

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*

魏佳丽^{1,2} 王际英^{2①} 宋志东^{2,3} 黄裕^{1,2} 孙永智² 张利民²

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 山东省海洋资源与环境研究院 烟台 264006;
3. 山东升索渔用饲料研究中心 烟台 265601)

摘要 以酶解磷虾粉分别替代基础饲料中 0(T0)、10%(T10)、20%(T20)、30%(T30)、40%(T40)、50%(T50)的鱼粉, 配制 6 种等氮等能的饲料, 研究饲料中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、血液生化指标、抗氧化性能及氟残留的影响。选取初始均重为(57.80±0.28) g 的珍珠龙胆石斑幼鱼 360 尾, 随机分为 6 组, 每组 3 个重复, 试验周期为 56 d。结果显示, (1) T30 组的增重率、特定生长率和摄食率均显著高于 T0 组($P<0.05$); 在替代量大于 20%时, 饲料干物质表观消化率显著高于 T0 组($P<0.05$); 各替代组的饲料系数、肥满度、肝体比、蛋白质效率、蛋白质消化率与 T0 组无显著差异($P>0.05$)。 (2) 各替代组全鱼和肌肉水分、粗脂肪、粗灰分含量与 T0 组无显著差异($P>0.05$); T30 组肌肉粗蛋白质含量显著高于 T0 组($P<0.05$)。 (3) 各组间血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶、总蛋白、白蛋白、碱性磷酸酶、甘油三酯和高密度脂蛋白含量无显著差异($P>0.05$); T30 组尿素氮含量显著低于 T0 组($P<0.05$); 各替代组低密度脂蛋白含量显著高于 T0 组($P<0.05$)。 (4) 酶解磷虾粉替代鱼粉显著升高了珍珠龙胆石斑鱼幼鱼血清和肝脏中谷胱甘肽过氧化物酶及血清超氧化物歧化酶的活力($P<0.05$), 同时, 显著降低了血清和肝脏中丙二醛含量($P<0.05$)。 (5) 各组肌肉氟含量均在可检测范围以下, 各组间骨骼氟含量随着替代比例的升高而升高, 各组差异显著($P<0.05$)。研究表明, 综合考虑生长性能、体成分、生化指标及抗氧化性能, 酶解磷虾粉可替代珍珠龙胆石斑鱼饲料中 40%以下的鱼粉, 替代量为 30%时效果最佳。

关键词 酶解磷虾粉; 鱼粉替代; 石斑鱼; 生长性能; 血清生化指标

中图分类号 S963.7 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)01-0100-11

鱼粉具有蛋白质含量高、必需氨基酸组成平衡、碳水化合物含量低、适口性好、抗营养因子少及易被动物消化吸收等特点, 一直被作为水产动物饲料主要的蛋白源。近年来, 随着我国水产养殖总量的持续增长, 对鱼粉需求也日益增长。然而, 由于过度捕捞和环境污染等问题, 鱼粉产量逐年下降, 造成鱼粉资源严重不足。因此, 寻找新型饲料蛋白源成为当前水产养殖业非常急迫的任务。酶解蛋白主要产物是各种肽和

少量游离氨基酸的混合物(Córdova-Muruetav *et al*, 2002)。蛋白经过酶解可以释放出具有生物活性的小分子肽, 对鱼类的生长、发育和饲料利用有着显著的促进作用(Li *et al*, 2008; Zambonino Infante *et al*, 1997)。目前, 关于酶解蛋白的研究主要集中在动物蛋白, 如鱼肉蛋白、乳源蛋白、海产品加工下脚料蛋白, 已在水产养殖应用中取得了较好的效果(Cahu *et al*, 1999)。磷虾(*Euphausia* spp.)是世界海洋生物中生物储备量

* 国家海洋公益性行业科研专项(201205025、201205028)和国家海洋生物产业-水生动物营养和饲料研发创新示范平台资金(201402001)共同资助。魏佳丽, E-mail: weijl107@163.com

① 通讯作者: 王际英, 研究员, E-mail: ytwjy@126.com

收稿日期: 2014-12-11, 收修改稿日期: 2015-01-05

最大的生物之一,其资源开发潜力巨大,被认为是地球上最大、也是最后的一个动物蛋白质库(孙松等,2009)。其中,太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*)作为北太平洋北部的优势种,在我国黄海、东海分布广泛(王荣等,2003)。加工制得的磷虾粉,本身蛋白含量高,氨基酸含量比例平衡,价格与鱼粉相当,是一种新型的饲料蛋白源(Hansen *et al*, 2010)。磷虾粉经过酶解处理后,含有一些具有特殊功能的生物活性肽,能够对鱼体的生长和健康产生积极的影响。

珍珠龙胆石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*♀×*Epinephelus lanceolatus*♂)隶属鲈形目(Perciformes)、鲈亚目(Percoidae)、鲷科(Serranidae)、石斑鱼属(*Epinephelus*),是棕点石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*) (俗称老虎斑)卵子与鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*) (俗称龙胆)精子杂交培养出来的品种,有虎斑头龙胆尾的外型,集合了虎斑抗病力强和龙胆生长速度快的优点,其肉质细嫩、营养丰富,极具发展潜力。目前,尚未见到酶解蛋白在珍珠龙胆石斑鱼上应用的研究报道。本研究用酶解磷虾粉部分替代鱼粉,研究其对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长、体组成、血液生化、抗氧化性能及氟残留的影响,以期酶解磷虾粉在珍珠龙胆石斑鱼幼鱼饲料中的应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 饲料的配制

试验用酶解磷虾粉为太平洋磷虾粉采用以下条件酶解制成:在 50℃、固液比 1:4 条件下用 2%胰蛋白酶酶解太平洋磷虾粉 5 h,并冻干粉碎,制成酶解磷虾粉。所用胰蛋白酶购自南宁东恒华道生物科技有限责任公司,酶活力单位为 4000 U/g。酶解磷虾粉粗蛋白含量为 65.30%,粗脂肪含量为 9.12%,室温下水解度为 16.65%。磷虾粉和酶解磷虾粉在不同 pH 下三氯乙酸可溶性氮指数见表 1,酶解磷虾粉氨基酸组成见表 2。

以鱼粉、大豆浓缩蛋白为蛋白源,鱼油为脂肪源,用制得的酶解磷虾粉分别替代 0(T0,对照组)、10%

表 1 三氯乙酸可溶性氮指数

Tab.1 Trichloroacetic acid-soluble nitrogen index(TCA-NSI)(%)

项目 Items	pH6.5	pH7.0	pH7.5	pH8.0
磷虾粉 Krill meal	14.90	15.02	16.50	17.64
酶解磷虾粉 Hydrolyzed krill meal	42.74	44.64	45.22	45.84

表 2 酶解磷虾粉氨基酸组成

Tab.2 Amino acid composition of hydrolyzed krill meal

氨基酸 Amino acid	含量 Content(%)	氨基酸 Amino acid	含量 Content(%)
苏氨酸 Thr	2.39	丙氨酸 Ala	3.16
精氨酸 Arg	3.36	甘氨酸 Gly	3.43
亮氨酸 Leu	3.92	谷氨酸 Glu	6.99
异亮氨酸 Ile	2.69	丝氨酸 Ser	2.11
缬氨酸 Val	2.97	酪氨酸 Tyr	2.52
组氨酸 His	1.24	脯氨酸 Pro	2.81
赖氨酸 Lys	4.02	胱氨酸 Oys	1.50
苯丙氨酸 Phe	2.36	天冬氨酸 Asp	5.58
蛋氨酸 Met	1.07		

(T10)、20%(T20)、30%(T30)、40%(T40)、50%(T50)的鱼粉,配制成 6 种等氮等能[粗蛋白为(54.41±0.18)%,总能为(20.42±0.12) kJ/g]的试验饲料。所有的原料粉碎过 80 目筛,分析营养成分后,依据饲料配方,称重并采用逐级扩大法混合均匀,加入鱼油和适量的蒸馏水二次混合均匀,经螺旋挤压机加工成直径为 4 mm 的硬颗粒饲料,80℃烘干后置于通风干燥处备用。试验饲料配方及营养成分见表 3。

1.2 鱼的饲养管理

试验于 2013 年 10 月 18 日-12 月 13 日在山东省海洋与资源环境研究院东营基地全封闭水循环系统进行。试验鱼购自山东莱州明波水产有限公司,驯养 14 d 后进行分组。选取规格均匀、体质健壮、平均体重为(57.80±0.28) g 的珍珠龙胆石斑鱼 360 尾,随机分为 6 组,每组设 3 个平行,每个平行 20 尾鱼,分别放于圆柱形养殖桶内(直径 70 cm,高 80 cm),控制水深为 50 cm 左右。养殖试验在微流水环境中进行,采用充气增氧,保证溶氧大于 7 mg/L,水温为(26.5±0.5)℃,盐度为 23-26, pH 为 7.8-8.0,亚硝酸氮、氨氮含量均小于 0.1 mg/L。试验期间,每天饱食投喂两次(08:00, 16:30),日投喂量为 1.5%-2%,根据摄食情况适当调整投喂量。投喂 30 min 后,从排水口将残饵排出,记录残饵量。养殖试验最后 14 d,投饵 3 h 后收集粪便,于-80℃下保存,待分析。

1.3 样品采集

试验结束后,鱼禁食 24 h,称每桶鱼的总重,计算增重率、摄食率、饲料系数、成活率;从每个处理中随机取 10 尾鱼,麻醉(MS-222, 100 mg/kg)后,称重、量体长用于计算肥满度和特定增长率;随机取 3 尾鱼用

表3 试验饲料配方及营养组成(干物质基础)
Tab.3 Formulation and nutrient compositions of the experimental diets (%DM basis)

项目 Items	组别 Groups					
	T0	T10	T20	T30	T40	T50
原料 Ingredients						
鱼粉 Fish meal	64	57.5	51	45	38.5	32
酶解磷虾粉 Hydrolyzed krill meal	0	6.5	13	19	25.5	32
大豆浓缩蛋白 Soybean protein concentrate	11	11	11	11	11	11
α -淀粉 α -starch	13.15	13.15	13.15	13.15	13.15	13.15
鱼油 Fish oil	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
抗氧化剂 Antioxidant	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	1	1	1	1	1	1
维生素预混料 Vitamin premix ¹⁾	2	2	2	2	2	2
矿物质预混料 Mineral premix ²⁾	1	1	1	1	1	1
氯化胆碱 Choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
甜菜碱 Betaine	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
三氧化二铬 Cr_2O_3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
合计 Total	100	100	100	100	100	100
营养组成 Proximate composition ³⁾						
粗蛋白 Crude protein	54.63	54.46	54.26	54.48	54.28	54.27
粗脂肪 Crude lipid	12.51	12.72	12.69	12.83	12.74	12.74
灰分 Ash	13.29	13.33	13.49	13.32	13.18	13.19
总能 Gross energy(kJ/g)	20.36	20.33	20.51	20.49	20.25	20.57

1) 每千克维生素预混料中含有: VA 38.0 mg, α -生育酚 210.0 mg, 肌醇 4000.0 mg, 硫胺素 115.0 mg, 核黄素 380.0 mg, 盐酸吡哆醇 88.0 mg, VD_3 13.2 mg, 泛酸 368.0 mg, 烟酸 1030.0 mg, 生物素 10.0 mg, 叶酸 20.0 mg, VB_{12} 1.3 mg, 抗坏血酸 500.0 mg

2) 每千克矿物质预混料中含有: NaCl 100.0 mg, KCl 3020.5 mg, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 363.0 mg, $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Fe} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1 523.0 mg, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 8.0 mg, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3 568 mg, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 65.1 mg, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 11.3 mg, Na_2SeO_3 2.3 mg, CoCl_2 28.0 mg, KI 7.5 mg, NaF 4.0 mg, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 25 558.0 mg, 乳酸钙 15 978.0 mg

3) 营养组成为实测值

1) A kilogram of vitamin premix provided the following ingredients: VA 38.0 mg, alpha-tocopherol 210.0 mg, inositol 4000.0 mg, thiamin 115.0 mg, riboflavin 380.0 mg, pyridoxine hydrochloride 88.0 mg, VD_3 13.2 mg, pantothenic acid 368.0 mg, nicotinic acid 1030.0 mg, biotin 10.0 mg, folic acid 20.0 mg, VB_{12} 1.3 mg, ascorbic acid 500.0 mg

2) A kilogram of mineral premix provided the following ingredients: NaCl 100.0 mg, KCl 3020.5 mg, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 363.0 mg, $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Fe} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1 523.0 mg, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 8.0 mg, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3568 mg, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 65.1 mg, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 11.3 mg, Na_2SeO_3 2.3 mg, CoCl_2 28.0 mg, KI 7.5 mg, NaF 4.0 mg, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 25558.0 mg, calcium lactate 15978.0 mg

3) Proximate composition were measured values

作全鱼样品, 剩余的7尾鱼尾静脉取血, 于4℃条件下静置4 h, 4000 r/min 离心15 min, 取上清液于-70℃保存, 用于血液生化指标的测定。取血后分离内脏、肝胰脏, 称重用于计算脏体比和肝体比; 并取背肌, 用于常规成分的分析。将所有样品保存于-70℃冰箱, 待测。

1.4 测定指标和方法

1.4.1 生长指标计算公式

增重率(Weight gain rate, WGR)

$$= (W_t - W_0) / W_0 \times 100\%;$$

特定生长率(Specific growth rate, SGR , %/d)

$$= (\ln W_t - \ln W_0) / d \times 100\%;$$

摄食率(Daily feed intake, DFI)

$$= [F / (W_t + W_0)] / 2 \times d \times 100\%;$$

饲料系数(Feed conversion ratio, FCR)

$$= F / (W_t - W_0);$$

蛋白质效率(Protein efficiency ratio, PER)

$$= (W_t - W_0) / (F \times P) \times 100\%;$$

肝体比(Hepatosomatic index, *HSI*)

= 肝脏湿重/ W_t ×100%;

脏体比(Viscerosomatic index, *VSI*)

= 内脏湿重/ W_t ×100%;

肥满度(Condition factor, *CF*, g/cm³)

= W_t /体长³×100;

存活率(Survival rate, *SR*)

= 成活尾数/总尾数×100%;

干物质表观消化率(Apparent digestibility coefficient of dry matter, *ADC* of dry matter)

= (1-B1/B2) ×100%;

蛋白质表观消化率(Apparent digestibility coefficient of protein, *ADC* of protein)

= [1-(A1/A2)/(B1/B2)] ×100%。

式中, W_0 为试验初鱼体重(g), W_t 为试验末鱼体重(g), F 为摄食干饲料重(g), d 为养殖天数, P 为饲料粗蛋白含量(g), A_1 、 A_2 分别表示饲料和粪便中粗蛋白含量, B_1 、 B_2 分别表示饲料和粪便中 Cr_2O_3 含量。

饲料和粪便中 Cr_2O_3 含量采用湿式灰化定量法测定(李爱杰, 2000), 用硝酸在加热条件下消化样品, 然后用高氯酸氧化 Cr_2O_3 , 在 350 nm 波长比色, 将标准称量的 Cr_2O_3 以同样方法处理后作标准曲线, 求得样品中 Cr_2O_3 含量。

1.4.2 常规成分 水分测定采用 105℃ 烘干恒重法; 粗脂肪采用索氏抽提器进行测定; 粗灰分在马弗炉里 550℃ 灼烧 3 h, 失重法测定(AOAC, 2000)。粗蛋白采用杜马斯(LECO, FP-528)燃烧法测定。

1.4.3 血清生化指标和抗氧化指标 血清中谷丙转氨酶(Alanine aminotransferase, ALT)、谷草转氨酶(Aspartate aminotransferase, AST)、总蛋白(Total protein, TP)、白蛋白(Albumin, ALB)、碱性磷酸酶(Alkaline phosphate, ALP)、总胆固醇(Cholesterol, CHOL)、甘油三酯(Triacylglycerol, TG)、高密度脂蛋白胆固醇(High-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(Low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)含量均采用日立自动生化分析仪(7020 型, 日本日立)测定, 所用试剂盒购自北京利德曼生化技术有限公司。血清和肝脏中谷胱甘肽过氧化物酶(Glutathione peroxidase, GSH-Px)、超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、丙二醛(Malondialdehyde, MDA)及血清中尿素氮(Blood urea nitrogen, BUN)含量均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒进行测定。

1.4.4 氟含量的测定 氟含量测定按照 GB/

T5009.18-2003 第三法即氟离子选择电极法检测, 采用的电极为购自上海罗素科技有限公司的 702 型符合氟离子选择性电极。

1.5 数据统计与分析

数据采用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 当差异显著($P<0.05$)时, 用 Duncan 氏法进行多重比较。统计结果以平均值±标准差(Mean±SD)的形式表示。

2 结果

2.1 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能及饲料利用的影响

酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能及饲料利用的影响见表 4。从表 4 可以看出, 随着酶解磷虾粉替代量增加, 增重率(*WGR*)和特定生长率(*SGR*)呈先升高后降低趋势, T30 组均显著高于 T0 组($P<0.05$), T50 组 *SGR* 显著低于 T0 组($P<0.05$); T30 组的日摄食率(*DFI*)显著高于 T0 组($P<0.05$); T30 组饲料系数(*FCR*)显著低于 T50 组($P<0.05$), 其他各组则与 T0 组无显著差异($P>0.05$); 除了 T10 组, 其他各替代组饲料表观消化率均(*ADR*)显著大于 T0 组($P<0.05$); T30 组的肥满度(*CF*)显著大于 T0 组($P>0.05$); 肝体比(*HSI*)随着替代比例增高呈现先增高后降低的趋势, 其中 T20 和 T30 组显著高于 T50 组($P<0.05$), 其余各组差异不显著($P>0.05$); 蛋白质效率(*PER*)、蛋白质表观消化率和脏体比(*VSI*)不受酶解磷虾粉替代鱼粉的影响, 各组间无显著差异($P>0.05$)。

2.2 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼组织常规营养组成的影响

酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼组织常规营养成分的影响见表 5。从表 5 可以看出, 各组全鱼的水分、粗蛋白、粗脂肪均含量与 T0 组无显著差异($P>0.05$), 但是 T30、T40 组全鱼灰分与 T20 组差异显著($P<0.05$)。随着酶解磷虾粉替代鱼粉比例增加, 肌肉的粗蛋白含量先升高后降低。其中, T30 组显著高于 T0 组($P<0.05$); 肌肉水分、粗脂肪和灰分含量与 T0 组差异不显著($P>0.05$), 但是 T50 组灰分显著高于 T20 组($P<0.05$)。

2.3 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼血清生化的影响

酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼血

表 4 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能和饲料利用效果的影响

Tab.4 Effects of partial substitute for fish meal by hydrolyzed krill meal on growth performance and feed utilization in juvenile pearl gentian grouper

项目 Items	组别 Groups					
	T0	T10	T20	T30	T40	T50
初始体重 Initial body weight (g)	57.90±0.18	57.88±0.18	57.85±0.36	57.90±0.28	57.77±0.12	57.78±0.03
终末体重 Final body weight (g)	130.05±0.28 ^b	130.41±4.2 ^b	133.66±3.0 ^{bc}	139.12±3.21 ^c	131.70±2.52 ^{bc}	121.38±6.33 ^a
增重率 WGR (%)	125.00±0.76 ^{ab}	127.65±6.15 ^b	131.04±4.98 ^{bc}	140.29±6.68 ^c	128.00±4.66 ^b	115.92±5.51 ^a
存活率 SR (%)	100±0.00	100±0.00	96.67±2.87	96.67±2.87	96.67±5.77	100±0.00
特定生长率 SGR (%/d)	1.45±0.01 ^b	1.47±0.05 ^{bc}	1.50±0.04 ^{bc}	1.57±0.05 ^c	1.47±0.04 ^{bc}	1.32±0.09 ^a
摄食率 DFI (%/d)	0.97±0.00 ^a	1.04±0.01 ^{ab}	1.03±0.05 ^{ab}	1.07±0.04 ^b	1.04±0.04 ^{ab}	1.01±0.05 ^{ab}
饲料系数 FCR	0.76±0.06 ^{ab}	0.76±0.02 ^{ab}	0.75±0.04 ^{ab}	0.74±0.06 ^a	0.77±0.02 ^{ab}	0.80±0.04 ^b
蛋白质效率 PER (%)	2.54±0.31	2.54±0.06	2.58±0.16	2.63±0.22	2.50±0.05	2.42±0.05
干物质表观消化率 ADC of dry matter (%)	78.85±0.24 ^a	78.47±0.26 ^a	80.05±0.36 ^c	79.61±0.24 ^{bc}	79.36±0.22 ^b	80.98±0.32 ^d
蛋白质表观消化率 ADC of protein (%)	93.22±0.29	93.24±0.20	93.44±0.24	93.17±0.41	93.19±0.38	93.62±0.18
肥满度 CF (g/cm ³)	4.03±0.14 ^a	4.19±0.14 ^{ab}	4.23±0.09 ^{ab}	4.40±0.12 ^b	4.28±0.28 ^{ab}	4.12±0.10 ^{ab}
肝体比 HSI (%)	3.31±0.24 ^{ab}	3.33±0.17 ^{ab}	3.67±0.20 ^b	3.75±0.32 ^b	3.36±0.33 ^{ab}	3.17±0.17 ^a
脏体比 VSI (%)	10.28±0.48	10.75±0.51	10.45±0.75	10.08±0.39	10.10±0.36	10.09±0.24

注：表中数据以平均值±标准差表示(n=3)，同行数据肩标无不同，小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同

Notes: Values (Means±SD)(n=3) with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as following tables

表 5 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼体组织常规营养组成的影响

Tab.5 Effects of partial substitute for fish meal by hydrolyzed krill meal on tissue proximate composition of juvenile pearl gentian grouper (%)

项目 Items	组别 Groups					
	T0	T10	T20	T30	T40	T50
全鱼 Whole body						
水分 Moisture	69.04±0.54	68.85±0.51	69.17±1.25	69.45±0.13	68.86±0.47	70.08±0.85
粗蛋白 Crude protein	17.96±0.09	18.21±0.28	18.06±0.23	17.91±0.20	18.26±0.81	17.97±0.31
粗脂肪 Crude lipid	7.88±0.81	8.18±0.63	8.12±0.31	7.69±0.23	8.12±0.96	7.57±0.85
灰分 Ash	4.10±0.26 ^{ab}	3.99±0.08 ^{ab}	3.74±0.23 ^a	4.23±0.10 ^b	4.17±0.37 ^b	3.81±0.11 ^{ab}
肌肉 Dorsal muscle						
水分 Moisture	75.74±0.33	75.54±0.41	75.44±0.44	75.56±0.46	75.31±0.14	75.30±0.46
粗蛋白 Crude protein	20.39±0.11 ^a	20.53±0.03 ^{ab}	20.53±0.04 ^{ab}	20.60±0.05 ^b	20.52±0.07 ^{ab}	20.41±0.10 ^a
粗脂肪 Crude lipid	2.44±0.16	2.43±0.23	2.40±0.21	2.29±0.10	2.27±0.15	2.18±0.17
粗灰分 Crude ash	1.24±0.05 ^{abc}	1.24±0.03 ^{abc}	1.19±0.02 ^a	1.22±0.04 ^{ab}	1.26±0.03 ^{bc}	1.29±0.02 ^c

清生化指标的影响的测定结果见表 6。从表 6 可以看出，各替代组血清中的 AST、ALT、TP、ALP、ALB 含量不受饲料中酶解磷虾粉替代鱼粉的影响，各组间无显著差异(P>0.05)。血清中 BUN 呈先降低后升高的趋势，T30 组显著低于 T0 组(P<0.05)。各组间血清中 TG 和 HDL-C 含量均无显著变化(P>0.05)。与 T0 组相比，各替代组血清中 LDL-C 含量均显著升高(P<0.05)，T20-T50 组血清 CHO 含量也显著高于 T0

组(P<0.05)。

2.4 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼抗氧化指标的影响

酶解磷虾粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼抗氧化指标影响的测定结果见表 7。从表 7 可以看出，T20 组血清 GSH-Px 活性显著高于 T0 组(P<0.05)，T20-T40 组血清 SOD 活性显著高于 T0 组(P<0.05)，其他各组

与 T0 组差异不显著($P>0.05$); 血清中 MDA 含量随替代比例升高呈先降低后升高趋势, 其中 T20、T30 组显著低于 T0 组($P<0.05$)。

随着酶解磷虾粉替代鱼粉比例升高, 肝脏中 GSH-Px 活性逐渐升高, T40、T50 组显著高于 T0 组($P<0.05$); 各替代组肝脏中 SOD 活性与 T0 组差异不显著($P>0.05$); MDA 含量在替代比例小于等于 40% 范围内, 呈逐渐降低趋势, 各替代组均显著低于 T0 组($P<0.05$)。

2.5 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼肌肉和骨骼氟含量的影响

酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼肌肉和骨骼中氟残留的影响结果见表 8。从表 8 可以看出, 珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的肌肉中, 各组氟含量均在可检测范围(1 mg/kg)以下。而骨骼中的氟含量随着酶解磷虾粉替代珍珠龙胆石斑鱼比例的升高而升高, 且各组间差异显著($P<0.05$)。

表 6 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼血清生化指标的影响

Tab.6 Effects of partial substitute for fish meal by hydrolyzed krill meal on serum biochemical parameters in juvenile pearl gentian grouper

项目 Items	组别 Groups					
	T0	T10	T20	T30	T40	T50
谷草转氨酶 AST (U/L)	45.03±3.19	43.57±2.58	46.80±3.38	44.83±2.51	48.43±3.30	45.67±2.90
谷丙转氨酶 ALT (U/L)	176.20±8.81	162.7±13.72	165.17±7.74	177.93±11.30	178.13±9.78	164.20±12.76
尿素氮 BUN (mmol/L)	3.13±0.10 ^b	3.04±0.18 ^{ab}	2.94±0.12 ^{ab}	2.81±0.16 ^a	3.02±0.22 ^{ab}	3.07±0.15 ^{ab}
总蛋白 TP (g/L)	31.93±2.41	31.17±1.29	31.93±3.06	33.80±4.16	30.63±1.00	29.90±3.32
白蛋白 ALB (g/L)	9.60±0.26	8.83±0.64	9.70±0.35	9.90±0.72	9.30±0.42	9.43±0.67
碱性磷酸酶 ALP (U/L)	83.33±6.81	83.00±4.36	83.00±3.61	82.67±4.04	82.33±4.73	81.33±6.66
甘油三酯 TG (mmol/L)	0.76±0.02	0.76±0.05	0.76±0.05	0.73±0.02	0.74±0.02	0.76±0.04
总胆固醇 CHO (mmol/L)	3.76±0.26 ^a	4.69±0.54 ^a	7.12±0.61 ^{bc}	6.38±0.40 ^b	7.09±0.82 ^{bc}	7.72±0.65 ^c
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C (mmol/L)	2.20±0.12 ^a	3.21±0.33 ^b	3.33±0.19 ^b	3.97±0.24 ^c	4.31±0.25 ^c	4.19±0.35 ^c
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C (mmol/L)	2.03±0.10	2.08±0.24	2.22±0.10	2.12±0.24	2.22±0.18	2.33±0.17

表 7 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼抗氧化指标的影响

Tab.7 Effects of partial substitute for fish meal by hydrolyzed krill meal on antioxidant capacity in juvenile pearl gentian grouper

项目 Items	组别 Groups					
	T0	T10	T20	T30	T40	T50
血清 Serum						
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/U	869.33±39.20 ^a	957.04±78.48 ^{ab}	978.44±31.25 ^b	960.72±69.60 ^{ab}	882.79±56.41 ^{ab}	872.66±32.11 ^a
超氧化物歧化酶 SOD (U/mL)	90.52±5.86 ^a	95.90±7.44 ^{ab}	108.61±7.89 ^b	105.86±8.13 ^b	104.56±6.35 ^b	98.37±7.65 ^{ab}
丙二醛 MDA (nmol/mL)	33.63±2.22 ^b	33.15±1.11 ^{ab}	29.77±2.46 ^a	29.53±0.80 ^a	32.14±2.57 ^{ab}	33.99±2.02 ^b
肝脏 Liver						
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-PX/U	251.32±13.73 ^a	254.32±14.56 ^{ab}	270.03±9.94 ^{ab}	273.34±12.96 ^{ab}	278.33±11.30 ^b	307.58±16.56 ^c
超氧化物歧化酶 SOD (U/mg prot)	85.51±6.36	89.89±1.00	88.47±8.55	92.66±7.23	85.10±6.00	82.37±2.88
丙二醛 MDA (nmol/mg prot)	4.32±0.16 ^d	3.64±0.04 ^c	3.48±0.25 ^{bc}	3.37±0.11 ^{bc}	2.97±0.11 ^a	3.18±0.25 ^{ab}

表 8 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼氟残留的影响

Tab.8 Effects of partial substitute for fish meal by hydrolyzed krill meal on fluoride concentrations in juvenile pearl gentian grouper

项目 Items	组别 Groups					
	T0	T10	T20	T30	T40	T50
肌肉 Dorsal muscle(mg/kg)	*	*	*	*	*	*
骨骼 Vertebral bone(mg/kg)	74.55±2.86 ^a	90.49±4.47 ^b	135.40±7.13 ^c	202.97±5.98 ^d	257.55±6.85 ^e	354.14±9.02 ^f

*为未检出, 氟含量测定的可检测下限为 1 mg/kg

*: Not-detected. The detection limit of the fluoride was 1 mg/kg

3 讨论

3.1 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能的影响

本研究结果显示,酶解磷虾粉替代30%鱼粉,可以明显提高珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的WGR和SGR。关于酶解蛋白对水生动物促生长作用已经有不少研究。许合金等(2011)研究表明,饲料中添加0.05%、0.15%、0.20%的酶解小麦蛋白能提高凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)的WGR和SGR;已有研究表明,在饲料中分别以1.5%、3.0%的棉籽粕酶解蛋白和2.5%豆粕酶解蛋白等量替代基础饲料中的棉籽粕和豆粕,异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)的WGR和SGR显著升高(刘文斌等,2006、2007)。在真鲷(*Pagrosomus major*)幼鱼饲料中以磷虾酶解物和酶解虾粉替代10%的鱼粉,能显著提高真鲷幼鱼的SGR,以罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)副产品酶解物替代10%鱼粉,也能提高真鲷幼鱼的SGR(Bui et al, 2014)。在凡纳滨对虾饲料中以磷虾水解蛋白和鱼水解蛋白分别替代基础饲料中蛋白的3%、9%、15%。结果显示,经54 d试验后,各磷虾水解蛋白和鱼水解蛋白替代组凡纳滨对虾末重均大于对照组(Córdova-Muruetav et al, 2002)。在酶解蛋白替代完整蛋白的20%–60%时,建鲤(*Cyprinus carpio* var)生长有显著的提高,当替代比例达100%时生长则显著低于对照组(杨义,2006)¹⁾。

酶解蛋白对水生生物的促生长作用可能与其富含生物活性小肽和游离氨基酸有关。经测定,本研究的酶解磷虾粉中,pH为6.5–8.0时,三氯乙酸可溶性氮占总氮的42.74%–45.84%,是磷虾粉的2.60–2.97倍,氨基氮为16.45%。三氯乙酸可溶性氮主要是指4个氨基酸以下的小肽(Greenberg et al, 1979),氨基氮包括游离的氨基酸和肽链末端的氨基(Nissen, 1985)。现代蛋白消化吸收理论认为,蛋白消化的产物以小肽和氨基酸的形式吸收,与游离氨基酸相比,小肽具有耗能低、吸收速度快、载体不易饱和等优势,小肽也能减少氨基酸之间的拮抗作用,促进氨基酸的吸收(蒋金津等,2010)。但是,饲料中酶解蛋白过高可能对鱼类的生长有负面影响。有报道在金头鲷(*Sparus aurata*)饲料中,以酶解鲑鱼蛋白分别替代50%、100%的鲑鱼蛋白,金头鲷生长速度随替代比例升高而降低(Kolkovski et al, 2000)。Carvalho等(2004)研究表明,在一定范围内酶解酪蛋白替代酪蛋白可促进鲤鱼

(*Cyprinus carpio*)幼鱼生长,替代量大于25%时,则对其生长有负面影响。本研究在T50组WGR和SGR显著低于T20、T30组。在对军曹鱼(*Rachycentron canadum*)稚鱼研究表明,鱼蛋白水解物替代鱼粉51%组生长下降,显著低于替代17%和34%组(韩涛等,2010),与本研究结果相似。替代比例过高不利于石斑鱼生长,可能因为酶解磷虾粉中游离氨基酸、多肽及蛋白混合物比例不平衡,其吸收不同步,使这些营养物质在消化系统中过多流失(Hevrøy et al, 2005),另外,过量的游离氨基酸引起的饱足感及转运机制上的竞争也不利用鱼体对营养物质的吸收(Plakas et al, 1981)。不同酶解蛋白的效果及适宜添加量的不同,可能是因为酶解底物、酶的来源和酶解条件等不同而使酶解蛋白产生的氨基酸和生物活性肽成分不同所致(Klompong et al, 2009)。

本研究结果显示,添加酶解磷虾粉有助于提高珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的摄食率。一方面,磷虾粉中本身含有低分子质量的水溶性物质,如核苷酸、谷氨酸、脯氨酸、甘氨酸和氨基葡萄糖,能提高饲料的适口性,具有明显的促摄食作用(Shinizu et al, 1990; 袁玥等,2012)。有研究表明,在真鲷、黑鲷(*Sparus macrocephalus*)、日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)饲料中添加磷虾粉均使其摄食率升高(Shinizu et al, 1990; Ibrahim et al, 1984)。另一方面,蛋白经过酶解产生的氨基酸残基和侧链对水生动物有特殊的诱食作用(冯琳等,2008)。在金鲈(*Lates calcarifer*)的饲料中分别使用酶解鱼粉蛋白和酶解虾蛋白,摄食量得到不同程度地提高(Kolkovski et al, 2000),在大西洋鲑(*Salmo salar*)饲料中使用鱼酶解蛋白,也能提高其摄食量(Refstie et al, 2004)。本研究中,酶解磷虾粉替代量大于20%时,饲料干物质的表观消化率有显著提高,表明石斑鱼对酶解磷虾粉替代鱼粉饲料的利用率更高。鱼、虾类经过酶解产生的小分子蛋白及氨基酸有利于水产动物对饲料的消化吸收(杨萍等,2008)。

本研究在30%的替代比例下饵料系数最低,蛋白质效率最高,随着替代比例升高,饵料系数升高,蛋白质效率降低。但是酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼饵料系数、蛋白质效率、蛋白表观消化率的影响不显著,可见在该研究替代范围内,珍珠龙胆石斑鱼幼鱼对酶解磷虾粉蛋白质的消化利用与鱼粉无明显差异。综上所述,酶解磷虾粉对珍珠龙胆石斑鱼生长的促进作用,主要是通过提高其摄食率和降低饵料

1) 杨义. 酶解蛋白对建鲤肠道功能和免疫力的影响. 四川农业大学硕士研究生学位论文, 2006

系数来实现的。

在替代比例为 30% 时肥满度明显提高, 可见酶解磷虾粉有助于改善珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的形体状况。有研究表明, 蛋白肽替代鱼粉能够提高建鲤的肥满度(夏薇等, 2012), 与本研究结果一致。随着替代量增加, 石斑鱼肝体比呈先升高后降低的趋势, 与 *WGR* 和 *SGR* 变化趋势一致, 这可能是因为鱼体快速生长引起肝脏代偿性增大, 邢克智等(2012)研究发现, 鱼类的肝体比可以作为其长期和短期营养方式很敏感的指标, 与生长速度在一定范围内呈正相关。

酶解磷虾粉替代适量的鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的生长有促进作用。从生长性能来看, 酶解磷虾粉可以替代 10%–40% 的鱼粉, 推荐其替代比例为 30%。

3.2 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼体成分的影响

优质蛋白源中的蛋白质易被动物消化吸收, 并能够及时为其生长和组织的更新提供养分, 鱼类体组织生化含量的变化, 在一定程度上反映了鱼类对饲料蛋白源营养成分和能量利用情况(李二超等, 2009)。本研究条件下, 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼鱼体的水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量无显著影响, 说明酶解磷虾粉可较好的被珍珠龙胆石斑鱼幼鱼消化吸收。在真鲷饲料中分别以磷虾酶解物、酶解虾粉和罗非鱼副产品酶解物替代基础饲料中 10% 的鱼粉, 对真鲷鱼体的干物质、粗蛋白、脂肪和灰分含量均无显著影响(Bui *et al.*, 2014); 在大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)饲料中添加 5%、15%、25% 鱼水解蛋白, 对鱼体的水分、粗蛋白、脂肪和灰分含量也无显著影响(Oliva-teles *et al.*, 1999), 这些研究结果和本研究结果一致。本研究中, 珍珠龙胆石斑鱼肌肉蛋白质含量在一定替代范围内有所升高, 可能是因为磷虾蛋白经酶解产生的游离氨基酸、小肽等, 可直接参与蛋白质的合成, 提高了鱼体氨基酸的吸收速度, 促进了蛋白质的吸收利用和在鱼体内的沉积。肌肉中脂肪含量随酶解磷虾粉替代比例升高呈降低趋势, 与磷虾粉在虹鳟(*Salmo gairdneri*)(Yoshitomi *et al.*, 2006)和黄尾鲷(*Seriola lalandi*)(Yoshitomi *et al.*, 2012)研究结果一致, 这可能是由于磷虾的外骨骼中含有丰富的几丁质, 壳聚糖作为几丁质的一种衍生物存在于磷虾中, 而壳聚糖对脂肪的沉积具有抑制作用(王际英等, 2013), 酶解产生的小肽也能阻碍鱼体吸收脂肪, 并促进脂质的代谢(Drevon, 2005)。

3.3 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼血清生化指标的影响

鱼类的血液生化指标在一定程度上反映了鱼体的生理和健康状况。谷草转氨酶、谷丙转氨酶主要存在于肝脏中, 在蛋白质代谢过程中有重要的中介作用。正常情况下血清中谷草转氨酶、谷丙转氨酶含量很低, 当组织细胞受损细胞膜通透性增加或细胞坏死时, 才会大量进入血液, 使血清中谷草转氨酶、谷丙转氨酶活性升高, 因此, 血液中这两种酶含量可反映出肝脏损伤情况(Nyblom *et al.*, 2004)。本研究中, 摄入含酶解磷虾粉的各组与 T0 组血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶无明显差异, 说明酶解磷虾粉的大量摄入没有对肝脏形成代谢负担。血清总蛋白、白蛋白和尿素氮的含量是反映动物体内蛋白质代谢状况的指标。血清中总蛋白和白蛋白含量升高则表明动物吸收和代谢水平提高, 促进蛋白合成和氮的沉积, 而尿素氮含量与动物体内氮沉积率和蛋白质利用率呈显著负相关(Baldi *et al.*, 1999; Kanjanapruthipong, 1998)。在酶解磷虾粉替代比例为 30% 时, 尿素氮含量明显降低, 可见在一定范围内酶解磷虾粉可以降低氨基酸的排泄, 从而提高对蛋白质的利用。胆固醇是构成细胞膜的重要成分, 也是胆汁、维生素 D 和激素的合成原料, 血浆中甘油三酯是血脂的重要组成部分, 二者的含量是反映体内脂肪代谢状况的重要指标。本研究结果显示, 酶解磷虾粉替代鱼粉使珍珠龙胆石斑鱼血清中总胆固醇含量显著升高, 而对甘油三酯含量没有影响。这与韩涛等(2010)在军曹鱼稚鱼饲料中以鱼蛋白水解物替代鱼粉, 其血清中胆固醇含量升高和本研究的结果一致。

3.4 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼抗氧化指标的影响

谷胱甘肽过氧化物酶和超氧化物歧化酶是鱼体内重要的抗氧化酶类, 谷胱甘肽过氧化物酶能催化还原型谷胱甘肽, 清除细胞代谢过程中产生的过氧化氢和脂质过氧化物, 以保护细胞和细胞膜免受氧化损伤(Ferrari *et al.*, 2007)。超氧化物歧化酶对体内清除超氧阴离子自由基和预防生物分子损伤有重要的作用(Fattman *et al.*, 2003), 丙二醛是脂质过氧化的产物, 其含量可反映机体细胞受自由基损伤的程度。本研究中, 酶解磷虾粉替代 20%–40% 的鱼粉时, 珍珠龙胆石斑鱼幼鱼血清中超氧化物歧化酶活性显著升高, 在替代比例为 20% 和 30% 时, 血清丙二醛活性显著降低, 替代比例为 10%–30% 时, 肝脏中超氧化物歧化酶活性有升高趋势, 各替代组肝脏丙二醛活性均显著降低,

血清和肝脏中谷胱甘肽过氧化物酶活性分别在替代 20%和 40%–50% 时有显著升高, 可见酶解磷虾粉有助于改善珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的抗氧化能力, 保护机体免遭过氧化物的损伤。谷胱甘肽过氧化物酶在机体内作用所必需的底物是谷胱甘肽(朱选等, 2008), 磷虾粉经过酶解可能会提高谷胱甘肽的含量, 有利于谷胱甘肽过氧化物酶发挥抗氧化作用。磷虾本身含有 β -胡萝卜素、虾青素, 对鱼体的免疫抗氧化功能有着重要的作用, 其中, 虾青素具有强大的清除氧自由基、抑制单线态氧的能力, 是一种天然的抗氧化剂, 抗氧化活性远高于维生素 E(刘丽等, 2010; 王吉桥等, 2012)。此外, 酶解可使蛋白产生具有自由基清除和抗氧化作用的活性肽, 对鱼类的抗氧化机能产生影响, 如棉籽粕和花生粕酶解蛋白能显著提高异育银鲫血液中超氧化物歧化酶活性(刘文斌等, 2007), 适量低分子水解蛋白能显著提高牙鲆鱼体的抗氧化能力(徐团辉等, 2012)。

由以上血清和肝脏中的抗氧化指标可见, 酶解磷虾粉替代 20%–40% 的鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的抗氧化性能有提高的作用, 在本研究条件下, 酶解磷虾粉替代鱼粉 10%–50% 对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的抗氧化性能无不良影响。

3.5 酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼氟残留的影响

氟是电负性最大的元素, 在高浓度下具有毒性。由于海水的富氟环境和虾壳对氟有很强的富集能力, 磷虾的氟含量高达 $n \times 10^{-1}\%$ (潘建明等, 2000)。鱼类对氟的生物利用率与其所生长的水环境有关, 相对于生活在水体硬度小的鱼类, 氟的含量对水质硬度大或海水中的鱼类负面影响要小一些(Yoshitomi *et al.*, 2006), 但是, 鱼类骨骼中氟的蓄积不仅与水体硬度有关, 也与鱼的种类相关(Yoshitomi *et al.*, 2012)。通常, 鱼体摄入的氟积累在骨骼中, 而很少进入鱼体循环系统(Camargo *et al.*, 2003)。有研究表明, 以磷虾产品为原料制得的饲料投喂大西洋鲑、大西洋鳕(*Gadus morhua*)、庸鲽(*Hippoglossus hippoglossus*)和虹鳟这 4 种海水鱼, 对其肌肉和骨骼的氟含量没有影响, 对其生长和健康也无影响(Moren *et al.*, 2007)。而在黄尾鲷(Yoshitomi *et al.*, 2012)和大菱鲆(孔凡华等, 2012)的研究中, 肌肉中氟残留极低, 骨骼中氟含量随着饲料中氟含量升高。本研究结果显示, 随着酶解磷虾粉替代量的增加, 在骨骼中的蓄积量增加, 这与在黄尾鲷和大菱鲆的研究结果一致。各替代组珍珠龙胆石斑鱼幼鱼肌肉里氟的残留量低于可检测范围(1 mg/kg), 食品

中氟允许量标准 GB4809-84 规定肉类和淡水鱼类氟含量应不大于 2.0 mg/kg, 可见酶解磷虾粉替代鱼粉不影响珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的安全性。

4 结 论

本研究结果表明, 酶解磷虾粉替代适量鱼粉, 有利于珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长和对饲料的利用, 提高其抗氧化性能。综合本研究中酶解磷虾粉替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长、体组成、血清生化、抗氧化性能和氟残留的影响, 在本研究条件下, 酶解磷虾粉最佳替代鱼粉量为 30%。

参 考 文 献

- 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
- 王吉桥, 樊莹莹, 徐振祥, 等. 饲料中 β -胡萝卜素和虾青素添加量对仿刺参幼参生长及抗氧化能力的影响. 大连海洋大学学报, 2012, 27(3): 215–220
- 王际英, 蒋锦坤, 张利民, 等. 壳聚糖对星斑川鲷幼鱼生长、脂肪含量及抗氧化能力的影响. 中国农学通报, 2013, 29(8): 64–70
- 王荣, 陈亚瞿, 左涛, 等. 黄、东海春秋季节磷虾的数量分布及其与水文环境的关系. 水产学报, 2003, 27(增刊): 31–38
- 冯琳, 杨义, 周小秋, 等. 酶解植物蛋白对建鲤生长、肝胰脏和肠道发育及消化酶活性的影响. 水产学报, 2008, 32(4): 608–613
- 刘文斌, 王恬. 棉粕蛋白酶解物对异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)消化、生长和胰蛋白酶 mRNA 表达量的影响. 海洋与湖沼, 2006, 37(6): 568–574
- 刘文斌, 詹玉春, 王恬. 四种饼粕酶解蛋白对异育银鲫的营养作用研究. 中国粮油学报, 2007, 22(5): 108–112
- 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. 食品科学, 2010, 31(17): 443–447
- 孙松, 刘永芹. 南极磷虾与南大洋生态系统. 自然杂志, 2009, 31(2): 88–90, 104
- 许合金, 冯幼, 王修启. 日粮中添加酶解小麦蛋白对南美白对虾生长及非特异性免疫功能的影响. 华南农业大学学报, 2011, 32(4): 86–90
- 许团辉, 高湘萍, 梁萌青, 等. 高植物蛋白饲料中以低分子水解蛋白替代鱼粉对牙鲆生长性能及非特异性免疫的影响. 渔业科学进展, 2012, 33(3): 60–69
- 邢智克, 郭永军, 陈成勋. 维生素 C 对点带石斑鱼生长及其组织抗氧化性能的影响. 水产科学, 2012, 31(11): 635–639
- 朱选, 曹俊明, 赵红霞, 等. 饲料中添加谷胱甘肽对草鱼组织中谷胱甘肽沉积和抗氧化能力的影响. 中国水产科学, 2008, 15(1): 160–166
- 李二超, 陈立侨, 顾顺樟, 等. 水产饲料蛋白源营养价值的评价方法. 海洋科学, 2009, 33(7): 113–117
- 李爱杰. 水产动物营养与饲料学. 北京: 中国农业出版社, 2000: 200

- 杨萍, 夏永军, 范伟群. 木瓜蛋白酶对罗非鱼下脚料的水解作用. 水产科学, 2008, 27(6): 290–292
- 袁玥, 李学英, 杨宪时, 等. 南极磷虾营养成分的分析与比较. 海洋渔业, 2012, 34(4): 457–463
- 夏薇, 刘文斌, 乔秋实, 等. 棉粕酶解蛋白肽对建鲤生产性能和生化指标的影响. 淡水渔业, 2012, 42(1): 46–51
- 蒋金津, 陈立祥. 小肽的营养特性及其在动物生产中的应用. 中国畜牧兽医, 2010, 37(6): 17–20
- 韩涛, 王骥腾, 王勇, 等. 饲料中不同水平鱼蛋白水解物对军曹鱼稚鱼生长及体组成的影响. 水生生物学报, 2010, 34(1): 94–100
- 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, 2000, 22(2): 58–63
- Baldi A, Bontempo V, Dell'Orto V, *et al.* Effects of dietary chromomum-yeast in weaning- stressed piglets. *Can J Anim Sci*, 1999, 79(3): 369–374
- Bui HTD, Khosravi S, Fournier V, *et al.* Growth performance, feed utilization, innate immunity, digestibility and disease resistance of juvenile red seabream (*Pagrus major*) fed diets supplemented with protein hydrolysates. *Aquaculture*, 2014, 418–419: 11–16
- Cahu CL, Zambonino Infante JL, Quazuguel P, *et al.* Protein hydrolysate vs. fish meal in compound diets for 10-day old sea bass *Dicentrarchus labrax* larvae. *Aquaculture*, 1999, 171(1–2): 109–119
- Camargo JA. Fluoride toxicity to aquatic organisms: a review. *Chemosphere*, 2003, 50(3): 251–264
- Carvalho AP, Sá R, Oliva-Teles A, *et al.* Solubility and peptide profile affect the utilization of dietary protein by common carp (*Cyprinus carpio*) during early larval stages. *Aquaculture*, 2004, 234(1–4): 319–333
- Córdova-Muruetav JH, García-Carreño FL. Nutritive value of squid and hydrolyzed protein supplement in shrimp feed. *Aquaculture*. 2002, 210(1), 371–384
- Devon CA. Fatty acids and expression of adipokines. *Biochim Biophys Acta*. 2005, 1740(2): 287–292
- Ferrari A, Venturino A, D'Angelo AMPD. Effects of carbaryl and azinphos methyl on juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) detoxifying enzymes. *Pestic Biochem Physiol*, 2007, 88(2): 134–142
- Fattman CL, Schaefer LM, Oury TD. Extracellular superoxide dismutase in biology and medicine. *Free Radical Bio Med*, 2003, 35(3): 236–256
- Greenberg NA, Shipe WF. Comparison of the ability of trichloroacetic picric sulfosalicylic, and tungstic acids to precipitate protein hydrolysates and proteins. *J Food Sci*, 1979, 44(3): 735–737
- Hansen J, Penn M, Overland M, *et al.* High inclusion of partially deshelled and whole krill meals in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 2010(310): 164–172
- Hevrøy EM, Espe M, Waagbø R, *et al.* Nutrient utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed increased levels of fish protein hydrolysate during a period of fast growth. *Aquacult Nutr*, 2005, 11(4): 301–313
- Ibrahim A, Shimizu C, Kono M. Pigmentation of cultured red sea bream, *Chrysophrys major*, using astaxanthin from Antarctic krill, *Euphausia superba*, and a mysid, *Neomysis* sp. *Aquaculture*, 1984, 38(1): 45–57
- Kanjanapruthipong J. Supplementation of milk replacers containing soy protein with threonine, methionine, and lysine in the diets of calves. *J Dairy Sci*, 1998, 81(11): 2912–2915
- Klompong V, Benjakul S, Yachai M, *et al.* Amino acid composition and antioxidative peptides from protein hydrolysates of yellow stripe trevally (*Selaroides leptolepis*). *J Food Sci*, 2009, 74(2), 126–133
- Kolkovski S, Czesny S, Dabrowski K. Use of krill hydrolysate as a feed attractant for fish larvae and juveniles. *J World Aquacult Soc*, 2000, 31(1): 81–88
- Kolkovski S, Tandler A. The use of squid protein hydrolysate as a protein source in microdiets for gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae. *Aquacult Nutr*. 2000, 6(1): 11–15
- Li YH, Jiang B, Zhang T, *et al.* Antioxidant and free radical scavenging activities of chickpea protein hydrolysate (CPH). *Food Chem*, 2008, 106(2): 444–450
- Moren M, Malde MK, Olsen RE, *et al.* Fluorine 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*, 2007, 269(1–4): 525–531
- Nissen JA. *Enzymic hydrolysis of food Protein*. London and New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1985, 62–70
- Nyblom H, Berggren U, Balldin J, *et al.* High AST/ALT ratio may indicate advanced alcoholic liver disease rather than heavy drinking. *Alcoholism*, 2004, 39(4): 336–339
- Oliva-teles A, Cerqueira AL, Goncalves P. The utilization of diets containing high levels of fish protein hydrolysate by turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles. *Aquaculture*, 1999, 179(1–4): 195–201
- Plakas SM, Katayama T. Apparent digestibilities of amino acids from three regions of the gastrointestinal tract of carp (*Cyprinus carpio*) after ingestion of a protein and a corresponding free amino acid diet. *Aquaculture*, 1981, 24: 309–314
- Refstie S, Olli JJ, Standal H. Feed intake, growth, and protein utilisation by post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) in response to graded levels of fish protein hydrolysate in the diet. *Aquaculture*, 2004, 239(1–4): 331–339
- Shinizu C, Ibrahim A, Tokoro T, *et al.* Feeding stimulation in sea bream, *Pagrus major*, fed diets supplemented with Antarctic krill meals. *Aquaculture*, 1990, 89(1): 43–53
- Yoshitomi B, Aoki M, Oshima S, *et al.* Evaluation of krill (*Euphausia superba*) meal as a partial replacement for fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. *Aquaculture*, 2006, 261(1): 440–446
- Yoshitomi B, Nagano I. Effect of dietary fluoride derived from Antarctic krill (*Euphausia superba*) meal on growth of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Chemosphere*, 2012, 86(9): 891–897
- Zambonino Infante JL, Cahu CL, Peres A. Partial substitution of di- and tripeptides for native proteins in sea bass diet improves *Dicentrarchus labrax* larval development. *J Nutr*, 1997, 127(4): 608–614

Effects of the Partial Substitute for Fish Meal by Hydrolyzed Krill Meal on Growth Performance, the Body Composition and the Serum Biochemical Parameters of Juvenile Pearl Gentian Grouper

WEI Jiali^{1,2}, WANG Jiying^{2①}, SONG Zhidong^{2,3}, HUANG Yu^{1,2}, SUN Yongzhi², ZHANG Limin²

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006; 3. Shandong Shengsuo Aquatic Feed Institute Center, Yantai 265500)

Abstract In this study we investigated the effects of hydrolyzed krill meal on the physiological traits of the juvenile pearl gentian grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀×*Epinephelus lanceolatus*♂), which included the growth, the body composition, the serum biochemical parameters, the antioxidant capacity and the fluoride retention. Six isonitrogenous and isoenergetic diets were formulated, in which the fish meal protein was replaced by hydrolyzed krill meal with the following proportions: 0 (T0), 10% (T10), 20% (T20), 30% (T30), 40% (T40), and 50% (T50). Three hundred and sixty juvenile pearl gentian groupers [initial weight (57.80±0.28) g] were randomly divided into 6 groups, and in each group there were 3 replicates. The experiment lasted for 56 d. The results were described as below: 1) The weight gain rate, the specific growth rate and the feed intake rate in the T30 group were significantly higher than those in the T0 group ($P<0.05$). For the groups in which the substitution percentages were higher than 20%, the apparent digestibility coefficient for the dry matter was significantly higher than that in the T0 group ($P<0.05$). There were no significant differences in the feed conversion ratio, the condition factor, the protein efficiency ratio, the apparent digestibility coefficient of protein and the hepatosomatic index between the substitution groups and the T0 group ($P>0.05$). 2) In the whole body and the dorsal muscles, there was no significant difference in the moisture, the crude lipid and the ash contents between the substitution groups and the T0 group ($P>0.05$). In the dorsal muscles, the T30 group had significantly higher level of crude protein than the T0 group ($P<0.05$). 3) No significant differences were found in the serum aspartate aminotransferase, the alanine aminotransferase, the total protein, albumin, alkaline phosphate, triacylglycerol and the content of high-density lipoprotein cholesterol among all groups ($P>0.05$). The content of the blood urea nitrogen in the T30 group was significantly lower than that in the T0 group ($P<0.05$). The content of low-density lipoprotein cholesterol in the substitution groups were significantly higher than that in the T0 group ($P<0.05$). The contents of cholesterol in all substitution groups but T10 were significantly higher than that in the T0 group ($P<0.05$). 4) Hydrolyzed krill meal significantly increased the activity of glutathione peroxidase (GSH-Px) in the serum and the liver, and enhanced the activity of superoxide dismutase (SOD) in the serum ($P<0.05$); whereas the level of malondialdehyde (MDA) in the serum and the liver was significantly decreased ($P<0.05$). 5) In all the groups, the fluoride contents in the dorsal muscles were undetectable. In the vertebral bone, the fluoride content was significantly increased along with the increase in the substitution proportion. Under our experimental conditions, hydrolyzed krill meal could replace the fish meal by lower than 40% in the diet. According to the physiological parameters observed in the experiments, we recommended that the optimal substitution proportion should be 30%.

Key words Hydrolyzed krill meal; Fish meal substitution; Pearl gentian grouper; Growth performance; Serum biochemical parameters

① Corresponding author: WANG Jiying, E-mail: ytwjy@126.com