

# 饲料中添加锌对星斑川鲈幼鱼生长、生理生化指标和机体抗氧化的影响

崔立娇<sup>1,2</sup> 张利民<sup>1\*</sup> 王际英<sup>1</sup> 马晶晶<sup>1</sup> 丁立云<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>山东省海洋水产研究所,烟台 264006)

(<sup>2</sup>上海海洋大学水产与生命学院,201306)

**摘要** 以酪蛋白和明胶为蛋白源,以七水硫酸锌为锌源,在基础饲料中分别添加锌 0、50、100、150、200、400mg/kg,配制成 6 种等氮等能的精制饲料,饱食投喂初始体重为  $62.89 \pm 0.51$ g 的星斑川鲈幼鱼 66d,探讨饲料锌水平对星斑川鲈幼鱼生长、血液生理生化指标和机体抗氧化功能的影响。结果表明,添加 150~400mg/kg 饲料锌显著提高了星斑川鲈幼鱼的增重率(WGR)( $P < 0.05$ ),且 WGR 的最大值及饲料系数(FCR)的最小值均出现在 150mg/kg 锌饲料组。添加 100~200mg/kg 饲料锌显著提高了试验鱼血液红细胞数量( $P < 0.05$ ),0mg/kg 锌饲料组的血细胞比容和血红蛋白含量均显著低于其他各组( $P < 0.05$ )。血清蛋白含量不受饲料锌添加量的影响( $P > 0.05$ )。血清溶菌酶(LSZ)活力随着锌添加量的增加而显著升高( $P < 0.05$ ),在锌添加量为 150mg/kg 时达最高值;当添加量高于 150mg/kg 时,LSZ 活力变化不显著( $P > 0.05$ )。0 与 50mg/kg 锌饲料组的血清铜锌-超氧化物歧化酶(CuZn-SOD)活力显著低于其他各组( $P < 0.05$ )。0 和 50mg/kg 锌饲料组肌肉丙二醛(MDA)含量显著高于其他各组( $P < 0.05$ ),以 150mg/kg 锌饲料组最低( $P < 0.05$ )。建议星斑川鲈幼鱼精制饲料中锌的适宜添加量为 150mg/kg。

**关键词** 星斑川鲈 锌 生长 生理生化指标 抗氧化

**中图分类号** S963.14 **文献识别码** A **文章编号** 1000-7075(2011)01-0114-08

## Effects of dietary zinc on growth, blood physiological and biochemical indices and antioxidant ability of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*

CUI Li-jiao<sup>1,2</sup> ZHANG Li-min<sup>1\*</sup> WANG Ji-ying<sup>1</sup> MA Jing-jing<sup>1</sup> DING Li-yun<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> Marine Fisheries Research Institute of Shandong Province, Yantai 264006)

(<sup>2</sup> College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, 201306)

**ABSTRACT** A study was conducted to investigate the effects of dietary zinc levels on growth, blood physiological and biochemical indices and antioxidant ability of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. Basal diet was prepared using casein-gelatin as the protein source. Zinc ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) was added at graded levels (0, 50, 100, 150, 200, and 400 mg/kg

国家重点行业公益项目(农业部,nyhyzx07-046)、国家科技部农转资金项目(03EFN213700155)和山东省水生动物营养与饲料泰山学者岗位经费共同资助

\* 通讯作者。E-mail: ytzlm@139.com, Tel: (0535)6117088

收稿日期: 2010-6-19; 接受日期: 2010-08-18

作者简介: 崔立娇(1985-), 女, 硕士研究生, 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: cui lijiao1985@126.com, Tel: 13723942209

diet) to basal diets to formulate six isonitrogenous and isoenergetic purified diets. Triplicate of six treatment groups of juvenile starry flounder (initial weight,  $62.89 \pm 0.51$  g) were fed to apparent satiation for 66 d. The results showed that the weight gain rate (WGR) increased significantly when juvenile starry flounder were fed the diets with 150~400 mg/kg of dietary supplemental zinc ( $P < 0.05$ ). The highest WGR and the lowest feed conversion rate (FCR) were observed in treatments with 150 mg/kg of dietary supplemental zinc. The number of erythrocytes was significantly higher than the control group when the juveniles were fed the diets with 100~200 mg/kg of dietary supplemental zinc ( $P < 0.05$ ), and the hematocrit and hemoglobin of the control group fed basal diets without zinc were significantly lower than those of other groups with zinc treatment ( $P < 0.05$ ). Contents of serum protein in groups treated with all levels of zinc were comparatively similar ( $P > 0.05$ ). Activity of serum lysozyme (LSZ) in juvenile starry flounder increased significantly with the increasing level of dietary supplemental zinc ( $P < 0.05$ ), but no significant differences were observed among the juveniles fed the diets with equal to or higher than 150 mg/kg of dietary supplemental zinc ( $P > 0.05$ ). The LSZ activity peaked in the treatment with 150 mg/kg of dietary supplemental zinc. Activity of serum CuZn-superoxide dismutase (CuZn-SOD) in 0 and 50 mg/kg zinc treatment were significantly lower than those in other groups ( $P < 0.05$ ). The contents of malondialdehyde (MDA) in muscle of juveniles fed with 0 and 50 mg/kg zinc were significantly higher than those in other groups ( $P < 0.05$ ), while the minimum level of MDA was in 150 mg/kg zinc fed group. The optimal dose of dietary supplemental zinc in juvenile starry flounder purified diet was suggested to be 150 mg/kg.

**KEY WORDS** *Platichthys stellatus* Zinc Growth Physiological and biochemical indices Antioxidation

锌是动物生命活动所必需的微量元素,它参与多种代谢过程,包括糖类、脂类、蛋白质与核酸的合成与降解,并在骨骼发育、生殖、免疫、生物膜稳定和凝血等生理机能中担负重要角色(李爱杰 1994; Chesters 1991)。缺锌可使动物的免疫器官发生萎缩、机体免疫能力降低,而补充锌则使其机能恢复正常(Kiron *et al.* 1993)。

星斑川鲷 *Platichthys stellatus* P., 隶属鲷形目、鲷科、川鲷属,其口感独特,营养价值高,并具有生长速度快、出肉率高、广温、广盐、抗病力强、易人工养殖、耐运输、耐冷藏等优点,已成为国内外竞争力非常强的养殖鱼类,被认为是继牙鲆 *Paralichthys olivaceus*、大菱鲆 *Scophthalmus maximus* 之后具有极高商业开发价值的海水养殖鱼类之一。目前,国内外研究多集中在其生物学特性(马爱军等 2006)、营养成分分析(刘世禄等 2009)和蛋白质脂肪的营养需求等方面(段培昌等 2009; Lee *et al.* 2004、2006),但星斑川鲷对锌需求的研究尚未见报道。为此,本试验研究了饲料中添加不同水平的锌对星斑川鲷幼鱼血液生理指标和部分免疫指标的影响,并探讨了饲料锌水平对其肌肉抗氧化功能的影响,旨在确定星斑川鲷幼鱼饲料中锌的适宜添加量,为丰富星斑川鲷营养生理研究内容、研制优质高效的星斑川鲷配合饲料提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计与饲料

以酪蛋白和明胶为蛋白源,鱼油为脂肪源,淀粉和 $\alpha$ -淀粉为糖源,配制成粗蛋白和粗脂肪含量分别为51.2%和12.4%的基础饲料(表1)。以七水硫酸锌( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ )为锌源,分别在每千克基础饲料中添加

0、50、100、150、200、400mg 锌配制成 6 种试验饲料,经原子吸收分光光度计(AA800 型,PerkinElmer™)测得各组饲料实际锌含量分别为 19.95、71.06、118.50、174.00、226.10、411.20mg/kg。饲料原料经分析营养成分后,粉碎过 80 目筛,按配比称量后均匀混合,将  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  溶于一定量的蒸馏水中,然后与其他原料充分混匀,经螺旋挤压机加工成粒径为 3.5mm 的颗粒饲料,70℃ 烘干至饲料水分含量为 10% 左右,置于一 20℃ 冰箱保存备用。

表 1 试验饲料配比及营养组成(%)

Table 1 Formulation and nutrient compositions of the experimental diets (%)

原料 Ingredient	锌添加量 Level of supplemental zinc(mg/kg)					
	0	50	100	150	200	400
酪蛋白 Casein	47	47	47	47	47	47
明胶 Gelatin	10	10	10	10	10	10
淀粉 Starch	10	10	10	10	10	10
$\alpha$ -淀粉 $\alpha$ -Starch	8	8	8	8	8	8
$\alpha$ -纤维素 $\alpha$ -Cellulose	5.54	5.52	5.50	5.47	5.45	5.36
鱼油 Fish oil	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
乌贼内脏粉 Squid visceral meal	5	5	5	5	5	5
<sup>a</sup> 复合矿物质(不含锌)Mineral mixture(zinc free)	2	2	2	2	2	2
<sup>b</sup> 复合维生素 Vitamin mixture	1	1	1	1	1	1
诱食剂(甜菜碱)Attractant(betaine)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
氯化胆碱 Choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
抗氧化剂 Antioxidant	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (Zinc sulfate heptahydrate)(mg/kg DM)	0	221.2	442.4	663.6	884.8	1769.6
营养组成(%干物质)Nutrient composition(%DM)						
粗蛋白 Crude protein	51.20	50.84	51.13	50.76	50.83	51.07
粗脂肪 Crude lipid	12.40	12.28	12.39	11.99	12.16	12.20
能量 Gross energy(MJ/kg DM)	20.19	20.18	20.22	20.26	20.11	20.16
饲料锌水平 Dietary zinc level(mg/kg DM)	19.95	71.06	118.50	174.00	226.10	411.20

注:a. 复合矿物质(mg/kg 饲料),  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 5 068mg;  $KCl$ , 3 020.5mg;  $KAl(SO_4)_2$ , 12.3mg;  $CoCl_2$ , 40.0mg;  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ , 10.0mg;  $KI$ , 8.0mg;  $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ , 73.1mg;  $Na_2SeO_3$ , 2.5mg;  $C_6H_5O_7Fe \cdot 5H_2O$ , 1 633.0mg;  $NaCl$ , 100.0mg;  $NaF$ , 4.0mg

b. 复合维生素(mg/kg 饲料), 维生素 A, 38.0mg; 维生素 D<sub>3</sub>, 13.2mg;  $\alpha$ -生育酚, 210.0mg; 硫胺素, 115.0mg; 核黄素, 380.0mg; 盐酸吡哆醇, 88.0mg; 泛酸, 368.0mg; 烟酸, 1030.0mg; 生物素, 10.0mg; 叶酸, 20.0mg; 维生素 B<sub>12</sub>, 1.3mg; 肌醇, 4 000.0mg; 抗坏血酸, 500.0mg

Notes: a. Mineral mixture (mg/kg diet),  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 5 068mg;  $KCl$ , 3 020.5mg;  $KAl(SO_4)_2$ , 12.3mg;  $CoCl_2$ , 40.0mg;  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ , 10.0mg;  $KI$ , 8.0mg;  $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ , 73.1mg;  $Na_2SeO_3$ , 2.5mg;  $C_6H_5O_7Fe \cdot 5H_2O$ , 1 633.0mg;  $NaCl$ , 100.0mg;  $NaF$ , 4.0mg

b. Vitamin mixture (mg/kg diet), retinol acetate, 38.0mg; cholecalciferol, 13.2mg; alpha-tocopherol, 210.0mg; thiamin, 115.0mg; riboflavin, 380.0mg; pyridoxine HCl, 88.0mg; pantothenic acid, 368.0mg; niacin acid, 1 030.0mg; biotin, 10.0mg; folic acid, 20.0mg; vitamin B<sub>12</sub>, 1.3mg; inositol, 4 000.0mg; ascorbic acid, 500.0mg

## 1.2 试验用鱼与饲养管理

养殖试验在山东省海洋水产研究所全封闭水循环系统中进行。星斑川鲷鱼苗购自山东荣成港西水产养殖场当年孵化的同批鱼苗,平均初始体重为  $62.89 \pm 0.51$ g。正式试验开始前使用基础饲料对试验鱼进行为期 14d 的驯养,以适应精制饲料和试验环境。驯化结束后挑选体质健壮、大小均匀的星斑川鲷幼鱼进行随机分组。试验分为 6 组,每组 3 个重复,每个重复 20 尾鱼,分别放养于 70cm×80cm 的绿色圆柱形玻璃钢养殖桶中,控制水深 40cm 左右,正式试验为 2009 年 11 月 21 日~1 月 25 日,共计 66d。每天饱食投喂两次(08:00, 17:30),投喂完 30min 后,从系统自带的排水口将残饵排出。饲养试验期间控制水温为  $19.0 \pm 0.5$ ℃, pH 7.8~8.2, 盐度 28~30, 保证溶氧 >5mg/L, 氨氮、亚硝酸氮均 <0.1mg/L, 弱光条件, 微流水养殖。

### 1.3 样品采集和分析

养殖试验结束后,试验鱼饥饿 24h,称鱼体总重,计算增重率。每桶随机取 10 尾鱼,用 2ml 注射器从尾静脉采血。将每尾鱼的血液分为两份,其中一份以肝素抗凝,制备全血,供红细胞计数、血细胞比容以及血红蛋白的测定;另一份血液静置 2h 后,于 4℃ 离心分离(4 000r/min, 10min),取上层血清,用于溶菌酶(LSZ)和铜锌-超氧化物歧化酶(CuZn-SOD)活力的测定;所有处理组采样鱼采血后取背侧肌肉;收集血清和背肌置-70℃冰箱中保存待测。

$$\text{增重率}(WGR, \%) = (W_t - W_0) / W_0 \times 100$$

$$\text{蛋白质效率 } PER = (W_t - W_0) / (F \times \text{饲料中粗蛋白的含量})$$

$$\text{饲料系数 } FCR = F / (W_t - W_0)$$

其中,  $W_0$  为试验初鱼体重量(g),  $W_t$  为试验终鱼体重量(g),  $F$  为饲料摄入量(g)。

红细胞数采用血球计数板计数测定,红细胞浓度计算公式:红细胞数( $\text{mm}^3$ ) = (5 个中格红细胞数 × 稀释倍数) / 计数的 5 个中格容积。血细胞比容用微量血细胞比容法测定(陈超然等 2000)。血红蛋白含量用氰化高铁(HiCN)法测定(陈晓耘 2000)。血清总蛋白含量以考马斯亮蓝染色法测定。

血清中 LSZ 活力、CuZn-SOD 活力和肌肉中丙二醛(MDA)含量均采用南京建成生物工程研究所测试盒进行测定。LSZ 活力测定采用比浊法;CuZn-SOD 活力测定采用羟胺法;肌肉中 MDA 的含量采用硫代巴比妥酸(TBA)底物法测定。

### 1.4 数据统计分析

试验结果用(平均数±标准差)表示,组间平均值之间的差异显著性通过 One-way ANOVA 分析后利用 Duncan's 检验进行多重比较,显著水平采用  $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 饲料中不同水平的锌对星斑川鲮幼鱼生长指标的影响

从表 2 看出,星斑川鲮增重率随饲料中锌添加量的增加呈先上升、后平稳的趋势,当锌添加量从 0mg/kg 上升到 150mg/kg 时,  $WGR$  随之升高;然而 150、200、400mg/kg 3 组间无显著性差异( $P > 0.05$ )。蛋白质效率与增重率的变化趋势一致。饲料系数随锌添加量上升呈下降趋势,0mg/kg 组和 50mg/kg 组显著高于其他各组( $P < 0.05$ ),其他各组间差异不显著( $P > 0.05$ )。

表 2 饲料中添加不同含量锌对试验鱼生长指标的影响  
Table 2 Effects of different levels of zinc supplemented in diets  
on the growth of experimental fishes (mean±SD, n=3)

生长指标 Growth index	锌添加量 Level of supplemental zinc(mg/kg)					
	0	50	100	150	200	400
增重率 $WGR$ (%)	88.03±1.12 <sup>c</sup>	91.01±1.79 <sup>c</sup>	103.15±2.45 <sup>b</sup>	109.17±1.04 <sup>a</sup>	108.94±2.80 <sup>a</sup>	108.78±3.00 <sup>a</sup>
蛋白质效率 $PER$	2.03±0.08 <sup>c</sup>	2.06±0.06 <sup>c</sup>	2.15±0.03 <sup>b</sup>	2.29±0.04 <sup>a</sup>	2.25±0.03 <sup>a</sup>	2.24±0.02 <sup>a</sup>
饲料系数 $FCR$	0.97±0.04 <sup>b</sup>	0.96±0.03 <sup>b</sup>	0.89±0.01 <sup>a</sup>	0.86±0.02 <sup>a</sup>	0.88±0.02 <sup>a</sup>	0.88±0.01 <sup>a</sup>

注:同行肩注小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ ),下表同

Note: Different superscript letters in the same column indicate significant difference ( $P < 0.05$ ), same as in the following tables

### 2.2 饲料中不同水平的锌对星斑川鲮幼鱼血液生理生化指标的影响

从表 3 可以看出,星斑川鲮幼鱼血液红细胞数量以 0mg/kg 组最低,并随着饲料中锌添加量的增加而升高,100、150、200mg/kg 3 组之间无显著性差异( $P > 0.05$ ),但显著高于 0mg/kg 组( $P < 0.05$ )。0mg/kg 锌饲

料组试验鱼的血细胞比容和血红蛋白含量均显著低于其他各组( $P < 0.05$ ),其他各组差异不显著( $P > 0.05$ )。血清蛋白含量不受饲料锌添加量的影响( $P > 0.05$ )。

表3 饲料中添加不同含量锌对试验鱼血液生理生化指标的影响

Table 3 Effects of different levels of zinc supplemented in diets on the hematology of experimental fishes (mean  $\pm$  SD, n=3)

血液学指标 Hematology index	锌添加量 Level of supplemental zinc(mg/kg)					
	0	50	100	150	200	400
红细胞数 Erythrocyte( $\times 10^6/\text{mm}^3$ )	1.96 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>	2.16 $\pm$ 0.07 <sup>abc</sup>	2.19 $\pm$ 0.13 <sup>ab</sup>	2.31 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	2.19 $\pm$ 0.14 <sup>ab</sup>	2.08 $\pm$ 0.12 <sup>bc</sup>
血细胞比容 Hematocrit(%)	27.64 $\pm$ 1.18 <sup>b</sup>	31.50 $\pm$ 1.17 <sup>a</sup>	31.44 $\pm$ 1.13 <sup>a</sup>	31.11 $\pm$ 0.74 <sup>a</sup>	31.77 $\pm$ 0.75 <sup>a</sup>	29.76 $\pm$ 1.30 <sup>a</sup>
血红蛋白 Hemoglobin(g/L)	53.82 $\pm$ 1.93 <sup>b</sup>	58.31 $\pm$ 2.59 <sup>a</sup>	58.66 $\pm$ 1.16 <sup>a</sup>	58.83 $\pm$ 3.02 <sup>a</sup>	58.71 $\pm$ 2.28 <sup>a</sup>	58.08 $\pm$ 2.23 <sup>a</sup>
血清蛋白 Serum protein(g/L)	30.04 $\pm$ 2.13	29.98 $\pm$ 0.41	31.25 $\pm$ 1.14	30.15 $\pm$ 0.71	30.59 $\pm$ 2.26	32.50 $\pm$ 0.56

### 2.3 饲料中不同水平的锌对星斑川鲽幼鱼部分免疫指标和抗氧化指标的影响

由表4可见,随着锌添加量的增加,各试验组的溶菌酶(LSZ)活力显著升高( $P < 0.05$ ),并在150mg/kg时达到峰值,当添加量超过150mg/kg时,各试验组的LSZ活力无显著性差异( $P > 0.05$ )。血清CuZn-SOD活力随锌添加量的增加呈先上升、后平稳的趋势,其中0mg/kg组和50mg/kg组差异不显著( $P > 0.05$ ),二者均显著低于锌添加量为100mg/kg及以上各组( $P < 0.05$ )。

星斑川鲽幼鱼肌肉中MDA含量随饲料锌添加量的增加呈先降低、后平稳的趋势(图1),其中0mg/kg组和50mg/kg组差异不显著( $P > 0.05$ ),二者的MDA含量均显著高于锌添加量为100mg/kg及以上各组( $P < 0.05$ ),锌添加量为150mg/kg组的MDA含量最低。

表4 饲料中添加不同含量锌对试验鱼部分免疫指标的影响

Table 4 Effects of different levels of zinc supplemented in diets on the immune response of experimental fishes (mean  $\pm$  SD, n=3)

免疫学指标 Immune response	锌添加量 Level of supplemental zinc(mg/kg)					
	0	50	100	150	200	400
LSZ活力 Lysozyme activity(U/ml)	73.26 $\pm$ 1.53 <sup>d</sup>	81.40 $\pm$ 0.80 <sup>c</sup>	86.74 $\pm$ 2.14 <sup>b</sup>	90.31 $\pm$ 0.68 <sup>a</sup>	89.64 $\pm$ 2.33 <sup>ab</sup>	89.46 $\pm$ 1.28 <sup>ab</sup>
CuZn-SOD活力 CuZn-SOD activity(U/ml)	66.89 $\pm$ 1.35 <sup>b</sup>	67.16 $\pm$ 2.13 <sup>b</sup>	75.05 $\pm$ 1.25 <sup>a</sup>	75.06 $\pm$ 4.10 <sup>a</sup>	74.22 $\pm$ 0.95 <sup>a</sup>	74.88 $\pm$ 3.67 <sup>a</sup>

## 3 讨论

### 3.1 饲料中不同水平的锌对星斑川鲽幼鱼生长指标的影响

饲料中添加适宜的微量元素锌可显著提高鱼类的生长率和存活率,同时促进鱼类的非特异性免疫力,提高抵抗疾病的能力(艾庆辉等 2007)。本研究中,饲料中添加锌能显著提高星斑川鲽幼鱼增重率和蛋白质效率,提高饲料利用率。当饲料中锌添加量大于150mg/kg时,星斑川鲽幼鱼的生长出现了平台期,这可能是由于鱼类对饲料中锌含量变化有一定的自我调节能力和适应能力。本试验结果表明,精制饲料中添加锌为150mg/kg时能使星斑川鲽幼鱼获得最优生长。

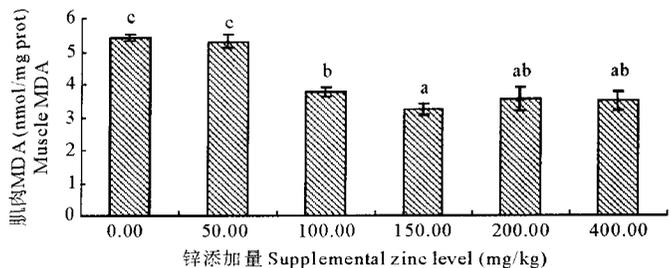


图1 饲料中添加不同含量锌对星斑川鲽幼鱼肌肉中MDA含量的影响  
Fig. 1 Effect of dietary zinc levels on MDA content in muscle of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*

### 3.2 饲料中不同水平的锌对星斑川鲮幼鱼血液生理生化指标的影响

测定血液学指标是评定机体健康状况的有效手段。已有研究表明,锌缺乏会导致大鼠红细胞数量降低(Kraus *et al.* 1997)。本试验中,饲料锌添加量为100~200mg/kg时可以显著增加星斑川鲮幼鱼血液红细胞数量,且在添加量为150mg/kg时最明显;所有添加锌饲料组的血细胞比容均显著高于不添加锌饲料组。这与吴红岩等(2008)对奥尼罗非鱼 *Sarotherodon* sp. 的研究结果相似。究其原因,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,从而使细胞脆性增强,导致溶血。

血红蛋白是运载氧气的物质,血红蛋白含量和红细胞数量也是反映鱼体是否贫血的重要指标(叶元土等2005)。萧培珍等(2008)报道,血红蛋白含量直接反映鱼体载氧能力的强弱。do Carmo e Sá等(2004)研究发现,饲料中不添加锌时,尼罗罗非鱼红细胞数量为 $1.3 \times 10^6$  cell/ $\mu$ l,血比容为19%;而Tavares-Dias等(1998)用天然饵料在池塘中养殖的尼罗罗非鱼红细胞数量为 $1.7 \times 10^6 \sim 4.4 \times 10^6$  cell/ $\mu$ l,血比容为23%~41%。由此推测,锌缺乏时,增加了试验鱼的红细胞脆性,引起贫血。本试验中,不添加锌饲料组的血红蛋白含量显著低于其他各组,这与do Carmo e Sá等(2004)对尼罗罗非鱼的研究结果一致。也有研究者发现(王道尊等1995),饲料中锌含量对草鱼 *Ctenopharyngodon idellus* 血液红细胞数量和血红蛋白含量影响不大,即使缺锌饲料组也保持正常血液常数,与上述观点不一致,这种差异可能是由于鱼的种类、饵料和规格等不同因素引起的。

### 3.3 饲料中不同水平的锌对星斑川鲮幼鱼部分免疫指标和抗氧化指标的影响

溶菌酶是一种碱性蛋白,广泛存在于鱼类的肌肉、体表黏液、血清、吞噬细胞和单核细胞的胞浆内,主要针对革兰氏阳性菌发挥作用,能破坏和消除侵入体内的异物,从而担负起机体防御的功能(超然等2003;王雷1995)。溶菌酶通过酶解病原体细胞壁的粘多糖将其杀死,溶菌酶的水平 and 活性直接关系到鱼类的免疫能力和健康(蒋蓉2006;周立斌等2009)。本研究中,随着饲料锌添加量的增加,星斑川鲮幼鱼血清溶菌酶活力显著升高,当锌添加量大于150mg/kg时,各试验组的溶菌酶活力趋于平稳,这与周立斌等(2009)对花鲈的研究结果一致,说明饲料中适宜含量的锌具有增强鱼体非特异性免疫力的功效。Marja等(1992)报道,鲢鱼血清中溶菌酶活力变化与循环系统中白细胞数目变化相一致,白细胞数目与溶菌酶活力呈正相关,星斑川鲮是否具有这种相关性还有待继续研究。

铜锌-超氧化物歧化酶(CuZn-SOD)是抗氧化代谢防御体系所必需的组成成分,是抗自由基毒性的关键酶之一,可有效地清除生物体内过高浓度的超氧阴离子自由基(陈竞春等1996;Bonham *et al.* 2002)。CuZn-SOD活性越高,说明其清除自由基的能力越强(Muñoz *et al.* 2000)。刘树青等(1999)的研究也表明了SOD的活性与水生生物的免疫水平密切相关,对于增强吞噬细胞防御能力和整个机体的免疫功能有重要作用。锌参与CuZn-SOD的合成及其活性的维持,CuZn-SOD是鱼体内锌的一个敏感性指标(刘宝娟2009)。宋念艺等(2005)的研究结果表明,补锌可以使白内障大鼠血液及晶状体中的CuZn-SOD活性增强,使其非特异性免疫力提高,这与陈明(2001)对河蟹的研究结果一致。萧培珍等(2008)研究发现,随着日粮锌补充量的增加,血清CuZn-SOD活力表现出先增加、后降低的趋势,而补充量最高饲料组的血清CuZn-SOD活力最小,是否因为大剂量锌抑制铜的吸收,从而间接影响酶活力,还有待进一步探讨。Shiau等(2006)的研究结果也表明,饲料锌的缺乏或过量均会影响斑节对虾的非特异性免疫机能。本试验中,星斑川鲮幼鱼血清CuZn-SOD活力随饲料中锌添加量的增加呈先上升、后平稳的趋势,低浓度锌对CuZn-SOD活性的抑制作用,推测可能是由于锌在星斑川鲮幼鱼各组织中蓄积导致自由基产生,破坏了机体的生理平衡;随着锌浓度的继续增加,机体的应激系统、抗氧化防御系统被全面激活,在自由基的诱导下,CuZn-SOD活性逐渐升高以清除过量的自由基,使机体免受氧化损伤。

反映营养素对鱼体抗氧化功能影响的指标主要集中在以下两个方面(Fang *et al.* 2002; Valko *et al.* 2006):一为与抗氧化密切相关的酶,如SOD;二为衡量氧化损害程度的代谢产物,如脂质过氧化物丙二醛(MDA)。MDA是氧自由基引起的脂质过氧化反应所产生的脂质过氧化物在机体内代谢的终产物,其含量可反映机体内脂质过氧化的程度,间接地反映出机体细胞受自由基攻击的严重程度(李继红等2003)。本试验

中,随饲料锌添加量的升高,星斑川鲮幼鱼肌肉中 MDA 含量显著降低,其中锌添加量为 150mg/kg 饲料组的肌肉 MDA 含量最低,这可能是由于添加足够量的锌使得依赖于锌的金属硫因蛋白的合成增加,导致机体的脂质过氧化能力增强,MDA 积累量降低。本研究表明,星斑川鲮幼鱼同淡水鱼奥尼罗非鱼(吴红岩等 2008)和虹鳟(Onderci *et al.* 2003)相类似,饲料中添加适量的锌可显著增强其机体抗氧化功能。

#### 4 结论

饲料中添加锌能显著促进星斑川鲮幼鱼的生长,使血液中红细胞数量、血比容和血红蛋白含量显著增加,造血机能增强,机体非特异性免疫力和抗氧化功能也显著提高,且锌添加量为 150mg/kg 饲料组最为明显。本试验结果表明,对初始体重约为 62.89g 的星斑川鲮幼鱼,当以七水硫酸锌为锌源时,其纯化日粮中锌的适宜添加量为 150mg/kg。

### 参 考 文 献

- 马爱军,庄志猛,李晨,孙先领,王新安,雷霖霖. 2006. 星斑川鲮生物学特性及养殖前景. 海洋水产研究, 27(5): 91~95
- 王雷,李光友,毛远兴. 1995. 口服免疫药物后中国对虾某些血淋巴因子的测定及方法研究. 海洋与湖沼, 26(1): 34~42
- 王道尊,赵亮,俞清,牟伟伟. 1995. 锌对草鱼鱼种生长的影响. 上海水产大学学报, 4(1): 62~65
- 叶元土,蔡春芳,蒋蓉,丁晓峰,伍代勇,郭建林,王永玲,曾端,张宝彤. 2005. 鱼粉、豆粕、菜粕、棉粕和花生粕对草鱼生长和生理机能的影响. 饲料工业, 26(12): 17~21
- 艾庆辉,麦康森. 2007. 鱼类营养免疫研究进展. 水生生物学报, 31(3): 425~430
- 刘世禄,王波,刘振华,谢琳萍,姜美洁. 2009. 星斑川鲮的营养分析与评价. 渔业科学进展, 30(6): 18~24
- 刘宝娟. 2009. 饲料中的铁、锌和铜对皱纹盘鲍生长、代谢反应和抗氧化作用的影响. 见: 中国海洋大学硕士学位论文
- 刘树青,江晓路,牟海津,王慧溢,管华诗. 1999. 免疫多糖对中国对虾血清溶菌酶、磷酸酶和过氧化物酶的作用. 海洋与湖沼, 30(3): 278~283
- 李爱杰. 1994. 水产动物营养与饲料学. 北京: 中国农业出版社, 59
- 李继红,朱国标. 2003. 生化指标及小肠上皮膜结构在热应激中的变化规律. 成都军区医院学报, 5(1): 12~14
- 吴红岩,陈孝焯,阳会军,刘永坚,田丽霞. 2008. 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. 水产学报, 32(4): 621~627
- 宋念艺,刘连生,高秋华. 2005. 补锌对白内障大鼠血液及晶状体中 LDH 和 CuZn-SOD 的影响. 眼科研究, 23(1): 40~42
- 陈超然,陈晓辉,陈昌福. 2000. 口服甘草素对中华鳖稚鳖抗嗜水气单胞菌感染的作用. 华中农业大学学报, 19(6): 577~580
- 陈晓耘. 2000. 南方鲇血液的研究. 吉首大学学报(自然科学版), 21(2): 63~67
- 陈竞春,石安静. 1996. 贝类免疫生物学研究概况. 水生生物学报, 20(1): 74~78
- 陈明. 2001. 中华绒螯蟹铜、锌营养需求研究. 见: 华东师范大学学位论文
- 周立斌,王安利,张伟,张海发. 2009. 饲料维生素 E 含量对美国红鱼生长和非特异性免疫的影响. 渔业科学进展, 30(1): 47~53
- 周立斌,张伟,王安利,马细兰,张海发,刘付永忠. 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
- 段培昌,张利民,王际英,孟宪菊,丁立云,孙永智. 2009. 新型蛋白源替代鱼粉对星斑川鲮幼鱼生长、体成分和血液学指标的影响. 水产学报, 33(5): 709~806
- 萧培珍. 2008. 日粮铁、锌补充量对异育银鲫生长、生理机能及器官中微量元素含量的影响. 见: 苏州大学硕士学位论文
- 超然,陈莹. 2003. 酵母  $\beta$ -葡聚糖对异育银鲫免疫应答的增强作用. 华中农业大学学报, 22(4): 380~384
- 蒋蓉. 2006. 铜、铁、锰、锌对黄颡鱼生长和生理机能的影响. 见: 苏州大学硕士学位论文
- Bonham, M. O., Connor, J. M., and Hannigan, B. M. 2002. The immune system as a physiological indicator of marginal copper status? British Journal of Nutrition, 87: 393~403
- Chesters, J. K. 1991. Trace element-gene interactions with particular reference to zinc. Nutr. Soc. 50: 123~129
- do Carmo e S, M. V., Pezzato, L. E. M., Lima, M. B. F., and Padilha, P. M. 2004. Optimum zinc supplementation level in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* juveniles diets. Aquaculture, 238: 385~401
- Fang, Y. Z., Yang, S., and Wu, G. Y. 2002. Free radicals, antioxidants and nutrition. Nutrition, 18(10): 872~879
- Kiron, V., Gunji, A., and Okamoto, N. 1993. Dietary nutrient dependent variations on natural-killer activity of the leucocytes of rainbow trout. Fish Pathol. 28: 71~76
- Kraus, A., Roth, H. P., and Kirchgessner, M. 1997. Influence of vitamin C, vitamin E and beta-carotene on the osmotic fragility and the primary antioxidant system of erythrocytes in zinc-deficient rats. Arch. Tierernahr. 50: 257~269
- Lee, S. M., and Lee, J. H. 2004. Effect of dietary glucose, dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platichthys*

*stellatus*. Fish Science, 70: 53~58

Lee, S. M., Lee, J. H., and Kim, K. D. 2006. Optimum dietary protein for growth of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. Journal of the World Aquaculture Society, 37(2): 200~203

Marja, M., and Antti, S. 1992. Changes in plasma lysozyme and blood leucocyte levels of hatchery-reared Atlantic salmon and sea trout during parr-smolt transformation. Aquaculture, 106: 75~78

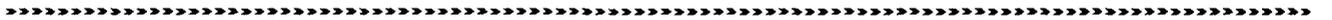
Muñoz, M., Cedeño, R., Rodríguez, J., van der Knaap, W. P. W., Mialhe, E., and Bachère, E. 2000. Measurement of reactive oxygen intermediate production in haemocytes of the penaeid shrimp, *Penaeus vannamei*. Aquaculture, 191: 89~107

Onderci, M., Sahin, N., Sahin, K., and Kilic, N. 2003. The antioxidant properties of chromium and zinc; *in vivo* effects on digestibility, lipid peroxidation, antioxidant vitamins and some minerals under a low ambient temperature. Biological Trace Element Research, 92: 139~150

Shiau, S. Y., and Jiang, L. C. 2006. Dietary zinc requirements of grass shrimp, *Penaeus monodon*, and effects on immune responses. Aquaculture, 254: 476~482

Tavares-Dias, M., and Faustino, C. D. 1998. Hematological parameters of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Cichlidae) in extensive culture. Ars Vet. 14: 254~263

Valko, M., Rhodes, C. J., and Moncola, J. M. 2006. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. Chemico-Biological Interactions, 160: 1~40



## 《渔业科学进展》网上投稿启事

为充分利用网络资源,提高编辑办公和期刊出版效率,《渔业科学进展》编辑部从 2010 年 1 月开始采用期刊网络化办公系统。该系统使投稿、审稿和编辑工作都在同一个网络平台上完成,可大大节省通讯时间,并规范编辑工作流程。同时,网络投稿以更加友好的界面服务于广大作者,方便作者与编审之间的沟通,为您提供易查、易用、更加方便快捷的服务。

敬请作者登陆 <http://221.3.9.62:8080/qikan/> 投稿。投稿程序请参看《渔业科学进展》网络化稿件处理系统作者使用指南。

如有疑问,请致电 0532-85833580,13553001056 陈 严老师咨询。也可发邮件到《渔业科学进展》编辑部咨询,E-mail: [chenyan@ysfri.ac.cn](mailto:chenyan@ysfri.ac.cn)。

《渔业科学进展》编辑部

2011 年 2 月 21 日