

# 异育银鲫幼鱼对蛋白质、脂肪及碳水化合物需求量的研究

何吉祥<sup>1</sup>, 崔凯<sup>1\*</sup>, 徐晓英<sup>2</sup>, 陈静<sup>1</sup>, 吴明林<sup>1</sup>, 蒋阳阳<sup>1</sup>

(1. 安徽省农业科学院水产研究所, 合肥 230031; 2. 安徽省农业科学院, 合肥 230031)

**摘要:** 为探讨初均重(2.85±0.09) g 的异育银鲫幼鱼对蛋白质、脂肪、碳水化合物的适宜需要量, 采用三因素二次正交旋转试验方法, 饲料蛋白质的高、低水平设计为 33%和 26%, 脂肪为 10.5%和 5.5%, 碳水化合物为 40%和 30%, 共 15 组饲料, 试验期 60 d。结果表明, 当蛋白质、脂肪、碳水化合物水平的组合值依次为 35.05%、8.23%、27.65%, 35.62%、8.63%、28.16%, 37.15%、4.56%、31.48%时, 试验鱼的 WGR、SGR 最大, FCR 最小。当蛋白质、脂肪、碳水化合物水平分别为 33.22%、5.81%、25.58%时, VSI 最小。CF 和 HSI 各组间无显著差异 ( $P>0.05$ )。全鱼水分含量与饲料脂肪水平成负相关, 脂肪含量与饲料脂肪、碳水化合物水平呈正相关。当饲料脂肪含量大于 8%时, 全鱼脂肪含量明显上升 ( $P<0.05$ )。蛋白质、灰分含量各组间无显著差异 ( $P>0.05$ )。通过综合分析, 异育银鲫幼鱼适宜的蛋白质、脂肪、碳水化合物需要量分别为 35.05%~37.15%、4.56%~8.00%、27.65%~31.48%。

**关键词:** 异育银鲫; 营养需求; 蛋白质; 脂肪; 碳水化合物

中图分类号: S965.117; S963.16

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2014)01-0030-08

## Optimal dietary requirements of protein, lipid and carbohydrate for juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*)

HE Jixiang<sup>1</sup>, CUI Kai<sup>1</sup>, XU Xiaoying<sup>2</sup>, CHEN Jing<sup>1</sup>, WU Minglin<sup>1</sup>, JIANG Yangyang<sup>1</sup>

(1. Fisheries Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031;

2. Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031)

**Abstract:** In order to investigate the optimal dietary requirements of protein, lipid and carbohydrate for juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) with initial average weight of (2.85±0.09) g, three-factor second order general revolving combination design was used, the high and low designed levels of protein, lipid, carbohydrate in the diets were of 33% and 26%, 10.5% and 5.5%, 40% and 30%, correspondingly. The experiment lasted for 60 days. The results showed as follows: when WGR(weight gain rate) and SGR (specific growth rate) were biggest but FCR (feed conversion ratio) was smallest, the corresponding dietary protein, lipid, carbohydrate levels followed by 35.05%, 8.23% and 27.65%, 35.62%, 8.63% and 28.16%, 37.15%, 4.56% and 31.48%, respectively. When the above three factor levels were of 33.22%, 5.81% and 25.58%, respectively, VSI (viserosomatic index) was smallest. No significant difference was observed in CF (condition factor) and HSI (hepatosomatic index) among all the treatments ( $P>0.05$ ). There was a negative correlation between moisture content of whole-body and dietary lipid level ( $P<0.05$ ), but a positive correlation between lipid content of whole-body and dietary lipid, carbohydrate levels ( $P<0.05$ ). When the dietary lipid was above 8%, the lipid content of whole-body was increased obviously. No significant difference was observed in protein and ash content of whole-body ( $P>0.05$ ). In this study, the optimal dietary requirements of protein, lipid and carbohydrate for juvenile gibel carp are of 35.05%-37.15%, 4.56%-8.00% and 27.65%-31.48% respectively by comprehensive analysis.

**Key words:** *carassius auratus gibelio*; nutrient requirement; protein; lipid; carbohydrate

收稿日期: 2013-06-17

基金项目: 安徽省农业科学院科技创新团队建设项目 (13C0506) 和安徽省农业科学院重点项目 (11A0507) 共同资助。

作者简介: 何吉祥, 副研究员。E-mail: hejixiang813@126.com

\* 通信作者: 崔凯, 副研究员。E-mail: cuikai66@163.com

饲料营养水平是决定鱼类生长和抗病能力的关键因素, 营养过剩或缺乏会导致鱼类生长受阻, 生理机能下降。蛋白质是占鱼类饲料成本比例最大的原料之一, 在维持鱼类正常生长条件下, 合理节约饲料蛋白质是鱼类营养学研究的重要内容<sup>[1]</sup>。作为饲料中主要的非蛋白源能量物质, 一定量的脂肪和碳水化合物可以起到节约饲料蛋白、提高饲料利用率的效应<sup>[2-3]</sup>, 但饲料中添加过量脂肪不利于鱼类生长, 同时造成鱼体脂肪含量过高, 影响鱼肉品质<sup>[4]</sup>。而过高的糖导致鱼类肝糖原储积病和持久的高血糖<sup>[5]</sup>。因此, 在鱼类饲料中保持蛋白质、脂肪及碳水化合物的适宜比例, 对于促进鱼类健康生长、改善鱼肉品质、提高饲料转化效率、节约饲料成本等具有重要意义。

异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)因其肉味鲜美、营养价值高、适应性强、易养易捕捞等优点, 近年来其人工养殖规模不断上升, 在大宗鱼类养殖中占据重要地位。有关异育银鲫对饲料蛋白质<sup>[6-8]</sup>、脂肪<sup>[9-11]</sup>及碳水化合物<sup>[12-15]</sup>的需求已有诸多报道。分析前人的工作可见, 上述研究多是采用单因子试验方法, 仅对某一种因子的需求水平进行了研究, 而同时对蛋白质、脂肪和碳水化合物的 3 个因子试验研究还未见报道。鉴于试验设计方法不同, 以及多因子间可能存在交互作用, 因此试验结果可能存

在差异。本试验采用正交旋转设计法对异育银鲫幼鱼饲料中蛋白质、脂肪和碳水化合物(无氮浸出物, 下同)的适宜水平进行了研究, 旨在了解异育银鲫幼鱼营养需求的特点和适宜需求量, 为确立异育银鲫幼鱼的营养标准和合理的饲料配方提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验鱼

试验鱼为异育银鲫“中科 3 号”夏花鱼种, 购自合肥市西郊养殖场, 试验鱼用 5% 的食盐水消毒后, 驯养于 9 个直径 1.2 m 的圆形玻璃钢水槽中, 驯养期 15 d。

### 1.2 试验饲料

采用三因素二次通用旋转组合试验设计, 共配制 15 种试验饲料, 试验因素及设计水平列于表 1, 试验设计结果列于表 2。饲料制作前, 先分析各种饲料原料的粗组分, 作为饲料配方的依据。饲料以秘鲁鱼粉为蛋白源, 豆油为脂肪源、玉米淀粉为碳源, 饲料中不足部分用微晶纤维素填充, 所有原料均过 60 目筛, 经逐级充分混合后, 用小型饲料成型机挤压成型, 自然条件下晾干后于 -20℃ 冰箱储藏, 投喂时将其剪切成小的颗粒。饲料配方及 15 种饲料制成后的营养组成见表 3。

表 1 因素水平

Table 1 Different level values of the factors

因素 Factor	名称 Item	水平 Level				
		-1.682	-1	0	+1	+1.682
$x_1$	蛋白质/% Protein	23.6	26	29.5	33	35.4
$x_2$	脂肪/% Lipid	3.8	5.5	8	10.5	12.2
$x_3$	碳水化合物/% Carbohydrate	26.5	30	35	40	43.5

表 2 三因素二次通用旋转组合试验设计及结果

Table 2 Result of three-factor second order general revolution combination design

组别 Group	因素水平 Factor level			设计值/% Designed value			组别 Group	因素水平 Factor level			设计值/% Designed value		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	1	1	1	33	10.5	40	11	0	-1.682	0	29.5	3.8	35
2	1	1	-1	33	10.5	30	12	0	1.682	0	29.5	12.2	35
3	1	-1	1	33	5.5	40	13	0	0	-1.682	29.5	8	26.5
4	1	-1	-1	33	5.5	30	14	0	0	1.682	29.5	8	43.5
5	-1	1	1	26	10.5	40	15	0	0	0	29.5	8	35
6	-1	1	-1	26	10.5	30	16	0	0	0	29.5	8	35
7	-1	-1	1	26	5.5	40	17	0	0	0	29.5	8	35
8	-1	-1	-1	26	5.5	30	18	0	0	0	29.5	8	35
9	-1.682	0	0	23.6	8	35	19	0	0	0	29.5	8	35
10	1.682	0	0	35.4	8	35	20	0	0	0	29.5	8	35

表3 饲料组成及营养水平  
Table 3 Composition and nutrient levels of experimental diets

原料 Ingredient	组别 Group							
	1	2	3	4	5	6	7	8
鱼粉 Fish meal	48	48.5	48	48.5	37	38	37	38
玉米淀粉 Corn starch	40	26.5	40	26.5	41.5	28	41.5	28
豆油 Bean oil	6.5	6.5	1.5	1.5	7.5	7.5	2.5	2.5
微晶纤维素 Microcellulose	1	14	6	19	9.5	22	14.5	27
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
预混料 Premix <sup>1)</sup>	1	1	1	1	1	1	1	1
粘合剂 CMCBinder	2	2	2	2	2	2	2	2
营养水平 Nutrient level								
水分 Moisture	7.32	6.57	7.24	6.86	7.35	6.28	7.14	6.91
粗蛋白质 CP	33.11	32.82	32.95	32.83	25.88	26.25	25.83	26.06
粗脂肪 EE	10.38	10.52	5.70	5.59	10.31	10.74	5.58	5.51
粗纤维 CF	1.54	13.26	6.07	17.05	9.10	19.80	13.30	25.16
灰分 Ash	7.96	7.22	8.09	7.55	7.15	7.06	8.30	6.88
无氮浸出物 NFE <sup>2)</sup>	39.69	29.61	39.95	30.12	40.21	29.87	39.85	29.48

  

原料 Ingredient	组别 Group							
	9	10	11	12	13	14	15	
鱼粉 Fish meal	34	52	43	43	43.5	42	43	
玉米淀粉 Corn starch	35	33	34	34	23	45.5	34	
豆油 Bean oil	5.2	3.7	0.5	8.5	4.5	4.5	4.5	
微晶纤维素 Microcellulose	21.3	6.8	18	10	24.5	3.5	14	
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
预混料 Premix <sup>1)</sup>	1	1	1	1	1	1	1	
粘合剂 CMCBinder	2	2	2	2	2	2	2	
营养水平 Nutrient level								
水分 Moisture	7.16	6.96	7.33	6.68	6.89	7.06	6.72	
粗蛋白质 CP	23.82	35.44	29.37	29.64	29.58	29.23	29.6	
粗脂肪 EE	8.07	8.13	3.72	11.96	7.88	8.23	8.15	
粗纤维 CF	19.05	5.60	16.86	8.40	21.14	3.58	12.77	
灰分 Ash	6.58	9.02	7.52	8.37	8.13	7.79	8.06	
无氮浸出物 NFE <sup>2)</sup>	35.32	34.85	35.20	34.95	26.38	44.11	34.70	

注: 1). 预混料为每 kg 饲料提供 Premix provides following for 1 kg of diets: 铜 Cu, 4 mg; 铁 Fe, 150 mg; 锌 Zn, 80 mg; 镁 Mg, 100 mg; 锰 Mn, 20 mg; 碘 I, 0.4 mg; 钴 Co, 0.1 mg; 硒 Se, 0.1 mg; VA 6000 IU; VD 2000 IU; VC 100 mg; VE 50 mg; VK 5 mg; VB<sub>11</sub> 5 mg; VB<sub>2</sub> 15 mg; VB<sub>3</sub> 25 mg; VB<sub>5</sub> 30 mg; VB<sub>6</sub> 10 mg; VB<sub>7</sub> 0.2 mg; VB<sub>11</sub> 3 mg; VB<sub>12</sub> 0.03 mg; 肌醇 Inositol, 100 mg.

2). NFE=100-(Moisture+Crude protein+Crude lipid+Crude cellulose+Ash).

### 1.3 试验分组

试验鱼暂养 15 d 后, 选择健康无伤病、规格整齐一致的个体, 初均重(2.85±0.09) g, 随机分为 20 组, 每组 3 个重复, 共 60 个规格为 63 cm×42 cm×45 cm 的塑料筐, 每筐放 20 尾鱼。其中第 1 组~第 14 组分别投喂对应组别的饲料, 第 15 组~第 20 组为中心试验组, 均投喂第 15 组饲料。

### 1.4 试验管理

养殖试验在室外进行, 自然光照, 60 个塑料筐固定在 PVC 管制成的框架上, 随机设置在 3 个 10 m

×3 m×2.5 m 的过滤循环水养殖池中, 每个池中设置 20 个塑料筐。试验期间, 全天 24 h 充氧, 每天 08:30、16:00 各饱食投喂 1 次, 至鱼不再主动抢食饲料, 各池每 5 d 换水 1 次, 换水量约为 2/5, 试验用水为经过曝气调温的井水, 试验期 60 d。试验期间水温为 24.2~28.5℃, 水中溶解氧大于 6 mg·L<sup>-1</sup>, 总氨氮含量小于 0.3 mg·L<sup>-1</sup>, pH 6.8~7.5。

### 1.5 试验指标测定

**1.5.1 异育银鲫生长指标和形体指数测定** 正式试验期结束后, 使鱼饥饿 24 h, 测定各筐鱼总重和尾

数, 计算增重率、特定生长率、饵料系数和成活率。从每个重复内随机取 5 尾鱼, 用纱布擦干鱼体表水分, 依次测定体长、体重, 内脏重和肝脏重, 计算肥满度、脏体比和肝体比。相关指标计算公式如下:

增重率(weight gain rate, WGR, %)= $100 \times [(\text{试验末鱼体重} - \text{试验初鱼体重}) / \text{试验初鱼体重}]$ ;

特定生长率(Specific growth rate, SGR,%/d)= $100 \times [\ln(\text{鱼体终重}) - \ln(\text{鱼体初重})] / \text{实验周期}$ ;

饵料系数(Feed conversion ratio, FCR)= $\text{摄食量} / \text{鱼体增重}$ ;

肥满度(Condition factor, CF,  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )= $100 \times \text{体重}(\text{g}) / \text{体长}(\text{cm})^3$ ;

脏体比(Viserosomatic index, VSI, %)= $100 \times \text{内脏重} / \text{体重}$ ;

肝体比(Hepatosomatic index, HSI, %)= $100 \times \text{肝脏重} / \text{体重}$ ;

成活率(%)= $100 \times \text{试验末鱼尾数} / \text{试验初鱼尾数}$ 。

**1.5.2 生化成分测定** 饲料和全鱼粗蛋白质采用凯氏定氮法测定(总氮 $\times 6.25$ ); 粗脂肪采用索氏抽提法测定; 粗灰分采用 550℃ 马福炉灼烧法测定; 水分

采用 105℃ 恒温干燥法测定; 粗纤维采用 GB/T6434 法测定; 无氮浸出物的含量通过差减法求得, 计算公式为:  $NFE = 100 - (W + P + L + A + F)^{[16]}$ , 式中: NFE 为无氮浸出物(%); W 为水分(%); P 为粗蛋白质(%); L 为粗脂肪(%); A 为粗灰分(%); F 为粗纤维(%)。

## 1.6 数据统计与分析

试验数据使用平均值 $\pm$ 标准差(Mean $\pm$ SD.)表示, 采用 Microsoft Excel 2003 和 SAS 9.1.4 统计软件进行数据分析, 显著差异水平为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 生长

各试验组 WGR、SGR 及 FCR 结果列于表 4。表 4 结果表明, 不同营养水平的饲料对异育银鲫幼鱼的 WGR、SGR 有显著的影响 ( $P < 0.05$ )。以表 4 中 WGR ( $Y_1$ )、SGR ( $Y_2$ )、FCR ( $Y_3$ ) 为因变量, 饲料蛋白质 ( $x_1$ )、脂肪 ( $x_2$ )、碳水化合物 ( $x_3$ ) 水平值为自变量, 分别建立  $Y_i$  与因素  $x_i$  的二元回归方程为:

表 4 异育银鲫的生长及饲料利用

Table 4 Growth performance and feed utilization of *Carassius auratus gibelio*

组别 Diet	初始尾重 IW/g	终末尾重 FW/g	增重率 WGR/%	特定生长率 SGR/(%/d)	饵料系数 FCR	成活率 Survival rate/%
33P/10.5L/40C	2.85 $\pm$ 0.13	11.57 $\pm$ 0.76 <sup>abcd</sup>	295.82 $\pm$ 15.74 <sup>abc</sup>	2.33 $\pm$ 0.03 <sup>abc</sup>	2.49 $\pm$ 0.26 <sup>ab</sup>	96.67 $\pm$ 5.77
33P/10.5L/30C	2.79 $\pm$ 0.10	13.84 $\pm$ 0.66 <sup>a</sup>	377.62 $\pm$ 25.16 <sup>a</sup>	2.67 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	2.02 $\pm$ 0.19 <sup>b</sup>	96.67 $\pm$ 2.89
33P/5.5L/40C	2.90 $\pm$ 0.12	12.86 $\pm$ 0.89 <sup>abc</sup>	344.59 $\pm$ 28.82 <sup>ab</sup>	2.48 $\pm$ 0.18 <sup>abc</sup>	2.24 $\pm$ 0.30 <sup>ab</sup>	100 $\pm$ 0.00
33P/5.5L/30C	2.86 $\pm$ 0.09	13.01 $\pm$ 0.75 <sup>ab</sup>	354.44 $\pm$ 14.04 <sup>ab</sup>	2.52 $\pm$ 0.05 <sup>abc</sup>	2.39 $\pm$ 0.26 <sup>ab</sup>	100 $\pm$ 0.00
26P/10.5L/40C	2.94 $\pm$ 0.12	11.52 $\pm$ 1.04 <sup>abcd</sup>	275.92 $\pm$ 38.05 <sup>abcd</sup>	2.27 $\pm$ 0.12 <sup>abcd</sup>	2.56 $\pm$ 0.29 <sup>ab</sup>	95.00 $\pm$ 5.00
26P/10.5L/30C	2.88 $\pm$ 0.09	11.15 $\pm$ 1.23 <sup>abcde</sup>	267.38 $\pm$ 27.16 <sup>bcd</sup>	2.25 $\pm$ 0.16 <sup>abcd</sup>	2.83 $\pm$ 0.32 <sup>ab</sup>	95.00 $\pm$ 0.00
26P/5.5L/40C	2.85 $\pm$ 0.12	9.68 $\pm$ 0.91 <sup>cde</sup>	229.71 $\pm$ 29.33 <sup>cde</sup>	2.03 $\pm$ 0.15 <sup>cde</sup>	2.78 $\pm$ 0.28 <sup>ab</sup>	98.33 $\pm$ 2.89
26P/5.5L/30C	2.93 $\pm$ 0.16	9.24 $\pm$ 0.91 <sup>de</sup>	205.36 $\pm$ 16.55 <sup>de</sup>	1.91 $\pm$ 0.16 <sup>de</sup>	3.32 $\pm$ 0.43 <sup>a</sup>	96.67 $\pm$ 2.89
23.6P/8L/35C	2.88 $\pm$ 0.08	8.60 $\pm$ 0.46 <sup>e</sup>	178.78 $\pm$ 15.57 <sup>e</sup>	1.82 $\pm$ 0.10 <sup>e</sup>	3.25 $\pm$ 0.27 <sup>a</sup>	95.00 $\pm$ 0.00
35.4P/8L/35C	2.81 $\pm$ 0.09	13.52 $\pm$ 1.09 <sup>a</sup>	340.77 $\pm$ 14.19 <sup>ab</sup>	2.61 $\pm$ 0.15 <sup>ab</sup>	2.32 $\pm$ 0.20 <sup>ab</sup>	95.00 $\pm$ 5.00
29.5P/3.8L/35C	2.87 $\pm$ 0.12	11.86 $\pm$ 0.82 <sup>abcd</sup>	313.48 $\pm$ 20.79 <sup>abc</sup>	2.37 $\pm$ 0.04 <sup>abc</sup>	2.65 $\pm$ 0.24 <sup>ab</sup>	100 $\pm$ 0.00
29.5P/12.2L/35C	2.77 $\pm$ 0.08	12.53 $\pm$ 0.46 <sup>abc</sup>	352.76 $\pm$ 29.16 <sup>ab</sup>	2.51 $\pm$ 0.11 <sup>abc</sup>	2.46 $\pm$ 0.26 <sup>ab</sup>	100 $\pm$ 0.00
29.5P/8L/26.5C	2.90 $\pm$ 0.11	12.15 $\pm$ 0.89 <sup>abcd</sup>	320.03 $\pm$ 27.77 <sup>abc</sup>	2.39 $\pm$ 0.19 <sup>abc</sup>	2.72 $\pm$ 0.41 <sup>ab</sup>	100 $\pm$ 0.00
29.5P/8L/43.4C	2.79 $\pm$ 0.09	10.18 $\pm$ 0.70 <sup>bcde</sup>	250.36 $\pm$ 19.09 <sup>bcde</sup>	2.15 $\pm$ 0.09 <sup>bcde</sup>	2.59 $\pm$ 0.23 <sup>ab</sup>	100 $\pm$ 0.00
29.5P/8L/35C	2.97 $\pm$ 0.15	13.10 $\pm$ 0.85 <sup>ab</sup>	310.38 $\pm$ 21.02 <sup>abc</sup>	2.47 $\pm$ 0.11 <sup>abc</sup>	2.36 $\pm$ 0.20 <sup>ab</sup>	95.00 $\pm$ 0.00
29.5P/8L/35C	2.78 $\pm$ 0.08	12.11 $\pm$ 0.72 <sup>abcd</sup>	336.23 $\pm$ 30.34 <sup>ab</sup>	2.45 $\pm$ 0.14 <sup>abc</sup>	2.41 $\pm$ 0.16 <sup>ab</sup>	100 $\pm$ 0.00
29.5P/8L/35C	2.79 $\pm$ 0.10	11.84 $\pm$ 0.82 <sup>abcd</sup>	324.23 $\pm$ 20.05 <sup>abc</sup>	2.41 $\pm$ 0.07 <sup>abc</sup>	2.39 $\pm$ 0.13 <sup>ab</sup>	100 $\pm$ 0.00
29.5P/8L/35C	2.80 $\pm$ 0.12	12.39 $\pm$ 1.01 <sup>abc</sup>	312.59 $\pm$ 18.43 <sup>abc</sup>	2.48 $\pm$ 0.10 <sup>abc</sup>	2.35 $\pm$ 0.16 <sup>ab</sup>	95.00 $\pm$ 5.00
29.5P/8L/35C	2.73 $\pm$ 0.06	11.51 $\pm$ 0.65 <sup>abcd</sup>	321.07 $\pm$ 28.09 <sup>abc</sup>	2.40 $\pm$ 0.18 <sup>abc</sup>	2.46 $\pm$ 0.21 <sup>ab</sup>	100 $\pm$ 0.00
29.5P/8L/35C	2.84 $\pm$ 0.15	12.78 $\pm$ 0.92 <sup>abc</sup>	330.63 $\pm$ 20.86 <sup>ab</sup>	2.51 $\pm$ 0.15 <sup>abc</sup>	2.42 $\pm$ 0.23 <sup>ab</sup>	96.67 $\pm$ 5.77

注: 同列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( $P < 0.05$ )。下同。

Note: In the same column, the same letter superscripts mean no significant difference ( $P > 0.05$ ), while different small letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ). The same below.

表 5 异育银鲫的形体指数  
Table 5 Shape indices of *Carassius auratus gibelio*

组别 Diet	肥满度 CF	脏体指数 VSI	肝体指数 HSI	组别 Diet	肥满度 CF	脏体指数 VSI	肝体指数 HSI
33P/10.5L/40C	2.85±0.10	10.48±0.50 <sup>ab</sup>	4.20±0.87	29.5P/3.8L/35C	2.73±0.10	9.71±0.72 <sup>bcde</sup>	3.73±0.62
33P/10.5L/30C	2.84±0.09	9.63±0.37 <sup>bcde</sup>	3.66±0.28	29.5P/12.2L/35C	2.80±0.17	10.62±0.78 <sup>a</sup>	3.89±0.50
33P/5.5L/40C	2.77±0.16	9.74±0.67 <sup>bcde</sup>	3.65±0.37	29.5P/8L/26.5C	2.70±0.11	9.46±0.65 <sup>cde</sup>	3.84±0.61
33P/5.5L/30C	2.75±0.11	9.12±0.51 <sup>e</sup>	3.52±0.28	29.5P/8L/43.4C	2.74±0.07	10.36±0.54 <sup>abcd</sup>	4.14±0.36
26P/10.5L/40C	2.72±0.13	10.70±0.62 <sup>a</sup>	4.11±0.53	29.5P/8L/35C	2.73±0.24	9.58±0.46 <sup>bcde</sup>	3.41±0.41
26P/10.5L/30C	2.72±0.15	10.54±0.64 <sup>ab</sup>	3.93±0.39	29.5P/8L/35C	2.74±0.11	9.50±0.49 <sup>cde</sup>	3.45±0.28
26P/5.5L/40C	2.73±0.18	9.59±0.61 <sup>bcde</sup>	3.61±0.44	29.5P/8L/35C	2.78±0.13	9.39±0.62 <sup>de</sup>	3.46±0.38
26P/5.5L/30C	2.71±0.07	9.68±0.50 <sup>bcde</sup>	3.47±0.28	29.5P/8L/35C	2.73±0.12	9.45±0.73 <sup>cde</sup>	3.66±0.39
23.6P/8L/35C	2.70±0.12	10.39±0.75 <sup>abc</sup>	3.83±0.48	29.5P/8L/35C	2.83±0.19	9.62±0.72 <sup>bcde</sup>	3.42±0.28
35.4P/8L/35C	2.85±0.09	10.09±0.62 <sup>abcde</sup>	4.26±0.37	29.5P/8L/35C	2.76±0.14	9.33±0.93 <sup>e</sup>	3.50±0.61

表 6 异育银鲫体成分 (占湿重比例)  
Table 6 Body chemical composition of *Carassius auratus gibelio*( wet weight)

组别 Diet	水分 Moisture	蛋白质 Protein	脂肪 Lipid	灰分 Ash
33P/10.5L/40C	72.84±0.61 <sup>bc</sup>	17.36±0.35	6.55±0.29 <sup>cd</sup>	3.23±0.10
33P/10.5L/30C	72.44±0.44 <sup>c</sup>	17.45±0.54	6.34±0.26 <sup>cde</sup>	3.51±0.14
33P/5.5L/40C	73.70±0.47 <sup>ab</sup>	17.10±0.39	5.38±0.39 <sup>f</sup>	3.41±0.17
33P/5.5L/30C	73.79±0.53 <sup>ab</sup>	17.55±0.42	5.01±0.35 <sup>f</sup>	3.42±0.08
26P/10.5L/40C	72.17±0.28 <sup>c</sup>	17.26±0.40	7.26±0.32 <sup>ab</sup>	3.22±0.11
26P/10.5L/30C	72.43±0.41 <sup>c</sup>	17.34±0.61	6.63±0.26 <sup>cd</sup>	3.50±0.20
26P/5.5L/40C	73.45±0.53 <sup>ab</sup>	17.28±0.47	5.32±0.15 <sup>f</sup>	3.62±0.18
26P/5.5L/30C	73.83±0.82 <sup>a</sup>	17.30±0.57	5.01±0.26 <sup>f</sup>	3.63±0.14
23.6P/8L/35C	72.34±0.48 <sup>c</sup>	16.99±0.56	6.82±0.23 <sup>bc</sup>	3.47±0.09
35.4P/8L/35C	72.82±0.30 <sup>bc</sup>	17.73±0.71	6.14±0.28 <sup>de</sup>	3.23±0.13
29.5P/3.8L/35C	73.64±0.80 <sup>ab</sup>	17.77±0.76	4.99±0.33 <sup>f</sup>	3.70±0.16
29.5P/12.2L/35C	71.72±0.46 <sup>d</sup>	17.50±0.55	7.56±0.26 <sup>a</sup>	3.21±0.08
29.5P/8L/26.5C	73.35±0.42 <sup>ab</sup>	17.67±0.66	5.34±0.31 <sup>f</sup>	3.47±0.12
29.5P/8L/43.4C	72.27±0.50 <sup>c</sup>	17.35±0.59	7.16±0.26 <sup>ab</sup>	3.33±0.16
29.5P/8L/35C	73.04±0.30 <sup>abc</sup>	17.15±0.47	5.99±0.20 <sup>e</sup>	3.66±0.25
29.5P/8L/35C	72.80±0.60 <sup>bc</sup>	17.61±0.64	5.93±0.14 <sup>e</sup>	3.47±0.11
29.5P/8L/35C	73.56±0.77 <sup>ab</sup>	17.77±0.54	6.22±0.34 <sup>de</sup>	3.54±0.11
29.5P/8L/35C	73.36±0.67 <sup>ab</sup>	17.56±0.60	6.56±0.26 <sup>cd</sup>	3.56±0.13
29.5P/8L/35C	73.24±0.42 <sup>ab</sup>	17.53±0.62	6.14±0.36 <sup>de</sup>	3.58±0.15
29.5P/8L/35C	73.58±0.34 <sup>ab</sup>	17.44±0.53	5.96±0.18 <sup>e</sup>	3.47±0.17

$Y_1=3.259899+0.487311x_1+0.108137x_2-0.128063x_3-0.220173x_1^2-0.16855x_1x_2-0.1544x_1x_3-0.108425x_2x_3-0.130317x_3^2 (R^2=0.9707)$

由于方程二次项系数均为负值, 因此, 该方程有极大值。对回归模型求一阶偏导, 整理后得到方程组:

$$\begin{aligned} 0.440346x_1+0.16855x_2+0.1544x_3-0.487311 &= 0 \\ 0.16855x_1+0.108425x_3-0.108137 &= 0 \\ 0.1544x_1+0.108425x_2+0.260634x_3+0.12806 &= 0 \end{aligned}$$

解得当  $x_1=1.5869$ ,  $x_2=0.0916$ ,  $x_3=-1.4695$  时,  $Y_1$  有极大值。根据各因素与对应自变量的编码转化公式:

$x_1=(X_1-29.5)/3.5$ ,  $x_2=(X_2-8)/2.5$ ,  $x_3=(X_3-35)/5$ , 可计算出 3 个因素的最佳水平值分别为蛋白质 35.05%, 脂肪 8.23%, 碳水化合物 27.65% 时, WGR 最大。

同理  $Y_2=0.024503+0.0021x_1+0.000611x_2-0.000455x_3-0.000807x_1^2-0.000727x_1x_2-0.000654x_1x_3-0.000459x_2x_3-0.000622x_3^2 (R^2=0.9704)$

解得当蛋白质、脂肪、碳水化合物水平分别为 35.62%、8.63%、28.16% 时, SGR 最大。

$Y_3=2.429109-0.285869x_1-0.084905x_2-0.051156x_3+0.111502x_1^2+0.075x_1x_2+0.14x_1x_3+0.1125x_2x_3+0.06554x_3^2 (R^2=0.9639)$

解得当蛋白质、脂肪、碳水化合物水平分别为 37.15%、4.56%、31.48% 时, FCR 最小。

回归分析表明, 饲料蛋白质、脂肪、碳水化合物水平及其两两交互作用均对试验鱼的生长有显著影响 ( $P < 0.05$ )。Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub> 模型中,  $x_1$ 、 $x_2$  项系数为正值,  $x_3$  项系数为负值, 表明饲料蛋白质、脂肪水平与试验鱼生长呈正相关, 碳水化合物水平与试验鱼生长呈负相关, 交互项回归系数均为负值, 表明三因素两两交互作用均与试验鱼生长呈负相关。Y<sub>3</sub> 模型中, 蛋白质、脂肪、碳水化合物水平与 FCR 均呈负相关, 三因素两两交互作用与其均呈正相关。

## 2.2 形体指数

由表 5 可知, 饲料营养水平对异育银鲫 VSI 的影响差异显著 ( $P < 0.05$ ), 对肥满度及 HSI 无显著影响 ( $P > 0.05$ )。以表 5 中 VSI (Y<sub>4</sub>) 为因变量, 建立 Y<sub>4</sub> 与因素  $x_i$  的二元回归方程为:

$$Y_4 = 9.48505 - 0.149708x_1 + 0.347842x_2 + 0.223596x_3 + 0.225394x_1^2 + 0.175x_1x_3 + 0.198877x_2^2 + 0.108721x_3^2 (R^2 = 0.9315)$$

Y<sub>4</sub> 有极小值, 解得 3 个因素的最佳水平值分别为蛋白质 33.22%, 脂肪 5.81%, 碳水化合物 25.58% 时, 异育银鲫的 VSI 最小。由回归方程可知, 饲料脂肪及碳水化合物水平与试验鱼 VSI 呈正相关, 蛋白质水平则与其呈负相关; 交互作用中, 仅蛋白质和碳水化合物的交互作用对 VSI 有显著影响 ( $P < 0.05$ ), 并与其呈正相关。

## 2.3 鱼体组成

由表 6 可知, 饲料营养水平对异育银鲫全鱼水分和脂肪含量有显著影响 ( $P < 0.05$ ), 对蛋白质和灰分含量的影响差异不显著 ( $P > 0.05$ )。以表 7 中全鱼水分 (Y<sub>6</sub>)、脂肪 (Y<sub>7</sub>) 含量为因变量, 分别建立 Y<sub>6</sub>、Y<sub>7</sub> 与因素  $x_i$  的二元回归方程为:

$$Y_6 = 73.0185 - 0.594503x_2 (R^2 = 0.8206);$$

$$Y_7 = 6.1155 - 0.76022x_2 + 0.335426x_3 (R^2 = 0.8864)$$

全鱼水分含量仅受饲料脂肪水平的影响 ( $P < 0.05$ ), 二者呈负相关。全鱼脂肪含量则受饲料脂肪、碳水化合物水平影响 ( $P < 0.05$ ), 二者均与全鱼脂肪含量呈正相关。当饲料脂肪含量高于 8% 时, 全鱼脂肪含量明显增大 ( $P < 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 饲料蛋白质、脂肪和碳水化合物水平对异育银鲫幼鱼生长的影响

饲料中蛋白质含量不足, 则会降低鱼类生长甚至会使其停止生长; 反之, 如果蛋白质含量过高, 则只有一部分用于组织生长, 剩余的将被用来转化

成能量, 造成资源的浪费<sup>[17]</sup>。在鱼类的营养代谢中, 虽然饲料脂肪、碳水化合物节约蛋白质的作用被广泛证实<sup>[18-20]</sup>, 但这种节约作用是有限的, 仅限于把蛋白质的分解供能降低到最低限度, 而对于蛋白质的其他功能则是脂肪无法替代的。因此, 脂肪、碳水化合物在饲料中的含量要适宜, 过多或不足均不利于鱼类的生长和发育。

本试验结果显示, 除碳水化合物水平较高的 29.5P/8L/43.4C 和 33P/10.5L/40C 两组外, 随饲料蛋白质水平上升, 试验鱼 WGR、SGR 上升, FCR 呈下降趋势, 其中 23.6P/8L/35C 组、26P/5.5L/30C 组生长性能显著低于 29%、33% 和 35.4% 蛋白质水平组, 可能是其较低的饲料蛋白质水平不能满足试验鱼的生长所致。本试验中, 33P/10.5L/30C 组试验鱼生长性能最佳, 最适蛋白质水平内的 35.4P/8L/35C 组与前者差异不显著, 但生长性能较前者下降, 这表明当蛋白质水平为 35.4% 时, 饲料 8% 脂肪、35% 碳水化合物水平过高, 对试验鱼生长产生了抑制作用。33P/10.5L/30C 组蛋白质水平虽然低于最适水平, 但其脂肪和碳水化合物满足了鱼体能量消耗, 减少了蛋白质的分解供能, 促使蛋白质更多的用于鱼体生长, 发挥了非蛋白能源物质节约蛋白质的作用, 相同的结果也发生在较低蛋白水平的 26P/10.5L/40C 组及 29.5P/8L/35C 组。

本试验以 WGR、SGR 和 FCR 为因变量, 通过回归分析, 得到异育银鲫幼鱼适宜的蛋白质、脂肪、碳水化合物需求量分别为 35.05%~37.15%、4.56%~8.63%、27.65%~31.48%。与前人的研究结果比较, 本试验中异育银鲫幼鱼适宜的蛋白质需要量略低, 其原因可能与试验设计、饲料脂肪和碳水化合物含量及养殖环境等不同有关。脂肪需要量与王爱民等<sup>[10]</sup>的试验结果基本一致, 远低于 Pei 等<sup>[11]</sup>的研究结果, 这可能是后者试验饲料中碳水化合物水平较低 (15%) 所致。分析已有的资料可见, 不同作者对异育银鲫适宜的碳水化合物需要量的研究结果还存在较大差异, 缪凌鸿等<sup>[12]</sup>、王芬<sup>[14]</sup>的研究结果与本试验结果较为接近, 这提示异育银鲫幼鱼可能对碳水化合物具有较好的利用能力, 相关内容还需开展更深入的研究。

### 3.2 饲料蛋白质、脂肪和碳水化合物水平对异育银鲫幼鱼形体指数的影响

本试验中, 异育银鲫幼鱼肥满度无显著差异, 这可能与其生长阶段、养殖温度及试验周期较短有关, 即异育银鲫幼鱼规格较小, 养殖期间水温较高, 幼鱼处于组织器官生长发育盛期, 对蛋白质和能量

物质的利用效率较高,虽然饲料营养水平有差异,但对幼鱼体长和体重生长的影响是同步的,加之试验周期较短,因此未造成肥满度的明显差别。

有研究指出,外源脂肪在鱼类肝脏中不易沉积<sup>[21-22]</sup>,与肝脏不同,肠系膜组织是鱼类脂肪的长期储存部位,且不易受到外界环境的影响<sup>[23]</sup>。本试验中,VSI与饲料脂肪、碳水化合物水平呈正相关,与蛋白质水平呈负相关,即脏体指数随饲料脂肪、碳水化合物水平升高或蛋白质水平下降而增大。HSI变化趋势与VSI基本一致,但各组间无显著差异,类似的结果在许氏平鲈<sup>[24]</sup>(*Sebastes schlegeli*)、杂交条纹鲈<sup>[25]</sup>(*Morone chrysops*×*M. saxatilis*)中也有报道。分析其原因,可能是饲料蛋白质水平较低时,影响了异育银鲫幼鱼内脏器官的发育,而当脂肪、碳水化合物水平较高时,在满足异育银鲫幼鱼正常的生长及代谢消耗外,过多的能量物质首先通过肝脏以脂质形式转移到肠系膜组织沉积,因而显著影响了VSI,但随着试验周期的延长,较高的脂肪和碳水化合物水平是否会引起肝脏代谢障碍,进而对HSI有显著影响,还有待进一步探讨。

由试验结果可知,当蛋白质、脂肪及碳水化合物水平分别为33.22%、8.23%、25.58%时,异育银鲫幼鱼VSI最小,将此蛋白质、脂肪及碳水化合物水平值代入到 $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$ 方程中,得到异育银鲫幼鱼WGR、SGR及FCR分别为349.96%、2.52%·d<sup>-1</sup>、2.49,均未达到对应指标的最佳水平,即VSI最小时,试验鱼的生长性能指标不一定最优。

### 3.3 饲料蛋白质、脂肪和碳水化合物水平对异育银鲫幼鱼体组成的影响

在本试验中,全鱼的蛋白、灰分含量相对稳定,受饲料影响较小。回归分析显示,全鱼水分含量与饲料脂肪水平呈负相关,即随着日粮脂肪水平上升,全鱼水分含量下降,这与蒋阳阳等<sup>[26]</sup>对团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)及曹俊明<sup>[27]</sup>等对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的研究结果一致。由试验结果可见,当饲料脂肪水平高于8%时,全鱼水分含量有较明显的下降趋势,这可能是过多的脂肪在鱼体内沉积造成的。有研究表明,饲料脂肪水平与鱼体组织脂肪含量间具有正相关性<sup>[28-30]</sup>,而饲料碳水化合物水平过高时,鱼体脂肪含量可能升高<sup>[31-32]</sup>或降低<sup>[33-34]</sup>。本试验中,全鱼脂肪含量随饲料脂肪及碳水化合物水平升高而升高,表明饲料脂肪和碳水化合物水平过高时,过多的能量物质会转化成脂质形式在鱼体内沉积,但就脂肪和碳水化合物比较而言,脂肪的沉积效率更高。

## 4 小结

在本试验中,当蛋白质、脂肪、碳水化合物水平分别为33.22%、8.23%、25.58%时,异育银鲫幼鱼脏体指数最小,但此时异育银鲫幼鱼WGR、SGR及FCR均未达到对应指标的最佳水平。在本试验条件下,结合体脂和水分含量指标,异育银鲫幼鱼获得最佳生长性能和较低体脂含量的蛋白质、脂肪、碳水化合物需求量分别为35.05%~37.15%、4.56%~8%、27.65%~31.48%。

## 参考文献:

- [1] 庄平,陈喜斌,曹翠平,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.
- [2] Grisdale H B, Shearer K D, Gatlin D M, et al. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, protein digestibility, feed utilization and body composition of Atlantic cod (*Gadus morhua*)[J]. Aquaculture, 2008, 283(1/4): 156-162.
- [3] Gao W, Liu Y J, Tian L X, et al. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth performance, body composition, nutrient utilization and hepatic enzymes activities of herbivorous grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. Aquaculture Nutrition, 2010, 16: 327-333.
- [4] Luo Z, Liu Y, Mai K, et al. Effect of dietary lipid level on growth performance, feed utilization and body composition of grouper *Epinephelus coioides* juveniles fed isonitrogenous diets in floating net cages[J]. Aquaculture International, 2005, 13: 257-269.
- [5] 王芬,谭青松,解绶启,等.异育银鲫口服不同剂量淀粉后血糖和血脂代谢变化[J].水生生物学报,2008,32(4):610-614.
- [6] 钱雪桥.长吻鮠和异育银鲫幼鱼饲料蛋白需求的比较营养能量学研究[D].武汉:中国科学院水生生物研究所,2001:52-66.
- [7] 蔡春芳,吴康,潘新法,等.蛋白质营养对异育银鲫生长和免疫力的影响[J].水生生物学报,2001,25(6):590-596.
- [8] 叶文娟,朱晓鸣,韩冬,等.异育银鲫的蛋白需求研究[C]//2012年中国水产学会学术年会论文摘要集.中国水产学会,2012:143.
- [9] 李爱杰.水产动物营养与饲料学[M].北京:中国农业出版社,1996:36-46.
- [10] 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.
- [11] Pei Z, Xie S, Lei W, et al. Comparative study on the effect of dietary lipid level on growth and feed utilization for gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) and Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther)[J]. Aquaculture Nutrition, 2004, 10(4): 209-216.
- [12] 缪凌涛,刘波,戈贤平,等.高碳水化合物水平日粮对异育银鲫生长、生理、免疫和肝脏超微结构的影响[J].水产学报,2011,35(2):221-230.
- [13] 蔡春芳,王永玲,陈立侨,等.饲料糖种类和水平对青

- 鱼、鲫生长和体成分的影响[J]. 中国水产科学, 2006, 13(3): 452-459.
- [14] 王芬. 饲料中高淀粉含量对异育银鲫生长、代谢及鱼体成分的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 19-28.
- [15] 裴之华, 解绶启, 雷武, 等. 长吻鮠和异育银鲫对玉米淀粉利用差异的比较研究[J]. 水生生物学报, 2005, 29(3): 239-246.
- [16] 李贵锋, 蒋广震, 刘文斌, 等. 不同蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(2): 225-232.
- [17] Mcgoogan B B, Gatlin D M. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus*. II. Effects of energy level and nutrient density at various feeding rates[J]. Aquaculture, 2000, 182: 271-285.
- [18] 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: 323-329.
- [19] Furuichi M, Yone Y. Availability of carbohydrate in nutrition of carp and red bream[J]. Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries, 1982, 47: 945-948.
- [20] 朱欢喜, 蒋琦辰, 杨江华, 等. 饲料中非蛋白能源物质对红螯光壳螯虾幼虾生长、生理、生化指标的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(3): 473-480.
- [21] 梁旭方, 白俊杰, 劳海华, 等. 真鲷脂蛋白脂肪酶基因表达与内脏脂肪蓄积营养调控定量研究[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(6): 625-631.
- [22] Gaylord T G, Gatlin D M. Dietary lipid level but not L-carnitine affects growth performance of hybrid striped bass(*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)[J]. Aquaculture, 2000, 190(3/4): 237-246.
- [23] Sheridan M A. Regulation of lipid metabolism in poikilothermic vertebrates [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 1994, 107: 495-508.
- [24] Lee S M, Jeon I G, Lee J Y. 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.
- [25] Webster C D, Tiu L G, Tidwell J H, et al. Effects of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of sunshine bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) reared in cages[J]. Aquaculture, 1995, 131: 291-301.
- [26] 蒋阳阳, 李向飞, 刘文斌, 等. 不同蛋白质和脂肪水平对 1 龄团头鲂生长性能和体组成的影响[J]. 水生生物学报, 2012, 36(5): 826-835.
- [27] 曹俊明, 美国强, 刘永坚, 等. 饲料蛋白质、脂肪、碳水化合物水平对草鱼生长和组织营养成分组成的影响[J]. 水产科技情报, 1997, 24(2): 56-60.
- [28] 邹师哲, 王义强, 张家国. 饲料中蛋白质、脂肪、碳水化合物对鲤消化酶的影响[J]. 上海水产大学学报, 1998, 7(1): 69-74.
- [29] Glineau A, Bolliet V, Corraze G, et al. The combined effects of feeding time and dietary fat levels on feed intake, growth and body composition in rainbow trout [J]. Aquatic Living Resources, 2002, 1(4): 225-230.
- [30] Wang J T, Liu Y J, Tian L X, et al. Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. Aquaculture, 2005, 249(1/4): 439-447.
- [31] 蔡春芳, 王永玲, 陈立侨, 等. 饲料糖种类和水平对青鱼、鲫生长和体成分的影响[J]. 中国水产科学, 2006, 13(3): 452-459.
- [32] 吴凡, 文华, 蒋明, 等. 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长、体成分和血清生化指标的影响[J]. 华南农业大学学报, 2011, 32(4): 91-95.
- [33] 张世亮, 艾庆辉, 徐玮, 等. 饲料中糖/脂肪比例对瓦氏黄颡鱼生长、饲料利用、血糖水平和肝脏糖酵解酶活力的影响[J]. 水生生物学报, 2012, 36(3): 466-473.
- [34] Ali M Z, Jauncey K. Optimal dietary carbohydrate to lipid ratio in African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822)[J]. Aquaculture International, 2004, 12: 169-180.