

# 斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*) 饲料中铜的适宜添加量研究\*

叶超霞<sup>1,2</sup> 刘永坚<sup>2</sup> 田丽霞<sup>2</sup> 阳会军<sup>2</sup>  
王安利<sup>1</sup> 周立斌<sup>3</sup>

(1. 华南师范大学生命科学学院 广东省水产健康安全养殖重点实验室 广州 510631;  
2. 中山大学水生经济动物研究所 广州 510275; 3. 惠州学院生命科学系 惠州 516007)

**提要** 以初始体重为(13.0±0.3)g的斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)为实验对象,用铜添加量为0、1、3、5、10和20mg/kg的实验饲料投喂斜带石斑鱼8周,研究斜带石斑鱼的铜需求量。结果表明,饲料中添加0—20mg/kg铜对石斑鱼生长、饲料效率、存活率、形态学指标和红细胞比容没有显著性影响。随饲料铜水平的上升,斜带石斑鱼全鱼和肝脏的铜含量呈先上升后平稳的趋势,当饲料铜添加量达到或超过3mg/kg时,石斑鱼全鱼和肝脏的铜含量趋于平稳。折线模型表明,饲料中铜总含量为5—5.5mg/kg时,石斑鱼全鱼和肝脏的铜含量能够达到饱和。当饲料中铜总含量6.00mg/kg时,全鱼的铁、锰、锌含量显著下降。因此,根据全鱼和肝脏铜含量的折线模型分析,考虑到饲料铜对全鱼铁、锰、锌含量的影响,作者认为当基础饲料铜含量为1.50mg/kg时,饲料中的最适铜添加量为3mg/kg,饲料中铜总量为5—5.5mg/kg左右。

**关键词** 斜带石斑鱼;铜;矿物质

**中图分类号** S963

铜是鱼类等动物的必需微量元素(Halver *et al.*, 2002)。铜参与了酶的活动,例如细胞色素氧化酶、过氧化物歧化酶、赖氨酰氧化酶、多巴胺 B-羟化酶、血浆铜蓝蛋白和酪氨酸酶(Watanabe *et al.*, 1997)。鱼类对饲料中铜的需求范围在1.5—10mg/kg,已有的报道包括虹鳟 *Salmo gairdneri* 和鲤鱼 *Cyprinus carpio* (Ogino *et al.*, 1980)、斑点叉尾鲷 *Ictalurus punctatus* (Murai *et al.*, 1981; Gatlin *et al.*, 1986)、大西洋鲑 *Salmo salar* (Lall *et al.*, 1987; Lorentzen *et al.*, 1998)、牙鲆 *Paralichthys olivaceus* (魏万权等, 2001)、罗非鱼 *Oreochromis niloticus*×*O. aureus* (Shiau *et al.*, 2003)、玛拉巴石斑鱼 *Epinephelus malabaricus* (Lin *et al.*, 2008, 2010)、黄颡鱼 *Pelteobagrus fulvidraco* (Tan *et*

*al.*, 2011)等。研究表明,饲料中含有适量的铜可以维持鱼类正常生理代谢,也可以一定程度上促进鱼类生长,但过量的铜具有毒性作用,而且还会在鱼体内富集,对食品安全产生一定影响(Lanno *et al.*, 1985)。

斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)是我国近年来南方广泛养殖的海水鱼类,因为具有生长速度快、饲料利用率高和经济价值高等优点而被广大养殖户重视。近几年已发表了很多关于石斑鱼营养需求的报道,但是有关矿物质方面的研究非常缺乏。本研究以酪蛋白和明胶作为蛋白源,研究饲料中不同铜水平对斜带石斑鱼生长、饲料效率、形态学指标、鱼体微量元素含量和红细胞比容的影响,目的在于确定斜带石斑鱼饲料中铜的适宜添加量,为配制高效环保的石

\* 国家科技支撑计划项目, 2007BAD29B04 号; 国家自然科学基金项目, 31100296 号; 广东省重点实验室建设项目, 2009A060800019 号; 广东省自然科学基金项目, SZ2011010005079 号; 惠州市科技计划项目, 2011B040010003 号。

通讯作者: 刘永坚, 研究员, E-mail: yongjianliu@163.com

收稿日期: 2012-04-15, 收修改稿日期: 2012-05-29

斑鱼商用饲料提供科学依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 实验设计和饲料的制备

基础饲料配方和营养成分分析见表 1。基础饲料配方参考本课题组之前发表的文章(Ye *et al.*, 2006)。以酪蛋白(呼伦贝尔三元乳业有限责任公司, 内蒙古)和明胶(罗塞洛明胶有限公司, 广东)作为蛋白源, 鱼油(高隆实业有限公司, 福建)和玉米油(佛山市德峰淀粉糖业有限公司, 广东)作为油源, 玉米淀粉(廊坊市淀粉厂, 河北)作为糖源。饲料中添加氨基酸和牛磺酸(康达氨基酸厂, 上海)作为诱食剂。以  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  作为铜源, 配制 6 种不同铜水平的饲料。铜的添加水平分别为 0、1、3、5、10 和 20mg/kg。实验饲料中的微量元素含量(铜、铁、锰、锌)采用等离子体原子发射光谱仪测定, 检测含量见表 2。

表 1 基础饲料配方(%)  
Tab.1 Composition of the basal diet (%)

原料	含量(%)	原料	含量(%)
酪蛋白	40	VC 磷酸酯	0.5
明胶	10	氯化胆碱	0.5
鱼油	4.5	纤维素	3.5
玉米油	4.5	羧甲基纤维素钠	2
玉米淀粉	20	成分分析	(%干重)
诱食剂 <sup>1)</sup>	4.5	粗蛋白	54.9
复合矿物盐 <sup>2)</sup>	8	粗脂肪	8.6
复合维生素 <sup>3)</sup>	2	灰分	4.7

注: 1) 诱食剂(mg/100g 饲料): 天冬氨酸 18; 苏氨酸 44; 丝氨酸 33; 谷氨酸 53; 缬氨酸 36; 蛋氨酸 36; 异亮氨酸 29; 亮氨酸 55; 酪氨酸 22; 苯基丙氨酸 29; 赖氨酸 29; 组氨酸 15; 脯氨酸 1456; 丙氨酸 273; 精氨酸 228; 牛磺酸 337; 甘氨酸 892; 甜菜碱 910; 纤维素 5。2) 复合矿物盐(mg/kg 饲料): 乳酸钙 37670; 磷酸二氢钠 24644; 柠檬酸铁 1476; 氯化钴 42; 硫酸锰 22; 碘化钾 6.8; 氯化铝 7.2; 氯化钾 4144; 硫酸锌 140; 硒酸钠 0.66; 纤维素 11847。3) 复合维生素(mg/g 混合物):  $\text{VB}_1$  2.5;  $\text{VB}_2$  10; 泛酸钙 25; 烟酸 37.5;  $\text{VB}_6$  2.5; 叶酸 0.75; 肌醇 100;  $\text{VK}$  2;  $\text{VE}$  20;  $\text{VA}$  1;  $\text{VD}$  0.0025; 生物素 0.25;  $\text{VB}_{12}$  0.05; 加纤维素填充到 1g

表 2 实验饲料的矿物质检测含量  
Tab.2 Analyzed mineral content of experimental diets

铜添加量 (mg/kg)	铜(mg/kg)	铁(mg/kg)	锰(mg/kg)	锌(mg/kg)
0	1.50±0.13	396±6	10.9±0.0	62.8±0.3
1	1.76±0.07	372±5	10.8±0.2	62.5±1.6
3	4.47±0.09	393±1	11.2±0.1	65.3±0.2
5	6.00±0.18	390±10	11.2±0.2	64.6±0.5
10	11.84±0.17	360±5	10.5±0.1	60.6±0.1
20	22.35±0.12	363±1	10.6±0.0	60.4±0.5

注: 铜源为  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

按上述配方准确称量各种原料, 混匀 15min, 加鱼油和玉米油混匀 15min, 再加 25% 蒸馏水混匀 15min 后, 用双螺杆挤条机(华南理工大学机械工程学院研究所制造)压制成直径为 2.5mm 的实验饲料, 在室温条件下自然风干至水分含量为 12%—15%, 而后用封口塑料袋封装,  $-20^\circ\text{C}$  保存备用。

### 1.2 饲养管理

石斑鱼购自广东省大亚湾水产试验中心。正式实验前, 实验鱼暂养于 300L 玻璃纤维缸中, 以不添加铜的基础饲料喂养 10d, 使鱼苗逐渐适应酪蛋白-明胶饲料。

经过驯化喂养后, 挑选出体格健壮、规格一致的实验鱼[平均体重( $13.0 \pm 0.3$ )g]进行分组实验, 每个缸放养 20 尾, 饲料设 6 个处理, 每个处理设 3 个重复。实验在室内流水系统进行, 水流速度为 4L/min, 海水盐度为 30。实验期间, 水温为( $28 \pm 2$ ) $^\circ\text{C}$ , 溶氧为( $5.97 \pm 0.03$ )mg/L, 氨氮为( $0.06 \pm 0.01$ )mg/L, 水体 pH 为  $8.04 \pm 0.02$ 。水中铜离子含量  $< 0.02$ mg/L。实验过程中采用自然太阳光周期, 每天观察鱼的摄食情况和死鱼的数量, 实验过程中如有死鱼马上捞出, 做好记录。每天分上午 9:00 和下午 4:00 两次饱食投喂, 实验时间为 8 周。

### 1.3 样品的采集和分析

实验开始时, 从驯养鱼中随机捞取 5 尾鱼, 用作全鱼的初始矿物质含量分析。实验结束时, 每个缸随机捞取 10 尾鱼, 其中 2 尾用作全鱼矿物质含量分析, 另外 8 尾鱼, 用 MS-222 麻醉后, 使用经过肝素钠处理的注射器从围心腔取血, 放入 EDTA-Na 抗凝处理的小瓶中(由湛江市人民医院提供), 用于测定红细胞比容。然后分别称量每尾鱼的体重、体长、内脏重、肝重和肠脂重用于计算肥满度、脏体比、肝体比和肠脂比, 解剖取得肝脏, 保存在  $-20^\circ\text{C}$  冰箱中, 以备测定肝脏的矿物质含量。

红细胞比容测定采用微量离心法, 并根据本实验室条件做了改进。饲料、全鱼和肝脏样品在使用高氯酸消化后, 送至中山大学测试中心用等离子体原子发射光谱仪(ICP; model: IRIS Advantage (HR) Thermo Jarrell Ash Corporation, Boston, MA, USA)测定铜、铁、锰、锌的含量。水分采用  $105^\circ\text{C}$  烘干恒重法, 粗蛋白采用凯氏定氮法, 粗脂肪采用索氏提取法(以乙醚为抽提液), 灰分采用  $550^\circ\text{C}$  灼烧恒重法。

### 1.4 数据统计分析

采用 SPSS 软件对数据进行统计学分析, 先对数据作单因素方差分析(ANOVA), 处理间若有显著差

异, 再作 Duncan's 多重比较,  $P < 0.05$  表示差异显著。以饲料中的铜含量为自变量, 全鱼和肝脏的铜含量为因变量, 采用折线模型(Robbins *et al.*, 1979)模拟得到石斑鱼饲料中的最适铜含量。

## 2 结果

### 2.1 饲料中添加铜对斜带石斑鱼生长性能、饲料效率、形态学指标和红细胞比容的影响

饲料中添加铜对斜带石斑鱼生长性能、饲料效率、形态学指标和红细胞比容的影响见表 3。实验开始时, 鱼体初重为(13.0±0.3)g, 养殖 8 周后, 各实验组增重率在 215%—233%之间, 各实验组间差异不显著( $P > 0.05$ )。饲料效率在 1.05—1.12 之间, 各实验组间差异不显著( $P > 0.05$ )。各实验组存活率在 86%—

90%之间, 在该基础饲料中添加铜对斜带石斑鱼存活率也没有显著影响( $P > 0.05$ )。饲料中添加铜对鱼体的肥满度、脏体比、肝体比、肠脂比和红细胞比容没有显著性影响( $P > 0.05$ )。

### 2.2 饲料中添加铜对斜带石斑鱼全鱼和肝脏铜含量的影响

全鱼铜含量随饲料铜水平的上升呈先上升后平稳的趋势(表 4, 图 1), 其中铜添加量为 0 时, 斜带石斑鱼全鱼铜含量为(1.63±0.15)mg/kg, 显著低于饲料铜添加量为 1—20mg/kg 各组。饲料中铜含量与斜带石斑鱼的全鱼铜含量之间具有线性关系, 根据折线模型, 经线性回归分析, 得出折线模型的数学表达式为:  $Y = 2.68 - 0.27(5.5 - X)$ , 根据全鱼铜含量得斜带石斑鱼对饲料中铜的需要量为 5.5mg/kg (图 1)。

表 3 饲料中铜含量对斜带石斑鱼生长性能、饲料效率、形态学指标和红细胞比容的影响

Tab.3 Effect of dietary copper on growth performance, feed utilization, morphological indicators and hematocrit value of juvenile grouper

铜添加量(mg/kg)	0	1	3	5	10	20	ANOVA
增重率(%)	233±5	233±21	228±10	215±3	233±9	216±9	ns
饲料效率	1.08±0.02	1.05±0.03	1.12±0.03	1.06±0.03	1.09±0.03	1.09±0.03	ns
存活率(%)	86.7±4.4	86.7±3.3	88.3±4.4	86.7±1.7	90.0±2.9	90.0±5.0	ns
肥满度(%)	2.80±0.03	2.93±0.07	2.81±0.06	2.83±0.04	2.75±0.04	2.90±0.06	ns
脏体比(%)	8.29±0.11	8.21±0.30	8.32±0.22	8.27±0.33	8.33±0.06	8.36±0.10	ns
肝体比(%)	2.08±0.13	2.20±0.18	2.30±0.06	2.29±0.16	2.15±0.14	2.40±0.15	ns
肠脂比(%)	3.19±0.05	2.83±0.10	2.90±0.17	2.87±0.23	3.07±0.17	2.85±0.02	ns
红细胞比容(%)	29.0±0.8	29.8±1.5	30.0±0.8	29.4±0.6	29.4±0.6	28.3±0.6	ns

注: 表中数据以平均值±标准误表示( $n=3$ ), 同行数值后不同上标英文字母表示差异显著( $P < 0.05$ ), ns 表示无显著性差异( $P > 0.05$ )。增重率=100×(末重-初重)/初重。鱼体初重为(13.0±0.3)g (平均值±标准误,  $n=18$ )。饲料效率=增重(g)/摄食量(g)。存活率=100×(实验末鱼数量/实验初鱼数量)。肥满度=100×体重(g)/体长(cm)<sup>3</sup>。脏体比=100×内脏重(g)/体重(g)。肝体比=100×肝重(g)/体重(g)。肠脂比=100×肠脂重(g)/体重(g)

表 4 饲料中铜含量对斜带石斑鱼全鱼铜、铁、锰、锌含量的影响

Tab.4 Effect of dietary copper on whole body Cu, Fe, Mn and Zn content of juvenile grouper

铜添加量(mg/kg)	铜(mg/kg)	铁(mg/kg)	锰(mg/kg)	锌(mg/kg)
0	1.63±0.15 <sup>c</sup>	60.1±8.4 <sup>a</sup>	18.3±1.9 <sup>a</sup>	66.6±4.8 <sup>ab</sup>
1	2.35±0.25 <sup>b</sup>	54.7±2.6 <sup>a</sup>	16.3±0.9 <sup>a</sup>	79.4±3.0 <sup>a</sup>
3	2.98±0.09 <sup>a</sup>	55.9±3.7 <sup>a</sup>	16.6±0.6 <sup>a</sup>	89.0±14.1 <sup>a</sup>
5	2.70±0.07 <sup>ab</sup>	35.5±2.6 <sup>b</sup>	11.2±0.1 <sup>b</sup>	51.7±0.6 <sup>bc</sup>
10	2.39±0.13 <sup>b</sup>	29.7±2.8 <sup>b</sup>	9.9±1.2 <sup>b</sup>	39.8±9.2 <sup>c</sup>
20	2.57±0.09 <sup>ab</sup>	27.3±1.2 <sup>b</sup>	8.4±0.6 <sup>b</sup>	34.8±2.0 <sup>c</sup>
ANOVA	0.000	0.000	0.000	0.001

注: 数据以三个重复的平均值±标准误来表示, 每个重复有 2 尾鱼。每列数据右上方字母不同表示有显著差异( $P < 0.05$ ), ns 表示无显著性差异( $P > 0.05$ )。实验开始时, 全鱼的矿物质含量为 Cu (1.69mg/kg), Fe (29.4mg/kg), Mn (14.1mg/kg), Zn (86mg/kg)

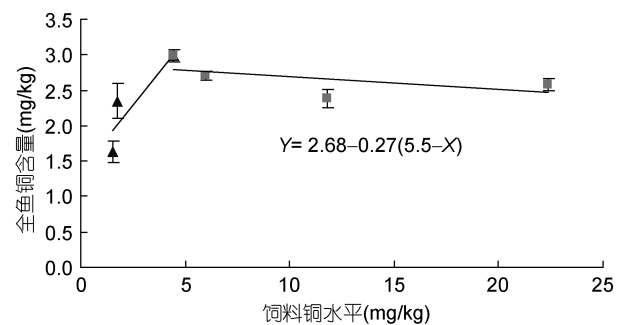


图 1 斜带石斑鱼全鱼铜含量与饲料铜水平的关系

Fig.1 Relationship between whole body copper content and dietary copper level in juvenile grouper

肝脏铜含量与全鱼铜含量的变化趋势相一致(表 5, 图 2), 铜添加量为 0 时, 斜带石斑鱼的肝脏铜含量为(11.1±1.0)mg/kg, 随着饲料铜添加量升高至 3mg/kg

时, 肝脏铜含量显著升高[(36.6±5.0)mg/kg]。饲料铜添加量为 3—10mg/kg, 肝脏铜含量 35—38mg/kg。饲料铜添加量升高至 20mg/kg 时, 肝脏铜含量升高至 (48.1±6.9)mg/kg。

饲料中铜含量与斜带石斑鱼的肝脏铜含量之间具有线性关系, 根据折线模型, 经线性回归分析, 得出折线模型的数学表达式为:  $Y = 40.46 - 6.86(5-X)$ , 根据肝脏铜含量得斜带石斑鱼对饲料中铜的需要量为 5mg/kg (图 2)。

表 5 饲料中铜含量对斜带石斑鱼肝脏铜、铁、锰、锌含量的影响

Tab.5 Effect of dietary copper on liver Cu, Fe, Mn and Zn content of juvenile grouper

铜添加量 (mg/kg)	铜(mg/kg)	铁(mg/kg)	锰(mg/kg)	锌(mg/kg)
0	11.1±1.0 <sup>c</sup>	394±36	2.37±0.11	121±7
1	23.9±2.6 <sup>bc</sup>	393±52	2.49±0.47	133±8
3	36.6±5.0 <sup>ab</sup>	309±26	2.23±0.13	127±10
5	37.9±3.9 <sup>ab</sup>	323±59	2.10±0.13	153±16
10	35.1±3.4 <sup>ab</sup>	333±69	2.07±0.21	128±10
20	48.1±6.9 <sup>a</sup>	378±42	1.93±0.05	143±13
ANOVA	0.001	ns	ns	ns

注: 数据以三个重复的平均值±标准误来表示, 每个重复有 8 尾鱼。每列数据右上方字母不同表示有显著差异( $P < 0.05$ ), ns 表示无显著性差异( $P > 0.05$ )

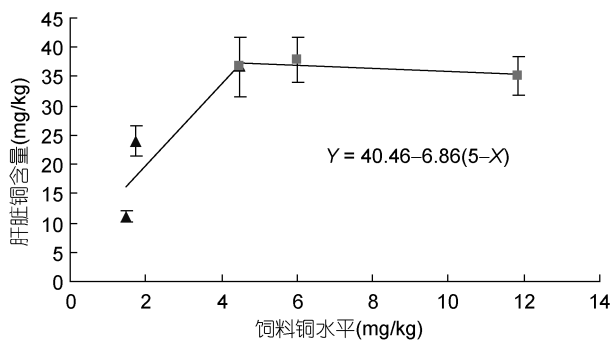


图 2 斜带石斑鱼肝脏铜含量与饲料铜水平的关系

Fig.2 Relationship between liver copper content and dietary copper level in juvenile grouper

### 2.3 饲料中添加铜对斜带石斑鱼铁、锰、锌含量的影响

全鱼铁含量随饲料铜水平的上升呈下降的趋势(表 4), 铜添加量为 0—3mg/kg 时, 斜带石斑鱼的全鱼铁含量为 54—60mg/kg, 随着饲料铜添加量升高至 5—20mg/kg 时, 全鱼铁含量显著下降至 27—35mg/kg ( $P < 0.05$ )。全鱼锰含量与全鱼铁含量的变化趋势相一

致(表 4), 铜添加量为 0—3mg/kg 时, 斜带石斑鱼的全鱼锰含量为 16—18mg/kg, 随着饲料铜添加量升高至 5—20mg/kg 时, 全鱼锰含量显著下降至 8—11mg/kg ( $P < 0.05$ )。全鱼锌含量与全鱼铁、锰含量的变化趋势类似(表 4), 随饲料铜水平的上升呈下降的趋势。

肝脏的铁、锰、锌含量如表 5 所示。从表 5 可以看出, 饲料中的铜添加量为 0—20mg/kg 时, 石斑鱼的肝脏铁、锰、锌含量不受饲料中铜含量的影响 ( $P > 0.05$ )。

### 3 讨论

本实验结果显示, 在该基础饲料中添加 0—20mg/kg 铜对于斜带石斑鱼的生长、饲料效率和存活率没有显著影响。为了降低基础饲料中的铜含量, 本实验以酪蛋白和明胶作为蛋白源, 基础饲料的铜含量为 1.5mg/kg。实验结果显示, 用该基础饲料投喂石斑鱼 8 周, 石斑鱼的生长不受抑制。据报道, 斑点叉尾鲷摄食铜含量为 1.5mg/kg 或者 0.89mg/kg 的纯化饲料时, 生长也不受抑制(Murai *et al*, 1981; Gatlin *et al*, 1986)。Lorentzen 等(1998)也报道大西洋鲑摄食含 3.5mg/kg 铜的鱼粉基础饲料时生长不受抑制。相反, 罗非鱼(Shiau *et al*, 2003)和玛拉巴石斑鱼(Lin *et al*, 2008)摄食不添加铜的纯化饲料时, 增重率比添加铜组差。Ogino 等(1980)用含铜 0.7 和 3mg/kg 的饲料饲喂虹鳟和鲤鱼, 结果发现低铜饲料影响鲤鱼的生长, 但对虹鳟没有影响。饲料原料和水中广泛存在铜元素, 因此鱼类的铜缺乏症一般很少发生(Halver *et al*, 2002)。

矿物元素的研究中, 动物机体组织中矿物元素的含量是评定其需要量的重要指标。本实验结果表明, 饲料中添加铜对石斑鱼全鱼和肝脏的铜含量有显著影响。随饲料铜水平的上升, 斜带石斑鱼全鱼和肝脏的铜含量呈先上升后平稳的趋势, 当饲料铜添加量达到或超过 3mg/kg 时, 石斑鱼全鱼和肝脏的铜含量趋于平稳(图 1, 图 2)。折线模型表明, 饲料中总铜含量为 5—5.5mg/kg 时, 石斑鱼全鱼和肝脏的铜含量才能够达到饱和。根据全鱼和肝脏铜含量的折线模型分析, 考虑到饲料铜对全鱼铁、锰、锌含量的影响, 作者认为当基础饲料铜含量为 1.50mg/kg 时, 饲料中的最适铜添加量为 3mg/kg, 饲料中铜总量为 5—5.5 mg/kg 左右。该需求量与其它鱼类相似, 例如虹鳟和鲤鱼为 3mg/kg (Ogino *et al*, 1980), 斑点叉尾鲷为 1.5—5.5mg/kg (Murai *et al*, 1981; Gatlin *et al*, 1986), 草鱼为 5mg/kg (黄耀桐等, 1989), 大西洋鲑为 5—10mg/kg

(Lall *et al*, 1987; Lorentzen *et al*, 1998), 青鱼为 4.5mg/kg(冷向军等, 1998), 牙鲆为 5.6mg/kg(魏万权等, 2001), 罗非鱼为 4mg/kg (Shiau *et al*, 2003), 玛拉巴石斑鱼为 4—6mg/kg(Lin *et al*, 2008)。

矿物质之间的相互关系是鱼类矿物质营养研究中的重要内容(Hilton, 1989)。关于饲料中铜和其它微量元素关系的报道很少。Spinelli 等(1979)提出锌和铜可能存在拮抗关系, 尤其是在饲料中锌吸收被抑制的时候。然而, Knox 等(1982)用铜含量为 15mg/kg 和 150mg/kg, 铜锌比例为 1:1 和 1:4 的饲料投喂虹鳟, 然后测定血浆和肝脏的铜、锌含量, 没有发现锌和铜存在拮抗关系。本研究表明, 饲料中的铜添加量为 0—20mg/kg 时, 石斑鱼肝脏的铁、锰、锌含量各组间没有显著差异, 但是在铜添加量 5mg/kg(铜总含量 6.00mg/kg)时, 全鱼的铁、锰、锌含量显著下降。很显然, 饲料中铜含量改变时, 肝脏和全鱼的铁、锰、锌含量变化敏感程度是不一样的。饲料中铜含量高于 6.00mg/kg 可能对石斑鱼起负作用。当在饲料中添加铜时, 也应该考虑到铜对铁、锰、锌的拮抗作用。饲料中铜含量能影响全鱼锰含量, 但是作者以前的实验(Ye *et al*, 2009)表明饲料中锰含量对全鱼的铜含量没有显著影响。需要开展进一步的研究探讨铜—铁、铜—锰以及和铜—锌的交互作用。矿物质的交互作用可能表现为对于运输或储存分子的结合位点的竞争, 或者酶活性位点的替代, 或者一种矿物质的正常代谢需要另一种矿物质的参与(Halver *et al*, 2002)。

关于水产品中铜的安全限量, 《农产品安全质量无公害水产品安全要求》(GB18406.4-2001)和《无公害食品水产品中有毒有害物质限量》(NY5073-2001)两个标准中均规定铜 50mg/kg。日本把铜列为豁免物质; 欧盟在食品中也未对铜含量做限定; 匈牙利、加拿大、澳大利亚将食品中铜含量分别设定为 60、100、10 $\mu$ g/g(赵宇江, 2009)。本试验对斜带石斑鱼全鱼和肝脏铜含量的测定发现, 饲料中铜添加量为 0—20mg/kg 时, 全鱼铜含量(1.63—2.98mg/kg)远低于规定的铜 50mg/kg 的要求; 肝脏铜含量(11.1—48.1mg/kg)虽然随饲料铜含量的增加而显著增加, 总量上高于全鱼铜含量, 但在饲料铜添加量为 3—10mg/kg, 肝脏铜含量稳定在 35—38mg/kg, 亦低于规定的铜 50mg/kg 的要求。

#### 4 结论

在含铜 1.50mg/kg 的基础饲料中添加铜 0—

20mg/kg, 斜带石斑鱼的生长、饲料效率和存活率在各组之间没有显著差异, 全鱼和肝脏的铜含量随着铜添加量的增加呈先上升后平稳的趋势, 折线模型表明, 饲料中铜总含量为 5—5.5mg/kg 时, 石斑鱼全鱼和肝脏的铜含量能够达到饱和。当饲料中铜总含量 6.00mg/kg 时, 全鱼的铁、锰、锌含量显著下降。因此, 根据全鱼和肝脏铜含量的折线模型分析, 考虑到饲料铜对全鱼铁、锰、锌含量的影响, 作者认为, 当基础饲料铜含量为 1.50mg/kg 时, 饲料中的最适铜添加量为 3mg/kg, 饲料中铜总量为 5—5.5mg/kg 左右。

#### 参 考 文 献

- 冷向军, 王道尊, 1998. 青鱼对铜需要量的研究. 上海水产大学学报, 7(增刊): 130—135
- 赵宇江, 2009. 水产动物饲料中铜的营养与毒性的研究进展. 饲料博览, (1): 28—31
- 黄耀桐, 刘永坚, 1989. 草鱼种无机盐需要量之研究. 水生生物学报, 13(2): 134—150
- 魏万权, 李爱杰, 李德尚, 2001. 牙鲆幼鱼饲料中铜的适宜添加量研究. 海洋湖沼通报, (2): 54—59
- Gatlin D M III, Wilson R P, 1986. Dietary copper requirement of fingerling channel catfish. *Aquaculture*, 54: 277—285
- Halver J E, Hardy R W, 2002. *Fish Nutrition*. 3<sup>rd</sup> edn. San Diego, CA: Academic Press, 259—308
- Hilton J W, 1989. The interaction of vitamins, minerals and diet composition in the diet of fish. *Aquaculture*, 79: 223—244
- Knox D, Cowey C B, Adron J W, 1982. Effects of dietary copper and copper: zinc ratio on rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 27: 111—119
- Lall S P, Hines J A, 1987. Iron and copper requirement of Atlantic salmon *Salmo salar* grown in sea water. Paper Presented at the International Symposium on Feeding and Nutrition of Fish, Bergen, Norway
- Lanno R P, Slinger S J, Hilton J W, 1985. Maximum tolerable and toxicity levels of dietary copper in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). *Aquaculture*, 49: 257—268
- Lin Y H, Shie Y Y, Shiau S Y, 2008. Dietary copper requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*. *Aquaculture*, 274: 161—165
- Lin Y H, Shih C C, Kent M *et al*, 2010. Dietary copper requirement reevaluation for juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*, with an organic copper source. *Aquaculture*, 310: 173—177
- Lorentzen M, Maage A, Julshamn K, 1998. Supplementing copper to a fish meal based diet fed to Atlantic salmon parr affects liver copper and selenium concentrations. *Aquaculture Nutrition*, 4: 67—77
- Murai T, Andrews J W, Smith II R G, 1981. Effects of dietary copper on channel catfish. *Aquaculture*, 22: 353—357

- Ogino C, Yang G, 1980. Requirements of carp and rainbow trout for dietary manganese and copper. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 46: 455—458
- Robbins K R, Norton H W, Baker D H, 1979. Estimation of nutrient requirements from growth data. *The Journal of Nutrition*, 109: 1710—1714
- Shiau S Y, Ning Y C, 2003. Estimating of dietary copper requirements for juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Animal Science*, 77: 287—292
- Spinelli J, Mahnken C, Steinberg M, 1979. Alternate Sources of Proteins for Fish Meal in Salmonid Diets. In: Halver J E, Tiews K ed. *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*. Heenemann, Berlin, 2: 131—147
- Tan X Y, Luo Z, Liu X *et al*, 2011. Dietary copper requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. *Aquaculture Nutrition*, 17(2): 170—176
- Watanabe T, Kiron V, Satoh S, 1997. Trace minerals in fish nutrition. *Aquaculture*, 151: 185—207
- Ye C X, Liu Y J, Tian L X *et al*, 2006. Effect of dietary calcium and phosphorus on growth, feed efficiency, mineral content and body composition of juvenile grouper, *Epinephelus coioides*. *Aquaculture*, 255: 263—271
- Ye C X, Tian L X, Yang H J *et al*, 2009. Growth performance and tissue mineral content of juvenile grouper (*Epinephelus coioides*) fed diets supplemented with various levels of manganese. *Aquaculture Nutrition*, 15: 608—614

## DIETARY COPPER REQUIREMENT OF JUVENILE GROUPER *EPINEPHELUS COIOIDES*

YE Chao-Xia<sup>1,2</sup>, LIU Yong-Jian<sup>2</sup>, TIAN Li-Xia<sup>2</sup>, YANG Hui-Jun<sup>2</sup>,  
WANG An-Li<sup>1</sup>, ZHOU Li-Bin<sup>3</sup>

(1. *Guangdong Provincial Key Laboratory for Healthy and Safe Aquaculture, College of Life Science, South China Normal University, Guangzhou, 510631*; 2. *School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510275*; 3. *Department of Life Science, Huizhou University, Huizhou, 516007*)

**Abstract** This study was conducted to investigate the copper requirement of juvenile grouper, *Epinephelus coioides*. Six diets were prepared by supplementing a casein-gelatin-based diet with 0, 1, 3, 5, 10 and 20mg/kg copper from CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O. Grouper with an initial weight of (13.0±0.3)g were fed to satiation for 8 weeks. Growth performance, feed utilization, morphological indicators and hematocrit value of juvenile grouper were not significantly affected by dietary copper supplements ranging from 0 to 20mg/kg. Copper concentration of whole body and liver responded linearly to dietary copper supplement up to 3mg/kg and then reached a plateau. Broken-line analysis indicated that dietary copper of 5—5.5mg/kg satisfied whole body and liver copper storage. Whole body Fe, Mn and Zn were significantly lower when dietary total copper ≥ 6mg/kg. Liver Fe, Mn and Zn were not significantly affected by dietary copper supplement ranging from 0 to 20mg/kg. Concerning broken-line analysis of whole body and liver Cu, and the interaction effect of Cu supplement on whole body Fe, Mn and Zn concentration, we estimate that copper supplement of 3mg/kg might be optimum to the basal diet containing 1.50mg/kg Cu, providing dietary total copper of 5—5.5mg/kg.

**Key words** grouper *Epinephelus coioides*; copper; mineral