

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.01007

## 吉富罗非鱼成鱼胆碱的最适需要量

邵辉<sup>1</sup>, 文华<sup>2</sup>, 刘伟<sup>2</sup>, 蒋明<sup>1,2</sup>, 吴凡<sup>2</sup>, 田娟<sup>2</sup>, 黄凤<sup>1</sup>

1. 华中农业大学 水产学院, 湖北 武汉 430070;

2. 中国水产科学研究院 长江水产研究所, 湖北 武汉 430223

**摘要:** 选用初始体质量为(220.00±8.34) g 的吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)360 尾, 随机分成 6 组, 每组 3 重复(每重复 20 尾), 于 1 m×1 m×1.5 m 池塘网箱中饲养。分别饲喂胆碱含量为 97.80(对照组)、375.04、565.74、974.27、1 409.81、1 824.35 mg/kg 的半纯化饲料 10 周, 研究胆碱对吉富罗非鱼成鱼生长、饲料利用、鱼体营养组成、胆碱蓄积量及部分血液生化指标的影响。结果显示, 经过 10 周的饲喂, 饲料中添加胆碱可显著提高鱼体增重率、特定生长率和饲料效率( $P<0.05$ ); 降低肝脂肪含量( $P<0.05$ ), 提高肌肉脂肪含量( $P<0.05$ ); 显著升高肝胆碱蓄积量( $P<0.05$ ); 胆碱添加组血清甘油三酯(TG)和总胆固醇(T-CHO)显著高于对照组( $P<0.05$ ), 并随饲料胆碱含量增加呈现升高的趋势; 肝甘油三酯(TG)和总胆固醇(T-CHO)随着胆碱含量的增加而显著降低( $P<0.05$ ); 血清谷草转氨酶(ALT)、谷丙转氨酶(AST)和碱性磷酸酶(ALP)均随着饲料胆碱含量的增大而显著降低( $P<0.05$ )。结果表明, 饲料中添加适量的胆碱可以改善吉富罗非鱼成鱼的生长性能, 提高饲料利用效率, 降低肝脂肪含量, 促进肝脂肪转运; 对特定生长率进行回归分析, 得出吉富罗非鱼成鱼对饲料中胆碱的最低需要量为 506.43 mg/kg, 而对肝胆碱蓄积量回归分析得出的需要量为 981.38 mg/kg。

**关键词:** 吉富罗非鱼; 成鱼; 胆碱; 生长性能; 需要量

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)05-1007-08

胆碱(Choline)是维持鱼类正常生长的一种重要维生素, 它能够促进肝中脂肪的转移和利用, 参与生物膜的构建和维持神经系统正常功能, 还与体内甜菜碱和蛋氨酸代谢有关<sup>[1]</sup>。鱼类食物中如缺乏胆碱将会产生一系列缺乏症, 如虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)、湖鲮(*Salvelinus namaycush*)生长受阻, 饲料利用率降低; 大鳞大麻哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)肾出血等症<sup>[2]</sup>; 草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)鱼种<sup>[3]</sup>、斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)<sup>[4]</sup>肝脂肪过量沉积; 黄鳝(*Monopterus albus*)<sup>[5]</sup>会出现生长不良、厌食、肝脂肪含量升高等症状。

吉富品系罗非鱼是经过遗传性状改良的尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*), 是一种具有较高营养价值和经济价值的鱼类, 现已成为中国主要的水产养殖品种<sup>[6-7]</sup>。国内外学者对罗非鱼幼鱼的营养与饲料进行了广泛的研究<sup>[8-10]</sup>, 但是由于成鱼阶段的营养研究对于饲养条件的要求较高、饲养环境难以控制, 因此对罗非鱼成鱼的营养需要研究较少, 目前尚未见吉富罗非鱼成鱼胆碱需要量的研究报道, 仅见报道奥尼罗非鱼幼鱼的需要量为 1 000 mg/kg<sup>[10]</sup>。而在罗非鱼养殖中, 成鱼阶段的生长期最长、饲料消耗最多, 其营养需要的研究尤为重要。因此, 本实验以吉富罗非鱼成鱼

收稿日期: 2012-11-27; 修订日期: 2013-03-07。

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金资助项目(CARS-49); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201003020); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(2011JBFA21)。

作者简介: 邵辉(1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: huijian@126.com

通信作者: 文华, 博士, 研究员。E-mail: wenhua.hb@163.com

为研究对象,在饲料中添加不同水平的胆碱,通过探讨饲料中不同胆碱水平对其生长、鱼体营养组成及血液和肝生化指标的影响,确定其对胆碱的需要量,为吉富罗非鱼成鱼配合饲料的科学配制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计与饲料

以酪蛋白、明胶和玉米蛋白粉(胆碱含量为 330 mg/kg,较其他原料低)为蛋白源,玉米油和豆油为脂肪源(1:1),糊精为糖源,配制基础饲料。在基础饲料中分别添加 0、300、600、1 200、1 800、2 400 mg/kg 的氯化胆碱,制成 6 种等氮等能的半

纯化饲料(控制成本),饲料组成及基本营养组成见表 1。参照 Venugopal<sup>[11]</sup>的雷氏盐法测定饲料中胆碱含量,各组饲料胆碱实测含量分别为 97.80(对照组)、375.04、565.74、974.27、1 409.81、1 824.35 mg/kg。所有原料过 60 目分级筛,将所有原料(除油外)混匀,量少的组分采用逐级扩大法混合,胆碱的增减用纤维素平衡,再分别与豆油、玉米油和约 20%的水混匀,用绞肉机将饲料挤压呈条状,室温吹干后,破碎成直径 2.0 mm,长约 6 mm 的圆柱形颗粒,于-20℃冰箱中保存备。

1.2 实验用鱼与养殖条件

实验用鱼为广西罗非鱼国家级育种实验场繁育的 1 冬龄吉富罗非鱼,实验鱼运回后在网箱中

表 1 实验饲料原料组成及基本营养组成  
Tab.1 Formulation and proximate analysis of experimental diets

| 原料 ingredient                                                      | 1 组 group 1 | 2 组 group 2 | 3 组 group 3 | 4 组 group 4 | 5 组 group 5 | 6 组 group 6 |
|--------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 酪蛋白 casein                                                         | 20          | 20          | 20          | 20          | 20          | 20          |
| 明胶 gelatin                                                         | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           |
| 玉米蛋白粉 corn gluten meal                                             | 16          | 16          | 16          | 16          | 16          | 16          |
| 糊精 dextrin                                                         | 36          | 36          | 36          | 36          | 36          | 36          |
| 玉米油 corn oil                                                       | 3           | 3           | 3           | 3           | 3           | 3           |
| 豆油 soybean oil                                                     | 3           | 3           | 3           | 3           | 3           | 3           |
| 复合维生素 <sup>1</sup> vitamin premix <sup>1</sup>                     | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |
| 复合矿物盐 <sup>2</sup> mineral premix <sup>2</sup>                     | 4           | 4           | 4           | 4           | 4           | 4           |
| 氯化胆碱 choline chloride                                              | 0           | 0.03        | 0.06        | 0.12        | 0.18        | 0.24        |
| 微晶纤维 micro-cellulose                                               | 12          | 11.97       | 11.94       | 11.88       | 11.82       | 11.76       |
| 合计 total                                                           | 100         | 100         | 100         | 100         | 100         | 100         |
| 营养成分 proximate composition                                         | 1 组 group 1 | 2 组 group 2 | 3 组 group 3 | 4 组 group 4 | 5 组 group 5 | 6 组 group 6 |
| 胆碱/(mg·kg <sup>-1</sup> ) choline                                  | 97.80       | 375.04      | 565.74      | 974.27      | 1409.81     | 1824.35     |
| 粗蛋白/% crude protein                                                | 27.75       | 27.38       | 27.38       | 27.39       | 27.93       | 27.77       |
| 粗脂肪/% crude lipid                                                  | 6.12        | 6.13        | 6.83        | 6.73        | 6.24        | 6.62        |
| 水分/% moisture                                                      | 8.52        | 8.30        | 8.09        | 8.17        | 8.55        | 8.69        |
| 粗灰分/% crude ash                                                    | 3.83        | 3.80        | 4.13        | 3.81        | 3.69        | 3.88        |
| 总能/(kJ·g <sup>-1</sup> ) gross energy                              | 18.69       | 18.70       | 18.71       | 18.72       | 18.89       | 18.86       |
| 氯化胆碱添加量/(mg·kg <sup>-1</sup> )<br>choline chloride supplementation | 0           | 300         | 600         | 1200        | 1800        | 2400        |

注: 1.复合维生素由下列成分组成(mg/g 预混料): 硫胺素盐酸盐, 5; 核黄素, 5; 泛酸钙, 10; D-生物素, 0.003; 盐酸吡哆醇, 4; 叶酸, 1.5; 肌醇, 200; L-维生素 C-2-磷酸镁, 3.95; 烟酸, 6.05; α-维生素 E 醋酸酯, 50; 维生素 K, 4; 视黄醇醋酸酯, 0.4; 维生素 D3, 0.000 468 5; 添加微晶纤维素至 1 g。2.复合矿物盐由下列成分组成(mg·g<sup>-1</sup> 预混料): 磷酸二氢钙, 135.8; 乳酸钙, 327; 硫酸亚铁, 2.125; 硫酸镁, 137; 磷酸二氢钠, 87.2; 氯化钠, 43.5; 氯化铝, 0.15; 碘酸钾, 0.125; 氯化钾, 75; 氯化铜, 0.1; 硫酸锰, 0.80; 氯化钴, 1; 硫酸锌, 3; 添加微晶纤维素至 1 g。

Note: 1. The vitamin mixture was supplied as following (mg/g premix): thiamin hydrochloride, 5; riboflavin, 5; calcium pantothenate, 10; D-biotin, 0.003; pyridoxine hydrochloride, 4; folic acid, 1.5; inositol, 200; L-ascorbyl-2-monophosphate-Mg, 3.95; niacin, 6.05; α-tocopheryl acetate, 50; menadione, 4; retinol acetate, 0.4; cholecalciferol, 0.000 468 5. All ingredients were diluted with micro-cellulose to 1 g. 2.The mineral mixture supplied the following (mg·g<sup>-1</sup> premix): Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O, 135.8; Ca(CH<sub>3</sub>CHOHCOO)<sub>2</sub>·5H<sub>2</sub>O, 327; FeSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O, 2.125; MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 137; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 87.2; NaCl, 43.5; AlCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, 0.15; KI, 0.15; KCl, 75; CuCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, 0.1; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 0.80; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 1 and ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 3. All ingredients were diluted with micro-cellulose to 1 g.

用对照组饲料进行为期 2 周的驯养, 以适应实验饲料和环境。正式实验时, 选取 360 尾体质健壮个体, 随机分成 6 个处理组, 每处理组 3 重复, 每个重复 20 尾, 初始平均体质量为 $(220.00 \pm 8.34)$  g, 随机分配于 18 个网箱中(水体面积约 5 000 m<sup>2</sup>, 网箱规格为 1 m×1 m×1.5 m)。按照每个网箱鱼总质量的 3%左右投喂实验饲料(具体投喂量根据摄食情况调整, 即表观饱食投喂), 每天分 3 次投喂(8:00、12:00、16:00); 饲养 10 周。饲养实验期间, 每日观察记录水温、实验鱼摄食及死亡情况。饲养期间水温 25~36℃, pH7.4~7.6, 溶解氧 5.2~10.7 mg/L, 氨氮 0.57~0.92 mg/L, 亚硝酸盐 0.05~0.09 mg/L, 硫化物 0.01~0.05 mg/L, 均在池塘养殖水质标准范围之内。

### 1.3 采样与处理

饲养实验开始时, 称取每个网箱实验鱼总质量; 养殖实验结束后, 禁食 24 h, 称每个网箱实验鱼体总质量, 计算增重率。从每个网箱中随机取 6 尾鱼, 其中 3 尾鱼作全鱼用于体组成常规分析, 另外 3 尾鱼用 MS-222 麻醉后测定体长和体质量, 然后尾静脉采血。血液静置 2 h, 4℃离心(3 000 r/min, 10 min), 取上清液置于-40℃冰箱中保存。采血后分离内脏、肝胰脏, 称重, 计算肝体比、脏体比; 保存肝样品, 取背肌用于营养成分分析。整个操作在冰盘中进行, 采样完毕, 将样品放入-80℃的低温冰箱保存, 待测。

### 1.4 测定指标及方法

**1.4.1 生长性能指标** 根据采样及实验过程中所得数据计算以下生长指标:

成活率(survival rate, SR, %)=(成活尾数/总尾数)×100;

增重率(weight gain rate, WGR, %)=( $W_t - W_0$ )/ $W_0 \times 100$ ,  $W_t$  为末体质量,  $W_0$  为初体质量;

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d)=( $\ln W_t - \ln W_i$ )×100/ $T$ ,  $W_i$  和  $W_t$  分别表示初始尾均重和结束尾均重(g),  $T$  是实验天数;

饲料效率(feed efficiency, FE, %)=增重量(g/尾)/投饲量(g/尾);

肝体比(hepatosomatic index, HIS, %)=肝质量(g)/体质量(g)×100;

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %)=内脏质量(g)/体质量(g)×100;

肥满度(condition factor, CF, g/cm<sup>3</sup>)=个体质量(g)/体长<sup>3</sup>(cm<sup>3</sup>)×100。

**1.4.2 常规成分** 饲料、全鱼、肌肉及肝胰脏的粗脂肪采用索氏抽提法测定(GB/T 9695.7—2008); 粗蛋白采用凯氏定氮法测定(GB/T 6432—94); 灰分采用马福炉灰化法测定法(GB/T 6438—2007)。水分含量测定采用冷冻干燥法, 使用 Christ Beta1-8 LD 冷冻干燥机, 冷冻干燥 72 h<sup>[12]</sup>。基础饲料和肝中胆碱含量测定参照 Venugopal<sup>[11]</sup>的雷氏盐法测定。

**1.4.3 生化指标** 血清甘油三酯(TG)和总胆固醇(T-CHO)含量、谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)和碱性磷酸酶(ALP)及肝甘油三酯(TG)和总胆固醇(T-CHO)含量均采用 sysmex 全自动生化分析仪(chemix-800)进行测定。

### 1.5 数据统计

采用 SPSS 统计软件中 one-way ANOVA 方差分析和 Duncan's 均值多重比较法对实验结果的差异显著性进行分析处理, 结果用平均值 ± 标准差( $\bar{x} \pm SD$ )表示, 差异显著性水平为 0.05。根据统计结果, 采用折线法分析, 确定吉富罗非鱼成鱼对饲料中胆碱的需要量。

## 2 结果与分析

### 2.1 饲料中胆碱含量对吉富罗非鱼成鱼生长性能及饲料利用的影响

由表 2 可以看出, 随着饲料胆碱含量的增加, 吉富罗非鱼成鱼增重率(WGR)、特定生长率(SGR)和饲料效率(FE)呈先上升后稳定的趋势, 于第 3 组后趋于稳定。与对照组相比, 其他各组的增重率、特定生长率和饲料效率均出现显著性升高( $P < 0.05$ ), 增重率分别较对照组提高了 44.40%、52.86%、50.02%、47.11%、53.93%( $P < 0.05$ ), 特定生长率分别提高了 28.19%、35.25%、33.65%、31.88%、35.89%( $P < 0.05$ ), 饲料效率分别提高了 32.28%、41.26%、40.95%、33.15%、42.29%( $P < 0.05$ )。

表 2 不同胆碱水平对吉富罗非鱼成鱼生长指标和饲料利用的影响  
Tab.2 Effects of different choline levels on growth performance and feed utilization of adult GIFT tilapia  
*n*=3;  $\bar{x} \pm \text{SD}$

| 指标 index                                           | 饲料胆碱水平/(mg·kg <sup>-1</sup> ) dietary choline level |                           |                           |                           |                          |                           |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
|                                                    | 97.80                                               | 375.04                    | 565.74                    | 974.27                    | 1409.81                  | 1824.35                   |
| 初体质量/g initial body weight                         | 220.25±0.96                                         | 220.00±1.41               | 221.50±2.65               | 219.75±1.50               | 219.50±1.73              | 220.50±1.73               |
| 末体质量/g final body weight                           | 409.90±17.31 <sup>a</sup>                           | 487.52±14.58 <sup>b</sup> | 512.87±17.68 <sup>b</sup> | 503.68±12.29 <sup>b</sup> | 497.59±9.30 <sup>b</sup> | 512.78±20.96 <sup>b</sup> |
| 增重率/% weight gain rate                             | 86.11±8.09 <sup>a</sup>                             | 124.35±7.59 <sup>b</sup>  | 131.64±10.68 <sup>b</sup> | 129.19±4.35 <sup>b</sup>  | 126.69±3.16 <sup>b</sup> | 132.55±10.35 <sup>b</sup> |
| 特定生长率/(%·d <sup>-1</sup> )<br>specific growth rate | 0.89±0.06 <sup>a</sup>                              | 1.14±0.05 <sup>b</sup>    | 1.20±0.07 <sup>b</sup>    | 1.18±0.03 <sup>b</sup>    | 1.17±0.02 <sup>b</sup>   | 1.20±0.06 <sup>b</sup>    |
| 饲料效率 feed efficiency                               | 0.46±0.04 <sup>a</sup>                              | 0.60±0.03 <sup>b</sup>    | 0.66±0.03 <sup>b</sup>    | 0.65±0.04 <sup>b</sup>    | 0.62±0.03 <sup>b</sup>   | 0.66±0.04 <sup>b</sup>    |
| 成活率/% survival rate                                | 100                                                 | 100                       | 100                       | 100                       | 100                      | 100                       |
| 肝体比/% hepatosomatic index                          | 3.12±0.30 <sup>c</sup>                              | 2.69±0.24 <sup>b</sup>    | 2.37±0.04 <sup>a</sup>    | 2.16±0.09 <sup>a</sup>    | 2.33±0.19 <sup>a</sup>   | 2.27±0.17 <sup>a</sup>    |
| 脏体比/% viscerosomatic index                         | 9.35±0.53 <sup>b</sup>                              | 8.60±0.31 <sup>a</sup>    | 8.21±0.57 <sup>a</sup>    | 7.96±0.63 <sup>a</sup>    | 8.21±0.23 <sup>a</sup>   | 8.28±0.28 <sup>a</sup>    |
| 肥满度/% condition factor                             | 3.16±0.30 <sup>a</sup>                              | 3.36±0.20 <sup>ab</sup>   | 3.69±0.20 <sup>bc</sup>   | 3.73±0.15 <sup>c</sup>    | 3.55±0.29 <sup>bc</sup>  | 3.46±0.07 <sup>abc</sup>  |

注：同行标有不同上标字母的值之间差异显著(*P*<0.05).  
Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different at 0.05 level.

肥满度呈现先上升后下降的趋势(*P*<0.05)，肝体比与脏体比随着胆碱添加量的增加出现降低趋势(*P*<0.05)，以特定生长率作为评价指标，采用折线模型确定吉富罗非鱼成鱼对胆碱的需要量为 506.43 mg/kg(图 1)。

2.2 饲料中胆碱含量对吉富罗非鱼成鱼全鱼、肝和肌肉常规成分的影响

从表 3 可以看出，吉富罗非鱼成鱼全鱼水分、粗脂肪、粗蛋白及灰分含量各组间无显著性差异(*P*>0.05)。肝脂肪含量呈现降低的趋势，第 6 组肝

脂肪含量最低，5、6 组显著低于对照组和 2、3、4 组(*P*<0.05)，对照组和 2、3、4 组之间无显著性差异(*P*>0.05)；肝粗蛋白含量有降低的趋势，对照组显著高于 3、4、6 组(*P*<0.05)；肝水分含量各组间均无显著性差异(*P*>0.05)；肌肉脂肪含量随着胆碱含量的增加呈现增大的趋势，第 6 组肌肉脂肪含量最高，显著高于对照组和其他各添加组(*P*<0.05)，对照组肌肉脂肪含量最低，并显著低于其他各添加组(*P*<0.05)；肌肉水分和粗蛋白含量各组间无显著性差异(*P*>0.05)。

2.3 饲料中胆碱含量对吉富罗非鱼成鱼肝胆碱蓄积量的影响

如图 2 所示，肝的胆碱蓄积量均随饲料胆碱添加水平的增加呈先上升后稳定的趋势；肝胆碱含量各个添加组均显著高于对照组(*P*<0.05)，当饲料胆碱水平达到 974.27 mg/kg 后，4、5、6 组间的肝胆碱含量无显著性差异(*P*>0.05)，而显著高于其他各组(*P*<0.05)。以肝胆碱蓄积量为评价指标，确定满足吉富罗非鱼成鱼需要的饲料胆碱适宜含量为 981.38 mg/kg。

2.4 饲料中胆碱含量对吉富罗非鱼成鱼血清及肝生化指标的影响

从表 4 可以看出，血清总胆固醇(T-CHO)和甘油三酯(TG)含量均随着饲料胆碱添加量的增加而上升，其中实验组的 T-CHO 和 TG 含量均显著高

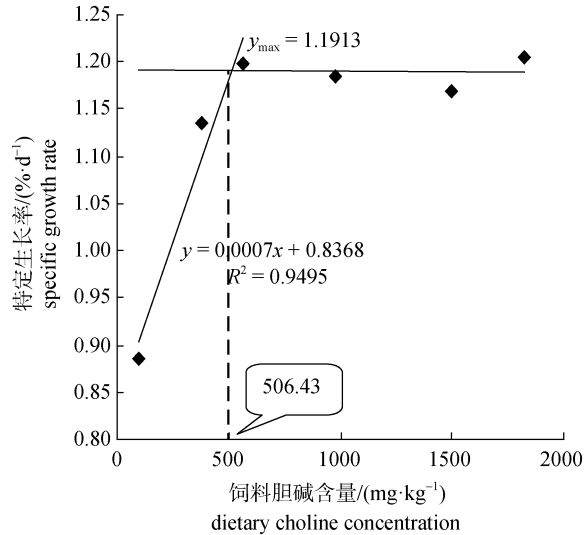


图 1 饲料胆碱含量对吉富罗非鱼成鱼特定生长率的影响  
Fig.1 The effect of dietary choline on specific growth rate(SGR)of the adult GIFT tilapia

表 3 胆碱对吉富罗非鱼成鱼全鱼、肝和肌肉常规成分的影响

Tab. 3 Effects of dietary choline on proximate composition of whole body, liver and muscle of adult GIFT tilapia

*n*=3;  $\bar{x} \pm \text{SD}$ ; %

| 指标 index          | 饲料胆碱水平/(mg·kg <sup>-1</sup> ) dietary choline level |                         |                         |                         |                         |                        |
|-------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
|                   | 97.80                                               | 375.04                  | 565.74                  | 974.27                  | 1409.81                 | 1824.35                |
| 全鱼 whole body     |                                                     |                         |                         |                         |                         |                        |
| 水分 moisture       | 65.75±1.45                                          | 66.20±0.26              | 65.97±0.75              | 65.14±0.94              | 66.46±0.83              | 65.97±1.45             |
| 粗脂肪 crude lipid   | 11.67±0.91                                          | 11.29±0.41              | 11.68±0.48              | 12.08±0.80              | 10.93±1.01              | 10.99±0.40             |
| 粗蛋白 crude protein | 18.09±0.66                                          | 17.82±0.95              | 16.83±0.85              | 17.17±0.62              | 18.12±0.50              | 18.09±1.40             |
| 灰分 ash            | 3.83±0.22                                           | 3.80±0.35               | 4.13±0.0.22             | 3.81±0.16               | 3.69±0.35               | 3.88±0.25              |
| 肝 liver           |                                                     |                         |                         |                         |                         |                        |
| 水分 moisture       | 64.51±2.04                                          | 62.30±1.19              | 66.64±6.30              | 62.89±2.31              | 62.45±0.83              | 61.81±3.27             |
| 粗脂肪 crude lipid   | 12.18±1.01 <sup>b</sup>                             | 11.62±0.82 <sup>b</sup> | 11.31±1.07 <sup>b</sup> | 10.92±0.66 <sup>b</sup> | 9.34±0.46 <sup>a</sup>  | 8.87±0.80 <sup>a</sup> |
| 粗蛋白 crude protein | 9.54±0.80 <sup>b</sup>                              | 9.05±0.46 <sup>ab</sup> | 8.23±0.80 <sup>a</sup>  | 8.17±0.68 <sup>a</sup>  | 8.68±0.43 <sup>ab</sup> | 8.12±0.64 <sup>a</sup> |
| 肌肉 muscle         |                                                     |                         |                         |                         |                         |                        |
| 水分 moisture       | 77.41±0.71                                          | 78.05±2.82              | 77.01±0.57              | 76.58±0.55              | 77.56±1.23              | 77.09±0.25             |
| 粗脂肪 crude lipid   | 1.10±0.08 <sup>a</sup>                              | 1.51±0.05 <sup>b</sup>  | 1.51±0.15 <sup>b</sup>  | 1.72±0.12 <sup>c</sup>  | 1.75±0.15 <sup>c</sup>  | 1.96±0.21 <sup>d</sup> |
| 粗蛋白 crude protein | 18.52±0.66                                          | 18.66±0.45              | 18.85±0.29              | 18.76±0.37              | 18.58±0.77              | 19.21±0.44             |

注: 同行标有不同上标字母的值之间差异显著( $P<0.05$ ).

Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different at 0.05 level.

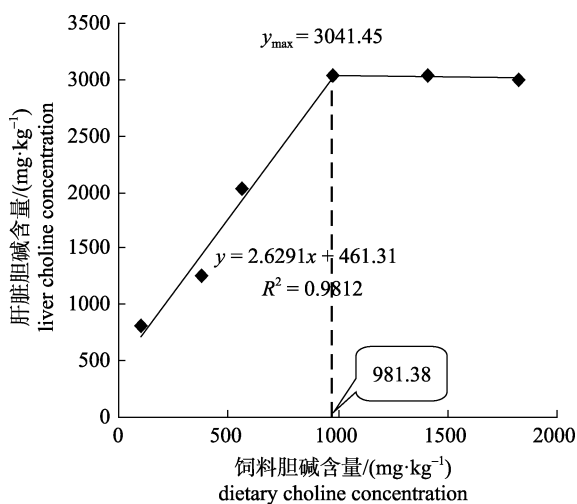


图 2 饲料胆碱含量对吉富罗非鱼成鱼肝胆碱蓄积量的影响

Fig.2 The effect of dietary choline on liver choline concentration of adult GIFT tilapia

于对照组( $P<0.05$ )。肝中 T-CHO 和 TG 含量则随着胆碱水平的提高显著降低( $P<0.05$ ), 其中对照组 T-CHO 和 TG 含量显著高于其他各组( $P<0.05$ )。谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)和碱性磷酸酶(ALP)活性随着添加量的增加先降低后趋于稳定, 对照组的 3 种酶的活性均最高, 其中对照组

和第 2 组的 AST 和 ALT 显著高于其他各组( $P<0.05$ ), 对照组 ALP 活性亦显著高于其他各组( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 胆碱对吉富罗非鱼成鱼生长性能及饲料利用的影响

从本实验的结果来看, 经过 10 周的饲养实验, 随着饲料中胆碱含量的增加, 吉富罗非鱼成鱼实验组增重率、特定生长率和饲料效率较对照组都有显著提高( $P<0.05$ ), 该结果与对草鱼成鱼<sup>[12]</sup>、黄鳝<sup>[5]</sup>及幼建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)<sup>[13]</sup>的研究结果一致。而 Shiao 等<sup>[10]</sup>发现, 当胆碱添加量超过 800 mg/kg 后, 奥尼罗非鱼幼鱼(*Oreochromis niloticus* × *O.aureus*)增重率出现下降趋势; Duan 等<sup>[14]</sup>发现异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)在胆碱水平增加到 4 400.44 mg/kg 时特定生长率显著下降( $P<0.05$ )。这可能是因为适量添加胆碱可促进鱼体的生长, 而当胆碱添加量超过生理需要量时则不利于生长<sup>[9]</sup>。此外, 本实验结果表明, 饲料中添加适量的胆碱可以降低吉富罗非鱼成鱼的肝体比和脏体比, 并提高鱼体的肥满度, 然而添加过

表 4 添加胆碱对吉富罗非鱼成鱼血清生化指标、肝胰脏甘油三酯和胆固醇含量的影响  
Tab.4 Effect of supplemental choline chloride on some serum biochemical indices and hepatopancreas triglyceride and cholesterol content of adult GIFT tilapia

n=3;  $\bar{x} \pm SD$

| 指标 index    |                                    | 饲料胆碱水平/(mg·kg <sup>-1</sup> ) dietary choline level |                         |                          |                          |                          |                         |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
|             |                                    | 97.80                                               | 375.04                  | 565.74                   | 974.27                   | 1409.81                  | 1824.35                 |
| 血清<br>serum | 总胆固醇/(mmol·L <sup>-1</sup> ) T-CHO | 4.02±0.36 <sup>a</sup>                              | 4.62±0.17 <sup>b</sup>  | 4.74±0.37 <sup>bc</sup>  | 4.77±0.21 <sup>bc</sup>  | 4.94±0.39 <sup>bc</sup>  | 5.19±0.20 <sup>c</sup>  |
|             | 甘油三酯/(mmol·L <sup>-1</sup> ) TG    | 1.59±0.10 <sup>a</sup>                              | 1.88±0.09 <sup>b</sup>  | 2.72±0.27 <sup>c</sup>   | 2.82±0.17 <sup>c</sup>   | 2.78±0.18 <sup>c</sup>   | 2.69±0.15 <sup>c</sup>  |
|             | 谷草转氨酶/(U·L <sup>-1</sup> ) AST     | 39.50±2.89 <sup>d</sup>                             | 36.75±3.86 <sup>d</sup> | 31.00±2.45 <sup>c</sup>  | 24.00±1.83 <sup>b</sup>  | 23.75±2.22 <sup>b</sup>  | 17.75±0.96 <sup>a</sup> |
|             | 谷丙转氨酶/(U·L <sup>-1</sup> ) ALT     | 19.00±0.82 <sup>c</sup>                             | 17.25±1.71 <sup>c</sup> | 13.75±1.26 <sup>b</sup>  | 11.75±0.96 <sup>a</sup>  | 11.25±1.50 <sup>a</sup>  | 11.00±0.82 <sup>a</sup> |
|             | 碱性磷酸酶/(U·L <sup>-1</sup> ) ALP     | 41.25±1.26 <sup>d</sup>                             | 26.75±2.06 <sup>c</sup> | 24.75±0.96 <sup>bc</sup> | 23.25±2.36 <sup>ab</sup> | 23.00±1.83 <sup>ab</sup> | 20.50±1.91 <sup>a</sup> |
| 肝<br>liver  | 总胆固醇/(mmol·L <sup>-1</sup> ) T-CHO | 0.24±0.02 <sup>d</sup>                              | 0.15±0.01 <sup>c</sup>  | 0.13±0.01 <sup>b</sup>   | 0.11±0.01 <sup>b</sup>   | 0.13±0.01 <sup>b</sup>   | 0.09±0.01 <sup>a</sup>  |
|             | 甘油三酯/(mmol·L <sup>-1</sup> ) TG    | 1.57±0.08 <sup>d</sup>                              | 1.41±0.09 <sup>c</sup>  | 1.35±0.03 <sup>bc</sup>  | 1.13±0.03 <sup>b</sup>   | 1.29±0.11 <sup>a</sup>   | 1.14±0.06 <sup>a</sup>  |

注：同行标有不同上标字母的值之间差异显著(P<0.05).  
Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different at 0.05 level.

量的胆碱则会降低鱼体肥满度。这与黄凯等<sup>[9]</sup>在奥尼罗非鱼幼鱼上得出的结果相一致，在胆碱添加量达到 4 000 mg/kg 时肥满度有所下降。朱瑞俊等<sup>[12]</sup>在草鱼成鱼上也发现添加胆碱会降低肝体比，但未出现显著性差异。

本实验以特定生长率为评价指标确定吉富罗非鱼成鱼获得最大生长时对饲料中胆碱的最低需要量为 506.43 mg/kg。Shiau 等<sup>[10]</sup>以增重率为评价指标得出初始体质量为(0.62±0.01)g 的奥尼罗非鱼胆碱需求量为 1 000 mg/kg，黄凯等<sup>[9]</sup>以增重率为评价指标得出初始体质量为(0.56±0.04) g 的奥尼罗非鱼胆碱添加量以 2 000~3 000 mg/kg 为宜，Kasper 等<sup>[15]</sup>以增重率和饲料效率为评价指标，得出在添加了含硫氨基酸(TSAA, 0.5 g/100 g)的饲料中添加 3 000 mg/kg 胆碱饲养 3 g 的尼罗罗非鱼可以获得最大增长和存活率。这些结果都较本实验确定的需要量要高，其原因可能是鱼的生长阶段不同，对胆碱的需要量也不同，幼鱼期由于代谢强度大，生长快，因而对维生素的需要量要高于成鱼<sup>[16]</sup>。另外，由于饲料中含硫氨基酸、甜菜碱或其他甲基供体与胆碱在代谢途径中产生大量的交互作用，也是导致鱼类胆碱需要量各异的重要因素<sup>[10]</sup>。

3.2 胆碱对吉富罗非鱼成鱼全鱼、肝和肌肉常规成分的影响

本研究中全鱼的体组成各组间没有显著性差异(P>0.05)，这与星斑川鲮(*Platichthys stellatus*)

幼鱼<sup>[17]</sup>、异育银鲫<sup>[14]</sup>、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)<sup>[18]</sup>的研究结果一致。本实验中，肝脂肪随胆碱水平增加而显著降低(P<0.05)。对眼斑拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)<sup>[19]</sup>、斑纹鲈(*Monrone saxatilis*× *M. chrysops*)幼鱼<sup>[20]</sup>、草鱼鱼种<sup>[3]</sup>和成鱼<sup>[12]</sup>、黄鳝<sup>[5]</sup>以及奥尼罗非鱼<sup>[9]</sup>等研究表明，肝脂肪含量与饲料胆碱水平呈显著负相关关系，并证实饲料中缺乏胆碱将诱发脂肪肝病，这与本研究结果一致。由此可见，饲料中添加适量胆碱可促进肝脂肪转运，防止脂肪过度积累，避免脂肪肝的形成<sup>[21]</sup>。本研究发现肌肉脂肪含量随饲料胆碱含量的增加而升高。其他研究也发现，饲料胆碱含量的增加能够显著提高星斑川鲮幼鱼<sup>[17]</sup>、军曹鱼<sup>[18]</sup>和中华鲟(*Acipenser sinensis* Gray)幼鱼<sup>[22]</sup>肌肉的脂肪含量(P<0.05)。

3.3 胆碱对吉富罗非鱼成鱼肝胆碱蓄积量的影响

本实验中，肝胆碱含量随着饲料胆碱水平的增加呈上升趋势，当达到一定水平后趋于稳定，与在斑点叉尾鲷<sup>[4]</sup>和军曹鱼幼鱼<sup>[18]</sup>中所得的结果一致；而 Shiau 等<sup>[10]</sup>报道，当饲料中胆碱添加量达到 2 000 mg/kg 时，奥尼罗非鱼全鱼胆碱蓄积量和增重率出现降低趋势，与本实验的结果不一致，这可能是由于过量添加胆碱加重了肝的代谢负担造成的<sup>[17]</sup>。由于肝是胆碱的主要代谢器官，也是胆碱的主要蓄积场所，肝胆碱含量反映了饲料胆碱添加量的适宜情况，因此饲料胆碱添加水平亦可以以肝胆碱蓄积量来进行评估<sup>[18]</sup>。本实验以肝

胆碱蓄积量为评价指标, 确定吉富罗非鱼成鱼对饲料中胆碱的需要量为 981.38 mg/kg。并且高于以特定生长率为评价指标所得到的需要量(506.43 mg/kg), 由此认为, 与维持正常生长相比, 吉富罗非鱼成鱼可能需要更多的胆碱来维持一些特别的生理功能。

### 3.4 胆碱对吉富罗非鱼成鱼血清及肝生化指标的影响

有关研究表明, 血清甘油三酯(TG)、总胆固醇(T-CHO)的升高可能导致多种心血管疾病<sup>[23]</sup>, 尤其是 TG、T-CHO 均高者其脂肪肝发生率最高<sup>[24-26]</sup>。饲料中缺乏胆碱时, 会使合成脂蛋白的重要原料——磷脂酰胆碱合成量不足, 进而引起肝脂蛋白的合成量减少, 影响脂肪向血液中转运, 导致肝中脂肪积累和向血液运输的脂肪减少<sup>[3]</sup>。本实验研究结果显示, 随着饲料胆碱添加量的增加, 血清 TG 含量显著升高( $P<0.05$ ), 而肝脂肪含量随胆碱水平的增加而显著降低( $P<0.05$ ), 与草鱼<sup>[3]</sup>、奥尼罗非鱼<sup>[9]</sup>和星斑川鲷幼鱼<sup>[17]</sup>所得到的结果一致。这表明血清 TG 含量与肝脂肪含量呈负相关, 说明胆碱对吉富罗非鱼成鱼肝脂质积累的降低作用是通过胆碱直接或间接参与肝脂肪转运而实现的<sup>[9]</sup>。

肝细胞受损程度与血浆酶活性有直接关系, 是体现肝损害和坏死的指标之一。谷草转氨酶(ALT)和谷丙转氨酶(AST)富存于肝细胞中, 当细胞更新或破坏时, 常会流入血液, 导致血浆酶活性提高<sup>[9]</sup>。碱性磷酸酶(ALP)与营养免疫相关, 在正常情况下, 血清 ALP 活性很低, 当有肝病或骨病时, 血清 ALP 活性会显著升高<sup>[27]</sup>。本实验中血清 ALT、AST 和 ALP 均随着饲料胆碱添加水平的增大而显著降低( $P<0.05$ ), 说明饲料中适量的胆碱添加可使肝脂肪及时运送至肝以外的其他组织, 可能减少了对肝细胞的损伤<sup>[9]</sup>。

## 4 结论

本实验表明, 饲料中合理添加胆碱能够提高吉富罗非鱼成鱼的增重率、特定生长率和饲料效率, 并能降低肝脂肪含量, 促进脂肪的转运。因此, 本实验以特定生长率作为评价指标, 经折线回归

分析得出吉富罗非鱼成鱼对胆碱的需要量为 506.43 mg/kg; 而以肝胆碱蓄积量为评价指标, 确定饲料中胆碱的需要量为 981.38 mg/kg。

### 参考文献:

- [1] 宋青春, 齐遵利. 水产动物营养与配合饲料学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2010.
- [2] NRC. Nutrient requirements of fish and shrimp[M]. Washington, DC: National Academy Press, 2011.
- [3] 王道尊, 赵亮. 草鱼鱼种对胆碱需要量的研究[J]. 水产学报, 1995, 19(002): 133-139.
- [4] Zhang Z, Wilson R P. Reevaluation of the choline requirement of fingerling channel catfish (*Ictalurus punctatus*) and determination of the availability of choline in common feed ingredients[J]. Aquaculture, 1999, 180(1): 89-98.
- [5] 杨代勤, 陈芳, 阮国良. 饲料中添加胆碱对黄鳝生长, 组织脂肪含量及消化酶活性的影响[J]. 水产学报, 2006, 30(5): 676-682.
- [6] 李思发, 蔡完其. 全国水产原良种审定委员会审定品种——“新吉富”罗非鱼品种特点和养成技术要点[J]. 科学养鱼, 2008(5): 21-22.
- [7] 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[J]. 长江大学学报: 自然科学版农学卷, 2008, 5(4): 35-37.
- [8] Lin Y H, Lin S M, Shiau S Y. Dietary manganese requirements of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*[J]. Aquaculture, 2008, 284(1): 207-210.
- [9] 黄凯, 杨鸿昆, 甘晖, 等. 饲料中添加胆碱预防罗非鱼脂肪肝病变的作用[J]. 中国水产科学, 2007, 14(2): 257-262.
- [10] Shiau S Y, Lo P S. Dietary choline requirements of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*[J]. J Nutr, 2000, 130(1): 100-103.
- [11] Venugopal P B. Choline[M]//Augustin J, Klein B P, Becker D, et al. Methods of vitamin assay. New York, NY: John Wiley and Sons, 1985.
- [12] 朱瑞俊, 冷向军, 李小勤, 等. 饲料中添加氯化胆碱对草鱼成鱼生长, 脂肪沉积和脂肪代谢酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2010, 17(3): 527-535.
- [13] Wu P, Feng L, Kuang S Y, et al. Effect of dietary choline on growth, intestinal enzyme activities and relative expressions of target of rapamycin and eIF4E-binding protein2 gene in muscle, hepatopancreas and intestine of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian)[J]. Aquaculture, 2011, 317(1): 107-116.
- [14] Duan Y, Zhu X, Han D, et al. Dietary choline requirement in slight methionine-deficient diet for juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*)[J]. Aquacult Nutr, 2012, 18(6): 407-414.

- 620–627.
- [15] Kasper C S, White M R, Brown P B. Choline is required by tilapia when methionine is not in excess[J]. J Nutr, 2000, 130(2): 238–242.
- [16] 李爱杰, 麦康森, 沈维华. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [17] 帅继祥, 张利民, 王际英, 等. 星斑川鲷幼鱼胆碱需求量的研究[J]. 水生生物学报, 2011, 35(2): 365–371.
- [18] Mai K, Xiao L, Ai Q, et al. Dietary choline requirement for juvenile cobia, *Rachycentron canadum*[J]. Aquaculture, 2009, 289(1): 124–128.
- [19] Craig S R, Gatlin III D M. Growth and body composition of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*) fed diets containing lecithin and supplemental choline[J]. Aquaculture, 1997, 151(1): 259–267.
- [20] Griffin M E, Wilson K A, White M R, et al. Dietary choline requirement of juvenile hybrid striped bass[J]. J Nutr, 1994, 124(9): 1685–1689.
- [21] 冷向军, 李小勤. 水产动物的胆碱营养[J]. 饲料研究, 2005(2): 44–46.
- [22] 刘伟, 文华, 周俊, 等. 氯化胆碱对中华鲟幼鱼生长和生理指标的影响[J]. 水利渔业, 2007(3): 91–93.
- [23] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学(上册)[M]. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [24] 罗锐, 周春辉, 王华新. 健康人与脂肪肝患者甘油三酯耐量的比较[J]. 大连医科大学学报, 2003, 25(4): 286–287.
- [25] 蔡绍丽. 某军队医院医务人员甘油三酯升高及脂肪肝患病情况分析[J]. 第三军医大学学报, 2003, 25(4): 369–370.
- [26] 徐卫, 石娜, 金嵘. 血脂水平与脂肪肝关系的调查[J]. 现代预防医学, 2004, 31(3): 424–424.
- [27] 王桂兰, 张勤, 徐韧. 石油污染对莫桑比克罗非鱼血清酶活性的影响[J]. 海洋学报: 中文版, 1998(4): 60–64

## Dietary choline requirements of adult GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*)

SHAO Hui<sup>1</sup>, WEN Hua<sup>2</sup>, LIU Wei<sup>2</sup>, JIANG Ming<sup>1,2</sup>, WU Fan<sup>2</sup>, TIAN Juan<sup>2</sup>, HUANG Feng<sup>1</sup>

1.College of Fisheries, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China

2.Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China

**Abstract:** A10-week feeding trial was conducted to study the effect of dietary choline chloride supplementation on the growth performance, lipid metabolism, feed utilization, body composition, serum biochemical indices, liver lipid content, and muscle and liver choline content of adult GIFT tilapia(*Oreochromis niloticus*). The basal diet contained 27.60% crude protein and 6.45% crude lipid. The basal diet was supplemented with choline chloride (0, 300, 600, 1200, 1 800, and 2 400 mg choline per kg food) to formulate six semi-purified diets containing choline of 97.80(control group), 375.04, 565.74, 974.27, 1409.81, and 1 824.35 mg choline per kg food. Each diet was randomly fed to three replicates of GIFT tilapia with an initial average weight of (220.00±8.34) g in 18 pond cages (1.0 m×1.0 m×1.5 m). Compared with the control group, the addition of choline to the diet significantly improved weight gain rate, specific growth rate, and feed utilization( $P<0.05$ ). The liver fat content decreased significantly ( $P<0.05$ ) in all groups compared with the control. In addition, the liver choline and muscle fat content of all groups increased significantly( $P<0.05$ ). With increasing dietary choline levels, serum triglyceride and cholesterol content increased in the groups with significantly higher choline chloride than that of the control group( $P<0.05$ ), the liver triglyceride and cholesterol content decreased significantly( $P<0.05$ ). Serum aspartate aminotransferase(ALT), alanine aminotransferase (AST), and alkaline phosphatase (ALP) also decreased significantly ( $P<0.05$ ) with increasing dietary choline content. The choline requirement of adult GIFT tilapia was 506.43 mg choline per kg food based on the specific growth rate; however, it was 981.38 mg choline per kg food based on liver choline concentration. Our results suggest that choline chloride supplementation could improve tilapia growth performance, feed efficiency, reduce liver fat content, and promote lipid degradation.

**Key words:** *Oreochromis niloticus*; choline; grow performance; GIFT tilapia

**Corresponding author:** WEN Hua. E-mail: wenhua.hb@163.com