

饲料脂肪水平对鳊幼鱼生长、 体成分及血清生化指标的影响

赵巧娥 朱邦科 沈凡 樊启学 宋林
杨磊 杨威 孙存军 陈海燕

华中农业大学水产学院, 武汉 430070

摘要 将初始均质量(8.26 ± 0.81) g 的鳊(*Elopichthys bambusa*) 300尾, 随机分为5组, 分别投喂5种脂肪水平(A组: 3%、B组: 6%、C组: 9%、D组: 12%、E组: 15%)的等氮($45.64\% \pm 0.20\%$)、等能(16.82 ± 0.11 MJ/kg)饲料56 d, 研究饲料脂肪水平对鳊幼鱼生长、体成分及血清生化指标的影响。结果表明: 随着饲料脂肪水平的升高, 增重率、特定增长率(SGR)先升后降, B组显著高于A、E组($P < 0.05$), 回归分析得出, 饲料脂肪含量为7.71%时SGR最高; 随着饲料脂肪水平的增加, 饵料系数先降后升, B组显著低于A、D、E组($P < 0.05$), 蛋白质效率先升后降, B组最高; 肝体比(HSI)随饲料脂肪含量增加而升高, A组显著低于C、D、E组($P < 0.05$); 鱼体脂肪、肝脏脂肪含量的变化趋势同 HSI, 体蛋白含量先升后降; 随饲料脂肪水平上升, 血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶、碱性磷酸酶活力及总胆汁酸含量呈上升趋势, 总蛋白、总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇含量呈降低趋势。经分析认为, 鳊最适饲料脂肪含量为7.71%, 含量过高使鳊生长缓慢, 脂肪代谢异常。

关键词 鳊; 饲料脂肪; 生长; 体成分; 血清生化指标

中图分类号 S 963.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2012)03-0357-07

鳊(*Elopichthys bambusa*)生长迅速, 肌肉蛋白质品质高, 氨基酸构成合理, 具有较高市场价值和较强发展潜力, 是新兴的名特品种。目前, 鳊的人工繁殖及驯化已获成功^[1-2], 但适宜饲料的缺乏仍阻碍着其大规模养殖的发展。

饲料脂肪提供鱼类生长的必需脂肪酸, 有助于脂溶性维生素的吸收, 具保持细胞膜生理功能的作用, 作为能量来源优于碳水化合物, 可以节约蛋白质, 提高饲料效率和鱼类生长速率, 减少氨氮排放, 是重要的营养物质^[3-6]。但脂肪过量会降低鱼类消化和吸收脂肪酸的能力, 使生长速率降低^[6]。因此, 饲料脂肪水平必须仔细评估。目前, 关于鳊的脂肪需求的研究尚未见报道。本研究探寻鳊幼鱼饲料的最佳脂肪水平, 以期对鳊经济适用饲料的研制提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验鱼

试验鱼为笔者所在实验室人工繁殖培育的同一

批鳊幼鱼。32日龄时于华中农业大学水产养殖基地驯食微囊饲料, 试验开始前用自制硬颗粒饲料驯养2周。驯养结束时试验鱼体质量为(8.26 ± 0.81) g, 无病无伤。

1.2 试验饲料

试验饲料鱼油添加量分别为0%、3%、6%、9%、12%, 配制成脂肪含量为2.79%~14.77%的5组等氮(粗蛋白: $45.64\% \pm 0.20\%$)等能(总能: 16.82 ± 0.11 MJ/kg)饲料, 以美国白鱼粉和酪蛋白为主要蛋白源, 鱼油为主要脂肪源, α -淀粉为主要糖源, 通过调整 α -淀粉和 α -纤维素的含量来保持等能。各原料粉碎过0.25 mm筛, 称质量后采用逐级扩大法混合, 用双螺杆制粒机制成直径为2 mm的颗粒, 自然风干, 过筛后保存于-18℃备用。试验饲料组成和化学成分见表1。

1.3 试验设计与饲养管理

驯养结束后, 取300尾试验鱼随机分配到15个容积为300 L的玻璃圆缸中, 分为5组, 每组3个

收稿日期: 2011-05-20

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAD37B02)和湖北省“十一五”重大科技攻关项目(2006AA203A01)

赵巧娥, 硕士研究生。研究方向: 水产动物营养与饲料。E-mail: qiaozhaoyue@163.com

通讯作者: 朱邦科, 副教授。研究方向: 水产养殖和渔业生态学。E-mail: zhubk@mail.hzau.edu.cn

表 1 试验饲料组成及化学成分(风干基础)

项目 Items	试验饲料 Experimental diets				%
	A(3%)	B(6%)	C(9%)	D(12%)	
原料 Ingredients					
白鱼粉 White fish meal	36.54	36.54	36.54	36.54	36.54
酪蛋白 Casein	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
鱼油 Fish oil	0.00	3.00	6.00	9.00	12.00
α -淀粉 α -Starch	28.00	21.50	15.00	8.50	2.00
α -纤维素 α -Cellulose	0.00	3.50	7.00	10.50	14.00
复合无机盐 Mineral premix ¹⁾	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
复合维生素 Vitamin permix ¹⁾	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
羧甲基纤维素钠 CMC	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
维生素 C Vitamin C ²⁾	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
抗氧化剂 Antioxidant	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Cr ₂ O ₃ ³⁾	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
化学成分 Proximate chemical composition ⁴⁾					
水分 Moisture	8.56	8.04	9.04	8.88	8.98
粗蛋白质 Crude protein	45.56	45.70	45.89	45.35	45.68
粗脂肪 Crude lipid	2.79	5.85	8.71	11.65	14.77
灰分 Ash	10.55	10.68	10.67	10.35	10.88
总能/(MJ/kg) Gross energy	16.68	16.80	16.86	16.78	16.98

1) 根据 Lin 等^[7]配制复合无机盐和复合维生素 According to Lin formula^[7]; 2) 与抗氧化剂同时使用, 增强抗氧化效果 Ascorbic acid was added to strengthen the anti-oxidation function of antioxidant; 3) 笔者实验室同时开展若干试验以研究鳃的脂肪需求, 为保证配方统一, 饲料中含有 Cr₂O₃, 但本研究并未测定消化率等指标 Chromium oxide was added to keep the formula consistency with other experiments which were taken in our Laboratory. The digestibility of dietary nutrients was not investigated in this study; 4) 实测值 Measured values.

重复, 每个重复 20 尾。分别投喂不同脂肪水平的试验饲料, 饲养 56 d。试验鱼采用大棚内循环水饲养系统饲养, 水体 5~6 h 交换 1 次, 缸内以气泵增氧。每天投喂 2 次(08:00 和 16:00 各 1 次), 饱食投喂, 投喂前虹吸清污, 饱食后 30 min 迅速虹吸残饵并风干测定其质量。每日记录摄食及死亡情况。试验用水为曝气后的自来水, 每日监测水温及水质。试验期间水温(27.9±1.8) °C, pH 7.0~8.5, 溶解氧 > 5 mg/L, 氨氮 < 0.02 mg/L、亚硝态氮 < 0.01 mg/L, 自然光照。

1.4 样品采集

56 d 饲养结束后, 停食 24 h。每缸随机取鳃 9 尾, 置于 200 mg/L 的 MS-222 溶液中麻醉, 测定体长体质量后, 用 1 mL 注射器于尾动(静)脉取非抗凝血, 制备血清。取血后于冰盘上解剖, 取肝胰脏, 用 4 °C 预冷的生理盐水冲洗, 然后用滤纸吸干, 分离肠系膜脂肪团, 用精度 0.001 g 的天平称量肝胰脏、肠系膜脂肪团质量。每缸另随机取 3 尾试验鱼用作

体成分分析。所有样品置于 -80 °C 超低温冰箱保存待测。

1.5 生长性能的测定

据测定数据计算增重率(weight gain rate, WGR)、特定生长率(specific growth rate, SGR)、蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER) 饵料系数(feed conversion ratio, FCR)、肥满度(condition factor, CF)、肝体比(hepatosomatic index, HSI) 及脂肪系数(mesenteric fat index, MFI); 据统计死亡情况计算成活率(survival rate, SR), 计算公式如下:

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

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

$$\text{蛋白质效率(PER)} = (\sum W_t - \sum W_0) / W_p;$$

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

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

$$\text{肝体比(HSI)/\%} = 100 \times W_l / W_t;$$

$$\text{脂肪系数(MFI)/\%} = 100 \times W_{mt} / W_t;$$

$$\text{存活率(SR)/\%} = 100 \times N_t / N_0.$$

式中, W_0 为初始鱼体质量, g; W_t 为终末鱼体质量, g; W_l 为终末鱼体肝质量, g; W_{mf} 为终末鱼体肠系膜脂肪质量, g; W_f 为摄入饲料总质量, g; $\sum W_l$ 为终末鱼体总质量, g; $\sum W_0$ 为初始鱼体总质量, g; W_p 为摄入的饲料蛋白质总量, g; L 为终末鱼体长, cm; t 为试验天数, d; N_0 为初始鱼尾数, N_t 为终末鱼尾数。

1.6 生化成分的常规方法测定

分别采用 105 °C 常压干燥法、凯氏定氮法、索氏提取法及 550 °C 灼烧法测定全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分。肝脏的水分、粗蛋白和灰分方法同全鱼, 肝脏脂肪含量采用氯仿-甲醇抽提法测定。

1.7 血清生化指标的测定

将血清解冻, 3 000 r/min 离心 10 min 除去凝胶状物后, 用全自动生化测定仪(雅培 Aeroset) 进行血清生化指标测定。

测定项目: 总胆固醇(CHO)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、葡萄糖(GLU)含量, mmol/L; 谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、碱性磷酸酶(ALP)活力, U/L; 总胆红素(TBILI)、总胆汁酸(TBA)含量, μ mol/L; 总蛋白(TP)含量, g/L。

1.8 统计分析

结果以平均值 \pm 标准差表示, 采用 SPSS 16.0 对数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和多重比较(LSD法)。差异显著性水平为 $P < 0.05$ 。通过非线性回归分析, 用二次曲线模型对鳃的 SGR

与饲料脂肪含量的关系进行拟合。

2 结果与分析

2.1 饲料脂肪水平对鳃幼鱼生长和饲料利用的影响

试验期间各组存活率均在 95% 以上。特定生长率(SGR)随饲料脂肪含量的升高先升后降, 两者的二次回归方程为: $SGR/(\%/d) = 1.525 + 0.1341x - 0.0087x^2$ ($R^2 = 0.531, P < 0.05$) (图 1), 当饲料脂肪含量为 7.71% 时, SGR 有最大值(2.04 %/d)。由表 2 可知, 随饲料脂肪水平升高, 增重率(WGR)与蛋白质效率(PER)先升后降, 饵料系数(FCR)则先降后升, 肝体比(HSI)呈上升趋势。B 组 WGR 与 PER 均最大, 分别为 226.48%、2.34, 且

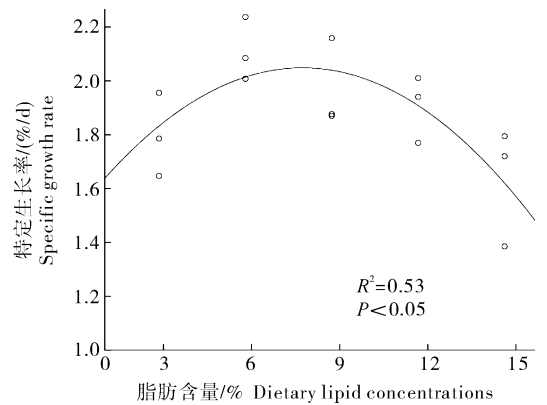


图 1 鳃幼鱼特定生长率与饲料脂肪含量的二次曲线回归分析

Fig. 1 Quadratic model regression analysis between specific growth rate and dietary lipid concentrations for juvenile *Elopichthys bambusa*

表 2 饲料脂肪水平对鳃幼鱼生长及饲料利用的影响¹⁾

Table 2 Effect of dietary lipid levels on growth, feed utilization in juvenile *E. bambusa*

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid levels				
	A(3%)	B(6%)	C(9%)	D(12%)	E(15%)
存活率/% SR	96.67 \pm 2.89	98.33 \pm 2.89	100.00	96.67 \pm 5.77	95.00 \pm 5.00
初始鱼体质量/g IW	8.01 \pm 0.42	7.92 \pm 0.49	8.29 \pm 0.37	8.34 \pm 0.31	8.72 \pm 0.33
终末鱼体质量/g FW	21.92 \pm 1.40	25.80 \pm 0.54	25.00 \pm 2.24	24.32 \pm 2.16	21.95 \pm 3.37
增重率/% WGR	174.13 \pm 23.83 ab	226.48 \pm 21.57 c	202.03 \pm 28.56 bc	191.40 \pm 19.97 abc	150.78 \pm 29.60 a
蛋白质效率 PER	1.61 \pm 0.16 ab	2.34 \pm 0.20 c	1.97 \pm 0.29 bc	1.70 \pm 0.13 ab	1.52 \pm 0.33 a
饵料系数 FCR	1.37 \pm 0.14 bc	0.94 \pm 0.08 a	1.13 \pm 0.15 ab	1.29 \pm 0.11 bc	1.49 \pm 0.36 c
饱满度/% CF	0.83 \pm 0.02	0.84 \pm 0.02	0.84 \pm 0.02	0.85 \pm 0.05	0.85 \pm 0.02
肝体比/% HSI	1.49 \pm 0.21 a	1.83 \pm 0.18 ab	2.01 \pm 0.30 b	2.16 \pm 0.27 b	2.01 \pm 0.15 b
脂肪系数/% MFI	1.30 \pm 0.53	1.39 \pm 0.46	1.09 \pm 0.12	1.58 \pm 0.37	1.60 \pm 0.02

1) 同行中标注不同字母的数值间差异显著 ($P < 0.05$), 下表同。The values with different letters in the same row indicate there are significant difference ($P < 0.05$). The same as below.

均与 C 组差异不显著 ($P > 0.05$); A 组 HSI (1.49%) 显著低于 C、D、E 3 组 ($P < 0.05$)。肥满度 (CF) 及脂肪系数 (MFI) 在各组间无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.2 饲料脂肪水平对鳊鱼体成分的影响

随着饲料脂肪水平的增加, 鱼体粗蛋白含量先升后降, A、B 组显著高于 C、D、E 组 ($P < 0.05$)。鱼体粗脂肪含量随饲料脂肪水平的升高而递增, E 组 (6.25%) 显著高于 A、B 2 组 ($P < 0.05$)。各组鱼体水分、灰分无显著差异 ($P > 0.05$)。肝脂肪含量随饲料脂肪水平的升高而增加, A 组最低 ($P < 0.05$), E 组最高 ($P < 0.05$)。详见表 3。

2.3 饲料脂肪水平对鳊鱼血清生化指标的影响

随饲料脂肪水平的增加, 鳊鱼血清 ALT、

AST、ALP 活力及 TBA 含量呈上升趋势, TP 及 CHO、TG、HDL-C、LDL-C 含量则以降低为主。详见表 4。

A 组 ALT 活力显著低于 D、E 2 组 ($P < 0.05$), E 组显著高于 A、B、C 3 组 ($P < 0.05$); A 组 AST 活力显著低于 B、D、E 3 组 ($P < 0.05$), E 组最高 ($P < 0.05$); A 组 ALP 活力及 TBA 含量最低 ($P < 0.05$), E 组 TBA 含量最高 ($P < 0.05$); A 组 TP 显著高于 C、D、E 3 组 ($P < 0.05$), E 组显著低于 A、B 2 组 ($P < 0.05$)。A、B、C 3 组 CHO 含量显著高于 E 组 ($P < 0.05$), C、D 组显著低于 A 组 ($P < 0.05$); E 组 TG 与 LDL-C 含量最低 ($P < 0.05$), A 组 LDL-C 含量最高 ($P < 0.05$)。各组血清 TBILI、HDL-C、GLU 含量间无显著差异。

表 3 饲料脂肪水平对鳊鱼体成分及肝脏脂肪含量的影响 (占湿质量比例)

Table 3 Body compositions and liver lipid content of juvenile *E. bambusa* with respect to different dietary lipid levels (% wet weight)

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid levels				
	A(3%)	B(6%)	C(9%)	D(12%)	E(15%)
体成分 Whole body composition					
水分 Moisture	71.85±0.74	71.37±0.64	71.63±0.95	72.10±1.25	71.51±0.83
粗蛋白 Crude protein	17.64±0.51 c	17.98±0.33 c	16.30±0.18 b	15.22±0.28 a	15.88±0.75 ab
粗脂肪 Crude lipid	4.69±0.43 a	5.10±0.59 ab	5.86±0.57 bc	6.01±0.58 bc	6.21±0.40 c
灰分 Ash	6.18±0.56	6.81±0.34	6.02±0.57	6.07±0.39	6.60±0.21
肝脏脂肪 Liver lipid					
粗脂肪 Crude lipid	8.95±0.18 a	10.86±0.77 b	11.13±0.12 b	11.91±1.49 b	13.30±0.22 c

表 4 饲料脂肪水平对鳊鱼血液生化指标的影响

Table 4 Effect of dietary lipid levels on the serum biochemical indices of juvenile *E. bambusa*

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid levels				
	A(3%)	B(6%)	C(9%)	D(12%)	E(15%)
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	14.67±2.08 a	18.33±2.08 ab	17.67±2.52 ab	20.00±2.65 bc	24.67±4.16 c
谷草转氨酶/(U/L) AST	213.33±13.43 a	249.67±10.60 b	234.00±12.12 ab	260.00±24.27 b	294.67±22.55 c
碱性磷酸酶/(U/L) ALP	33.67±1.53 a	38.67±2.08 b	38.67±2.52 b	39.67±2.53 b	41.33±3.06 b
总蛋白/(g/L) TP	47.17±2.38 c	43.80±1.40 bc	41.10±2.95 ab	42.47±2.40 ab	38.80±2.86 a
总胆红素/(μ mol/L) TBILI	2.50±0.26	2.67±0.25	2.80±0.26	2.63±0.25	2.60±0.20
总胆汁酸/(μ mol/L) TBA	0.23±0.06 a	0.53±0.06 b	0.60±0.10 b	0.67±0.15 b	0.87±0.06 c
葡萄糖/(mmol/L) GLU	7.37±1.14	5.85±1.11	6.50±2.96	8.54±2.34	6.55±1.65
总胆固醇/(mmol/L) CHO	8.93±1.10 c	8.14±0.08 bc	7.44±0.62 b	6.92±0.86 ab	6.10±0.36 a
甘油三酯/(mmol/L) TG	3.07±0.25 c	2.70±0.10 b	2.81±0.13 bc	2.95±0.20 bc	2.40±0.06 a
高密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) HDL-C	2.35±0.60	2.31±0.10	1.93±0.28	2.05±0.25	1.79±0.14
低密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) LDL-C	0.82±0.19 c	0.50±0.09 b	0.36±0.04 b	0.34±0.02 b	0.16±0.03 a

3 讨论

3.1 饲料脂肪水平对鳃幼鱼生长和饲料利用的影响

本研究中, 饲料脂肪水平为 6% 的组 SGR 与 WGR 均显著高于 3%、15% 组, 而与 9% 和 12% 的组差异不显著, 呈“∩”型趋势。在对马拉巴石斑鱼 (*Epinephelus malabaricus*)^[7]、日本鲈 (*Lateolabrax japonicus* L.)^[8]、奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[9] 的报道中有类似趋势。饲料脂肪不足时鱼类生长性能差, 可能是因为可消化能的不足或必需脂肪酸的缺乏。饲料脂肪过量时, 鱼体对脂肪的消化吸收能力则会降低, 脂肪酸的重新合成受到抑制, 从而使生长速率降低^[6]。本试验饲料等能, 因此低脂组(3%)的低生长速率更可能是必需脂肪酸不足造成。除上述原因外, 高脂组(15%)与低脂组(3%)都有较低的 WGR 和 SGR, 还可能与为了保持饲料等能, 各组碳水化合物和脂肪的比例不同有关。对星鲮 (*Platichthys stellatus*)^[10]、爪哇鲤 (*Puntius gonionotus*)^[11] 的研究中呈现出另一种结果, 随脂肪水平上升, WGR 和 SGR 先上升, 后稳定。这可能与试验鱼种类及试验条件不同有关。

本研究采用二次曲线模型^[7,9,11]拟合鳃幼鱼 SGR 与饲料脂肪含量之间的关系, 模型中 SGR 有最大值时, 饲料脂肪含量为 7.71% (风干基础)。该结果高于对同科草食性鱼类的报道, 如草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 4%^[12]、团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 2%~5%^[13], 与同科肉食性鱼类, 如青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 6.5%^[14]、翘嘴红鲌 (*Erythroculter ilishaeformis*) 7.88%~9.18%^[15] 比较接近, 但低于有名锤形石首鱼 (*Atractoscion nobilis*) 15.5%~18.0%、日本鲈 10.62%、奥尼罗非鱼 12%^[3,8-9] 等鲈形目肉食性种类。消化系统结构、发育阶段的不同必然导致试验鱼表现出不同的脂肪需求。此外, 本试验中鳃与同食性鱼类相比脂肪需求偏低, 也可能是由于试验饲料以美国白鱼粉和酪蛋白为蛋白源, 鱼油为脂肪源, 能较好地满足肉食性鱼类的需求所致。

通过增加饲料中的脂肪而非碳水化合物来提高可消化能, 是保证鱼类生长, 同时节约饲料蛋白质的常用策略^[16]。在对有名锤形石首鱼^[3]、齿鲮 (*Dentex dentex*)^[4] 的研究中, 都发现了饲料脂肪对蛋白质的节约效应, 但在对爪哇鲤和大菱鲆 (*Psetta*

maxima)^[11,17] 的研究中并未发现。本试验中饲料脂肪水平对饵料系数及蛋白质效率有显著影响。饲料脂肪从 3% 上升至 9% 时, 表现出对蛋白质的节约效应, 但升至 15% 时蛋白质效率反而显著降低, 饵料系数升高。结合肝体比的结果分析认为, 可能是饲料中过量的脂肪沉积在肝脏, 使组织受损, 正常代谢功能受阻, 从而导致饵料系数升高, 蛋白质节约效应消失。冯健等^[18]证实, 红姑鱼 (*Sciaenops ocellatus*) 肝体比随饲料脂肪的增多而上升, 高脂组肝脏严重脂肪病变。本试验中各组肥满度无显著差异, 在草鱼^[12]、大西洋白姑鱼 (*Argyrosomus regius*)^[19] 的研究中有类似结果。

3.2 饲料脂肪水平对鳃幼鱼体组成的影响

饲料脂肪水平的增加会使鱼体脂肪含量增加, 过量脂肪会沉积在鱼体腹腔、肝脏和肌肉组织^[7-8,12,14]。本试验中, 鱼体脂肪含量随饲料脂肪水平的升高而持续增加, 9%~15% 组试验鱼体脂肪含量显著高于 3% 组。报道显示, 草鱼肝脏脂肪含量在 10%~15% 之间时, 肝细胞脂滴极大, 胞质移位, 线粒体肿大, 病变严重^[20]。本研究中, 鳃肝脏脂肪沉积量随饲料脂肪的增加而上升, 高脂组(15%)最高, 达 13.30%, 支持本文中对该组蛋白质节约效应消失原因的分析。6% 组的试验鱼体蛋白质含量最高, 这可能是由于该组有最大的饲料利用率和蛋白质利用率, 表现为饵料系数最低(0.94)和蛋白质效率最高(2.34)。

3.3 饲料脂肪水平对鳃幼鱼血清生化组成的影响

血清 CHO 和 TG 与鱼类营养状态密切相关, 两者含量升高表明内生脂肪转运活跃, 是脂肪运输系统对高脂饲料的应答^[10,12,21]。但 Du 等^[12]发现, 草鱼经脂肪水平为 0%~12% 的 7 种饲料投喂 70 d 后, 血浆 CHO 及 TG 均显著低于初始值, 认为可能是脂肪肝影响了正常脂肪运输所致。Lin 等^[20]也发现, 当草鱼肝脏脂肪积累到一定程度, 血液 CHO 和 TG 反而减少。本研究中血清 CHO 含量随饲料脂肪水平升高而降低, TG 含量在饲料脂肪达 6% 和 15% 时各有一次显著降低。可能的解释是, 脂肪水平在 6% 及以上时, 试验鱼肝细胞受到不同程度的损伤, 高脂组较严重。其他血液指标也支持该推断, AST 活力及 TBA 含量在脂肪水平达 6% 及 15% 时均有显著上升, ALT 活力随脂肪水平梯度稳定增加, 低脂组(3%)ALP 活力显著降低, 而 TP 含量则与 CHO、TG 含量变化趋势相似。有研究表明, 此

类结果很可能是发生脂肪肝后肝细胞破损,主要储存在于肝细胞的各种酶进入血液,同时肝功能受阻,合成和分泌蛋白质能力降低,以及胆汁反流入血液所造成^[22]。

脂蛋白是体内的油脂动力系统,其水平会对投喂频率、饲料脂肪水平、鱼类自身状况产生应答^[21]。高密度脂蛋白(HDL)为血液中胆固醇清理者,携带胆固醇后形成 HDL-C,低密度脂蛋白(LDL)则以与前者相反的方向运输胆固醇,携带后形成 LDL-C。因此,随饲料脂肪水平增加,LDL-C 含量持续降低,表明试验鱼由肝脏向血液输送的 CHO 持续减少,这可以解释各组血清 CHO 含量的差异。极低密度脂蛋白(VLDL)结合肝脏合成的 TG 进入血液,TG 被脂蛋白脂肪酶(LPL)分解,VLDL 则部分转化为 LDL。当肝脏合成 TG 的过程受阻,血液中 VLDL 含量会随之下降,从而导致 LDL 减少^[21]。因此,高脂组(15%)LDL-C 含量显著低下可能是肝脏 TG 代谢功能障碍的表现。与 LDL-C 相比,HDL-C 含量相对稳定,这在对斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)、大马哈鱼(*Oncorhynchus gorbuscha*)、虹鳟(*Salmo gairdneri*)脂蛋白的研究中都有发现^[21]。

各组 GLU 含量差异不显著。Chatzifotis 等^[19]曾有相似报道,并表示饲料脂肪水平不影响鱼类对葡萄糖的利用。

已有研究表明,即使饲料脂肪含量适于鱼类生长,甚至更低,养殖鱼类仍可能患有脂肪肝,这与饲料能量、蛋白质及磷脂水平有关^[12,18]。综合分析本研究肝脏脂肪累积情况、生长情况及血液指标,认为长期投喂脂肪水平为 15%的饲料使鳃幼鱼肝脏受损较严重;生长最佳的组肝脏可能也有轻微损伤。因此,为了保证生长速度同时减少脂肪肝风险,今后还需关注饲料中抗脂肪肝因子对鳃脂肪代谢的影响及其适宜添加量。

参 考 文 献

- [1] 樊启学,杜海明,朱邦科,等. 鳃人工繁殖试验[J]. 水利渔业, 2007,27(2):47-48.
- [2] 杜海明,刘文奎,张磊,等. 投喂频率对鳃幼鱼摄食及生长的影响[J]. 淡水渔业,2007,37(6):15-18.
- [3] LOPEZ L M, TORRES A L, DURAZO E, et al. Effects of lipid on growth and feed utilization of white seabass (*Atractoscion nobilis*) fingerlings [J]. Aquaculture, 2006, 253: 557-563.
- [4] COMPANY R, CALDUCH-GINER J A, PÉREZ-SÁNCHEZ J, et al. Protein sparing effect of dietary lipids in common dentex (*Dentex dentex*): a comparative study with sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquatic Living Resources, 1999, 12(1): 23-30.
- [5] AGRADI E, BONOMI L, RIGAMONTI E, et al. The effect of dietary lipids on tissue lipid and ammonia excretion in European eels (*Anguilla anguilla*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1995, 111(3): 445-451.
- [6] SARGENT J R, HENDERSON R J, TOCHER D R. The lipids [M]//HALVER J E. Fish Nutrition. London: Academic Press, 1989: 154-209.
- [7] LIN Y H, SHIAU S Y. Dietary lipid requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus*, and effects on immune responses [J]. Aquaculture, 2003, 225: 243-250.
- [8] LUO G, XU J H, TENG Y J, et al. Effects of dietary lipid levels on the growth, digestive enzyme, feed utilization and fatty acid composition of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus* L.) reared in freshwater [J]. Aquaculture Research, 2010, 41: 210-219.
- [9] CHOU B S, SHIAU S Y. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus* [J]. Aquaculture, 1996, 143: 185-195.
- [10] DING L Y, ZHANG L M, WANG J Y, et al. Effect of dietary lipid level on the growth performance, feed utilization, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*) [J]. Aquaculture Research, 2010, 41: 1470-1478.
- [11] MOHANTA K N, MOHANTY S N, JENA J K, et al. Optimal dietary lipid level of silver barb, *Puntius gonionotus* fingerlings in relation to growth, nutrient retention and digestibility, muscle nucleic acid content and digestive enzyme activity [J]. Aquaculture Nutrition, 2008, 14: 350-359.
- [12] DU Z Y, LIU Y J, TIAN L X, et al. Effect of dietary lipid level on growth, feed utilization and body composition by juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2005, 11: 139-146.
- [13] 刘梅珍,石文雷,朱晨炜,等. 饲料中脂肪的含量对团头鲂鱼种生长的影响[J]. 水产学报, 1992, 16(4): 330-336.
- [14] 王道尊,龚希章,刘玉芳. 饲料中脂肪的含量对青鱼鱼种生长的影响[J]. 水产学报, 1987, 11(1): 23-28.
- [15] 向泉,周兴华,陈建,等. 日粮脂肪水平对翘嘴红鲌幼鱼生长性能和体组成的影响[J]. 动物营养学报, 2009, 21(3): 411-416.
- [16] CHO C Y, BUREAU D P. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture [J]. Aquaculture Research, 2001, 32 (Suppl. 1): 349-360.
- [17] REGOST C, ARZEL J, CARDINAL M, et al. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*) [J]. Aquaculture, 2001, 193: 291-309.
- [18] 冯健,贾刚. 饵料中不同脂肪水平诱导红姑鱼脂肪肝病的研究[J]. 水生生物学报, 2005, 29(1): 61-64.

- [19] CHATZIFOTIS S, PANAGIOTIDOU M, PAPAIOANNOU N, et al. Effect of dietary lipid levels on growth, feed utilization, body composition and serum metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2010, 307: 65-70.
- [20] LIN D, MAO Y Q, CAI F S. Nutritional lipid liver disease of grass carp *Ctenopharyngodon idullus* (C. et V.) [J]. *Oceanology and Limnology*, 1990, 8(4): 363-373.
- [21] BABIN P J, VERNIER J M. Plasma lipoproteins in fish [J]. *Journal of Lipid Research*, 1989, 30: 467-489.
- [22] MCCULLOUGH A J. The clinical features, diagnosis and natural history of nonalcoholic fatty liver disease [J]. *Clin Liver Dis*, 2004, 8: 521-533.

Effect of dietary lipid levels on growth, body composition and blood biochemical indices of juvenile yellowcheek carp (*Elopichthys bambusa*)

ZHAO Qiao-e ZHU Bang-ke SHEN Fan FAN Qi-xue SONG Lin
YANG Lei YANG Wei SUN Cun-jun CHEN Hai-yan

College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract Five iso-nitrogenous (45.64% ± 0.20% crude protein) and iso-energetic diets (16.82 ± 0.11 MJ/kg gross energy) with graded levels of lipid at 3% (A), 6% (B), 9% (C), 12% (D), 15% (E) were formulated to feed the fish to evaluate the effect of dietary lipid levels on growth, body composition and blood biochemical indices of juvenile yellowcheek carp (*Elopichthys bambusa*). Three hundred fingerlings (average weight 8.26 ± 0.81 g) were randomly distributed in five treatments in triplicate groups with 20 fish per replicate and fed with test diets twice daily for 56 d. With the increase of dietary lipid levels, weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) increased firstly, then decreased, and were significantly higher in treatment B than that in treatments A and E ($P < 0.05$). Protein efficiency ratio (PER), with the highest level in treatment B, increased with increasing levels of dietary lipid up to 6% and showed a declining tendency thereafter. Feed conversion ratio (FCR) showed an opposite trend with PER and was remarkably lower in treatment B than that in treatments A, D and E ($P < 0.05$). Hepatosomatic index (HSI), whole body lipid content and liver lipid content were significantly impacted ($P < 0.05$) by dietary lipid levels, while mesenteric fat index (MFI), condition factor (CF), whole body moisture and ash contents showed no significant differences ($P > 0.05$). HSI in treatment A was significantly lower than that in treatments C, D and E ($P < 0.05$). The trend of whole body protein content in the experiment was similar to SGR. The levels of alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), alkaline phosphatase (ALP) and total bile acid (TBA) in serum increased with the increase of dietary lipid levels, while total protein (TP), total cholesterol (CHO), triacylglyceride (TG), high density lipoprotein cholesterol (HDL-C) and low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) decreased with the increase of dietary lipid contents. Analysis of SGR by quadratic model regression suggested that the dietary lipid requirement for optimal growth in juvenile *Elopichthys bambusa* is 7.71% (wet weight). Diet with 15% lipid could cause hepatocyte injury and abnormal fat metabolism in *Elopichthys bambusa*, which led to a low growth rate eventually.

Key words *Elopichthys bambusa*; dietary lipid level; growth; body composition; serum biochemical indices