

doi: 10.7541/2017.14

## 硫胺素水平对团头鲂幼鱼生长、肝组织沉积量及血液生化指标的影响

李鹏飞 王莹 蒋广震 王菲 刘文斌

(南京农业大学动物科技学院, 江苏省水产动物营养重点实验室, 南京 210095)

**摘要:** 为研究硫胺素对团头鲂幼鱼生长、组织沉积量和血液生化指标的影响, 试验采用单因素浓度梯度设计, 配制了6组等氮等能的半纯合饲料, 各组硫胺素含量分别为0、0.51、0.98、1.59、2.13和2.68 mg/kg。选取团头鲂幼鱼720尾[初重为(0.30±0.01) g], 按随机原则分为6组, 每组4重复, 各重复30尾, 日投饵3次, 饲喂8周后采集样品。结果表明, 与对照组相比, 0.98、1.59、2.13、和2.68 mg/kg添加组的增重率和特定生长率均显著提高( $P<0.05$ )。1.59和2.13 mg/kg硫胺素添加组的成活率显著高于对照组( $P<0.05$ )。随着饲料中硫胺素含量的升高, 血浆葡萄糖含量呈现先下降后上升的趋势, 血浆葡萄糖水平在1.59 mg/kg时为最小值( $P<0.05$ )。对照组与0.51 mg/kg硫胺素组相比血浆中丙酮酸含量差异不显著, 但显著高于其他试验组( $P<0.05$ )。以团头鲂幼鱼的增重率和肝脏硫胺素沉积量为评价指标, 进行双折线回归分析, 饲料中硫胺素适宜添加水平分别为1.48和1.84 mg/kg。

**关键词:** 团头鲂; 硫胺素; 生长; 肝脏硫胺素沉积量; 血液生化

**中图分类号:** S963.73      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3207(2017)01-0108-06

硫胺素, 也称维生素B<sub>1</sub>, 以焦磷酸硫胺素(TPP)的形式参与动物体内碳水化合物氧化分解及其转化为脂类等代谢反应<sup>[1]</sup>, 是水生动物的必需的水溶性维生素之一, 如对鲤鱼(*Cyprinus carpio*)<sup>[2]</sup>、虹鳟(*Salmo gairdneri*)<sup>[3]</sup>、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)<sup>[4]</sup>和斑点叉尾鲟(*Ictalurus punctatus*)<sup>[5]</sup>等的研究表明, 当饲料中硫胺素满足不了需求时, 鱼类会有厌食、生长缓慢、运动失常、鳍出血和体色异常等症状。已有的关于鱼类对硫胺素需求量的研究表明硫胺素的最适需求量大菱鲆<sup>[4]</sup>为0.6—2.6 mg/kg、虹鳟<sup>[3]</sup>为1.0 mg/kg、斑点叉尾鲟<sup>[5]</sup>为1.0 mg/kg、奥尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)<sup>[6]</sup>为3.5 mg/kg、建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)<sup>[7]</sup>为1.02 mg/kg、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)<sup>[8]</sup>为6.80—8.56 mg/kg、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)<sup>[9]</sup>为1.16—4.49 mg/kg、吉富罗非鱼(GIFT *Oreochromis niloticus*)<sup>[10]</sup>为1.16—2.06 mg/kg。参照以往

的试验方法, 通常将增重率<sup>[9]</sup>、血液或者血清中的乳酸和丙酮酸含量<sup>[3, 6, 10]</sup>等血液生化指标, 和组织中硫胺素的沉积量<sup>[10]</sup>作为评价水产动物硫胺素缺乏症的一些指标。

近年来, 团头鲂的养殖量已经攀升到我国淡水鱼类养殖的第六名<sup>[11, 12]</sup>, 团头鲂以其肉质鲜嫩深受人们喜爱, 因此随着团头鲂养殖规模的继续扩大, 全价配合饲料的开发刻不容缓。目前, 有关团头鲂基本营养素需求的研究已有部分报道<sup>[13]</sup>, 本实验室前期对团头鲂饲料蛋白、脂肪和糖<sup>[14—16]</sup>等大量营养素需求量进行了研究, 并考察了团头鲂对常见饲料原料的消化率。关于团头鲂对维生素需求量的研究已有报道的包括生物素<sup>[17]</sup>、吡哆醇<sup>[18]</sup>、胆碱<sup>[19]</sup>等, 目前仍未见关于团头鲂对硫胺素需求量的研究。本试验通过研究饲料中添加不同水平的硫胺素对团头鲂幼鱼生长、血浆生化指标和肝脏硫胺素沉积量的影响, 以得出团头鲂幼鱼的适宜硫胺素

收稿日期: 2016-01-26; 修订日期: 2016-06-15

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项-国家大宗淡水鱼类产业技术体系资金(No: CARS-46-20); 农业公益性行业科研专项-水产养殖动物营养需求与高效配合饲料开发(No: 201003020)资助 [Supported by the National Technology System for Conventional Freshwater Fish Industries of China (CARS-46-20); Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest of Ministry (201003020)]

作者简介: 李鹏飞(1990—), 男, 河南开封人; 硕士研究生; 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: 2014805092@njau.edu.cn

通信作者: 刘文斌(1966—), 教授, 博士生导师; 主要从事水产动物生理与营养学。E-mail: wbliu@njau.edu.cn

需求量, 为开发出团头鲂全价配合饲料提供理论依据, 并为团头鲂幼鱼营养素需求量提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验饲料

本试验采用单因素试验设计, 配制6组半纯合饲料, 分别添加硫酸素(Sigma-Aldrich公司)含量为0、0.5、1、1.5、2和2.5 mg/kg。试验饲料中蛋白源为酪蛋白、明胶和鱼粉, 糖源为玉米淀粉, 填充物为微晶纤维素, 以鱼油:豆油按照1:1添加量为脂肪源配制等氮等能的半纯合饲料(即基础饲料), 其营养成分按照团头鲂幼鱼的适宜需求量进行配制<sup>[13, 14]</sup>。并以羧甲基纤维素钠为黏结剂, 添加部分水, 将粉碎后的原料逐级混匀, 后用小型制粒机制粒, 将饲料颗粒风干后避光保存于-20℃冰箱冷藏备用。在饲料制作完成后, 测定各试验组饲料的硫酸素实际含量分别为0、0.51、0.98、1.59、2.13和2.68 mg/kg。饲料组成及营养成分见表1。

### 1.2 试验用鱼及饲养管理

试验鱼购自江苏扬州国家级良种场, 饲喂于江苏省淡水水产研究所禄口基地。驯化1周, 期间投

喂不含硫酸素的基础日粮。驯化后进行分组, 挑选身体健壮、规格整齐的团头鲂720尾[初重为(0.30±0.01) g], 按随机原则分为6组, 每组4重复, 各重复30尾。试验鱼采用室内流水水族箱(规格为3 m×0.8 m×0.8 m)饲养, 每日投饲3次, 饱食投喂, 30min后观察摄食情况并吸取残饵, 养殖周期为8周。试验期间全程使用经过滤、紫外灭菌的池塘水, 24h充氧, pH为7.2—7.4, 水温为(28±4)℃, 流水速度为2 L/min, 溶氧>5.0 mg/L, 氨氮含量<0.5 mg/L, 亚硝酸盐<0.05 mg/L。

### 1.3 指标测定与方法

**生产性能统计和样本采集** 在养殖试验完成后, 将鱼饥饿24h, 统计每个水族箱的尾数并称总重, 从中随机取6尾鱼, 然后采用浓度为100 mg/L间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐(MS-222, Sigma-Aldrich公司)将鱼麻醉。用一次性注射器从尾静脉采血, 采集的血液置于肝素抗凝管中, 于4℃下3500 r/min离心10min, 收集血浆, 保存于-20℃待测。肝脏用0.85%生理盐水冲洗, 用滤纸吸干, 迅速放入液氮罐中, 后转移至-70℃冷冻保存, 用于测定肝脏硫酸素的含量。

表1 基础饲料配方及营养组成(%以风干样为基础)

Tab. 1 Formulation and proximate composition of the basal diet (% air-dry basis)

成分Ingredient	含量Content (%)	营养成分Nutrient	含量Content (%)
鱼粉 <sup>1</sup> Fish meal	10.30	粗蛋白Crude protein	31.02
酪蛋白 <sup>2</sup> Casein	24.00	粗脂肪Ether extract	6.86
明胶 <sup>3</sup> Gelatin	6.00	粗纤维Crude fiber	13.23
玉米淀粉 <sup>1</sup> Corn starch	37.40	粗灰分Ash	8.54
鱼油 <sup>1</sup> Fish oil	3.1	总能Gross energy (MJ/kg)	17.89
豆油 <sup>1</sup> Soybean oil	3.1		
纤维素 <sup>4</sup> Cellulose	11.10		
磷酸二氢钙 <sup>5</sup> Calcium biphosphate	1.80		
羧甲基纤维素 <sup>6</sup> Carboxymethyl cellulose	2.00		
预混料(无VB1) <sup>7</sup> Premix without VB1 <sup>7</sup>	1.20		

注: <sup>1</sup>购自江苏正昌饲料公司(其中鱼粉为进口的秘鲁鱼粉); <sup>2</sup>购自甘肃华安生物科技集团; <sup>3</sup>购自上海鲁博明胶有限公司; <sup>4</sup>购自上海益丰食品添加剂有限公司; <sup>5</sup>购自南京华牧动物科技研究所; <sup>6</sup>购自国药集团化学试剂有限公司; <sup>7</sup>预混料提供以下矿物质(mg/kg)和维生素(IU或者mg/kg): CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 2.0 g; FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 25g; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 22 g; MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, 7 g; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 0.04 g; KI, 0.026 g; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 0.1 g; 维生素A, 900000IU; 维生素D, 200000IU; 维生素E, 4500 mg; 维生素K<sub>3</sub>, 220 mg; 维生素B<sub>2</sub>, 1090 mg; 维生素B<sub>6</sub>, 500 mg; 烟酸, 2000 mg; 维生素B<sub>12</sub>, 1.6 mg; 维生素C, 5000 mg; 泛酸, 1000 mg; 叶酸, 165 mg; 胆碱, 60000 mg; 肌醇, 15000 mg; 生物素 100 mg

Note: <sup>1</sup> Provided by Zhengchang Feed Industry Co., Ltd (Jiangsu, China) (The fish meal is bought from Peru); <sup>2</sup> Provided by Huaan Biotechnology Co., Ltd (Gansu, China); <sup>3</sup> Provided by Bolu Casein Co., Ltd (Shanghai, China); <sup>4</sup> Provided by Yifeng Food Additives Co., Ltd (Shanghai, China); <sup>5</sup> Provided by Huamu Animal Science Research Institute (Nanjing, China); <sup>6</sup> Provided by Sinopharm Chemical Reagent Co., Ltd (Beijing, China); <sup>7</sup> Premix supplied the following minerals (g/kg) and vitamins (IU or g/kg): CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 2.0 g; FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 25 g; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 22 g; MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, 7 g; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 0.04 g; KI, 0.026 g; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 0.1 g; Vitamin A, 900000IU; Vitamin D, 200000IU; Vitamin E, 4500 mg; Vitamin K<sub>3</sub>, 220 mg; Vitamin B<sub>2</sub>, 1090 mg; Vitamin B<sub>6</sub>, 500 mg; Niacin, 2000 mg; Vitamin B<sub>12</sub>, 1.6 mg; Vitamin C, 5000 mg; Pantothenate, 1000 mg; Folic acid, 165 mg; Choline, 60000 mg; Myoinositol 15000 mg; Biotin 100 mg

生长性能的计算公式如下:

增重率(Weight gain,  $WG$ , %) $= (W_t - W_0) \times 100 / W_0$

特定生长率(Specific growth rate,  $SGR$ , %/d) $= [\ln(W_t) - \ln(W_0)] \times 100 / t$

饲料系数(Feed conversion ratio,  $FCR$ ) $= F / (W_t - W_0)$

式中 $W_0$ 为鱼体初重(g);  $W_t$ 为鱼体末重(g);  $F$ 为摄食量(g);  $t$ 为饲养天数(d)。

**样品测定** 饲料中粗蛋白采用全自动凯氏定氮仪测定; 粗脂肪采用索氏抽提法测定; 粗纤维采用纤维分析仪测定; 灰分采用高温灼烧法测定; 总能采用氧弹法测热仪测定。饲料和肝脏中硫胺素的含量采用高压液相色谱法测定<sup>[20]</sup>, 具体步骤如下: 称取0.5 g左右饲料和肝脏样品, 加入3 mL 0.01 mol/L盐酸(HCL)后匀浆, 再加入1 mL 10%三氯乙酸沉淀蛋白, 后将混合液离心10min (4°C, 12500×g)。用乙醚将上层清液清洗3遍, 然后将乙醚蒸发除去。经0.21 μm滤膜过滤后, 然后用高压液相色谱系统(HP 1100)检测, 色谱柱为OSD Hypersil柱(5 μm, 4 mm×160 mm)。流动相由25 mmol/L磷酸氢钾和甲醇按85:15组成, 流速为1.0 mL/min。检测系统为荧光检测器, 激发光360 nm, 发射光425 nm。每次进样前, 需先加入0.1%铁氰化钾和15%氢氧化钠进行柱前衍生。取适量硫胺素样品溶解在0.01 mol/L盐酸中作为标准样品。

**血浆生化指标的测定** 血糖、丙酮酸和乳酸, 均采用南京建成生物工程研究所的试剂盒检测。血糖测定采用葡萄糖氧化酶-过氧化物酶法, 丙酮酸测定采用丙酮酸-氧化酶法, 乳酸测定采用LAC酶显色法测定, 具体操作方法参见试剂盒说明书。

#### 1.4 数据统计与分析

试验数据采用采用SPSS 16.0软件分析, 试验结果以平均值±标准误(Mean±SE)表示, 单因素方差分

析方法(One-way ANOVA), 并用Duncan氏多重比较法对数据进行显著性检验, 显著性水平设为 $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 饲料中硫胺素含量对团头鲂幼鱼生长性能的影响

由表2可知, 饲料硫胺素含量为0时, 相比添加量为0.98、1.59、2.13和2.68 mg/kg添加组的增重率显著降低( $P < 0.05$ ), 当硫胺素含量进一步升高时, 变化不显著( $P > 0.05$ )。饲料硫胺素0添加组的特定生长率显著低于0.98、1.59、2.13和2.68 mg/kg添加组( $P < 0.05$ ), 当硫胺素含量继续升高时, 差异不显著( $P > 0.05$ )。饲料硫胺素含量为2.13 mg/kg组的饲料系数最低, 且显著低于0组( $P < 0.05$ ), 但和其余组之间差异不显著( $P > 0.05$ )。1.59和2.13 mg/kg硫胺素添加组成活率显著高于0和0.51 mg/kg硫胺素添加组( $P < 0.05$ ), 但和其他各组差异不显著( $P > 0.05$ )。

根据增重率与饲料中硫胺素含量的关系, 以饲料中硫胺素含量为横坐标, 增重率为纵坐标, 进行双折线回归分析得出 $Y = 1287.13 - 163.6(X - 1.48)$  ( $R^2 = 0.958$ ), 对其求解, 当饲料硫胺素水平为1.48 mg/kg时, 团头鲂幼鱼增重率最大(图1)。

### 2.2 饲料中硫胺素含量对团头鲂幼鱼肝脏硫胺素沉积量的影响

肝脏硫胺素沉积量随着饲料中硫胺素含量的增加而上升, 当硫胺素含量为2.13 mg/kg时达到最大值, 显著高于0添加组( $P < 0.05$ ), 相比其余各组差异性不显著( $P > 0.05$ )。以饲料中硫胺素添加量为横坐标, 肝脏硫胺素沉积量为纵坐标, 进行双折线回归分析, 得出 $Y = 563.01 - 52.87(X - 1.84)$  ( $R^2 = 0.931$ ), 故团头鲂幼鱼对硫胺素的适宜需求量为1.84 mg/kg (图2)。

表2 不同硫胺素含量对团头鲂幼鱼增重和饲料转化率的影响

Tab. 2 Effects of dietary thiamin levels on weight gain and feed conversion ratio of juvenile *Megalobrama amblycephala*

实测值 Measured value (mg/kg)	增重率 $WG$ (%)	特定生长率 $SGR$ (%)	饲料系数 $FCR$	成活率 Survival (%)
0	1030.64±87.16 <sup>b</sup>	4.27±0.26 <sup>b</sup>	3.58±0.09 <sup>a</sup>	72.13±3.80 <sup>b</sup>
0.51	1132.22±62.15 <sup>ab</sup>	4.46±0.16 <sup>ab</sup>	3.45±0.23 <sup>ab</sup>	81.72±1.79 <sup>b</sup>
0.98	1236.42±63.17 <sup>a</sup>	4.60±0.16 <sup>a</sup>	3.36±0.23 <sup>ab</sup>	89.81±1.69 <sup>ab</sup>
1.59	1285.03±41.42 <sup>a</sup>	4.68±0.10 <sup>a</sup>	3.19±0.09 <sup>ab</sup>	94.25±1.97 <sup>a</sup>
2.13	1293.05±72.38 <sup>a</sup>	4.67±0.18 <sup>a</sup>	3.15±0.09 <sup>b</sup>	95.33±2.15 <sup>a</sup>
2.68	1284.90±81.63 <sup>a</sup>	4.65±0.20 <sup>a</sup>	3.18±0.09 <sup>ab</sup>	88.75±2.91 <sup>ab</sup>

注: 表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ); 下同

Note: Values with different small letter superscripts in the same column mean significant difference ( $P < 0.05$ ). The same applies below

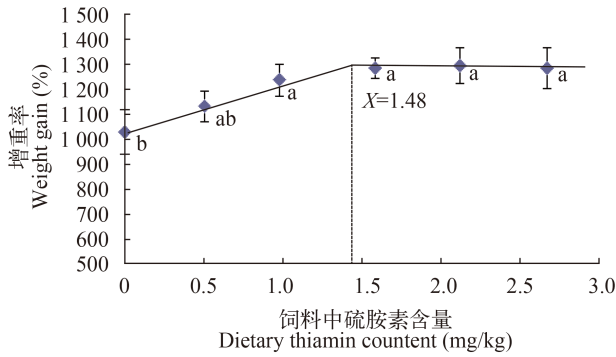


图1 饲料中硫胺素含量与团头鲂幼鱼增重率之间的关系

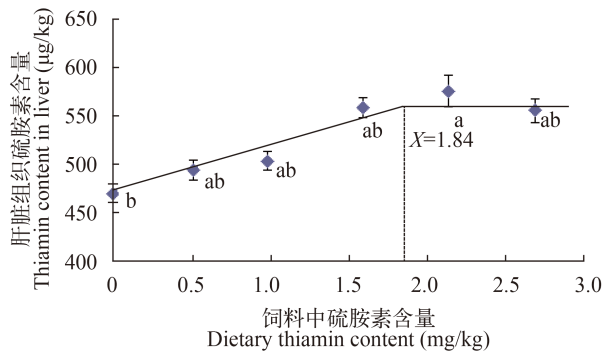
Fig. 1 The relationship between dietary thiamin levels and WG of juvenile *Megalobrama amblycephala*

图2 饲料中硫胺素与团头鲂幼鱼肝脏硫胺素含量之间的关系

Fig. 2 The relationship between dietary thiamin levels and liver thiamin contents of juvenile *Megalobrama amblycephala*

### 2.3 饲料中硫胺素添加量对团头鲂幼鱼血浆生化指标的影响

由表3可知,随着饲料中硫胺素含量的升高,血浆葡萄糖水平先下降后上升,在1.59 mg/kg饲料组时达到最小值,其次是2.13 mg/kg组,两组间差异性不显著( $P>0.05$ ),相比其他各组差异显著( $P<0.05$ )。0和0.51 mg/kg组血浆中丙酮酸含量较高,且0组显著高于0.98—2.68 mg/kg各组( $P<0.05$ ),但0.98—2.68 mg/kg这几组之间差异性不显著( $P>0.05$ )。血

表3 不同硫胺素含量对团头鲂幼鱼血浆生化指标的影响

Tab. 3 Effects of dietary thiamin levels on plasma biochemical parameters of blunt snout bream

实测值 Measured value (mg/kg)	葡萄糖 GLU (mmol/L)	丙酮酸 Pyruvate (mmol/gprot)	乳酸 Lactate (mmol/gprot)
0	4.37±0.55 <sup>a</sup>	0.16±0.01 <sup>a</sup>	5.24±0.85
0.51	4.23±0.21 <sup>a</sup>	0.16±0.00 <sup>ab</sup>	5.80±0.19
0.98	4.15±0.55 <sup>a</sup>	0.15±0.00 <sup>b</sup>	5.78±0.60
1.59	3.92±0.57 <sup>b</sup>	0.15±0.01 <sup>b</sup>	5.59±0.47
2.13	4.07±0.23 <sup>b</sup>	0.15±0.01 <sup>b</sup>	5.93±0.22
2.68	4.15±0.41 <sup>a</sup>	0.15±0.01 <sup>b</sup>	5.44±0.46

浆中乳酸含量各组间差异性不显著( $P>0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 饲料硫胺素添加量对团头鲂幼鱼生长指标和肝脏沉积量的影响

以增重率为评价指标,通过折线回归模型分析,得到团头鲂幼鱼适宜硫胺素需求量为1.48 mg/kg。这与草鱼(1.16—1.19 mg/kg)<sup>[9]</sup>和大菱鲂(0.6—2.6 mg/kg)<sup>[4]</sup>的需求量接近,高于鲤鱼(0.5 mg/kg)<sup>[2]</sup>、建鲤(1.02 mg/kg)<sup>[7]</sup>、虹鳟(1.0 mg/kg)<sup>[3]</sup>等的需求量,但低于军曹鱼(6.80—8.56 mg/kg)<sup>[8]</sup>、奥尼罗罗非鱼(3.5 mg/kg)<sup>[6]</sup>的需求量。有研究表明,鱼类的硫胺素需求量与饲料中的糖水平有关<sup>[21]</sup>,当日粮糖水平较高时,鱼类硫胺素的需求量会相应升高。团头鲂作为淡水草食性鱼类,对饲料中糖类的利用率较高<sup>[15]</sup>,饲料糖水平在淡水鱼类中处于较高水平,这可能是团头鲂幼鱼对硫胺素的需求量在各种鱼中处于较高水平的原因。此外,这种需求量的差异还可能与鱼的种类、生长阶段、食性、试验日粮的营养水平、养殖条件和评价指标等有关。在本次实验中,特定生长率和增重率在不同硫胺素添加水平表现出了相同的变化趋势,硫胺素0添加的对照组生长缓慢,特定生长率显著低于添加适量硫胺素的实验组,这和赵智勇<sup>[9]</sup>的研究相似,出现这种情况可能是因为对照组缺乏硫胺素导致团头鲂幼鱼体内糖代谢受阻,不能正常氧化供能和合成脂肪,加快了体内蛋白的供能消耗,从而表现出生长缓慢。另外,适宜水平的硫胺素添加能够降低团头鲂幼鱼的饲料系数,可能是因为硫胺素使得鱼体能够有效地利用饲料中的糖类,而糖分解的产物能够使鱼体更好地利用饲料中脂类和蛋白质<sup>[9]</sup>,从而提升饲料的利用率,降低饲料系数。

肝脏硫胺素沉积量也通常作为确定水产动物硫胺素需求量的评价指标<sup>[9, 10]</sup>,本试验结果表明随着饲料中硫胺素添加量的升高,肝脏组织中的硫胺素沉积量先升高后基本稳定,试验结果与赵智勇<sup>[9]</sup>和任春等<sup>[10]</sup>一致。通过双折线回归分析得出的团头鲂幼鱼对硫胺素需求量为1.84 mg/kg,高于通过增重率得出的结果,这与前人在维生素需求量中的研究相似<sup>[7, 19]</sup>,有研究表明,鱼类由外界摄取的维生素大部分用在稳定该维生素在体内状态的平衡<sup>[22]</sup>,而为了达到鱼体内部该种维生素的稳定,必须能摄取到比鱼类达到最大生长所需要的更多的维生素的浓度才能用于维持内部的稳定<sup>[23]</sup>,因此利用肝脏硫胺素沉积量来评价鱼类的适宜硫胺素需要量比

以增重率为评价的需求量偏大。

### 3.2 饲料硫胺素含量对团头鲂幼鱼成活率的影响

在本试验中,从第四周开始,0硫胺素组试验鱼开始出现厌食,游动缓慢,体色加深,死亡率增加等症状,这可能揭示硫胺素是团头鲂幼鱼生长所必需的营养物质,缺乏硫胺素对团头鲂幼鱼摄食、活动、体色均产生严重影响。硫胺素在鱼体内被合成焦磷酸硫胺素,作为辅酶促进糖类分解和糖的异生作用,在葡萄糖代谢过程中发挥重要作用,当饲料中缺乏硫胺素时可引起体内糖代谢受阻,导致氧化供能和脂肪合成功能异常,鱼体分解蛋白质供能,这可能是本试验中缺乏硫胺素组团头鲂幼鱼生长缓慢的原因之一。相关研究表明,硫胺素缺乏使斑点叉尾鲟<sup>[3]</sup>、虹鳟<sup>[5]</sup>和建鲤<sup>[7]</sup>等出现生长缓慢、厌食、死亡率升高等情况,和本试验结果相吻合。

### 3.3 饲料硫胺素添加量对团头鲂幼鱼血液生化的影响

本试验考察了试验鱼血浆葡萄糖、丙酮酸和乳酸水平,发现缺乏硫胺素组血浆丙酮酸含量较高,而适宜的硫胺素水平组血浆丙酮酸含量低,这与Morito等<sup>[3]</sup>、Lim等<sup>[6]</sup>和任春等<sup>[10]</sup>得出的结果一致。本实验可能揭示了硫胺素对丙酮酸的影响,当饲料中硫胺素不足时,可能造成团头鲂幼鱼体内丙酮酸氧化脱羧酶的合成量降低,使得丙酮酸无法正常转化为乙酰辅酶A,导致三羧酸循环障碍,糖的有氧化异常<sup>[24]</sup>,故血浆丙酮酸含量升高。在本实验中硫胺素缺乏组团头鲂幼鱼血糖水平显著高于其他组,这与赵智勇<sup>[9]</sup>的研究结果相似,可能原因是硫胺素缺乏造成的三羧酸循环障碍抑制了血糖的有氧化过程,进而导致血糖堆积。

综上所述,以团头鲂幼鱼的增重率和肝脏硫胺素沉积量为评价指标,进行双折线回归分析,饲料中硫胺素适宜添加量分别为1.48和1.84 mg/kg,添加硫胺素1.59—2.13 mg/kg能够提高团头鲂幼鱼的成活率。

### 参考文献:

- [1] Ziegler E E, Filer Jr L J. Present Knowledge of Nutrition [M]. International Life Sciences Institute (ILSI Press). 1996
- [2] AOE H, Masuda I, Mimura T, et al. Water-soluble vitamin requirements of carp. VI. Requirement for thiamin and effects of antithiamines [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1969, **35**: 456—465
- [3] Morito C L H, Conrad D H, Hilton J W. The thiamin deficiency signs and requirement of rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Richardson) [J]. *Fish Physiology & Biochemistry*, 1986, **1**(2): 93—104
- [4] Cowey C B, Adron J W, Knox D. Studies on the nutrition of marine flatfish. The thiamin requirement of turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. *British Journal of Nutrition*, 1975, **3**(34): 383—390
- [5] Murai T, Andrews J W. Thiamin requirement of channel catfish fingerlings [J]. *The Journal of Nutrition*, 1978, **108**(1): 176—180
- [6] Lim C, Aksoy M Y. Thiamin requirement of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2011, **6**(42): 824—833
- [7] Huang H H, Feng L, Liu Y, et al. Effects of dietary thiamin supplement on growth, body composition and intestinal enzyme activities of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2011, **17**(2): 233—240
- [8] Xiao L D. Studies on nutritional physiology of major water-soluble vitamins for cobia (*Rachycentron canadum*) [D]. Thesis for Master of Science. Ocean University of China, Qiangdao, China. 2009 [肖林栋. 军曹鱼(*Rachycentron canadum*)主要水溶性维生素营养生理研究. 硕士学位论文, 中国海洋大学, 青岛. 2009]
- [9] Zhao Z Y. Dietary myo-inositol, folic acid and thiamine requirement for grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [D]. Huazhong Agricultural University. Wuhan. 2007 [赵智勇. 草鱼鱼种对肌醇、叶酸和维生素B1营养需求量的研究. 华中农业大学, 武汉. 2007]
- [10] Ren C, Wen H, Huang F, et al. Dietary thiamin requirement of GIFT *Oreochromis niloticus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, **39**(4): 539—546 [任春, 文华, 黄凤, 等. 吉富罗非鱼对饲料中维生素B1的需要量. 水产学报, 2015, **39**(4): 539—546]
- [11] Cao W X. A biological study of *Magalobrama amblycephala* and *M. terminalis* of Liang-tse Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1960, **4**(1): 57—78 [曹文宣. 梁子湖的团头鲂与三角鲂. 水生生物学集刊, 1960, **4**(1): 57—78]
- [12] Ministry of Agriculture and Fisheries. China Fishery Statistical Yearbook [M]. Chinese Agriculture Press. 2013, 31—32 [农业部渔业局. 中国渔业年鉴. 中国农业出版社. 2013, 31—32]
- [13] Wan J J, Liu B, Ge X P, et al. Effects of dietary vitamin C on the non-specific immunity, three HSPs mRNA expression and disease resistance of juvenile wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, **38**(1): 10—18 [万金娟, 刘波, 戈贤平, 等. 日粮中不同水平维生素C对团头鲂幼鱼免疫力的影响. 水生生物学报, 2014, **38**(1): 10—18]
- [14] Li X F, Liu W B, Jiang Y Y, et al. Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings [J]. *Aquaculture*, 2010, **303**(1—4): 65—70

- [15] 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
- [16] Li X F, Jiang G Z, Qian Y, *et al.* Molecular characterization of lipoprotein lipase from blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* and the regulation of its activities and expression by dietary lipid levels [J]. *Aquaculture*, 2013, 416—417: 23—32
- [17] Qian Y, Li X F, Sun C X, *et al.* Dietary biotin requirement of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2014, **20**(6): 616—622
- [18] Wang Y, Li X F, Zhang W W, *et al.* Optimal dietary pyridoxine requirement of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, **37**(4): 632—639 [王莹, 李向飞, 张微微, 等. 团头鲂幼鱼吡哆醇需求量的研究. 水生生物学报, 2013, **37**(4): 632—639]
- [19] Jiang G Z, Wang M, Liu W B, *et al.* Dietary choline requirement for juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2013, **19**(4): 499—505
- [20] Sander S, Hahn A, Stein J, *et al.* Comparative studies on the high-performance liquid chromatographic determination of thiamine and its phosphate esters with chloroethylthiamine as an internal standard using pre- and post-column derivatization procedures [J]. *Journal of Chromatography A*, 1991, **558**(1):115—124
- [21] Goldsmith G A. The B vitamins [M]. In: Beaton G H (Eds.), *Nutrition*, vol. II. New York: Academic Press, 1971, 110—206
- [22] Dabrowski K. Gulonolactone oxidase is missing in teleost fish. The direct spectrophotometric assay [J]. *Biological chemistry Hoppe-Seyler*, 1990, **371**(3): 207—214
- [23] Ai Q, Mai K, Zhang C, *et al.* Effects of dietary vitamin C on growth and immune response of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* [J]. *Aquaculture*, 2004, **242**(1—4): 489—500
- [24] Zhang J, Xiong Z Y. The effect of the exercise performance with the lack of vitamin B1 [J]. *Journal of Ankang Teachers College*, 2003, **15**(2): 76—78 [张婧, 熊正英. 维生素B<sub>1</sub>缺乏对运动能力的影响. 安康学院学报, 2003, **15**(2): 76—78]

## EFFECTS OF DIETARY THIAMIN LEVELS ON GROWTH, HEPATIC THIAMIN CONTENTS AND PLASMA BIOCHEMICAL INDEXES OF JUVENILE BLUNT SNOUT BREEM, *MEGALOBRAMA AMBLYCEPHALA*

LI Peng-Fei, WANG Ying, JIANG Guang-Zhen, WANG Fei and LIU Wen-Bin

(Key Laboratory for Aquaculture Nutrition of Jiangsu Province, College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** This study was conducted to determine the optimal dietary thiamine requirement of juvenile blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) on the basis of growth parameters, hepatic thiamine contents and plasma biochemical indexes. 720 fishes [average initial weight: (0.30±0.01) g] were fed six isonitrogenous and isoenergetic diets containing different thiamine levels (0, 0.51, 0.98, 1.59, 2.13 and 2.68 mg/kg) 3 times daily for 8 weeks, respectively. Each diet was tested in four replicates, and each replicate holds 30 fish. The results showed that both the weight gain and specific growth rate of fish at 0.98, 1.59, 2.13 and 2.68 mg/kg groups were significantly higher than the control group ( $P<0.05$ ). Survival rate increased significantly as dietary thiamin levels increased from 0 to 2.13 mg/kg ( $P<0.05$ ). Plasma glucose level decreased significantly ( $P<0.05$ ) as dietary thiamine levels increased from 0 to 1.59 mg/kg, but it increased significantly ( $P<0.05$ ) with further increased thiamine levels. The addition of thiamine except 0.51 mg/kg group significantly increased plasma pyruvate level ( $P<0.05$ ). On the basis of the broken-line analysis of weight gain rate and hepatic thiamin contents, the optimal dietary thiamin requirement of juvenile blunt snout bream was 1.48 and 1.84 mg/kg, respectively.

**Key words:** *Megalobrama amblycephala*; Thiamin; Growth; Hepatic thiamin contents; Plasma biochemical indexes