

文章编号: 1004-7271(2009)01-0035-07

饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长和血浆生化指标的影响

甘 晖^{1,2}, 李 坚 明^{2,3}, 冯 广 朋^{2,4}, 龚 竹 林¹, 黄 凯⁵, 李 家 乐²

(1. 广西水产畜牧学校, 广西 南宁 530024

2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306

3. 广西水产技术推广总站, 广西 南宁 530022

4. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090

5. 广西大学动物科学技术学院, 广西 南宁 530004)

摘 要: 研究了奥尼罗非鱼幼鱼的生长及血浆生化指标与不同脂肪含量饲料间的关系。饲料脂肪水平为 0%、2%、4%、6%、8% 5 个梯度组。结果表明, 5 组不同脂肪水平的饲料对奥尼罗非鱼幼鱼的成活率无显著性影响。随着饲料脂肪水平升高, 奥尼罗非鱼幼鱼的增重率、肥满度和摄食量先上升后下降, 而饲料系数则先下降后上升; 肝脏重量、肝体比、肝脏与肌肉脂肪含量等 4 个指标均呈现逐渐升高的趋势。饲料脂肪水平与奥尼罗非鱼幼鱼血浆中的胆固醇、甘油三脂、低密度脂蛋白、极低密度脂蛋白呈负相关, 与高密度脂蛋白呈正相关。随着饲料中脂肪含量的增加, 试验鱼血浆中谷丙转氨酶、谷草转氨酶、乳酸脱氢酶、淀粉酶、碱性磷酸酶等活性逐渐升高。本研究条件下饲料脂肪水平超过 6% 容易导致奥尼罗非鱼幼鱼形成脂肪肝, 对其摄食、体形特征、生长指标、相关组织脂肪含量以及血清中酶的活性等都有明显影响。

关键词: 罗非鱼; 饲料; 脂肪水平; 生化指标; 生长

中图分类号: S963.1 文献标识码: A

Effects of different lipid levels on growth and haematological biochemistry in juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*)

GAN Hu^{1,2}, LI Jianming^{2,3}, FENG Guangpeng^{2,4}, GONG Zhulin¹, HUANG Kai⁵, LI Jiale²

(1. Guangxi Aquaculture and Animal Husbandry School Nanning 530024, China

2. College of Fisheries and Life Shanghai Ocean University Shanghai 201306, China

3. Guangxi Fisheries Technology Extension Center Nanning 530022, China

4. East China Sea Fisheries Research Institute Chinese Academy of Fishery Sciences Shanghai 200090, China

5. College of Animal Science and Technology Guangxi University Nanning 530004, China)

Abstract Juvenile tilapia were fed by five diets for 70 days to study the relationship between diet lipid levels and fatty liver disease. Lipid content levels included 0%, 2%, 4%, 6%, 8%. The results showed that five different diets didn't affect survival rate of juvenile tilapia significantly. Fish fed with 6% and 8% lipid levels

收稿日期: 2008-03-15

基金项目: 广西壮族自治区科技攻关项目 (0537008-2E)

作者简介: 甘 晖 (1976-), 女, 广西贵港人, 硕士, 讲师, 主要从事水产养殖病害方面的研究。

通讯作者: 黄 凯, Email: hka110@163.com

showed symptom of fatty liver disease including anorexia, swimming impotence, skin color becoming dark, body becoming thin and abdomen tumefaction etc. The weight gain rate and condition factor increased first and decreased later with the growing lipid content level. The feed conversion ratio decreased first and increased later contrarily. Liver weight, liver weight / body weight ratio, liver fat content and muscle fat content all increased gradually. The relationship between diet lipid level and cholesterol, triglyceride, low density lipoprotein cholesterol, very low density lipoprotein cholesterol was negative correlation. And the relationship between diet lipid level and high density lipoprotein cholesterol was positive correlation. The values of alanine aminotransferase, aspartate aminotransferase, lactate dehydrogenase, amylase and alkaline phosphatase increased with the growing lipid content level. The values of bile acid increased together.

Key words: tilapia, diet, fatty level, biochemical index, growth

鱼类脂肪肝现已成为集约化水产养殖中常见的一种营养性疾病,它影响鱼类的生存生长、抗病力及肉质等,严重时造成继发传染性疾病的暴发,给生产造成极大损失,是个长期以来困扰水产养殖者的难题之一。近年来国内外学者围绕脂肪肝对鱼类生长的影响、脂肪肝组织学、脂肪转化酶及脂肪肝防治等开展了大量研究,研究对象包括虹鳟^[1]、舌齿鲈^[2]、大西洋鳕^[3]、青鱼^[4]、草鱼^[5-6]、团头鲂^[7]、红姑鱼^[8]、俄罗斯鲟^[9]、石斑鱼^[10]、鳊^[11]等众多种类,但目前对于罗非鱼脂肪肝研究仍较零散^[12-13]。

罗非鱼具有生长快,产量高,食性杂,适应性与抗病力强,肉质细嫩等优点,近年来我国大力推广养殖罗非鱼,产量增长迅速,现已成为世界上罗非鱼养殖产量最大的国家,产品主要出口国外。随着高密度精养模式的发展,在罗非鱼养殖中亦大量使用高脂、高糖饲料,采取饱食性投喂,导致罗非鱼肝脏代谢负担加重,肝脏与肌肉脂肪含量升高,罗非鱼脂肪肝频繁发生。本文对养殖中奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)的行为与体形特征,生长指标、肝脏和肌肉脂肪含量以及血液生化指标的变化进行测定,探讨投喂不同脂肪水平的饲料对罗非鱼的影响,旨在为罗非鱼高效健康养殖及养殖鱼类脂肪肝的防治提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验鱼和养殖方法

奥尼罗非鱼幼鱼体长为(2.08 ± 0.18) cm,体重为(0.26 ± 0.02) g,养殖试验在循环流水过滤的15个长方形水泥池(0.75 m × 0.5 m × 1.2 m)中进行,随机取600尾试验鱼,分为5组,每组设3个平行,即每个水泥池养殖40尾鱼为1个平行组。试验期间水温(26.5 ± 2.0) °C, DO(7.03 ± 0.23) mg/L, pH(6.9 ± 0.1), NH₃-N为(0.03 ± 0.01) mg/L。

养殖试验为期70 d,在前30天投饲为鱼体重5%,每天上午8时至下午8时每隔3个小时投喂1次,共投喂5次,30 d后投饲为鱼体重3%,每天投喂3次,分别为9:00、13:00、18:00。根据罗非鱼生长速度、水温条件和摄食情况调整投饲量,每次投喂30 min后迅速吸取残饵并晒干称重。每日观察记录罗非鱼摄食行为、体形变化和死亡数量等特征。

1.2 饲料配制

试验饲料原料包括酪蛋白、明胶、纤维素、糊精、鱼油、豆油、复合维生素、复合矿盐、氯化胆碱、氯化钠等。为了排除饲料蛋白和能量等因素的影响,各组饲料添加等氮和等能量的酪蛋白,用糊精调节脂肪梯度,采用鱼油和豆油1:1混合后作为添加的脂肪源。试验共设5个脂肪梯度组,1~5组添加的脂肪量分别为0%、2%、4%、6%和8%,饲料蛋白源为酪蛋白,用糊精调节脂肪梯度,饲料日粮配方组成见表1。将原料用小型颗粒机制粒,在60 °C恒温箱中经5 h烘干,制成粒径2 mm的颗粒状饲料,密封冷藏备用。

表 1 试验饲料配方与饲料营养成分

Tab 1 Formula and nutrient composition of the tested diet of juvenile tilapia

%

配方	脂肪水平				
	0%	2%	4%	6%	8%
鱼油与豆油	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00
糊精	51.57	49.57	47.57	45.57	43.57
酪蛋白	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
明胶	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
纤维素	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
复合维生素	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
复合矿盐	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
氯化胆碱	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
氯化钠	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
粘合剂	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
抗氧化剂	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
诱食剂	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
防腐剂	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
粗蛋白	35.70	35.71	35.69	35.73	35.71
粗脂肪	0.36	2.34	4.33	6.38	8.33
总能 (kJ/g)	17.43	18.22	19.00	19.81	20.59
灰分	1.41	1.38	1.37	1.38	1.38
水分	9.35	9.36	9.29	9.31	9.26

注: 每千克复合维生素含: V_D 480 000 IU V_E 20 00 g V_K 0.20 g V_C 14.00 g V_{B_1} 0.10 g V_{B_2} 1.40 g V_{B_6} 1.20 g $V_{B_{12}}$ 0.20 g 泛酸钙 6.521 g 烟酸 5.60 g 生物素 0.20 g 肌醇 88.00 g

每千克复合矿盐含: F $SO_4 \cdot 7H_2O$ (19.74%) Fe 152.00 g Cu $SO_4 \cdot 5H_2O$ (25.22%) Cu 2.40 g Zn $SO_4 \cdot 7H_2O$ (19.25%) Zn 31.20 g Mn $SO_4 \cdot H_2O$ (31.89%) Mn 8.20 g N_2 $SeO_3 \cdot 5H_2O$ (28.54%) 0.18 g K_1 (75.73%) 0.16 g $CaCO_3$ 805.86 g

1.3 样品采集与测定

采集生化指标样品时, 每池随机取罗非鱼 10 尾, 逐尾用 MS-222 麻醉后测定体长体重。解剖后首先从心脏抽血注入玻璃采血管中, 加入肝素抗凝, 用台式离心机离心 10 min (4 000 r/min), 取上清液血浆冷藏待用; 然后解剖取胆囊, 将胆囊中的胆汁注入试管中冷藏待用; 最后取出肝胰脏和两侧背部肌肉样品, 用滤纸吸取干净, 测定肝胰脏和肌肉样品重量。血液和胆汁生化指标胆固醇、甘油三脂、低密度脂蛋白、极低密度脂蛋白、谷丙转氨酶、谷草转氨酶、乳酸脱氢酶、淀粉酶、碱性磷酸酶采用美国倍肯公司生产的 ABBOTT ALOYON 300 全自动生化分析仪测定, 肝胰脏和肌肉烘干后用氯仿-甲醛混合液抽提法测定脂肪量。

1.4 数据统计与分析

采用统计分析软件 SPSS 13.0 进行方差分析和 Duncan 氏多重比较, 各组试验数据结果以平均数 ± 标准差表示。试验的相关计算公式如下:

$$\text{相对增重率 (\%)} = (\text{末重} - \text{初重}) / \text{初重} \times 100$$

$$\text{肥满度 (\%)} = \text{体重} / \text{全长}^3 \times 100$$

$$\text{饲料系数} = \text{摄食饲料总量} / (\text{末重} - \text{初重});$$

$$\text{肝体比 (\%)} = \text{肝脏重} / \text{鱼体重} \times 100;$$

$$\text{肝脏脂肪含量 (\%)} = \text{肝脏脂肪重量} / \text{肝脏重量} \times 100$$

$$\text{肌肉脂肪含量 (\%)} = \text{肌肉脂肪重量} / \text{肌肉重量} \times 100$$

2 结果与分析

2.1 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼摄食、体形及成活率的影响

试验期间 0% ~ 4% 脂肪组试验鱼一直摄食良好, 体形亦未出现异常症状, 而 6% 和 8% 脂肪组试验

鱼在试验前期摄食正常,从56d开始大部分鱼出现厌食,游动较少或游动无力的症状。这5组试验鱼从体形上比较,0%、2%和8%脂肪组的试验鱼个体比4%脂肪组和6%脂肪组的小,而且6%和8%脂肪组的部分试验鱼出现体色偏黑、体形消瘦,腹部肿大等脂肪肝病症状。添加不同脂肪水平的饲料对奥尼罗非鱼幼鱼的成活率无显著性影响($P>0.05$),其中4%脂肪组试验鱼的成活率最高,而8%脂肪组成活率最低。

2.2 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长的影响

奥尼罗非鱼幼鱼生长较快(表2),其中6%脂肪组增重率最高,达 $(5481\pm156)\%$,而8%脂肪组增重率最低,为 $(3404\pm128)\%$ 。奥尼罗非鱼幼鱼的肥满度以4%脂肪组最高,达 $(1.92\pm0.18)\%$ 。奥尼罗非鱼幼鱼的摄食量与饲料系数在各梯度脂肪组间均有显著性差异,4%脂肪组试验鱼的摄食量最高,而饲料系数则4%脂肪组试验鱼的最低。从总体上看,各试验组奥尼罗非鱼幼鱼的增重率、肥满度和摄食量均呈现先上升后下降的趋势,在4%脂肪组时达最高点;而饲料系数则相好相反,呈现先降低后上升的趋势,在4%脂肪组时达最低点,这表明在不同脂肪水平的试验组中,添加4%脂肪时奥尼罗非鱼幼鱼的饲料利用率和生长性能最好。

表2 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长指标的影响

Tab 2 Effects of different lipid levels on growth of juvenile tilapia

生长指标	脂肪水平				
	0%	2%	4%	6%	8%
初重(♂尾)	0.27±0.02	0.26±0.02	0.27±0.02	0.26±0.02	0.28±0.02
末重(♂尾)	9.87±0.51	11.62±1.03	15.07±1.44	11.36±0.98	9.81±1.53
增重率(%)	3554±68 ^e	4369±111 ^b	5481±156 ^a	4269±203 ^c	3404±128 ^d
肥满度(%)	1.63±0.14 ^d	1.78±0.21 ^{bc}	1.92±0.18 ^a	1.80±0.21 ^b	1.74±0.24 ^c
摄食量(♂尾)	10.72±1.16 ^e	12.27±1.12 ^d	14.95±1.54 ^a	13.76±2.03 ^b	12.96±1.57 ^c
饲料系数	1.12±0.13 ^d	1.08±0.12 ^d	1.01±0.09 ^c	1.24±0.19 ^b	1.36±0.23 ^a

注:同行所标字母完全不同表示二者之间差异显著,而字母相同表示差异不显著

2.3 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼肝脏与肌肉脂肪含量的影响

随着脂肪添加量的增加,各试验组奥尼罗非鱼幼鱼肝脏重量、肝体比、肝脏和肌肉脂肪含量等4个指标均呈现逐渐升高的趋势,饲料脂肪水平与这4个指标呈正相关关系(表3)。8%脂肪组的肝脏脂肪含量为 $(43.44\pm3.87)\%$,而其肌肉脂肪含量为 $(4.21\pm0.32)\%$ 。随着脂肪添加量的增加,各试验组奥尼罗非鱼幼鱼的肝脏重量、肝体比和肝脏脂肪含量等指标在各个组间都具显著性差异。就肌肉脂肪含量指标而言,0%与2%脂肪组间无显著性差异,4%脂肪组与其余各组都有显著性差异,6%脂肪组与8%脂肪组间无显著性差异。

表3 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼肝脏与肌肉脂肪含量的影响

Tab 3 Effects of different lipid levels on liver and body fat content of juvenile tilapia

指标	脂肪水平				
	0%	2%	4%	6%	8%
肝脏重(♂)	0.29±0.08 ^c	0.38±0.11 ^d	0.49±0.18 ^c	0.58±0.12 ^b	0.67±0.21 ^a
体重(♂)	10.18±0.70 ^e	11.83±1.18 ^d	12.79±1.49 ^a	12.41±1.87 ^b	12.05±1.03 ^c
肝体比(%)	2.85±0.15 ^c	3.22±0.19 ^d	3.84±0.36 ^c	4.65±0.54 ^b	5.56±0.71 ^a
肝脏脂肪含量(湿重)(%)	32.29±2.24 ^e	34.83±3.53 ^d	36.47±2.39 ^c	39.28±3.34 ^b	43.44±3.87 ^a
肌肉脂肪含量(%)	3.23±0.18 ^d	3.46±0.12 ^d	3.74±0.09 ^c	3.98±0.17 ^b	4.21±0.32 ^a

注:同行所标字母完全不同表示二者之间差异显著,而字母相同表示差异不显著。

2.4 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼血浆脂肪含量的影响

随着饲料脂肪水平升高,各试验组奥尼罗非鱼幼鱼血浆中的胆固醇(CHOL)和甘油三脂(TG)都呈

现逐渐降低趋势(表4)。0%脂肪组血浆中的高密度脂蛋白(HDL-C)最低,为 0.98 mmol/L 。低密度脂蛋白(LDL-C)和极低密度脂蛋白(VLDL-C)最高,分别达 0.46 mmol/L 和 0.40 mmol/L 。随着饲料脂肪含量的增加,LDL-C、VLDL-C活性降低,而HDL-C活性升高。高密度脂蛋白在各试验组间都无显著性差异,极低密度脂蛋白在各组间都有显著性差异(表4)。

表4 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼血浆中不同脂肪成分的影响

Tab 4 Effects of different lipid levels on plasma fat content of juvenile tilapia mmol/L

指标	脂肪水平				
	0%	2%	4%	6%	8%
胆固醇 CHOL	3.45 ± 0.29^a	3.39 ± 0.20^{ab}	3.31 ± 0.23^b	3.10 ± 0.31^c	2.88 ± 0.16^d
甘油三酯 TG	3.11 ± 0.39^a	2.96 ± 0.51^a	2.26 ± 0.34^b	1.41 ± 0.16^c	1.14 ± 0.09^d
高密度脂蛋白 HDL-C	0.98 ± 0.26^a	1.14 ± 0.33^a	1.20 ± 0.21^a	1.30 ± 0.08^a	1.34 ± 0.11^a
低密度脂蛋白 LDL-C	0.46 ± 0.18^a	0.37 ± 0.10^b	0.32 ± 0.14^{bc}	0.27 ± 0.09^c	0.18 ± 0.06^d
极低密度脂蛋白 VLDL-C	0.40 ± 0.13^a	0.33 ± 0.04^b	0.28 ± 0.07^c	0.20 ± 0.04^d	0.15 ± 0.06^e

注:同行所标字母完全不同表示二者之间差异显著,而字母相同表示差异不显著

2.5 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼血浆与胆汁生化指标的影响

随着饲料脂肪含量的增加,血浆中谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、乳酸脱氢酶(LDH)、淀粉酶(AMY)、碱性磷酸酶(ALP)等各种酶的活性逐渐升高,表明饲料脂肪水平对这些酶有显著性影响,此外胆汁酸的含量亦随之升高。从淀粉酶活性看,8%脂肪组显著高于其它各组。

表5 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼血浆酶活性及胆汁酸的影响

Tab 5 Effects of different lipid levels on plasma enzyme of juvenile tilapia

生化指标	脂肪水平				
	0%	2%	4%	6%	8%
谷丙转氨酶 ALT (U/L)	25.33 ± 2.01^e	30.67 ± 1.87^d	40.33 ± 2.78^c	45.33 ± 3.41^b	47.81 ± 2.89^a
谷草转氨酶 AST(U/L)	141.67 ± 12.31^e	198.33 ± 28.54^d	265.00 ± 37.20^c	296.33 ± 24.12^b	306.57 ± 42.89^a
乳酸脱氢酶 LDH(U/L)	894.66 ± 20.29^e	1058.67 ± 31.21^d	1107.33 ± 34.25^c	1171.33 ± 31.08^b	1198.67 ± 50.23^a
淀粉酶 AMY (U/L)	28.07 ± 2.31^c	28.93 ± 2.92^c	30.60 ± 1.88^b	31.43 ± 3.19^b	32.67 ± 3.07^a
碱性磷酸酶 ALP(U/L)	17.33 ± 1.94^e	20.67 ± 1.52^d	25.07 ± 2.31^c	28.33 ± 2.36^b	30.67 ± 3.81^a
胆汁酸 TBA(mmol/L)	17.08 ± 1.87^c	17.27 ± 2.03^{bc}	18.23 ± 3.21^{ab}	18.97 ± 3.40^a	19.07 ± 4.08^a

注:同行所标字母完全不同表示二者之间差异显著,而字母相同表示差异不显著

3 讨论

3.1 饲料脂肪水平对罗非鱼幼鱼生长性能的影响

研究表明患有脂肪肝的鱼类会表现异常,如患脂肪肝病的虹鳟^[14]、卵形鲳鲹^[15]、草鱼^[16]、红姑鱼^[8]等都出现异常症状。本试验中0%~4%组试验鱼体质良好,未表现异常行为与形态特征,而饲料中添加高脂肪量的6%与8%组试验鱼大部分表现厌食,游动少或游动无力等行为特征,而且出现体色偏黑、消瘦,腹部肿大等体形变化,本试验观察到的现象与其它鱼患脂肪肝的鱼基本相似,只是各种症状表现程度强弱不同,这与鱼类种类、生长阶段、饲料品质、养殖环境等有关^[17]。

养殖鱼类摄入过量的糖物质及脂肪会导致肝细胞内堆积大量脂肪,引起肝细胞变性,坏死,引起肝功能下降甚至衰竭^[18]。饲料脂肪添加量在0~4%范围内,奥尼罗非鱼幼鱼的摄食量、增重率和饲料系数随着饲料脂肪含量的增加而显著上升,试验鱼未出现脂肪肝病症;而在饲料脂肪添加量6%~8%范围内,奥尼罗非鱼幼鱼的摄食量、增重率和饲料系数随着饲料脂肪含量增加而显著下降,而且部分鱼出现脂肪肝病症,这表明奥尼罗非鱼幼鱼饲料中脂肪的适宜添加量为4%。这个结果与庞思成^[13]认为罗非鱼的饲料中脂肪的最适含量为10%有较大差异,与吴锐全^[19]报道的罗非鱼饲料中脂类的适宜

含量为 6.2%，罗非鱼饲料中脂肪的适宜含量为 4%~6%的研究结果则差异较小，造成这种差异的原因可能与饲料中脂肪酸组成、饲料配方、鱼类生长阶段、饲养条件等有关^[17]。鱼类对脂肪需要量的变化范围较大，它受鱼类饲料中蛋白质和碳水化合物含量、养殖环境条件等因素的影响，不同品种及不同生长发育阶段的鱼类由于代谢强度不同，因而单位体重对维持需要量不同，营养的绝对需要量随着鱼体重的增加而增加^[20-21]。不同鱼类对饲料脂肪需要量不同，团头鲂幼鱼饲料中脂肪适宜含量为 2%~5%^[7]；俄罗斯鲟稚鱼为 5%^[9]；鳊鱼为 7%~12%^[11]，因此本试验中奥尼罗非鱼幼鱼饲料脂肪适宜添加量为 4%，与杂食性鱼类团头鲂、俄罗斯鲟等相近，而比肉食性鳊鱼低，表明饲料脂肪添加量与鱼类的食性亦密切相关。

3.2 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼肝脏与肌肉脂肪含量的影响

各试验组奥尼罗非鱼幼鱼肌肉和肝脏的脂肪含量随着饲料脂肪添加量的增加而升高，这与其它一些研究结果相似，如条纹鲈鱼体脂肪含量与饲料脂肪的含量存在正相关的关系^[22]；施氏鲟肝脏脂质含量和中性脂质含量随着饲料添加量的增加而升高^[23]。一般来说，饲料中脂肪含量过高，供应鱼体的能量往往超过其生长发育的需要，使鱼体脂肪含量升高并造成体内能量过剩，肝细胞中脂肪沉积作用加强，从而使鱼类的肌肉与肝脏的脂肪含量升高，产生脂肪肝^[24]。

奥尼罗非鱼幼鱼肝胰脏重量及肝体比与饲料脂肪添加量密切相关，0%脂肪组肝胰脏重量与肝体比最低，随着饲料脂肪含量增加而升高，并且各组之间存在显著差异（ $P < 0.05$ ）这与其它鱼类的研究结果一致。Catacutan等^[25]研究表明尖吻鲈摄食低脂饲料肝体比（HSI）最低为 1.05 而摄食高脂饲料其 HSI 上升至 2.12；Nanton等^[26]研究表明随着摄食脂肪含量的增加，黑线鲟肝脏脂肪含量和 HSI 也随之升高。

3.3 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼血浆生化指标的影响

奥尼罗非鱼幼鱼随着饲料脂肪含量的增加，CHOL 和 TG 同时降低，其中以 TG 降低较为突出。脂肪代谢时脂蛋白在肝细胞粗面内质网上合成，肝脏脂肪与脂蛋白结合后通过高尔基体分泌到细胞质中，随着血液运出肝脏，从而使肝脏与血液中的脂肪代谢维持平衡关系。因此当脂蛋白的合成能力不足时，肝细胞中的脂肪就不能及时随着血液运出，造成脂肪在肝脏的积累，这样一方面肝脏中脂肪含量升高，而另一方面血液中的脂肪含量则会降低^[17]。Li 等^[27]曾报道患脂肪肝病的草鱼脂肪的脂质含量与血清甘油三酯含量呈反相变化趋势。曹俊明等^[6]研究也表明，草鱼肝脏脂质中所占的相对比值随总脂含量的降低而减少，存在正相关关系，而血清总脂含量的升高与肝脏总脂含量之间存在负相关关系。

随着饲料脂肪含量的增加，奥尼罗非鱼幼鱼血液中 CHOL 和 TG 降低，VLDL-C、LDL-C 也逐渐下降，而 HDL-C 逐渐升高。在临床上通常认为脂肪肝的形成是肝细胞合成和氧化减少所致，肝细胞中的 TG、VLDL-C 合成和排出不平衡^[28]。DePlanc 等^[29]研究认为鱼类血浆脂蛋白在以 TG 为主要成分的肝脏脂肪的转运中发挥重要作用，鱼类肝脏脂肪可通过极低密度脂蛋白的形式向肝外转运。本试验中虽然肝脏内由于 TG 增加产生了较多 VLDL-C 但由于肝脏患病损伤后，VLDL-C 转运清除外源性脂肪的能力下降，使 TG 转运出肝脏受阻，导致血液中的 VLDL-C 也相对减少。另外由于肝脏是 CHOL 酯化器官，当鱼类出现脂肪肝病后，作为转运内源性胆固醇的 LDL-C 及卵磷脂胆固醇酰基转移酶活性降低，LDL-C 数量减少，影响 CHOL 的转运和酯化，故 CHOL 在肝脏内贮留，而且分解进入血液的 CHOL 和 LDL-C 呈现降低趋势。从另一方面看，由于 HDL-C 的作用是将 CHOL 运回肝脏进行代谢转变，鱼类患脂肪肝病后促使血液中 HDL-C 含量增加，HDL-C 有利于 CHOL 的转运和清除，从而导致血液中 HDL-C 含量升高而 CHOL 降低。

随着饲料脂肪含量的递增，奥尼罗非鱼幼鱼血清酶 ALT、AST、LDH、AMY、ALP 活性及 TBA 含量增加，血清酶的活性与饲料脂肪含量之间存在显著的正相关关系。当肝细胞遭受破坏或细胞膜通透性增加时，ALT、AST、LDH 和 AMY 等酶渗入血液，使血液中这些酶的活性显著升高^[30]；ALP 主要来自肝脏和骨骼，正常情况下，肝脏分泌的 ALP 随胆汁排入小肠，当患脂肪肝等疾病时可引起血浆 ALP 水平的升高。ALP 参与脂肪代谢，AMY 能催化淀粉、糖元分解，对淀粉分解及糖代谢有重要作用，可影响血液中

糖的水平, 从而影响脂肪的代谢。TBA的生成和代谢与肝脏有密切关系, TBA是在肝脏内以 CHOL为原料合成的一种有机酸, 血清中的胆汁酸是 CHOL在肝脏中的代谢产物, 是肝脏清除 CHOL的主要形式^[31]。

参考文献:

- [1] Castell JD. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout deficiency symptom [J]. *Journal of Nutrition* 1972 102: 77—86
- [2] DePlano M, Connes R, Diaz J P, et al. Intestinal steatosis in the farm reared sea bass *Dicentrarchus labrax* [J]. *Dis Aquac Org* 1989 6: 121—130
- [3] Lie O, Lied E, Lambensen G. Feed optimization in Atlantic cod (*Gadus morhua*) [J]. *Comp Biochem Physiol* 1988 78A: 49—52
- [4] 王道尊. 不同脂肪源对青鱼生长的影响 [J]. *水产学报*, 1989 13(4): 370—374.
- [5] 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.
- [6] 曹俊明, 林 鼎, 薛 华, 等. 四种抗脂肪肝物质降低草鱼肝脏脂肪积累的替代关系 [J]. *水生生物学报*, 1999 23(2): 102—111.
- [7] 刘梅珍, 石文雷, 朱晨炜, 等. 饲料中脂肪含量对团头鲂鱼种生长的影响 [J]. *水产学报*, 1992 16(4): 330—336.
- [8] 冯 健, 贾 刚. 饲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.
- [9] 邱岭泉, 曲秋芝. 饲料中添加不同含量脂肪对俄罗斯鲟稚鱼生长的影响 [J]. *水产学杂志*, 2001 14(2): 57—60.
- [10] 马 平. 添加油脂影响石斑鱼幼鱼内脏脂肪蓄积的试验 [J]. *台湾海峡*, 1996 (15): 55—57.
- [11] 王贵英, 曾可为, 郑翠华, 等. 饲料脂肪水平对鳊鱼生长的影响 [J]. *饲料研究*, 2003 (4): 38—41.
- [12] 黄 凯, 杨鸿昆, 甘 晖, 等. 饲料中添加胆碱预防罗非鱼脂肪肝病的作用 [J]. *中国水产科学*, 2007 14(2): 257—262.
- [13] 庞思成. 饲料中脂肪含量对罗非鱼生长的影响 [J]. *饲料研究*, 1994 12: 10—11.
- [14] 娄忠玉. 虹鳟脂肪肝病的病因、病理及防治 [J]. *鱼类病害研究*, 2000 22(4): 24—25.
- [15] 胡金城. 工厂化养殖卵鲢脂肪肝的防治 [J]. *科学养鱼*, 2004 (1): 42.
- [16] 张汉祥. 草鱼脂肪肝的防治 [J]. *渔业致富指南*, 2001 (15): 47.
- [17] 王兴强, 段青源, 麦康森, 等. 养殖鱼类脂肪肝研究概况 [J]. *海洋科学*, 2004 26(7): 36—39.
- [18] Halver JE. *Fish Nutrition* [M]. New York: Academic Press, 2003: 185—212.
- [19] 吴锐全. 罗非鱼的营养需求与饲料 [J]. *渔业科技产业* 2003 (1): 22—25.
- [20] 关受江. *鱼类营养及饲料学* [M]. 北京: 电子工业出版社, 1992: 86.
- [21] 冯 健, 刘永坚, 刘栋辉, 等. 红姑鱼日粮脂肪水平和脂肪酸比例与脂肪肝关系研究 [J]. *海洋科学*, 2004 28(6): 28—31.
- [22] Gaylord T G, Gatlin A M. Dietary lipid level but not L-carnitine affects growth performance of hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) [J]. *Aquaculture* 2000 190: 237—246.
- [23] 肖懿哲, 陈月忠. 饲料脂肪含量对施氏鲟生长及其肝脏脂质组成的影响 [J]. *台湾海峡*, 2001 20(3): 376—380.
- [24] Vereth J, Coppoole J, Segner H. The effect of low HUFA and high HUFA enriched Artemia fed at different feeding levels on growth, survival, tissue fatty acids and liver histology of *Clarias gariepinus* larvae [J]. *Aquaculture* 1994 126: 137—150.
- [25] Caucatan M R, Coloso R M. Growth of juvenile Asian seabass *Lateolabrax niloticus* fed varying carrying carbohydrate and lipid levels [J]. *Aquaculture* 1997 (149): 137—144.
- [26] Nanton D, Lall S P, Kim J D, et al. Effect of dietary lipid on growth and biochemical composition of juvenile haddock *Melanogrammus aeglefinus* [J]. *Proceeding of World Aquaculture* 2000 5: 2—6.
- [27] Lin D, Mao Y Q, Cai F S. Nutritional lipid liver disease of grass carp *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *Chin J Oceanol Limnol* 1990 8: 363—374.
- [28] 倪燕君. 脂肪肝发病机理和诊断治疗研究进展 [J]. *国外医学消化疾病分册*, 1997 17(3): 158—159.
- [29] DePlano M, Connes R, Diaz J P, et al. Intestinal steatosis in the farm reared sea bass *Dicentrarchus labrax* [J]. *Dis Aquac Org* 1989 6: 121—130.
- [30] 刘 莉. *动物生物化学* [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 147.
- [31] 李 琴. 血清胆汁酸与谷丙转氨酶在肝病中测定的意义 [J]. *中华实用中西医杂志*, 2005 20(18): 1313.