

饲料中高水平铜对斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)生长和铜、铁、锰、锌含量的影响*

叶超霞^{1,2} 刘永坚² 田丽霞² 阳会军² 王安利¹ 周立斌³

(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 采用铜适量(4.47mg/kg)和铜过量(1127.51mg/kg)的两种饲料投喂初始体重为(12.9±0.2)g的斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)8周,研究饲料中过量铜对斜带石斑鱼生长性能、形态学指标、体组成和鱼体微量元素含量的影响。结果表明,当饲料铜含量由4.47mg/kg升高到1127.51mg/kg时,斜带石斑鱼增重率由228%下降到63%,饲料效率由1.12下降到0.51,肠脂比由2.90%下降到1.69%。全鱼和肝脏中的铜含量均随饲料铜水平的增加而显著增加,斜带石斑鱼全鱼铜含量由2.98mg/kg上升到34.98mg/kg,肝脏铜含量由36.6mg/kg上升到1364.0mg/kg。但饲料中过量铜对斜带石斑鱼的存活率、鱼体饱满度、脏体比、肝体比和全鱼体组成没有显著性影响。摄食高铜饲料的斜带石斑鱼肝脏锌含量显著升高,锌可能在铜的解毒过程中起着重要的作用。

关键词 石斑鱼;铜毒性;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)。鱼类对饲料中铜的需求一般在1.5—10mg/kg,但鱼类饲料中铜的添加常常是高于需求量的(Maage, 1994)。鱼类摄食铜过量的饲料会出现中毒症状,包括生长减缓,饲料效率降低,肝脏铜含量升高(Halver *et al.*, 2002)等。据报道,大西洋鲑摄食铜过量的饲料会发生氧化应激反应(Berntssen *et al.*, 2000),免疫应答能力下降(Lundebye *et al.*, 1999; Berntssen *et al.*, 1999a)。而且饲料中过量的铜还会在鱼体内富集,对食品安全产生一定影响(Lanno *et al.*, 1985)。《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》(NY 5073-2001)两个标准中均规定水产品中铜的安全限量50mg/kg。

斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)属鲈形目、鲷

科、石斑鱼亚科、石斑鱼属,生长速度快,饲料利用率高,经济价值高,是我国近年来南方广泛养殖的海水鱼类。本研究采用铜适量和铜过量的两种饲料投喂斜带石斑鱼,研究饲料中过量铜对斜带石斑鱼生长性能、形态学指标、体组成和鱼体微量元素含量的影响,以期为饲料中铜的安全添加提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验动物及饲养管理

斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)购自广东省大亚湾水产试验中心,购回后暂养于300L玻璃纤维缸中,以不添加铜的基础饲料(配方见表1)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(12.9±0.2)g]进行分组实验,随机分为2组(对照组和高铜组),

* 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。叶超霞,讲师, E-mail: chaoxia_ye@yahoo.com.cn

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

收稿日期: 2012-05-10, 收修改稿日期: 2012-07-27

每组设 3 个重复, 每个重复放养 20 尾石斑鱼。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±2) °C, 溶氧为(5.97±0.03)mg/L, 氨氮为(0.06±0.01)mg/L, 水体 pH 为 8.04±0.02。水中铜离子含量<0.02mg/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。饲养实验结束时, 停止投喂 24h, 称重、计数。

1.2 实验饲料

基础饲料配方及营养成分见表 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 CuSO₄·5H₂O 作为铜源, 配制 2 种不同铜水平的饲料。铜的添加水平分别为 3 和 1000mg/kg。前期的实验表明, 石斑鱼饲料中的最适铜添加量为 3mg/kg, 因此将这组设为对照组。铜添加量为 1000mg/kg 组设为高铜组。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(ICP; model: IRIS Advantage (HR) Thermo Jarrell Ash Corporation, Boston, MA, USA)测定, 检测含量见表 2。

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

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 ¹⁾	4.5	粗蛋白	54.9
复合矿物盐 ²⁾	8	粗脂肪	8.6
复合维生素 ³⁾	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): VB₁ 2.5; VB₂ 10; 泛酸钙 25; 烟酸 37.5; VB₆ 2.5; 叶酸 0.75; 肌醇 100; VK 2; VE 20; VA 1; VD 0.0025; 生物素 0.25; VB₁₂ 0.05; 加纤维素填充到 1g

表 2 实验饲料的矿物质检测含量(mg/kg)

Tab.2 Analyzed mineral content (mg/kg) of experimental diets

铜添加量	铜	铁	锰	锌
3	4.47±0.09	393±1	11.2±0.1	65.3±0.2
1000	1127.51±8.64	384±11	11.0±0.0	62.9±0.4

注: 铜源为 CuSO₄·5H₂O

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°C 保存备用。

1.3 取样与分析测试

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 尾用作全鱼体组成和矿物质含量分析, 另外 8 尾鱼, 用 MS-222 麻醉后, 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°C 冰箱中, 以备测定肝脏的铜、铁、锰、锌含量。

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测定铜、铁、锰、锌的含量。全鱼和饲料水分测定采用 105°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°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, 对数据作独立样本 *t* 检验, *P*<0.05 表示差异显著。统计数据以平均值±标准误表示。

2 结果

2.1 饲料高水平铜对斜带石斑鱼生长性能的影响

由表 3 可知, 饲料中高水平铜对斜带石斑鱼生长性能有显著的影响。养殖 8 周后, 饲料铜含量为 4.47mg/kg 组, 每尾鱼的平均体重为 42.5g, 而铜含量为 1127.51mg/kg 组, 每尾鱼的平均体重为 20.8g, 显著低于铜含量为 4.47mg/kg 组(*P*<0.05)。饲料铜含量由 4.47mg/kg 升高到 1127.51mg/kg 时, 斜带石斑鱼增重率由 228%显著下降到 63%, 饲料效率由 1.12 显著下降到 0.51(*P*<0.05)。饲料中高水平铜对斜带石斑鱼存活率没有显著影响(*P*>0.05)。

2.2 饲料高水平铜对斜带石斑鱼形态学指标的影响

饲料中高水平铜对斜带石斑鱼形态学指标的影响见表 4。由表 4 可知, 饲料铜含量由 4.47mg/kg 升

高到 1127.51mg/kg 对斜带石斑鱼肥满度、脏体比和肝体比均无显著影响($P>0.05$)。饲料铜含量为 4.47mg/kg 时, 肠脂比为 2.90%, 而饲料铜含量为 1127.51mg/kg 时, 肠脂比为 1.69%, 显著低于饲料铜含量为 4.47mg/kg 组($P<0.05$)。

2.3 饲料高水平铜对斜带石斑鱼体组成的影响

饲料中高水平铜对斜带石斑鱼全鱼体组成的影响见表 5。由表 5 可知, 饲料铜含量由 4.47mg/kg 升高到 1127.51mg/kg 对斜带石斑鱼全鱼水分、蛋白、脂肪和灰分均无显著影响($P>0.05$)。

表 3 饲料中高水平铜对斜带石斑鱼生长性能的影响

Tab.3 Effect of elevated dietary copper on growth performance of juvenile grouper

饲料铜含量 (mg/kg)	初重 (g)	末重 (g)	增重率 (%)	饲料 效率	存活率 (%)
4.47	13.0±0.2	42.5±0.8 ^a	228±10 ^a	1.12±0.03 ^a	88.3±4.4
1127.51	12.8±0.1	20.8±2.0 ^b	63±15 ^b	0.51±0.08 ^b	88.3±4.4

注: 表中数据以平均值±标准误表示($n=3$), 同列数值后不同上标英文字母表示差异显著($P<0.05$)。增重率=100×(末重-初重)/初重。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)

表 4 饲料中高水平铜对斜带石斑鱼形态学指标的影响

Tab.4 Effect of elevated dietary copper on morphological indicators of juvenile grouper

饲料铜含量 (mg/kg)	肥满度(%)	脏体比(%)	肝体比(%)	肠脂比(%)
4.47	2.81±0.06	8.32±0.22	2.30±0.06	2.90±0.17 ^a
1127.51	2.70±0.04	7.83±0.22	2.65±0.10	1.69±0.01 ^b

注: 表中数据以平均值±标准误表示($n=3$), 同列数值后不同上标英文字母表示差异显著($P<0.05$)。肥满度=100×体重(g)/体长(cm)³。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 5 饲料中高水平铜对斜带石斑鱼全鱼体组成的影响(%)

Tab.5 Effect of elevated dietary copper on the carcass composition of juvenile grouper (%)

饲料铜含量 (mg/kg)	水分(%)	蛋白(%)	脂肪(%)	灰分(%)
4.47	70.3±0.4	19.0±0.2	6.3±0.5	4.4±0.1
1127.51	73.0±1.5	17.8±0.6	5.6±0.3	4.7±0.2

注: 数据以三个重复的平均值±标准误表示, 同列数值后不同上标英文字母表示差异显著($P<0.05$)

2.4 饲料高水平铜对斜带石斑鱼铜铁锰锌含量的影响

由表 6 可知, 饲料中高水平铜对斜带石斑鱼全鱼的铜和铁含量有显著的影响($P<0.05$)。饲料铜含量由 4.47mg/kg 升高到 1127.51mg/kg 时, 斜带石斑鱼全鱼铜含量由 2.98mg/kg 上升到 34.98mg/kg, 铁含量由

55.9mg/kg 下降到 27.9mg/kg。饲料中过量铜对斜带石斑鱼全鱼锰含量没有显著影响($P>0.05$)。

由表 7 可知, 饲料中高水平铜对斜带石斑鱼肝脏的铜和锌含量有显著的影响($P<0.05$)。饲料铜含量由 4.47mg/kg 升高到 1127.51mg/kg 时, 斜带石斑鱼肝脏铜含量由 36.6mg/kg 上升到 1364.0mg/kg, 锌含量由 127mg/kg 上升到 311mg/kg。饲料中过量铜对斜带石斑鱼肝脏铁和锰含量没有显著影响($P>0.05$)。

表 6 饲料中高水平铜对斜带石斑鱼全鱼铜、铁、锰、锌含量(mg/kg)的影响

Tab.6 Effect of elevated dietary copper on whole body Cu, Fe, Mn and Zn content (mg/kg) of juvenile grouper

饲料铜含量	铜	铁	锰	锌
4.47	2.98±0.09 ^b	55.9±3.7 ^a	16.6±0.6	89.0±14.1
1127.51	34.98±7.68 ^a	27.9±2.1 ^b	13.5±2.2	49.0±4.9

注: 数据以三个重复的平均值±标准误表示, 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($P<0.05$)。实验开始时, 全鱼的矿物质含量为铜(1.69mg/kg), 铁(29.4mg/kg), 锰(14.1mg/kg), 锌(86mg/kg)

表 7 饲料中高水平铜对斜带石斑鱼肝脏铜、铁、锰、锌含量(mg/kg)的影响

Tab.7 Effect of elevated dietary copper on liver Cu, Fe, Mn and Zn content (mg/kg) of juvenile grouper

饲料铜含量	铜	铁	锰	锌
4.47	36.6±5.0 ^b	309±26	2.23±0.13	127±10 ^b
1127.51	1364.0±120.6 ^a	359±37	1.87±0.13	311±18 ^a

注: 数据以三个重复的平均值±标准误表示, 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($P<0.05$)

3 讨论

饲料中高水平铜对鱼类生长性能的影响研究结果有较大差异。Murai 等(1981)发现用铜添加量为 16mg/kg 和 32mg/kg 的饲料投喂斑点叉尾鲷 16 周, 斑点叉尾鲷的生长和饲料效率显著下降。但是后来 Gatlin 等(1986)的研究表明, 斑点叉尾鲷摄食铜添加量为 40mg/kg 的饲料 13 周也没有出现生长和饲料效率显著下降。Julshamn 等(1988)报道除了铜含量为 102mg/kg 和 194mg/kg 的两个实验组, 虹鳟的生长和饲料转化率均随着饲料铜含量的增加而下降。Lanno 等(1985)报道饲料铜含量大于 730mg/kg 时, 虹鳟的生长显著下降。Berntseen 等(1999b)报道与铜添加量为 35mg/kg 组相比, 铜添加量为 500—1750mg/kg 组大西洋鲑的生长显著下降。本试验研究结果与 Julshamn 等(1988)、Lanno 等(1985)和 Berntseen 等

(1999b)的研究结果较为一致。本试验表明, 饲料铜含量由 4.47mg/kg 升高到 1127.51mg/kg 时, 斜带石斑鱼增重率、饲料效率和肠脂比显著下降, 且在养殖过程中, 发现斜带石斑鱼出现吐饲料现象, 摄食较差。而赵宇江等(2008)发现饲料中高水平铜(9.38—1365.42 mg/kg)对草鱼的成活率、特定生长率和饲料系数没有显著影响。出现这些差异的原因可能是试验周期不同, 也可能是不同的鱼类对铜的富集能力和耐受性不同。

本试验对斜带石斑鱼全鱼和肝脏铜含量的测定发现, 全鱼和肝脏中铜的含量均随饲料铜水平的增加而显著增加, 当饲料铜含量由 4.47mg/kg 升高到 1127.51mg/kg 时, 斜带石斑鱼全鱼铜含量由 2.98mg/kg 上升到 34.98mg/kg, 肝脏铜含量由 36.6mg/kg 上升到 1364.0mg/kg, 分别上升 12 倍和 37 倍。即使饲料中铜含量高达 1127.51mg/kg, 斜带石斑鱼全鱼铜含量(34.98mg/kg)也低于《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》(NY 5073-2001)规定的铜

50mg/kg 的要求, 但是肝脏铜含量(1364.0mg/kg)远远超过水产品中铜的安全限量 50mg/kg。肝脏是动物储存铜的主要器官。魏万权等(2001)指出, 肝脏对铜的高度积累能力是鱼类的某种预防机制, 可能具有如下生理意义: 当铜摄入不足时, 肝脏中储存的铜释放出来, (部分)满足机体新陈代谢需要; 当摄入过量时, 铜可以通过在肝脏中的积累而降低其整体毒性, 肝脏在此发挥了解毒功能。斜带石斑鱼肝脏能耐受如此高的铜而不影响存活率, 这可能是水生动物在长期进化过程中建立起来的一种相对适应性。

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。本试验显示, 当饲料铜含量由 4.47mg/kg 升高到 1127.51mg/kg 时, 斜带石斑鱼全鱼铁含量显著下降, 肝脏的锌含量显著升高, 这表明石斑鱼在摄食高铜饲料时, 全鱼铜和铁, 肝脏铜和锌的代谢存在交互作用。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)。据报道, 虹鳟摄食铜含量为 990mg/kg 的饲料时, 其肝脏的锌、铁含量显著高于铜添加量为 3.5mg/kg 组(Julshamn *et al.*, 1988)。赵宇江等(2008)发现随饲料铜含量的升高, 草鱼肝胰脏锌含量在 14d 时, 显著降低, 且铜含量 208.54mg/kg 的各试验组, 显著低于铜含量 80.07

mg/kg 的各试验组; 而在 28d、42d、56d 时, 草鱼肝胰脏锌含量则呈现升高的趋势, 且在 56d 时, 饲料铜含量 439.50mg/kg 的试验组草鱼肝胰脏锌含量显著高于饲料铜含量为 9.38mg/kg 的对照组。锌可能在铜的解毒过程中起着重要的作用。Knox 等(1984)报道用铜含量为 495mg/kg 的饲料投喂虹鳟时, 提高饲料中的锌含量可以降低虹鳟肝脏的铜含量。他们推测肝脏铜含量的下降可能是由于肠道铜吸收减少所致。相反, Lanno 等(1985)用铜含量为 9—3088mg/kg 的饲料投喂虹鳟, 没有发现肾和肝脏的锌含量和饲料铜含量的升高有明显联系。Berntssen 等(1999b)报道饲料铜含量高达 1750mg/kg 对大西洋鲑的全鱼锌含量没有显著影响, 但是当饲料铜含量高于 900mg/kg 时, 肝脏硒含量降低。关于锌对铜的解毒作用还需进一步的研究。

4 结论

当饲料铜含量由 4.47mg/kg 升高到 1127.51mg/kg 时, 斜带石斑鱼增重率、饲料效率、肠脂比和全鱼铁含量显著降低, 全鱼和肝脏中的铜含量均随饲料铜水平的增加而显著增加, 其全鱼和肝脏的铜含量分别高达 34.98mg/kg 和 1364mg/kg, 但高水平铜对斜带石斑鱼的存活率、鱼体的肥满度、脏体比、肝体比和全鱼体组成没有显著性影响。摄食高铜饲料时, 斜带石斑鱼肝脏锌含量显著升高, 锌可能在铜的解毒过程中起着重要的作用。

参 考 文 献

- 赵宇江, 蒋 明, 高 攀等, 2008. 饲料中高水平铜对草鱼生长、肝胰脏和肌肉中铜铁锌含量的影响. 云南农业大学学报, 23(6): 798—825
- 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
- Berntssen M H G, Hylland K, Wendelaar Bonga S E *et al.*, 1999a. Toxic levels of dietary copper in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr. *Aquatic Toxicology*, 46: 87—99
- Berntssen M H G, Lundebye A K, Maage A, 1999b. Effects of elevated dietary copper concentrations on growth, feed utilisation and nutritional status of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry. *Aquaculture*, 174: 167—181
- Berntssen M H G, Lundebye A K, Harne K, 2000. Tissue lipid peroxidative responses in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr fed high levels of dietary copper and cadmium. *Fish Physiology and Biochemistry*, 23: 35—48
- 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*. 3rd 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
- Julshamn K, Andersen K J, Ringdal O *et al*, 1988. Effect of dietary copper on hepatic concentration and subcellular distribution of copper and zinc in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 73: 143—155
- Knox D, Cowey C B, Adron J W, 1984. Effects of dietary zinc intake upon copper metabolism in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 40: 199—207
- 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
- Lundebye A K, Berntssen M H G, Bonga S E W *et al*, 1999. Biochemical and physiological in Atlantic salmon (*Salmo salar*) following dietary exposure to copper and cadmium. *Marine Pollution Bulletin*, 39: 137—144
- Maage A, 1994. Trace Elements in Atlantic Salmon *Salmo salar* Nutrition. Ph.D. Thesis. University of Bergen, Bergen, Norway, 1—20
- Murai T, Andrews J W, Smith II R G, 1981. Effects of dietary copper on channel catfish. *Aquaculture*, 22: 353—357
- 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

EFFECTS OF ELEVATED DIETARY COPPER LEVELS ON GROWTH AND Cu, Fe, Mn, Zn CONTENT OF JUVENILE GROUPER *EPINEPHELUS COIOIDES*

YE Chao-Xia^{1,2}, LIU Yong-Jian², TIAN Li-Xia², YANG Hui-Jun²,
WANG An-Li¹, ZHOU Li-Bin³

(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 effect of elevated dietary copper (Cu) level on growth performance, feed utilization, morphological indicators, carcass composition and Cu, Fe, Mn and Zn content of juvenile grouper, *Epinephelus coioides*. Two diets containing 4.47mg/kg and 1127.51mg/kg Cu respectively were fed to juvenile grouper with an initial weight of (12.9 ± 0.2)g for 8 weeks. When dietary Cu increased from 4.47mg/kg to 1127.51mg/kg, weight gain of grouper dropped significantly from 228% to 63%, feed efficiency from 1.12 to 0.51, mesenteric fat index from 2.90% to 1.69%. Cu content of whole body and liver increased significantly with dietary Cu increment. Cu content of whole body increased significantly from 2.98mg/kg to 34.98mg/kg, and liver Cu content increased significantly from 36.6mg/kg to 1364.0mg/kg. Elevated dietary Cu showed no significant effect on survival, condition factor, viscera somatic index, hepato somatic index and carcass composition of juvenile grouper. Grouper fed diets with 1127.51mg/kg Cu had significantly higher liver Zn content than those fed diets with 4.47mg/kg Cu, which indicates Zn might play an important role in Cu detoxification.

Key words Grouper *Epinephelus coioides*; Copper toxicity; Mineral