

文章编号: 1674-5566(2017)05-0716-10

DOI:10.12024/jso.20170402022

两种豆粕部分替代鱼粉在珍珠龙胆石斑鱼幼鱼饲料中的研究

李学丽^{1,2}, 王际英¹, 宋志东¹, 李宝山¹, 谭青^{1,2}, 孙永智¹, 张利民¹

(1. 山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室, 山东 烟台 264006; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要:以珍珠龙胆石斑鱼幼鱼为研究对象,探讨豆粕和酶解豆粕替代鱼粉对其生长、体组成、消化和代谢酶活力的影响。用豆粕替代基础饲料中 0、20%、40%、60% 和 80% 的鱼粉,酶解豆粕替代 60% 的鱼粉,配制 6 种等氮等能的饲料(SM0、SM20、SM40、SM60、SM80、HSM60)。选取初始体质量为(47.18 ± 0.45)g 的珍珠龙胆石斑鱼幼鱼 540 尾,随机分为 6 组,每组 3 个重复,每个重复 30 尾。试验期 8 周。结果显示:(1)同对照组相比,豆粕替代 20% 和 40% 鱼粉对幼鱼的生长和饲料利用无显著影响,SM60 和 SM80 组幼鱼增重率(W_{GR})、特定生长率(S_{CR})、蛋白质效率(P_{ER})和摄食率(D_{FI})较 SM0 组显著降低($P < 0.05$),饲料系数(F_{CR})显著升高($P < 0.05$)。(2)全鱼粗蛋白含量随豆粕替代量的增加而降低,SM0 组显著高于各替代组($P < 0.05$),SM40-80 组全鱼粗灰分含量显著降低($P < 0.05$),SM80 组肌肉水分含量显著升高($P < 0.05$),粗蛋白和粗脂肪含量显著降低($P < 0.05$),各豆粕替代组多种氨基酸的含量显著降低($P < 0.05$)。(3)SM60 和 SM80 组胃蛋白酶和淀粉酶活力显著降低($P < 0.05$),各豆粕替代组胰蛋白酶活力显著低于 SM0 组($P < 0.05$)。(4)肝脏谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)活力在 SM40-80 组显著降低($P < 0.05$),SM20 和 SM40 组葡萄糖-6-磷酸酶(G6P)活力显著升高($P < 0.05$)。(5)与 SM60 组相比,HSM60 组幼鱼 W_{GR} 、 S_{CR} 和 D_{FI} 显著升高($P < 0.05$), F_{CR} 显著降低($P < 0.05$),全鱼和肌肉粗脂肪含量显著降低($P < 0.05$),粗灰分含量显著升高($P < 0.05$),胃蛋白酶、胰蛋白酶和淀粉酶活力显著升高($P < 0.05$),脂肪酶活力显著降低($P < 0.05$),AST 和 ALT 活力显著升高($P < 0.05$),FAS 活力显著降低($P < 0.05$)。综上所述,豆粕可替代 40% 的鱼粉而不影响珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的生长,更高的替代量会对幼鱼的生长造成不利影响,在相同的替代水平,幼鱼对酶解豆粕的利用率更高。

关键词: 珍珠龙胆石斑鱼; 豆粕; 酶解豆粕; 鱼粉替代; 生长; 体组成; 消化酶; 代谢酶

中图分类号: S 963.1 **文献标志码:** A

鱼粉是水产饲料中不可或缺的蛋白源。近年来随着水产养殖业的不断发展,鱼粉在水产养殖中的需求量不断的加大,然而由于渔业资源的衰退,鱼粉的产量没有明显增高,供需之间的矛盾导致其价格不断上涨。并且大多数的水产动物对鱼粉中的磷吸收利用率低,若饲料中过多添加鱼粉则会因为磷不能被有效利用而造成水体污染^[1]。因此,发掘可替代鱼粉的蛋白源是现阶段水产养殖业可持续发展的重要课题。豆粕蛋白质含量高、产量稳定,是近年来水产饲料中最

为常用的蛋白源。但豆粕中含有一些抗营养因子,适口性不佳,过量添加会导致鱼体生长速度降低、饲料系数升高^[2-3]、蛋白质利用率降低^[4]、消化酶活性降低^[5]等,从而制约了其在饲料中的添加比例。酶解豆粕是豆粕经酶水解后,得到的一种由少量游离氨基酸、小肽和多肽组成的混合物^[6]。与豆粕相比,酶解豆粕具有更好的理化性质:易消化吸收、低抗原性等,且含有某些生理活性物质,在机体内可执行多种生理功能^[7]。已有研究表明,酶解豆粕能提高星斑川鲷(*Platichthys*

收稿日期: 2017-04-14 修回日期: 2017-05-29

基金项目: 国家海洋生物产业水生动物营养与饲料研发创新示范平台(201702001); 山东省重点研发计划(2016GSF005005); 山东省自然科学基金(ZR2015CQ023)

作者简介: 李学丽(1991—),女,硕士研究生,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail:lixueli226@126.com

通信作者: 张利民, E-mail: zhanglimin@126.com

stellatus) 幼鱼的生长性能和饲料利用,并对体组织脂肪蓄积有一定的改善作用^[8],对海参(*Apostichopus japonicus*) 矿物质的沉积有促进作用^[9]。

珍珠龙胆石斑鱼(♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*) 是一种杂交培育的新品种,因其具有肉质细腻、营养丰富、生长速度快、抗病性能强等特点而成为石斑鱼养殖的新宠。本试验以珍珠龙胆石斑鱼为对象,研究用豆粕替代鱼粉对其生长、体组成、消化和代谢酶活力的影响,并探讨酶解豆粕与豆粕对鱼类的影响差异,以期合理开发利用大豆蛋白源提供一定的数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

试验用的酶解豆粕根据宋志东等^[8]的方法酶解制成:用包含中性蛋白酶(100 000 U/g)、风味酶(50 000 U/g)和非淀粉多糖酶(木聚糖酶,

8 000 U/g; β-葡聚糖酶,2 000 U/g; β-甘露聚糖酶,150 U/g;纤维素酶,300 U/g)的复合酶(武汉新华扬生物科技有限公司)酶解豆粕。反应体系中豆粕占 15%,加入占豆粕比例为 1.5%的复合酶,50 °C 酶解 6 h,然后冻干粉碎过 80 筛,制成酶解豆粕。根据 MAMAUAG 等^[9]的方法测定蛋白质溶解度为 49.0% (pH 7.0, 22 °C),水溶性氮由中国广州分析测试中心(广州)分析测定,分子量分布见表 1。

对照组含 53% 的鱼粉,用豆粕分别替代 20%、40%、60% 和 80% 的鱼粉蛋白,用酶解豆粕替代 60% 的鱼粉蛋白,配制成为 6 组等氮等能的试验饲料(SM0、SM20、SM40、SM60、SM80、HSM60),在各替代组饲料中分别添加晶体蛋氨酸和赖氨酸以满足幼鱼生长需要。饲料配方及营养水平见表 2。所有原料粉碎过 80 目筛,依据配方称重后混合均匀,加入鱼油和适量蒸馏水二次混合均匀,挤压制成硬颗粒饲料,60 °C 烘干后置于通风干燥处备用。

表 1 豆粕和酶解豆粕水溶性氮的分子量分布及营养水平

Tab. 1 The information and nutrient levels of hydrolyzed soybean meal (HSM) and soybean meal (SM)

项目 Items	酶解豆粕 HSM	豆粕 SM
水溶性氮比例 Water-soluble nitrogen(% total nitrogen; pH 7.0, 22 °C)	44.6	10.3
肽段大小 Peptide size		
<1 000 u	21.81	3.68
1 000 ~ 3 000 u	14.00	5.15
3 000 ~ 5 000 u	2.05	0.23
5 000 ~ 10 000 u	0.45	0.08
>10 000 u	6.29	1.16

1.2 试验鱼及饲养管理

珍珠龙胆石斑鱼购自莱州明波水产有限公司,试验开始前投喂基础饲料,驯养两周后进行分组。选取大小均匀,健康无病的珍珠龙胆石斑鱼幼鱼(47.18 ± 0.45) g,随机放养于 18 个圆柱形养殖桶内(直径 70 cm,高 80 cm),每桶 30 尾,每组设 3 个平行。试验期间每天在 08:30 和 16:30 饱食投喂两次,排残饵并记录。控制水温在(26.5 ± 0.5) °C,溶氧 > 5 mg/L,盐度为 23 ~ 26, pH 7.8 ~ 8.0,亚硝酸氮和氨氮含量均 < 0.1 mg/L,试验进行 56 d。

1.3 取样

珍珠龙胆石斑鱼取样前停饲 24 h,记录每桶鱼的总重及尾数,然后每桶随机取 10 尾,测定体质量体长,其中 3 尾作为全鱼样品用于体成分分析,其余 7 尾解剖分离内脏和肝脏并称量,取胃和前肠用于胃肠道消化酶活力测定;取背肌用于常规成分及氨基酸测定。剩下的鱼重新养殖 7 天,从第 8 天起餐后 4 h 再从每桶随机取 3 尾鱼,解剖分离肝脏用于代谢酶活力测定。样操作均在冰盘中进行,取样结束后将所有样品保存在 -70 °C 冰箱中冷藏待测。

表2 饲料配方及营养水平(干物质基础)
Tab.2 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)

原料 Ingredients	组别 Groups					
	SM0	SM20	SM40	SM60	SM80	HSM60
鱼粉 Fish meal	53	42.85	32.25	22.1	13.35	22.25
豆粕 Soybean meal	0	14.5	29	43.5	57	0
酶解豆粕 Hydrolyzed soybean meal	0	0	0	0	0	43.75
酪蛋白 Casein	13	13	13	13	13	13
小麦粉 Wheat flour	10	8	8	6	1	6
α-淀粉 α-starch	2	2	2	2	2	2
鱼油 Fish oil	4.4	5.3	6.15	7	7.8	7
大豆卵磷脂 Soybean Lecithin	1	1	1	1	1	1
乌贼粉 Squid visceral powder	2	2	2	2	2	2
维生素预混料 Vitamin premix ¹⁾	1	1	1	1	1	1
矿物质预混料 Mineral premix ²⁾	1	1	1	1	1	1
抗氧化剂 Antioxidant	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
赖氨酸 Lys	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.3
蛋氨酸 Met	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.3
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	12.55	9.1	4.15	0.75	0	0.35
合计 Total	100	100	100	100	100	100
营养水平 Nutrient levels ³⁾						
粗蛋白 Crude protein	50.31	50.31	50.32	50.12	50.48	50.22
粗脂肪 Crude lipid	11.08	11.08	11.07	11.04	10.99	10.99
粗灰分 Crude ash	12.98	12.96	11.64	10.03	8.87	11.09
总能/(MJ/kg) Gross energy	25.93	25.75	26.02	26.04	25.24	25.82
赖氨酸 Lys	3.45	3.51	3.52	3.54	3.53	3.45
蛋氨酸 Met	1.28	1.34	1.29	1.23	1.23	1.28

注:1)每千克维生素预混料含 One kilogram of vitamin premix contained the following: V_A 3 000 000 IU, V_{D_3} 1 200 000IU, DL-α-生育酚 40.0 g, V_{K_3} 10 g, 硫胺素 thiamine 5.0 g, 核黄素 riboflavin 5.0 g, 盐酸吡哆醇 pyridoxine hydrochloride 4.0 g, 泛酸 pantothenic acid 15.0 g, 烟酸 nicotinic acid 20.0 g, 生物素 biotin 10.0 g, 叶酸 folic acid 1.5 g, $V_{B_{12}}$ 0.01 g, 肌醇 inositol 4.0 g, 抗坏血酸 ascorbic acid 100.0 g; 2)每千克矿物质预混料含 One kilogram of mineral premix contained the following: NaCl 80.0 g, KCl 50.5 g, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 20.0 g, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 8.0 g, $MgSO_4 \cdot 2H_2O$ 100.0 g, $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ 18.0 g, Na_2SeO_3 0.05 g, $CoCl_2$ 0.28 g, KI 0.1 g, NaF 4.0 g, $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ 255.0 g, Ca-lactate 150.0 g, $C_6H_5O_7Fe \cdot 5H_2O$ 15.0 g; 3)粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、总能、赖氨酸和蛋氨酸为实测值。Crude protein, crude lipid, ash, gross energy, Lys and Met were measured values

1.4 测定指标与方法

1.4.1 生长性能

$$W_{CR}(\%) = (W_t - W_0) / W_0 \times 100 \quad (1)$$

$$S_{CR}(\%/d) = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100 \quad (2)$$

$$F_{CR} = F / (W_T - W_0) \quad (3)$$

$$P_{ER} = (W_T - W_0) / (F \times P) \times 100 \quad (4)$$

$$D_{FI}(\%/d) = F / [(W_0 + W_T) / 2 \times t] \times 100 \quad (5)$$

$$C_F(g/cm^3) = W_b / L^3 \times 100 \quad (6)$$

式中: W_{CR} 为增重率; S_{CR} 为特定生长率; F_{CR} 为饲料系数; P_{ER} 为蛋白质效率; D_{FI} 为摄食率; C_F 为饱满度; W_t 为试验末均重; W_0 为试验初均重; W_T 为试验末总重; W_0 为试验初总重; t 为养殖天数; F 为摄食干饲料质量; P 为饲料粗蛋白含量; W_b 为每尾鱼末体重; L 为每尾鱼末体长。

1.4.2 试验饲料和鱼体营养成分测定

水分测定采用 105 °C 烘干恒重法 (GB/T

6435—2006); 粗蛋白质测定采用杜马斯燃烧法 (LECO FP—528, USA); 粗脂肪测定采用索氏抽提法 (GB/T6433—1994); 灰分测定采用马弗炉 550 °C 灼烧法 (GB/T6438—2007); 能量测定采用燃烧法 (IKA, C6000, GERMANY); 氨基酸测定参照魏佳丽^[10]的酸水解方法。

1.4.3 胃、肠道及肝脏组织粗酶液的制备

组织样品冰上自然解冻, 用 4 °C 的生理盐水冲洗表面后用滤纸吸干表面水分, 称取约 1 g 干净无血的组织, 剪碎放入小烧杯中, 加入其 9 倍体积的预冷的匀浆介质或生理盐水, 冰浴匀浆后 4 °C 下 4 000 r/min 离心 10 min, 取上清 4 °C 保存并于 24 h 内完成测定。

1.4.4 胃肠道消化酶活力的测定

胃蛋白酶 (Pepsin)、肠道胰蛋白酶 (Trypsin)、淀粉酶 (Amylase)、脂肪酶 (Lipase) 活力均采用南京建成试剂盒测定。

1.4.5 肝脏代谢酶活力的测定

肝脏中谷丙转氨酶 (ALT)、谷草转氨酶 (AST) 活力采用南京建成试剂盒测定,脂肪酸合成酶 (FAS) 和葡萄糖-6-磷酸酶 (G6P) 活力采用 Elisa 试剂盒进行测定(上海酶联生物技术有限公司)。

1.5 数据统计分析

对试验数据进行单因素方差分析 (SPSS 17.0),差异显著时再进行 Duncan 氏多重比较,显著水平为 $P < 0.05$ 。数据以平均值 \pm 标准误的形式表示。

2 结果

2.1 豆粕和酶解豆粕替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长和饲料利用的影响

如表 3 所示,豆粕替代 20% 和 40% 的鱼粉对幼鱼的生长和饲料利用无显著影响 ($P > 0.05$),当替代量高于 40% 时幼鱼 W_{GR} 、 S_{GR} 、 P_{ER} 和 D_{FI} 都

显著降低, F_{CR} 显著升高 ($P < 0.05$), HSM60 组幼鱼 W_{GR} 、 S_{GR} 和 D_{FI} 显著高于 SM60 组 ($P < 0.05$), F_{CR} 显著低于 SM60 组 ($P < 0.05$)。

2.2 豆粕和酶解豆粕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

如表 4 所示,豆粕替代鱼粉对全鱼水分、粗脂肪含量无显著影响 ($P > 0.05$),全鱼粗蛋白含量随豆粕替代量的增加而逐渐降低,对照组显著高于各豆粕替代组 ($P < 0.05$),全鱼粗灰分含量也呈下降趋势,SM40-80 组显著降低 ($P < 0.05$);肌肉粗灰分的含量不受豆粕替代量的影响 ($P > 0.05$),SM80 组肌肉水分含量显著升高 ($P < 0.05$),粗蛋白和粗脂肪含量显著降低 ($P < 0.05$),其他各组间无显著差异 ($P > 0.05$)。HSM60 组全鱼粗蛋白含量、全鱼和肌肉粗灰分含量显著高于 SM60 组 ($P < 0.05$),全鱼和肌肉粗脂肪含量显著低于 SM60 组 ($P < 0.05$)。

表 3 豆粕和酶解豆粕替代鱼粉对幼鱼生长和饲料利用的影响

Tab. 3 Effects of fishmeal replacement by SM and HSM on growth performance and feed utilization of juveniles

项目 Items	组别 Groups					
	SM0	SM20	SM40	SM60	SM80	HSM60
增重率 $W_{GR}/\%$	172.05 \pm 0.99 ^b	171.27 \pm 3.08 ^b	169.74 \pm 0.55 ^b	155.80 \pm 0.26 ^a	153.87 \pm 1.40 ^a	171.87 \pm 2.08 ^b
特定生长率 $S_{GR}/(\%/d)$	1.61 \pm 0.01 ^b	1.61 \pm 0.02 ^b	1.60 \pm 0.01 ^b	1.51 \pm 0.01 ^a	1.50 \pm 0.01 ^a	1.61 \pm 0.01 ^b
饲料系数 F_{CR}	0.89 \pm 0.03 ^a	0.92 \pm 0.02 ^a	0.93 \pm 0.01 ^a	0.99 \pm 0.02 ^b	1.12 \pm 0.03 ^c	0.92 \pm 0.01 ^a
蛋白质效率 $P_{ER}/\%$	2.22 \pm 0.05 ^c	2.18 \pm 0.04 ^c	2.17 \pm 0.02 ^c	2.02 \pm 0.05 ^b	1.80 \pm 0.04 ^a	2.06 \pm 0.05 ^b
摄食率 $D_{FI}/(\%/d)$	1.31 \pm 0.03 ^b	1.34 \pm 0.01 ^b	1.35 \pm 0.01 ^b	1.23 \pm 0.01 ^a	1.19 \pm 0.01 ^a	1.48 \pm 0.02 ^c
肥满度 $C_F/(g/cm^3)$	3.46 \pm 0.10	3.41 \pm 0.06	3.44 \pm 0.11	3.48 \pm 0.08	3.44 \pm 0.08	3.47 \pm 0.08

注:同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$),不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$),表 4-7 同此

Note: In the samerow, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), the same in fig. 4-7

表 4 豆粕和酶解豆粕替代鱼粉对幼鱼体组成的影响 (湿重基础)

Tab. 4 Effects of fishmeal replacement by SM and HSM on body composition of juveniles (wet weight basis)

项目 Items	组别 Groups					
	SM0	SM20	SM40	SM60	SM80	HSM60
全鱼 Whole body						
水分 Moisture	69.70 \pm 0.39	69.42 \pm 0.60	69.83 \pm 0.22	69.42 \pm 0.60	71.08 \pm 0.47	70.58 \pm 0.38
粗蛋白 Crude protein	18.88 \pm 0.10 ^c	18.09 \pm 0.15 ^b	18.07 \pm 0.18 ^b	17.28 \pm 0.17 ^a	17.32 \pm 0.11 ^a	18.56 \pm 0.08 ^c
粗脂肪 Crude lipid	7.25 \pm 0.23 ^b	7.60 \pm 0.13 ^b	7.55 \pm 0.06 ^b	7.43 \pm 0.12 ^b	7.42 \pm 0.11 ^b	6.40 \pm 0.07 ^a
粗灰分 Ash	4.30 \pm 0.09 ^b	4.18 \pm 0.04 ^b	3.95 \pm 0.03 ^a	3.96 \pm 0.02 ^a	4.04 \pm 0.07 ^a	4.61 \pm 0.07 ^c
肌肉 Dorsal muscle						
水分 Moisture	75.14 \pm 0.22 ^a	74.92 \pm 0.33 ^a	75.51 \pm 0.31 ^a	75.33 \pm 0.45 ^a	77.61 \pm 0.46 ^b	76.76 \pm 0.45 ^a
粗蛋白 Crude protein	20.48 \pm 0.13 ^b	20.39 \pm 0.10 ^b	20.48 \pm 0.06 ^b	20.46 \pm 0.11 ^b	19.14 \pm 0.09 ^a	20.73 \pm 0.02 ^b
粗脂肪 Crude lipid	2.80 \pm 0.16 ^b	2.97 \pm 0.13 ^b	2.86 \pm 0.16 ^b	2.99 \pm 0.15 ^b	1.78 \pm 0.13 ^a	2.03 \pm 0.10 ^a
粗灰分 Ash	1.24 \pm 0.01 ^a	1.24 \pm 0.02 ^a	1.24 \pm 0.01 ^a	1.21 \pm 0.02 ^a	1.21 \pm 0.02 ^a	1.30 \pm 0.02 ^b

如表 5 所示,各豆粕替代组中 6 种 EAA (Thr、Met、Leu、Phe、Lys、Arg) 以及 4 种 NEAA (Asp、Ser、Glu、Ala) 含量显著低于对照组 ($P <$

0.05),各豆粕替代组之间没有显著差异 ($P >$ 0.05)。除 Cys 外,HSM60 组各种氨基酸含量都高于 SM60 组。

表 5 豆粕和酶解豆粕替代鱼粉对幼鱼肌肉氨基酸组成的影响(干物质基础)
Tab.5 Effects of fishmeal replacement by SM and HSM on muscular amino acid composition of juveniles (DM basis)

项目 Items	组别 Groups					
	SM0	SM20	SM40	SM60	SM80	HSM60
必需氨基酸 EAA						
苏氨酸 Thr	4.50 ± 0.04 ^b	4.09 ± 0.05 ^a	4.15 ± 0.05 ^a	4.22 ± 0.05 ^a	4.13 ± 0.07 ^a	4.31 ± 0.07 ^b
缬氨酸 Val	3.79 ± 0.08	3.56 ± 0.07	3.51 ± 0.01	3.53 ± 0.04	3.61 ± 0.05	3.68 ± 0.07
蛋氨酸 Met	2.29 ± 0.03 ^b	2.06 ± 0.04 ^a	2.06 ± 0.08 ^a	2.05 ± 0.08 ^a	2.03 ± 0.01 ^a	2.11 ± 0.08 ^b
异亮氨酸 Ile	3.47 ± 0.06	3.23 ± 0.08	3.21 ± 0.01	3.13 ± 0.05	3.22 ± 0.07	3.35 ± 0.09
亮氨酸 Leu	8.45 ± 0.08 ^b	7.74 ± 0.10 ^a	7.78 ± 0.10 ^a	7.89 ± 0.10 ^a	7.68 ± 0.14 ^a	8.38 ± 0.19 ^b
苯丙氨酸 Phe	4.04 ± 0.03 ^b	3.77 ± 0.07 ^a	3.75 ± 0.04 ^a	3.73 ± 0.04 ^a	3.70 ± 0.07 ^a	3.93 ± 0.03 ^b
赖氨酸 Lys	8.69 ± 0.09 ^b	7.93 ± 0.11 ^a	8.07 ± 0.13 ^a	8.06 ± 0.08 ^a	7.77 ± 0.12 ^a	8.42 ± 0.16 ^b
组氨酸 His	2.01 ± 0.04 ^b	1.87 ± 0.02 ^a	1.86 ± 0.02 ^a	1.88 ± 0.02 ^a	1.87 ± 0.03 ^a	1.98 ± 0.04 ^b
精氨酸 Arg	5.54 ± 0.12	5.20 ± 0.06	5.20 ± 0.05	5.22 ± 0.05	5.25 ± 0.09	5.44 ± 0.09
必需氨基酸总量 ΣEAA	42.46 ± 0.64 ^b	39.97 ± 0.71 ^a	39.68 ± 0.41 ^a	37.74 ± 0.23 ^a	39.16 ± 0.95 ^a	43.20 ± 0.08 ^b
非必需氨基酸 NEAA						
天冬氨酸 Asp	10.13 ± 0.09 ^b	9.38 ± 0.08 ^a	9.53 ± 0.07 ^a	9.56 ± 0.11 ^a	9.44 ± 0.17 ^a	9.84 ± 0.17 ^b
丝氨酸 Ser	4.04 ± 0.03 ^b	3.81 ± 0.02 ^a	3.83 ± 0.02 ^a	3.81 ± 0.05 ^a	3.80 ± 0.02 ^a	3.94 ± 0.06 ^b
谷氨酸 Glu	16.87 ± 0.14 ^b	15.58 ± 0.15 ^a	15.90 ± 0.15 ^a	15.87 ± 0.22 ^a	15.77 ± 0.30 ^a	16.92 ± 0.27 ^b
甘氨酸 Gly	5.14 ± 0.09	4.95 ± 0.06	4.93 ± 0.07	4.95 ± 0.06	5.05 ± 0.11	5.10 ± 0.03
丙氨酸 Ala	5.86 ± 0.06 ^b	5.62 ± 0.05 ^a	5.67 ± 0.06 ^a	5.63 ± 0.06 ^a	5.64 ± 0.11 ^a	6.04 ± 0.06 ^b
半胱氨酸 Cys	1.14 ± 0.02	1.09 ± 0.01	1.10 ± 0.01	1.10 ± 0.02	1.03 ± 0.02	1.03 ± 0.06
酪氨酸 Tyr	2.26 ± 0.14	2.29 ± 0.04	2.32 ± 0.08	2.32 ± 0.10	2.22 ± 0.04	2.35 ± 0.07
脯氨酸 Pro	3.08 ± 0.08	2.96 ± 0.03	3.03 ± 0.05	3.01 ± 0.03	3.12 ± 0.05	3.16 ± 0.08
非必需氨基酸总量 ΣNEAA	48.43 ± 0.39 ^b	45.84 ± 0.41 ^a	46.18 ± 0.54 ^a	46.35 ± 0.57 ^a	46.61 ± 0.17 ^a	48.46 ± 0.73 ^b
氨基酸总量 TAA	91.24 ± 0.76 ^b	86.36 ± 0.70 ^a	86.02 ± 0.99 ^a	85.00 ± 0.39 ^a	85.94 ± 0.95 ^a	91.65 ± 0.80 ^b

2.3 豆粕和酶解豆粕替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼胃肠道消化酶活力的影响

如表 6 所示,SM20 和 SM40 组幼鱼胃蛋白酶活力较对照组有升高但差异不显著 ($P >$ 0.05),豆粕替代量再升高,SM60 和 SM80 组胃蛋白酶活力显著降低 ($P <$ 0.05),随豆粕替代量的增加胰蛋白酶活力显著降低,对照组胰蛋白酶活力显著

高于各替代组 ($P <$ 0.05);SM20 和 SM40 组淀粉酶活力与对照组无显著差异 ($P >$ 0.05),SM60 和 SM80 组显著降低 ($P <$ 0.05),各豆粕替代组脂肪酶活力与对照组无显著差异 ($P >$ 0.05)。与 SM60 组相比,HSM60 组幼鱼胃蛋白酶、胰蛋白酶和淀粉酶活力显著升高 ($P <$ 0.05),脂肪酶活力显著降低 ($P <$ 0.05)。

表 6 豆粕和酶解豆粕替代鱼粉对幼鱼胃肠道消化酶活性的影响

Tab.6 Effects of fishmeal replacement by SM and HSM on activities of digestive enzymes of juveniles

项目 Items	组别 Groups					
	SM0	SM20	SM40	SM60	SM80	HSM60
胃蛋白酶/(U/mg) Pepsin	8.18 ± 0.09 ^b	8.21 ± 0.13 ^b	8.54 ± 0.04 ^b	7.46 ± 0.40 ^a	7.74 ± 0.12 ^a	8.33 ± 0.05 ^b
胰蛋白酶/(U/mg) Trypsin	1 476.25 ± 28.68 ^d	1 338.16 ± 32.21 ^c	1 013.94 ± 17.58 ^b	982.85 ± 30.63 ^{ab}	869.77 ± 18.59 ^a	1 246.70 ± 28.88 ^c
脂肪酶/(U/g) Lipase	34.95 ± 2.00 ^b	37.92 ± 0.90 ^b	31.663 ± 3.39 ^b	33.02 ± 2.35 ^b	27.09 ± 2.38 ^b	16.70 ± 2.53 ^a
淀粉酶/(U/mg) Amylase	1.07 ± 0.06 ^c	1.05 ± 0.05 ^c	1.06 ± 0.03 ^c	0.89 ± 0.04 ^a	0.65 ± 0.03 ^a	1.06 ± 0.03 ^b

2.4 豆粕和酶解豆粕替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼肝脏代谢酶活力的影响

如表 7 所示,SM20 组 ALT 和 AST 活力与对照组无显著差异($P > 0.05$),当替代量达到 40% 及以上时显著降低($P < 0.05$),且替代量越高活力越低,SM20 和 SM40 组 G6PC 活力显著升高

($P < 0.05$),其他各组间差异不显著($P > 0.05$),各豆粕替代组 FAS 活力与对照组无显著差异($P > 0.05$)。与 SM60 组相比,HSM60 组 ALT、AST 活力显著升高($P < 0.05$),FAS 活力显著降低($P < 0.05$)。

表 7 豆粕和酶解豆粕替代鱼粉对幼鱼肝脏代谢酶活性的影响

Tab. 7 Effects of fishmeal replacement by SM and HSM on activities of metabolic enzymes of juveniles

项目 Items	组别 Groups					
	SM0	SM20	SM40	SM60	SM80	HSM60
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	394.44 ± 11.50 ^e	389.55 ± 10.34 ^c	340.37 ± 6.76 ^b	292.27 ± 9.67 ^a	268.35 ± 5.20 ^a	380.91 ± 6.81 ^c
谷草转氨酶/(U/L) AST	662.24 ± 18.45 ^d	679.42 ± 19.22 ^d	469.35 ± 20.05 ^b	359.37 ± 11.90 ^a	333.95 ± 11.85 ^a	633.50 ± 10.86 ^c
脂肪酸合成酶/(nmol/L) FAS	12.56 ± 0.05 ^b	12.44 ± 0.22 ^b	12.94 ± 0.24 ^b	12.28 ± 0.51 ^b	13.34 ± 0.40 ^b	11.43 ± 0.60 ^a
葡萄糖-6-磷酸酶/(U/L) G6PC	11.57 ± 0.10 ^a	12.31 ± 0.21 ^{bc}	12.61 ± 0.14 ^c	11.58 ± 0.06 ^a	11.44 ± 0.23 ^a	11.82 ± 0.30 ^{ab}

3 讨论

3.1 豆粕和酶解豆粕替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长和饲料利用的影响

豆粕作为一种来源广且产量高的蛋白源,在水产养殖中使用豆粕替代鱼粉的研究是当下的一大热点。其适宜的替代比例与养殖动物的种类、食性等多种因素有关。向泉等^[1]对齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)的研究发现,饲料中豆粕的替代比例不能超过 80%,当其替代比例为 34.25% ~ 45.46% 时齐口裂腹鱼的生长最佳;刘襄河等^[2]认为牙鲆(*Paralichthys olivaceu*)配合饲料中豆粕可替代 16% 的鱼粉,超过则会其生长;王赛等^[11]对褐点石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*)幼鱼的研究发现,投喂饵料的豆粕替代比例为 20% 时对其生长无影响;在对斜带石斑(*Epinephelus coioides*)的研究发现豆粕替代鱼粉不宜超过 30%^[12]。本试验中,豆粕替代 40% 以下时对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的生长和饲料利用无影响,当替代量高于 40% 时, P_{ER} 显著降低, F_{CR} 显著升高,这是因为豆粕中含有抗营养因子,添加量过高时降低了饲料效率,从而导致幼鱼对饲料的利用率降低;同时大量添加豆粕造成饲料的适口性变差,表现在本试验中幼鱼的摄食率逐渐降低,这两个原因导致了幼鱼的生长下降。本试验中 HSM60 组较 SM60 组 P_{ER} 显著提高, F_{CR} 显著降低,增重率提高了 10.31%。豆粕经酶解后,抗营养因子含量降低,HSM60 组的饲料效率高于 SM60 组,豆粕经风味酶的酶解降低了苦味,还可

以释放具有诱食作用的游离氨基酸^[13],改善了饲料的适口性从而提高了 HSM60 组幼鱼的摄食率;同时酶解后产生的小肽能够直接被动物完整吸收,参与机体生理活动和代谢调节,并且小肽独特的吸收机制能消除游离氨基酸的吸收竞争,加快蛋白质的合成,从而提高动物生产性能^[14]。

3.2 豆粕和酶解豆粕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

不同比例的豆粕替代鱼粉对试验鱼的体成分产生了不同的影响,其中全鱼粗蛋白含量随豆粕替代比例的上升而显著下降,肌肉的粗蛋白含量也在替代 80% 时显著降低,这与在中华鲟^[15](*Acipenser sinensis*)中用豆粕替代鱼粉的研究结果一致。可能是因为豆粕中胰蛋白酶抑制因子、植酸等的存在,导致珍珠龙胆石斑鱼幼鱼消化道蛋白酶活力降低,降低了幼鱼对蛋白质的消化吸收及在体内的沉积。肌肉粗脂肪含量在替代 80% 时显著降低,说明在饲料中添加过多的豆粕影响到了鱼体脂肪的分配模式,降低在肌肉中的脂肪分配,这一现象可能与豆粕中高含量的非淀粉多糖影响了幼鱼对外源脂肪的吸收转运有关^[16],阻断了脂肪向肌肉的转运。HSM60 组全鱼和肌肉粗脂肪含量较 SM60 组显著降低,同时肠道脂肪酶的活力显著降低,这与吴钊等在大黄鱼中的研究结果一致^[17],说明酶解豆粕能通过降低肠道脂肪酶的分泌来达到降脂效应。另外大豆肽还能通过调节机体代谢起到消耗脂肪,研究表明,大豆肽能有效刺激交感神经,阻止脂肪吸收和促进脂质分解代谢,此外大豆肽还能刺激产生热能的

褐色脂肪组织(BAT)的活性,提高甲状腺素在血液中的浓度,从而提高基础代谢水平,促进体内多余脂肪的消耗,以此来达到降脂的作用^[18]。HSM60组全鱼和肌肉粗灰分含量较SM60组显著升高,鱼体粗灰分含量与体内矿物质沉积密切相关,酶解产生的大豆肽能与金属元素结合生成螯合物,增加了钙、铁、铜、锌等金属离子的可溶性,促进机体对其吸收和转运速度,从而促进了鱼体对矿物质的吸收利用和鱼体粗灰分含量上升^[19]。

在本试验中通过添加外源氨基酸平衡了饲料的氨基酸水平,但各替代组肌肉中多种必需氨基酸和非必需氨基酸的含量仍显著低于对照组。研究表明在植物蛋白替代的饲料中添加晶体氨基酸,鱼类对晶体氨基酸的利用并不是很理想,分析原因可能是因为添加的晶体氨基酸可以被直接吸收,而饲料中的蛋白质不能被直接吸收,需要分解后才可被吸收利用,二者吸收不同步从而影响了蛋白质的利用^[20]。HSM60组氨基酸含量显著高于SM60组,研究发现小肽对氨基酸的吸收有一定的促进作用,小肽独特的吸收机制可使氨基酸被迅速吸收,同时小肽可提高二肽酶和氨基酸载体的数目,增加机体对氨基酸的吸收并积在肌肉中^[21]。

3.3 豆粕和酶解豆粕替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼胃肠道消化酶活性的影响

胃肠道消化酶活力的高低决定了鱼类对摄取的食物消化吸收能力,进而影响整体的生长发育进程。当豆粕替代20%和40%的鱼粉时,对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼的生长没有产生不良影响,胃蛋白酶活性有升高趋势,可能是由于植物蛋白中抗营养因子的刺激作用导致动物机体补偿性增强胃蛋白酶的分泌^[22]。但随着替代比例的升高,SM60和SM80组石斑鱼幼鱼的胃蛋白酶、肠道胰蛋白酶和淀粉酶的活性降低,这与在胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)中的研究结果一致^[23]。可能是因为高水平添加豆粕时也相应提高了抗营养因子的含量,如胰蛋白酶抑制剂能降低蛋白酶的活性从而导致蛋白的利用率降低^[24]。另外豆粕中植物凝聚素、皂角苷等成分易造成肠微绒毛受损,损害肠道健康进而降低消化酶活性^[25]。与SM60组相比,HSM60组胃蛋白酶、胰蛋白酶和淀粉酶活力显著升高,分析原因可能是因为豆

粕经酶解后,抗营养因子被部分或完全消除,投喂幼鱼后保证了其肠道健康,从而提高了消化酶活性^[26]。

3.4 豆粕和酶解豆粕替代鱼粉对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼肝脏代谢酶活性的影响

转氨酶的作用是在参与体内蛋白质的代谢,能够作为催化剂在氨基酸代谢过程中发挥作用。ALT和AST是机体最重要的两种转氨酶,其活力的高低一定程度上反映了机体对蛋白质的合成和分解能力。动物体内蛋白质的合成速度随肝脏AST活力的升高而加快,同时分解速度降低,便于氮的积累;而尿素的代谢速率与肝脏ALT活力相关,尿素的加速代谢会降低对机体的毒害^[27]。随着豆粕替代量的增加,珍珠龙胆石斑鱼肝脏AST和ALT的活力减弱,说明豆粕替代不利于鱼体蛋白质的沉积。当替代量大于60%时AST和ALT活力显著降低,可能是因为摄食量的降低导致营养物质摄入量的减少,减少了摄入的氨基酸的浓度,从而反馈调节转氨酶的表达量,还有就是高比例添加豆粕时,豆粕中皂甙和非淀粉多糖等对肝脏组织造成了损伤。HSM60组ALT和AST活力显著高于SM60组,说明相对于豆粕,酶解豆粕替代组幼鱼蛋白质代谢更加旺盛。FAS是影响机体脂肪沉积的关键酶,动物的体脂沉积所需要的脂肪酸大多是由FAS催化乙酰CoA和丙二酸单酰CoA合成的。本试验中,HSM60组全鱼和肌肉粗脂肪的含量显著低于SM60组,相应的FAS的活力也下降,由此可推测脂肪含量降低一部分原因可能是FAS活力受到抑制。HSM60组饲料中含有大量大豆肽,大豆肽能提高血液中甲状腺素的浓度,研究发现,FAS的表达调控受激素的影响,其中甲状腺素能在转录水平调控FAS的基因的表达,从而抑制其活性^[28]。另外,添加豆粕对糖代谢也有一定的影响,SM20和SM40组G6P活力显著升高,G6P是肝脏糖异生的两个关键酶之一,该酶的活力变化直接影响肝脏葡萄糖的输出。在添加低水平豆粕的情况下,鱼体可通过增强糖异生作用来提高葡萄糖的浓度。

参考文献:

- [1] 向泉,周兴华,陈建,等. 饲料中豆粕蛋白替代鱼粉蛋白对齐口裂腹鱼幼鱼生长性能、体成分及血液生化指标的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(5): 723-731.

- XIANG X, ZHOU X H, CHEN J, et al. Effect of dietary replacement of fish meal protein with soybean meal protein on the growth, body composition and hematology indices of *Schizothorax prenanti* [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(5): 723-731.
- [2] 刘襄河, 叶继丹, 王子甲, 等. 饲料中豆粕替代鱼粉比例对牙鲆生长性能及生化指标的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(3): 450-458.
- LIU X H, YE J D, WANG Z J, et al. Partial replacement of fish meal by soybean meal in diets for juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(3): 450-458.
- [3] 高荣兵, 庄平, 章龙珍, 等. 豆粕替代鱼粉对点篮子鱼生长性能的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1534-1540.
- GAO R B, ZHUANG P, ZHANG L Z, et al. Effects of replacement of fish meal by soybean meal on growth characters of Siganidae (*Siganus guttatus*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(10): 1534-1540.
- [4] REFSTIE S, KORSOEN Ø J, STOREBAKKEN T, et al. Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquaculture, 2000, 190(1/2): 49-63.
- [5] 刘勇, 冷向军, 李小勤, 等. 豆粕替代鱼粉对奥尼罗非鱼生长、表观消化率及血清非特异性免疫的影响[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(12): 95-100.
- LIU Y, LENG X J, LI X Q, et al. Effects of replacing fish meal with soybean meal on growth, digestibility and immunity of Tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(12): 95-100.
- [6] SONG Z D, LI H Y, WANG J Y, et al. Effects of fishmeal replacement with soy protein hydrolysates on growth performance, blood biochemistry, gastrointestinal digestion and muscle composition of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*) [J]. Aquaculture, 2014, 426-427: 96-104.
- [7] HRCKOVA M, RUSNAKOVA M, ZEMANOVIC J. Enzymatic hydrolysis of defatted soy flour by three different proteases and their effect on the functional properties of resulting protein hydrolysates [J]. Czech Journal of Food Sciences, 2002, 20(1): 7-14.
- [8] 宋志东, 王际英, 李培玉, 等. 酶解大豆蛋白替代鱼粉对星斑川鲷幼鱼生长、血液生化及体组成的影响[J]. 水生生物学报, 2016, 40(1): 165-172.
- SONG Z D, WANG J Y, LI P Y, et al. Effects of replacement fishmeal with soy protein hydrolysates on growth, blood biochemistry, body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus* pallas [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2016, 40(1): 165-172.
- [9] MAMAUAG R E P, KOSHIO S, ISHIKAWA M, et al. Soy peptide inclusion levels influence the growth performance, proteolytic enzyme activities, blood biochemical parameters and body composition of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. Aquaculture, 2011, 321(3/4): 252-258.
- [10] 魏佳丽. 磷虾粉在星斑川鲷和珍珠龙胆石斑鱼幼鱼饲料中的应用研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- WEI J L. Application effects of krill meal in feeds for juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*) and pearl gentian grouper (♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*) [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015.
- [11] 王赛, 陈刚, 张健东, 等. 不同蛋白质源部分替代鱼粉对褐点石斑鱼幼鱼生长性能、体组成以及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2012, 24(1): 160-167.
- WANG S, CHEN G, ZHANG J D, et al. Influence of partial replacement of fish meal by different protein sources on growth performance, body composition and serum biochemical indices of Juvenile *Epinephelus fuscoguttatus* [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2012, 24(1): 160-167.
- [12] 邹文超, 闫洋洋, 杨红玲, 等. 豆粕部分替代鱼粉对斜带石斑鱼生长、消化酶活力和免疫功能的影响[J]. 饲料研究, 2014, (19): 61-64.
- ZOU W C, YAN Y Y, YANG H L, et al. Effects of partial replacement of fish meal on growth, digestive enzyme activity and immune function of *Epinephelus coioides* [J]. Feed Research, 2014, (19): 61-64.
- [13] MA Y S, WANG L T, SUN X H, et al. Study on hydrolysis conditions of flavourzyme in soybean polypeptide alcalase hydrolysate [J]. Advanced Materials Research, 2013, 652-654: 435-438.
- [14] VENTE-SPREUWENBERG M A M, VERDONK J M A J, KONINKX J F J G, et al. Dietary protein hydrolysates vs. the intact proteins do not enhance mucosal integrity and growth performance in weaned piglets [J]. Livestock Production Science, 2014, 85(2/3): 151-164.
- [15] 庄平, 陈喜斌, 曾翠平, 等. 中华鲟幼鲟饲料中适宜动植物蛋白比的研究[J]. 动物营养学报, 2002, 14(1): 61-64.
- ZHUANG P, CHEN X B, ZENG C P, et al. Study on optimum dietary animal-plant protein ratio for Juvenile *Acipenser sinensis* [J]. Acta Zoonutritional Sinica, 2002, 14(1): 61-64.
- [16] SHENG H Q, HE X Q. Effects of dietary animal and plant protein ratios and energy levels on growth and body composition of bream (*Megalobrama skolkovii* Dybowski) fingerlings [J]. Aquaculture, 1994, 127(2/3): 189-196.
- [17] 吴钊. 不同工艺的豆粕部分替代鱼粉在大黄鱼饲料中的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
- WU Z. Research on the partial replacement of fish meal by different processing soybean meal in the diet of *Pseudosciaena crocea* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.
- [18] 侯丽. 大豆多肽与运动医学研究进展[J]. 甘肃医药, 2012, 31(12): 907-909.

- HOU L. Research progress of soybean peptide and sports medicine[J]. Gansu Medical Journal, 2012, 31(12): 907-909.
- [19] IWASAKI H, EMI M, EZURA Y, et al. Association of a Trp16Ser variation in the gonadotropin releasing hormone signal peptide with bone mineral density, revealed by SNP-dependent PCR typing[J]. Bone, 2003, 32(2): 185-190.
- [20] COWEY C B. Protein and amino acid requirements: a critique of methods[J]. Journal of Applied Ichthyology, 1995, 11(3/4): 199-204.
- [21] BAMBA T, FUSE K, OBATA H, et al. Effects of small peptides as intraluminal substrates on transport carriers for amino acids and peptides [J]. Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition, 1993, 15(1): 33-42.
- [22] 张俊智, 吕富, 郇志利, 等. 膨化豆粕替代不同比例鱼粉对黄鳝生长性能、体成分、肠道消化酶活力及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(11): 3567-3576.
- ZHANG J Z, LÜ F, HUAN Z L, et al. Effects of fish meal replacement by different proportions of extruded soybean meal on growth performance, body composition, intestinal digestive enzyme activities and serum biochemical indices of rice filed eel (*Monopterus albus*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(11): 3567-3576.
- [23] YU D H, GONG S Y, YUAN Y C, et al. Effects of replacing fish meal with soybean meal on growth, body composition and digestive enzyme activities of juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus*[J]. Aquaculture Nutrition, 2013, 19(1): 84-90.
- [24] GATLIN D M III, BARROWS F T, BROWN P, et al. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review [J]. Aquaculture Research, 2007, 38(6): 551-579.
- [25] KROGDAHL A, BAKKE-MCKELLEP A M, BAEVERFJORD G. Effects of graded levels of standard soybean meal on intestinal structure, mucosal enzyme activities, and pancreatic response in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) [J]. Aquaculture Nutrition, 2003, 9(6): 361-371.
- [26] 郑裴, 吕峰, 徐玉霞, 等. 植物乳杆菌发酵豆粕及其抗营养因子的研究[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(10): 63-64, 137.
- ZHENG P, LÜ F, XU Y X, et al. Research of soybean meal lactic by acid bacteria fermentation and anti-nutritional factor [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2009, 15(10): 63-64, 137.
- [27] YAN Q, XIE S, ZHU X, et al. Dietary methionine requirement for juvenile rockfish, *Sebastes schlegeli* [J]. Aquaculture Nutrition, 2007, 13(3): 163-169.
- [28] 马慧敏, 刘昌奇. 脂肪酸合成酶(FAS)基因的研究进展以及日粮成分对其表达的调控[J]. 饲料工业, 2007, 28(22): 59-64.
- MA H M, LIU C Q. Advance in the gene of fatty acid synthetase and the regulation of diet nutrients on its expression [J]. Feed Industry, 2007, 28(22): 59-64.

Research on partial replacement of fishmeal by two kinds of soybean meal in the feed of juvenile ♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*

LI Xueli^{1,2}, WANG Jiyang¹, SONG Zhidong¹, LI Baoshan¹, TAN Qing^{1,2}, SUN Yongzhi¹, ZHANG Limin¹
(1. Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Key Laboratory for Shandong Marine Ecological Restoration, Yantai 264006, Shandong, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: An 8-week feeding experiment was conducted to evaluate the effects of fishmeal replacement by soybean meal (SM) and hydrolyzed soybean meal (HSM) on growth performance, body composition, digestion and metabolism of juvenile hybrid grouper (♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*). Six isonitrogenous and isoenergetic diets were formulated by replacing 0, 20%, 40%, 60%, 80% of fishmeal protein with soybean meal (SM0 to SM80) and 60% of fishmeal protein with hydrolyzed soybean meal (HSM60) respectively. A total of 540 juveniles (47.18 ± 0.45 g) were randomly assigned into 6 groups with 3 replicates of 30 fish. Results showed as follows: (1) There was no significant influence on growth performance and feed utilization of juveniles in SM20 and SM40 group and the weight gain rate (W_{GR}), specific growth rate (S_{GR}), protein efficiency ratio (P_{ER}) and daily feed intake (D_{FI}) of the juveniles were significantly decreased in SM60 and SM80 group ($P < 0.05$). (2) With the increasing of dietary soybean meal content, the crude protein content in whole body decreased and the values of groups SM20-80 were significantly lower than that of the control group ($P < 0.05$), and the crude ash content in whole body was significantly lower in group SM40-80, and the moisture content in muscle significantly increased while crude protein and crude lipid content significantly decreased in group SM80 ($P < 0.05$). Dietary inclusion of SM (SM20 to SM80) significantly reduced several amino acid contents of muscle such as Met, Leu and Lys and so on ($P < 0.05$). (3) Dietary inclusion of SM (SM20 to SM80) significantly reduced intestinal trypsin activity ($P < 0.05$), and pepsin and intestinal amylase activities decreased significantly in SM60 and SM80 groups ($P < 0.05$). (4) The activities of alanine transaminase (ALT) and aspartate transaminase (AST) decreased with the increasing of dietary soybean meal content and were significantly lower in groups SM40-80 ($P < 0.05$), and the activity of Glucose-6-phosphatase (G6PC) was significantly higher in SM20 and SM40 groups. (5) Compared with SM60 group, the W_{GR} , S_{GR} and D_{FI} of juveniles in HSM60 group were significantly increased and F_{CR} was significantly decreased, and the crude lipid content of whole body and muscle decreased significantly while crude ash content increased significantly. The activities of pepsin, trypsin and amylase were significantly increased ($P < 0.05$), and the activities of AST and ALT were significantly increased and the activity of FAS was significantly decreased ($P < 0.05$). In conclusion, soybean meal can replace 40% of the fish meal and higher replacement level will lower the growth of juveniles and hydrolyzed soybean meal can replace 60% of the fish meal without reducing the growth of juveniles.

Key words: ♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*; soybean meal; hydrolyzed soybean meal; fishmeal replacement; growth; body composition; digestive enzymes; metabolic enzymes