

## 饲料中蛋白脂肪比对斑点叉尾鲷幼鱼生长、 消化酶活性及肌肉成分的影响

蒋广震, 刘文斌\*, 王煜衡, 李向飞, 庄 苏  
(南京农业大学动物科技学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 探讨了不同的蛋白和脂肪水平对斑点叉尾鲷生长与品质等的影响, 试验设计以豆粕调节蛋白含量, 混合油脂(鱼油:豆油=1:1)调节脂肪含量, 并以 $\alpha$ -淀粉和次粉为填充物, 共配制3个蛋白(P)水平(28%, 32%, 36%), 每一蛋白水平设3个脂肪(L)水平(5.0%, 7.5%, 10.0%), 共9种饲料, 分别为P28L10, P32L10, P36L10, P28L7.5, P32L7.5, P36L7.5, P28L5, P32L5和P36L5, 每组4重复, 每重复80尾鱼 $[(1.5 \pm 0.02) \text{g}]$ 。饲养60 d后, 进行生产性能测定, 并采集肌肉等组织样本, 测定相关指标。结果表明: 饲料蛋白脂肪比对斑点叉尾鲷幼鱼生长有显著影响( $P < 0.05$ )。其中P36L7.5组增重率(WGR)、饲料效率(FCR)最高, 与P36L10和P32L7.5组差异不显著( $P > 0.05$ ), 但显著高于其它组( $P < 0.05$ )。P36L10组试验鱼肥满度(CF)最高, 与P32L7.5和P36L7.5组差异不显著( $P > 0.05$ ), 但显著高于其他组( $P < 0.05$ )。鱼体内脏比(VBR)、腹脂率(MSI)随脂肪水平降低而显著降低( $P < 0.05$ )。试验各组肌肉水分含量差异不显著( $P > 0.05$ ), 肌肉脂肪含量随饲料中脂肪和蛋白水平的降低而显著降低( $P < 0.05$ )。肝胰脏脂肪酶、胃蛋白酶活力随着饲料脂肪水平的提高而提高( $P < 0.05$ ), 但其他消化酶活力差异不显著( $P > 0.05$ )。由此可见, 饲料中7.5%的脂肪, 32%的蛋白质, 蛋能比22.4 mg/kJ可满足斑点叉尾鲷幼鱼的生长需要, 同时又能保证其正常生理机能, 建议可在实际生产配方中作参考值。

**关键词:** 斑点叉尾鲷; 蛋白脂肪比; 生长; 消化酶活性; 肌肉成分

**中图分类号:** S 963

**文献标识码:** A

斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)自1984年引入我国, 1987年在我国人工繁殖和养殖成功后, 经过二十余年的推广养殖, 至2006年我国斑点叉尾鲷年产量达14万吨, 具有明显的经济优势及产业发展优势, 农业部已将斑点叉尾鲷列为3个淡水鱼类品种产业化开发对象之一, 且为中国主要出口创汇水产品种之一。但是近年来, 由于抗生素残留<sup>[1]</sup>、肉质品质低<sup>[2]</sup>等原因, 导致出口滞留, 给国内养殖户造成巨大损失。国内关于斑点叉尾鲷营养需要量的研究报道较少, 缺乏各营养素需要量的基础数据, 而可供参考的国外数据<sup>[3]</sup>发表较早且不全面, 其中对脂肪需要量也没

有规定, 且斑点叉尾鲷对蛋白脂肪的适宜比例的研究较少<sup>[4-5]</sup>。另外, 中国的水产养殖模式和饲料原料品种与欧美国家有所不同, 欧美现有斑点叉尾鲷的营养标准无法适应中国目前的养殖现状。国内常使用鲤、鲫或其他鲇科鱼类饲料饲喂斑点叉尾鲷, 而鲤鲫等对营养物质的需要量与斑点叉尾鲷差异很大<sup>[6-10]</sup>。而且营养素的不平衡导致了鱼体生长迟缓、免疫力下降、肌肉脂肪含量高, 这些都影响了斑点叉尾鲷出口上市品质。

本试验在室外网箱养殖条件下, 在适宜的蛋能比范围内, 设计饲料中蛋白和脂肪的不同水平, 考察其对斑点叉尾鲷幼鱼生长、体组成和消化酶

收稿日期: 2010-03-08 修回日期: 2010-03-29

资助项目: 江苏省水产三项工程项目“无公害斑点叉尾鲷饲料开发”(PJ2007-13); 苏北科技发展专项资金项目“无公害环保型斑点叉尾鲷饲料产业化及示范”(BN2008208)

通讯作者: 刘文斌, Tel(Fax): 025-84395382, E-mail: wbliu@njau.edu.cn

活力的影响,以确定适宜的蛋白和脂肪需要量,为我国无公害斑点叉尾鲷饲料的开发提供基础数据。

## 1 材料与试验方法

### 1.1 试验设计与试验饲料

试验设3个蛋白水平(28%,32%,36%),3个脂肪水平(5.0%,7.5%,10.0%),共9组,分

别为P28L10,P32L10,P36L10,P28L7.5,P32L7.5,P36L7.5,P28L5,P32L5和P36L5,每组设4个重复。试验饲料配方使用植物蛋白调节蛋白含量,混合油脂(鱼油:豆油=1:1)调节脂肪含量,并以 $\alpha$ -淀粉为填充物(表1)。各组饲料逐级混合均匀,再加水拌匀,用QRLS-150 II型电动绞肉机制成颗粒,25℃风干后置于4℃冰箱内储藏备用。

表1 试验饲料配方及营养组成  
Tab.1 Formulation and nutrition levels of the diets for channel catfish

饲料 diet	P28L10	P32L10	P36L10	P28L7.5	P32L7.5	P36L7.5	P28L5	P32L5	P36L5
原料(% )raw material									
豆粕 soybean meal	19.00	28.00	39.50	19.00	27.00	39.00	19.00	27.00	38.00
鱼粉 fish meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
$\alpha$ -淀粉 $\alpha$ -starch	14.00	6.30	5.00	16.50	6.20	6.60	19.00	9.10	6.60
次粉 wheat middlings	12.60	11.30	1.00	12.60	15.00	2.50	12.60	14.60	6.00
混合油 <sup>1</sup> mixed oils	9.00	9.00	9.10	6.50	6.40	6.50	4.00	3.90	4.00
菜粕 rapeseed meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
棉粕 cottonseed meal	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
磷酸二氢钙 dicalcium phosphate	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
预混料 <sup>5</sup> premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
沸石粉 zeolite	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
食盐 salt	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
总计 total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养成分(%干物质) proximate analyses (% dry matter)									
粗蛋白 crude protein	28.02	32.05	36.03	28.02	32.09	36.00	28.02	32.03	36.01
粗脂肪 lipid	10.00	10.06	10.06	7.51	7.54	7.50	5.03	5.05	5.08
灰分 ash	4.06	4.47	4.84	4.06	4.49	4.84	4.06	4.48	4.86
粗纤维 crude fiber	4.82	5.14	5.30	4.82	5.20	5.32	4.82	5.19	5.38
总能 <sup>2</sup> (kJ/g) GE	15.52	15.65	15.73	14.98	15.10	15.19	14.48	14.56	14.69
可消化蛋白 <sup>4</sup> DP	25.22	28.85	32.43	25.22	28.88	32.40	25.22	28.83	32.41
可消化能 <sup>3</sup> (kJ/g) DE	14.60	14.85	15.10	14.10	14.31	14.60	13.56	13.81	14.06
蛋能比 (mg/kJ) protein/GE	19.19	21.58	23.85	19.87	22.43	24.65	20.67	23.20	25.61
蛋白脂肪比 (mg/mg) protein/lipid	2.80	3.19	3.58	3.73	4.26	4.80	5.57	6.34	7.09

注:1. 混合油为1:1的鱼油和豆油;2. 根据蛋白质、脂肪、碳水化合物的能量(17.0,39.0,17.0 kJ/g)计算能量;3. 根据蛋白质、脂肪、碳水化合物的能量(21.2,33.6,12.9 kJ/g)计算能量;4. 可消化蛋白=CP $\times$ 0.9;5. 每千克预混料包括CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 2.0 g, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 25 g, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 22 g, MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O 7 g, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 0.04 g, KI 0.026 g, CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.1 g, VA 900 000 IU, VD 200 000 IU, VE 4 500 mg, VK<sub>3</sub> 220 mg, VB<sub>1</sub> 320 mg, VB<sub>2</sub> 1 090 mg, VB<sub>5</sub> 2 000 mg, VB<sub>6</sub> 500 mg, VB<sub>12</sub> 1.6 mg, VC 10 000 mg, 胆碱 40 000 mg, 泛酸 1 000 mg, 叶酸 165 mg。

Notes:1. 1:1 mixture of fish oil and soybean oil; 2. Dietary gross energy (GE) levels were calculated using extra organ fuel values of 17.0, 39.0 and 17.0 kJ/g for protein, lipid and carbohydrate, respectively; 3. Dietary digestible energy (DE) levels were calculated using extra organ fuel values of 21.2, 33.6 and 12.9 kJ/g for protein, lipid and carbohydrate, respectively; 4. DP = CP  $\times$  0.9; 5. Premix provided per kg CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 2.0 g, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 25 g, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 22 g, MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O 7 g, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 0.04 g, KI 0.026 g, CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.1 g, VA 900 000 IU, VD 200 000 IU, VE 4 500 mg, VK<sub>3</sub> 220 mg, VB<sub>1</sub> 320 mg, VB<sub>2</sub> 1 090 mg, VB<sub>5</sub> 2 000 mg, VB<sub>6</sub> 500 mg, VB<sub>12</sub> 1.6 mg, VC 10 000 mg, Choline 40 000 mg, Pantothenate 1 000 mg, Folic acid 165 mg.

### 1.2 试验用鱼与饲养管理

试验鱼购自江苏省泰兴市斑点叉尾鲷良种场。先于水泥池中暂养(暂养期按2.5%投喂商品鲷鱼

料),驯化10 d后,选取体格健康、无畸形、体重(1.5 $\pm$ 0.02) g的斑点叉尾鲷鱼苗2 880尾,随机投入36个网箱(规格1.0 m $\times$ 1.0 m $\times$ 1.0 m),

每箱 80 尾。日投饵 3 次,投喂适量,使其自由采食,30 min 后观察记录吃食情况,投饵 1 h 后将残饵捞出烘干扣除。饲养期为 60 d,每天记录水温、溶解氧,夜间定时充氧保证水体溶解氧稳定。

网箱置于(6 m × 40 m)室外水泥池,水深(1.50 ± 0.05) m,网箱内水深 0.7 ~ 0.8 m。养殖水为地下水,经自然曝气 20 d 后放养试验鱼。每 20 天称重、换水、更换网箱,保持水质清新、溶氧充足。水温(30 ± 3) °C,水体 pH 7.0 ~ 7.5,透明度 50 cm 以上,网箱内溶解氧 3.8 mg/L 以上。

### 1.3 指标测定与方法

**生产性能** 试验各组鱼每 20 天称重一次,计算其增重率(weight growth rate, WGR)、饲料系数(feed conversion ratios, FCR)。试验鱼养殖 60 d,停饲 12 h,测总重、尾数、肥满度(condition factor, CF);每箱另取 3 尾,解剖取腹脂及全部内脏称重,计算腹脂率(mesenteric lipid-somatic index, MSI)和脏体比(viscerasomatic index, VSI)。

增重率(WGR) = (末均重 - 初均重) / 初均重 × 100%

饲料效率(FE) = 100 × (末体重 - 初体重) / 投饵量

蛋白存留率(NR) = [(末体重 × 试验结束时肌肉蛋白含量) - (初体重 × 试验开始时肌肉蛋白含量)] × 100 / (饲料蛋白含量 × 饲料摄入量)

肥满度(CF) = 鱼体重 / 鱼体长<sup>3</sup>

腹脂率(MSI) = 腹脂重 / 全鱼重 × 100%

脏体比(VSI) = 内脏重 / 全鱼重 × 100%

**样品采集** 60 d 养殖结束后,停饲 12 h,每箱取 3 尾鱼,于冰盘上解剖,取肠道、胃、肝胰脏、背肌(鳃盖后端、侧线上方肌肉,去皮),用 4 °C 预冷后的生理盐水冲洗,然后用滤纸吸干水分, - 20 °C 冷冻保存,备用。

**肌肉组成** 测定肌肉营养组成:水分、粗蛋白和粗脂肪,测定方法参照文献[11];羟脯氨酸含量采用碱水解法测定(使用南京建成公司试剂盒);胶原蛋白含量用羟脯氨酸含量计算得到:

肌肉中胶原蛋白含量(μg/g) = 肌肉中羟脯氨酸含量(μg/g) / 0.134 × 10<sup>3</sup>

**消化酶活性测定** 总蛋白酶采用福林 - 酚法<sup>[12]</sup>(单位定义:在 27 °C 条件下,每分钟水解酪素产生相当于 1 μg 酪氨酸所需的酶量,规定为一

个酶活力单位)。脂肪酶(单位定义:在 27 °C 条件下,每克组织蛋白在本反应体系中与底物反应 1 min,每消耗 1 μmol 底物为 1 个酶活力单位)、淀粉酶(单位定义:每毫克蛋白在 27 °C 与底物作用 30 min,水解 10 mg 淀粉定义为 1 个淀粉酶活力单位)采用南京建成公司试剂盒测定。

### 1.4 数据统计与分析

试验数据采用 SPSS 16.0 软件分析,以日粮蛋白脂肪比水平为主要影响因子,进行二元方差分析(two-way ANOVA),采用 S-N-K 检验。数据差异显著时采用 Duncan 氏检验进行多重比较,标注各组差异性。结果用平均值 ± 标准差(means ± SD)表示。

## 2 结果

### 2.1 饲料蛋白脂肪比对斑点叉尾鲷生产性能的影响

饲养 60 d,各组斑点叉尾鲷均无死亡。实验结束时剖解可见,试验各组斑点叉尾鲷无病变。从表 2 可以看出,饲料蛋白脂肪比对斑点叉尾鲷 WGR、FCR、FW、VBR、MSI 和 CF 均有显著影响( $P < 0.05$ )。

比较各组 WGR、FCR、FW 数据可以发现,36% 粗蛋白含量组 WGR、FCR、FW 显著高于 32% 和 28% 组,7.5% 粗脂肪含量组的 WGR、FCR、FW 显著高于 5% 和 10% 的组;比较各组差异可以发现,P36L7.5 组 WGR、FCR、FW 最高,与 P36L10 和 P32L7.5 组差异不显著( $P > 0.05$ ),而与其他各组差异显著( $P < 0.05$ );P36L10 和 P32L7.5 组 WGR、FCR、FW 显著高于 P28L10 和 P32L10 组( $P < 0.05$ )。

比较各组 VBR、MSI、CF 数据可以发现,P28L10、P32L10、和 P36L7.5 组 VBR 显著高于 P28L5、P32L5、P36L5 组( $P < 0.05$ ),其他各组差异不显著( $P > 0.05$ );P36L5 组 MSI 显著低于其他各组( $P < 0.05$ ),P32L5 组 MSI 显著低于 P28L10、P32L10、P36L10、P36L7.5 组( $P < 0.05$ ),其中以 P32L10 组最大,而与 P28L10、P36L10、P32L7.5、P36L7.5 差异不显著( $P > 0.05$ );P36L10、P36L7.5 组 CF 最大,显著高于 P28L10、P28L7.5、P28L5、P32L5、P36L5 组( $P < 0.05$ ),而与 P32L10、P32L7.5 组差异不显著( $P > 0.05$ ),P28L10、P32L5 组显著低于 P32L10、P36L10、P32L7.5、P36L7.5 组( $P < 0.05$ )。

表 2 饲料蛋白脂肪比对斑点叉尾鲷生长性能的影响  
 Tab.2 Final weight (FW), weight gain rate (WGR), feed conversion ratio (FCR), nitrogen retention (NR), the viscera/body ratio (VBR), mesenteric lipid-somatic index (MSI) and condition factor (CF) in fish fed with different diets

组 group	60 d 末体重 60 d FW	1~60 d 增重率 1~60 d WGR	饲料系数 FCR	蛋白存留率 NR	内脏比 VBR	腹脂率 MSI	肥满度 CF
P28L10	13.0 ± 1.0 <sup>b</sup>	767.3 ± 65.5 <sup>c</sup>	2.2 ± 0.2 <sup>a</sup>	28.5 ± 1.3	13.3 ± 0.9 <sup>a</sup>	4.8 ± 0.4 <sup>ab</sup>	1.49 ± 0.01 <sup>c</sup>
P32L10	13.9 ± 1.4 <sup>b</sup>	823.4 ± 92.0 <sup>c</sup>	2.0 ± 0.2 <sup>ab</sup>	28.4 ± 1.6	13.4 ± 0.9 <sup>a</sup>	5.2 ± 0.9 <sup>a</sup>	1.56 ± 0.02 <sup>ab</sup>
P36L10	16.6 ± 1.7 <sup>ab</sup>	1009.2 ± 110.3 <sup>ab</sup>	1.6 ± 0.2 <sup>de</sup>	28.5 ± 1.6	12.9 ± 0.6 <sup>ab</sup>	4.6 ± 0.6 <sup>ab</sup>	1.59 ± 0.03 <sup>a</sup>
P28L7.5	14.1 ± 1.4 <sup>ab</sup>	841.9 ± 90.9 <sup>bc</sup>	2.0 ± 0.2 <sup>abc</sup>	31.8 ± 1.8	12.1 ± 1.0 <sup>abc</sup>	3.8 ± 0.8 <sup>bc</sup>	1.50 ± 0.05 <sup>bc</sup>
P32L7.5	16.9 ± 3.1 <sup>ab</sup>	1024.3 ± 208.4 <sup>ab</sup>	1.7 ± 0.3 <sup>cde</sup>	34.3 ± 3.6	12.1 ± 0.8 <sup>abc</sup>	4.5 ± 0.2 <sup>abc</sup>	1.53 ± 0.05 <sup>ab</sup>
P36L7.5	18.0 ± 2.1 <sup>a</sup>	1096.4 ± 137.1 <sup>a</sup>	1.5 ± 0.2 <sup>c</sup>	32.6 ± 2.1	13.4 ± 1.6 <sup>a</sup>	4.9 ± 0.6 <sup>ab</sup>	1.57 ± 0.05 <sup>a</sup>
P28L5.0	14.3 ± 0.5 <sup>ab</sup>	850.6 ± 35.7 <sup>bc</sup>	1.9 ± 0.1 <sup>abcd</sup>	33.8 ± 0.7	11.7 ± 0.8 <sup>bc</sup>	3.9 ± 1.0 <sup>bc</sup>	1.54 ± 0.01 <sup>bc</sup>
P32L5.0	14.6 ± 0.8 <sup>ab</sup>	872.8 ± 55.6 <sup>bc</sup>	1.9 ± 0.1 <sup>abcd</sup>	31.6 ± 1.0	11.5 ± 0.9 <sup>bc</sup>	3.5 ± 0.6 <sup>c</sup>	1.49 ± 0.03 <sup>c</sup>
P36L5.0	15.2 ± 1.7 <sup>ab</sup>	911.1 ± 115.5 <sup>bc</sup>	1.8 ± 0.2 <sup>bcd</sup>	26.9 ± 1.8	10.8 ± 0.6 <sup>c</sup>	2.4 ± 0.5 <sup>d</sup>	1.56 ± 0.06 <sup>bc</sup>
<i>P</i> 值 <i>P</i> value							
脂肪 lipid	0.025	0.025	0.028	0.682	0.000	1.000	0.036
蛋白 protein	0.002	0.002	0.001	0.234	0.999	0.245	0.005
脂肪 * 蛋白 lipid * protein	0.288	0.288	0.228	0.370	0.150	0.833	0.052

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 样本数。  $n = 4$ ; 内脏比和腹脂率:  $n = 12$ 。 肥满度:  $n = 120$ 。

Notes: Means with different superscripts within the same column are significantly different ( $P < 0.05$ ),  $n = 4$ ; VBR and MSI.  $n = 12$ ; CF.  $n = 120$ .

## 2.2 饲料蛋白脂肪比对消化酶活力的影响

饲料中蛋白脂肪比对淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶活力的影响如下表 3 所示。胃淀粉酶、脂肪酶、肠脂肪酶、蛋白酶, 肝胰脏蛋白酶的活力差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 而肝胰脏中的脂肪酶、胃中的蛋白酶

活力有显著差异 ( $P < 0.05$ )。肝胰脏脂肪酶随着饲料粗脂肪含量的增加而增加, 且 10% 和 7.5% 的组脂肪酶活力显著高于粗脂肪含量 5% 的组; 胃中蛋白酶的活力主要受饲料粗脂肪的影响, 10% 粗脂肪组显著高于粗脂肪 5% 和 7.5% 的组。

表 3 斑点叉尾鲷淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶  
 Tab.3 Amylase, lipase and protease of fish fed with different diets

组 group	胃淀粉酶 (U/dl) stomach amylase	脂肪酶 (U/g prot) lipase			蛋白酶 (U/mL) protease		
		胃 stomach	肠 intestine	肝胰脏 liver	胃 stomach	肠 intestine	肝胰脏 liver
P28L10	0.32 ± 0.14	74.32 ± 57.65	39.05 ± 7.00	49.33 ± 8.08 <sup>ab</sup>	34.39 ± 1.00 <sup>a</sup>	33.60 ± 21.40	6.05 ± 7.91
P32L10	0.39 ± 0.11	76.40 ± 38.80	46.40 ± 20.67	54.16 ± 13.48 <sup>ab</sup>	35.74 ± 2.10 <sup>a</sup>	32.57 ± 6.01	3.42 ± 2.37
P36L10	0.35 ± 0.07	70.11 ± 31.50	48.41 ± 4.96	49.92 ± 10.94 <sup>ab</sup>	31.36 ± 4.60 <sup>ab</sup>	29.89 ± 7.47	6.56 ± 4.20
P28L7.5	0.25 ± 0.05	63.80 ± 39.41	49.73 ± 8.67	60.06 ± 5.15 <sup>a</sup>	24.16 ± 6.36 <sup>b</sup>	44.55 ± 11.08	5.65 ± 6.58
P32L7.5	0.26 ± 0.13	49.95 ± 19.73	52.32 ± 22.00	44.13 ± 8.67 <sup>ab</sup>	27.92 ± 7.41 <sup>ab</sup>	18.63 ± 9.30	6.56 ± 2.86
P36L7.5	0.26 ± 0.02	56.64 ± 23.98	58.58 ± 10.98	54.94 ± 9.54 <sup>ab</sup>	22.98 ± 5.25 <sup>b</sup>	25.44 ± 8.46	9.07 ± 5.77
P28L5.0	0.30 ± 0.17	61.79 ± 16.96	46.85 ± 7.34	40.23 ± 14.18 <sup>b</sup>	27.69 ± 7.83 <sup>ab</sup>	27.72 ± 7.34	4.68 ± 5.26
P32L5.0	0.24 ± 0.16	68.63 ± 47.21	54.13 ± 37.38	41.54 ± 4.80 <sup>b</sup>	29.08 ± 9.42 <sup>ab</sup>	36.68 ± 27.64	2.34 ± 2.19
P36L5.0	0.28 ± 0.19	53.96 ± 21.60	63.49 ± 15.80	42.63 ± 10.43 <sup>b</sup>	28.51 ± 3.66 <sup>ab</sup>	36.39 ± 21.48	3.34 ± 2.33
<i>P</i> 值 <i>P</i> value							
脂肪 lipid	0.180	0.526	0.329	0.022	0.004	0.828	0.183
蛋白 protein	0.990	0.908	0.298	0.718	0.393	0.634	0.510
脂肪 * 蛋白 lipid * protein	0.907	0.974	0.987	0.336	0.927	0.272	0.862

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ),  $n = 12$ 。

Notes: Means with different superscripts within the same column are significantly different ( $P < 0.05$ ),  $n = 12$ .

## 2.3 饲料蛋白脂肪比对肌肉成分的影响

各组斑点叉尾鲷肌肉水分、脂肪、蛋白质、羟脯氨酸与胶原蛋白含量见表 4。从表 4 可以看

出, 肌肉水分含量差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 肌肉脂肪含量随饲料中粗脂肪含量和粗蛋白含量的减少而显著降低 ( $P < 0.05$ ); P32L5 组肌肉蛋白质含

量显著高于 P36L10 组 ( $P < 0.05$ ), 而与其他各组差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 肌肉胶原蛋白含量

P28L5 组显著高于 P28L7.5 组 ( $P < 0.05$ ), 其他各组差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 4 斑点叉尾鲷肌肉水分、脂肪、蛋白质、羟脯氨酸和胶原蛋白含量  
Tab. 4 Chemical composition of the muscle of fish fed with different diets

组 group	水分 water	脂肪 lipid	蛋白 protein	羟脯氨酸 ( $\mu\text{g/g}$ ) HYP	胶原蛋白 ( $\mu\text{g/g}$ ) collagen protein
P28L10	75.56 $\pm$ 2.25	6.62 $\pm$ 0.23 <sup>c</sup>	19.85 $\pm$ 0.72 <sup>ab</sup>	266.57 $\pm$ 42.7 <sup>ab</sup>	1.99 $\pm$ 0.32 <sup>ab</sup>
P32L10	75.04 $\pm$ 1.85	8.18 $\pm$ 0.94 <sup>a</sup>	19.30 $\pm$ 0.77 <sup>ab</sup>	293.79 $\pm$ 45.85 <sup>ab</sup>	2.19 $\pm$ 0.34 <sup>ab</sup>
P36L10	75.00 $\pm$ 1.64	8.04 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	18.35 $\pm$ 0.55 <sup>b</sup>	254.10 $\pm$ 27.32 <sup>ab</sup>	1.90 $\pm$ 0.20 <sup>ab</sup>
P28L7.5	76.26 $\pm$ 1.81	4.85 $\pm$ 0.19 <sup>d</sup>	19.66 $\pm$ 0.83 <sup>ab</sup>	302.30 $\pm$ 27.46 <sup>b</sup>	2.26 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>
P32L7.5	75.61 $\pm$ 2.14	6.87 $\pm$ 0.38 <sup>bc</sup>	19.62 $\pm$ 0.49 <sup>ab</sup>	263.38 $\pm$ 62.69 <sup>ab</sup>	1.97 $\pm$ 0.47 <sup>ab</sup>
P36L7.5	75.45 $\pm$ 1.52	7.55 $\pm$ 0.23 <sup>ab</sup>	19.45 $\pm$ 0.42 <sup>ab</sup>	275.95 $\pm$ 25.16 <sup>ab</sup>	2.06 $\pm$ 0.19 <sup>ab</sup>
P28L5.0	76.78 $\pm$ 1.26	3.69 $\pm$ 0.82 <sup>c</sup>	19.75 $\pm$ 0.16 <sup>ab</sup>	217.81 $\pm$ 44.50 <sup>a</sup>	1.63 $\pm$ 0.33 <sup>a</sup>
P32L5.0	76.45 $\pm$ 1.96	4.82 $\pm$ 0.23 <sup>d</sup>	20.50 $\pm$ 0.70 <sup>a</sup>	261.28 $\pm$ 83.75 <sup>ab</sup>	1.95 $\pm$ 0.63 <sup>ab</sup>
P36L5.0	75.94 $\pm$ 1.52	4.36 $\pm$ 0.31 <sup>de</sup>	19.27 $\pm$ 0.53 <sup>ab</sup>	229.78 $\pm$ 41.47 <sup>ab</sup>	1.72 $\pm$ 0.31 <sup>ab</sup>
P 值 P value					
脂肪 lipid	0.473	0.000	0.212	0.075	0.075
蛋白 protein	0.638	0.000	0.093	0.613	0.613
脂肪 * 蛋白 lipid * protein	0.870	0.024	0.423	0.483	0.483

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ),  $n = 12$ 。

Notes: Means with different superscripts within the same column are significantly different ( $P < 0.05$ ),  $n = 12$ .

### 3 讨论

#### 3.1 蛋白脂肪比对斑点叉尾鲷生长性能的影响

目前,在国内斑点叉尾鲷养殖中,使用的生产性饲料配方常参照鲤鲫的营养指标,而鲤鲫的消化生理特性和营养需求与斑点叉尾鲷有所不同,饲料配方中蛋白质、脂肪等指标与斑点叉尾鲷有较大差异。在本试验中,当饲料蛋白水平为 36%,脂肪水平为 7.5% 时,获得了较好的增重率和饲料利用率。而鲤在幼鱼阶段对蛋白和脂肪的需要量分别为 38%<sup>[13-14]</sup> 和 5%<sup>[15-16]</sup>,鲫为 38%~40%<sup>[17-19]</sup> 和 4%~6%<sup>[20-21]</sup>。这就说明斑点叉尾鲷对饲料蛋白需要量低于鲤鲫,而对饲料脂肪的需要量高于鲤鲫。有研究报道,在池塘养殖模式下,斑点叉尾鲷在营养物质充足且饱食情况下蛋白质需要量约为 28%,营养物质不充足或非饱食情况下应为 32%~36%<sup>[5]</sup>。而本试验饲料蛋白水平在 32%~36% 得到最佳生产性能,这可能是由于本试验在网箱中进行,水体中可供利用的外源生物量少<sup>[22]</sup>,鱼体对营养的需要更多依赖于饲料,导致了蛋白需要量的升高。

Gatlin 等<sup>[23]</sup> 报道,饲料脂肪含量从 5% 上升到 10%,显著增加了鱼体的增重率和饲料系数; Twibell 等<sup>[9]</sup> 在饲料中添加 5%、7.5% 和 10% 的脂肪比较斑点叉尾鲷的生长时,10% 脂肪组增重

率高于其他组。而本试验中,饲料蛋白水平相同时,脂肪含量 7.5% 的组增重率和饲料利用率高于脂肪含量 10% 的组,结果显示,饲料中 7.5% 的粗脂肪水平较为适宜。这可能是由于本试验在网箱中进行,试验鱼活动空间小,耗能减少,对脂肪的需要量减少。在蛋能比方面,斑点叉尾鲷的适宜蛋能比在 80~100 mg/kJ 之间<sup>[24-28]</sup>, Cho 等<sup>[5]</sup> 研究表明,斑点叉尾鲷幼鱼适宜的蛋能比约为 90.9 mg/kJ,而本试验结果适宜能蛋比为 93.7 mg/kJ 左右,与以往报道较为接近。

#### 3.2 蛋白脂肪比对斑点叉尾鲷鱼体组成的影响

饲料中脂肪含量高时,可能导致鱼体脂肪的沉积<sup>[29]</sup>。本试验中,斑点叉尾鲷饲料脂肪含量从 7.5% 升高到 10%,内脏比升高了约 10%,肌肉中的脂肪含量升高了约 20%,而腹脂率则没有显著变化,说明饲料中过多的脂肪,会沉积于斑点叉尾鲷的内脏和肌肉中。Twibell 等<sup>[9]</sup> 研究饲料脂肪和不饱和脂肪酸时发现,饲料脂肪水平超过 7.5% 时,会在胴体中沉积; Gatlin 等<sup>[23]</sup> 研究斑点叉尾鲷脂肪需要量时发现,饲喂含 10% 脂肪的饲料,胴体脂肪含量会显著高于饲喂含 5% 脂肪的饲料。结合本试验结果提示,斑点叉尾鲷饲料中的脂肪不宜超过 7.5%,否则会沉积在内脏和肌肉中,影响肌肉营养组成。

饲料蛋白水平也可能影响着肌肉脂肪的沉

积<sup>[26]</sup>。本试验中,在饲料脂肪水平不变的情况下,36%饲料蛋白组肌肉脂肪含量高于32%蛋白组。说明在高蛋白水平饲料中,过高的饲料蛋白质并没有完全以蛋白质的形式沉积下来,而是被用作能量物质分解供能后,以脂肪的形式沉积下来,而低蛋白水平饲料组中的饲料蛋白则被有效的用于鱼体蛋白的合成。另外,饲料脂肪和蛋白水平的提高,并未增加肌肉蛋白含量,说明在饲料营养成分变化不大时,鱼体肌肉中的蛋白质含量相对稳定。

#### 参考文献:

- [1] 刘永涛,郭东方,杨莉,等. 喹烯酮在建鲤和斑点叉尾鲴体内的残留消除规律研究[J]. 水生生态学杂志,2009,2(5):95-98.
- [2] 甄润英,陶秉春,马俪珍,等. 3种鲢鱼肌肉主要营养成分的对比分析[J]. 食品与机械,2008,24(4):108-110,142.
- [3] NRC (National Research Council). Nutrient requirements of fish[M]. Washington, DC: National Academy Press,1993:63.
- [4] Li M H, Robinson E H. Effects of supplemental lysine and methionine in low protein diets on weight gain and body composition of young channel catfish *Ictalurus punctatus*[J]. Aquaculture,1998,163(1-4):297-307.
- [5] Cho S H, Lovell R T. Variable feed allowance with constant protein input for channel catfish (*Ictalurus punctatus*) cultured in ponds[J]. Aquaculture,2002,204(2):101-112.
- [6] Kim L O, Lee S M. Effects of the dietary protein and lipid levels on growth and body composition of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco* [J]. Aquaculture,2005,243(4):323-329.
- [7] Wilson R P, Moreau Y. Nutrient requirements of catfishes (*Siluroidei*) [J]. Aquat Living Resour,1996,9(1):103-111.
- [8] Sargent J, Bell G. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish[J]. Aquaculture,1999,177(2):191-199.
- [9] Twibell R G, Wilson R P. Effects of dietary conjugated linoleic acids and total dietary lipid concentrations on growth responses of juvenile channel catfish, *Ictalurus punctatus*[J]. Aquaculture,2003,221(4):621-628.
- [10] Gaylord T G, Gatlin D M. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. Aquaculture,2001,194(3-4):337-348.
- [11] AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official methods of analysis[M]. 15th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists,1990:684-685.
- [12] Lowry O P, Rosebrough N J, Farr A L, et al. Protein measurement with the folin-phenol reagent [J]. Biol Chem,1951,193(1):265-275.
- [13] Ogino C, Salto K. Protein nutrition in fish- I. The utilization of dietary protein by young carp [J]. Bull Jap Soc Sci Fish,1970,36(1):250-254.
- [14] 吴莉芳,秦贵信,刘宪国,等. 鲤鱼饲料中2种大豆蛋白源替代鱼粉蛋白的比较研究[J]. 中国畜牧杂志,2010,46(3):41-44.
- [15] Watabanbe T, Takeuchi T, Ogino C. Effect of dietary methyle linoleate and linolenate on growth of carp- II [J]. Bull Jap Soc Sci Fish,1975,41(1):263-269.
- [16] Watabanbe T, Takeuchi T, Ogino C. Effect of dietary methyl linoleate and linolenate on growth of carp- I [J]. Bull Jap Soc Sci Fish,1975,41(1):257-262.
- [17] 龙勇,李芹,罗莉,等. 饲料蛋白水平对异育银鲫雌性性腺发育的影响[J]. 水生生物学报,2008,32(4):551-557.
- [18] 王崇,雷武,解绶启,等. 饲料中豆粕替代鱼粉蛋白对异育银鲫生长、代谢及免疫功能的影响[J]. 水生生物学报,2009,33(4):740-747.
- [19] 张萍,赵振伦,杨沁芳. 鲫营养需求与营养生理的研究进展[J]. 水利渔业,2001,21(3):9-11.
- [20] 胡雪峰,李国富,吴江,等. 饲料中脂肪和蛋白质间的替代作用对鲫鱼的影响[J]. 安徽农业科学,2009,37(24):11576-77578,11589.
- [21] 王爱民,徐跑,李沛,等. 异育银鲫饲料中适宜脂肪需求量研究[J]. 上海水产大学学报,2008,17(6):661-667.
- [22] Eduardo G A, Gisele C F, Daniela C, et al. Dietary supplementation of lysine and/or methionine on performance, nitrogen retention and excretion in pacu *Piaractus mesopotamicus* reared in cages [J]. Aquaculture,2009,295(7):266-270.
- [23] Gatlin D M, Bai S C. Effects of dietary lipid and reduced glutathione on composition and storage quality of channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) [J]. Aquaculture Research,1993,24(4):457-463.
- [24] Ai Q H, Xie X J. Effects of dietary soybean protein levels on energy budget of the southern catfish, *Silurus meridionalis* [J]. Comparative Biochemistry

- and Physiology,2005,141(1):461-469.
- [25] Cho S H,Lovell R T. Variable feed allowance with constant protein input for channel catfish (*Ictalurus punctatus*) cultured in ponds[J]. Aquaculture,2002,204(1-2):101-112.
- [26] Salhi M, Bessonart M, Chediak G, *et al.* Growth, feed utilization and body composition of black catfish, *Rhamdia quelen*, fry fed diets containing different protein and energy levels[J]. Aquaculture, 2004,231(7):435-444.
- [27] Kim L O, Lee S M. Effect of the dietary protein and lipid levels on growth and body composition of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco* [J]. Aquaculture,2005,243(3):323-329.
- [28] Manat C, Akkasit J, Suttirug P, *et al.* Chemical compositions and characteristics of farm raised giant catfish (*Pangasianodon gigas*) muscle [J]. Food Science and Technology,2010,43(6):452-457.
- [29] Lee S M. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*) [J]. Aquaculture,2002,211:227-239.

### Effects of dietary protein to lipid ratio on growth, digestive enzyme activities and muscle composition of juvenile channel catfish (*Ictalurus punctatus*)

JIANG Guang-zhen, LIU Wen-bin\*, WANG Yu-heng, LI Xiang-fei, ZHUANG Su  
(College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** A 60-day feeding trial of 3 dietary protein levels (28%, 32% and 36%) and 3 dietary lipid levels (5.0%, 7.5% and 10.0%) designed with 4 replications was conducted to determine the effects of dietary protein and lipid levels on growth, digestive enzyme activities and muscle composition of juvenile channel catfish [initial body weight: (1.5 ± 0.02) g]. Fish were fed respectively to apparent satiation by 9 experimental diets named P28L10, P32L10, P36L10, P28L7.5, P32L7.5, P36L7.5, P28L5, P32L5 and P36L5 with 4 replications. The results indicated that weight growth rate (WGR) and feed coefficient rate (FCR) were significantly affected by dietary protein and lipid levels or a dietary protein × lipid interaction ( $P < 0.05$ ). WGR and FCR of fish fed the P28L10 diet were the lowest among all the treatments ( $P < 0.05$ ). Growth performance of fish fed diets with 28% protein were lower than that of fish fed higher protein levels ( $P < 0.05$ ); the lowest growth performance was observed in fish fed the P28L10 diet. The highest WGR was obtained in fish fed the P36L7.5 diet; and no obvious differences of WGR were found in fish fed the P36L7.5, P36L10 and P32L7.5 diets ( $P > 0.05$ ). Activities of liver-lipase and stomach-protease changed significantly as dietary lipid levels increased ( $P < 0.05$ ). Muscle lipid levels decreased significantly with dietary lipid levels ( $P < 0.05$ ), and muscle protein levels could be influenced by dietary protein and lipid levels. Viscerasomatic index (VSI), mesenteric lipid-somatic index (MSI) and condition factor (CF) together may show that muscle protein and lipid levels could be affected by dietary protein × lipid interaction. In conclusion, this study suggests that growth performance of juvenile channel catfish is improved at a suitable protein/lipid ratio in diet. Fish fed diet containing 32% protein, 7.5% lipid and 22.4 mg/kJ P/DE ratio got the best growth performance and the ideal body composition.

**Key words:** channel catfish (*Ictalurus punctatus*); dietary protein to lipid ratio; growth performance; digestive enzyme activity; muscle composition

**Corresponding author:** LIU Wen-bin. E-mail: wbliu@njau.edu.cn