

饲料糖脂比对养成中期吉富罗非鱼生长性能、体成分和血清生化指标的影响

吴凡 田娟 喻丽娟 蒋明 刘伟 陆星 文华*

(中国水产科学研究院长江水产研究所,武汉 430223)

摘要: 本试验旨在研究饲料糖脂比对养成中期吉富罗非鱼生长性能、体成分和血清生化指标的影响。配制糖脂比分别为 1.59、2.41、3.68、5.72、10.16、22.79 的 6 种等氮等能试验饲料。将 360 尾吉富罗非鱼[(79.76±1.93) g] 随机分为 6 组,每组 3 个重复,每个重复 20 尾鱼。试验期 56 d。结果表明:1) 糖脂比为 3.68、5.72 和 10.16 组的增重率和特定生长率显著高于糖脂比为 1.59、2.41 和 22.79 组($P<0.05$)。糖脂比为 3.68 和 5.72 组的饲料效率显著高于糖脂比为 1.59、2.41、10.16 和 22.79 组($P<0.05$)。糖脂比为 22.79 组的脏体比、肝体比和肠系膜脂肪指数显著低于糖脂比为 1.59、2.41、3.68 和 5.72 组($P<0.05$)。2) 糖脂比为 22.79 组的全鱼粗脂肪含量显著低于糖脂比为 1.59、2.41、3.68 和 5.72 组($P<0.05$)。糖脂比为 22.79 组的肝脏粗蛋白质含量显著高于糖脂比为 1.59、2.41、3.68 和 5.72 组($P<0.05$)。糖脂比为 22.79 组的肝脏粗脂肪含量显著低于糖脂比为 1.59、2.41 和 3.68 组($P<0.05$)。糖脂比为 22.79 组的肝糖原含量显著高于糖脂比为 1.59、2.41、3.68、5.72 和 10.16 组($P<0.05$)。3) 糖脂比为 10.16 和 22.79 组的血清总胆固醇含量显著低于糖脂比为 1.59 和 2.41 组($P<0.05$)。糖脂比为 22.79 组的血清甘油三酯含量和碱性磷酸酶活性显著低于糖脂比为 1.59、2.41、3.68 和 5.72 组($P<0.05$)。糖脂比为 22.79 组的血清葡萄糖含量显著高于糖脂比为 1.59、2.41、3.68、5.72 和 10.16 组($P<0.05$)。分别利用二次回归分析吉富罗非鱼的增重率和饲料效率与饲料糖和粗脂肪水平的相关性,得到饲料中适宜糖脂比分别为 5.84 和 4.95。由此可见,养成中期吉富罗非鱼饲料中适宜糖脂比为 4.95~5.84。

关键词: 吉富罗非鱼;糖脂比;生长;体组成;生化指标

中图分类号:S963

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)12-5805-11

饲料配方中营养物质的合理配比可以促进水产动物健康养殖,减少疾病的发生。糖(碳水化合物)和脂肪是饲料中重要的能量物质。碳水化合物的价格低廉,能提供机体所需要的能量,适量添加能提高蛋白质的利用率,节约蛋白质^[1],还可以增加饲料的黏性,提高饲料质量。由于鱼类对饲料中糖的利用能力不高,糖添加水平过高会造成鱼类生长缓慢,血糖水平升高,继而影响其生理功

能^[2-3]。脂肪可以供给机体能量和必需脂肪酸,同时也是脂溶性维生素的载体,但脂肪含量过高也会影响鱼类的生长,造成代谢紊乱,并对鱼类的体成分产生不利影响^[4]。因此,确定饲料中适宜的糖脂比,以获得更好的生长性能、饲料转化率和营养保留率很有必要。目前已在草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[5]、建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)^[6]、瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)^[7]、许

收稿日期:2020-06-13

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-46)

作者简介:吴凡(1981—),女,湖北荆州人,副研究员,硕士,从事鱼类营养与饲料研究。E-mail: wufan58@126.com

* 通信作者:文华,研究员,博士生导师,E-mail: wenhua.hb@163.com

氏平鲷 (*Sebastes schlegeli*)^[8]、长吻鮠 (*Leiocassis longirostris* Günther)^[9] 和尖齿胡子鲶 (*Clarias gariepinus*)^[10] 等鱼类中开展了适宜糖脂比的研究,结果显示,不同鱼种之间的糖脂比存在差异。因此,确定适宜的糖脂比对于鱼类的饲料配制十分重要。

吉富罗非鱼是国际水生生物资源管理中心等机构通过对尼罗罗非鱼非洲品系和亚洲品系经混合选育获得的优良品系,其生长速度快,产量高,于 1994 年引进我国^[11],现已成为我国重要的淡水养殖品种,在广东、福建、广西和海南等省份大量养殖。关于吉富罗非鱼对脂肪的需求量及饲料中适宜的糖水平已有一些研究报道。吉富罗非鱼幼鱼(初始体重 2.63 g)对脂肪需求量为 7.67%~9.34%^[12],成鱼(初始体重 220 g)则为 7.66%~8.79%^[13]。以玉米淀粉为糖源时,吉富罗非鱼饲料中适宜的糖水平为 29%~35%^[14],以糊精为糖源时可以达到 41%^[15]。养殖动物对营养素的需求量与不同生长阶段、试验环境均有关系^[16],初始体重 218 g 的吉富罗非鱼成鱼饲料中适宜的糖脂比为 4.11~4.19^[17],但目前还未见养成中期吉富罗非鱼饲料适宜糖脂比的报道。因此,本研究旨在研究不同糖脂比对养成中期(初始体重 50 g 以

上)吉富罗非鱼生长性能、体成分和血清生化指标的影响,旨在确定其饲料中适宜的糖脂比,为不同规格的吉富罗非鱼饲料配制提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以鱼粉、酪蛋白和明胶作为蛋白质源,以糊精为糖源,以大豆油和玉米油为脂肪源,分别配制 6 种等氮(粗蛋白质水平约为 31%)等能(总能约为 15 MJ/kg)试验饲料,试验饲料组成及营养水平见表 1。试验饲料糖水平分别为 18.78%、23.93%、29.05%、34.12%、39.34% 和 44.45%,粗脂肪水平分别为 11.81%、9.92%、7.89%、5.96%、3.87% 和 1.95%,糖脂比分别 1.59、2.41、3.68、5.72、10.16 和 22.79。将干性饲料原料先用粉碎机(SF-180,上海超亿制药机械设备有限公司)粉碎,过 60 目筛网,按照量少到量多称取各种干性饲料原料,使用混合机(VH-50,上海超亿制药机械设备有限公司)逐级混合,再加入大豆油和玉米油与干性原料混合均匀,然后加大约 25% 的水混匀,用饲料制粒机(KL105A-4-2,浙江省新昌县陈氏机械厂)制成粒径 2 mm、长度 3 mm 的颗粒饲料,在室内通风处晾干后储存在-20 °C 的冰柜中备用。

表 1 试验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)

%

项目 Items	糖脂比 Carbohydrate to lipid ratio					
	1.59	2.41	3.68	5.72	10.16	22.79
原料 Ingredients						
鱼粉 Fish meal	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
酪蛋白 Casein	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
明胶 Gelatin	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
糊精 Dextrine	22.00	28.00	34.00	40.00	46.00	52.00
玉米油 Corn oil	5.65	4.65	3.65	2.65	1.65	0.65
大豆油 Soybean oil	5.65	4.65	3.65	2.65	1.65	0.65
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
矿物质预混料 Mineral premix ¹⁾	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
维生素预混料 Vitamin premix ²⁾	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
氯化胆碱 Choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
纤维素 Microcrystalline cellulose	22.20	18.20	14.20	10.20	6.20	2.20
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ³⁾						
干物质 Dry matter	93.01	92.75	92.77	92.68	92.38	92.46
粗蛋白质 Crude protein	30.58	30.75	30.62	30.84	30.93	30.51

续表 1

项目 Items	糖脂比 Carbohydrate to lipid ratio					
	1.59	2.41	3.68	5.72	10.16	22.79
粗脂肪 Crude lipid	11.81	9.92	7.89	5.96	3.87	1.95
粗灰分 Ash	6.26	6.12	6.24	6.06	5.94	5.89
糖 Carbohydrate	18.78	23.93	29.05	34.12	39.34	44.45
总能 Gross energy/(MJ/kg)	14.82	14.86	14.95	15.07	14.98	15.11
糖脂比 Carbohydrate to lipid ratio	1.59	2.41	3.68	5.72	10.16	22.79

1) 矿物质预混料为每千克饲料提供 The mineral premix provided the following per kg of diets: $(\text{CH}_3\text{CHOHCOO})_2\text{Ca} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 5 000 mg, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 200 mg, MgSO_4 1 000 mg, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1 000 mg, NaCl 100 mg, KCl 200 mg, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 200 mg, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 40 mg, CuCl_2 10 mg, KI 3 mg, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 10 mg。

2) 维生素预混合物为每千克饲料提供 The vitamin premix provided the following per kg of diets: VA 6 000 IU, VD₃ 2 000 IU, VE 100 mg, VK₃ 0.5 g, VB₁ 5 mg, VB₂ 10 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 20 mg, 生物素 biotin 1 mg, 叶酸 folic acid 1.5 mg, 烟酸 niacin 120 mg, 肌醇 inositol 1 000 mg, L-维生素 C-2-磷酸镁 L-vitamin C-2-magnesium phosphate 500 mg。

3) 实测值 Measured values。

1.2 试验设计和饲养管理

本试验在中国水产科学研究院长江水产研究所室内循环水养殖系统(每套包括 18 个玻璃纤维养殖桶、砂滤缸和蓄水桶等设施)中进行,从广西罗非鱼国家级育种实验场购得试验用吉富罗非鱼,试验鱼运回后先消毒,并在水泥池中暂养 14 d。暂养期间将 6 组饲料混合投喂,使试验鱼适应试验饲料。选择初始体重为 (79.76 ± 1.93) g、规格一致的吉富罗非鱼 360 尾,随机分为 6 组,每组 3 个重复,每个重复 20 尾鱼。

正式养殖试验时,每个养殖桶中放养 20 尾的吉富罗非鱼,每种饲料随机投喂 3 桶鱼。每个养殖桶直径 82 cm,高度 80 cm(水深 75 cm),养殖水体积约为 400 L。每天饱食投喂 3 次(08:30、12:30、16:30),投喂时注意观察罗非鱼摄食情况,如不再到水面抢食则停止投喂,避免浪费饲料。每天 11:00 对养殖系统的砂滤缸进行反冲洗,打开养殖桶底部的排水开关,排出桶内粪便,并将蓄水塔中曝气后的城市自来水补充到养殖桶中,每日换水量不超过 1/4,养殖试验期间持续充氧。每日测定水温及溶解氧,并观察鱼摄食和死亡情况,做好记录。每周检测 2 次水质。试验期 56 d。试验期间水温 28~33 ℃,pH 7.4~7.7,溶解氧含量 > 5.0 mg/L,氨氮含量 0.17~0.21 mg/L,自然光照周期。

1.3 样品采集

56 d 的养殖试验结束后,将鱼饥饿处理 24 h,计数每个养殖桶中吉富罗非鱼的尾数,称取总重

量,用于计算生长性能的相关指标。统计每个养殖桶投喂的饲料重量用于计算饲料效率。每桶随机挑选 3 尾鱼,浸泡于 100 mg/L 的 MS-222 溶液中麻醉,量取体长及测量体重;从尾静脉采血后收集到离心管中,在冰盘上将鱼解剖,分离内脏、肝脏及肠系膜脂肪并称量;将肝脏样品保存于 -40 ℃ 冰箱中,每桶再随机取 3 尾鱼保存于 -40 ℃ 冰箱中,分别用于肝脏和全鱼体成分的检测。将采集了血液的离心管置于 4 ℃ 冰箱中 2 h,在 3 000 r/min 条件下离心 10 min,收集血清保存于 -40 ℃ 冰箱中,用于血清生化指标的检测。

1.4 指标测定

采用如下公式计算生长性能等指标:

$$\text{增重率 (weight gain rate, WGR, \%)} = 100 \times (M_f - M_i) / M_i;$$

$$\text{特定生长率 (specific growth rate, SGR, \% / d)} = 100 \times (\ln M_f - \ln M_i) / T;$$

$$\text{饲料效率 (feed efficiency, FE, \%)} = 100 \times (W_f - W_i) / F;$$

$$\text{成活率 (survival rate, SR, \%)} = 100 \times N_t / N_0;$$

$$\text{肥满度 (condition factor, CF, \%)} = 100 \times M_w / L^3;$$

$$\text{脏体比 (viscerosomatic index, VSI, \%)} = 100 \times M_v / M_w;$$

$$\text{肝体比 (hepatosomatic index, HSI, \%)} = 100 \times M_h / M_w;$$

$$\text{肠系膜脂肪指数 (mesenteric fat index, MFI, \%)} =$$

$$100 \times M_m / M_w。$$

式中: M_i 和 M_f 分别为初始均重(g)和终末均重(g); T 为养殖天数(g); F 为饲料重量(g); W_i 和 W_f 分别初始总重(g)和终末总重(g); N_0 和 N_t 分别为初始尾数和终末尾数; M_w 和 L 分别为采样鱼的体重(g)和体长(cm); M_v 为采样鱼的内脏重量(g); M_h 为采样鱼的肝脏重量(g); M_m 为采样鱼的肠系膜脂肪重量(g)。

饲料、全鱼和肝脏样品的粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量分别采用凯氏定氮法(K324凯氏定氮仪)、索氏抽提法(石油醚萃取)和马弗炉灼烧法(550℃, 6h)测定。饲料水分含量通过在105℃下恒温干燥至恒重测定,全鱼和肝脏的水分含量则采用真空干燥法测定,使用冷冻干燥机(Christ 1-8 LD,德国)在-60℃下处理48h。饲料糖水平采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定,总能利用氧弹式量热法(SDC311量热仪,湖南三德科技股份有限公司)测定。肝糖原含量使用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒并采用比色法测定。

将血清样品在4℃条件下解冻,吸取200μL血清上机检测血清生化指标,所用仪器为CHEM-IX-800型全自动生化分析仪(日本希森美康株式会社),血清总胆固醇(TCHO)含量采用胆固醇氧化酶法测定,甘油三酯(TG)含量采用二磷酸腺苷-己糖激酶法测定,葡萄糖(GLU)含量采用己糖激酶法测定,谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)和碱性磷酸酶(ALP)活性采取底物法测定。所用试剂均由日本希森美康株式会社提供。

1.5 数据处理

试验数据采用SPSS 18.0统计软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并采用Duncan氏法进行多重比较。试验结果以平均值±标准差(mean±SD)表示, $P < 0.05$ 表示显著差异。利用二次多项式回归来分别拟合养成中期吉富罗非鱼增重率和饲料效率与饲料中糖和粗脂肪水平的关系^[18-19]。

2 结果

2.1 饲料糖脂比对养成中期吉富罗非鱼生长性能和饲料利用的影响

如表2所示,随着饲料糖脂比的升高,增重率和特定生长率呈先升高后下降的趋势;糖脂比为3.68、5.72和10.16组之间增重率和特定生长率无显著差异($P > 0.05$),但显著高于糖脂比为1.59、2.41和22.79组($P < 0.05$)。随着饲料糖脂比的升高,饲料效率呈先升高后下降的趋势;糖脂比为3.68和5.72组的饲料效率显著高于糖脂比为1.59、2.41、10.16和22.79组($P < 0.05$)。随着饲料糖脂比的升高,脏体比和肝体比呈下降趋势;糖脂比为22.79组的脏体比和肝体比最低,显著低于糖脂比为1.59、2.41、3.68和5.72组($P < 0.05$)。随着饲料糖脂比的升高,肠系膜脂肪指数呈下降趋势;糖脂比为22.79组的肠系膜脂肪指数显著低于糖脂比为1.59、2.41、3.68、5.72和10.16组($P < 0.05$)。各组之间的肥满度和成活率无显著差异($P > 0.05$)。

表2 饲料糖脂比对养成中期吉富罗非鱼生长性能和饲料利用的影响

Table 2 Effects of dietary carbohydrate to lipid ratio on growth performance and feed utilization of genetic improvement of farmed tilapia in growth mid-stage

项目 Items	糖脂比 Carbohydrate to lipid ratio					
	1.59	2.41	3.68	5.72	10.16	22.79
初始体重 IBW/g	79.47±4.85	79.80±6.11	79.76±3.57	80.40±4.14	79.49±5.58	79.64±6.78
终末体重 FBW/g	308.15±26.87 ^a	320.32±16.57 ^a	378.31±21.79 ^c	368.64±6.92 ^{bc}	367.46±27.64 ^{bc}	336.70±15.59 ^{ab}
增重率 WGR/%	287.35±10.42 ^a	301.92±10.26 ^{ab}	374.18±8.89 ^c	359.02±15.34 ^c	362.38±18.71 ^c	324.09±27.13 ^b
特定生长率 SGR/(%/d)	1.93±0.04 ^a	1.99±0.04 ^{ab}	2.22±0.03 ^c	2.18±0.05 ^c	2.19±0.06 ^c	2.06±0.09 ^b
饲料效率 FE/%	65.61±3.23 ^a	68.46±3.53 ^a	77.17±2.38 ^b	78.64±3.58 ^b	70.36±3.21 ^a	68.08±2.32 ^a
肥满度 CF/%	4.28±0.08	4.65±0.28	4.71±0.45	4.23±0.34	4.54±0.33	4.33±0.17
脏体比 VSI/%	10.16±0.48 ^d	9.49±0.43 ^{cd}	9.12±0.58 ^{bc}	8.87±0.39 ^{bc}	8.26±0.63 ^{ab}	7.84±0.46 ^a

续表 2

项目 Items	糖脂比 Carbohydrate to lipid ratio					
	1.59	2.41	3.68	5.72	10.16	22.79
肝体比 HSI/%	2.49±0.17 ^c	2.45±0.14 ^c	2.25±0.12 ^c	1.98±0.14 ^b	1.81±0.11 ^{ab}	1.73±0.08 ^a
肠系膜脂肪指数 MFI/%	2.51±0.15 ^c	2.23±0.11 ^d	1.70±0.10 ^c	1.58±0.08 ^c	1.35±0.09 ^b	1.02±0.09 ^a
成活率 SR/%	93.33±2.89	96.67±2.89	96.67±5.77	95.00±5.00	98.33±2.89	100.00±0.00

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

如图 1 所示, 利用二次多项式分别分析吉富罗非鱼增重率与饲料中糖 ($y = -0.365 4x^2 + 25.057x - 64.009, R^2 = 0.702 6$) 和粗脂肪水平 ($y = -2.507 6x^2 + 29.454x + 279.72, R^2 = 0.711 8$) 的相关性, 得到饲料中适宜的糖和粗脂肪水平分别为 34.28% 和 5.87%, 则适宜糖脂比为 5.84。如图 2

所示, 利用二次多项式分别分析吉富罗非鱼饲料效率与饲料中糖 ($y = -0.063 4x^2 + 4.119 6x + 9.424 7, R^2 = 0.616 9$) 和粗脂肪水平 ($y = -0.436x^2 + 5.723 7x + 57.647, R^2 = 0.629 0$) 的相关性, 得到饲料中适宜的糖和粗脂肪水平分别为 32.49% 和 6.56%, 则适宜糖脂比为 4.95。

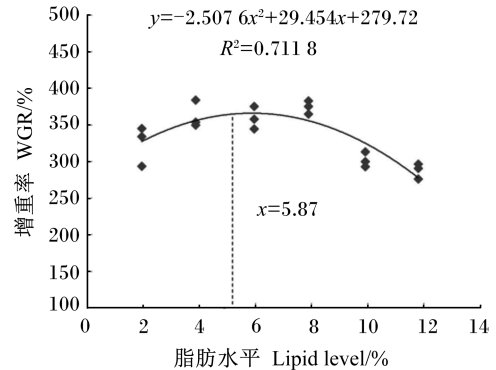
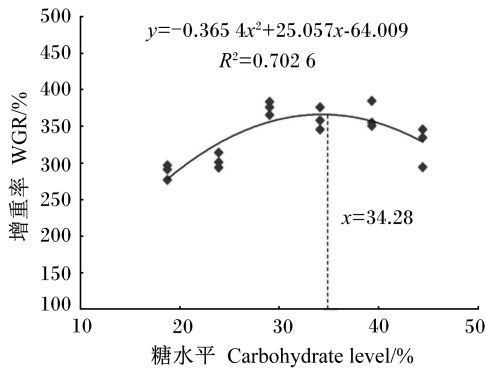


图 1 养成中期吉富罗非鱼增重率与饲料中糖和粗脂肪水平的二次回归分析

Fig.1 Quadratic regression analysis of WGR with dietary carbohydrate and crude lipid levels of genetic improvement of farmed tilapia in growth mid-stage

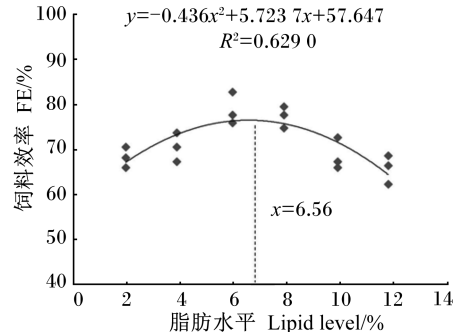
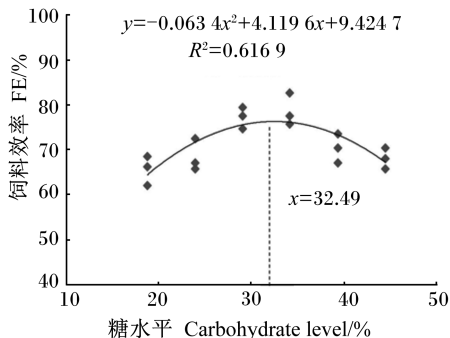


图 2 养成中期吉富罗非鱼饲料效率与饲料中糖和粗脂肪水平的二次回归分析

Fig.2 Quadratic regression analysis of FE with dietary carbohydrate and crude lipid levels of genetic improvement of farmed tilapia in growth mid-stage

2.2 饲料糖脂比对养成中期吉富罗非鱼全鱼和肝脏营养成分的影响

如表3所示,各组之间全鱼水分、粗蛋白质和粗灰分含量均无显著差异($P>0.05$)。随着饲料糖脂比的升高,全鱼粗脂肪含量呈下降趋势;糖脂比为22.79组的全鱼粗脂肪含量最低,显著低于糖脂比为1.59、2.41、3.68和5.72组($P<0.05$),但与糖脂比为10.16组无显著差异($P>0.05$)。

各组之间肝脏水分和粗灰分含量均无显著差

异($P>0.05$)。糖脂比为22.79组的肝脏粗蛋白质含量显著高于糖脂比为1.59、2.41、3.68和5.72组($P<0.05$)。随着饲料糖脂比的升高,肝脏粗脂肪含量呈下降趋势;糖脂比为22.79组的肝脏粗脂肪含量显著低于糖脂比为1.59、2.41和3.68组($P<0.05$)。随着饲料糖脂比的升高,肝糖原含量呈上升趋势;糖脂比为22.79组的肝糖原含量最高,显著高于糖脂比为1.59、2.41、3.68、5.72和10.16组($P<0.05$)。

表3 饲料糖脂比对养成中期吉富罗非鱼全鱼和肝脏营养成分的影响

Table 3 Effects of dietary carbohydrate to lipid ratio on whole body and liver nutritional composition of genetic improvement of farmed tilapia in growth mid-stage

项目 Items	糖脂比 Carbohydrate to lipid ratio					
	1.59	2.41	3.68	5.72	10.16	22.79
全鱼 Whole body/%						
水分 Moisture	68.13±1.01	66.98±0.29	67.41±1.98	67.22±1.36	66.99±1.09	68.35±0.76
粗蛋白质 Crude protein	16.05±0.43	16.45±0.31	15.94±0.18	16.13±0.29	16.38±0.23	16.15±0.20
粗脂肪 Crude lipid	11.25±0.46 ^d	10.87±0.38 ^{cd}	10.55±0.27 ^{bc}	10.38±0.29 ^{bc}	9.97±0.30 ^{ab}	9.65±0.36 ^a
粗灰分 Ash	3.83±0.14	3.95±0.08	3.77±0.13	3.86±0.11	3.75±0.11	3.80±0.12
肝脏 Liver/%						
水分 Moisture	63.52±1.62	63.95±1.83	64.09±1.53	65.21±1.37	64.62±1.70	65.38±1.36
粗蛋白质 Crude protein	8.85±0.95 ^a	8.77±0.40 ^a	9.02±0.49 ^a	8.83±0.07 ^a	9.60±0.44 ^{ab}	10.23±0.88 ^b
粗脂肪 Crude lipid	8.80±0.65 ^d	8.47±0.53 ^{cd}	7.88±0.50 ^{bc}	7.52±0.37 ^{ab}	7.38±0.39 ^{ab}	6.96±0.20 ^a
粗灰分 Ash	1.19±0.04	1.11±0.06	1.13±0.11	1.16±0.08	1.17±0.02	1.19±0.04
肝糖原 Liver glycogen/(mg/g)	16.78±1.79 ^a	19.37±1.23 ^a	24.79±1.38 ^b	30.84±2.82 ^c	33.75±1.94 ^c	41.12±2.26 ^d

2.3 饲料糖脂比对养成中期吉富罗非鱼血清生化指标的影响

如表4所示,各组之间血清谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性无显著差异($P>0.05$)。随着饲料糖脂比的升高,血清TCHO和TG含量呈下降趋势;糖脂比为10.16和22.79组的血清TCHO含量显著低于糖脂比为1.59和2.41组($P<0.05$);糖脂比为22.79组的血清TG含量最低,显著低于糖脂比为1.59、2.41、3.68和5.72组($P<0.05$)。随着饲料糖脂比的升高,血清GLU含量呈升高趋势;糖脂比为22.79组的血清GLU含量最高,显著高于糖脂比为1.59、2.41、3.68、5.72和10.16组($P<0.05$)。随着饲料糖脂比的升高,血清ALP活性呈下降趋势;糖脂比为22.79组的血清ALP活性最低,显著低于糖脂比为1.59、2.41、3.68和5.72组($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料糖脂比对养成中期吉富罗非鱼生长性能及饲料利用的影响

随着饲料糖脂比的升高,吉富罗非鱼的增重率和特定生长率先升高后下降,均在糖脂比为3.68组最高,糖脂比为3.68、5.72和10.16组的增重率和特定生长率显著高于糖脂比为1.59、2.41和22.79组,说明糖水平为29.05%~39.34%,粗脂肪水平为7.89%~3.87%时能增强罗非鱼的生长性能。而当糖脂比偏低和偏高时,饲料效率下降。这说明饲料糖水平或者粗脂肪水平过低,均不利于罗非鱼的生长,而在等氮等能的饲料中,适宜的糖脂比有助于鱼类利用糖和脂肪时发挥协同效应,提高对饲料的利用率,从而促进生长。相似的研究结果在草鱼^[5]、建鲤^[6]和瓦氏黄颡鱼^[7]等鱼类中均有报道。糖脂比为1.59组的生长性能较

差,说明糖水平低而粗脂肪水平过高并不能促进其生长,罗非鱼是杂食性鱼类,其对碳水化合物利用能力要高于肉食性和草食性鱼类,其饲料中应添加适量的碳水化合物。微晶纤维素常作为填充物或载体加入饲料中,适量添加有助于营养素的均匀分布,提高消化率,促进鱼类摄食;但鱼类缺乏消化纤维素的酶,不能消化纤维素,纤维素添加量过多会影响鱼类对营养素的吸收。一般认为杂食性鱼类的纤维素含量以 8%~12%为宜^[20],而

本试验中糖脂比为 1.59 组的粗纤维水平达到了 22.20%,可能是造成该组生长性能下降的另一个原因。糖脂比为 22.79 组的生长性能出现下降,可能与饲料粗脂肪水平太低有关,以往研究表明罗非鱼饲料中适宜的粗脂肪水平应在 6%以上^[12-13],而该组饲料中粗脂肪水平仅为 1.95%,远低于罗非鱼对脂肪的需求量,导致脂肪酸供应不足,不能维持其正常的生长。

表 4 饲料糖脂比对养成中期吉富罗非鱼血清生化指标的影响

Table 4 Effects of dietary carbohydrate to lipid ratio on serum biochemical indices of genetic improvement of farmed tilapia in growth mid-stage

项目 Items	糖脂比 Carbohydrate to lipid ratio					
	1.59	2.41	3.68	5.72	10.16	22.79
总胆固醇 TCHO/(mmol/L)	6.70±0.39 ^b	6.38±0.91 ^b	5.92±0.77 ^{ab}	5.96±0.33 ^{ab}	5.19±0.32 ^a	5.28±0.23 ^a
甘油三酯 TG/(mmol/L)	9.06±0.68 ^d	8.78±0.87 ^d	6.67±0.60 ^c	6.25±0.80 ^{bc}	5.19±0.14 ^{ab}	4.32±0.30 ^a
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	2.57±0.26 ^a	2.90±0.12 ^a	3.44±0.20 ^b	3.35±0.27 ^b	3.83±0.14 ^c	5.82±0.21 ^d
谷草转氨酶 AST/(U/L)	49.67±3.51	44.67±3.06	45.33±3.51	48.00±4.00	43.67±3.79	48.67±4.16
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	34.33±3.51	35.00±3.61	31.67±2.52	30.33±1.53	29.67±2.52	31.00±2.65
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	36.00±2.00 ^d	32.67±2.51 ^{cd}	32.33±3.21 ^{cd}	28.67±2.89 ^{bc}	25.33±2.31 ^{ab}	23.67±2.51 ^a

随着饲料糖脂比的升高,脏体比和肝体比呈下降趋势,这可能受到饲料粗脂肪水平的影响。当饲料糖脂比降低时,饲料中的粗脂肪水平是上升的,而脂肪的增加会影响内脏和肝脏中脂肪的沉积^[21]。用糖脂比为 1.74~202.50 的饲料投喂草鱼时,随着糖脂比的降低,脏体比和肝体比显著上升^[5]。黄鳍鲷 (*Sparus latus*) 的肝体比^[22]和杂交胡子鲶 (*Clarias macrocephalus*×*C. gariepinus*) 的脏体比^[23]也随着饲料糖脂比的下降而上升。而瓦氏黄颡鱼的脏体比和肝体比却不受饲料糖脂比的影响^[7]。出现这种差异可能与鱼种差异有关。

以增重率和饲料效率为评价指标,利用二次多项式回归拟合得到吉富罗非鱼饲料中适宜的糖脂比为 4.95~5.84,这比黄鳍鲷 (0.62)^[22]、杂交石斑鱼 (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀×*E. lanceolatus* ♂) (0.8)^[24]、尖齿胡子鲶 (1.7~3.4)^[10]、长吻鲩 (1.98)^[9]、团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) (3.58)^[19]和瓦氏黄颡鱼 (4.06)^[7]等鱼类的结果都要高,这可能与鱼类食性相关,一般来说杂食性鱼类比肉食性和草食性鱼类能耐受更高水平的糖。在对初始体重为 6.77 g 吉富罗非鱼幼鱼的研究中发现,适宜的饲料糖和脂肪水平分别为

49.69%和 9.53% (相应的糖脂比为 5.2)^[25],与本试验的结果相似。而在初始体重为 218 g 的吉富罗非鱼的研究中发现,适宜的糖脂比为 4.11~4.19^[17],要低于本试验的结果。这说明小规格鱼比大规格鱼的饲料中可以添加更多的碳水化合物。

3.2 饲料糖脂比对养成中期吉富罗非鱼全鱼和肝脏营养成分的影响

本试验中,饲料糖脂比对全鱼水分、粗蛋白质和粗灰分含量均无显著影响。随着饲料糖脂比的升高,全鱼粗脂肪含量呈下降趋势,肝脏粗脂肪也出现相同的变化趋势,说明鱼体和肝脏的粗脂肪含量均与饲料脂肪水平呈正相关。在奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*)^[26]、暗纹东方鲀 (*Takifugu obscurus*)^[27]、卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*)^[28]和大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)^[29]中的研究结果与本试验一致,说明过多的脂肪会在鱼体内沉积。肝脏粗蛋白质含量随着糖脂比的升高而有所升高,这可能是由于高糖脂比组的鱼体粗脂肪含量下降造成粗蛋白质含量相对增加,瓦氏黄颡鱼^[7]和尖吻鲈 (*Lates calcarifer*)^[30]的全鱼粗蛋白质含量也出现相似的结果。

3.3 饲料糖脂比对养成中期吉富罗非鱼血清生化指标的影响

TCHO 和 TG 含量被认为与鱼类的营养状态密切相关^[31]。本试验中,低糖脂比组的血清 TCHO 和 TG 含量更高,说明饲料粗脂肪水平高的组脂质转运更活跃。在对草鱼^[5]的研究中发现,血清 TCHO 和 TG 含量变化趋势和本试验结果一致。GLU 是糖类在体内的主要运输形式,与饲料营养水平密切相关,能反映动物糖代谢和全身组织细胞功能状态。肝脏是鱼类中间代谢的主要器官,鱼类将 GLU 以糖原形式储存在肝脏^[1]。本研究中,血清 GLU 和肝糖原含量均随着饲料糖脂比的上升而升高,说明饲料中过多的糖可能转化为糖原储存于肝脏中。类似的研究结果在建鲤^[6]、许氏平鲈^[8]幼鱼和斜带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*)^[32]中均有发现。瓦氏黄颡鱼的血清 GLU 和肝糖原含量则不受饲料糖脂比的影响^[7]。而在长吻鮠的研究中发现,血清 GLU 和肝糖原含量却随着糖脂比的增加而降低,作者认为低糖脂比组的鱼体内糖异生作用更活跃^[9]。这些差异可能与鱼的种类和糖脂比设置的范围有关。鱼类食性与其对糖的利用能力也有很大关系,刘泓宇等^[33]研究了饲料糖水平对不同食性鱼类的生长性能及糖耐受能力的影响,发现杂食性吉富罗非鱼摄食高糖饲料后血清 GLU、甘油三酯及肝糖原含量均显著高于摄食中糖和低糖组,而卵形鲳鲷和军曹鱼 (*Rachycentron canadum*) 则未表现出显著差异,表明杂食性的罗非鱼比肉食性鱼类更能充分利用饲料中的糖。

AST 和 ALT 是重要的氨基转移酶,在氨基酸代谢过程中发挥重要作用。正常情况下,AST 和 ALT 大部分存在于肝脏中,在血液中的含量很少。但当肝脏细胞受损时,细胞膜通透性增加,AST 和 ALT 会从肝脏细胞进入血液,导致血清中酶活性的增加^[2]。本试验中,不同糖脂比对血清 AST 和 ALT 活性无显著影响,说明吉富罗非鱼可以耐受本试验条件下的不同糖水平,未出现肝细胞损伤等变化。这与对梭鱼 (*Liza haematocheila*) 的研究结果类似,血清 ALT 活性在饲料糖水平 16.50%~40.50%时无显著差异,提示升高的饲料糖水平并未对梭鱼幼鱼肝脏造成损伤^[34]。ALP 是动物体内巨噬细胞溶酶体的标志酶,在体内直接参与磷酸基团的转移和代谢,也是与机体生长及免疫功

能密切相关的酶。随着饲料糖脂比的升高,血清 ALP 活性呈下降趋势,说明饲料糖水平过高时可能对机体免疫功能有抑制作用,对洛氏鳃 (*Rhynchocypris lagowskii* Dybowski)^[35]的研究表明,随着饲料糖水平的升高,肝脏 ALP 活性呈先升高后降低的趋势,高糖水平组的肝脏 ALP 活性显著低于适量糖水平组,说明饲料的营养状况可能对免疫水平产生了影响。

4 结 论

在饲料等氮等能条件下,利用二次回归分析养成中期吉富罗非鱼增重率和饲料效率与饲料糖和脂肪水平的相关性,得到饲料中适宜的糖脂比为 4.95~5.84。

参考文献:

- [1] 李爱杰.水产动物营养与饲料学[M].北京:农业出版社,1996:26-36.
- [2] HEMRE G I, MOMMSEN T P, KROGDAHL Å. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes[J]. Aquaculture Nutrition, 2002, 8(3): 175-194.
- [3] LIN S M, SHI C M, MU M M, et al. Effect of high dietary starch levels on growth, hepatic glucose metabolism, oxidative status and immune response of juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2018, 78: 121-126.
- [4] LÓPEZ L M, DURAZO E, VIANA M T, 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.
- [5] 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 (3): 327-333.
- [6] 王菲, 李向飞, 李贵锋, 等. 不同糖脂比对建鲤幼鱼生长、体组成、消化及糖酵解能力的影响[J]. 水产学报, 2015, 39(9): 1386-1394.
- [7] 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.

- [8] LEE S M, KIM K D. Effects of dietary carbohydrate to lipid ratios on growth and body composition of juvenile and grower rockfish, *Sebastes schlegeli* [J]. Aquaculture Research, 2010, 40(16): 1830-1837.
- [9] TAN Q, XIE S, ZHU X, et al. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth and feed utilization in Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther) [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2007, 23(5): 605-610.
- [10] ALI M Z, JAUNCEY K. Optimal dietary carbohydrate to lipid ratio in African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) [J]. Aquaculture International, 2004, 12(2): 169-180.
- [11] 李思发. 吉富品系尼罗罗非鱼引进史 [J]. 中国水产, 2001(10): 52-53, 62.
- [12] 王爱民, 韩光明, 封功能, 等. 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 [J]. 水生生物学报, 2011, 35(1): 80-87.
- [13] TIAN J, WU F, YANG C G, et al. Dietary lipid levels impact lipoprotein lipase, hormone-sensitive lipase, and fatty acid synthetase gene expression in three tissues of adult gift strain of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2015, 41(1): 1-18.
- [14] 蒋利和, 吴宏玉, 黄凯, 等. 饲料糖水平对吉富罗非鱼幼鱼生长和肝代谢功能的影响 [J]. 水产学报, 2013, 37(2): 245-255.
- [15] 吴凡, 文华, 蒋明, 等. 饲料碳水化合物水平对吉富罗非鱼幼鱼生长性能和血液主要生化指标的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(12): 8-14.
- [16] NG W K, ROMANO N. A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle [J]. Reviews in Aquaculture, 2013, 5(4): 220-254.
- [17] 吴凡, 蒋明, 文华, 等. 饲料碳水化合物与脂肪比例对吉富罗非鱼成鱼生长、体成分和血清生化指标的影响 [J]. 南方水产科学, 2019, 15(4): 53-60.
- [18] ZEITOUN I H, ULLREY D E, MAGEE W T, et al. Quantifying nutrient requirements of fish [J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1976, 33(1): 167-172.
- [19] LI X F, WANG Y, LIU W B, et al. Effects of dietary carbohydrate/lipid ratios on growth performance, body composition and glucose metabolism of fingerling blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* [J]. Aquaculture Nutrition, 2013, 19(5): 701-708.
- [20] 崔志峰, 郝彦周, 孙卫明, 等. 纤维素在鱼类饲料中适宜含量的研究概况 [J]. 华北农学报, 2006, 21(增刊 3): 79-81.
- [21] MARTINO R C, CYRINO J E P, PORTZ L, et al. Effect of dietary lipid level on nutritional performance of the surubim, *Pseudoplatystoma coruscans* [J]. Aquaculture, 2002, 209(1/2/3/4): 209-218.
- [22] HU Y H, LIU Y J, TIAN L X, et al. Optimal dietary carbohydrate to lipid ratio for juvenile yellowfin seabream (*Sparus latus*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2007, 13(4): 291-297.
- [23] JANTRAROTAI W, SITASIT P, RAJCHAPAKDEE S. The optimum carbohydrate to lipid ratio in hybrid clarias catfish (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) diets containing raw broken rice [J]. Aquaculture, 1994, 127(1): 61-68.
- [24] LI S L, LI Z Q, CHEN N S, et al. Dietary lipid and carbohydrate interactions: implications on growth performance, feed utilization and non-specific immunity in hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) [J]. Aquaculture, 2019, 498: 568-577.
- [25] 杨丽萍, 郑文佳, 秦超彬, 等. 饲料糖脂比对吉富罗非鱼生长、血液指标和肝脏糖代谢关键酶活性及基因表达的影响 [J]. 水产学报, 2016, 40(9): 1376-1386.
- [26] 李坚明, 甘晖, 冯广朋, 等. 饲料脂肪含量与奥尼罗非鱼幼鱼肝脏形态结构特征的相关性 [J]. 南方水产科学, 2008, 4(5): 37-43.
- [27] 刘襄河, 叶超霞, 沈碧端, 等. 饲料中糖/脂肪比对暗纹东方鲀幼鱼生长、血液指标、肝代谢酶活性及 *PEPCK* 基因表达的影响 [J]. 水产学报, 2014, 38(8): 1149-1158.
- [28] DONG L F, TONG T, ZHANG Q, et al. Effects of dietary carbohydrate to lipid ratio on growth, feed utilization, body composition and digestive enzyme activities of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2018, 24(1): 341-347.
- [29] LI S L, YIN J, ZHANG H T, et al. Effects of dietary carbohydrate and lipid levels on growth performance, feed utilization, body composition and non-specific immunity of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2019, 25(5): 995-1005.
- [30] CATACUTAN M R, COLOSO R M. Growth of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*, fed varying carbohydrate and lipid levels [J]. Aquaculture, 1997, 149(1/2): 137-144.

- [31] ABDEL-TAWWAB M, AHMAD M H, KHATTAB Y A E, et al. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) [J]. *Aquaculture*, 2010, 298(3/4):267-274.
- [32] LIU H, YANG J J, DONG X H, et al. Effects of different dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth, plasma biochemical indexes, digestive, and immune enzymes activities of sub-adult orange-spotted grouper *Epinephelus coioides* [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2020, 46(4):1409-1420.
- [33] 刘泓宇, 毛义波, 谭北平, 等. 饲料糖水平对不同食性鱼类生长及葡萄糖耐受能力的影响[J]. *水产学报*, 2015, 39(12):1852-1862.
- [34] 刘涛, 王跃斌, 韩涛, 等. 饲料不同糖水平对梭鱼生长性能、饲料利用及体组成的影响[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(5):2342-2351.
- [35] 瞿子惠, 吴莉芳, 周锴, 等. 饲料碳水化合物水平对洛氏鲮生长、饲料利用及非特异性免疫的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2018, 46(12):20-26, 33.

Effects of Dietary Carbohydrate to Lipid Ratio on Growth Performance, Body Composition and Serum Biochemical Indices of Genetic Improvement of Farmed Tilapia in Growth Mid-Stage

WU Fan TIAN Juan YU Lijuan JIANG Ming LIU Wei LU Xing WEN Hua*

(Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China)

Abstract: The object of this experiment was to evaluate the effects of dietary carbohydrate to lipid ratio on growth performance, body composition and serum biochemical indices of genetic improvement of farmed tilapia in growth mid-stage. The carbohydrate to lipid ratios in 6 isonitrogenous and isoenergetic experimental diets were 1.59, 2.41, 3.68, 5.72, 10.16 and 22.79, respectively. Genetic improvement of farmed tilapia with an average body weight of (79.76 ± 1.93) g were randomly divided into 6 groups with 3 replicates in each group and 20 fish in each replicate. The experiment lasted for 56 days. The results showed as follows: 1) the weight gain rate and specific growth rate of carbohydrate to lipid ratio of 3.68, 5.72 and 10.16 groups were significantly higher than those of carbohydrate to lipid ratio of 1.59, 2.41 and 22.79 groups ($P < 0.05$). The feed efficiency of carbohydrate to lipid ratio of 3.68 and 5.72 groups was significantly higher than that of carbohydrate to lipid ratio of 1.59, 2.41, 10.16 and 22.79 groups ($P < 0.05$). The viscerosomatic index, hepatosomatic index and mesenteric fat index of carbohydrate to lipid ratio of 22.79 group were significantly lower than those of carbohydrate to lipid ratio of 1.59, 2.41, 3.68 and 5.72 groups ($P < 0.05$). 2) The whole body crude lipid content of carbohydrate to lipid ratio of 22.79 group was significantly lower than that of carbohydrate to lipid ratio of 1.59, 2.41, 3.68 and 5.72 groups ($P < 0.05$). The liver crude protein content of carbohydrate to lipid ratio of 22.79 group was significantly higher than that of carbohydrate to lipid ratio of 1.59, 2.41, 3.68 and 5.72 groups ($P < 0.05$). The liver crude lipid content of carbohydrate to lipid ratio of 22.79 group was significantly lower than that of carbohydrate to lipid ratio of 1.59, 2.41 and 3.68 groups ($P < 0.05$). The liver crude glycogen content of carbohydrate to lipid ratio of 22.79 group was significantly higher than that of carbohydrate to lipid ratio of 1.59, 2.41, 3.68, 5.72 and 10.16 groups ($P < 0.05$). 3) The serum total cholesterol content of carbohydrate to lipid ratio of 10.16 and 22.79 groups was significantly lower than that of carbohydrate to lipid ratio of 1.59 and 2.41 groups ($P < 0.05$). The serum triglyceride content and alkaline phosphatase activity of carbohydrate to lipid ratio of 22.79 group were significantly lower than that of carbohydrate to lipid ratio of 1.59, 2.41, 3.68 and 5.72 groups ($P < 0.05$). The serum glucose content of carbohydrate to lipid ratio of 22.79 group was significantly higher than that of carbohydrate to lipid ratio of 1.59, 2.41, 3.68, 5.72 and 10.16 groups ($P < 0.05$). Based on the quadratic regression analysis of weight gain rate and feed efficiency of genetic improvement of farmed tilapia with dietary carbohydrate and crude lipid levels, the dietary optimal dietary carbohydrate and lipid ratios are 5.84 and 4.95, respectively. In conclusion, dietary optimal dietary carbohydrate and lipid ratio of genetic improvement of farmed tilapia in growth mid-stage is 4.95 to 5.84. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(12):5805-5815]

Key words: genetic improvement of farmed tilapia; carbohydrate to lipid ratio; growth; body composition; biochemical indices