

## 饲料中不同碳水化合物水平对翘嘴红鲌生长及血液指标和糖代谢酶的影响

戈贤平<sup>1,2</sup>, 刘波<sup>2</sup>, 谢骏<sup>1,2</sup>, 俞菊华<sup>2</sup>, 唐永凯<sup>2</sup>, 吴婷婷<sup>2\*</sup>

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081; 2. 农业部水生动物遗传育种和养殖生物学重点开放实验室/中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081)

**摘要:** 选用 540 尾翘嘴红鲌, 随机分成高、中、无碳水化合物 3 组, 每组设 3 个重复。日粮保持总能一致, 以等量可消化糖替代等量蛋白, 即分高碳水化合物组 (含可消化糖 23.98% (以下均为质量分数), 粗蛋白 40.53%)、中碳水化合物组 (含可消化糖 14.45%, 粗蛋白 50.14%)、无碳水化合物组 (含可消化糖为 0, 粗蛋白 63.38%), 饲养 8 周, 测定鱼体血液指标、糖代谢酶活性及生长等指标。试验结果表明: 与无碳水化合物组比较, 中碳水化合物组显著增加了血液胆固醇含量, 降低了己糖激酶活性 ( $P < 0.05$ ); 高碳水化合物组显著降低了增重率、特定生长率、肌肉粗蛋白及粗灰分含量 ( $P < 0.05$ ), 显著增加了血糖含量、葡萄糖激酶含量、丙酮酸激酶活性、肝胰脏粗蛋白及粗脂肪含量 ( $P < 0.05$ )。与中碳水化合物组相比, 高碳水化合物组也显著增加了肝体比、血液甘油三酯含量、葡萄糖激酶活性、肝胰脏粗蛋白及粗脂肪含量 ( $P < 0.05$ ), 无碳水化合物组显著降低了胆固醇含量 ( $P < 0.05$ )。两者之间其他指标差异不显著。因此高糖日粮可诱导翘嘴红鲌肝脏葡萄糖激酶、丙酮酸激酶等糖代谢酶活性, 促进了营养物质在肝脏等内脏中沉积, 但是可能不利于生长。

**关键词:** 翘嘴红鲌; 碳水化合物; 生化指标; 糖代谢酶

中图分类号: S963.162 文献标识码: A 文章编号: 1000-2030 (2007) 03-0088-06

## Effect of different carbohydrate levels of dietary on growth, plasma biochemical indices and hepaticpancreas carbohydrate metabolic enzymes in topmouth culter (*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker)

GE Xian-ping<sup>1,2</sup>, LIU Bo<sup>2</sup>, XIE Jun<sup>1,2</sup>, YU Ju-hua<sup>2</sup>, TANG Yong-Kai<sup>2</sup>, WU Ting-ting<sup>2\*</sup>

(1. Wuxi Fishery College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China; 2. Key Laboratory of Genetic Breeding of Aquatic Animals and Aquaculture Biology, Ministry of Agriculture/Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

**Abstract:** Total 540 topmouth culter (average weight (40.73 ± 0.44) g) were allotted into 3 groups randomly for 8 weeks. Under the circumstances of the same gross energy in the dietary, triplication of every group were fed the diets containing high levels of digestible carbohydrate (23.98% carbohydrate and 40.53% crude protein), middle levels of digestible carbohydrate (14.45% carbohydrate and 50.14% crude protein), and no digestible carbohydrate (without carbohydrate and 63.38% crude protein), respectively. Growth of fish, plasma biochemical indices and hepatic carbohydrate metabolic enzymes activities were determined. The results showed that middle carbohydrate group increased significantly ( $P < 0.05$ ) the plasma cholesterol content and decreased significantly ( $P < 0.05$ ) hepatic hexokinase activity; the high carbohydrate group decreased significantly ( $P < 0.05$ ) gain weight rate, specific growth rate, protein and ash content of fish muscle and increased significantly ( $P < 0.05$ ) plasma glucose content, hepatic glucokinase activity, pyruvate kinase activity, crude protein and ether extract content of hepatopancreas compared with no carbohydrate group. Compared with middle carbohydrate group, high carbohydrate group increased evidently ( $P < 0.05$ ) hepatosomatic indice, plasma triglycerides content, hepatic glucokinase activity, crude protein and ether extract content of hepatopancreas; no carbohydrate group decreased significantly ( $P < 0.05$ ) plasma cholesterol content. Other indexes were no remarkable differences between the two groups. So high carbohydrate dietary may induce hepatic carbohydrate metabolic enzymes activity of hepatic glucokinase and pyruvate kinase of topmouth culter, and improve the sediment of hepatopancreas nutrient

收稿日期: 2006-03-07

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划 (2006BAD03B07); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项基金项目 (115024)

作者简介: 戈贤平, 研究员, 主要从事水产动物营养学研究, E-mail: gexp@ffrc.cn.\* 通讯作者: E-mail: wutt@ffrc.cn.

and so on, however it may be negative effects of fish growth.

**Key words:** topmouth culter; carbohydrate; biochemical index; hepatic carbohydrate metabolic enzyme

与畜禽动物相比, 鱼类的糖代谢表现为对糖的利用能力较低, 特别是肉食性鱼类<sup>[1]</sup>, 对其机制的探讨一直是国内外学者研究的热点。Tranulis 等<sup>[2]</sup>对大西洋鲑, Borrebaek 等<sup>[3]</sup>对鲈鱼, Panserat 等<sup>[4-6]</sup>对虹鳟、金头鲷、鲤鱼, Kirchner 等<sup>[7]</sup>对虹鳟, 田丽霞<sup>[8]</sup>对草鱼, 蔡春芳<sup>[9]</sup>在青鱼和鲫鱼及 Baeverfjord 等<sup>[10]</sup>对大西洋比目鱼在鱼体糖的需要量、血液生化指标、体内糖代谢酶及其分子表达机制, 以及高糖饲料引起生长抑制等方面进行了研究。翘嘴红鲌 (*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker) 俗称白鱼、岛子等, 隶属鲤形目鲤科鳊鲌亚科, 是凶猛肉食性鱼类, 为我国四大淡水名贵鱼类之一, 因具有生长快、肉质细嫩、肉味鲜美、氨基酸含量高<sup>[11]</sup>等优点而备受青睐, 现已成为重要的水产养殖品种。目前主要研究了翘嘴红鲌的生物学特性, 而对其营养需求的研究相对较少, 仅见蛋白质<sup>[12-13]</sup>、脂肪<sup>[14]</sup>的需要量等报道, 而对糖的需求研究还未见报道。本试验在翘嘴红鲌日粮中, 保持总能一致, 用等量可消化糖代替等量蛋白质, 研究高碳水化合物对其生长、血清生化指标和肝脏代谢酶的影响, 初步探讨翘嘴红鲌对糖的利用能力, 为翘嘴红鲌配合饲料提供一些理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验鱼种及饲养管理

翘嘴红鲌鱼种 1 000 条左右购于浙江淡水水产研究所。2005 年 4 月 10 日购回试验鱼暂养于中国水产科学研究院淡水渔业研究中心宜兴养殖基地 14 个水泥池中 (规格 8 m × 3 m × 1 m), 先投喂膨化浮性饲料 (大江股份饲料公司), 15 d 后改为沉性鲫鱼饲料 (通威饲料有限公司), 驯化 30 d。5 月 6 日正式对鱼体称体重, 分组。试验选择健康、规格、体重基本一致鱼体 540 尾, 初体重 (40.73 ± 0.44) g, 随机分为无碳水化合物对照组、中碳水化合物组和高碳水化合物组, 每组 3 个重复, 共 9 个水泥池, 每个水泥池 60 尾鱼。

试验日粮及营养水平见表 1。各种原料分别粉碎过 60 目筛, 先把磷酸二氢钙、棒土、沸石粉、添加剂等混匀, 再加大大料逐级充分混匀, 后加适量水混匀, 用小型绞肉机制成粒径为 2.0 mm 的湿颗粒饲料, 并在 40 ℃ 烘 12 h, 饲料含水量为 10% (质量分数) 左右, 保存在 -20 ℃ 冰箱备用。

表 1 翘嘴红鲌基础日粮组成与营养水平

Table 1 The basic diet and nutrition levels of topmouth culter

| 基础日粮组成/%<br>Ingredients            | I 组<br>Group I | II 组<br>Group II | III 组<br>Group III | 营养水平*<br>Nutrition levels            | I 组<br>Group I | II 组<br>Group II | III 组<br>Group III |
|------------------------------------|----------------|------------------|--------------------|--------------------------------------|----------------|------------------|--------------------|
| 酪蛋白 Casein                         | 64             | 20               | 16                 | 干物质/% Dry matter                     | 90.50          | 89.80            | 90.55              |
| 明胶 Isinglass                       | 16             | 5                | 4                  | 粗蛋白/% Crude protein                  | 63.38          | 50.14            | 40.53              |
| 鱼粉 Fish meal                       | 0              | 30               | 28                 | 总能/kJ · g <sup>-1</sup> Gross energy | 18.59          | 18.62            | 18.15              |
| 豆粕 Soybean meal                    | 0              | 35               | 25                 | 粗脂肪/% Ether Extract                  | 9.13           | 9.92             | 9.94               |
| α-淀粉 α-starch                      | 0.0            | 1.5              | 14.0               | 可消化糖/% Digestible carbohydrate       | 0.00           | 14.45            | 23.98              |
| 鱼油 Fish oil                        | 8              | 6                | 7                  | 钙/% Calcium                          | 1.23           | 1.33             | 1.20               |
| 维生素 Vitamin                        | 1              | 1                | 1                  | 有效磷/% Available phosphorous          | 0.87           | 0.99             | 0.89               |
| 矿物质 Mineral premix                 | 1              | 1                | 1                  |                                      |                |                  |                    |
| 沸石粉 Zeolite power                  | 3              | 0                | 2                  |                                      |                |                  |                    |
| 棒土 Attapulgate                     | 3.2            | 0.0              | 1.5                |                                      |                |                  |                    |
| 磷酸二氢钙 Calcium dihydrogen phosphate | 1.8            | 0.0              | 0.0                |                                      |                |                  |                    |
| 食盐 Salt                            | 0.5            | 0.5              | 0.5                |                                      |                |                  |                    |
| 石粉 Calcium bicarbonate             | 2              | 0                | 0                  |                                      |                |                  |                    |

注: \* 营养水平含量中总能按蛋白质 23.64 kJ · g<sup>-1</sup>、脂肪 39.54 kJ · g<sup>-1</sup>、碳水化合物 17.15 kJ · g<sup>-1</sup> 计算, 其他为实测值。添加剂含微量元素和维生素等 (由南京华牧动物研究所提供)。

Note: Gross energy: protein 23.64 kJ · g<sup>-1</sup>, ether extract 39.54 kJ · g<sup>-1</sup>, carbohydrate 17.15 kJ · g<sup>-1</sup>; and the others are mensurated in the nutrition levels. Additive contain trace-mineral, vitamins, et al. (provided by Nanjing Huamu Animal Institute).

以鱼体重量的 2% ~ 4% 投喂试验日粮。每天 8:00 至 9:00、16:00 至 17:00 各投喂 1 次。投喂 0.5 h 后观察采食情况, 估计采食量, 并把多余饲料吸出。早晚各吸污 1 次, 水源为地下水, 15 d 换水

1次,每次换水1/3。日夜连续充气增氧,每天8:00及16:00各测水温1次,每周测1次水质。整个试验期间水质指标如下:平均水温( $24.5 \pm 4.32$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,溶氧大于 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,氨氮小于 $0.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,硫化氢低于 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,pH为6.8~7.0。正式试验56 d后称体重,采样。

## 1.2 样本的采集

试验结束后饥饿48 h,再投喂3 h后采样,每个水泥池取3尾鱼。用MS-222麻醉鱼体后,尾静脉采血,血样用肝素抗凝,在 $4^{\circ}\text{C}$ 、 $10\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心10 min制备血浆。上清液移入冻存管并冻存于液氮中。采完血后取肝胰脏、鱼背部肌肉等冻存于液氮中待测。血液中葡萄糖、甘油三酯、胆固醇等含量在美国贝克曼Cx-4型自动生化分析仪上测定。另外每个水泥池取3尾鱼分别称体重,测量体长,并取内脏称重量。用恒温干燥法( $105^{\circ}\text{C}$ )、凯氏定氮法、索氏抽提法和灼烧法( $550^{\circ}\text{C}$ )分别测定肌肉的水分、蛋白质、脂肪和灰分含量。饲料碳水化合物含量的测定采用3,5-二硝基水杨酸法,肝胰脏中的脂肪含量测定用氯仿-甲醇抽提法。

## 1.3 酶活性等指标测定

所有肝胰脏样品解冻后加10倍的 $4^{\circ}\text{C}$ 缓冲液,冰浴匀浆,制成10%匀浆液。缓冲液参照蔡春芳<sup>[9]</sup>的方法配制。 $4^{\circ}\text{C}$ 、 $4\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心10 min,取上清液一部分立即用于测定葡糖激酶(GK)、己糖激酶(HK)、葡萄糖脱氢酶(GDH)活性;另一部分上清液继续在 $4^{\circ}\text{C}$ 、 $12\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心20 min,取上清液用于测定磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶(PEPCK)及丙酮酸激酶(PK)活性,室温下24 h测定完毕。测定肝胰脏蛋白含量用福林酚法<sup>[15]</sup>,标准蛋白为牛血清白蛋白(购于南京建成生物有限公司)。

葡糖激酶(GK, EC2.7.1.2)活性测定采用G6PDH偶联法,参照Tranulis等<sup>[2]</sup>和Panserat等<sup>[4-6]</sup>的方法。上述测定结果用己糖激酶(HK, EC: 2.7.1.1)和葡萄糖脱氢酶(GDH, EC: 1.1.1.47)校正后的值为GK活性。上述方法中葡萄糖浓度改为 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时所测值为HK活性;将上述方法中ATP去除所测值为GDH活性。反应时间为5 min。酶活性单位定义:在 $30^{\circ}\text{C}$  pH 8.2下,每克组织蛋白在本反应体系中每分钟生成 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的NADPH(辅酶II,烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸)为一个活性单位。磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶(PEPCK, EC: 4.1.1.32)活性测定参照Kirchner等<sup>[7]</sup>和高学军等<sup>[16]</sup>的方法。酶活性单位定义:在 $30^{\circ}\text{C}$  pH 7.4下,每克组织蛋白在本反应体系中每分钟氧化 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的NADH(辅酶I,烟酰胺腺嘌呤二核苷酸)为一个活性单位。丙酮酸激酶(PK, EC: 2.7.1.40)活性测定参照Kirchner等<sup>[7]</sup>和蔡春芳<sup>[9]</sup>的方法。酶活性单位定义:在 $30^{\circ}\text{C}$  pH 7.4下,每克组织蛋白在本反应体系中每分钟将 $1 \mu\text{mol}$ 的PEP(磷酸烯醇式丙酮酸钾盐)转变成丙酮酸为一个酶活性单位。

## 1.4 相关指标计算公式

增重率 = (试验末鱼平均重量 - 试验初鱼平均重量) / 试验初鱼平均重量  $\times 100\%$

特定生长率 = (ln [试验末鱼平均重量] - ln [试验初鱼平均重量]) / 试验时间  $\times 100\%$

饵料系数 = 饲料消耗量 / 鱼重量增加量  $\times 100\%$

肝体比 = 试验末鱼肝重量 / 试验末鱼重量  $\times 100\%$

肥满度 = 试验末鱼重量 / 试验末鱼体长度  $\times 100\%$

死亡率 = (试验初鱼体尾数 - 试验末鱼体尾数) / 试验初鱼体尾数  $\times 100\%$

## 1.5 数据统计与分析

数据用SPSS11.5软件统计,用单因子方差分析和LSD多重比较法进行差异显著性检验,结果用 $\bar{x} \pm SD$ 表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 日粮碳水化合物水平对翘嘴红鲌增重的影响

由表2可知,在等能量的条件下,随着碳水化合物添加量的增加,鱼体增重率呈现下降趋势,饵料系数呈现增加趋势,三组之间饵料系数没有显著影响。与无碳水化合物组相比,高碳水化合物组增重率和特定生长率显著( $P < 0.05$ )降低了23.09%、16.45%,中碳水化合物组没有显著变化。

### 2.2 日粮碳水化合物水平对翘嘴红鲌肝体比、内脏比及肥满度的影响

在等能量的条件下,随着碳水化合物添加量的增加(表3),死亡率、肥满度、内脏比等没有显著

变化。高碳水化合物组与中碳水化合物组相比, 肝体比显著 ( $P < 0.05$ ) 增加了 40.48%, 其他两组之间肝体比没有显著差异, 这表明长期饲喂高碳水化合物可能增加肝体比, 造成肝脏肿大。

表 2 日粮碳水化合物水平对翘嘴红鲌增重率与饵料系数的影响 ( $n=3$ )

Table 2 Effect of different carbohydrate levels in dietary on weight gain rate and feed conversion rate of topmouth culter

| 碳水化合物水平/%<br>Levels of digestible carbohydrate | 初均重量/g<br>Initial average weight | 末均重量/g<br>Final average weight | 增重率/%<br>Weight gain rate    | 特定增长率/%<br>Specific growth rate | 饵料系数<br>Feed onversion rate |
|--|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 0  | 41.49 ± 1.47                     | 97.40 ± 11.53                  | 134.36 ± 19.41 <sup>a</sup>  | 1.52 ± 0.14 <sup>a</sup>        | 1.30 ± 0.19                 |
| 14.45  | 40.95 ± 0.90                     | 89.81 ± 5.41                   | 119.40 ± 12.44 <sup>ab</sup> | 1.40 ± 0.10 <sup>ab</sup>       | 1.46 ± 0.18                 |
| 23.98  | 40.34 ± 1.68                     | 81.99 ± 4.21                   | 103.33 ± 10.14 <sup>b</sup>  | 1.27 ± 0.09 <sup>b</sup>        | 1.57 ± 0.29                 |

注: 同一列数据中不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

Note: Within the same column different letters are significantly different ( $P < 0.05$ ), and it is the same as follows.

表 3 日粮碳水化合物水平对翘嘴红鲌肝体比、内脏比指数及肥满度的影响 ( $n=3$ )

Table 3 Effect of different carbohydrate levels in dietary on hepatosomatic index, viserosomatic index and fullness coefficient of topmouth culter

| 碳水化合物水平/%<br>Levels of digestible carbohydrate | 肝体比/%<br>Hepatosomatic index | 内脏比/%<br>Viserosomatic index | 肥满度/%<br>Fullness coefficient | 死亡率/%<br>Mortality rate |
|--|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 0  | 0.55 ± 0.05 <sup>ab</sup>    | 13.13 ± 2.69                 | 0.99 ± 0.02                   | 6.67 ± 1.15             |
| 14.45  | 0.42 ± 0.02 <sup>b</sup>     | 10.84 ± 2.22                 | 1.03 ± 0.07                   | 2.00 ± 1.00             |
| 23.98  | 0.59 ± 0.11 <sup>a</sup>     | 13.69 ± 3.34                 | 1.04 ± 0.03                   | 5.33 ± 3.06             |

### 2.3 日粮碳水化合物水平对翘嘴红鲌血液指标的影响

随着碳水化合物添加量的增加, 血糖含量有增加趋势 (表 4)。与无碳水化合物组相比, 高碳水化合物组血糖显著增加了 48.26% ( $P < 0.05$ ); 与中碳水化合物组相比, 高碳水化合物组甘油三酯含量显著增加了 113.12% ( $P < 0.05$ ), 无碳水化合物组胆固醇含量显著降低 34.08% ( $P < 0.05$ ), 其他指标差异不显著。

表 4 日粮碳水化合物水平对翘嘴红鲌血液生化指标的影响 ( $n=9$ )

Table 4 Effect of different carbohydrate levels in dietary on plasma biochemical indices of topmouth culter

| 碳水化合物水平/%<br>Levels of digestible carbohydrate | 血糖含量/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$<br>Plasma glucose content | 甘油三酯含量/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$<br>Plasma triglyceride content | 胆固醇含量/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$<br>Plasma cholesterol content |
|--|---|--|--|
| 0  | 5.47 ± 0.58 <sup>b</sup>  | 3.38 ± 1.00 <sup>ab</sup>  | 3.23 ± 0.64 <sup>b</sup>   |
| 14.45  | 6.89 ± 1.77 <sup>ab</sup>   | 2.21 ± 0.48 <sup>b</sup>   | 4.90 ± 0.87 <sup>a</sup>   |
| 23.98  | 8.11 ± 0.95 <sup>a</sup>  | 4.71 ± 1.17 <sup>a</sup>   | 4.62 ± 0.78 <sup>ab</sup>  |

### 2.4 日粮碳水化合物水平对翘嘴红鲌肝脏代谢酶活性的影响

由表 5 可知, 随着碳水化合物添加量的增加, GK 与 PK 活性有增加趋势, HK 与 PEPCK 活性呈现降低趋势。与无碳水化合物组比较, 高碳水化合物组 GK 与 PK 活性显著 ( $P < 0.05$ ) 增加了 190.61%、307.14%; 中碳水化合物组 HK 活性显著 ( $P < 0.05$ ) 降低 73.67%。与中碳水化合物组比较, 高碳水化合物组 GK 活性显著 ( $P < 0.05$ ) 增加了 118.05%, 其他指标差异不显著。

表 5 日粮碳水化合物水平对翘嘴红鲌肝脏糖代谢酶活性的影响 ( $n=9$ )

Table 5 Effect of different carbohydrate levels in dietary on activities of hepatic metabolic enzymes of topmouth culter

| 碳水化合物水平/%<br>Levels of digestible carbohydrate | 葡萄糖激酶活性/<br>$\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$<br>GK activity | 己糖激酶活性/<br>$\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$<br>HK activity | 丙酮酸激酶活性/<br>$\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$<br>PK activity | 磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶/<br>$\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$<br>PEPCK activity |
|--|---|--|---|--|
| 0  | 2.66 ± 0.44 <sup>b</sup>  | 2.38 ± 1.16 <sup>a</sup>   | 6.02 ± 2.67 <sup>b</sup>  | 9.17 ± 0.99 <sup>a</sup>   |
| 14.45  | 3.38 ± 0.53 <sup>b</sup>  | 0.89 ± 0.81 <sup>b</sup>   | 8.83 ± 7.01 <sup>ab</sup>   | 8.49 ± 1.08 <sup>a</sup>   |
| 23.98  | 7.37 ± 1.89 <sup>a</sup>  | 1.68 ± 0.43 <sup>ab</sup>  | 24.51 ± 12.91 <sup>a</sup>  | 6.60 ± 3.12 <sup>a</sup>   |

### 2.5 日粮碳水化合物水平对翘嘴红鲌鱼体成分的影响

饲料中碳水化合物水平对鱼体的水分和脂肪含量无显著影响。与无碳水化合物组相比, 高碳水化合物

物组鱼体粗蛋白、灰分含量显著降低了 8.25%、12.88% ( $P < 0.05$ )；肝胰脏粗蛋白、粗脂肪含量显著增加了 12.79%、44.88% ( $P < 0.05$ )。与中碳水化合物组相比，高碳水化合物肝胰脏粗蛋白、粗脂肪含量显著增加了 4.48%、55.27% ( $P < 0.05$ )，其他组之间没有显著差异 (表 6)。

表 6 日粮碳水化合物水平对翘嘴红鲌营养成分的影响 ( $n = 3$ )

Table 6 Effect of different carbohydrate levels in dietary on the nutrition composition of topmouth culter

| 碳水化合物水平/%<br>Levels of digestible<br>carbohydrate | 肌肉/% Muscle    |                            |                      |                          | 肝胰脏/% Hepatopancreas |                           |                          |
|---|----------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------|
|   | 水分<br>Moisture | 粗蛋白<br>Crude protein       | 粗脂肪<br>Ether extract | 灰分<br>Ash                | 水分<br>Moisture       | 粗蛋白<br>Crude protein      | 粗脂肪<br>Ether extract     |
| 0   | 78.21 ± 0.58   | 18.80 ± 0.30 <sup>a</sup>  | 1.24 ± 0.33          | 1.63 ± 0.02 <sup>a</sup> | 70.58 ± 0.97         | 12.85 ± 0.72 <sup>b</sup> | 2.54 ± 0.24 <sup>a</sup> |
| 14.45   | 78.21 ± 0.59   | 18.11 ± 0.94 <sup>ab</sup> | 1.12 ± 0.46          | 1.60 ± 0.06 <sup>a</sup> | 71.21 ± 1.08         | 13.87 ± 0.68 <sup>b</sup> | 2.37 ± 0.57 <sup>a</sup> |
| 23.98   | 78.46 ± 0.68   | 17.25 ± 0.88 <sup>b</sup>  | 1.16 ± 0.13          | 1.42 ± 0.01 <sup>b</sup> | 70.55 ± 1.07         | 14.49 ± 0.48 <sup>a</sup> | 3.68 ± 0.68 <sup>b</sup> |

### 3 讨论

普遍认为鱼类利用碳水化合物的能力较低<sup>[1]</sup>。饲料中碳水化合物水平对鱼类生长影响的研究结果存在一定的分歧：田丽霞<sup>[8]</sup>、Bergot<sup>[17]</sup>、Brauge 等<sup>[18]</sup>报道投喂等氮等能、饲料碳水化合物含量的多少用脂肪来平衡的饲料，结果表明高碳水化合物饲料对鱼体的生长没有显著影响，但是饲料中应控制含碳水化合物量；Panserat 等<sup>[5]</sup>和 Furuichi 等<sup>[19]</sup>报道，在鱼日粮中用部分可消化碳水化合物来代替部分蛋白质，对鱼的生长有一定的影响，甚至影响机体免疫<sup>[20]</sup>。本试验采用部分可消化碳水化合物来代替部分蛋白质，随碳水化合物水平增加，增重率降低；饵料系数增加的，摄入高碳水化合物饲料后生长可能会受阻。因此，有待进一步研究翘嘴红鲌高碳水化合物的需要量。

肝脏是机体的重要代谢器官，当摄食不同碳水化合物水平饲料时，吸收的糖类很大一部分转化为脂肪在肝胰脏与肠系膜中积累<sup>[8,21]</sup>。本试验也表明高碳水化合物增加了内脏比与肝体比，肝脏中的脂肪与粗蛋白也显著增加了，这与 Panserat 等<sup>[5]</sup>和蔡春芳<sup>[9]</sup>分别在虹鳟、青鱼、鲫鱼试验中结果是一致的。在饲料总能相同时，脂肪蓄积率反映了各种能量营养素，尤其是碳水化合物和脂肪的转化积累情况。从对鱼体肌肉肉质影响来看，本试验在日粮等能量的条件下，饲料中碳水化合物水平对鱼体的水分、脂肪含量无显著影响，但是高碳水化合物组比低碳水化合物组显著降低鱼体粗蛋白、灰分含量，这提示鱼体对无碳水化合物高蛋白组沉积蛋白的能力强于高碳水化合物低蛋白组，这可能是由于吸收的饲料碳水化合物不是全部转化为脂肪，还有一部分以糖原形式贮存于体内，这与高碳水化合物组导致肝胰脏及内脏的脂肪含量增加的研究结论是一致的<sup>[9,21]</sup>。

葡萄糖分解产生能量的一个重要过程就是糖酵解。糖酵解的第一步是葡萄糖磷酸化生成 6-磷酸葡萄糖 (G6P)，催化这个反应的酶有 HK 和 GK，是调节血糖的关键酶。HK 会被其产物 G6P 反馈抑制，而 GK 不会被 G6P 抑制<sup>[22]</sup>。早期研究表明鱼类 GK 缺乏或活性很低<sup>[23-24]</sup>，被认为是限制鱼体利用糖的原因之一。但是后来 Tranulis 等<sup>[2]</sup>在大西洋鲑，Borrebaek 等<sup>[3]</sup>在河鲈，Panserat 等<sup>[5-6]</sup>在大马哈鱼、虹鳟和鲤鱼，Capilla 等<sup>[25]</sup>在虹鳟，蔡春芳<sup>[9]</sup>在青鱼与鲫鱼的肝胰脏中分离到了 GK，并发现饲料中高碳水化合物能增加肝胰脏 GK 活性及表达。在哺乳类动物中，摄食高碳水化合物日粮也增加了 GK 酶活性及其表达，并增加了血糖及胰岛素的水平<sup>[26]</sup>。本试验也表明随着碳水化合物添加量的增加，GK 活性有增加趋势，血糖也相应增加。

GK、PK 是糖酵解的限速酶之一，其活性的增加表明糖酵解增加。蔡春芳<sup>[9]</sup>、Cowey 等<sup>[27]</sup>、Suárez 等<sup>[28]</sup>研究表明日粮中高碳水化合物水平可以诱导鳟鱼、欧鳊、青鱼等肝脏 PK 活性。本试验也表明随着碳水化合物添加量的增加，PK 活性增加。提示鱼体在摄食高碳水化合物饲料后糖酵解增强，这印证了机体需要更多的能量来消耗高糖造成的机体血糖、血脂的负载。

糖原异生的 3 个关键酶 D-果糖磷酸酶 (FDP)、丙酮酸羧化酶 (PC) 和 PEPCK 在虹鳟的许多组织中都存在，以肝脏及肾脏中活性较高<sup>[27]</sup>。有学者认为高蛋白饲料比高糖饲料更能促进糖原异生酶活性的提高<sup>[29]</sup>。在给断奶大鼠饲喂高糖饲料后 PEPCK 活性及 mRNA 都快速地降到一个很低的水平，并增加了血糖及胰岛素的水平<sup>[26]</sup>。本试验也表明随着碳水化合物添加量的增加，PEPCK 呈现降低趋势。

## 参考文献:

- [1] Wilson R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish [J]. *Aquaculture*, 1994, 124: 67-80
- [2] Tranulis M A, Dregni O, Christophersen B, et al. A glucokinase-like enzyme in the liver of Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1996, 114B(1): 35-39
- [3] Borrebaek B, Christophersen B. Hepatic glucose phosphorylating activities in perchDK (*Perca fluviatilis*) after different dietary treatments [J]. *Comp Biochem Physiol*, 2000, 125B: 387-393
- [4] Panserat S, Médale F, Brèque J, et al. Lack of significant long term effect of dietary carbohydrates on hepatic glucose-6-phosphatase expression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Nutr Biochem*, 2000, 11(1): 22-29
- [5] Panserat S, Médale F, Brèque J, et al. Hepatic glucokinase is induced by dietary carbohydrates in rainbow trout, gilthead seabream, and common carp [J]. *Am J physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2000, 278: 1164-1170
- [6] Panserat S, Capilla E, Gutierrez J, et al. Glucokinase is highly induced and glucose-6-phosphatase poorly repressed in liver of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by a single meal with glucose [J]. *Comp Biochem Physiol*, 2001, 128B: 275-283
- [7] Kirchner S, Kaushik S, Panserat S, et al. Effect of partial substitution of dietary protein by a single gluconeogenic dispensable amino acid on hepatic gluco metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Comp Biochem and Physiol*, 2003, 134A(2): 337-347
- [8] 田丽霞. 草鱼的糖代谢研究 [D]. 广州: 中山大学, 2003: 10-44
- [9] 蔡春芳. 青鱼和鲫鱼对饲料糖的利用及其代谢机制的研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2004: 70-87
- [10] Baevefjord G, Hamre K, Harboe T. Macronutrient composition of formulated diets for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) juveniles. II: protein/lipid levels at low carbohydrate [J]. *Aquaculture*, 2005, 244(1/4): 283-291
- [11] 尹洪滨, 尹家胜, 徐伟, 等. 兴凯湖翘嘴红鲌肌肉营养成分分析 [J]. *中国水产科学*, 2003, 10(2): 82-84
- [12] 陈建明, 叶金云, 王友慧, 等. 翘嘴红鲌幼鱼对蛋白质的需要量 [J]. *水产学报*, 2005, 29(1): 82-85
- [13] 王桂芹, 周洪琪, 董永利, 等. 翘嘴红鲌幼鱼最适蛋白需求量的研究 [J]. *吉林农业大学学报*, 2004, 26(5): 556-560
- [14] 陈建明, 叶金云, 潘茜, 等. 翘嘴红鲌种饲料中脂肪适宜水平的初步研究 [J]. *水产养殖*, 2005, 26(2): 18-19
- [15] Lowry O H, Rosebrough N J, Farr A L, et al. Protein measurement with the Folin phenol reagent [J]. *Biol Chem*, 1951, 193: 265-275
- [16] 高学军, 李庆章. 猪囊尾蚴体内发育过程中能量代谢变化规律的研究 [J]. *东北农业大学学报*, 2004, 35(3): 334-337
- [17] Bergot E. Carbohydrate in rainbow trout diets: effects of the level and source of carbohydrate and the number of meals on growth and body composition [J]. *Aquaculture*, 1979, 18(2): 157-167
- [18] Brauge C, Médale F, Corraze G. Effect of dietary carbohydrate levels on growth, body composition and glycaemia in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, reared in seawater [J]. *Aquaculture*, 1994, 123(1/2): 109-120
- [19] Furuichi M, Yone Y. Effect of dietary dextrin levels on growth and feed efficiency, the chemical composition of liver and dorsal muscle, and the absorption of dietary protein and dextrin in fishes [J]. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 1980, 46: 225-229
- [20] Vielma J, Koskela J, Ruohonen K, et al. Optimal diet composition for European whitefish (*Coregonus lavaretus*): carbohydrate stress and immune parameter responses [J]. *Aquaculture*, 2003, 225(1/4): 3-16
- [21] 田丽霞, 刘永坚, 冯健, 等. 不同种类淀粉对草鱼生长、肠系膜脂肪沉积和鱼体组成的影响 [J]. *水产学报*, 2002, 26(3): 247-251
- [22] 沈同, 王镜岩. 生物化学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1991: 79-80
- [23] Tranulis M A, Christophersen B, Blom K A, et al. Glucose dehydrogenase, glucose-6-phosphate dehydrogenase and hexokinase in liver of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Effects of starvation and temperature variations [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1991, 99B: 687-691
- [24] Moon T W, Foster G D. Tissue carbohydrate metabolism, gluconeogenesis and hormonal and environmental influences [M] // Hochachka P W. *Metabolic Biochemistry*. New York: Elsevier, 1995: 65-100
- [25] Capilla E, Médale F, Navarro I, et al. Muscle insulin binding and plasma levels in relation to liver glucokinase activity, glucose metabolism and dietary carbohydrates in rainbow trout [J]. *Regulatory Peptides*, 2003, 110(2): 123-132
- [26] Girard J, Perdureau D, Narkewicz M, et al. Hormonal regulation of liver phosphoenolpyruvate carboxykinase and glucokinase gene expression at weaning in the rat [J]. *Biochimie*, 1991, 73(1): 71-76
- [27] Cowey C B, Knox D, Walton M J, et al. The regulation of gluconeogenesis by diet and insulin in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Br J Nutr*, 1977, 38a: 463-470
- [28] Suárez M D, Hidalgo M C, García Gallego M, et al. Influence of the relative proportions of energy yielding nutrients on liver intermediary metabolism of the European eel [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1995, 111A(3): 421-428
- [29] Christiansen D C, Klungsoyr L. Metabolic utilization of nutrients and the effects of insulin in fish [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1987, 88B(3): 701-711