

## 饲料中添加硫酸锌对奥尼罗非鱼幼鱼 生长和机体抗氧化功能的影响

吴红岩<sup>1,2</sup>, 陈孝煊<sup>1</sup>, 阳会军<sup>2</sup>, 刘永坚<sup>2</sup>, 田丽霞<sup>2</sup>

(1. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070;

2. 中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275)

**摘要:** 试验以硫酸锌为锌源, 评价不同锌水平对奥尼罗非鱼幼鱼 (*Oreochromis aureus* ♂ × *Oreochromis niloticus* ♀) 生长和抗氧化能力的影响。体质量为  $(4.13 \pm 0.32)$  g 罗非鱼随机分配在 18 个水族箱中, 每箱 20 尾, 每 3 个箱为 1 个处理组, 分别以添加锌为 0、20、40、80、160 和  $320 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  的 6 种饲料投喂, 日投喂率为鱼体重 5%~9%。8 周的试验结果表明:  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  锌饲料组的增重率和鱼体蛋白含量显著高于其它各组 ( $P < 0.05$ ), 蛋白质效率、饲料转化率也明显高于其它各组; 全鱼脂肪含量随着饲料锌水平的升高而升高, 但  $320 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  锌饲料组降低;  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  锌饲料组, 脊椎骨中锌离子浓度达到最大值且显著高于  $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  锌饲料组 ( $P < 0.05$ );  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  与  $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  锌饲料组的血液中红细胞数量显著高于其它各添加组 ( $P < 0.05$ );  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  锌饲料组的血液中血比容显著高于  $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  组 ( $P < 0.05$ ), 与其它各组没有显著差异; 肌肉中, 硫代巴比妥酸反应产物 (TBARS) (Thiobarbituric acid-reactive substances) 的量, 锌为  $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组显著高于其它各组 ( $P < 0.05$ )。综上所述, 饲料中锌添加量为  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料促进了罗非鱼生长, 使鱼体抗氧化功能增强。

**关键词:** 奥尼罗非鱼幼鱼; 锌; 生长; 抗氧化

**中图分类号:** S 963.73      **文献标识码:** A

锌是生物机体的一种必需微量元素, 是许多酶如参与蛋白质合成的 DNA、RNA 聚合酶维持正常生理活性的辅助因子之一<sup>[1]</sup>。有研究表明, 锌严重缺乏会引起鱼体生长迟缓、厌食等不良症状。国外的一些研究表明, 缺锌可引起鱼类免疫缺陷, 增加易感性<sup>[2]</sup>。引起锌缺乏的主要原因是锌摄入量不足。饲料中锌添加量和鱼体肠道能否对锌有效吸收, 是维持机体锌正常平衡的关键因素<sup>[3]</sup>。在对尼罗罗非鱼的研究中发现, 以酪蛋白为蛋白源的饲料中添加  $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  锌, 鱼体生长速度和骨中锌离子含量达到最大值<sup>[4-5]</sup>。锌在抗氧化清除自由基的过程中同样也发挥着重要作用

用<sup>[6]</sup>, 这种作用可能与一种可以清除自由基的硫因蛋白合成有关<sup>[7-8]</sup>。

奥尼罗非鱼是我国罗非鱼主要养殖品种, 而对于奥尼罗非鱼饲料中添加不同水平锌对其生长和机体抗氧化功能的影响研究目前还没有相关报道。本试验以奥尼罗非鱼幼鱼作为试验对象, 以硫酸锌作为锌源, 评价不同锌水平对奥尼罗非鱼生长、体成分和抗氧化能力的影响。

### 1 材料与试验方法

#### 1.1 试验鱼、饲养管理和试验饲料

试验所用奥尼罗非鱼由广州市番禺区良种场

收稿日期: 2007-03-26

资助项目: 国家“十一五”农业行业专项资助(nyhyzx07-044)

作者简介: 吴红岩(1979-), 女, 辽宁阜新人, 硕士研究生, 从事鱼类营养学研究。Tel: 020-84110789, E-mail: tkhyu@yahoo.com.cn

通讯作者: 阳会军, E-mail: yanghj93@263.net

提供,平均体质量(4.13 ± 0.32) g。试验在室内循环流水过滤水族箱(98 cm × 48 cm × 42 cm, 水容量 200 L)中进行,每箱 20 尾,驯养 2 周,期间投喂锌浓度为 0 mg·kg<sup>-1</sup> 饲料组饲料,水源为曝气自来水。试验开始后,每天等量投喂两次(上午 09:00、下午 16:00),试验周期为 8 周。试验期间水温为 25.0 ~ 27.8 °C,溶氧为 5.87 ~ 7.88

mg·L<sup>-1</sup>, pH 为 7.11 ~ 7.70,铵氮含量为 0.54 ~ 0.61 mg·L<sup>-1</sup>,锌离子含量为 0.011 mg·L<sup>-1</sup>。试验饲料添加锌浓度分别为:0、20、40、80、160、320 mg·kg<sup>-1</sup> 饲料,每种饲料 3 个平行。试验饲料原料粉碎过 40 目筛,按表 1 饲料配方称重,均匀混合,挤压成直径 1.5 mm 的颗粒,置 - 20 °C 冰箱备用。

表 1 试验饲料配方及营养组成

Tab. 1 Composition and proximate analysis of the experimental diets g·100 g<sup>-1</sup> dry matter

原料成分 ingredients	锌含量(mg·kg <sup>-1</sup> ) Zn level					
	0	20	40	80	160	320
<b>饲料配方 formulation of experimental diets</b>						
酪蛋白 casein	32	32	32	32	32	32
明胶 glutin	8	8	8	8	8	8
玉米淀粉 corn starch	34	34	34	34	34	34
复合维生素 vitamin mix	2	2	2	2	2	2
复合无机盐 mineral mix	5	5	5	5	5	5
玉米油 corn oil	3	3	3	3	3	3
鱼油 fish oil	3	3	3	3	3	3
大豆磷脂 soy lecithin	2	2	2	2	2	2
氯化胆碱 choline chloride	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
V <sub>c</sub> 磷酸酯 ascorbic phosphate ester	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
纤维素 cellulose	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90	9.90
<b>营养组成 proximate composition</b>						
饲料中锌含量(mg·kg <sup>-1</sup> ) analyzed Zn concentration	-	18.14	39.61	101.95	206.39	404.89
干物质 dry matter	93.10	93.10	93.10	93.20	93.00	93.20
粗蛋白 crude protein	40.50	40.60	40.60	39.80	39.70	40.20
粗脂肪 crude lipid	8.67	8.89	8.59	8.41	8.95	8.90
灰分 ash	4.26	4.26	4.28	4.49	4.32	4.26

注: - 表示未检测到。复合维生素: B<sub>1</sub>, 500; B<sub>2</sub>, 500; B<sub>6</sub>, 400; 尼克酸, 2 000; B<sub>5</sub>, 1 000; 生物素, 60; 叶酸, 150; 肌醇, 20 000; V<sub>E</sub>, 4 000; V<sub>A</sub>, 500; V<sub>B12</sub>, 1; V<sub>K</sub>, 400; V<sub>D</sub>, 480; 纤维素, 70 009。复合无机盐: Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 12.287; 乳酸钙, 47.422; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 4.203; K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 16.383; FeSO<sub>4</sub>, 1.078; 柠檬酸铁, 3.826; MgSO<sub>4</sub>, 4.419; MnSO<sub>4</sub>, 0.033; CuSO<sub>4</sub>, 0.022; CoCl<sub>2</sub>, 0.043; K<sub>2</sub>IO<sub>3</sub>, 0.002; NaCl, 3.233; KCl, 6.575; 纤维素, 0.474

Notes: - not detected. vitamin mix, mg·(100 g)<sup>-1</sup> vitamin premix; B<sub>1</sub>, 500; B<sub>2</sub>, 500; B<sub>6</sub>, 400; Nicotinic Acid, 2 000; B<sub>5</sub>, 1 000; Biotin, 60; Folic acid, 150; Inositol, 20 000; V<sub>E</sub>, 4 000; V<sub>A</sub>, 500; V<sub>B12</sub>, 1; V<sub>K</sub>, 400; V<sub>D</sub>, 480; Microcrystalline cellulose, 70 009. mineral mix, g·(100 g)<sup>-1</sup> vitamin premineral; Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 12.287; calcium lactate, 47.422; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 4.203; K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 16.383; FeSO<sub>4</sub>, 1.078; Ferric citrate, 3.826; MgSO<sub>4</sub>, 4.419; MnSO<sub>4</sub>, 0.033; CuSO<sub>4</sub>, 0.022; CoCl<sub>2</sub>, 0.043; K<sub>2</sub>IO<sub>3</sub>, 0.002; NaCl, 3.233; KCl, 6.575; Microcrystalline cellulose, 0.474

## 1.2 生长性能的测定

试验开始前测定每组鱼的初始体重,试验开始后每两周称重一次,并调整投喂量(体重 5% ~ 9%),记录鱼体重和总投喂量,计算增重率、饲料转化率、蛋白质效率。计算公式如下:

增重率(WG, %) = 100 × (终末体重 - 初始体重) / 初始体重

饲料转化率(FCR) = 摄入饲料量 / (终末体重 - 初始体重)

蛋白质效率(PER) = 增重量 / 饲料蛋白质总量

## 1.3 样品的采集和分析

试验结束时,使鱼空腹 24 h 后,从每箱随机取鱼 9 尾,立即用麻醉剂 MS-222 麻醉,取 3 尾供全鱼成分分析,另取 6 尾取血后,取肌肉、肝脏、脊椎骨。水分含量采用 105 °C 常压干燥法测定,凯氏定氮法(N × 6.25, 1030-Auto-analyzer, Tecator AB)测定粗蛋白,索氏抽提法测定粗脂肪,灰分采用马福炉 550 °C 灼烧法测定。

血细胞计数采用平板计数法。鱼体心脏取血,先准备一清洁小试管,精确滴入红细胞稀释液

1.99 mL, 将取好的血液立即挤入上述试管中, 并来回吸取小量稀释液数次, 以便将残余在吸管中的血液全部洗净。摇动试管, 充分混匀。此时血液被稀释 200 倍。静置 2~3 min, 待红细胞完全下沉稳定后进行计数。

硫代巴比妥酸反应产物(TBARS)采用南京建成生物工程研究所试剂盒。过氧化脂质降解产物中的丙二醛(MDA)可与硫代巴比妥酸(TBA) 缩合, 形成红色产物, 在 532 nm 处有最大吸收峰。

组织中 MDA 含量( $\text{nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{prot}$ ) = (测定管吸光度 - 测定空白管吸光度) / [(标准管吸光度 - 标准空白管吸光度) × 标准品浓度( $10 \text{ nmol} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) / 蛋白含量( $\text{mg prot} \cdot \text{mL}^{-1}$ )]

脊椎骨中离子含量采用离子光谱测定仪测定<sup>[9]</sup>。将鱼体脊椎骨在 105 °C 常压干燥, 粉碎。首先进行样品的预处理: 称取 0.1 g 脊椎骨样品置于 50 mL 凯氏烧瓶中, 加入 15 mL 浓硝酸, 置于有石棉网的电炉上加热, 煮沸后拔掉电源, 停沸后继续加热, 直至瓶内剩留 1~2 mL 液体为止, 冷却, 加入 1.5 mL 高氯酸, 重新加热至溶液冒白烟, 且溶液变成无色或淡黄色为止。冷却至室温, 定容并过滤到 50 mL 容量瓶中。用等离子体原子发射光谱仪 IRIS Advantage (HR) (美国

Thermo Jarrell Corporation) 测定锌在溶液中的含量, 最后换算成组织中的含量。

$X = 50 \times M / G_0$  ( $X$ : 组织中含量;  $M$ : 溶液中离子含量;  $G_0$ : 样品重)

血比容测定方法是用细长毛细管吸取抗凝血注入温氏分血管至“10”刻度处, 以  $3000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  的速度离心 30 min 后读取红细胞柱高度。

#### 1.4 试验结果的统计分析

试验结果用平均数 ± 标准误表示, 数据经单因子方差分析, 采用 Duncan 氏多重比较检验均值的差异显著性, 当  $P < 0.05$  时, 表示差异显著。统计软件为 SPSS 12.0。

## 2 结果

### 2.1 饲料中锌的添加对罗非鱼生长和体成分的影响

经过 8 周的摄食生长试验, 罗非鱼增重率,  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组显著高于其它各组 ( $P < 0.05$ ); 蛋白质效率,  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组高于其它各组, 但各组之间并无显著性差异 ( $P > 0.05$ ); 饲料转化率变化趋势与蛋白质效率相反,  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组低于其它各组, 但各组之间并无显著性差异 ( $P > 0.05$ ) (表 2)。

表 2 8 周生长后, 饲料中不同锌水平对奥尼罗非鱼增重率、蛋白质效率和饲料转化率的影响

Tab. 2 Effects of zinc on weight gain, protein efficiency ratio and feed coefficient in juvenile hybrid tilapia fed the experiment diets for 8 weeks

生长指标 growth ingredients	锌含量( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Zn level						%
	0	20	40	80	160	320	
增重率 WG	816.83 ± 34.51 <sup>ab</sup>	940.01 ± 40.68 <sup>b</sup>	796.24 ± 8.04 <sup>ab</sup>	860.56 ± 73.31 <sup>ab</sup>	856.26 ± 79.50 <sup>ab</sup>	739.27 ± 34.66 <sup>a</sup>	
蛋白质效率 PER	1.59 ± 0.06	1.70 ± 0.05	1.59 ± 0.03	1.65 ± 0.05	1.60 ± 0.02	1.55 ± 0.03	
饲料转化率 FCR	1.58 ± 0.06	1.47 ± 0.04	1.58 ± 0.03	1.52 ± 0.05	1.56 ± 0.02	1.62 ± 0.04	

注: 同一行右上角不同英文上标字母表示有显著性差异 ( $P < 0.05$ )

Notes: Values with different superscripts in the same row are significantly different ( $P < 0.05$ )

饲喂不同锌水平饲料后, 罗非鱼全鱼、背部肌肉、肝脏的营养成分和脊椎骨中锌离子含量如表 3 所示。全鱼、肌肉、肝脏水分含量均不受饲料锌水平的显著影响 ( $P > 0.05$ )。各组间肌肉、肝脏蛋白含量无显著性差异 ( $P > 0.05$ ); 全鱼蛋白含量, 锌水平为  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组显著高于  $320 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组, 高于其它各组; 全鱼脂肪含量,

锌浓度为  $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组低于其它各组; 而肌肉和肝脏中脂肪含量, 锌浓度为  $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组高于其它各组。

全鱼、肌肉和肝脏灰分含量, 各试验组之间均无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。脊椎骨中锌离子含量, 在锌水平为  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组, 显著高于锌浓度为  $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组 ( $P < 0.05$ )。

表 3 8 周生长后, 饲料中锌水平对奥尼罗非鱼全鱼、肌肉和肝脏中  
营养组成及脊椎骨中锌离子含量的影响

Tab. 3 Effects of different zinc supplementation level on composition of body, muscle, liver and  
bones in juvenile hybrid tilapia fed the experiment diets for 8 weeks % wet weight basis

体成分 body composition	锌含量(mg·kg <sup>-1</sup> ) Zn level					
	0	20	40	80	160	320
全鱼 whole body						
水分 moisture	72.78 ± 0.88	72.56 ± 0.90	72.15 ± 0.69	71.65 ± 0.92	72.03 ± 0.99	72.92 ± 0.27
蛋白 protein	18.89 ± 0.96 <sup>ab</sup>	19.64 ± 0.49 <sup>b</sup>	18.90 ± 0.19 <sup>ab</sup>	19.06 ± 0.40 <sup>ab</sup>	18.41 ± 0.13 <sup>ab</sup>	17.69 ± 0.09 <sup>a</sup>
脂肪 lipid	5.75 ± 0.43 <sup>a</sup>	6.17 ± 0.41 <sup>ab</sup>	6.69 ± 0.29 <sup>ab</sup>	5.58 ± 0.21 <sup>a</sup>	7.26 ± 0.76 <sup>b</sup>	6.51 ± 0.32 <sup>ab</sup>
灰分 ash	3.19 ± 0.10	3.35 ± 0.07	3.25 ± 0.16	3.33 ± 0.02	3.35 ± 0.15	3.23 ± 0.08
肌肉 muscle						
水分 moisture	77.18 ± 0.24	76.90 ± 0.28	77.02 ± 0.19	76.87 ± 0.11	76.80 ± 0.13	77.15 ± 0.12
蛋白 protein	21.90 ± 0.22	21.95 ± 0.18	21.74 ± 0.20	21.84 ± 0.14	21.82 ± 0.23	22.12 ± 0.07
脂肪 lipid	1.10 ± 0.05 <sup>d</sup>	0.87 ± 0.00 <sup>bc</sup>	1.05 ± 0.08 <sup>cd</sup>	1.08 ± 0.06 <sup>d</sup>	0.79 ± 0.07 <sup>b</sup>	0.61 ± 0.04 <sup>a</sup>
灰分 ash	1.21 ± 0.02	1.25 ± 0.02	1.21 ± 0.02	1.24 ± 0.02	1.25 ± 0.04	1.18 ± 0.04
肝脏 liver						
水分 moisture	68.71 ± 0.38	68.61 ± 0.83	69.52 ± 0.66	69.60 ± 0.62	69.45 ± 0.66	70.07 ± 0.32
蛋白 protein	12.72 ± 0.30	12.61 ± 0.42	12.46 ± 0.39	12.90 ± 0.31	12.23 ± 0.22	13.17 ± 0.36
脂肪 lipid	7.03 ± 0.22 <sup>bc</sup>	6.43 ± 0.14 <sup>ab</sup>	8.58 ± 0.23 <sup>d</sup>	6.98 ± 0.38 <sup>bc</sup>	7.81 ± 0.28 <sup>cd</sup>	6.01 ± 0.24 <sup>a</sup>
灰分 ash	1.26 ± 0.02	1.26 ± 0.01	1.33 ± 0.04	1.30 ± 0.05	1.24 ± 0.05	1.29 ± 0.04
脊椎骨 bones						
锌 Zn(μg·g <sup>-1</sup> )	110.88 ± 4.2 <sup>a</sup>	153.96 ± 24.0 <sup>b</sup>	107.14 ± 3.22 <sup>a</sup>	113.87 ± 2.64 <sup>a</sup>	121.93 ± 4.75 <sup>ab</sup>	155.24 ± 2.83 <sup>b</sup>

注: 同一行右上角不同英文上标字母表示有显著性差异( $P < 0.05$ )

Notes: Values (mean ± standard error of three replications) in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ )

表 4 8 周生长后, 饲料中锌水平对奥尼罗非鱼  
血液红细胞数量、血比容和肌肉中 TBARS 的影响

Tab. 4 Effects of different zinc supplementation levels on erythrocytes, hematocrit and  
muscle TBARS in juvenile hybrid tilapia fed the experiment diets for 8 weeks

抗氧化指标 antioxidation	锌含量(mg·kg <sup>-1</sup> ) Zn level					
	0	20	40	80	160	320
红细胞数量 (10 <sup>6</sup> ·μL <sup>-1</sup> ) erythrocytes	1.60 ± 0.05 <sup>a</sup>	2.30 ± 0.14 <sup>c</sup>	2.30 ± 0.12 <sup>c</sup>	1.65 ± 0.21 <sup>ab</sup>	1.85 ± 0.19 <sup>abc</sup>	1.91 ± 0.22 <sup>abc</sup>
血比容(%) hematocrit	37.19 ± 1.14 <sup>a</sup>	42.57 ± 0.89 <sup>b</sup>	41.22 ± 0.94 <sup>b</sup>	39.90 ± 2.00 <sup>ab</sup>	40.19 ± 0.96 <sup>ab</sup>	40.35 ± 1.45 <sup>ab</sup>
肌肉中 TBARS 值 (nmol·g <sup>-1</sup> ) muscle TBARS	1.21 ± 0.22 <sup>c</sup>	0.51 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.51 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.66 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.55 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.28 ± 0.03 <sup>a</sup>

注: 同一行右上角不同英文上标字母表示有显著性差异( $P < 0.05$ )

Notes: Values (mean ± standard error of three replications) in the same row with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ )

## 2.2 添加锌对奥尼罗非鱼抗氧化功能的影响

奥尼罗非鱼血液红细胞数和血比容受饲料中锌含量的影响显著( $P < 0.05$ ), 如表 4 所示。随锌水平的升高, 奥尼罗非鱼血液红细胞数量显著

升高, 20 mg·kg<sup>-1</sup> 饲料组与 40 mg·kg<sup>-1</sup> 饲料组无显著性差异( $P > 0.05$ ), 但显著高于 0 mg·kg<sup>-1</sup> 饲料组( $P < 0.05$ )。血比容, 20 mg·kg<sup>-1</sup> 饲料组与其它各组都无显著性差异( $P > 0.05$ ), 但显著高

于  $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组 ( $P < 0.05$ )。奥尼罗非鱼肌肉中 TBARS 值,随锌水平的升高显著降低 ( $P < 0.05$ ),  $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组显著高于其它各组,  $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组显著高于  $320 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组低于  $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料组 ( $P < 0.05$ ), 其它各组无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

### 3 讨论

鱼体对锌的营养需求存在一个适宜的剂量范围,在这个范围内锌具有营养作用,而在这个范围之外可能会引起生长抑制、缺乏或中毒。在本试验中,由于添加量和喂养时间有限,并未出现明显的缺乏或中毒症状。本试验表明,在以硫酸锌作为锌源时,饲料中添加锌明显促进了奥尼罗非鱼幼鱼生长,饲料中添加量为  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料时,生长最好。这与以硫酸锌作为锌源时,在对虹鳟<sup>[10]</sup>、鲤<sup>[11]</sup>、河鲀<sup>[12]</sup>和蓝罗非鱼<sup>[13]</sup>研究中得到的结论相似。但 Gatlin 和 Wilson<sup>[14]</sup>在对河鲀的研究中报道,却认为锌的添加对河鲀生长无显著影响;而 Marcelo<sup>[15]</sup>在对尼罗罗非鱼的研究中发现,当锌水平为  $44.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料时生长最迅速。这些研究结果均与本试验所得结果不同,原因可能是因为前面两者所用蛋白源与本试验不同,前者在其基础饲料中添加了鱼粉,而鱼粉中锌含量足以满足河鲀的生长需要;后者在蛋白源中使用了豆粕,豆粕中抗营养因子植酸会降低锌的消化吸收。

饲料中锌水平对罗非鱼体成分的影响表明,锌摄入的增加,增加了鱼体对饲料蛋白利用率,提高了蛋白质效率。而饲料利用率的提高,又使得过多吸收的能量在肠系膜中以脂肪的形式沉积起来,从而导致了肝脏和肌肉中脂肪含量的降低。已有研究证实锌是许多蛋白酶如羧肽酶 A、B 不可缺少的辅助因子<sup>[16]</sup>。锌离子在骨中的饱和可维持整个机体依赖于锌的酶发挥正常生理功能<sup>[14]</sup>。当鱼体内锌缺乏时,机体会最先动用骨中的锌。因此骨中锌可以反应整个机体锌水平和储备量。在本试验中锌水平为  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  组脊椎骨中锌离子含量最高,骨中锌离子饱和并维持整个机体锌离子平衡。对虹鳟<sup>[10]</sup>  $15 \sim 30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、鲤<sup>[11]</sup>  $15 \sim 30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、河鲀<sup>[12]</sup>  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和蓝罗非鱼<sup>[13]</sup>  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  的研究中得到类似的结果。然而,在对河鲀的研究中发现,当锌水平为  $150$

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料时,脊椎骨中锌离子含量最高<sup>[14]</sup>;对尼罗罗非鱼的研究中,当锌水平为  $79.51 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料时,脊椎骨中锌离子含量最高<sup>[15]</sup>。这与本试验结果不同,造成这种差异的原因可能是前者所使用的锌源是氧化锌,鱼体对氧化锌的消化利用率远不如硫酸锌<sup>[17-19]</sup>,后者使用的锌源虽也是硫酸锌,但其实验中所用蛋白源为豆粕,这会影响锌的利用。

本试验中,在以硫酸锌作为锌源时,饲料中添加锌对奥尼罗非鱼幼鱼血液中血细胞和肌肉抗氧化功能影响显著,且在饲料锌浓度为  $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料时最明显。血细胞数量增加,血比容增大的原因可能是,锌缺乏时,细胞中依赖于锌的超氧化物歧化酶不能阻止细胞膜被破坏,细胞脆性增强,导致溶血所致。在人体中,75%~85%的锌都存在于红细胞中<sup>[20]</sup>,在红细胞中的锌主要存在于碳酸酐酶和超氧化物歧化酶中<sup>[14]</sup>。锌通过保护细胞脂膜免受自由基、超氧化物损害而发挥抗氧化作用<sup>[21]</sup>。在对老鼠试验中已有报道,锌的缺乏会导致红细胞数量降低<sup>[22]</sup>。Tavares-Dias 和 Faustino 用天然饵料在池塘中养殖的尼罗罗非鱼红细胞数量为  $(1.7 \sim 4.4) \times 10^6 \text{ cell} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ ,血比容在 23%~41%<sup>[23]</sup>;Marcelo 等<sup>[15]</sup>在对尼罗罗非鱼研究中报道,饲料中锌缺乏时,红细胞数量为  $1.3 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ ,血比容在 19%~27%。在本试验中,随饲料中锌水平的升高,试验罗非鱼肌肉 TBARS 值显著降低,这可能是由于锌的缺乏可能会导致脂肪过氧化反应增强,当添加足够量的锌后,这一现象就会减弱<sup>[24]</sup>。同样的结果在对虹鳟试验中也有发现,当添加锌时,虹鳟的血清、肝脏和全鱼中 TBARS 值显著降低<sup>[25]</sup>。锌抗氧化作用,一方面可能是由于长期添加锌使得依赖于锌的金属硫因蛋白的合成增加,在对人体的研究中,已经证实了锌的抗氧化具有降低脂肪过氧化反应的功能<sup>[26]</sup>。另一方面锌作为抗氧化剂与维生素 E 具有一定的交互作用。在动物中研究表明,当锌缺乏时维生素 E 的功能也会减弱<sup>[27-28]</sup>。在本试验中,锌的添加明显减缓了罗非鱼肌肉脂肪过氧化。

饲料中锌的添加,使奥尼罗非鱼增重率、蛋白质效率、全鱼体蛋白和脂肪含量明显增加,饲料转化率、肌肉和肝脏脂肪沉积量明显降低;脊椎骨中锌离子含量、血液中红细胞数量、血比容明显增

加;肌肉中 TBARS 值明显降低。本试验结果可以表明,初重为 4.13 g 左右的奥尼罗非鱼,以硫酸锌作为锌源,投喂添加锌的饲料,罗非鱼生长速度明显加快,血液中血细胞和肌肉抗氧化功能增强,且饲料锌浓度为 20 mg·kg<sup>-1</sup> 饲料组最为明显。

#### 参考文献:

- [1] Hayashi K, Hara H, Asvarujanon P, *et al.* Ingestion of insoluble dietary fibre increased zinc and iron absorption and restored growth rate and zinc absorption suppressed by dietary phytate in rats [J]. *Br J Nutr*, 2001, 86: 443 - 451.
- [2] Cousins R J. Zinc [M]//Brown M L, (Ed.). *Present Knowledge in Nutrition* (7th ed). International Life Sciences Institute, Washington, DC, 1996: 293 - 306.
- [3] Reeves P G, Briske-Anderson M, Jonhson L. Pre-treatment of Caco-2-cell with zinc during the differentiation phase alters the kinetics of zinc uptake and transport[J]. *J Nutr Biochem*, 2001, 12: 674 - 684.
- [4] Eid A, Ghonim S I. Dietary zinc requirement of fingerling *Oreochromis niloticus* [J]. *Aquaculture*, 1994, 119:259 - 264.
- [5] Oberleas D. Phytate content in cereals and legumes and methods of determination [J]. *Cereal Foods World*, 1983, 28: 352 - 357.
- [6] Powell S R. The antioxidant properties of zinc[J]. *J Nutr*, 2000, 130: 1447 - 1454.
- [7] Prasad A S, Fitzgerald J T, Hess J W, *et al.* Zinc deficiency in elderly patients[J]. *Nutrition*, 1993, 9: 218 - 224.
- [8] Bales C W, Di Silvestro R A, Currie K L, *et al.* Marginal zinc deficiency in older adults: responsiveness of zinc status indicators[J]. *J Am Coll Nutr*, 1994, 13: 455 - 462.
- [9] Gatlin III D M, Phillips H F. Dietary calcium, phytate and zinc interactions in channel catfish[J]. *Aquaculture*, 1989, 79: 259 - 266.
- [10] Ogino C, Yang G Y. Requirement of rainbow trout for dietary zinc[J]. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 1978,44: 1015 - 1018.
- [11] Ogino C, Yang G Y. Requirement of carp for dietary zinc[J]. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 1979,45:967 - 969.
- [12] Gatlin D M, Wilson R P. Dietary zinc requirement of fingerling catfish [J]. *J Nutr*, 1983, 113: 630 - 635.
- [13] McClain W R, Gatlin D M. Dietary zinc requirement of *Oreochromis aureus* and effects of dietary calcium and phytate on zinc bioavailability [J]. *J World Aquacult Soc*, 1998,19:103 - 108.
- [14] Gatlin III D M, Wilson R P. Zinc supplementation of practical channel catfish diets[J]. *Aquaculture*, 1984, 41: 31 - 36.
- [15] do CarmoeSáa M V, Pezzatob L E, Limab M M B F, *et al.* Optimum zinc supplementation level in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* juveniles diets[J]. *Aquaculture*, 2004, 238:385 - 401.
- [16] Vallee B L, Falchuk K H. The biochemical basis of zinc physiology [J]. *Physiol Rev*, 1993, 73: 79 - 118.
- [17] Spears J W. Zinc methionine for ruminants; relative bioavailability of zinc in lambs and effects of growth and performance of growing heifers[J]. *J Anim Sci*, 1989, 67: 835 - 843.
- [18] Wedekind K J, Hortin A E, Baker D H. Methodology for assessing zinc bioavailability; efficacy estimated for zinc-methionine, zinc sulfate, and zinc oxide [J]. *J Anim Sci*, 1992, 70: 178 - 187.
- [19] Hahn J D, Baker D H. Growth and plasma zinc responses of young pigs fed pharmacologic levels of zinc[J]. *J Anim Sci*, 1993, 71: 3020 - 3024.
- [20] Underwood E J. Trace elements in human and animal nutrition (2nd ed) [M]. New York: Academic Press, 1962.
- [21] O'Dell B L, Browning J D, Reeves P G. Zinc deficiency increases the osmotic fragility of rat erythrocytes[J]. *J Nutr*, 1987, 117: 1883 - 1889.
- [22] Kraus A, Roth H P, Kirchgessner M. Influence of vitamin C, vitamin E and beta-carotene on the osmotic fragility and the primary antioxidant system of erythrocytes in zinc-deficient rats [J]. *Arch Tierernahr*, 1997, 50: 257 - 269.
- [23] Tavares-Dias M, Faustino C D. Hematological parameters of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Cichlidae) in extensive culture[J]. *Ars Vet*, 1998, 14: 254 - 263.
- [24] Shaheen A A, Abd El-Fattah A A. Effect of dietary zinc on lipid peroxidation, glutathione, protein thiols levels and superoxide dismutase activity in rat tissues[J]. *Int J Biochem Cell Biol Int*, 1995, 27: 89 - 95.

- 
- [25] Onderci M, Sahin N, Sahin K, *et al.* The antioxidant properties of chromium and zinc; *in vivo* effects on digestibility, lipid peroxidation, antioxidant vitamins and some minerals under a low ambient temperature[J]. *Biol Trace Elem Res*, 2003, 92: 139–150.
- [26] Anderson R A, Anderson R A, Roussel A M, *et al.* Potential antioxidant effects of zinc and chromium supplementation in people with type 2 diabetes mellitus[J]. *J Am Coll Nutr*, 2001, 20: 212–218.
- [27] Kim E S, Noh S K, Koo S I. Marginal zinc deficiency lowers the lymphatic absorption of  $\alpha$ -tocopherol in rats [J]. *J Nutr*, 1998, 128: 265–270.
- [28] Salgueiro M J, Zubillaga M, Lysionek A, *et al.* Zinc as essential micronutrient; a review[J]. *Nutr Res*, 2000, 20: 737–755.

## Effects of different zinc levels on growth and antioxidation of juvenile hybrid tilapia (*Oreochromis aureus* ♂ × *Oreochromis niloticus* ♀)

WU Hong-yan<sup>1,2</sup>, CHEN Xiao-xuan<sup>1</sup>, YANG Hui-jun<sup>2</sup>, LIU Yong-jian<sup>2</sup>, TIAN Li-xia<sup>2</sup>

(1. School of Aquaculture, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China;

2. School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** A 8-week growth trial was conducted to investigate the effect of different zinc levels on growth and antioxidant ability of juvenile tilapia. Tilapia [(4.13 ± 0.32) g] were randomly assigned to 18 tanks (20 fish per tank) and fed six experimental diets with different graded zinc supplemented levels (0, 20, 40, 80, 160, 320 mg·kg<sup>-1</sup>) for 8 weeks, zinc sulfate as sources. Each experimental diet was randomly given to three replicates and daily feeding rate was 5%–9% (wet weight basis). Results showed that in the group fed with 20 mg·kg<sup>-1</sup> zinc, weight gain, protein efficiency and body protein content were higher than those in other groups. However, feed coefficient is reversed. The fat deposited in muscle and liver of 20 mg·kg<sup>-1</sup> zinc group had no significant difference with that in the group fed 320 mg zinc·kg<sup>-1</sup> level ( $P > 0.05$ ) but was markedly lower than those in the other groups ( $P < 0.05$ ). The zinc concentration in bones of fish fed 20 mg zinc·kg<sup>-1</sup> was significantly higher than that in the group fed with 0 mg zinc·kg<sup>-1</sup> ( $P < 0.05$ ). The erythrocytes number and hematocrit of 20 mg·kg<sup>-1</sup> zinc group showed no significant difference with those in the group fed with 40 mg·kg<sup>-1</sup> zinc ( $P > 0.05$ ), but were significantly higher than those of other groups ( $P < 0.05$ ). The TBARS values (thiobarbituric acid-reactive substances) in muscle of the group fed with 20 mg zinc·kg<sup>-1</sup> group were significantly lower than those in muscle of the group fed with 0 mg zinc·kg<sup>-1</sup> ( $P < 0.05$ ). Results of this study indicated that the effect of different zinc levels on growth and antioxidant ability was significant in tilapia, especially in 20 mg zinc·kg<sup>-1</sup> diet group.

**Key words:** hybrid tilapia (*Oreochromis aureus* ♂ × *Oreochromis niloticus* ♀); zinc; growth; antioxidation