

不同脂肪源对鳢幼鱼生长、血清生化组成和肝脏的影响

陈海燕¹ 朱邦科² 樊启学¹ 胡培培¹
宋林¹ 彭聪¹ 宗克金¹ 张云龙¹

1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070; 2. 宁波大学海洋学院, 宁波 315211

摘要 以鱼油为对照组(FO), 分别以 1/2 猪油(PL)、1/2 大豆油(SO)、1/2 葵花籽油(SFO)、1/2 棕榈油(PO)、1/2 玉米油(CO)替代 1/2 鱼油作为脂肪源, 配制 6 组等氮(49.43%±0.19%)等能((18.09±0.03) MJ/kg)的饲料, 对鳢幼鱼(体长(6.89±0.20) cm, 体质量(3.09±0.23) g)进行为期 56 d 的养殖试验, 研究部分替代鱼油对鳢幼鱼生长、血清生化组成以及肝脏的影响。结果表明: 终末体质量和增重率均以葵花籽油替代组最大, 其次是对照组和大豆油替代组; 蛋白质效率、饵料系数各组之间无显著差异; 玉米油替代组和猪油替代组的谷草转氨酶活性显著高于对照组, 玉米油替代组的谷丙转氨酶活性显著高于对照组; 猪油替代组幼鱼肝脏细胞中脂滴较其他组明显; 在本研究的替代比例下, 综合对鳢幼鱼生长、血清生化指标和肝脏的影响, 认为葵花籽油、棕榈油、豆油可以作为脂肪源替代鱼油。

关键词 鳢; 脂肪源; 生长; 血清生化指标; 切片; 肝脏

中图分类号 S 963.71 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)02-0116-07

鳢(*Elopichthys bambusa*) 属鲤形目、鲤科、雅罗鱼亚科、鳢属, 是凶猛肉食性鱼类, 具有较高的营养价值和市场价值。随着鳢人工繁殖技术和驯化技术的成功突破, 鳢逐渐成为一种新兴的名特养殖品种。但鳢适宜饲料的缺乏仍是限制其规模化养殖的重要原因之一。

脂肪作为能源物质, 不仅能节约蛋白质, 为鱼类生长、代谢提供能量和必需脂肪酸, 磷脂、糖脂、类脂质也参与组织细胞的构成, 而且只有脂类存在时机体才能吸收和运输脂溶性维生素。高能量饲料不仅有利于鱼类的短期养殖和环境的保护, 也能提高鱼类生长、饲料利用效率和营养的累积^[1]。鱼体不能自身合成 C₂₀ 和 C₂₂ 多不饱和脂肪酸, 但所需的必需脂肪酸是 C₂₀: 5n-3 (EPA)、C₂₂: 6n-3 (DHA) 和 C₂₀: 4n-6 (ARA)^[2], 因此饲料中必须添加脂肪源以获得必需脂肪酸。随着世界范围内鱼类集约化、规模化养殖的发展, 鱼油鱼粉价格上涨供不应求^[3], 而脂肪源混合使用也可以平衡脂肪酸水平, 目前混合脂肪源的研究已有大量的报道, 如对生长^[4-7]、病

理^[8]、体组成^[9-10]及繁殖^[11]等方面的研究等, 笔者进行不同脂肪源对鳢幼鱼生长、血清生化组成及肝脏结构的影响的研究, 旨在为筛选鳢幼鱼的适宜脂肪源、优化饲料配方提供基础理论依据与试验数据。

1 材料与方法

1.1 试验鱼

试验鱼为笔者所在课题组人工孵化并成功驯化的同一批鳢幼鱼, 试验开始前用自制硬颗粒饲料驯养 14 d。驯养结束, 饥饿 2 d 后选取健康、无伤病的鳢幼鱼 270 尾(体长(6.89±0.20) cm, 体质量(3.09±0.23) g)随机分养到 6 个处理各 3 个平行共 18 个试验缸中, 每缸 15 尾。

1.2 试验设计及试验饲料

试验饲料以鱼油(FO)、1/2 猪油+1/2 鱼油(PL)、1/2 大豆油+1/2 鱼油(SO)、1/2 葵花籽油+1/2 鱼油(SFO)、1/2 棕榈油+1/2 鱼油(PO)、1/2 玉米油+1/2 鱼油(CO)为脂肪源, 以美国白鱼粉和

收稿日期: 2012-06-21

基金项目: 国家农业科技成果转化项目(2009GB2D100247)

陈海燕, 硕士研究生, 研究方向: 水产动物营养与饲料. E-mail: chenhaiyan620227@163.com

通讯作者: 朱邦科, 博士, 副教授. 研究方向: 水域生态学. E-mail: zhubangke@nbu.edu.cn

酪蛋白为蛋白源制成等氮(49.43%±0.19%)等能((18.09±0.03) MJ/kg)的 6 组饲料。饲料配方及营养成分组成实测值见表 1。

各原料过 0.2 mm 筛,称质量后混匀,用小型绞肉机制成直径为 2 mm 的颗粒饲料,自然风干后保存于-20℃冰箱中备用。

表 1 饲料配方及营养成分组成(风干基础)¹⁾

Table 1 Ingredients and proximate chemical composition of experimental diets (air-dry basis)

项目 Items	试验饲料 Experimental diets						%
	FO	CO	SFO	PO	SO	PL	
原料 Ingredients							
白鱼粉 White fish meal	47.10	47.10	47.10	47.10	47.10	47.10	47.10
酪蛋白 Casein	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
α-淀粉 α-Starch	26.54	26.54	26.54	26.54	26.54	26.54	26.54
鱼油 Fish oil	3.80	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
玉米油 Corn oil	/	1.90	/	/	/	/	/
葵花籽油 Sunflower seed oil	/	/	1.90	/	/	/	/
棕榈油 Palm oil	/	/	/	1.90	/	/	/
大豆油 Soybean oil	/	/	/	/	1.90	/	/
猪油 Pork lard	/	/	/	/	/	/	1.90
复合无机盐 Mineral premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
复合维生素 Vitamin premix	1.00	1.00	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	2.00	2.00
氯化胆碱 Choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
维生素 C Vitamin C	0.01	0.01	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	0.05	0.05
化学成分(实测值)							
Proximate chemical composition(measured values)							
水分 Moisture	9.66	9.85	9.79	9.88	9.91	9.81	9.81
粗蛋白质 Crude protein	47.48	47.54	47.72	47.80	47.66	47.41	47.41
粗脂肪 Crude lipid	5.56	5.64	5.68	5.62	5.58	5.60	5.60
粗灰分 Ash	9.84	9.93	9.88	9.90	9.96	10.02	10.02
总能/(MJ/kg) Gross energy	18.11	18.09	18.13	18.10	18.07	18.06	18.06

1. 无机盐预混料及维生素预混料根据 Lin 等^[12]配制 Mineral premix and vitamin premix are formulated according to Lin^[12];
2. 根据蛋白质、脂肪和无氮浸出物的能量(23.63、39.31 和 17.15 MJ/kg)计算饲料的总能 Dietary gross energy was calculated based on 23.63 MJ/kg for protein,39.31 MJ/kg for lipid and 17.15 MJ/kg for carbohydrate, respectively;
3. FO 为对照组,CO、SFO、PO、SO、PL 试验组为 1/2 玉米油、1/2 葵花籽油、1/2 棕榈油、1/2 大豆油、1/2 猪油取代 1/2 鱼油;下表同。Using 100% fish oil (FO) as control diet,the other diets,1/2 of whose fish oil were replaced with different lipids:corn oil (CO),sunflower seed oil (SFO),palm oil (PO),soybean oil (SO) and pork lard (PL). The same as below.

1.3 饲养管理

试验缸为流水式圆柱形玻璃纤维缸,容积 340 L,内盛水 280 L,以曝气自来水为水源,连续充气,溶氧>5.0 mg/L,每天换水量为总水量的 15%~20%,缸中养殖用水经同一系统过滤、沉淀后流到蓄水池,再经活性炭、珊瑚石、活性炭 3 层过滤后泵到各养殖缸内。试验期间自然光照,水温 25~28℃,pH 6.5~7.5。每天 08:00 和 16:00 投食至饱食,每次投食 1 h 后迅速虹吸残饵并风干称质量、计算日摄食量。正式试验持续 56 d。

1.4 生长及饵料利用的测定

养殖试验结束,饥饿 24 h 后,对每缸的试验鱼计数,称质量,测体长。取血后置于冰盘解剖,取肝脏、肠系膜脂肪团并称质量。计算存活率(sur-

vival rate)、增重率(weight gain rate)、特定生长率(specific growth rate)、蛋白质效率(protein efficiency ratio)、饵料系数(feed conversion ratio)、肝体比(hepatosomatic index)、脏体比(visceral index)、肥满度(condition factor)和脂肪系数(mesenteric fat index)。各测定指标的计算方法参照文献[13],脏体比指标公式如下:

$$\text{脏体比(VSI)/\%} = 100 \times W_g/W_t;$$

式中:W_t为终末鱼体质量,g;W_g为终末鱼体内脏质量,g。

1.5 血清生化组成的测定

将饥饿后的试验鱼置于 100 mg/L MS-222 溶液中麻醉后取样,以尾静脉采血后制备血清,用全自动生化分析仪(雅培 Aeroset)测定血清的生化指

标:谷丙转氨酶(alanine transaminase)、谷草转氨酶(aspartate aminotransferase)、碱性磷酸酶(alkaline phosphatase)、脂肪酶(lipases)、胆碱酯酶(cholinesterase),U/L;总胆固醇(total cholesterol)、甘油三酯(triglycerides)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol),mmol/L;总蛋白(total protein),g/L。

1.6 肝脏成分的测定及切片的制作

将称质量后的肝胰脏于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱保存以测粗脂肪含量。测定方法采用氯仿-甲醇抽提法^[14]。

取样时观察鱼的体形、体色、活动状况以及内脏器官等组织的症状,随机取鱼样的肝组织块(约 $3\text{ mm}\times 3\text{ mm}$)保存于波恩试液中 $24\sim 48\text{ h}$,脱水透明后常规石蜡包埋切片,切片厚度 $7\text{ }\mu\text{m}$,HE染色,中性树胶封片,光学显微镜下观察。健康的肝细胞判定标准:形状、排列规则,具球形并带有核仁的细胞核,核居细胞中心,脂滴较小,各细胞结构保持正常形态^[15]。

1.7 统计分析

试验数据以平均值 \pm 标准差表示,采用 SPSS

18.0 统计软件进行方差分析,并采用 Duncan 氏多重比较法进行差异显著性分析,差异显著性采用 0.05 水平。

2 结果与分析

2.1 不同脂肪源对鳊幼鱼生长和饲料利用的影响

试验 56 d 以后,其生长和饲料利用情况见表 2。从表 2 可以看出:鳊幼鱼的存活率、蛋白质效率、饵料系数及脏体比指标各组之间没有显著差异($P>0.05$);而终末体质量、增重率、肥满度、肝体比及脂肪系数之间有显著差异($P<0.05$)。各组终末体质量和增重率由大到小依次是:SFO、FO、SO、PO、PL、CO 组,其中 SFO、FO、SO、PO 组之间无显著差异,但 PL 组显著小于前 4 组,而 CO 组则显著小于前 5 组。肥满度和脂肪系数 SFO 组最大且显著高于最小的 PO 组,但与其他组之间均无显著差异。肝体比 SO 组和 SFO 组显著高于 PO 组,它们各自与 FO、PL、CO 组之间无显著差异。从鳊幼鱼的生长和饲料利用情况看,玉米油替代组和猪油替代组的效果较差,而葵花籽油替代组、棕榈油替代组和大豆油替代组不比添加纯的鱼油效果差。

表 2 不同脂肪源对鳊幼鱼生长和饲料利用的影响¹⁾

Table 2 Effect of replacement of fish oil on growth, feed utilization of juvenile *E. bambusa*

指标 Indices	FO	CO	SFO	PO	SO	PL
存活率/% SR	100.00 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a	97.78 \pm 0.04 a
初始体质量/g IW	3.12 \pm 0.16 a	3.20 \pm 0.33 a	3.15 \pm 0.25 a	3.08 \pm 0.16 a	2.96 \pm 0.25 a	3.01 \pm 0.30 a
终末体质量/g FW	21.55 \pm 0.16 ab	17.26 \pm 0.74 a	22.50 \pm 5.32 b	20.33 \pm 0.28 ab	20.54 \pm 0.46 ab	18.00 \pm 1.77 ab
增重率/% WGR	606.18 \pm 12.23 c	491.61 \pm 7.85 a	626.52 \pm 62.42 c	591.57 \pm 4.44 c	593.22 \pm 6.09 c	509.03 \pm 1.16 b
蛋白质效率 PER	2.05 \pm 0.66 a	1.70 \pm 0.18 a	1.72 \pm 0.23 a	1.96 \pm 0.54 a	2.08 \pm 0.52 a	1.60 \pm 0.17 a
饵料系数/% FCR	1.07 \pm 0.29 a	1.20 \pm 0.13 a	1.19 \pm 0.17 a	1.07 \pm 0.32 a	1.02 \pm 0.27 a	1.26 \pm 0.13 a
肥满度/% CF	1.00 \pm 0.03 ab	0.96 \pm 0.02 ab	1.04 \pm 0.07 b	0.92 \pm 0.04 a	0.98 \pm 0.03 ab	0.97 \pm 0.05 ab
肝体比/% HSI	1.21 \pm 0.04 ab	1.22 \pm 0.09 ab	1.37 \pm 0.14 b	1.11 \pm 0.03 a	1.41 \pm 0.16 b	1.29 \pm 0.15 ab
脏体比/% VSI	12.50 \pm 0.23 a	12.12 \pm 0.55 a	13.48 \pm 0.22 a	12.34 \pm 1.22 a	12.86 \pm 1.10 a	12.87 \pm 1.61 a
脂肪系数/% MFI	3.93 \pm 0.08 ab	3.35 \pm 0.96 ab	4.74 \pm 0.27 b	3.04 \pm 1.34 a	3.29 \pm 0.74 ab	3.69 \pm 0.95 ab

1) 同行数据所标字母无重复者表示有显著差异($P<0.05$),下表同。Different superscripts indicate significant difference($P<0.05$) within the data in the same row. The same as below.

2.2 不同脂肪源对鳊幼鱼血清生化组成的影响

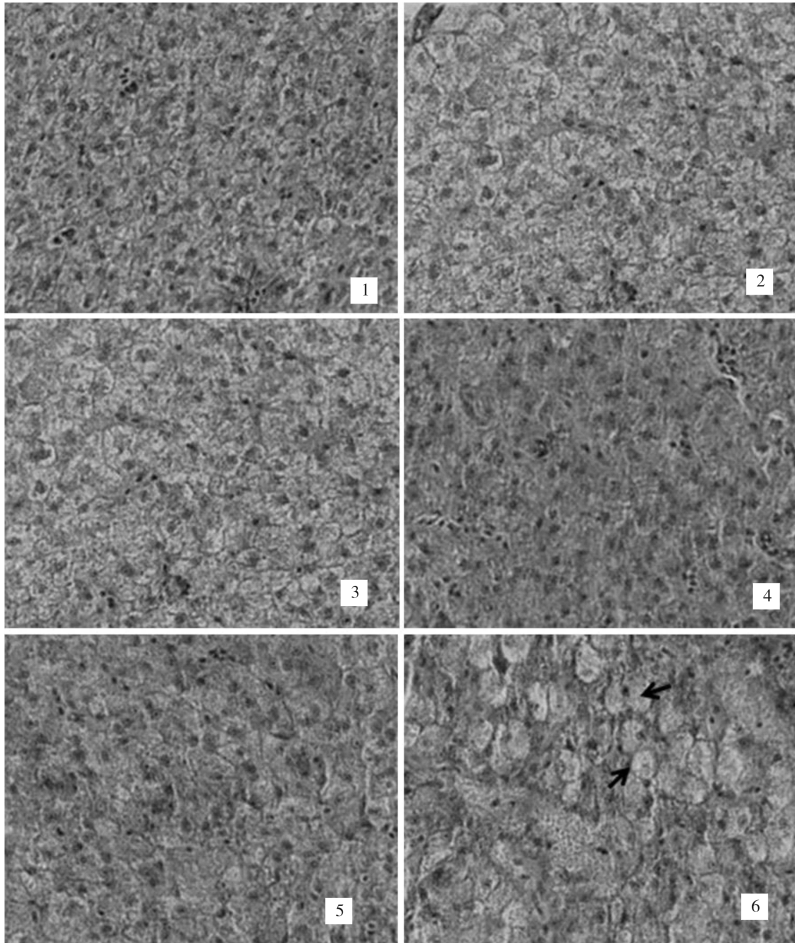
试验结果显示,不同脂肪源对鳊幼鱼血清的生化指标产生不同的影响(表 3)。谷丙转氨酶活性 CO 组显著高于 FO 组,其他各组间无显著差异;谷草转氨酶活性 CO 组与 PL 组显著高于 FO 组,其他各组间无显著差异。总蛋白 SFO 组、SO 组和 PL 组显著高于 FO 组、CO 组和 PO 组。碱性磷酸酶各

组之间无显著差异。总胆固醇 SFO 组、PL 组显著高于 FO 组,其他组间无显著差异。脂肪酶活性 SFO 组显著高于 FO 组与 CO 组;甘油三酯 SFO 组、SO 组和 PL 组显著高于 FO 组和 CO 组;SFO 组的胆碱酯酶和高密度脂蛋白胆固醇含量显著高于 FO 组,而低密度脂蛋白胆固醇含量则显著低于 FO 组,其他各组间均无显著差异。

表 3 不同脂肪源对鳃幼鱼血清生化指标的影响

Table 3 Effect of dietary lipid sources on the serum biochemical indices of juvenile *E. bambusa*

指标 Indices	FO	CO	SFO	PO	SO	PL
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	24.60±15.24 a	78.97±49.27 b	49.20±19.21 ab	42.63±26.40 ab	32.15±5.85 ab	65.77±29.71 ab
谷草转氨酶/(U/L) AST	231.85±8.35 a	465.13±173.17 b	388.13±100.92 ab	332.80±103.91 ab	282.73±53.75 ab	458.23±142.64 b
总蛋白/(g/L) TP	40.25±2.05 a	42.10±0.56 ab	47.33±1.55 d	42.30±1.30 ab	44.00±0.20 bc	45.03±1.00 c
碱性磷酸酶/(U/L) AKP	32.35±0.55 a	34.53±2.10 a	38.57±2.79 a	34.80±0.40 a	34.35±3.45 a	35.13±6.43 a
胆碱酯酶/(U/L) CHO	24.10±0.00 a	27.90±2.27 ab	32.90±2.42 b	29.70±4.00 ab	28.30±1.80 ab	31.90±4.80 b
总胆固醇/(mmol/L) TC	8.57±0.16 a	8.47±0.74 a	10.06±0.66 b	9.60±0.29 ab	9.07±0.88 ab	8.90±1.23 ab
甘油三酯/(mmol/L) TG	4.78±0.58 a	4.67±0.24 a	5.76±0.37 b	5.56±0.35 ab	5.75±0.51 b	5.77±0.70 b
脂肪酶/(U/L) LIPAS	14.85±0.15 a	15.63±0.15 ab	16.60±1.04 b	15.73±0.85 ab	15.50±0.80 ab	15.93±0.47 ab
高密度脂蛋白胆固醇/ (mmol/L) HDL-C	2.90±0.08 a	2.77±0.30 a	3.49±0.23 b	3.00±0.09 a	3.00±0.12 a	2.90±0.44 a
低密度脂蛋白胆固醇/ (mmol/L) LDL-C	2.19±0.13 b	1.98±0.15 ab	1.84±0.03 a	2.13±0.04 ab	2.02±0.21 ab	2.03±0.28 ab



1. FO; 2. SFO; 3. PO; 4. CO; 5. SO; 6. PL.

图 1 不同脂肪源对鳃幼鱼肝脏组织结构的影响(400×)

Fig.1 Effect of dietary lipid sources on the histology of the liver of juvenile *E. bambusa* (400×)

2.3 不同脂肪源对鳃幼鱼肝脏的影响

经过不同脂肪源饲料饲喂鳃幼鱼 56 d 后, PL 组的肝脏粗脂肪含量显著高于其他组 ($P < 0.05$), SFO 组、PO 组显著高于 FO 组、SO 组、CO 组 ($P < 0.05$)。

试验结束时, 观察鱼体和肝脏的色泽、外观等无明显异常。显微镜下观察肝脏切片(图 1)发现, CO 组、FO 组、SO 组无明显异常, 且较其他组细胞数量多; PO 组、SFO 组、PL 组肝脏边缘部分较肝脏中心部分颜色变暗, 脂滴也较大, 观察发现, PL 组病变区域较其他 2 组大, 病变的肝细胞脂滴也较大(见图 1-6 中箭头)。

3 讨论

3.1 不同脂肪源对鳃幼鱼生长和饲料利用的影响

本研究发现, 不同脂肪源对鳃幼鱼的生长和饲料利用呈不同程度的影响, 玉米油和猪油的效果明显较差, 而葵花籽油、棕榈油和大豆油替代与对照组间无显著差异。这说明从生长角度来说, 葵花籽油、棕榈油和豆油可以作为鳃幼鱼饲料脂肪源的 1/2 替代源。这一结果与在其他水生动物的研究结果有一定差异。刘玮等^[16]对团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)的研究表明, 豆油组的总体生长效果最好而菜油组的生长效果最差; 而对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的研究表明, 总体生长效果以鱼肝油组和混合油最好^[17]。高淳仁等^[18]对真鲷(*Pagrosomus major*)幼鱼的研究表明, 真鲷幼鱼摄食缺乏多不饱和脂肪酸(PUFA)饵料牛脂和豆油时, 其生长增重率和存活率比摄食富含 PUFA 配合饵料或玉筋鱼鱼糜的其他 3 组明显下降。陈家林等^[19]对异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)的研究表明, 在单一脂肪源中, 豆油组和椰子油组的增重率最高, 其次是菜籽油组, 鱼油、玉米油和亚麻油组的增重率最低。与相应的单一脂肪源相比, 饲料中鱼油与椰子油、玉米油或亚麻油 1:1 混合提高了异育银鲫的生长效果。对尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的研究表明, 相对于未添加及单一添加玉米油、橄榄油、鱼肝油和牛油各组, 混合油组(玉米油、橄榄油、牛油和鱼肝油)试验期末体质量差异显著^[4]。以上研究证明, 混合油组较单一油组更能促进养殖鱼类的生长, 这可能是混合油平衡了鱼类需

求的脂肪酸。本研究中, 葵花籽油替代组鳃幼鱼的肥满度显著高于棕榈油替代组, 说明葵花籽油相对于棕榈油更有利于鳃幼鱼营养物质的积累。

3.2 不同脂肪源对鳃幼鱼血清生化组成的影响

鱼类血液、血浆的生化指标变化可以反映鱼类对疾病的生理应答^[8]。当肝细胞受损转氨酶就会释放到血液里, 使血清转氨酶升高。本研究中, 玉米油替代组 ALT、AST 值均最高, 猪油替代组次之, 且玉米油替代组的 ALT 显著高于鱼油组, 玉米油替代组和猪油替代组的 AST 显著高于鱼油组, 原因可能是肝细胞病变受损, 不能作为适宜的脂肪源。Cullough^[20]的研究表明, 转氨酶活力的增加可能是发生脂肪肝后肝细胞的各种酶进入血液所致。这在其他研究中也有类似报道, 但向泉等^[21]对齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)的研究表明, 葵花籽油组和菜油组试验鱼的肝脏受到一定程度的损伤和病害; 赵巧娥等^[13]对鳃幼鱼的研究表明高脂组的饲料使试验鱼肝脏受损严重。不同种类鱼的差异可能是脂肪源的添加种类及含量的不同所致。本研究中, 不同脂肪源对血液指标的影响也与生长的结果相符——玉米油替代组鳃幼鱼的增重率显著低于猪油替代组, 且它们又显著低于鱼油组和其他各组。

脂肪酶是脂肪分解的主导酶, 其活性反映鱼体对脂肪的利用情况。对鲈(*Lateolabrax japonicus*)的研究发现, 玉米油、鱼油组脂肪酶显著高于其他组, 由于饥饿处理, 试验鱼的甘油三酯主要来源于体内储存的脂肪, 所以, 甘油三酯的含量反映利用鱼体储存脂肪的能力^[14]。本研究中, 葵花籽油、大豆油替代组甘油三酯含量显著高于鱼油组和玉米油替代组, 葵花籽油替代组脂肪酶活性显著高于鱼油组和玉米油替代组, 说明葵花籽油替代 1/2 鱼油更有利于鳃幼鱼利用鱼体储存脂肪。脂蛋白是机体的油脂动力系统, 高密度脂蛋白(HDL)在血液中携带胆固醇后形成 HDL-C, 由血液向肝脏运输, 低密度脂蛋白(LDL)则携带胆固醇形成 LDL-C 由肝脏向血液运输。本研究中, 葵花籽油替代组的高密度脂蛋白胆固醇含量显著高于玉米油替代组、大豆油替代组、鱼油组、棕榈油替代组和猪油替代组, 低密度脂蛋白胆固醇含量葵花籽油替代组显著低于其他组, 这说明葵花籽油替代组血液中 HDL 比 LDL 高。也有对齐口裂腹鱼的研究出现相反的结果, 葵花籽组、菜

油组 HDL-C 显著低于大豆油、花生油、芝麻油^[21]。这可能与鱼的种类不同有关。

3.3 不同脂肪源对鳃幼鱼肝脏的影响

本研究中,猪油替代组肝脏粗脂肪含量升高,切片中肝脏细胞内脂滴明显,因此,即使 1/2 替代,猪油也不适宜作为鳃幼鱼的脂肪源,可能是由于猪油组缺少某种脂肪酸导致脂肪代谢受阻,影响肝脏功能,需要进一步对鳃脂肪酸进行测定。这与对血清生化指标的分析结果是一致的(表 3)。因此,添加含饱和脂肪酸的脂肪源时,应配合适当比例的优质植物油一起使用^[16]。冯健等^[15]对黄姑鱼(*Nibea albiflora*)的研究证实,肝细胞中缺少磷脂与某些氨基酸可能导致肝脏的脂肪代谢发生障碍。Du 等^[22]研究表明,饲料能量、蛋白质及磷脂水平不同,即使鱼类饲料脂肪含量适宜鱼类生长,仍然可能导致试验鱼肝脏病变。另外,各试验组中,肝脏脂肪含量均偏高,可能原因是养殖水缸较自然水体狭小,吸收的营养储存在体内影响正常代谢。

综合玉米油、葵花籽油、棕榈油、大豆油、猪油部分替代鱼油作为脂肪源对鳃幼鱼生长、血清生化组成、肝脏结构的影响可知,在 1/2 的替代基础上,葵花籽油、棕榈油或大豆油可以作为鳃幼鱼饲料脂肪源的适宜替代源。

参 考 文 献

- [1] TURCHINI G M, TORSTENSEN B E, WING-KEONG N G. Fish oil replacement in finfish nutrition[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2009, 1(1): 10-57.
- [2] BRANSDEN M P, CARTER C G, NICHOLS P D. Replacement of fish oil with sunflower oil in feeds for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): effect on growth performance, tissue fatty acid composition and disease resistance[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 2003, 135: 611-625.
- [3] TACON A G J, METIAN M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects[J]. *Aquaculture*, 2008, 285: 146-158.
- [4] ALI A, AI-OGAILY S M, AI-ASGAH N A, et al. Effect of dietary lipid source on the growth performance and body composition of *Oreochromis niloticus* [J]. *Pakistan Veterinary Journal*, 2000, 20(2): 57-63.
- [5] REGOST C, ARZEL J, ROBIN J, et al. Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*): growth performance, flesh fatty acid profile, and lipid metabolism[J]. *Aquaculture*, 2003, 217: 465-482.
- [6] 周华, 樊启学, 宗克金, 等. 饲料碳水化合物水平对鳃幼鱼生长和体成分的影响[J]. *水生生态学杂志*, 2011, 32(3): 108-113.
- [7] 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.
- [8] HRUBEC T C, CARDINALE J L, SMITH S A. Hepatology and plasma chemistry reference intervals for cultured Tilapia (*Oreochromis hybrid*) [J]. *Veterinary Clinical Pathology*, 2000, 29(1): 7-12.
- [9] 王煜恒, 王爱民, 刘文斌, 等. 不同脂肪源对异育银鲫体脂沉积、内源酶活性和脂肪酸组成的影响[J]. *动物营养学报*, 2011, 23(4): 604-614.
- [10] 杜震宇, 刘永坚, 郑文晖, 等. 三种脂肪源和两种降脂因子对鲈生长、体营养成分组成和血清生化指标的影响[J]. *水产学报*, 2002, 26(6): 542-552.
- [11] 刘立鹤, 陈立侨, 李康. 不同脂肪源饲料对中华绒螯蟹卵巢发育与繁殖性能的影响[J]. *中国水产科学*, 2007, 14(5): 786-795.
- [12] LIN Y H, SHIAU S Y. Dietary lipid requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus*, and effects on immune responses [J]. *Aquaculture*, 2003, 225: 243-250.
- [13] 赵巧娥, 朱邦科, 沈凡, 等. 饲料脂肪水平对鳃幼鱼生长、体成分及血清生化指标的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2012, 31(3): 357-363.
- [14] 朱邦科, 曹文宣. 鲢早期发育阶段鱼体脂肪酸组成变化[J]. *水生生物学报*, 2002, 26(2): 130-137.
- [15] 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.
- [16] 刘玮, 戴年华, 任本根, 等. 不同脂肪源饲料对团头鲂稚鱼生长的影响[J]. *水产学报*, 1997, 21(S): 44-48.
- [17] 刘玮, 徐萍, 任本根, 等. 不同脂肪源饲料对草鱼稚鱼生长的影响[J]. *水产学报*, 1995, 19(4): 362-365.
- [18] 高淳仁, 雷霖霖. 不同脂肪源对真鲷幼鱼生长、存活及体内脂肪酸组成的影响[J]. *中国水产科学*, 1999, 6(3): 55-60.
- [19] 陈家林, 韩冬, 朱晓鸣, 等. 不同脂肪源对异育银鲫的生长、体组成和肌肉脂肪酸的影响[J]. *水生生物学报*, 2011, 35(6): 988-997.
- [20] CULLOUGH A J. The clinical features, diagnosis and natural history of nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Clinics in Liver Disease*, 2004, 8(3): 521-533.
- [21] 向泉, 陈建, 周兴华, 等. 5 种脂肪源对齐口裂腹鱼生长性能及血清生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2010, 22(2): 498-504.
- [22] 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.

Effect of dietary lipid sources on growth, blood biochemical indices and liver of juvenile yellowcheek carp (*Elopichthys bambusa*)

CHEN Hai-yan¹ ZHU Bang-ke² FAN Qi-xue¹ HU Pei-pei¹
SONG Lin¹ PENG Cong¹ ZONG Ke-jin¹ ZHANG Yun-long¹

1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China

Abstract An 8-week feeding trial was conducted to investigate the effects of different lipid sources on the growth, serum biochemical indices and liver of juvenile yellowcheek carp (*Elopichthys bambusa*). Six iso-nitrogenous ($49.43\% \pm 0.19\%$) and iso-energetic (18.09 ± 0.03 MJ/kg) experimental diets were formulated, using 100% fish oil (3.80 g/100 g diet) as the control diet. Half of the fish oil of the other diets were replaced with different lipids; corn oil (CO), sunflower seed oil (SFO), palm oil (PO), soybean oil (SO) and pork lard (PL), respectively. Juvenile yellowcheek carp, with initial body-length of 6.89 ± 0.20 cm and initial body-weight of 3.09 ± 0.23 g, were cultured in 18 cylindrical tanks (340 L in volume, containing 280 L water) with 15 individuals in each tank. Water was aerated and circulated with a daily exchange rate of 15%-20%. The juveniles were fed twice (08:00 am and 16:00 pm) daily. During feeding trial, water temperature was fluctuated around 25-28 °C and pH value was 6.5-7.5. The final body-weight and weight growth rate of the juveniles showed a order of SFO > FO > SO > PO > PL > CO, with no significant difference among SFO, FO, SO and PO, but significantly lower in groups PL and CO. No significant difference of protein efficiency ratio (PER) and feed conversion rate were observed among groups. Alanine transaminase (ALT) from group CO was significantly higher than the control group; whereas aspartate transaminase (AST) was highest in groups CO and PL. Fat droplets in liver cells from group PL was obvious compared to other groups. Results indicated that sunflower seed oil, palm oil and soybean oil are supposed to be suitable dietary lipid sources for juvenile yellowcheek carp.

Key words *Elopichthys bambusa*; dietary lipid source; growth; serum biochemical indices; slices; liver

(责任编辑:边书京)