

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2011.00080

饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生产性能、营养物质消化及血液生化指标的影响

王爱民^{1,2} 韩光明¹ 封功能² 杨文平² 郭家豪² 王 恬¹ 徐 跑¹

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 农业部淡水鱼类遗传育种和养殖生物学重点开放实验室, 无锡 214081;

2. 盐城工学院海洋技术系, 江苏省沿海池塘养殖生态重点实验室, 盐城 224051)

摘要: 为探讨吉富罗非鱼对脂肪的适宜需求量, 将 630 尾[(2.63±0.16) g]吉富罗非鱼随机分成 6 个脂肪组的饲料组(1.73%、3.71%、5.69%、7.67%、9.64%和 16.55%), 每组设置 3 个重复, 每个重复 35 尾, 第 1 组为对照组, 投喂基础日粮(含脂肪 1.73%), 另外 5 组为试验组, 在基础日粮中分别添加 2%、4%、6%、8%、15% 的鱼油, 饲养 90d 后测定生长、饵料系数、营养物质表观消化率及血液常规生化指标。结果显示, 随着饲料脂肪水平提高, 增重率和特定增长率呈现一个先上升后下降的趋势($P<0.05$), 蛋白质效率极显著地提高($P<0.01$), 饵料系数极显著地下降($P<0.01$)。增重率与饲料脂肪水平的二次多项式回归分析显示, 吉富罗非鱼获得最高增长所需饲料的最佳脂肪水平为 9.34%。饲料脂肪水平对粗蛋白表观消化率和饲料干物质表观消化率无显著影响($P>0.05$), 饲料脂肪水平增加显著提高了粗脂肪和磷的表观消化率($P<0.05$)。未添加鱼油的 1.73% 组血液中白蛋白和白球比均显著高于其他组($P<0.05$), 随着饲料脂肪水平的提高, 胆固醇的浓度及碱性磷酸酶的活性极显著地上升($P<0.01$)。饲料脂肪水平对血糖浓度有显著影响($P<0.05$), 对甘油三酯浓度、谷丙和谷草转氨酶的活性无显著影响($P>0.05$)。结果表明, 饲料中的脂肪水平可以促进吉富罗非鱼对脂肪和磷的表观消化率, 但是脂肪水平过高会对鱼体增重及血液生化参数产生负作用, 从生产上来说吉富罗非鱼对脂肪的适宜需求量为 7.67%—9.34%。

关键词: 吉富罗非鱼; 脂肪水平; 生产性能; 表观消化率; 血液生化指标

中图分类号: S963 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2011)01-0080-08

脂肪是供给鱼类的能源和储存能量重要的营养素之一, 同时为鱼类提供必需脂肪酸。饲料中脂肪含量不足或缺乏, 可导致鱼类代谢紊乱, 饲料蛋白质利用率下降, 同时还可并发脂溶性维生素和必需脂肪酸缺乏症; 但饲料中脂肪含量过高, 又会导致鱼体脂肪沉积过多, 鱼类抗病能力下降, 也不利于饲料的储藏和加工^[1], 因此饲料中脂肪水平需适宜。饲料中的脂肪水平能够影响鱼类的生长、饲料的消化吸收以及鱼体血液的生化成分。已有的研究主要集中在脂肪水平对鱼类生长等方面^[2-6], 对水产动

物血液学的研究则多侧重于血液常规及流变学指标等^[7], 而一些血液指标变化又能够反映鱼类的生长状况^[8], 研究饲料脂肪水平对血液生化指标的影响, 对探讨鱼类生理生化中的脂肪代谢调控机制具有重要意义。

吉富品系罗非鱼是遗传性状改良后的尼罗罗非鱼(Genetic Improvement of Farmed Tilapia, *Oreochromis niloticus*), 英文缩写为 GIFT, 中文称为吉富。吉富罗非鱼含肉率较高, 肌肉的鲜味氨基酸含量较为丰富, 必需氨基酸种类齐全、含量丰富, 肌肉

收稿日期: 2009-12-23; 修订日期: 2010-09-11

基金项目: 农业部水生动物遗传育种和养殖生物学重点开放实验室重点开放课题(项目编号: BZ2007-06); 江苏省 2008 年度省高校自然科学基金基础研究项目(项目编号: 08KJD240003); 江苏省“青蓝工程”优秀青年骨干教师培养基金项目资助

作者简介: 王爱民(1975—), 男, 湖南武冈人; 副教授, 博士研究生; 主要从事水产动物营养与饲料的教学与科研工作。E-mail: blue-seawam@ycit.cn

通讯作者: 徐跑(1963—), 男, 博士生导师; 主要从事水产健康养殖与鱼类遗传育种的研究。E-mail: xup@ffrc.cn

脂肪中二十碳五烯酸含量为 2%、二十二碳六烯酸为 10%，必需微量元素均比较丰富，是一种具有较高营养价值和经济价值的鱼类^[9,10]。该品系生长速度快、鱼体高、背厚、出肉率高、遗传性状稳定^[11]，现成为中国一个新的重要养殖品种。吉富罗非鱼是近几年刚刚选育出来的一个品系，胡国成等^[12]研究认为蛋白含量为 37.6%的配合饲料更适合吉富罗非鱼苗种培育的生产需要，但关于吉富罗非鱼对脂肪的适宜需求的研究未见报道，有研究报道尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[3]和奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*♀×*O. aureus*♂)^[4]的脂肪需求量分别为 10%、12%。为此，本试验研究饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生产性能、饲料表观消化率及血液生化指标的影响，旨在为吉富罗非鱼配合饲料中脂肪水平的设置及深入研究血液中脂肪代谢营养调控提供试验性参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验鱼

试验鱼来自中国水产科学研究院淡水渔业研究

中心种苗基地同一批孵化鱼苗，经过 5%食盐水消毒后，驯养备用。驯化结束后，选择健康无伤病的 630 尾的吉富罗非鱼幼鱼，均重为(2.63±0.16) g，平均体长为(4.36±0.11) cm，随机分配到 18 个水族箱，每个水族箱 35 尾，然后将 18 个水族箱随机分为 6 个组，每组设置 3 个重复，分别投喂不同脂肪水平的试验饲料，饲养 90d。

1.2 试验饲料

根据 SC/T 1025-2004 罗非鱼配合饲料水产行业标准设计配方(表 1)，以优质进口鱼粉、豆粕为蛋白源，优质鱼油为脂肪源，饲料原料均过 60 目筛，鱼油的添加水平分别为 0%、2%、4%、6%、8%和 15%，饲料脂肪水平分别为 1.73%、3.71%、5.69%、7.67%、9.64%和 16.55%。配制成 6 组试验饲料，经充分混合后加工成颗粒饲料，晾干并保存于冰箱中备用。

1.3 试验设计与饲养管理

试验采用循环流水饲养系统养殖，其水族箱尺寸大小: 100 cm × 80cm × 60 cm，每 5 天换水一次，

表 1 饲料配方及主要营养成分(风干物质)
Tab. 1 Formulation and nutritional composition of experimental diets (air-dry basis)

原料 Ingredients (%)	组别 Group					
	1.73%	3.71 %	5.69 %	7.67 %	9.64 %	16.55 %
鱼粉 Fish meal	8	8	8	8	8	8
豆粕 Soybean meal	25	25	25	25	25	25
花生粕 Peanut meal	10	10	10	10	10	10
菜粕 Rapeseed meal	18	18	18	18	18	18
鱼油 Fish oil	0	2	4	6	8	15
玉米淀粉 Corn starch*	20	18	16	14	12	5
次粉 Wheat-middlings	14	14	14	14	14	14
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
食盐 Salt	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
氯化胆碱 Choline chloride	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
预混料 Feed premix**	3	3	3	3	3	3
总量 Total Quantity	100	100	100	100	100	100
主要营养成分 Main nutrients (%)						
粗蛋白 Crude protein	30.44	30.43	30.42	30.41	30.4	30.36
粗脂肪 Crude fat	1.73	3.71	5.69	7.67	9.64	16.55
磷 Phosphorus	1.08	1.12	1.16	1.29	1.25	1.26

注: *玉米淀粉成分参照 GB-T 8885-2008 一级品标准; **预混料为每 kg 饲料提供维生素和微量元素: VE 60 mg; VK 5 mg; VA 15000 IU; VD₃ 3000 IU; VB₁ 15 mg; VB₂ 30 mg; VB₆ 15 mg; VB₁₂ 0.5 mg; 烟酸 175 mg; 叶酸 5 mg; 肌醇 1000 mg; 生物素 2.5 mg; 泛酸钙 50 mg; 铁 25 mg; 铜 3 mg; 锰 15 mg; 碘 0.6 mg; 镁 0.7 g

Note: * Corn starch ingredient refers GB-T 8885-2008 standard of first rank standard; ** The premix provides vitamin and mineral for a kilogram of diet: VE 60 mg; VK 5 mg; VA 15000 IU; VD₃ 3000 IU; VB₁ 15 mg; VB₂ 30 mg; VB₆ 15 mg; VB₁₂ 0.5 mg; Nicotinic acid 175 mg; Folic acid 5 mg; Inositol 1000 mg; Biotin 2.5 mg; Pantothenic acid 50 mg; Fe 25 mg; Cu 3 mg; Mn 15 mg; I 0.6 mg; Mg 0.7 g

换水量为总水量的 40%。饲养遵循“四定”(定质、定量、定时、定点)、“三看”(看水质、看天气、看鱼情)、“八成饱”的原则,每天投饲 3 次,时间分别为 6:30、13:30、18:30,投饲率为 10%—15%,投喂之前吸除粪便,饲料投下去 20min 后,计算残饵。试验用水为曝气后的自来水,水温 21℃—27℃,pH 6.8—8.0,溶解氧>5 mg/L。

1.4 试验指标检测及计算方法

吉富罗非鱼生产性能计算 饲养试验结束停食 48h,对各组的试验鱼进行称重,计算增重率(Weight gain rate, %)、特定生长率(Specific growth ratio, %/d)、饵料系数(Feed conversion ratio)及蛋白质效率(Protein efficiency ratio),计算公式如下:

$$\text{增重率 } WGR (\%) = 100 \times (W_f - W_i) / W_i$$

$$\text{特定生长率 } SGR (\%/d) = 100 \times (\ln W_f - \ln W_i) / d$$

$$\text{饵料系数 } FCR = F / (W_f - W_i)$$

$$\text{蛋白质效率 } PER = (W_f - W_i) / P$$

式中: W_f 为试验末鱼体重量(g), W_i 为试验初鱼体重量(g); d 为饲养天数(d); F 为摄入的饲料干重(g); P 为蛋白质摄入量干重(g)。

营养物质表观消化率测定 饲养 30d 后,投喂在试验组饲料基础上添加 0.5% Cr_2O_3 指示剂的饲料,正常投喂 3d 后收集粪便。以后每次投饵后吸净水中残饵,约 2h 后待鱼排粪时用虹吸法吸起水中形状完整的粪便,置于培养皿中 60℃烘干, -20℃冷藏待测。

分别采用 105℃常压干燥法、凯氏定氮法、索氏提取法及钼黄比色法测定饲料中的水分、粗蛋白、脂肪及磷的含量^[13]。采用湿式化定量法测定饲料及粪便中 Cr_2O_3 含量,然后计算物质的表观消化率。

$$\text{干物质的表观消化率} (\%) = 100 - 100 \times C_1 / C_2$$

$$\text{某营养物质表观消化率} (\%) = 100 - 100 \times C_1 \times N_2 / (C_2 \times N_1)$$

式中: C_1 为饲料中 Cr_2O_3 的百分含量(%); C_2 为粪便中 Cr_2O_3 的百分含量(%); N_1 分别为饲料中粗蛋白、粗脂肪、磷百分含量(%); N_2 分别为鱼粪便中粗蛋白、粗脂肪、磷百分含量(%)。

血液生化指标的测定 饲养试验结束停食 48h,每个水族箱随机取 3 尾鱼,先用 MS-222 麻醉鱼体,然后尾静脉采血,抽取的血液注入预备好的含 1%肝素钠的 2 mL 离心管中,制备成抗凝血,样品送至盐城市疾病预防控制中心检测血液中的总蛋白(双缩脲法)、白蛋白(溴甲酚绿法)、血糖(葡萄糖氧化酶法)、甘油三酯(甘油磷酸氧化酶-过氧化物酶法)、胆固醇(胆固醇氧化酶-过氧化物酶法)的含量,以及谷丙转氨酶(赖氏法)、谷草转氨酶(赖氏法)和碱性磷酸酶的活性(AMP 法),以上指标测定均采用半自动生化分析仪分析。

1.5 数据统计与分析

采用 SAS6.12 中的单因子方差分析(One-Way ANOVA)对数据进行统计分析,若达到显著差异,则进行 Fisher's LSD 多重比较。用二次多项式来拟合增重率与饲料脂肪水平之间的相关关系。数据用平均值±标准差(Mean ± SD)形式表示, $P < 0.05$ 认为差异显著, $P < 0.01$ 认为差异极显著。

2 结果

2.1 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生产性能的影响

由表 2 可知,饲料脂肪水平对鱼体的增重率和特定生长率有显著影响($P < 0.05$),对饵料系数和蛋白质效率有极显著影响($P < 0.01$)。7.67%组中鱼体的

表 2 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生产性能的影响
Tab. 2 Effect of dietary lipid levels on growth performance of GIFT tilapia

组别 Group	末均重(g/尾) Finial weight	增重率 WGR (%)	特定生长率 SGR (%/d)	饵料系数 FCR	蛋白质效率 PER
1.73%	41.85±2.78 ^b	1205.71±156.46 ^c	2.84±0.13 ^c	2.40±0.15 ^a	1.40±0.09 ^d
3.71%	46.29±2.16 ^{ab}	1588.55±103.69 ^{ab}	3.14±0.07 ^{ab}	2.00±0.01 ^b	1.66±0.01 ^c
5.69%	48.27±3.42 ^{ab}	1620.70±146.78 ^{ab}	3.15±0.09 ^{ab}	1.91±0.05 ^b	1.74±0.04 ^{bc}
7.67%	52.00±0.31 ^a	1860.18±44.76 ^a	3.31±0.03 ^a	1.85±0.01 ^b	1.81±0.01 ^{bc}
9.64%	51.74±2.75 ^a	1660.74±78.20 ^{ab}	3.18±0.05 ^{ab}	1.81±0.02 ^b	1.84±0.02 ^b
16.55%	44.64±1.87 ^{ab}	1348.27±93.73 ^{bc}	2.96±0.07 ^{bc}	1.59±0.04 ^c	2.10±0.05 ^a
ANOVA, Pr>F	0.071	0.016	0.018	0.000	0.000

注: 同列肩标不同字母表示差异显著($P < 0.05$); 下表同

Note: Mean values in column with different superscripts were significantly different ($P<0.05$). The same as below

增重率和特定生长率均最高, 显著高于 1.73%组、16.55%组($P<0.05$), 与 3.71%、5.69%及 9.64%差异不显著($P>0.05$)。3.71%、5.69%、7.67%和 9.64%四个组的均显著低于 1.73%组($P<0.05$), 同时显著高于 16.55%组($P<0.05$), 这四个组之间的饵料系数差异不显著($P>0.05$)。16.55%组的蛋白质效率显著高于其他各组($P<0.05$), 5.69%、7.67%和 9.64%三组之间的蛋白质效率差异不显著($P>0.05$), 饲料中的脂肪水平越高其蛋白质效率越高。

用二次多项式的回归模型^[14], 分析吉富罗非鱼的增重率与饲料脂肪水平之间的关系, 得到的回归方程为: $Y = -8.7084X^2 + 163.51X + 1010.4$ (图 1), 当 $X = 9.34\%$ 时, 吉富罗非鱼的增重率最高, 因此吉富罗非鱼饲料中最适宜的脂肪水平为 9.34%。

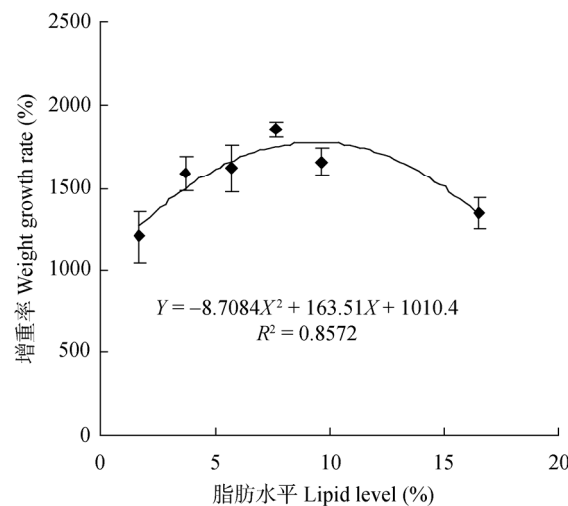


图 1 吉富罗非鱼增重率与饲料脂肪水平的关系

Fig. 1 The relationship between weight growth rate and dietary lipid levels of GIFT tilapia

2.2 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼饲料表观消化率的影响

由表 3 可知, 饲料脂肪水平对粗脂肪和磷的表观消化率产生极显著的影响($P<0.01$), 对粗蛋白和干物质的表观消化率无显著影响($P>0.05$)。16.55%组粗脂肪的表观消化率显著高于 1.73%、3.71%、5.69%组($P<0.05$), 3.71%、5.69%、7.67%和 9.64%四个组显著高于 1.73%组($P<0.05$), 这四个组之间差异不显著($P>0.05$)。5.69%、7.67%和 9.64%三个组磷的表观消化率显著高于 1.73%组($P<0.05$), 且显著低于 16.55%组($P<0.05$), 这三个组之间差异不显著($P>0.05$)。

2.3 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼血液生化指标的影响

由表 4 可知, 饲料脂肪水平对血液的总蛋白、白蛋白、球蛋白、白球比、胆固醇的浓度及碱性磷酸酶的活性有极显著的影响($P<0.01$), 对血糖浓度有显著影响($P<0.05$), 对甘油三酯浓度、谷丙和谷草转氨酶的活性无显著影响($P>0.05$)。未添加鱼油的 1.73%组白蛋白和白球比均显著高于其他组($P<0.05$)。除去 1.73%组, 随着脂肪水平的提高, 各组吉富罗非鱼血液中的总蛋白、白蛋白、球蛋白的含量都呈上升的趋势, 这五组之间总蛋白和球蛋白有显著差异($P<0.05$), 白蛋白和白球比无显著差异($P>0.05$); 3.71%组血糖浓度最高, 与 7.67%和 9.64%组相比均差异显著($P<0.05$), 3.71%组之外的其他各组之间差异不显著($P>0.05$); 16.55%组甘油三酯浓度显著高于 5.69%组($P<0.05$), 但与其他组差异不显著($P>0.05$); 16.55%组碱性磷酸酶活性显著高于

表 3 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼饲料表观消化率的影响
Tab. 3 Effect of dietary lipid levels on feed apparent digestibility of GIFT tilapia (%)

组别 Group	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	磷 Phosphorus	干物质 Dry matter
1.73%	81.51±0.90	73.82±0.47 ^c	55.37±0.58 ^d	65.31±0.46 ^{ab}
3.71%	82.48±1.27	85.20±2.30 ^b	57.96±2.00 ^{cd}	64.53±1.69 ^{ab}
5.69%	83.14±0.35	87.70±2.78 ^b	61.02±1.01 ^{bc}	65.33±0.90 ^{ab}
7.67%	82.95±0.93	89.27±1.78 ^{ab}	63.81±1.67 ^b	63.87±1.66 ^b
9.64%	83.15±0.42	90.78±2.35 ^{ab}	63.53±0.76 ^b	64.95±0.73 ^{ab}
16.55%	83.57±0.35	94.29±0.86 ^a	67.60±0.38 ^a	67.42±0.38 ^a
ANOVA, Pr>F	0.536	0.000	0.000	0.366

表 4 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼血液生化指标的影响
Tab. 4 Effect of dietary lipid levels on blood biochemical indices of GIFT tilapia

组别 Group	总蛋白 TP (g/L)	白蛋白 ALB (g/L)	球蛋白 GLB (g/L)	白球比 ALB/ GLB	血糖 GLU (mmol/L)
1.73%	41.80±3.27 ^a	18.35±2.20 ^a	23.45±1.52 ^{bc}	0.79±0.08 ^a	6.71±0.49 ^{ab}
3.71%	30.79±0.74 ^b	9.22±0.76 ^b	21.57±0.90 ^b	0.44±0.05 ^b	8.11±0.60 ^a
5.69%	34.04±2.41 ^{bc}	9.91±1.80 ^b	24.13±0.95 ^{bc}	0.40±0.07 ^b	6.97±0.79 ^{ab}
7.67%	36.17±1.91 ^{bc}	9.68±1.71 ^b	26.49±1.10 ^{ac}	0.37±0.07 ^b	6.20±0.22 ^b
9.64%	38.62±1.15 ^{ab}	11.83±1.35 ^b	26.79±1.76 ^{ac}	0.47±0.08 ^b	6.51±0.41 ^b
16.55%	41.14±1.64 ^a	12.07±0.98 ^b	29.08±1.60 ^a	0.43±0.04 ^b	7.14±0.39 ^{ab}
ANOVA, Pr>F	0.002	0.001	0.004	0.001	0.049

组别 Group	甘油三酯 TG (mg/mL)	胆固醇 CHO (mg/mL)	谷丙转氨酶 ALT (U/L)	谷草转氨酶 AST (U/L)	碱性磷酸酶 ALP (U/L)
1.73%	1.41±0.26 ^{ab}	3.44±0.41 ^{ab}	37.89±3.02	396.56±46.44	11.11±4.44 ^b
3.71%	1.40±0.25 ^{ab}	2.86±0.13 ^b	30.11±4.55	201.22±49.38	11.72±3.15 ^b
5.69%	1.21±0.29 ^b	2.72±0.22 ^b	41.25±6.89	424.56±79.34	15.22±2.83 ^b
7.67%	1.63±0.24 ^{ab}	3.33±0.35 ^{ab}	43.5±7.64	256.25±97.39	18.55±7.25 ^b
9.64%	1.59±0.59 ^{ab}	4.66±1.75 ^a	44.11±6.80	337.33±106.54	22.89±5.59 ^{ab}
16.55%	1.89±0.45 ^a	4.69±0.51 ^a	60.78±10.15	449.37±130.11	27.20±6.80 ^a
ANOVA, Pr>F	0.179	0.001	0.163	0.163	0.004

9.64%组之外的其他各组 ($P<0.05$), 16.55%组与 9.64%组之间差异不显著($P>0.05$)。

3 讨 论

3.1 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生产性能的影响

本试验所用饲料最高添加量为 16.55%, 水平很高, 旨在探讨高脂肪水平的饲料对鱼生长代谢的影响。大多数鱼类对脂肪具有较高的吸收利用能力, 但是过低或过高脂肪水平的饲料均能够降低鱼体的生长, 适当地提高饲料水平可以提高蛋白质效率同时降低饵料系数^[15-19], 本次试验获得相同结果。另外, 高脂肪水平饲料(16.55%组)的蛋白质效率比其他脂肪水平组都高, 这与段彪等^[5]、Lus, *et al.*^[6]研究表明过高的脂肪添加会降低蛋白质效率的结果不一致, 可能是由于鱼的种类不同而异。Zeitoun, *et al.*^[14]建议运用多项式回归方程来分析增重与重要营养物质摄入的关系, 二次多项式回归分析计算得出的最大值所对应饲料中某营养物质的含量, 能够很清晰地反映出鱼体获得最佳生长所需的该营养物质的最高添加水平。本试验将吉富罗非鱼的增重率与脂肪水平做回归方程分析(图 1), 得出其获得最大增重时饲料的脂肪水平为 9.34%, 这一结果与庞思成^[3]、Chou, *et al.*^[4]研究结果基本一致, 但从生产实践及本试验中 7.67%组罗非鱼增重率和特定生长率最高

来看, 建议罗非鱼吉富鱼种配合饲料中的脂肪适宜需要量为 7.67%—9.34%。

3.2 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼饲料表观消化率的影响

试验发现, 饲料脂肪水平过高或过低均影响营养物质表观消化率, 这可能跟饲料中脂肪的不同添加水平对动物体内脂肪沉积、转化及矿物元素的利用率等有关^[20]。吉富罗非鱼与其他鱼类一样对脂肪有较高的消化率^[21]。从结果分析来看, 吉富罗非鱼对粗脂肪消化率与饲料中脂肪水平呈正相关关系, 说明鱼类对营养物质的表观消化率与营养物质在食物中的含量有关^[22]。饲料中脂肪水平越高, 粗脂肪的表观消化率就越高, 与此同时, 磷表观消化率也与饲料中脂肪水平呈正相关关系, 其原因尚不清楚。吉富罗非鱼对 16.55%组饲料的干物质表观消化率高于其他组, 分析其原因认为有以下两方面: 一方面, 脂肪消化率随饲料脂肪水平增加而提高, 从而使饲料干物质表观消化率提高; 另一方面, 脂类物质可以作为溶剂促进了鱼体对其他脂溶性营养物质的吸收, 提高干物质的表观消化率, 有待进一步的研究证明。

3.3 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼血液生化指标的影响

血液生化指标能反映鱼类的生理代谢状态, 与

营养状况密切相关, 生化指标的变化可以阐明营养素在机体代谢变化的作用机制。试验发现, 1.73%组饲料对吉富罗非鱼血液中总蛋白、白蛋白和球蛋白的影响较大, 白蛋白浓度和白球比显著高于 3.71%组。血液中的白蛋白的主要功能是维持血液中胶体的渗透压, 而球蛋白主要参与脂类或脂溶性物质的运输以及机体免疫反应^[23], 其机制可能是鱼油消化吸收进入血液后, 参与血液物质代谢或产生反馈机制, 从而改变血液渗透压, 鱼体通过合成白蛋白来调节。当饲料水平在 3.71%—16.55%之间时, 白蛋白和球蛋白都随脂肪水平提高而呈现上升趋势, 说明脂肪营养摄入量, 能够影响白蛋白的调节功能及球蛋白的运输功能, 改变鱼体免疫能力。在人类血液中, 甘油三酯的升降往往伴随着胆固醇的升降^[24], 本试验发现吉富罗非鱼血液中甘油三酯和胆固醇浓度都随着饲料脂肪水平增加而提高, 其中胆固醇浓度比甘油三酯更容易受饲料脂肪水平影响。碱性磷酸酶和营养免疫相关, 在正常情况下, 血清碱性磷酸酶活性是很低的, 当有肝脏病或骨病时, 血清碱性磷酸酶活性会显著升高^[25]。本试验的结果显示, 16.55%组碱性磷酸酶活性显著升高($P<0.05$), 可能由于高脂肪水平的饲料能够导致鱼类肝脏病变^[26], 从而引起碱性磷酸酶活性升高。另外, 饲料脂肪水平对血液中血糖有显著影响, 其中的调节机理涉及到糖代谢与脂肪代谢的关系, 尚需进一步研究。本次试验吉富罗非鱼血液在检测中发现谷草和谷丙转氨酶活性的数值的离散度较大, 各组之间差异不显著($P>0.05$), 有待进一步的研究探讨。

参考文献:

- [1] Zhang M L, He X H. Role of fat in the nutrition and feeds of fishes [J]. *Reservoir Fisheries*, 2003, **23**(5): 62—63 [张满隆, 何小慧. 脂肪在鱼类营养及其饲料中的作用. 水利渔业, 2003, **23**(5): 62—63]
- [2] Wang D Z, Gong X Z, Liu Y F. The effects fat content in feeds on the growth of black carp fingerings [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1987, **11**(1): 23—28 [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. 水产学报, 1987, **11**(1): 23—28]
- [3] Pang S C. The effect of dietary fat levels on growth in tilapia [J]. *Feed Research*, 1994, (12): 10—11 [庞思成. 饲料中脂肪含量对罗非鱼生长的影响. 饲料研究, 1994, (12): 10—11]
- [4] Chou B S and Shiau S Y. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂ [J]. *Aquaculture*, 1996, **143**: 185—195
- [5] Duan B, Xiang X, Zhou X H, et al. The optimal lipid content of feed for *Schizothorax prenanti* [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2007, **19**(3): 232—236 [段彪, 向泉, 周兴华, 等. 齐口裂腹鱼饲料中适宜脂肪需求量的研究. 动物营养学报, 2007, **19**(3): 232—236]
- [6] Lus M L, Eduardo D, Maria T V, et al. Effect of dietary lipid levels on performance, body composition and fatty acid profile of juvenile white seabass, *Atractoscion nobilis* [J]. *Aquaculture*, 2009, **289**(1-2): 101—105
- [7] Zhou Y, Guo W C, Yang Z G, et al. Advances in the study of haematological indices of fish [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2001, **10**(2): 163—165 [周玉, 郭文场, 杨振国, 等. 鱼类血液学指标研究的进展. 上海水产大学学报, 2001, **10**(2): 163—165]
- [8] Luo Z Y, Wang L, Wang B J, et al. Relationships between growth performance and blood biochemical indices in tilapia *Oreochromis aureus* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, **14**(5): 743—748 [骆作勇, 王雷, 王宝杰, 等. 不同投喂模式对奥利亚罗非鱼血液生化指标与生长性能的影响. 中国水产科学, 2007, **14**(5): 743—748]
- [9] Hao S X, Li L H, Yang X Q, et al. Analysis and evaluation of nutrient composition of tilapias [J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2007, **29**(6): 614—618 [郝淑贤, 李来好, 杨贤庆, 等. 五种罗非鱼营养成分分析及营养评价. 营养学报, 2007, **29**(6): 614—618]
- [10] Ma G H, Zhang Y H, Shi J H, et al. Evaluation of flesh rate and nutrition in the body of GIFT Tilapia [J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2008, **5**(4): 35—37 [马国红, 张延华, 师吉华, 等. 新吉富罗非鱼的含肉率及营养价值评定. 长江大学学报(自然科学版), 2008, **5**(4): 35—37]
- [11] Dey M M, Gupta M V. Socioeconomics of disseminating genetically improved Nile tilapia in Asia: an introduction [J]. *Aquaculture Economic and Management*, 2000, **4**(1/2): 5—11
- [12] Hu G C, Li S F, He X J, et al. The effects of varying dietary protein level on the growth and body composition of juvenile of GIFT strain *Oreochromis niloticus* [J]. *Feed Industry*, 2006, **27**(6): 24—27 [胡国成, 李思发, 何学军, 等. 不同饲料蛋白质水平对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼生长和鱼体组成的影响. 饲料工业, 2006, **27**(6): 24—27]
- [13] Zhang L Y. Analysis of the quality of feed and feed detection technology (Second Edition) [M]. China Agricultural University Press. 2003, 46—56 [张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术(第2版). 北京: 中国农业大学出版社, 2003, 46—56]
- [14] Zeitoun I H, Ulhey D E, Magee W T. Quantifying nutrient requirement of fish [J]. *Fish. Res. Board Can.*, 1976, **33**: 167—172
- [15] Bromiey P J. Effect of dietary protein, lipid and energy content on the growth of *Scophthalmus* [J]. *Aquaculture*, 1980,

- 100: 107—123
- [16] Takeuchi T, Shiina Y, Watanabe T. Suitable protein and fat levels in diet for fingerling of red sea bream *Pagrus major* [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1991, **57**: 293—299
- [17] De Silva S, Gunaskera R M, Shim K F. Interactions of varying dietary protein and lipid levels in young red tilapia: evidence of protein sparing [J]. *Aquaculture*, 1991, **95**: 305—318
- [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**(1-4): 323—329
- [19] Ng W K, Abdullah N, De Silva S S. The dietary protein requirement of the Malaysian mahseer, *Tor tambroides* (Bleeker), and the lack of protein-sparing action by dietary lipid [J]. *Aquaculture*, 2008, **284**(1-4): 201—206
- [20] Yang F. Animal Nutrition [M]. Beijing: China Agriculture Press (Second Edition). 2006, 94—96 [杨凤. 动物营养学. 北京: 中国农业出版社(第二版). 2006, 94—96]
- [21] Chang Q, Liang M Q, Wang J L, *et al.* Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, **29**(2): 172—176 [常青, 梁萌青, 王家林. 等. 花鲈对不同饲料原料的表观消化率. 水生生物学报. 2005, **29**(2): 172—176]
- [22] Grisdale-Helland B, Shearer K D, Gatlin Iii 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
- [23] Ozaki H. Xu X L, Xiong G Q, Miao S C, translated. The physiology of Fish blood and circulation [M]. Shanghai Science Press. 1982, 116—120 [尾崎久雄. 许学龙, 熊国强, 缪圣赐译. 鱼类血液与循环生理. 上海科学出版社. 1982, 116—120]
- [24] He Z Q. Human nutrition (second edition) [M]. Beijing: Press of People Medicine. 2000, 95—123 [何志谦. 人类营养学(第二版). 北京: 人民卫生出版社. 2000, 95—123]
- [25] Shen H, Zhang Q. Effects of petroleum pollution on the activities of serum enzymes of *Tilapia mossambica* [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1998, **20**(4): 60—65 [沈, 张勤. 石油污染对莫桑比克罗非鱼血清酶活性的影响. 海洋学报, 1998, **20**(4): 60—65]
- [26] Feng J, Liu Y J, Liu D H, *et al.* Relationship between dietary lipid levels and proportion of Lipid acids on fatty liver disease in juvenile *Sciaenops ocellatus* [J]. *Marine Sciences*, 2004, **28**(6): 28—31 [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病关系研究. 海洋科学, 2004, **28**(6): 28—31]

EFFECTS OF DIETARY LIPID LEVELS ON GROWTH PERFORMANCE, NUTRIENT DIGESTIBILITY AND BLOOD BIOCHEMICAL INDICES OF GIFT TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*)

WANG Ai-Min^{1,2}, HAN Guang-Ming¹, FENG Gong-Neng², YANG Wen-Ping², GUO Jia-Hao², WANG Tian¹ and XU Pao¹

(1. Key Open Laboratory for Genetic Breeding of Aquatic Animals and Aquaculture Biology Certificated by the Ministry of Agriculture, Wuxi College of Fisheries of Nanjing Agriculture University, Wuxi 214081; 2. Key Laboratory of Aquaculture and Ecology of Coastal pool of Jiangsu Province, Department of Ocean Technology, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051)

Abstract: In order to determine the optimal levels of the lipid of GIFT strain Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), 630 GIFT with average weight of (2.63 ± 0.16) g were divided into six groups (1.73% lipid, 3.71% lipid, 5.69% lipid, 7.67% lipid, 9.64% lipid and 16.55% lipid) randomly. One with triplication was the control group fed with basal diet (1.73% lipid), the others were the treated groups fed with basal diet (1.73% lipid) supplemented with 2%, 4%, 6%, 8% and 15% fish oil, respectively. After rearing 90d, the growth, feed conversion ratio, nutrient apparent digestibility and blood biochemical parameter were determined. Results showed that, along with dietary lipid level raising, weight gain rate and specific growth rate had a trend of going up first then falling down ($P < 0.05$), protein efficiency ratio improved ($P < 0.01$) and feed conversion ratio reduced ($P < 0.01$). Second-order regression of weight gain rate on concentrations of dietary lipid indicated that the optimal dietary lipid for maximal growth of GIFT tilapia was about 9.34%. Crude protein and dry-matter digestibility had no significant effected by dietary lipid levels ($P > 0.05$). Crude lipid and phosphorus digestibility raised significantly with dietary lipid level increasing ($P < 0.05$). Albumin and albumin/globulin ratio in 1.73% group (this group did not added fish oil) was significantly higher than other group ($P < 0.05$). Along with dietary lipid level raising, cholesterol and alkaline phosphatase of fish serum raised significantly ($P < 0.01$). Dietary lipid level had significantly influence on blood glucose ($P < 0.05$), and there was no significantly influence on the content of triglyceride and the activities of glutamic-pyruvic transaminase and glutamic-oxaloacetic transaminase ($P > 0.05$). It indicated that the level of lipid in the dietary could improve the growth, the apparent digestibilities of crude lipid and phosphorus to some degree, but excessive amount of lipid content in the dietary may be negative effects of fish growth and immune ability in GIFT. So 7.67%—9.34% lipid of the dietary are the optimal levels of GIFT Seedlings in aquaculture.

Key words: Genetic improvement of farmed tilapia (GIFT); Lipid requirement; Growth performance; Apparent digestibility; Serum biochemical parameter