

## 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

刘襄河<sup>1,2</sup>, 叶继丹<sup>1,2\*</sup>, 王子甲<sup>1,2</sup>, 王琨<sup>1</sup>, 孔江红<sup>1</sup>

(1.集美大学水产学院,福建 厦门 361021;

2.厦门市饲料检测与安全评价重点实验室,福建 厦门 361021)

**摘要:**以鱼粉和豆粕分别为主要动物性和植物性蛋白源,研究饲料中不同豆粕替代鱼粉比例对牙鲆幼鱼生长性能和生化指标的影响。设计4:1、3:1、2:1和1:1四种不同动植物蛋白比的等氮等脂饲料配方,按配方制备试验饲料,分别表示为D1、D2、D3和D4。牙鲆幼鱼随机分配到12个设有循环水系统的玻璃钢桶内(900 L),每3桶鱼饲喂一种饲料,每天投喂饲料2次,每次达到表观饱食,饲喂期为56 d。以增重率(WGR)、饵料系数(FCR)、特定生长率(SGR)、蛋白质效率(PER)、肝体指数(HSI)、肥满度(CF)、鱼体成分和饲料成本为依据,综合评价饲料中不同比例的豆粕替代鱼粉比例对牙鲆的饲养效果。通过测定尿素氮(BUN)、谷丙转氨酶(GPT)、谷草转氨酶(GOT)、游离脂肪酸(FFA)、总蛋白(TP)、甘油三酯(TG)、胆固醇(CHO)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)及低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)等生化指标,研究饲料中不同豆粕替代鱼粉比例对牙鲆蛋白质代谢和脂肪代谢的影响。随豆粕比例的增加,WGR、PER和SGR逐渐降低,FCR逐渐增加,当饲料中豆粕比例在24%以上时差异显著( $P < 0.05$ );HSI逐渐增加,且D1组显著低于其他组( $P < 0.05$ );CF也逐渐降低( $P > 0.05$ )。鱼体水分含量随饲料中豆粕比例的增加而逐渐增加,而粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量则逐渐降低,其中,D3、D4组粗脂肪含量显著低于D1组( $P < 0.05$ )。随饲料中豆粕比例的增加,牙鲆血清BUN和肝脏TP含量呈逐渐升高( $P > 0.05$ ),而血清GOT活力、血清GPT活力和肝脏FFA含量呈逐渐降低( $P > 0.05$ );牙鲆血清TP和HDL-C含量随豆粕替代鱼粉比例的增加而降低( $P < 0.05$ ),血清TG和肝脏TG含量则升高,且D3、D4组显著高于D1、D2组( $P < 0.05$ );D1组牙鲆血清CHO、LDL-C和肝脏CHO含量显著低于其他组( $P < 0.05$ )。试验结果表明,饲料中较高比例的豆粕替代鱼粉会降低牙鲆生长性能,并干扰其蛋白质和脂肪代谢。在本试验条件下综合考虑牙鲆生长指标、蛋白质和脂肪代谢指标、鱼体成分和饲料成本等因素,要获得最佳的养殖效益,牙鲆饲料中豆粕添加量以16%为宜。

**关键词:**牙鲆;豆粕;鱼粉;生长性能;生化指标

**中图分类号:**S 963.3

**文献标识码:**A

蛋白质是鱼类生长发育的物质基础,主要来源于动植物性蛋白原料。饲料蛋白占整个鱼类饲料成本的比重也最大。鱼粉的氨基酸种类齐全,比例合理,营养价值高,是水产饲料首选的蛋白原料,但其供需矛盾随着水产养殖业的迅速发展进一步加剧,价格昂贵,导致水产饲料价格居高不下。鱼粉中磷的含量高,通常为1.5%~2.5%,

但利用率低,其表观消化率在20%~70%<sup>[1]</sup>,饲料中过多地使用鱼粉,会导致大量磷不被利用而随粪便排入水体,造成养殖水环境污染<sup>[2]</sup>,进而加大病害发生风险和药物使用频率,降低养殖水产品安全性。从经济、资源和环境等角度来考虑,可以预期,在未来的水产养殖中,鱼粉的使用量将逐渐受到限制。植物性蛋白虽然普遍存在蛋白质

品质不佳、适口性较差及抗营养因子较多等缺点<sup>[3]</sup>,但来源广泛,资源量丰富,原料价格低廉,因此,合理开发和利用植物性蛋白源<sup>[4-7]</sup>,寻找适宜的鱼粉蛋白替代品,降低水产饲料中鱼粉使用比例,提高养殖经济效益,长期以来一直是国内外水产饲料领域研究的热点。

牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)是我国重要的海水养殖种类,需要较高的饲料蛋白质水平,且对动物性蛋白的依赖性强,目前牙鲆商用饲料中鱼粉的使用比例占到 50% 以上,为降低饲料成本,饲料中还加入了一定比例的植物性蛋白原料。本试验用豆粕替代鱼粉,设计了 4 种不同动植物蛋白比的饲料,通过牙鲆饲喂效果评价及蛋白质与脂肪代谢指标变化的研究,探索饲料中豆粕替代鱼粉的比例与牙鲆生长性能之间的关系,明确适宜

的植物蛋白(豆粕)使用比例,为配制高效、优质、价廉的牙鲆配合饲料提供理论依据和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验饲料的配制

以鱼粉为主要动物性蛋白源,豆粕为主要植物性蛋白源,通过二者比例相对变动来改变动植物蛋白比例,设计 4 种不同动植物蛋白比的等氮等脂饲料配方(D1、D2、D3、D4),动植物蛋白比分别为 4:1、3:1、2:1、1:1。饲料配方及饲料常规成分见表 1。根据饲料配方将所有饲料原料用粉碎机进行粉碎后 98% 以上过 60 目筛网,用实验用双螺杆制粒机(CD4 × 1TS 多功能催化剂成形机)制成 2.5 mm 的硬颗粒饲料,自然风干后装于 -20 °C 冰箱保存,备用。

表 1 饲料组成及营养水平

Tab.1 The ingredients and composition of the experimental diets

饲料组成(%) ingredients	D1	D2	D3	D4	原料价格 <sup>1</sup> (元) raw material price (yuan)
鱼粉 fish meal	55.8	52.2	46.4	33.9	7 700
豆粕 soybean meal <sup>2</sup>	11.1	16	24	41.2	3 000
α-淀粉 α-potato starch	5	5	5	5	5 500
虾糠粉 shrimp head meal	2	2	2	2	3 000
啤酒酵母 brewer yeast	3	3	3	3	5000
玉米蛋白粉 corn gluten meal	2	2	2	2	4 600
大豆磷脂 soybean phospholipid	2	2	2	2	5 000
鱿鱼内脏粉 squid visceral meal	1	1	1	1	6 200
血粉 blood meal	1	1	1	1	3 500
面粉 wheat flour	13.6	12	9.3	3.6	1 900
甜菜碱 betaine	0.1	0.1	0.1	0.1	13 000
氯化胆碱 choline chloride	0.2	0.2	0.2	0.2	5 800
鱼油 fish oil	1	1.3	1.8	2.8	5 000
多维 vitamin premix <sup>3</sup>	0.2	0.2	0.2	0.2	55 000
多矿 mineral premix <sup>4</sup>	2	2	2	2	3 500
<b>营养水平 nutrient level</b>					
干物质 dry matter	90.25	90.56	90.65	90.47	
粗蛋白 crude protein	47.04	47.03	47.12	47.07	
粗脂肪 crude lipid	9.01	9.05	9.06	9.03	
粗灰分 crude ash	9.35	9.21	8.99	8.51	
动植物蛋白比 A/P ratio	4.04	3.01	2.00	1.01	

注:1. 中国饲料原料网提供的参考价。2. 用 130 °C 热处理 1 h。3,4. 多维、多矿由厦门海康生物技术有限公司提供。表中数据均为风干基础。

Notes:1. The reference price was provided by Chinese Feed and Raw Materials Network. 2. By heat treatment for 1 hour at 130 °C. 3,4. Vitamin premix, mineral premix were provided by Xia Men Hai Kang Biotechnology Co., Ltd. Values are expressed as fed basis.

### 1.2 试验鱼与饲养管理

试验鱼为福建诏安海康水产养殖技术有限公司水产基地人工培育的牙鲆幼鱼,平均体重为(13.22 ± 0.02) g,体长为(9.0 ± 0.5) cm。牙鲆鱼苗运到集美大学海水养殖试验场,放入暂养池

驯养 15 d 后,用浓度为 150 mL/m<sup>3</sup> 的甲醛溶液消毒,选取体格健壮、规格基本一致的个体,随机放入 12 个玻璃钢桶内(900 L),每组 3 桶,每桶 20 尾,称初始体重后开始试验。

每天定时投喂两次,投喂时间分别为 8:00,

17:00,投喂率为2%~3%,达到表观饱食,无剩余残饵,每两周称重后调整投喂量。每天观察牙鲆健康状况,定期清洗养殖桶,用氟苯尼考进行水体消毒。试验用水为一级沙滤海水,光照为自然光源,用增氧机昼夜持续增氧,每次投喂时关闭循环水系统,0.5 h后吸出残饵和粪便,并换水约1/4~1/3,以保持池水清新。试验期间水温12~18℃,pH(8.0±0.3),溶氧(6.87±1.30) mg/L。试验为期56 d。

### 1.3 样品采集和分析

试验结束后,禁食24 h,每桶鱼沥干鱼体表面水分整体称重后,随机取5尾鱼为一个样本,再次称重后绞碎,于65℃烘干,用微型粉碎机粉碎,室内回潮5 d后称重,装入密封袋中于-20℃冰箱中冷冻保存,用于全鱼常规成分分析。另随机从每桶随机取5尾牙鲆,用5 mg/L丁香酚进行麻醉处理,待鱼侧翻即可,测体长、体重,然后用5 mL一次性无菌注射器从尾静脉采血,置于4℃冰箱过夜,以3 000 r/min于4℃下离心10 min,分离血清,收集的血清以养殖桶为单位进行合并,保存于-80℃冰箱待测;抽完血后,将鱼解剖分离出肝脏,分别称重,肝脏按桶合并为一个样本,并于-80℃下保存待测。肝脏按质量体积比(W/V, 1/10)加入预冷0.2 mol/L的磷酸盐缓冲液(4℃, pH 7.4),用高速组织匀浆机在冰浴中匀浆,并以3 000 r/min,4℃离心20 min,取上清液保存于-20℃冰箱中备用。

血清中尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)采用Fearon反应法,血清谷丙转氨酶(glutamic-pyruvic transaminase, GPT)和谷草转氨酶(glutamic-oxalacetic transaminase, GOT)采用赖氏法,肝匀浆上清液中游离脂肪酸(free fatty acids, FFA)采用铜试剂法,总蛋白(total protein, TP)采用考马斯亮蓝染色法,以上指标用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定。血清和肝匀浆液中甘油三酯(triglyceride, TG)采用GPO-PAP法,血清和肝匀浆液中胆固醇(cholesterol, CHO)采用CHOD-PAP法,血清高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)采用磷钨酸沉淀法,血清低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)采用聚乙烯硫酸盐(PVS)一步沉淀法,以上指标用北京中生生物工程高技术公司生产的试剂盒测定。

具体操作按照试剂盒说明书要求进行。

全鱼风干样品和饲料样品中常规营养成分的测定:粗蛋白含量测定采用凯氏定氮法(总氮×6.25),粗脂肪含量测定采用索氏抽提法(乙醚为抽提液),水分测定采用105℃烘箱干燥恒重法,粗灰分含量测定采用马福炉灼烧法(550℃)。分别按下式计算增重率(weight gain rate, WGR)、饵料系数(feed conversion rate, FCR)、特定生长率(specific growth rate, SGR)、蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER)、摄食率(feed rate, FR)、肝体指数(hepatosomatic indexes, HSI)、肥满度(condition factor, CF):

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

$$\text{饵料系数(FCR)} = FI / (W_t - W_0)$$

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

$$\text{蛋白质效率(PER, \%)} = 100 \times (W_t - W_0) / W_p$$

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

$$\text{肝体指数(HIS, \%)} = 100 \times W_l / W_b$$

$$\text{肥满度(CF, \%)} = 100 \times W_b / L^3$$

式中, $W_0$ (g)为平均每尾鱼初始体重(initial average weight, LAW); $W_t$ (g)为平均每尾鱼终末体重(final average weight, FAW); $FI$ (g)为平均每尾鱼摄食饲料总量(风干样重); $t$ (d)为饲喂天数; $W_p$ (g)为平均每尾鱼摄入蛋白质总量; $W_l$ (g)为每尾鱼肝脏重量; $W_b$ (g)为每尾鱼终末体重, $L$ (cm)为每尾鱼终末体长。

### 1.4 数据处理

采用SPSS 13.0对试验数据做单因素方差分析(One-way ANOVA),差异显著时用LSD法进行多重比较。所有数据以平均值±标准差(mean±SD)表示。

## 2 结果

### 2.1 饲料中豆粕替代鱼粉比例对牙鲆生长性能和增重成本的影响

各试验组牙鲆WGR、SGR、PER、FCR、FR、CF和HSI测定结果见表2。随饲料中豆粕替代鱼粉比例的增加,WGR逐渐降低,D2、D3和D4组WGR分别比D1组降低了3.01%、8.28%和18.85%,且D3组显著低于D1组,D4组显著低于D1、D2和D3组( $P < 0.05$ )。SGR同WGR的趋势一致。PER也随豆粕替代鱼粉比例的增加

而降低,其中,D2、D3 和 D4 组分别比 D1 组显著降低了 4.46%、7.61% 和 17.37%,D4 组显著低于 D2 和 D3 组( $P < 0.05$ ),但 D2 与 D3 组之间无显著差异( $P > 0.05$ )。FCR 随饲料中豆粕替代鱼粉比例的增加而逐渐升高,D2、D3 和 D4 组分别比 D1 组增加了 1.02%、6.14% 和 18.42%,其中,D3 组显著高于 D1 组,D4 组显著高于 D1、D2 和 D3 组( $P < 0.05$ ),但 D1 与 D2 组、D2 与 D3 组之

间差异均不显著( $P > 0.05$ )。D2、D3 和 D4 组的牙鲆 HSI 分别比 D1 组显著增加了 16.00%、12.00%、25.71% ( $P < 0.05$ ),但 D2、D3 和 D4 组之间无显著差异( $P > 0.05$ )。各饲料组牙鲆的 FR 和 CF 之间差异不显著( $P > 0.05$ )。

牙鲆幼鱼增重成本核算结果表明,D3 组增重成本最低,其次为 D2 组,D4 组最高,但各组之间差异不显著( $P > 0.05$ ),表 1,表 2。

表 2 饲料中豆粕替代鱼粉的不同比例对牙鲆生长性能和增重成本的影响  
Tab.2 The effects of partial replacement of fish meal by soybean meal in diets on growth performance and cost of weight gain for juvenile Japanese flounder

指标 parameters	D1	D2	D3	D4
初均重(g) IAW <sup>1</sup>	13.13 ± 0.02	13.15 ± 0.03	13.16 ± 0.01	13.13 ± 0.01
末均重(g) FAW <sup>1</sup>	33.37 ± 0.95 <sup>a</sup>	32.78 ± 0.43 <sup>ab</sup>	31.76 ± 0.66 <sup>b</sup>	29.55 ± 0.13 <sup>c</sup>
增重率(%) WGR <sup>1</sup>	154.09 ± 6.98 <sup>a</sup>	149.38 ± 3.88 <sup>ab</sup>	141.33 ± 4.79 <sup>b</sup>	125.04 ± 1.01 <sup>c</sup>
饲料系数 FCR <sup>1</sup>	1.14 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.16 ± 0.03 <sup>ab</sup>	1.21 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.35 ± 0.02 <sup>c</sup>
特定生长率(%) SGR <sup>1</sup>	1.90 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.86 ± 0.03 <sup>ab</sup>	1.80 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.66 ± 0.01 <sup>c</sup>
蛋白质效率(%) PER <sup>1</sup>	190.44 ± 2.18 <sup>a</sup>	181.94 ± 4.16 <sup>b</sup>	175.94 ± 4.30 <sup>b</sup>	157.37 ± 1.79 <sup>c</sup>
摄食率(%) FR <sup>1</sup>	1.77 ± 0.02	1.78 ± 0.01	1.79 ± 0.02	1.78 ± 0.03
肥满度(%) CF <sup>2</sup>	1.02 ± 0.11	1.00 ± 0.10	0.99 ± 0.05	0.99 ± 0.08
肝体指数(%) HSI <sup>2</sup>	1.75 ± 0.11 <sup>a</sup>	2.03 ± 0.18 <sup>b</sup>	1.96 ± 0.31 <sup>b</sup>	2.20 ± 0.09 <sup>b</sup>
饲料单价(元/kg) price of feed	5.92	5.77	5.54	5.04
增重成本(元/kg) cost of weight gain	6.74 ± 0.24	6.73 ± 0.15	6.70 ± 0.16	6.81 ± 0.08

注:1. 为每个饲料组 3 个养殖桶测定数据的平均值 ± 标准差。2. 为每个饲料组 15 尾鱼测定数据的平均值 ± 标准差。同行数值后小写字母不相同表示组间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes:1. Data from each dietary treatment are mean ± S D of three replicates.2. Data from each dietary treatment are mean ± S D of 15 fish per treatment. Values with different letters in the same row show significant differences ( $P < 0.05$ ).

## 2.2 饲料中豆粕替代鱼粉比例对牙鲆体成分的影响

鱼体粗脂肪含量随饲料中豆粕替代鱼粉比例的增加而降低(表 3),D3、D4 组分别比 D1 组显著降低了 6.00%、8.67% ( $P < 0.05$ ),但 D1 与

D2 组,D2、D3 与 D4 组之间差异不显著( $P > 0.05$ )。鱼体水分含量随饲料中豆粕替代鱼粉比例的增加而逐渐增加,而粗蛋白含量和粗灰分含量则逐渐降低,但各组之间差异不显著( $P > 0.05$ )。

表 3 饲料中豆粕替代鱼粉的不同比例对牙鲆体成分的影响  
Tab.3 The effects of partial replacement of fish meal by soybean meal in diets on whole body composition of juvenile Japanese flounder

指标 parameters	D1	D2	D3	D4
水分含量(%) moisture	74.09 ± 0.76	74.19 ± 0.38	74.22 ± 0.49	74.35 ± 0.19
粗蛋白(%) crude protein	15.22 ± 0.25	15.17 ± 0.38	15.12 ± 0.41	15.05 ± 0.29
粗脂肪(%) crude lipid	2.43 ± 0.13 <sup>a</sup>	2.39 ± 0.17 <sup>ab</sup>	2.37 ± 0.19 <sup>b</sup>	2.32 ± 0.06 <sup>b</sup>
粗灰分(%) crude ash	4.08 ± 0.15	4.06 ± 0.31	4.02 ± 0.28	3.99 ± 0.16

注:表中数值为每个饲料组 3 个养殖桶测定数据的平均值 ± 标准差,粗蛋白、粗脂肪和灰分均为湿体重基础。同行数值后小写字母不相同表示组间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes:Data from each dietary treatment are mean ± S D of three replicates, and crude protein, lipid and ash are expressed as wet weight basis. Values with different letters in the same row show significant differences ( $P < 0.05$ ).

## 2.3 饲料中豆粕替代鱼粉比例对牙鲆蛋白质代谢指标的影响

各试验组对牙鲆蛋白质代谢指标测定结果见表 4。血清 BUN 含量和肝脏 TP 含量随饲料中豆

粕替代鱼粉比例的增加而逐渐增加,而血清 GOT 活力和血清 GPT 活力则逐渐降低,但各组之间差异不显著( $P > 0.05$ )。血清 TP 含量随饲料中豆粕替代鱼粉比例的增加而呈明显降低趋势,其中,

D4组比D1、D2组显著降低7.93%、14.46% ( $P < 0.05$ )。

表4 饲料中豆粕替代鱼粉的不同比例对牙鲆蛋白质代谢的影响  
Tab.4 The effects of partial replacement of fish meal by soybean meal in diets on protein metabolism of juvenile Japanese flounder

组织 tissues	指标 parameters	D1	D2	D3	D4
血清 serum	BUN (mmol/L)	9.88 ± 1.12	11.21 ± 2.74	11.87 ± 3.02	12.32 ± 1.47
	GPT (U/L)	6.09 ± 0.37	6.02 ± 0.12	5.68 ± 1.09	5.74 ± 1.31
	GOT (U/L)	8.04 ± 1.32	7.92 ± 1.42	7.33 ± 0.75	7.08 ± 1.23
	TP (g/L)	88.60 ± 8.31 <sup>a</sup>	82.89 ± 6.55 <sup>a</sup>	81.57 ± 7.23 <sup>ab</sup>	75.79 ± 3.86 <sup>b</sup>
肝脏 liver	TP (g/L)	88.84 ± 7.92	89.99 ± 13.88	91.12 ± 11.23	96.55 ± 12.47

注:表中数值为每个饲料组3个养殖桶测定数据的平均值 ± 标准差。同行数值后小写字母不相同表示组间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Data from each dietary treatment are mean ± S. D. of three replicates. Values with different letters in the same row show significant differences ( $P < 0.05$ ).

#### 2.4 饲料中豆粕替代鱼粉比例对牙鲆脂肪代谢指标的影响

各组牙鲆脂肪代谢指标的测定结果见表5。血清CHO、TG、LDL-C含量随饲料中豆粕替代鱼粉比例的增加而呈显著升高趋势,其中,D2、D3、D4组血清CHO含量分别比D1组显著增加了40.35%、55.14%、37.34% ( $P < 0.05$ );D3、D4的血清TG含量显著高于D1、D2 ( $P < 0.05$ );D2、D3、D4组血清LDL-C含量分别比D1组显著增加了30.74%、51.94%、36.04% ( $P < 0.05$ )。与LDL-C的变化模式相反,血清中HDL-C含量则随饲料中豆粕替代鱼粉比例的增加而呈显著降低

趋势,D2、D3、D4组分别比D1组显著降低了11.49%、18.24%、33.11%,且D4组含量最低,显著低于D2、D3组 ( $P < 0.05$ )。

肝脏中CHO、TG含量变化趋势与血清CHO、TG含量变化趋势一致,其中,D2、D3、D4组肝脏中CHO含量分别比D1组显著增加了19.83%、20.66%、52.07% ( $P < 0.05$ );D4组肝脏TG含量最高,且显著高于D1、D2和D3 ( $P < 0.05$ )。肝脏中FFA含量随饲料中豆粕替代鱼粉比例的增加而逐渐降低,D2、D3、D4组比D1组分别降低了9.94%、14.08%、29.97%,但差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表5 饲料中豆粕替代鱼粉的不同比例对牙鲆脂肪代谢的影响  
Tab.5 The effects of partial replacement of fish meal by soybean meal in diets on lipid metabolism of juvenile Japanese flounder

组织 tissues	指标 parameters	D1	D2	D3	D4
血清 serum	CHO (mmol/L)	3.99 ± 0.14 <sup>a</sup>	5.60 ± 0.72 <sup>b</sup>	6.19 ± 0.85 <sup>b</sup>	5.48 ± 0.56 <sup>b</sup>
	TG (mmol/L)	4.44 ± 0.40 <sup>a</sup>	4.63 ± 0.52 <sup>a</sup>	6.80 ± 0.56 <sup>b</sup>	7.91 ± 0.53 <sup>c</sup>
	HDL-C (mmol/L)	1.48 ± 0.13 <sup>a</sup>	1.31 ± 0.25 <sup>b</sup>	1.21 ± 0.23 <sup>b</sup>	0.99 ± 0.07 <sup>c</sup>
	LDL-C (mmol/L)	2.83 ± 0.22 <sup>a</sup>	3.70 ± 1.01 <sup>b</sup>	4.30 ± 1.13 <sup>b</sup>	3.85 ± 0.58 <sup>b</sup>
	LDL-C/HDL-C	1.92 ± 0.31 <sup>a</sup>	2.91 ± 1.01 <sup>ab</sup>	3.54 ± 0.63 <sup>b</sup>	3.87 ± 0.47 <sup>b</sup>
肝脏 liver	CHO (mmol/L)	1.21 ± 0.28 <sup>a</sup>	1.45 ± 0.42 <sup>b</sup>	1.46 ± 0.16 <sup>b</sup>	1.84 ± 0.19 <sup>b</sup>
	TG (mmol/L)	1.96 ± 0.18 <sup>a</sup>	2.39 ± 0.25 <sup>ab</sup>	2.74 ± 0.24 <sup>b</sup>	3.63 ± 0.58 <sup>c</sup>
	FFA (μmol/g prot)	38.34 ± 9.27	34.53 ± 12.35	32.94 ± 2.60	26.85 ± 5.59

注:表中数值为每个饲料组3个养殖桶测定数据的平均值 ± 标准差。同行数值后小写字母不相同表示组间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Data from each dietary treatment are mean ± SD of three replicates. Values with different letters in the same row show significant differences ( $P < 0.05$ ).

### 3 讨论

#### 3.1 饲料中豆粕替代鱼粉比例与水产动物生长的关系

在鱼虾饲料中用植物蛋白源部分或全部替代鱼粉已成为饲料研究的热点。本试验中,饲料中动植物蛋白比为(4~3):1时牙鲆生长性能较佳,

表明牙鲆饲料中需要较高比例鱼粉,该值与真鲷 (*Pagrus major*)<sup>[8]</sup>、点带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*)<sup>[9]</sup>的接近。大量研究表明,不同养殖鱼类对饲料中的动植物蛋白比的要求存在一定差异,这种差异可能与养殖种类和鱼类食性等因素有关<sup>[8-14]</sup>,即肉食性鱼类较之草食性和杂食性鱼类需要较高的饲料动植物蛋白比,海水鱼类较之

淡水鱼类需要较高的饲料动植物蛋白比。

以鱼粉和豆粕的相对变化比例调整饲料动植物蛋白比,结果表明,随豆粕替代鱼粉比例的增加,牙鲆增重率、蛋白质效率、特定生长率和饲料转化效率随之下降,这种情况在其他鱼类中也同样存在<sup>[15]</sup>。较高豆粕替代水平的饲料显著降低了大鳞大麻哈鱼<sup>[16]</sup> (*Oncorhynchus tshawytscha*) 和鮠状黄姑鱼<sup>[17]</sup> (*Nibea mûchthioides*) 的摄食和生长。原因可能是豆粕中存在抗营养抑制因子,限制性必需氨基酸缺乏,适口性不佳等<sup>[18]</sup>,使得饲料中较高的豆粕比例降低了鱼类对饲料蛋白质的消化力。为了减少豆粕中的抗营养因子,我们在制备饲料时参考 Peres 等<sup>[19]</sup> 的方法,事先对其进行 1 h 的干热处理,以尽可能消除某些热敏抗营养因子(如胰蛋白酶抑制剂、凝集素和抗维生素因子等)。从本试验结果可以看出,4 种试验饲料均不影响牙鲆的摄食。豆粕中赖氨酸和蛋氨酸的含量偏低,且蛋氨酸的消化率也较低,因此,替代 60% 鱼粉蛋白时鮠状黄姑鱼生长性能降低<sup>[17]</sup>。用豆粕等植物性蛋白源高比例替代鱼粉,同时补充赖氨酸和蛋氨酸,可以达到与高鱼粉饲料相似的饲喂效果<sup>[20-21]</sup>。

幼鱼的消化系统发育不及成鱼完善,对各种环境因子尤其是食物因子变化的反应比较敏感,当饲料中植物蛋白增加时,可能会对消化系统的发育产生一定影响,肝体指数会发生较大变化。本试验中随饲料中豆粕替代鱼粉比例的增加,肝体指数有逐渐增加的趋势,与庄平等<sup>[12]</sup> 和 Kaushik 等<sup>[22]</sup> 的研究结果一致。这可能是饲料中植物性蛋白原料比例高时,某些热稳定抗营养因子(如植酸、皂甙、低聚糖类等)的存在,在消化时引起消化酶的分泌增加<sup>[3]</sup>,加重了肝脏代谢负荷,从而引起肝脏代偿性增大,关于这一点,还需要进一步的研究予以明确。牙鲆的肥满度不受饲料中豆粕替代鱼粉比例变化的影响,与 Zhou 等<sup>[23]</sup> 和向泉等<sup>[10]</sup> 的研究结果一致。

### 3.2 饲料中豆粕替代鱼粉比例对牙鲆营养成分的影响

本试验结果发现,随豆粕替代鱼粉比例的增加,鱼体水分含量逐渐升高,而体蛋白、脂肪和灰分含量则逐渐降低,与 Chou 等<sup>[6]</sup> 和庄平等<sup>[12]</sup> 分别用豆粕替代鱼粉饲喂军曹鱼 (*Rachycentron caradum*) 和中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 的结果一

致。本研究中饲料中豆粕添加比例超过 16% 时牙鲆体脂含量显著降低,表明饲料中高比例添加豆粕会降低牙鲆体脂的沉积,这与贾艳菊等<sup>[24]</sup> 和 Elangovan 等<sup>[25]</sup> 分别用豆粕替代鱼粉饲养中华鳖稚鳖 (*Pelodiscus sinensis*) 和金箔鱼 (*Barbodes altus*) 的试验结果一致。进一步的研究表明,豆粕替代鱼粉后欧洲舌齿鲈 (*Dicentrarchus labrax*) 肝脏中脂肪合成酶的活性降低<sup>[26]</sup>,豆粕中的非淀粉多糖也能够明显降低大西洋鲑对脂肪的消化<sup>[27]</sup>,进而降低了鱼类对饲料中脂肪的消化吸收能力,这与本实验中观察到的现象吻合,即较高比例豆粕添加组牙鲆体脂沉积也较低。但有研究指出,体脂含量随豆粕比例的增加而提高<sup>[28]</sup>。

### 3.3 饲料中豆粕替代鱼粉比例对牙鲆蛋白质代谢的影响

血清 TP 主要反应肝脏合成功能和肾脏病变造成蛋白质丢失的状况,肝脏 TP 主要反应肝脏合成功能的状况;转氨酶是体内氨基酸代谢过程中必不可少的“催化剂”,参与蛋白质代谢,在正常状态下,GPT 活性升高表明氨基酸代谢旺盛,合成代谢加强,蛋白质分解下降,有利于氮在体内的蓄积,而 GOT 活性升高,说明尿素生成加快,减少氨基酸代谢产物对机体的毒害,因此,GPT、GOT 活性高低反映蛋白质合成和分解代谢的状况<sup>[29]</sup>;血清 BUN 是动物蛋白质代谢产物,可作为反映动物体内蛋白质代谢和日粮氨基酸平衡状况的较为准确的指标;血中 TP 水平与血中 GPT、GOT 活性具有良好的平行性。本研究发现,随着豆粕替代鱼粉比例的增加,血清 BUN 含量和肝脏 TP 含量逐渐升高,而血清 TP 含量、GPT 和 GOT 活性则逐渐降低,与林仕梅等<sup>[30]</sup> 对中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 的研究结果一致,说明当饲料中植物性蛋白原料比例的增加会减弱蛋白质周转代谢朝有利的方向进行,过多的氨基酸被氧化分解,从而降低了蛋白质的消化吸收,最终导致生长速度下降。

### 3.4 饲料中豆粕替代鱼粉比例对牙鲆脂肪代谢的影响

TG、CHO 含量反映脂类的吸收状况,HDL-C、LDL-C 和 FFA 含量反映脂类在体内的分解与转运以及肝脏脂肪代谢的状况<sup>[31]</sup>。FFA 是由 TG 分解产生的,其含量和流量受到激素、代谢和神经信号等因素的调控<sup>[32]</sup>。FFA 浓度的升高可使线

粒体进入解偶联呼吸状态,底物氧化耗能增加,最终导致脂肪分解代谢增强<sup>[33]</sup>。动物体内脂肪转运的主要形式为极低密度脂蛋白,主要由载脂蛋白和脂类物质两部分组成,肝脏为其主要合成场所。肝脏合成的脂肪进入血液,通过血液中脂蛋白将脂类物质转运到肌肉和脂肪组织以满足动物基础代谢和生长发育的需要,其脂肪代谢状态直接影响血脂水平。本试验结果表明,随着饲料中豆粕替代鱼粉比例的增加,牙鲆血清 LDL-C 含量逐渐升高,血清 HDL-C 含量则逐渐降低,而且当饲料中豆粕添加比例高于 16% (D3 和 D4 组)时,血清 TG、LDL-C 和肝脏 TG 含量显著升高,而 HDL-C 含量显著降低。本研究中,随着豆粕替代鱼粉比例的增加,血清和肝脏中 CHO、TG 含量逐渐升高,肝脏 FFA 含量逐渐降低,与 Kikuchi<sup>[4]</sup>、Zhou 等<sup>[23]</sup>和 Lim 等<sup>[34]</sup>的研究结果一致。相应地,牙鲆体脂沉积在较高比例鱼粉替代组(D3、D4)也明显地低于较低比例鱼粉替代组(D1、D2)。这表明饲料中豆粕高比例替代鱼粉会对牙鲆脂类代谢产生不利的影响,干扰了脂类在牙鲆体内消化、吸收和沉积。另外,肝脏 FFA 随豆粕替代鱼粉比例的增加而逐渐降低,也可能与肝脏代偿性增大有关,引起脂肪酶分泌减少,以致降低了中性脂肪的分解代谢。

#### 4 结论

随着饲料中豆粕替代鱼粉比例的增加,牙鲆的生长性能逐渐降低,体脂含量随之下降,蛋白质及脂肪代谢朝着不利的方向发展。在本实验条件下根据牙鲆生长性能指标、鱼体成分、蛋白质和脂肪代谢指标和饲料成本等因素进行综合考虑,认为牙鲆饲料中豆粕添加量以 16% 为宜。

#### 参考文献:

- [1] Vielma J, Lall S P, Koskela J, et al. Influence of low dietary cholecalciferol intake on phosphorus and trace element metabolism by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1999, 122A (1): 117 - 125.
- [2] 杨勇,解绶启,刘建康. 鱼粉在水产饲料中的应用研究[J]. 水产学报, 2004, 28(5): 573 - 578.
- [3] Francis G, Makkar H P S, Becker K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish [J]. Aquaculture, 2001, 199: 197 - 227.
- [4] Kikuchi K. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys noliivaceus*) [J]. Aquaculture, 1999, 179: 3 - 11.
- [5] Goda A M, El-Haroun E R, Kabir M A. Effect of totally or partially replacing fish meal by alternative protein sources on growth of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) reared in concrete tanks [J]. Aquaculture Research, 2007, 38 (3): 279 - 287.
- [6] Chou R L, Her B Y, Su M S, et al. Substituting fish meal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron canadum* [J]. Aquaculture, 2004, 229: 325 - 333.
- [7] 周歧存,麦康森,刘永坚,等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展[J]. 水产学报, 2005, 29(3): 404 - 410.
- [8] Biswas A K, Kaku H, Ji S C, et al. Use of soybean meal and phytase for partial replacement of fish meal in the diet of red sea bream, *Pagrus major* [J]. Aquaculture, 2007, 267: 284 - 291.
- [9] 朱庆国. 不同动植物蛋白比配合饲料对点带石斑鱼生长的影响[J]. 福建水产, 2007, 26(3): 1 - 5.
- [10] 向泉,陈运生,聂科,等. 饲料中适宜动植物蛋白比对淡水白鲢生长的影响[J]. 饲料工业, 2004, 25(10): 52 - 54.
- [11] 李智强,陆红法,方美娟. 饲料中动植物蛋白配比水平对花鲢生长的影响[J]. 水利渔业, 2008, 28(1): 68 - 69.
- [12] 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.
- [13] 江仁党,林建斌,黄种持,等. 不同动植物蛋白比饲料对虹鳟生长的影响[J]. 淡水渔业, 2004, 34(3): 41 - 43.
- [14] 夏维福,韩庆,罗玉双,等. 不同动植物蛋白比对黄颡鱼生长的影响[J]. 水利渔业, 2003, 23(3): 45 - 46.
- [15] Luo Z, Liu Y J, Mai K S, et al. Partial replacement of fish meal by soybean protein in diets for grouper *Epinephelus coioides* juveniles [J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(2): 175 - 181.
- [16] Bureau D P, Harris A M, Young Cho C. The effects of purified alcohol extracts from soy products on feed intake and growth of chinook salmon

- (*Oncorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1998, 161: 27-43.
- [17] Wang Y, Kong L J, Li C, *et al.* Effect of replacing fish meal with soybean meal on growth, feed utilization and carcass composition of cuneate drum (*Nibea mitchthioides*) [J]. *Aquaculture*, 2006, 261: 1307-1313.
- [18] Abery N W, Gunasekera R M, Silva de S S. Growth and nutrient utilization of Murray cod *Maccullochella peelii* (Mitchell) fingerlings fed diets with varying levels of soybean meal and blood meal [J]. *Aquaculture Research*, 2002, 33(4): 279-289.
- [19] Peres H, Lim C, Klesius P H. Nutritional value of heat-treated soybean meal for channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Aquaculture*, 2003, 225: 67-82.
- [20] Rodehutsord M, Borchert F, Gregus Z, *et al.* Availability and utilisation of free lysine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): 2. Comparison of L-lysine·HCl and L-lysine sulphate [J]. *Aquaculture*, 2000, 187: 177-183.
- [21] Alam M S, Teshima S, Koshio S, *et al.* Supplemental effects of coated methionine and/or lysine to soy protein isolate diet for juvenile kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus* [J]. *Aquaculture*, 2005, 248: 13-19.
- [22] Kaushik S J, Coves D, Dutto G, *et al.* Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax* [J]. *Aquaculture*, 2004, 230: 391-404.
- [23] Zhou Q C, Mai K S, Tan B P, *et al.* Partial replacement of fishmeal by soybean meal in diets for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2005, 11(3): 175-182.
- [24] 贾艳菊, 杨振才. 膨化饲料动植物蛋白比对中华鳖稚鳖生长特性的影响[J]. *水生生物学报*, 2007, 31(4): 570-575.
- [25] Elangovan A, Shim K F. The influence of replacing fish meal partially in the diet with soybean meal on growth and body composition of juvenile tin foil barb (*Barbodes altus*) [J]. *Aquaculture*, 2000, 189: 133-144.
- [26] Dias J, Alvarez M J, Arzel J, *et al.* Dietary protein source affects lipid metabolism in the European seabass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2005, 142(1): 19-31.
- [27] Leenhouders J I, Adjei-Boateng S D, Verreth J A J, *et al.* Digesta viscosity, nutrient digestibility and organ weights in African catfish (*Clarias gariepinus*) fed diets supplemented with different levels of a soluble non-starch polysaccharide [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, 12(2): 111-116.
- [28] Floreto E A T, Bayer R C, Brown P B. The effects of soybean-based diets, with and without amino acid supplementation, on growth and biochemical composition of juvenile American lobster, *Homarus americanus* [J]. *Aquaculture*, 2000, 189: 211-235.
- [29] Yan Q, Xie S, Zhu X, *et al.* Dietary methionine requirement for juvenile rockfish, *Sebastes schlegeli* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2007, 13(3): 163-169.
- [30] 林仕梅, 罗莉, 叶元土, 等. 饲料蛋白能量比、非植酸磷水平对中华绒螯蟹氮、磷排泄和转氨酶活力的影响[J]. *中国水产科学*, 2001, 8(4): 62-66.
- [31] 贺喜, 戴求仲, 张石蕊, 等. 日粮共轭亚油酸对两个品种肉仔鸡生长性能及脂类代谢的影响[J]. *动物营养学报*, 2007, 19(5): 581-587.
- [32] Frayn K N. Non-esterified fatty acid metabolism and postprandial lipaemia [J]. *Atherosclerosis*, 1998, 141(Suppl. 1): 41-46.
- [33] Saleh J, Sniderman A D, Cianflone K. Regulation of plasma fatty acid metabolism [J]. *Clinica Chimica Acta*, 1999, 286: 163-180.
- [34] Lim S R, Choi S M, Wang X J, *et al.* Effects of dehulled soybean meal as a fish meal replacer in diets for fingerling and growing Korean rockfish *Sebastes schlegeli* [J]. *Aquaculture*, 2004, 231: 457-468.



## Partial replacement of fish meal by soybean meal in diets for juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*)

LIU Xiang-he<sup>1,2</sup>, YE Ji-dan<sup>1,2\*</sup>, WANG Zi-jia<sup>1,2</sup>, WANG Kun<sup>1</sup>, KONG Jiang-hong<sup>1</sup>

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Xiamen Key Laboratory for Feed Quality Testing and Safety Evaluation, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** The utilization potential of soybean meal as an alternative protein source for fish meal in practical diets for the juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) was assessed in the present study. Four isonitrogenous and isolipidic diets were formulated to contain 47% protein and 9% lipid. The animal-plant protein ratios (A/P ratio) in the diets, representing 4:1 (D1), 3:1 (D2), 2:1 (D3) and 1:1 (D4), respectively, were calculated by adjustment of supplementing proportion of fish meal (FM) and soybean meal (SBM). Two hundred and forty Japanese flounder with an initial average body weight of (13.22 ± 0.02) g were randomly assigned into twelve 900-liter tanks equipped with a flow-through seawater system. Each diet was randomly allocated to triplicate groups of twenty fish each. The fish were fed the test diets twice a day at a daily feeding rate of 2%–3% body weight for 56 days. At the end of the feeding trial, the fish were weighed by batch for the determination of weight gain rate (WGR), feed conversion ratio (FCR) and protein efficiency ratio (PER), and then five fish from each tank were randomly sampled and pooled by tank for the analysis of proximate composition in the whole body. Another five fish from each tank were randomly selected to collect serum and liver samples for the analysis of blood urea nitrogen (BUN), glutamic-pyruvic transaminase (GPT), glutamic-oxalacetic transaminase (GOT), free fatty acids (FFA), total protein (TP), triglyceride (TG), cholesterol (CHO), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C), and low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C). WGR, PER, and SGR of Japanese flounder decreased, while FCR increased with increasing SBM ratio in diets, and significant differences for the parameters were found when SBM ratio in diets increased to upon 24% ( $P < 0.05$ ); HSI followed the same pattern as WGR, and the values in D1 group were significantly lower than those of other groups ( $P < 0.05$ ). The values of CF were not different among dietary treatments ( $P > 0.05$ ). There were no significant differences in whole body moisture, crude protein, and ash content of the fish among dietary treatments, however, crude lipid content decreased as SBM ratio increased, and the values of D3 and D4 groups were significantly lower than that of D1 group. There was a tendency of marginal increased BUN content in serum and TP content in liver of the Japanese flounder with increased SBM ratio in diets, whereas the opposite trend is true for GOT, GPT activity in serum, and FFA content in liver ( $P > 0.05$ ); TP and HDL-C content in serum ( $P < 0.05$ ). Serum TG and liver TG content increased significantly while the A/P ratio decreased to below 2:1 ( $P < 0.05$ ); serum CHO, serum LDL-C and liver CHO content of D1 group were significantly lower than those of other groups ( $P < 0.05$ ). These results indicate that higher ratio replacement FM by SBM (D3 and D4) in diets could adversely affect the growth and protein and lipid metabolism of Japanese flounder, and the optimal SBM ratio in diets was 16% based on the results of growth performance, body composition, protein and fat metabolism indices, and cost of weight gain in the present study.

**Key words:** *Paralichthys olivaceus*; soybean meal; fish meal; growth performance; biochemical indices

**Corresponding author:** YE Ji-dan. E-mail: yjdwk@sina.com