

不同蛋白水解物对花鲈(*Lateolabrax japonicus*) 生长性能及非特异性免疫的影响*

张婷婷^{1,4} 陈效儒³ 梁萌青^{2,4} 王成强⁴
郑珂珂⁴ 徐后国⁴ 陈齐勇³

(1. 大连海洋大学 大连 116021; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室
海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 青岛 266071; 3. 通威股份有限公司 成都 610063;
4. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

摘要 实验以基础饲料组[含 30%鱼粉蛋白(FM)]为对照组,用鱼蛋白水解物(FPH)、猪血蛋白水解物(PBPH)、酵母蛋白水解物(YPH)和豆粕蛋白水解物(SPH)分别替代配方中 10%的鱼粉蛋白,配制成 5 组等氮等脂的饲料,喂养初始平均体重为 31.99 g 的花鲈(*Lateolabrax japonicus*) 8 周,探讨饲料中不同蛋白水解物对花鲈生长、饲料利用、体组成成分及非特异性免疫的影响。结果显示:各处理组实验鱼存活率在 97.78%–98.89%之间,没有显著性差异($P>0.05$); FPH 组与 FM 组的末重和特定生长率最高,两者之间没有显著差异($P>0.05$),但显著高于 PBPH 组、SPH 组和 YPH 组($P<0.05$); FPH 组饲料效率高于 FM 组、PBPH 组和 YPH 组($P>0.05$),且显著高于 SPH 组($P<0.05$); 各实验处理组鲈鱼摄食率没有显著差异($P>0.05$); FPH 组蛋白效率比显著高于 FM 组、PBPH 组、SPH 组和 YPH 组($P<0.05$); FPH 组、FM 组和 YPH 组的蛋白质沉积率显著高于 PBPH 组和 SPH 组($P<0.05$)。饲料中添加 FPH 和 YPH 会显著增加花鲈肝脏和血清中碱性磷酸酶、酸性磷酸酶、超氧化物歧化酶、溶菌酶活性和总抗氧化能力,显著高于 FM 组、PBPH 组和 SPH 组($P<0.05$)。FPH 组的花鲈鱼体粗蛋白含量高于 FM 组和 YPH 组,但差异不显著($P>0.05$),FPH 组显著高于 PBPH 组和 SPH 组($P<0.05$)。综上所述,4 种不同蛋白水解物替代鱼粉后投喂花鲈幼鱼,鱼蛋白水解物效果最好,其次是酵母蛋白水解物、猪血蛋白水解物和豆粕蛋白水解物。

关键词 花鲈; 蛋白水解物; 生长; 非特异性免疫

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2017)03-0096-10

近几年,国内外鱼粉供应紧张,需求不断上涨,鱼粉价格攀高,导致养殖成本不断上升,严重制约了水产养殖业的发展,寻找合适的蛋白源替代鱼粉是解决目前鱼粉短缺问题的有效途径。研究表明,用价格低廉的动植物蛋白源替代部分鱼粉是解决这一问题的有效措施(Lim *et al.*, 2011; Suloma *et al.*, 2014; 梅琳

等, 2015)。但是,植物蛋白源存在影响饲料适口性、含有抗营养因子、氨基酸不平衡等问题,导致养殖鱼类尤其是肉食性鱼类对植物性蛋白源利用率很低;而动物蛋白源中脂肪的饱和度较高,影响了饲料的适口性,替代鱼粉的效果并不理想(艾庆辉等, 2005; 周歧存等, 2005; Kaushik *et al.*, 2010; Lee, 2002)。

* 通威股份有限公司项目和农业行业专项(201303053)共同资助[This work was supported by Tongwei Co., Ltd. and Agriculture Industry-Special Fund (201303053)]. 张婷婷, E-mail: 619044611@qq.com

① 通讯作者: 梁萌青, 研究员, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2016-02-29, 收修改稿日期: 2016-04-15

在大西洋鲑(*Salmo salar*)、欧洲鲈鱼(*Dicentrarchus labrax*)等研究中发现, 饲料中添加适量鱼蛋白水解物, 对鱼的生长及饲料利用有促进作用(Hevrøy *et al.*, 2005; Kotzamanis *et al.*, 2007)。Zheng 等(2012)发现小分子量鱼蛋白水解物能显著提高牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)幼鱼的特定生长率。猪血是一种非常重要的蛋白质资源, 其红细胞的蛋白含量高达 38%, 占全血蛋白总量的 75%以上, 传统制备血粉氨基酸采用酸水解法, 其缺点是反应剧烈, 严重破坏氨基酸(如色氨酸、半胱氨酸和丝氨酸)。采用酶水解法可以充分将大分子蛋白质分解为多肽和部分游离氨基酸的蛋白水解物, 不仅有效保留了猪血蛋白的营养特性, 而且与猪血蛋白相比较, 蛋白水解物相当于猪血经过预消化, 更易被机体快速吸收(卢寅泉等, 1995; 余奕珂等, 2004)。豆粕中含有抗营养因子和高含量的碳水化合物, 降低了水产动物对干物质和能量的消化吸收(Kaushik *et al.*, 1995)。艾庆辉等(2005)发现豆粕经添加酶制剂可去除其中大部分抗营养因子、可溶性碳水化合物和粗纤维等。我国是啤酒生产大国, 每年因为酿酒都会产生大量的废酵母泥, 其蛋白质含量高, B 族维生素和色素以及多糖(如葡聚糖等)含量丰富, 开发和利用这些废弃资源具有重要的经济价值和现实意义(杨天骄等, 2008; Sanderson *et al.*, 1994)。柳茜等(2015)发现, 饲料中添加酵母水解物可提高大菱鲆(*Scophalmus maximus*)幼鱼机体免疫能力、肝脏抗氧化性能和抗应激能力。本研究以花鲈(*Lateolabrax japonicus*)幼鱼为对象, 研究饲料中分别以鱼蛋白水解物(Fish protein hydrolysate, FPH)、猪血蛋白水解物(Pig blood protein hydrolysate, PBPH)、豆粕蛋白水解物(Soybean protein hydrolysate, SPH)、酵母蛋白水解物(Yeast protein hydrolysate, YPH)替代鱼粉(Fish meal, FM), 对其生长性能、饲料利用、体成分及非特异性免疫的影响, 为蛋白水解物在花鲈饲料中的应用提供技术数据。

1 材料与方法

1.1 蛋白水解物的制备

本研究以鳕鱼排、猪血粉、豆粕粉、啤酒酵母粉为原料, 参考 Zheng 等(2012)的方法, 采用双酶联合水解, 调节 pH 为 8.5–9.0, 55℃水解 5 h, 冷却过滤后, 离心得到水解液, 浓缩干燥后, 得到 FPH、PBPH、SPH 和 YPH。置于–20℃冰箱, 保存备用。

1.2 实验饲料

以鱼粉和豆粕为主要蛋白源, 鱼油为主要脂肪源, 高筋小麦粉为主要糖源, 实验组饲料分别以鱼蛋白水解物、猪血蛋白水解物、豆粕蛋白水解物、酵母蛋白水解物替代配方中 10% 的鱼粉蛋白, 即 FPH 组、PBPH 组、SPH 组和 YPH 组, 30% 鱼粉组设为对照组, 即 FM 组, 饲料配方和营养成分如表 1 所示, 实验饲料原料均粉碎过 80 目筛后, 充分混匀, 用饲料颗粒机加工制成直径为 3 mm 的 5 种等氮等脂的配合饲料, 55℃烘干, 置于–20℃冰箱中保存备用。

1.3 实验动物和养殖条件

实验在浙江省宁波市象山港湾水产苗种有限公司海水浮式网箱中进行。实验花鲈在海水网箱(3.0 m×3.0 m×3.0 m)中先暂养 1 周, 使其适应海域水体的变化和饲料的投喂频率。实验鱼在海水浮式网箱(1.5 m×1.5 m×2.0 m)中养殖, 实验鱼初始平均体重为 31.99 g, 每个网箱放养 30 尾, 每个处理组 3 个重复。实验期间, 每天投喂 2 次(06:00 和 18:00)至表观饱食, 养殖周期为 8 周。生长实验开始时, 实验鱼饥饿 24 h, 随机选取体质健康、规格均匀的实验鱼, 称重后随机放入实验网箱, 并随机分组。实验期间, 采用自然光照, 每天测定水温和 pH, 每周测定水体盐度、溶氧和氨氮。海水温度为 28–29.5℃, 盐度为 30 左右, pH 值为 7.2–7.5, 溶解氧含量约 7 mg/L, 氨氮<0.5 mg/L。

1.4 样品采集与生化分析

实验开始时, 随机取 5 尾鱼称重, 保存于–20℃冰箱, 供后续分析鱼体生化成分。生长实验结束后, 将实验鱼饥饿 24 h 后从网箱中捞出, 称取每个网箱中花鲈体重, 记录对应网箱中实验鱼尾数和终末总重, 计算存活率和增重率; 然后用丁香酚(1:10000)麻醉, 从每个处理组随机取出 6 尾鱼, 测量体长体重, 计算肥满度, 同时对应每尾鱼解剖得到内脏团和肝脏, 分别称重, 用于计算肝体比和脏体比; 每处理组另取 6 尾鱼, 用 1 ml 一次性无菌注射器自尾静脉取血, 解剖取肝脏, 血样在 4℃静置 4 h 后, 4℃条件下 4000 r/min 离心 10 min, 吸取上层血清, 上层血清与肝脏–80℃保存待测; 从每个网箱随机取 5 尾实验鱼, 保存于–20℃, 用于鱼体常规成分分析。

饲料和全鱼样品在 105℃烘干至恒重, 通过失重法测定干物质含量, 然后进行生化测定。粗蛋白采用凯氏定氮法测得(凯氏定氮仪 VELP UDK142, 意大

利); 粗脂肪采用索氏提取法测得(索氏抽提仪 SOXTEC™2050, 丹麦); 灰分测定: 先将样品炭化至无烟, 然后放入马福炉中 550℃燃烧 6 h, 失重法测定灰分含量; 饲料中氨基酸的含量测定: 样品均经冷冻干燥(冷冻干燥机 FDU-1100, 日本) 24 h 后, 采用氨基酸分析仪(日立 L-8900 型, 日本)测得; 血清和肝

脏中的酸性磷酸酶(ACP)、碱性磷酸酶(AKP)、超氧化物歧化酶(SOD)、总抗氧化能力(T-AOC)和肝脏蛋白浓度均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒检测(Tecan Infinite M200 酶标仪, 瑞士), 溶菌酶(LZM)采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒通过分光光度计检测。

表 1 实验饲料配方和营养组成

Tab.1 Formulation and proximate chemical composition of experimental diets (%)

原料 Ingredient	组别 Group				
	FM	FPH	PBPH	SPH	YPH
鱼粉 Fish meal (FM)	30	20	20	20	20
鱼蛋白水解物 Fish protein hydrolysate (FPH) ¹		8.5			
猪血蛋白水解物 Pig blood protein hydrolysate (PBPH) ²			7		
豆粕蛋白水解物 Soybean protein hydrolysate (SPH) ³				12.5	
酵母蛋白水解物 Yeast protein hydrolysate (YPH) ⁴					14.5
豆粕 Soybean meal	13	13	13	13	13
谷朊粉 Wheat gluten meal	9	9	9	9	9
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	12	12	12	12	12
高筋小麦粉 High-gluten wheat flour	21.4	21.9	23.4	17.9	15.9
磷脂 Phospholipid	1	1	1	1	1
胆碱 Choline chloride	1	1	1	1	1
鱼油 Fish oil	7.5	8.5	8.5	8.5	8.5
维生素混合物 Vitamin premix ⁵	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
矿物质混合物 Mineral premix ⁶	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
维生素 C Vitamin C	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
抗氧化剂 Ethoxyquin	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
营养组成 Nutrition composition					
水分 Moisture	5.80	5.45	5.07	5.15	5.23
粗蛋白 Crude protein	46.53	46.65	46.82	46.41	46.72
粗脂肪 Crude lipid	10.75	10.97	11.01	11.02	11.07
灰分 Ash	10.41	9.41	8.73	10.36	10.63

1: 鱼蛋白水解物: 粗蛋白含量 76.98%, 粗脂肪含量 0.18%, 粗灰分含量 10.76%; 2: 猪血蛋白水解物: 粗蛋白含量 89.18%, 粗脂肪含量 0.17%, 粗灰分含量 6.57%; 3: 豆粕蛋白水解物: 粗蛋白含量 58.18%, 粗脂肪含量 0.16%, 粗灰分含量 17.23%; 4: 酵母蛋白水解物: 粗蛋白含量 52.37%, 粗脂肪含量 0.18%, 粗灰分含量 10.76%; 5: 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, 1.20 mg; 维生素 A, 32 mg; 维生素 D, 5 mg; 维生素 E, 120 mg; 次粉 18.67 g; 6: 矿物质混合物(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; 硫酸亚铁, 80 mg; 硫酸锌, 50 mg; 硫酸镁, 1200 mg; 磷酸二氢钙, 3000 mg; 氯化钠, 100 mg; 沸石粉, 15.51 g

1: FPH, with 76.98% crude protein, 0.18% crude lipid, 10.76% crude ash; 2: PBPH, with 89.18% crude protein, 0.17% crude lipid, 6.57% crude ash; 3: SPH, with 58.18% crude protein, 0.16% crude lipid, 17.23% crude ash; 4: YPH, with 52.37% crude protein, 0.18% crude lipid, 10.76% crude ash; 5: Vitamin 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; 6: Mineral 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 1200 mg; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 3000 mg; NaCl 100 mg; Mordenzeo 15.51 g

表 2 实验饲料氨基酸组成(%干物质)
Tab.2 The amino acid composition of experimental diets (% dry matter)

氨基酸组成 Amino acid composition	组别 Group				
	FM	FPH	PBPH	SPH	YPH
必需氨基酸 EAA					
苏氨酸 Thr	1.74	1.73	1.51	1.55	1.69
缬氨酸 Val	2.18	2.19	2.38	1.91	2.13
蛋氨酸 Met	0.75	0.79	0.60	0.78	0.93
异亮氨酸 Ile	1.95	1.97	1.21	1.97	1.88
亮氨酸 Leu	3.47	3.30	3.61	3.49	3.37
苯丙氨酸 Phe	3.89	3.98	4.02	2.97	2.70
赖氨酸 Lys	2.27	2.45	2.55	2.11	2.14
组氨酸 His	1.08	0.98	1.21	0.97	1.16
精氨酸 Arg	1.88	1.87	1.59	2.12	2.17
非必需氨基酸 NEAA					
天冬氨酸 Asp	2.71	3.13	2.52	2.52	2.39
丝氨酸 Ser	1.68	1.88	1.60	1.63	2.10
谷氨酸 Glu	8.04	8.54	7.25	7.80	7.73
甘氨酸 Gly	1.94	1.99	1.72	1.72	1.62
丙氨酸 Ala	2.32	2.93	2.28	2.20	2.32
半胱氨酸 Cys	0.60	0.59	0.55	0.61	0.65
酪氨酸 Tyr	1.47	1.29	1.24	1.33	1.27
牛磺酸 Tau	0.20	0.23	0.13	0.13	0.12
总氨基酸 ΣAA	38.19	39.84	35.99	35.80	36.38
必需氨基酸总和 ΣEAA	19.23	19.25	18.69	17.87	18.18
非必需氨基酸总和 ΣNEAA	18.96	20.59	17.30	17.93	18.20
ΣEAA/ΣTAA (%)	50.34	48.32	51.93	49.92	49.97
ΣEAA/ΣNEAA (%)	101.39	93.50	108.03	99.67	99.87

EAA: Essential amino acids; NEAA: Non-essential amino acids; ΣAA: Total amino acids; ΣEAA: Sum of essential amino acids; ΣNEAA: Sum of non-essential amino acids

1.5 计算及统计分析方法

花鲈的成活率、增重率、特定生长率、摄食率、饲料效率、蛋白效率比、蛋白质沉积率、肝体比、脏体比和肥满度参考以下公式:

$$\text{存活率(Survival rate, SR, \%)} = (N_0 - N_t) / N_0 \times 100$$

$$\text{增重率(Weight gain rate, WGR, \%)} = 100 \times (W_t - W_0) / W_0$$

$$\text{特定生长率(Specific growth rate, SGR, \% / d)} = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100$$

$$\text{摄食率(Feed intake, FI, \% / d)} = W / [(W_t + W_0) / 2 \times t] \times 100$$

$$\text{饲料效率(Feed efficiency, FE)} = (W_t - W_0) / W$$

$$\text{蛋白效率比(Protein efficiency ratio, PER)} = (W_t - W_0) / (W \times P)$$

$$\text{蛋白质沉积率(Protein productive value, PPV, \%)} = (W_t \times P_t - W_0 \times P_0) / (W \times P) \times 100$$

$$\text{肝体比(Hepatopancrea somatic index, HSI, \%)} = W_h /$$

$$W_d \times 100$$

$$\text{脏体比(Viscerosomatic index, VSI, \%)} = W_v / W \times 100$$

$$\text{肥满度(Condition factor, CF)} = W_t / L^3 \times 100$$

式中, N_0 和 N_t 分别为初始和死亡的鲈鱼尾数, W 、 W_0 和 W_t 分别为每尾鱼摄食的饲料干物质重(g)、实验开始时鲈鱼的体重(g)和实验结束时花鲈的体重(g), P 、 P_0 和 P_t 表示饲料粗蛋白含量(干重%), 实验开始时鱼体粗蛋白含量(湿重%)和实验结束时鱼体粗蛋白含量(湿重%), t 表示养殖实验天数(d)。 W_h 为样品鱼肝脏重(g), W_v 为样品鱼内脏重(g), W_d 为样品鱼体重(g), L 为样品鱼体长(cm)。

各组实验数据, 均采用 SPSS 16.0 统计软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 若差异显著进行邓肯多重比较(Duncan's multiple range tests), $P < 0.05$ 被认为差异显著, 所有数据均以平均值 ± 标准误 (Mean ± SE) 表示。

2 结果

2.1 不同蛋白水解物对花鲈生长和饲料利用的影响

不同蛋白水解物对花鲈生长和饲料利用的影响见表3。各处理组实验鱼存活率和摄食率没有显著差异($P>0.05$), 末期均重、增重率、特定生长率在 FPH 组和 FM 组最高, 两组之间没有显著性差异($P>0.05$), 但显著高于 PBPH 组、SPH 组和 YPH 组($P<0.05$); FPH 组饲料效率高于 FM 组、PBPH 组和 YPH 组($P>0.05$), 且显著高于 SPH 组($P<0.05$); FPH 组蛋白效率比显著高于 FM 组、PBPH 组、SPH 组和 YPH 组($P<0.05$); FPH 组蛋白质沉积率高于 FM 组和 PBPH 组($P>0.05$), 且显著高于 SPH 组($P<0.05$)。

2.2 不同蛋白水解物对花鲈鱼体组成的影响

各处理组花鲈鱼体中水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分分析数据见表4。花鲈鱼体水分含量在 71.60%–72.75% 之间, 粗蛋白含量在 15.01%–16.57% 之间, 粗脂肪含量在 5.74%–7.41% 之间, 灰分含量在 4.27%–4.56% 之间。各处理组花鲈鱼体中水分和灰分含量没有显著性差异($P>0.05$); 粗蛋白在 FPH 组高于 FM 组和 YPH 组, 但差异不显著($P>0.05$), 在 FPH 组、FM 组和 YPH 组显著高于 SPH 组($P<0.05$); 粗脂肪在 FPH 组低于 PBPH 组和 SPH 组, 但没有显著性差异($P>0.05$), 在 FPH 组显著低于 YPH 组和 FM 组($P<0.05$)。

不同蛋白水解物对花鲈形态指标的影响见表5, 脏体比在各组之间差异不显著($P>0.05$); 肝体比在

表3 不同蛋白水解物对花鲈生长和饲料利用的影响(平均值±标准误)

Tab.3 Effects of different protein hydrolysates on the growth performance and feed utilization of *L. japonicus* (Mean±SE)

项目 Items	组别 Group				
	FM	FPH	PBPH	SPH	YPH
初期均重 Initial body weight (g)	31.99±0.05	32.00±0.05	32.00±0.10	32.00±0.02	31.95±0.05
末期均重 Final body weight (g)	116.23±1.01 ^b	118.79±1.65 ^b	106.05±2.09 ^a	104.82±1.74 ^a	109.45±1.49 ^a
增重率 Weight gain rate (%)	263.37±5.66 ^b	271.14±8.58 ^b	231.36±11.78 ^a	227.53±8.53 ^a	242.54±7.30 ^a
特定生长率 Specific growth rate (%/d)	2.30±0.02 ^b	2.34±0.02 ^b	2.14±0.04 ^a	2.12±0.03 ^a	2.20±0.02 ^a
存活率 Survival rate (%)	98.89±1.11	98.89±1.11	97.78±2.22	97.78±1.11	97.78±1.11
摄食率 Feed intake (%/d)	1.87±0.06	1.84±0.09	1.92±0.11	1.97±0.03	1.94±0.06
饲料效率 Feed efficiency	1.09±0.04 ^{ab}	1.12±0.04 ^b	1.00±0.09 ^{ab}	0.97±0.01 ^a	1.01±0.03 ^{ab}
蛋白效率比 Protein efficiency ratio	2.34±0.08 ^{ab}	2.39±0.09 ^c	2.13±0.10 ^a	2.09±0.01 ^a	2.16±0.05 ^{ab}
蛋白质沉积率 Protein productive value (%)	38.99±2.25 ^c	37.96±1.50 ^c	32.21±0.68 ^{ab}	31.18±1.49 ^a	36.59±1.35 ^{bc}

注: 同行数据中, 相同上标字母表示差异不显著($P>0.05$), 下同

Note: Values in the same column with the same superscripts were not significantly different ($P>0.05$), the same as below

表4 不同蛋白水解物对花鲈鱼体化学组成的影响(平均值±标准误)

Tab.4 Effects of different protein hydrolysates on the body chemical composition of *L. japonicus* (Mean±SE)

鱼体化学组成 Body chemical composition (%)	组别 Group				
	FM	FPH	PBPH	SPH	YPH
水分 Moisture	71.88±0.58	72.75±0.21	72.41±0.45	72.27±0.66	71.60±0.91
粗蛋白 Crude protein	16.27±0.35 ^{bc}	16.57±0.20 ^c	15.39±0.14 ^{ab}	15.01±0.24 ^a	16.19±0.44 ^{bc}
粗脂肪 Crude lipid	7.41±0.11 ^c	5.74±0.10 ^a	6.51±0.26 ^{ab}	6.28±0.35 ^{ab}	7.00±0.27 ^{bc}
灰分 Ash	4.41±0.21	4.51±0.17	4.46±0.08	4.56±0.05	4.27±0.04

表5 不同蛋白水解物对花鲈形态指标的影响(平均值±标准误)

Tab.5 Effects of different protein hydrolysates on the morphological indices of *L. japonicus* (Mean±SE)

形态指标 Morphological indices	组别 Group				
	FM	FPH	PBPH	SPH	YPH
脏体比 VSI (%)	9.60±0.82	8.99±0.52	9.52±0.35	9.97±0.37	9.62±0.58
肝体比 HSI (%)	1.56±0.14 ^{ab}	1.29±0.36 ^a	1.69±0.40 ^{ab}	1.82±0.07 ^b	1.56±0.08 ^{ab}
肥满度 CF	1.49±0.04 ^b	1.46±0.04 ^b	1.42±0.06 ^{ab}	1.34±0.10 ^a	1.45±0.04 ^b

FPH 组低于 PBPH 组、FM 组和 YPH 组, 但没有显著性差异实验鱼体的氨基酸含量组成见表 6, 亮氨酸含量在 FPH 组、YPH 组、SPH 组低于 FM 组($P>0.05$), ($P>0.05$), 在 FPH 组显著低于 SPH 组($P<0.05$); 肥满度在 FPH 组、FM 组、YPH 组和 PBPH 组没有显著性差异($P>0.05$), 但在 FPH 组、FM 组和 YPH 组显著高于 SPH 组($P<0.05$)。但显著低于 PBPH 组($P<0.05$); 赖氨酸含量在 FM 组高于 FPH 组、YPH 组($P>0.05$), 且显著高于 SPH 组、PBPH 组($P<0.05$); 在鱼虾 10 种必需氨基酸中, 除色氨酸未测定之外, 鱼体中其他 7 种必需氨基酸均无显著性差异($P<0.05$)。

2.3 不同蛋白水解物对花鲈血清和肝脏非特异性免疫的影响

不同蛋白水解物对花鲈血清和肝脏中碱性磷酸酶(AKP)、酸性磷酸酶(ACP)、超氧化物歧化酶(SOD)、溶菌酶(LZM)活性和总抗氧化能力(T-AOC)的影响见

表 7。在血清中, AKP、ACP、SOD、LZM 活性和 T-AOC 在 FPH 组显著高于 YPH 组($P<0.05$), 在 FPH 组和 YPH 组显著高于 FM 组、PBPH 组和 SPH 组($P<0.05$); 在肝脏中, AKP、ACP、SOD、LZM 活性和 T-AOC 在 FPH 组显著高于 YPH 组($P<0.05$), 在 FPH 组和 YPH 组显著高于 FM 组、PBPH 组和 SPH 组($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 不同蛋白水解物对花鲈生长、饲料利用和鱼体氨基酸组成的影响

本研究表明, 在生长方面, 添加鱼蛋白水解物的 FPH 组末期均重和特定生长率与对照 FM 组无显著性差异($P>0.05$), 添加 PBPH、SPH 和 YPH 组的末期均重和特定生长率显著低于 FM 组($P<0.05$)。研究发现, 与 YPH 和 PBPH 相比, FPH 更有利于金头鲷(*Sparus aurata*)和欧洲鲈鱼幼鱼的生长(Gisbert *et al.*, 2012;

表 6 不同蛋白水解物对花鲈鱼体氨基酸组成的影响(%干物质)(平均值±标准误)

Tab.6 Effects of different protein hydrolysates on the amino acid composition of *L. japonicus* (% dry matter)(Mean±SE)

氨基酸组成 Amino acid composition	组别 Group				
	FM	FPH	PBPH	SPH	YPH
必需氨基酸 EAA					
苏氨酸 Thr	2.51±0.04	2.34±0.21	2.16±0.10	2.19±0.11	2.29±0.12
缬氨酸 Val	2.46±0.04	2.24±0.21	2.08±0.09	2.08±0.08	2.18±0.12
蛋氨酸 Met	1.29±0.09	1.23±0.13	0.94±0.09	1.14±0.06	1.20±0.16
异亮氨酸 Ile	2.21±0.06	1.99±0.20	1.85±0.08	1.85±0.09	1.95±0.13
亮氨酸 Leu	3.83±0.07 ^{ab}	3.57±0.07 ^a	3.97±0.05 ^b	3.63±0.09 ^a	3.61±0.10 ^a
苯丙氨酸 Phe	2.97±0.09	2.93±0.08	2.88±0.10	2.76±0.05	2.83±0.04
赖氨酸 Lys	4.57±0.09 ^b	4.39±0.33 ^{ab}	3.83±0.18 ^a	3.81±0.18 ^a	3.97±0.17 ^{ab}
组氨酸 His	1.20±0.09	1.18±0.12	1.29±0.08	1.17±0.05	1.13±0.06
精氨酸 Arg	3.53±0.07	3.31±0.31	3.08±0.13	3.13±0.13	3.29±0.21
非必需氨基酸 NEAA					
天冬氨酸 Asp	4.81±0.20	4.74±0.18	4.70±0.11	4.47±0.23	4.73±0.26
丝氨酸 Ser	2.42±0.01	2.29±0.19	2.09±0.08	2.15±0.12	2.33±0.20
谷氨酸 Glu	8.60±0.08 ^b	7.90±0.20 ^{ab}	7.28±0.36 ^a	7.37±0.35 ^a	7.77±0.41 ^{ab}
甘氨酸 Gly	4.29±0.09	4.43±0.24	4.16±0.12	4.22±0.12	4.38±0.31
丙氨酸 Ala	3.71±0.02	3.55±0.29	3.31±0.10	3.33±0.13	3.54±0.23
半胱氨酸 Cys	0.43±0.03	0.39±0.02	0.38±0.01	0.39±0.02	0.39±0.01
酪氨酸 Tyr	1.87±0.01	1.68±0.17	1.59±0.08	1.60±0.09	1.60±0.07
牛磺酸 Tau	0.28±0.04	0.24±0.04	0.22±0.03	0.21±0.01	0.23±0.04
总氨基酸 ΣAA	50.98±0.14	48.39±2.16	45.80±1.16	45.50±1.70	47.43±2.14
必需氨基酸总和 ΣEAA	24.59±0.20 ^b	23.18±1.28 ^{ab}	22.08±0.57 ^{ab}	21.77±0.72 ^a	22.45±0.63 ^{ab}
非必需氨基酸总和 ΣNEAA	26.39±0.05	25.21±0.91	23.72±0.62	23.73±0.99	24.97±1.53
ΣEAA/ΣTAA (%)	48.22±0.25	47.86±0.60	48.21±0.27	47.86±0.26	47.42±0.87
ΣEAA/ΣNEAA (%)	93.16±0.95	91.82±2.22	93.11±0.99	91.78±0.97	90.28±3.16

表7 不同蛋白水解物对花鲈血清和肝脏中 AKP、ACP、SOD、LZM 活性和 T-AOC 的影响(平均值±标准误)

Tab.7 Effects of different sources of protein hydrolysates on activities of AKP, ACP, SOD, LZM and T-AOC in serum and liver of *L. japonicus* (Mean±SE)

指标 Indices	组别 Group				
	FM	FPH	PBPH	SPH	YPH
血清 Serum					
碱性磷酸酶 AKP (U/100 ml)	16.11±0.30 ^b	23.99±0.22 ^d	15.68±0.65 ^b	11.29±0.28 ^a	19.94±0.77 ^c
酸性磷酸酶 ACP (U/100 ml)	14.85±0.25 ^b	24.66±0.27 ^d	14.49±0.69 ^b	12.14±0.58 ^a	20.30±0.45 ^c
超氧化物歧化酶 SOD (U/ml)	0.94±0.01 ^b	1.17±0.01 ^d	0.93±0.01 ^b	0.88±0.00 ^a	1.01±0.01 ^c
溶菌酶 LZM (U/ml)	129.20±2.41 ^b	149.87±1.41 ^d	121.87±2.97 ^{ab}	118.40±2.81 ^a	141.20±3.27 ^c
总抗氧化能力 T-AOC (U/ml)	0.29±0.01 ^b	0.37±0.02 ^d	0.28±0.01 ^b	0.24±0.01 ^a	0.33±0.06 ^c
肝脏 Liver					
碱性磷酸酶 AKP (U/g prot)	68.57±0.99 ^b	84.32±1.54 ^d	60.18±1.26 ^a	58.43±1.65 ^a	74.74±1.35 ^c
酸性磷酸酶 ACP (U/g prot)	819.98±29.12 ^b	1064.95±21.08 ^d	811.48±3.80 ^b	742.61±7.63 ^a	943.77±17.50 ^c
超氧化物歧化酶 SOD (U/g prot)	22.39±0.65 ^b	25.74±0.24 ^d	21.23±0.12 ^{ab}	19.98±0.47 ^a	24.01±0.36 ^c
溶菌酶 LZM (U/mg prot)	452.80±7.63 ^b	529.33±15.18 ^d	437.07±6.27 ^b	362.40±8.81 ^a	495.47±6.86 ^c
总抗氧化能力 T-AOC (U/mg prot)	0.34±0.01 ^b	0.41±0.01 ^d	0.34±0.01 ^b	0.31±0.01 ^a	0.37±0.00 ^c

Skalli *et al.*, 2014), 这与本研究结果基本一致, 添加鱼蛋白水解物和酵母蛋白水解物组的生长效果优于添加猪血蛋白水解物和豆粕蛋白水解物组。在饲料利用率方面, 添加鱼蛋白水解物的 FPH 组和添加酵母蛋白水解物的 YPH 组, 在摄食率、饲料效率和蛋白质沉积率方面均与 FM 组无显著性差异 ($P>0.05$), FPH 组和 YPH 组的蛋白效率比显著高于 FM 组 ($P<0.05$)。施用晖等(1992)用 PBPH 替代鱼粉, 肉鸭(0-6 周龄)体增重、饲料效率可达到与鱼粉组相同水平。也有研究表明, 猪血经酶解添加到饲料中, 对仔猪的生长性能和蛋白质利用率无改善作用(郗文莉, 2007)。本研究中, 添加鱼蛋白水解物和酵母蛋白水解物组的饲料利用效果要优于添加猪血蛋白水解物和豆粕蛋白水解物组。推测影响鱼体生长的主要原因可能是氨基酸平衡破坏, 产生“水桶效应”, 导致鱼体生长缓慢、蛋白质效率降低(窦秀丽, 2014)¹⁾。这一推测在鱼体氨基酸中得到部分证明, 本研究鲈鱼摄食不同饲料引起显著变化的必需氨基酸主要为亮氨酸和赖氨酸, 亮氨酸在 PBPH 组中含量最高, 而在 FPH 组中含量最低, 这一变化趋势与饲料中亮氨酸含量一致, 表明饲料中亮氨酸的含量影响鱼体组织中亮氨酸的沉积。但是, 赖氨酸在 PBPH 组饲料中含量最高, 而鱼体中的亮氨酸含量显著低于 FM 组, 尽管精氨酸在各处理组中没有显著差异, 但在 PBPH 组中含量也

是所有实验组中最低的, 这表明 PBPH 替代 10% 鱼粉可能恰好使赖氨酸和精氨酸发生拮抗作用。这一结果在大菱鲆的研究中得到证实, 代伟伟等(2015)在饲料中添加不同比例的赖氨酸(添加量 0、1.19% 和 2.39%) 和精氨酸(添加量 0、0.9% 和 2.0%) 后发现, 当饲料中赖氨酸和精氨酸的添加量分别为 2.39% 和 0.9% (即实际含量分别为 3.45% 和 2.23%) 时, 产生显著的拮抗作用, 使得肌肉中赖氨酸和亮氨酸显著低于其他处理组, 但在不同添加量时, 都没有发现显著的拮抗作用, 因此, 赖氨酸和精氨酸在特定的比例会产生拮抗作用。

3.2 不同蛋白水解物对花鲈血清和肝脏非特异性免疫的影响

在本研究中, FPH 组、YPH 组肝脏和血清中的 ACP、AKP、LZM、SOD 活性和 T-AOC 显著高于 FM 组、PBPH 组和 SPH 组 ($P<0.05$)。Liang 等(2006)报道用添加不同水平的水解鱼蛋白饲料饲喂花鲈, 发现花鲈幼鱼的 LZM 活性与对照组相比有显著提高, 这与本研究是基本一致的, 说明 FPH 和 YPH 可以增强肝脏和血清中 ACP、AKP、LZM、SOD 活性和 T-AOC, 提高机体对外源微生物侵染的防御能力, 推测可能与水解过程中产生的生物活性肽有关。Gildberg 等(1998)报道低水平多肽对提高大西洋鳕鱼(*Gadus morhua*)鱼

1) Dou XL. The study on the optimum requirement of dietary valine, histidine and threonine of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* in the middle and late growing stage. Master's Thesis of Dalian Ocean University, 2014, 41-46 [窦秀丽. 鲈鱼生长中后期缬氨酸、组氨酸和苏氨酸营养需求的研究. 大连海洋大学硕士研究生学位论文, 2014, 41-46]

苗的非特异性免疫有一定作用, 水解过程中产生的生物活性肽具有免疫增强和抗菌性(Kotzamanis *et al.*, 2007); YPH 在一定程度上能提高花鲈的免疫能力, 除了生物活性肽影响之外, 其丰富的核苷酸、B 族维生素也具有提高机体免疫力和抗氧化能力的作用(许丹丹等, 2011; 周小秋, 2009¹⁾)。许丹丹等(2011)研究表明, 饲料中添加酵母核苷酸可显著提高凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)肝胰腺 AKP 活性和 T-AOC。周小秋(2009)¹⁾指出, B 族维生素能够提高血清 LZM 和 ACP 活性, 增强鱼类非特异性免疫能力。本研究中, 添加猪血蛋白水解物和豆粕蛋白水解物的 PBPH 组和 SPH 组, 在血清和肝脏中, ACP、AKP、LZM、SOD 活性和 T-AOC 显著低于 FPH 组和 YPH 组。研究表明, 酶解技术将猪血水解获得猪血多肽或游离氨基酸, 猪血多肽具有抗氧化性、增强免疫功能活性等功能(董清平等, 2008), 有研究表明酶解猪血粉增强肉鸡抗病能力(周学文等, 1998), 而豆粕经酶解获得多肽及游离氨基酸等蛋白消化产物(Tsumura *et al.*, 2005), 同时大豆多肽可以增强水产动物免疫力, 具体表现在提高其成活率、调节动物免疫系统的功能(赵述森等, 2003), 分析本研究中 PBPH 和 SPH 组的 ACP、AKP、LZM、SOD 活性和 T-AOC 表现较低, 推测是因其生长效果不理想, 从而抑制了非特异性免疫的表达效果。

4 小结

在本研究条件下, 适量的 4 种不同蛋白水解物替代鱼粉后投喂鲈鱼幼鱼, 综合生长性能、饲料利用、体成分及血清和肝脏非特异性免疫结果, 鱼蛋白水解物替代鱼粉的效果最好, 其次是酵母蛋白水解物、猪血蛋白水解物和豆粕蛋白水解物。

参 考 文 献

- Ai QH, Xie XJ. Advance in utilization of plant proteins by aquatic animals. *Periodical of Ocean University of China*, 2005, 35(6): 929-935 [艾庆辉, 谢小军. 水生动物对植物蛋白源利用的研究进展. 中国海洋大学学报, 2005, 35(6): 929-935]
- Dai WW, Mai KS, Xu W, *et al.* Effects of lysine-arginine interaction on growth of performance, body composition, and muscle amino acid levels of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(6): 876-887 [代伟伟, 麦康森, 徐玮, 等. 饲料中赖氨酸和精氨酸含量对大菱鲆幼鱼生长, 体成分和肌肉氨基酸含量的影响. 水产学报, 2015, 39(6): 876-887]
- Dong QP, Fang J, Jiang HM, *et al.* Studies on enzymatic hydrolysis of porcine hemoglobin and the content of amino acids in the hydrolysate. *Progress in Modern Biomedicine*, 2008, 8(7): 1259-1261 [董清平, 方俊, 蒋红梅, 等. 猪血红蛋白的酶解及氨基酸含量的研究. 现代生物医学进展, 2008, 8(7): 1259-1261]
- Gildberg A, Mikkelsen H. Effects of supplementing the feed to Atlantic cod, *Gadus morhua* fry with lactic acid bacteria and immuno-stimulating peptides during a challenge trial with *Vibrio anguillarum*. *Aquaculture*, 1998, 167(1-2): 103-113
- Gisbert E, Skalli A, Fernández I, *et al.* Protein hydrolysates from yeast and pig blood as alternative raw materials in microdiets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) larvae. *Aquaculture*, 2012, 338-341: 96-104
- Hevroy 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. *Aquaculture Nutrition*, 2005, 11(4): 301-313
- Kaushik SJ, Cravedi JP, Lalles JP, *et al.* Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 1995, 133(3-4): 257-274
- Kaushik SJ, Seiliez I. Protein and amino acid nutrition and metabolism in fish: Current knowledge and future needs. *Aquaculture Research*, 2010, 41(3): 322-332
- Kotzamanis YP, Gisbert E, Gatesoupe FJ, *et al.* Effects of different dietary levels of fish protein hydrolysates on growth, digestive enzymes, gut microbiota and resistance to *Vibrio anguillarum* in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 2007, 147(1): 205-214
- Lee SM. Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, 2002, 207(1-2): 79-95
- Liang MQ, Wang JL, Chang Q, *et al.* Effects of different levels of fish protein hydrolysate in the diet on the nonspecific immunity of Japanese sea bass, *Lateolabrax japonicus* (Cuvieret Valenciennes, 1828). *Aquaculture Research*, 2006, 37(1): 102-106

1) Zhou XQ. Relationship progress of vitamin B with fish digestion and absorption, immune and antioxidant defense capacity. *China Animal Husbandry and Veterinary Association 2009 Annual Conference Proceedings (volume one)*, 2009, 963 [周小秋. B 族维生素与鱼类消化吸收、免疫和抗氧化防御能力的关系研究进展. 中国畜牧兽医学学会 2009 学术年会论文集(上册), 2009, 963]

- Lim SJ, Kim SS, Ko GY, *et al.* Fish meal replacement by soybean meal in diets for Tiger puffer, *Takifugu rubripes*. *Aquaculture*, 2011, 313(1-4): 165-170
- Liu X, Yang WJ, Wu Z, *et al.* Effects of yeast hydrolysate on non-specific immunity and anti-stress abilities of juvenile turbot, *Scophthalmus maximus*. *Feed Industry*, 2015, 36(18):33-37 [柳茜, 杨文娇, 吴振, 等. 酵母水解物对大菱鲆幼鱼非特异性免疫及抗应激能力的影响. *饲料工业*, 2015, 36(18): 33-37]
- Lu YQ, Liu ZM. Study on the development of multi-amino acids nutritional liquid by enzyme technology. *Food Science*, 1995, 16(7): 13-18 [卢寅泉, 刘昭明. 酶技术开发动物血制取复合氨基酸营养液的研究. *食品科学*, 1995, 16(7): 13-18]
- Mei L, Zhou HH, Mai KS, *et al.* Effects of dietary substitution of fishmeal by fermented silkworm pupae on the growth, feed intake, digestion and immunity of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(3): 85-92 [梅琳, 周慧慧, 麦康森, 等. 蛹蛋白替代鱼粉对大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)幼鱼生长、饲料利用、消化代谢酶及免疫性能的影响. *渔业科学进展*, 2015, 36(3): 85-92]
- Qie WL. Study on the production performance and protein utilization value of pig blood hydrolyzed for piglets, *Sus scrofa*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(24): 7486-7488 [郟文莉. 酶解血粉对仔猪生产性能和蛋白质利用效果的研究. *安徽农业科学*, 2007, 35(24): 7486-7488]
- Sanderson GW, Jolly SO. The value of *Phaffia* yeast as a feed ingredient for ingredient for salmonid fish. *Aquaculture*, 1994, 124(1-4): 193-200
- Shi YH, Le GW. Pig blood protein hydrolysate on feeding value in the duck, *Anas platyrhynchos*. *China Feed*, 1992(8): 8-9 [施用晖, 乐国伟. 猪血水解蛋白饲喂肉鸭效果. *中国饲料*, 1992(8): 8-9]
- Skalli A, Zambonino-Infante JL, Kotzamanis Y, *et al.* Peptide molecular weight distribution of soluble protein fraction affects growth performance and quality in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Aquaculture Nutrition*, 2014, 20(2): 118-131
- Suloma A, El-Husseiny OM, Hassane MI, *et al.* Complementary responses between hydrolyzed feather meal, fish meal and soybean meal without amino acid supplementation in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* diets. *Aquaculture International*, 2014, 22: 1377-1390
- Tsumura K, Saito T, Tsuge K, *et al.* Functional properties of soy protein hydrolysates obtained by selective proteolysis. *LWT-Food Science and Technology*, 2005, 38(3): 255-261
- Xu DD, Cao JM, Huang YH, *et al.* Effects of dietary nucleotides on growth performance, intestinal morphology and anti-oxidative activities of juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(5): 1115-1124 [许丹丹, 曹俊明, 黄燕华, 等. 饲料中添加核苷酸对凡纳滨对虾幼虾生长、肠道形态及抗氧化酶活力的影响. *中国水产科学*, 2011, 18(5): 1115-1124]
- Yang TJ, Sun YF, Wang YZ, *et al.* Progress on a novel antianginal agent ranolazine. *Progress in Veterinary Medicine*, 2008, 29(11): 92-95 [杨天骄, 孙英峰, 王英珍, 等. 啤酒酵母葡聚糖免疫调节作用及应用研究进展. *动物医学进展*, 2008, 29(11): 92-95]
- Yu YK, Hu JE, Bai XF, *et al.* Progress on research of bioactive peptides derived from the blood of pig. *Fine and Specialty Chemicals*, 2004, 12(18): 10-13 [余奕珂, 胡建恩, 白雪芳, 等. 以猪血为蛋白源的生物活性肽的研究进展精细与专用化学品, 2004, 12(18): 10-13]
- Zhao SM, Han JH. Soybean peptides nutrition and its application in aquaculture. *China Fisheries*, 2003(11): 66-67 [赵述森, 韩继宏. 大豆小肽的营养及其在水产养殖中的应用. *中国水产*, 2003(11): 66-67]
- Zheng KK, Liang MQ, Yao HB, *et al.* Effect of dietary fish protein hydrolysate on growth, feed utilization and IGF-I levels of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture Nutrition*, 2012, 18(3): 297-303
- Zhou QC, Mai KS, Liu YJ, *et al.* Advances in animal and plant protein sources in place of fish meal. *Journal of Fisheries of China*, 2005, 29(3): 404-410 [周歧存, 麦康森, 刘永坚, 等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展. *水产学报*, 2005, 29(3): 404-410]
- Zhou XW, Zhu YL. Observation of pig blood hydrolyzed on raising value for mice, *Mus musculus* and chickens, *Gallus gallus*. *Feed Research*, 1998(2): 32-33 [周学文, 朱煜兰. 酶解猪血粉对小白鼠及肉鸡饲养效果观察. *饲料研究*, 1998(2): 32-33]

(编辑 马瑾艳)

Effects of Different Protein Hydrolysates on Growth Performance and Non-Specific Immunity of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)

ZHANG Tingting^{1,4}, CHEN Xiaoru³, LIANG Mengqing^{2,4}^①, WANG Chengqiang⁴,
ZHENG Keke⁴, XU Houguo⁴, CHEN Qiyong³

(1. Dalian Ocean University, Dalian 116021; 2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071; 3. Tongwei Co., Ltd., Chengdu 610063; 4. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture; Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

Abstract This study was conducted to investigate the effects of four protein hydrolysates for replacing fish meal protein of basal diets on growth performance and non-specific immunity of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*). The control group included fish meal (FM) as the single protein source. The experimental groups were replaced 10% of fish meal protein with four protein hydrolysates, including fish protein hydrolysate (FPH), pig blood protein hydrolysate (PBPH), soy protein hydrolysate (SPH) and yeast protein hydrolysate (YPH). Five diets were formulated to be isonitrogenous and isolipidic. All diets were fed in triplicate groups of *L. japonicus* (initial weight 31.99 g) for 8 weeks. Results indicated that the final body weight and specific growth rate (SGR) were significantly improved when fish were fed the FM and FPH groups compared with the PBPH, SPH, and YPH groups ($P < 0.05$), but there was no significant effect on survival rate and feed intake among all groups ($P > 0.05$). There was no difference in feed efficiency (FE) among the FPH, FM, PBPH, and YPH groups ($P > 0.05$), while the FPH group was significantly higher than the SPH group ($P < 0.05$). The FPH group had significantly higher protein efficiency ratio (PER) than other dietary treatments ($P < 0.05$). The FPH, FM and YPH groups showed significantly higher protein productive value (PPV) than that of PBPH and SPH groups ($P < 0.05$), while PPV in the FPH, FM and YPH groups were not significantly different ($P > 0.05$). AKP, ACP, SOD, LZM activities and T-AOC in liver and serum of the FPH and YPH groups were significantly higher than other groups ($P < 0.05$). The FPH group showed significantly highest crude protein of fish body in all dietary treatments, but there were no significant different between the FPH, FM and YPH groups ($P > 0.05$). In conclusion, FPH had the best effects on growth and non-specific immunity of *L. japonicus* compared with other diets, followed by YPH, PBPH and SPH.

Key words *Lateolabrax japonicus*; Protein hydrolysate; Growth performance; Non-specific immunity

① Corresponding author: LIANG Mengqing, E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn