质表观消化率为58.62%。另外，南极磷虾粉蛋白替代20%鱼粉蛋白组(2(20)组)、南极磷虾粉蛋白替代40%鱼粉蛋白组(3(40)组)较对照组分别高7.86%和7.02%。大菱鲆对各组饲料的蛋白质表观消化率，3(40)组为76.74%，是各组间最低值，显著低于1(0)和4(60)组($P < 0.05$)；与2(20)组差异不显著($P > 0.05$)；4(60)组蛋白质表观消化率最高，为84.01%，显著高于其他各组($P < 0.05$)；1(0)与2(40)两组之间蛋白质表观消化率差异不显著($P > 0.05$)。

2.4 饲料中南极磷虾粉水平对大菱鲆血清非特异性免疫指标的影响

本试验通过溶菌酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶和总超氧化物歧化酶活力4个指标来反映饲料中南极磷虾粉水平对大菱鲆非特异性免疫力的影响(表5)。各试验组间溶菌酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶和总超氧化物歧化酶活力均没有显著性差异($P > 0.05$)。各试验组溶菌酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶活性与对照组相比有减小的趋势；但各试验组的总超氧化物歧化酶活力相对于对照组，有增加的趋势。

表4 南极磷虾粉水平对大菱鲆干物质和蛋白质表观消化率的影响

Table 4 Effects of dietary krill meal on apparent digestibility coefficients of dry matter and protein in turbot

项目 Item	南极磷虾粉蛋白替代鱼粉蛋白 Antarctic krill meal level			
	1(0)	2(20)	3(40)	4(60)
干物质 Dry matter(%)	44.11±0.53 ^a	51.97±0.63 ^b	51.13±0.03 ^c	58.62±0.29 ^d
粗蛋白 Crude protein(%)	77.60±0.16 ^b	77.14±0.23 ^{ab}	76.74±0.16 ^a	84.01±0.48 ^c

注：同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P < 0.05$)

Note: Values within a row having different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

表5 南极磷虾粉水平对大菱鲆血清非特异性免疫指标的影响

Table 5 Effects of dietary krill meal on non-specific immunity of turbot

项目 Item	南极磷虾粉蛋白替代鱼粉蛋白 Antarctic krill meal level			
	1(0)	2(20)	3(40)	4(60)
溶菌酶 LZM($\mu\text{g/ml}$)	5.35±1.90	4.95±3.16	3.63±2.92	4.14±2.25
碱性磷酸酶 AKP(金氏单位/100 ml)	7.59±5.04	3.52±0.32	4.15±1.11	5.25±1.11
酸性磷酸酶 ACP(U/100 ml)	3.44±0.43	3.06±2.23	2.47±1.25	2.78±0.65
总超氧化物歧化酶活力 T-SOD(U/mg prot)	81.61±17.63	93.20±23.40	115.55±11.27	114.39±19.69

注：同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P < 0.05$)

Note: Values within a row having different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

2.5 饲料中南极磷虾粉水平对大菱鲆肌肉和骨骼氟残留的影响

南极磷虾粉水平对大菱鲆肌肉和骨骼氟残留的影响如表6。由试验数据可以看出，各试验组肌肉中氟残留量没有显著性差异($P > 0.05$)，但骨骼中氟残留量各组间差异显著($P < 0.05$)，并且随着饲料组中氟含量的增加，骨骼中氟残留量也呈增加趋势。

表6 南极磷虾粉水平对大菱鲆肌肉和骨骼氟残留的影响

Table 6 Effects of dietary krill meal on the retention of fluorine in muscle and bone of turbot

项目 Item	南极磷虾粉蛋白替代鱼粉蛋白 Antarctic krill meal level			
	1(0)	2(20)	3(40)	4(60)
肌肉 Muscle(mg/kg)	0.27±0.03	0.30±0.04	0.54±0.21	0.50±0.04
骨骼 Bone(mg/kg)	53.78±4.67 ^a	103.79±6.64 ^b	156.60±2.68 ^c	167.14±5.57 ^d

注：同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P < 0.05$)

Note: Values within a row having different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 饲料中南极磷虾粉水平对大菱鲆生长及消化的影响

目前，有关南极磷虾粉对水产动物生长影响的报道已见于大西洋鲑(Julshamn *et al.*, 2004)、大西洋大比目鱼(Suontama *et al.*, 2007)、虹

鳟(Yoshitomi *et al.* 2006)、美国龙虾幼体(Floreto *et al.* 2001)。本试验中,南极磷虾粉蛋白替代 20%、40%、60% 的鱼粉蛋白饲喂大菱鲆,与对照组相比,各试验组成活率及特定生长率均没有显著性差异($P > 0.05$)。与大西洋鲑(Julshamn *et al.* 2004; Olsen *et al.* 2006; Suontama *et al.* 2007)及虹鳟(Yoshitomi *et al.* 2006、2007)中的研究结果一致。但试验组较对照组均有提高其特定生长率的趋势。另外,在养殖过程中发现,添加南极磷虾粉组与对照组相比,大菱鲆抢食迅速,食欲旺盛。有研究指出,南极磷虾整虾可作为鱼的钓饵,适量添加南极磷虾粉在鱼的钓饵里,可提高钓饵的诱食效果(孙松 2002)。可见,在大菱鲆的饲料中适宜添加量的南极磷虾粉具有一定的诱食效果。另外,南极磷虾肌肉中的氨基酸共测得 18 种常见氨基酸,其中包括 10 种鱼体必需氨基酸,8 种非必需氨基酸(孙雷等 2008),可以满足大菱鲆对氨基酸的需求,有利于大菱鲆的生长。

消化率的测定是水产动物消化生理研究的一个重要指标。鱼类对饲料原料的消化率不仅取决于原料的组成及原料的可消化利用情况,而且取决于鱼类本身对饲料原料的利用能力(如对同一种原料,不同鱼类对其消化利用的能力也不同)(Cho *et al.* 1982)。本试验各试验组中大菱鲆对饲料干物质表观消化率较对照组高,且与对照组有显著性差异($P < 0.05$)。饲料原料中蛋白质含量是影响鱼类生长的主要因素,蛋白质消化率是测定鱼类对饲料利用率最重要的指标。大菱鲆对虾粉的蛋白质消化率为 89.17%,高于黑线鳕、庸鲽和大西洋鳕对虾粉的蛋白消化率(74%、82%和 67%)(Tibbetts *et al.* 2004、2006; Peach 2005),可见大菱鲆对虾粉有很好的蛋白质消化率。本试验随着磷虾粉蛋白替代鱼粉蛋白的增多,大菱鲆对饲料干物质的消化率也较对照组提高。本试验中南极磷虾粉蛋白替代 20% 鱼粉蛋白组和南极磷虾粉蛋白替代 40% 鱼粉蛋白组的蛋白消化率较对照组和南极磷虾粉蛋白替代 60% 鱼粉蛋白组低,与饲料干物质消化率变化趋势不一致,具体原因还有待于进一步研究。

3.2 饲料中南极磷虾粉水平对大菱鲆非特异性免疫的影响

血清溶菌酶活力是评价鱼类非特异性免疫力的常用指标。酸性磷酸酶主要参与磷酸酯的代谢调节、能量转化以及信号传导等,同时作为溶酶体的标志酶(刘洪丽等 2009)。碱性磷酸酶是一种含锌的、对底物专一性较低的磷酸单酯水解酶,主要存在于鱼类前肠上皮细胞的浅部和纹状缘上,在体内直接参与磷酸基团的转移和代谢,有助于肠上皮细胞的吸收,与脂类、葡萄糖、钙和无机磷的吸收存在正相关性,在水生动物的骨骼矿化过程中起着重要作用(柳旭东等 2006)。本试验中,试验组中的血清溶菌酶、碱性磷酸酶及酸性磷酸酶活性与对照组比较,有减小趋势,但没有显著性差异($P > 0.05$)。

SOD 是机体清除氧自由基的重要抗氧化酶,在正常生理状态下机体自由基的产生和清除处于动态平衡,在应激状态下体内自由基的增加和抗氧化剂的减少能导致氧化应激,对细胞膜造成氧化损伤,影响细胞功能的正常发挥,甚至导致细胞破裂、血溶或器官发生损伤(叶继丹等 2004)。因此,动态检测 SOD 能比较准确地反映机体内自由基的代谢状况及组织的损伤情况,对判断鱼体健康状况具有重要的价值。本试验中,试验组的 SOD 水平较对照组有增长的趋势,表明以磷虾粉替代鱼粉大菱鲆体内有一定的抗氧化作用。因此,南极磷虾粉对大菱鲆体内氧自由基的清除具有重要的促进作用,从而提高了机体防御外界刺激的能力。

3.3 饲料中南极磷虾粉水平对大菱鲆氟残留的影响

磷虾的壳内含有很高的氟,比联合国食品和药品管理委员会有关人类氟的允许量高出 40 多倍(孙松 2002)。然而磷虾的肉内氟的含量很低,在人类消费允许量范围之内。不幸的是壳内的氟极不稳定,在磷虾死后会立即渗透到虾肉中(孙松 2002)。目前,有关南极磷虾粉对鱼类氟残留的影响的报道已见于大西洋鲑、大西洋鳕鱼、虹鳟、大西洋大比目鱼(Moren *et al.* 2007)。本试验中,各试验组肌肉中氟残留量没有显著性差异($P > 0.05$),与大西洋鲑(Julshamn *et al.* 2004; Moren *et al.* 2007)、虹鳟(Moren *et al.* 2007)、大西洋大比目鱼(Moren *et al.* 2007)、大西洋鳕鱼(Moren *et al.* 2007)的研究结果一致。各试验组大菱鲆的背部肌肉氟含量均低于 1 mg/kg,与虹鳟(Yoshitomi *et al.* 2006、2007)的研究结果一致。根据食品中氟允许量标准 GB4809-84,肉类和鱼类(淡水)氟含量 ≤ 2.0 mg/kg,各试验组肌肉中氟残留量均在允许范围内,所以对消费者来

说,大菱鲂的肌肉可以食用。但各组间大菱鲂骨骼中氟残留量差异显著($P < 0.05$),并且随着饲料组中氟含量的增加,骨骼中氟残留量也呈增加趋势,与虹鳟(Yoshitomi *et al.* 2006)的研究结果相似。

4 结论

本试验结果表明,南极磷虾粉有促进大菱鲂生长的趋势,大菱鲂对试验饲料有较高的干物质表观消化率;南极磷虾粉对大菱鲂体内氧自由基的清除具有重要的促进作用;饲料中添加南极磷虾粉对大菱鲂鱼骨氟含量有显著差异,鱼骨氟含量为 53.78~167.14 mg/kg,对大菱鲂肌肉的氟含量无显著影响,肌肉的氟含量为 0.27~0.54 mg/kg,均 ≤ 2.0 mg/kg。因此,大菱鲂肌肉的氟含量在食品氟含量允许范围内,可以放心食用。

参 考 文 献

- 叶继丹,韩友文,赵吉伟,卢彤岩,刘红柏,杨雨辉. 2004. 唑乙醇对鲤肝胰脏抗氧化酶系统的影响. 水产学报,28(3):231~235
- 孙 松. 2002. 南极磷虾. 世界科技研究与发展,24(4):57~60
- 孙 雷,周德庆,盛晓风. 2008. 南极磷虾营养评价与安全性研究. 海洋水产研究,29(2):57~64
- 刘洪丽,陈忠伟,胡庭俊,林 勇,何 颖,刘 伟,胡 帅,赵 武,李 斌,梁家幸. 2009. 马尾藻多糖对奥尼罗非鱼生长性能·血液生化指标和免疫调节的影响. 安徽农业科学,37(29):14 215~14 217
- 柳旭东,梁萌青,林 洪,常 青,王家林. 2006. 不同干燥温度鱼粉对半滑舌鲷稚鱼生长、消化酶及碱性磷酸酶活性的影响. 海洋水产研究,27(2):74~79
- 黄洪亮,陈雪忠,冯春雷. 2007. 南极磷虾资源开发现状分析. 渔业现代化,1:48~51
- 雷霖霖,梁萌青,刘新富,孟 振. 2008. 大菱鲂营养成分与食用价值研究概述. 海洋水产研究,29(4):112~115
- Cho, C. Y., Slinger, S. J., and Bayley, H. S. 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. Comp. Biochem. Physiol. 73B:25~41
- Cho, S. H., Park, J., Kim, C., and Yoo, J. H. 2008. Effect of casein substitution with fishmeal, soybean meal and crustacean meal in the diet of the abalone (*Haliotis discus hannai* Ino). Aquaculture Nutrition,14(1):61~66
- Floreto, E. A. T., Brown, P. B., and Bayer, R. C. 2001. The effects of krill hydrolysate-supplemented soy-bean based diets on the growth, colouration, amino and fatty acid profiles of juvenile American lobster, *Homarus americanus*. Aquaculture Nutrition,7(1):33~43
- Julshamn, K., Malde, M. K., Bjorvatn, K., and Krogedal, P. 2004. Fluoride retention of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed krill meal. Aquaculture Nutrition,10(1):9~13
- Moren, M., Malde, M. K., Olsen, R. E., Hemre, G. I., Dahl, L., Karlsen, Ø., and Julshamn, K. 2007. Fluoride accumulation in Atlantic salmon (*Salmo salar*), Atlantic cod (*Gadus morhua*), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets with krill or amphipod meals and fish meal based diets with sodium fluoride (NaF) inclusion. Aquaculture,269(1-4):525~531
- Olsen, R. E., Suontama, J., Langmyhr, E., Mundheim, H., Ring Ø, E., Melle, W., Malde, M. K., and Hemre, G. I. 2006. The replacement of fish meal with Antarctic krill, *Euphausia superba* in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*. Aquaculture Nutrition,12(4):280~290
- Peach, R. W. 2005. Protein and energy utilization by juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). M. Sc. Thesis. Dalhousie University, Halifax/Nova Scotia Agricultural College, Truro, Nova Scotia, 133
- Saito, H., Kotani, Y., Keriko, J. M., Xue, C. H., Taki, K. J., Ishihara, K. J., Ueda, T., and Miyata, S. 2002. High levels of n-3 polyunsaturated fatty acids in *Euphausia pacifica* and its role as a source of docosahexaenoic and icosapentaenoic acids for higher trophic levels. Marine Chemistry,78(1):9~28
- Suontama, J., Karlsen, Ø., Moren, M., Herme, G. I., Melle, W., Langmyhr, E., Mundheim, H., Ring Ø, E., and Olsen, R. E. 2007. 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. Aquaculture Nutrition,13(4):241~255
- Tibbetts, S. M., Lall, S. P., and Milley, J. E. 2004. Apparent digestibility of common feed ingredients by juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. Aquaculture Research, 35(7):643~651
- Tibbetts, S. M., Milley, J. E., and Lall, S. P. 2006. Protein digestibility of common and alternative feed ingredients by juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua*. III International Symposium on Fish Nutrition and Feeding, 8 May-1 June, Biarritz, France, 245
- Yoshitomi, B., Aoki, M., Oshima, S., and Hata, K. 2006. Evaluation of krill (*Euphausia superba*) meal as a partial replacement for fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. Aquaculture,261(1):440~446
- Yoshitomi, B., Aoki, M., and Oshima, S. 2007. Effect of total replacement of dietary fish meal by low fluoride krill (*Euphausia superba*) meal on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in fresh water. Aquaculture,266(1-4):219~225