

饲料中锌含量对斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)生长、饲料效率、矿物质含量和体组成的影响*

叶超霞^{1,2} 刘永坚² 田丽霞² 周立斌³ 阳会军² 梁桂英²

(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)

摘要 以 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 为锌源, 用锌添加量为 0、20、40、60、80 和 100mg/kg 的实验饲料投喂斜带石斑鱼 12 周, 研究其对斜带石斑鱼生长、饲料效率、矿物质含量和体组成的影响。结果表明, 各实验组的增重率, 饲料效率, 存活率和全鱼、脊椎骨、鳞片的锌含量无显著差异。全鱼、脊椎骨和鳞片的锰含量均随着饲料中锌的添加而降低, 锰和锌存在明显的拮抗关系。全鱼的铁含量随着饲料中锌的添加而降低。全鱼、脊椎骨和鳞片的钙、磷、镁含量均不受饲料中锌含量的影响。饲料中添加锌对全鱼水分、灰分, 肌肉水分、脂肪, 形态学指标, 红细胞比容和血红蛋白含量没有显著影响。饲料中不添加锌时, 全鱼的蛋白、脂肪和肌肉的蛋白、灰分含量较低。实验结果表明基础饲料中 33mg/kg 的锌已经满足斜带石斑鱼生长的需求, 能使鱼体锌达到饱和。

关键词 斜带石斑鱼, 锌需要量, 生长, 矿物质

中图分类号 S963

锌是大多数生物所必需的微量元素, 具有重要的生物功能。它是许多酶的组成成分或激活剂, 如碳酸酐酶、乙醇脱氢酶、羧肽酶、碱性磷酸酶、聚合酶、胶原酶(Halver *et al.*, 2002)。锌参与多种代谢过程, 包括糖类、脂类、蛋白质与核酸的合成与降解。迄今, 有不少研究者报道了鱼类的锌需求量, 包括虹鳟(Ogino *et al.*, 1978)、鲤鱼(Ogino *et al.*, 1979)、大西洋鲑(Maage *et al.*, 1993)、斑点叉尾鲷(Gatlin *et al.*, 1983)、罗非鱼(McClain *et al.*, 1988; Eid *et al.*, 1994)、美国红鱼(Gatlin *et al.*, 1991)、虹鳟(Shim *et al.*, 1993)、牙鲆(魏万权等, 1999)、鲫鱼(张薇等, 2004)、大黄鱼(张佳明等, 2008)、花鲈(周立斌等, 2009)、军曹鱼(杨原志等, 2010)、星斑川鲷(崔立娇等, 2010)等。鱼类锌缺乏时会产生显著的缺乏症, 如白内障、生长不良、死亡率高、皮肤

鳍糜烂(Ogino *et al.*, 1978)、短躯(Satoh *et al.*, 1983)、厌食、组织和器官中锌含量低(Gatlin *et al.*, 1983; Eid *et al.*, 1994)等。

石斑鱼是我国近几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大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。受国家“十五”科技攻关项目的资助, 作者对斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)的矿物质营养方面开展了一系列的研究, 为配制高效环保的石斑鱼商用饲料提供科学依据。本研究采用 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 作为锌源, 研究饲料中锌水平对斜带石斑鱼生长、饲料效率、鱼体锌含量、体组成和血液指标的影响, 目的在于确定饲料中锌的适宜添加量。另

* 国家科技支撑计划项目, 2007BAD29B04 号; 广东省重点实验室建设项目, 2009A060800019 号; 广东省自然科学基金, 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: 2012-02-17, 收修改稿日期: 2012-03-31

外,本研究还探讨了饲料中锌水平与鱼体中铁、锰、钙、磷、镁的关系。

1 材料与方法

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(AOAC, 1984)见表 1。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 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 作为锌源, 配制 6 种不同锌水平的饲料。

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	56.9
复合矿物盐 ²	8	粗脂肪	10.7
复合维生素 ³	2	灰分	5

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; 硫酸镁 5480; 柠檬酸铁 1476; 氯化钴 42; 硫酸锰 22; 碘化钾 6.8; 氯化铝 7.2; 硫酸铜 8.1; 氯化钾 4144; 硒酸钠 0.66; 纤维素 6499

³复合维生素(mg/g 混合物): VB_1 2.5; VB_2 10; 泛酸钙 25; 烟酸 37.5; VB_6 2.5; 叶酸 0.75; 肌醇 100; VK 2; VE 20; VA 1; VD 0.0025; 生物素 0.25; 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

锌添加量(mg/kg)	锌(mg/kg)	铜(mg/kg)	铁(mg/kg)	钙(%)	磷(%)
0	33±1	3.75±0.04	454±3	0.76±0.01	0.95±0.01
20	64±1	4.12±0.15	463±8	0.80±0.02	1.00±0.01
40	98±5	3.57±0.08	475±19	0.77±0.00	0.96±0.02
60	123±2	3.99±0.09	453±15	0.73±0.01	0.96±0.01
80	163±1	4.04±0.02	490±11	0.77±0.01	0.99±0.00
100	190±1	6.16±0.08	502±2	0.75±0.01	1.01±0.01

注: 锌以 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 添加

锌的添加水平分别为 0、20、40、60、80 和 100mg/kg。实验饲料中的矿物质量(锌、铜、铁、钙、磷)采用等离子体原子发射光谱仪测定, 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 10%—14%, 而后用封口塑料袋封装, -20℃ 保存备用。

1.2 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。正式实验前, 实验鱼暂养于 300L 玻璃纤维缸中, 以不添加锌的基础饲料喂养 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(8.5±0.1)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±2)℃, 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。水中锌离子含量为 0.021mg/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 12 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 尾用作全鱼水分、蛋白、脂肪和灰分的分析和矿物质含量分析, 另外 8 尾鱼, 用 MS-222 麻醉后, 分别称量体重、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, 使用经过肝素钠处理的注射器从围心腔取血, 用

于红细胞比容和血红蛋白含量测定, 取肌肉用于水分、蛋白、脂肪和灰分的分析, 取鳞片和脊椎骨用于矿物质含量分析。

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。血红蛋白的测定采用氰化高铁血红蛋白法, 试剂盒购自南京建成生物有限公司。

饲料、全鱼、鳞片和脊椎骨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)测定离子含量。

水分采用 105℃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℃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。

2 结果

2.1 饲料中添加锌对斜带石斑鱼生长性能、饲料利用效率、形态学指标和血液指标的影响

锌对斜带石斑鱼生长性能、饲料利用效率、形态学指标和血液指标的影响见表 3。实验开始时, 鱼体初重为(8.5±0.1)g, 养殖 12 周后, 各实验组增重率在 597%—690%之间, 各实验组间差异不显著($P > 0.05$)。饲料效率在 1.24—1.41 之间, 各实验组间差异不显著($P > 0.05$)。各实验组存活率在 88%—95%之间, 在该基础饲料(锌含量为 33mg/kg)中添加锌对斜带石斑鱼存活率也没有显著影响($P > 0.05$)。饲料中添加锌对鱼体的肥满度、脏体比、肝体比、肠脂比、红细胞比容和血红蛋白含量没有显著性影响($P > 0.05$)。

表 3 饲料中锌含量对斜带石斑鱼生长性能、饲料利用效率、形态学指标和血液指标的影响

Tab.3 Effect of dietary zinc on growth performance, feed utilization, morphological and haematological indicators of juvenile grouper

指标	锌添加量(mg/kg)						ANOVA
	0	20	40	60	80	100	
增重率(%)	690±40	634±8	604±34	597±43	630±21	623±41	ns
饲料效率	1.24±0.02	1.41±0.07	1.25±0.01	1.35±0.04	1.28±0.02	1.38±0.06	ns
存活率(%)	93±3	92±2	95±3	95±0	88±6	88±3	ns
肥满度(%)	2.74±0.10	2.68±0.02	2.72±0.03	2.68±0.03	2.71±0.03	2.72±0.05	ns
脏体比(%)	8.33±0.10	8.02±0.17	8.14±0.27	8.03±0.12	8.21±0.13	8.30±0.20	ns
肝体比(%)	2.39±0.14	2.18±0.08	2.20±0.03	2.14±0.15	2.27±0.06	2.47±0.04	ns
肠脂比(%)	2.82±0.01	2.86±0.26	2.95±0.27	2.86±0.03	2.94±0.08	2.84±0.13	ns
红细胞比容(%)	29.9±2.4	27.6±2.0	28.3±0.2	29.2±1.5	25.5±1.4	26.2±0.8	ns
血红蛋白(g/L)	114±7	120±3	141±7	125±9	136±8	135±2	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(8.5±0.1)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)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 4 饲料中锌含量对斜带石斑鱼全鱼矿物质含量的影响

Tab.4 Effect of dietary zinc on whole body mineral content of juvenile grouper

锌添加量(mg/kg)	锌(mg/kg)	铁(mg/kg)	锰(mg/kg)	钙(%)	磷(%)	镁(%)
0	61.5±0.7	46.5±2.6 ^a	13.3±1.3 ^a	3.92±0.15	2.93±0.12	0.16±0.01
20	61.6±2.0	42.1±2.3 ^{ab}	11.4±0.4 ^{ab}	4.07±0.13	2.97±0.03	0.17±0.00
40	70.2±6.2	37.8±1.0 ^{bc}	10.1±0.2 ^{bc}	3.94±0.07	2.90±0.06	0.16±0.01
60	73.5±4.4	35.1±0.8 ^c	9.6±1.2 ^{bc}	4.13±0.06	3.00±0.00	0.16±0.01
80	70.3±0.9	35.4±0.5 ^c	9.6±0.8 ^{bc}	3.87±0.11	2.87±0.09	0.16±0.01
100	74.4±2.6	35.8±2.6 ^c	8.4±0.7 ^c	4.01±0.06	3.00±0.00	0.18±0.00
ANOVA	ns	0.005	0.023	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 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 Zn(99mg/kg), Fe(49.7mg/kg), Mn(19.2mg/kg), Ca(5.7%), P(3.9%), Mg(0.23%)

2.2 饲料中添加锌对斜带石斑鱼矿物质含量的影响
 全鱼的锌、铁、锰、钙、磷、镁含量如表 4 所示。全鱼的锌含量在各组间没有显著差异($P>0.05$)。饲料中添加锌显著影响斜带石斑鱼全鱼的铁和锰含量($P<0.05$)，全鱼的铁和锰含量均随着饲料中锌的添加而降低，铁和锌、锰和锌存在明显的拮抗关系。全鱼的钙、磷、镁含量均不受饲料中锌含量的影响($P>0.05$)。
 脊椎骨的锌、铁、锰、钙、磷、镁含量如表 5 所示。脊椎骨的锌含量在各组间没有显著差异($P>0.05$)。饲料中添加锌显著影响斜带石斑鱼脊椎骨的锰含量($P<0.05$)，脊椎骨的锰含量随着饲料中锌的添加而降

低，锰和锌存在明显的拮抗关系。脊椎骨的钙、磷、镁含量均不受饲料中锌含量的影响($P>0.05$)。

鳞片的锌、锰、钙、磷、镁含量如表 6 所示。从表 6 可以看出，鳞片的锌含量在各组间没有显著差异($P>0.05$)。饲料中添加锌显著影响斜带石斑鱼鳞片的锰含量($P<0.05$)，鳞片的锰含量随着饲料中锌的添加而降低，锰和锌存在明显的拮抗关系。鳞片的钙、磷、镁含量均不受饲料中锌含量的影响($P>0.05$)。

2.3 饲料中添加锌对斜带石斑鱼体组成的影响

从表 7 可以看出，饲料中添加锌显著影响斜带石斑鱼全鱼和肌肉的蛋白含量($P<0.05$)。饲料中锌添加

表 5 饲料中锌含量对斜带石斑鱼脊椎骨矿物质含量的影响
 Tab.5 Effect of dietary zinc on vertebrae mineral content of juvenile grouper

锌添加量(mg/kg)	锌(mg/kg)	铁(mg/kg)	锰(mg/kg)	钙(%)	磷(%)	镁(%)
0	85.5±3.3	15.6±0.5	68.1±2.7 ^a	20.4±0.8	11.8±0.4 ^a	0.40±0.03
20	85.1±0.6	19.6±5.0	49.1±0.7 ^b	17.5±0.1	10.4±0.1 ^b	0.35±0.01
40	87.2±2.9	15.7±4.4	47.6±2.9 ^b	17.7±1.3	10.3±0.7 ^b	0.36±0.03
60	84.6±1.4	12.1±2.6	39.6±1.1 ^c	18.6±0.3	10.9±0.2 ^{ab}	0.38±0.02
80	84.8±0.7	13.2±1.8	36.8±0.8 ^c	18.3±0.1	10.8±0.0 ^{ab}	0.38±0.01
100	87.8±2.6	12.9±3.1	34.9±0.5 ^c	19.4±0.1	11.3±0.1 ^{ab}	0.40±0.01
ANOVA	ns	ns	0.000	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($P>0.05$)。实验开始时，脊椎骨的矿物质含量为 Zn(101mg/kg)，Fe(68.3mg/kg)，Mn(46.9mg/kg)，Ca(17.4%)，P(10.7%)，Mg(0.37%)

表 6 饲料中锌含量对斜带石斑鱼鳞片矿物质含量的影响
 Tab.6 Effect of dietary zinc on scale mineral content of juvenile grouper

锌添加量(mg/kg)	锌(mg/kg)	锰(mg/kg)	钙(%)	磷(%)	镁(%)
0	110±12	52.3±4.6 ^a	15.0±0.6	8.5±0.3	0.32±0.01
20	105±8	38.0±2.5 ^b	14.9±0.7	8.6±0.4	0.32±0.01
40	106±8	37.3±3.5 ^b	15.2±0.7	8.6±0.4	0.32±0.01
60	122±8	33.0±1.9 ^b	15.9±0.9	9.0±0.4	0.34±0.01
80	117±1	32.3±1.6 ^b	16.0±0.3	8.9±0.1	0.33±0.01
100	122±4	29.1±0.4 ^b	14.5±1.0	8.2±0.6	0.31±0.02
ANOVA	ns	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($P>0.05$)

表 7 饲料中锌含量对斜带石斑鱼体组成的影响(%)
 Tab.7 Effect of dietary zinc on body composition of juvenile grouper (%)

指标	锌添加量(mg/kg)						ANOVA
	0	20	40	60	80	100	
全鱼：水分	70.9±0.7	70.5±0.3	69.7±0.4	69.8±0.1	69.9±0.5	70.9±0.4	ns
蛋白	18.4±0.2 ^b	19.1±0.1 ^a	19.1±0.1 ^a	19.0±0.3 ^a	19.2±0.1 ^a	18.8±0.0 ^{ab}	0.041
脂肪	6.4±0.4 ^c	7.3±0.3 ^{ab}	7.8±0.2 ^a	7.5±0.1 ^a	7.3±0.3 ^{ab}	6.6±0.2 ^{bc}	0.022
灰分	4.4±0.2	4.2±0.1	4.1±0.0	4.2±0.0	4.2±0.1	4.2±0.1	ns
肌肉：水分	75.9±0.2	75.7±0.1	76.0±0.2	75.7±0.1	75.8±0.3	75.9±0.1	ns
蛋白	22.1±0.1 ^c	22.2±0.3 ^{bc}	22.3±0.1 ^{abc}	22.7±0.1 ^a	22.5±0.1 ^{ab}	22.5±0.0 ^{ab}	0.036
脂肪	2.0±0.1	1.7±0.1	1.5±0.2	1.8±0.2	1.9±0.3	1.9±0.1	ns
灰分	1.29±0.01 ^c	1.34±0.01 ^a	1.34±0.03 ^a	1.34±0.02 ^a	1.33±0.02 ^{ab}	1.30±0.01 ^{bc}	0.007

注：数据以三个重复的平均值±标准误来表示，每行数据后字母不同表示有显著差异($P<0.05$)，ns 表示无显著性差异($P>0.05$)

量为 20—80mg/kg 时, 其全鱼蛋白含量显著高于不添加锌组; 肌肉蛋白含量随饲料锌添加量上升呈先上升后下降趋势。饲料中添加锌显著影响斜带石斑鱼全鱼脂肪和肌肉灰分含量($P<0.05$), 全鱼脂肪和肌肉灰分含量随饲料锌添加量上升呈先上升后下降趋势。饲料中添加锌对全鱼的水分和灰分含量, 肌肉的水分和脂肪含量没有显著性影响($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 斜带石斑鱼锌需求量

本实验结果显示, 在该基础饲料中添加锌对于斜带石斑鱼的生长、饲料利用效率和存活率没有显著影响, 而且全鱼、脊椎骨和鳞片的锌含量各组间也没有显著差异, 这表明基础饲料中 33mg/kg 的锌已经满足斜带石斑鱼生长的需求, 且能使鱼体锌含量达到饱和。经测定, 实验饲料中酪蛋白的锌含量为 50mg/kg, 饲料中添加 40% 酪蛋白, 也就有 20mg/kg 的锌来源于酪蛋白。作者的研究结果与其它鱼种的锌需求相似, 如虹鳟和鲤鱼锌需求为 15—30mg/kg (Ogino *et al.*, 1978, 1979), 斑点叉尾鲷的锌需求为 20mg/kg (Gatlin *et al.*, 1983), 蓝罗非鱼的锌需求为 20mg/kg (McClain *et al.*, 1988), 尼罗罗非鱼的锌需求为 30mg/kg (Eid *et al.*, 1994), 美国红鱼的锌需求为 20—25mg/kg (Gatlin *et al.*, 1991)。有研究者(Maage *et al.*, 1993)使用含锌量为 17mg/kg 的基础饲料研究大西洋鲑的锌需求量, 认为大西洋鲑的锌需求量介于 37—67mg/kg 之间; 若完全以海鱼为蛋白源, 大西洋鲑饲料中的锌含量应大于 67mg/kg。魏万权等(1999)认为, 在牙鲆的实用饲料中, 锌添加量应大于 80mg/kg, 锌的总含量应在 119.2mg/kg 以上。张佳明等(2008)以特定生长率与骨骼锌含量为评价指标, 根据折线模型得出大黄鱼对饲料中锌的需要量分别为 59.6 和 84.6mg/kg。不同鱼类对饲料中锌的需求量有很大的差异, 这不仅仅与实验鱼的种类、饲料的组成及适口性、实验鱼的大小、投喂次数及水平、实验条件等客观因素有关, 作者认为实验中增重率的大小、养殖周期的长短、评价指标的选择和各种数据模型的选择等因素对确定鱼类的锌需求量有很大影响。

饲料中的钙、磷水平, 植酸, 蛋白源, 锌的添加形式对饲料中锌的吸收和利用有影响(Gatlin *et al.*, 1984; Wekell *et al.*, 1986; Satoh *et al.*, 1987, 1989; McClain *et al.*, 1988)。实用饲料中的植酸盐, 高含量的钙和磷会降低饲料锌的利用, 通常需要添加高含量

的锌以弥补不足(Halver *et al.*, 2002)。因此在配制石斑鱼商用饲料时, 如果使用含有高钙磷的鱼粉或者含有植酸的植物蛋白源, 需要提高饲料内锌含量才能满足石斑鱼的锌需求。

3.2 饲料中锌水平与鱼体中铁、锰、钙、磷、镁的关系

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)。作者以前的研究表明, 饲料中锰含量对斜带石斑鱼全鱼的锌含量没有显著影响, 但在锰添加量为 15mg/kg(锰总含量为 23mg/kg)时斜带石斑鱼脊椎骨的锌含量最高。本实验探讨饲料中锌含量对斜带石斑鱼锰含量的影响, 发现全鱼、脊椎骨和鳞片的锰含量均随着饲料中锌的添加而降低, 锌和锰存在明显的拮抗关系。据作者所知, 还未见有其它关于饲料中锌含量对鱼体锰含量影响的报道。锌和锰的拮抗关系可能与超氧化物歧化酶有关。超氧化物歧化酶有两种存在形式: 铜-锌超氧化物歧化酶和锰超氧化物歧化酶。有研究表明, 饲料中的铜、锌含量对虹鳟肝脏的总超氧化物歧化酶(包括铜-锌超氧化物歧化酶和锰超氧化物歧化酶)没有显著影响, 但是铜-锌超氧化物歧化酶随着饲料锌含量的增加而增加, 锰超氧化物歧化酶随着饲料锌含量的增加而减少(Knox *et al.*, 1984)。饲料中锌升高时, 鱼体铜-锌超氧化物歧化酶升高, 同时锰超氧化物歧化酶降低, 这可能与饲料中锌含量升高抑制鱼体的锰含量有关。

锌和铁交互关系在哺乳动物(Settlemyre *et al.*, 1967a, b; Donangelo *et al.*, 2002)和鱼类(Ogino *et al.*, 1978; Wekell *et al.*, 1986; Spry *et al.*, 1988; Eid *et al.*, 1994)已经有所报道。有研究者报道饲料中锌含量低时, 虹鳟的全鱼铁含量较高(Ogino *et al.*, 1978; Spry *et al.*, 1988)。虹鳟全鱼的铁含量和饲料中锌含量呈负相关(Wekell *et al.*, 1986)。罗非鱼全鱼的锌含量随着饲料中锌含量的增加而增加, 全鱼的铁含量随着饲料中锌含量的增加而下降, 锌和铁存在拮抗关系(Eid *et al.*, 1994)。Marcelo 等(2004)的研究表明, 饲料中锌含量对尼罗罗非鱼肌肉和肝脏的铁含量没有显著影响, 但是骨骼的铁含量随着饲料锌含量的增加而下降。然而, 有研究者报道, 饲料中锌含量对大西洋鲑的全鱼和肝脏铁含量均没有显著影响(Maage *et al.*, 1993)。本实验表明, 在斜带石斑鱼中, 饲料中的锌含量也能显著影响斜带石斑鱼的全鱼铁水平, 全鱼铁含量随着饲料锌含量的增加而减少。作者以前的实验表明, 饲料中的铁添加量对斜带石斑鱼全鱼的锌含量没有显

著影响,这两个实验的基础饲料配方类似,因此作者认为锌和铁的关系并不是对等的,饲料中锌能抑制铁的吸收利用,但是铁不能影响锌的吸收利用。有研究表明,食用铁添加剂能够改善人体的铁营养状况,对人体锌水平没有显著影响,食用锌添加剂能改善锌的营养状况,但是引起细胞铁缺乏症状,可能会进一步降低人体的铁水平(Donangelo *et al*, 2002)。

饲料中锌含量对鱼体钙、镁的影响在一些鱼上有报道,但是结果不一致。美国红鱼摄食不添加锌的基础饲料(锌含量为5mg/kg)时,鳞片的钙和镁含量显著比添加锌组高,骨骼的钙和镁含量则不受影响,当饲料锌含量高于需求量时,鳞片和骨骼的钙、镁含量各组间没有显著差异(Gatlin *et al*, 1991)。斑点叉尾鲷在摄食不添加锌的基础饲料(锌含量为1.3mg/kg)时,全鱼的钙含量较高(Scarpa *et al*, 1992)。相反,有研究者报道,斑点叉尾鲷摄食低锌饲料(锌含量1.0—1.5mg/kg)时,血清和骨骼的钙含量较低(Gatlin *et al*, 1983)。Marcelo等(2004)的研究表明,尼罗罗非鱼摄食不添加锌的豆粉基础饲料(锌含量为49.77)时,肌肉中的钙含量较低,然后随着饲料锌的添加而增加,骨骼和肝脏的钙含量不受饲料锌含量影响。本实验结果表明,在该基础饲料中添加锌对全鱼、脊椎骨和鳞片的钙、磷、镁含量均没有显著影响,这进一步表明基础饲料中的锌含量已经满足斜带石斑鱼的锌需求。

3.3 饲料中锌水平与鱼体形态学指标、血液指标、体组成的关系

在饲料锌严重缺乏时,有些鱼类出现短躯和贫血。例如虹鳟出现短躯(Satoh *et al*, 1983),尼罗罗非鱼摄食不添加锌的豆粉基础饲料(锌含量为49.77mg/kg)时,血红蛋白和红细胞比容显著降低(Marcelo *et al*, 2004)。本实验表明,在基础饲料(锌含量为33mg/kg)中添加锌对斜带石斑鱼的肥满度、脏体比、肝体比、肠脂比、红细胞比容和血红蛋白含量没有显著影响。该研究结果与对大西洋鲑(Maage *et al*, 1993)的研究结果一致。

锌参与糖类、脂类、蛋白质与核酸的合成与降解等多种代谢过程,但是饲料中锌含量对鱼体的水分、蛋白、脂肪、灰分含量的影响却鲜见报道。有研究者曾报道饲料的锌含量对虹鳟和鲤鱼的体组成的影响,但是这些研究并未显示结果是否有显著差异(Ogino *et al*, 1978, 1979)。本研究结果表明,饲料中锌含量对斜带石斑鱼全鱼的水分、灰分,肌肉的水分、脂肪含量没有显著影响,但是饲料中不添加锌时,全鱼的蛋

白、脂肪和肌肉的蛋白、灰分含量较低。张佳明等(2008)研究发现饲料中添加锌对大黄鱼幼鱼的全鱼水分、蛋白、脂肪和灰分均无显著影响。饲料中添加锌对鱼体蛋白质含量的影响需要进一步探讨。

4 小结

本研究表明,基础饲料中33mg/kg的锌已经满足斜带石斑鱼生长的需求,且能使鱼体锌含量达到饱和。全鱼、脊椎骨和鳞片的锰含量均随着饲料中锌的添加而降低,锰和锌存在明显的拮抗关系。全鱼的铁含量也随着饲料中锌的添加而降低。

参 考 文 献

- 杨原志,董晓慧,徐志雄等,2010. 军曹鱼幼鱼商品饲料中铁、锌适宜添加量的研究. 水产科学, 29(10): 567—572
- 张薇,彭正羽,李亚南,2004. 锌对鲫鱼免疫功能的影响研究. 浙江大学学报(理学版), 31(4): 456—459
- 张佳明,艾庆辉,麦康森等,2008. 大黄鱼幼鱼对饲料中的锌需要量. 水产学报, 32(3): 417—424
- 周立斌,张伟,王安利等,2009. 饲料中锌对花鲈(*Lateolabrax japonicus*)幼鱼生长免疫和组织积累的影响. 海洋与湖沼, 40(1): 42—47
- 崔立娇,张利民,王际英等,2010. 饲料锌水平对星斑川鲷幼鱼生长、组织积累和抗氧化功能的影响. 水产学报, 34(9): 1420—1428
- 魏万权,李爱杰,李德尚,1999. 饲料中添加锌对牙鲆生长和生化指标的影响. 青岛海洋大学学报, 29(1): 60—66
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1984. In: Williams S ed. Official Methods of Analysis. 14th edn. AOAC, Washington DC, USA
- Donangelo C M, Woodhouse L R, King S M *et al*, 2002. Supplemental zinc lowers measures of iron status in young women with low iron reserves. J Nutr, 132: 1860—1864
- Eid A E, Ghonim S I, 1994. Dietary zinc requirement of fingerling *Oreochromis niloticus*. Aquaculture, 119: 259—264
- Gatlin D M III, O'Connell J P, Scarpa J, 1991. Dietary zinc requirement of the red drum, *Sciaenops ocellatus*. Aquaculture, 92: 259—265
- Gatlin D M III, Wilson R P, 1983. Dietary zinc requirement of fingerling channel catfish. J Nutr, 113: 630—635
- Gatlin D M III, Wilson R P, 1984. Zinc supplementation of practical channel catfish diets. Aquaculture, 41: 31—36
- 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
- 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

- Maage A, Julshamn K, 1993. Assessment of zinc status in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) by measurement of whole body and tissue levels of zinc. *Aquaculture*, 117: 179—191
- Marcelo Viniciuss do Carmo Sa, Luiz Edivaldo Pezzato, Margarida Maria Barros Ferreira Lima *et al*, 2004. Optimum zinc supplementation level in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* juveniles diets. *Aquaculture*, 238: 385—401
- McClain W R, Gatlin D M, 1988. Dietary zinc requirement of *Oreochromis aureus* and effect of dietary calcium and phytate on zinc bioavailability. *J World Aquacult Soc*, 19: 103—108
- Ogino C, Yang G, 1978. Requirement of rainbow trout for dietary zinc. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 11: 1015—1018
- Ogino C, Yang G, 1979. Requirement of carp for dietary zinc. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 45: 967—969
- Satoh S, Izume K, Takeuchi T *et al*, 1987. Availability to rainbow trout of zinc contained in various types of fish meals. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53: 1861—1866
- Satoh S, Poe W E, Wilson R P, 1989. Effect of supplemental phytate and/or tricalcium phosphate on weight gain, feed efficiency and zinc content in vertebrae of channel catfish. *Aquaculture*, 80: 155—161
- Satoh S, Yamamoto H, Takeuchi T *et al*, 1983. Effects on growth and mineral composition of rainbow trout on deletion of trace elements or magnesium from fish meal diet. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 49: 425—429
- Scarpa J, Gatlin D M III, 1992. Dietary zinc requirements of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, swim-up fry in soft and hard water. *Aquaculture*, 106: 311—322
- Settlemyre C T, Malrone G, 1967a. *In vivo* interference of zinc with ferritin iron in the rat. *J Nutr*, 92: 153—158
- Settlemyre C T, Malrone G, 1967b. *In vivo* effect of zinc on iron turnover in rats and life span of the erythrocyte. *J Nutr*, 92: 159—164
- Shim K F, Lee T L, 1993. Zinc requirement of the guppy (*Poecilia reticulata* Peters). *J Aquacult Trop*, 8: 81—90
- Spry D J, Hodson P V, Wood C M, 1988. Relative contribution of dietary and waterborne zinc in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can J Fish Aquat Sci*, 45: 32—41
- Wekell J C, Shearer K D, Gauglitz E J *et al*, 1986. Zinc supplementation of trout diets: tissue indicators of body zinc status. *Prog Fish Cult*, 48: 205—212

EFFECT OF DIETARY ZINC ON GROWTH, FEED EFFICIENCY, MINERAL CONTENT AND BODY COMPOSITION OF JUVENILE GROUPER *EPINEPHELUS COIOIDES*

YE Chao-Xia^{1,2}, LIU Yong-Jian², TIAN Li-Xia², ZHOU Li-Bin³,
YANG Hui-Jun², LIANG Gui-Ying²

(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 dietary zinc on growth, mineral concentration and body composition of juvenile grouper, *Epinephelus coioides*. Six diets were prepared by supplementing a casein-gelatin-based diet with 0, 20, 40, 60, 80 and 100mg/kg zinc from ZnSO₄·7H₂O. The analyzed zinc contents of the diets were 33, 64, 98, 123, 163, 190mg/kg respectively. Grouper with an initial weight of (8.5±0.1)g were fed to satiation for 12 weeks. Growth, feed efficiency, survival, zinc concentrations of whole body, vertebrae and scale were not significantly affected by dietary zinc supplements. Manganese concentrations of whole body, vertebrae and scale were all significantly decreased by dietary zinc supplements. Whole body ferrum decreased with increasing dietary zinc. Calcium, phosphorus and magnesium concentrations of whole body, vertebrae and scale were not significantly affected by dietary zinc supplements. Dietary zinc concentration had no significant effect on whole body moisture and ash, muscle moisture and lipid, morphological and haematological indicators. Whole body protein, lipid and muscle protein, ash were lower when fish were fed the basal diet without zinc supplement. Based on our results, 33mg/kg zinc from the basal diet met the zinc requirement of grouper.

Key words Grouper *Epinephelus coioides*, Zinc requirement, Growth, Mineral