

# 饲料中铁对美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*) 生长和免疫的影响\*

周立斌<sup>1,2</sup> 王安利<sup>1</sup> 马细兰<sup>2</sup> 张伟<sup>1</sup> 张海发<sup>3</sup>

(1. 华南师范大学生命科学学院 广东省高等学校生态与环境科学重点实验室 广州 510631;  
2. 惠州学院生命科学系 生物技术研究所 惠州 516007; 3. 广东省大亚湾水产试验中心 惠州 516081)

**摘要** 采用单因子实验设计方法,进行了饲料中添加铁对美国红鱼生长(增重率、存活率、特定生长率和饲料效率)、免疫反应(血清溶菌酶活性、总补体活性和超氧化物歧化酶活性(Superoxide dismutase, SOD)和组织中铁积累量影响的研究。结果表明,各饲料组美国红鱼的成活率(93.33%—95.00%)无显著性差异( $P>0.05$ );饲料铁含量在 327.2、368.1mg/kg 时饲料效率显著高于 285.3、303.5、443.7mg/kg 组( $P<0.05$ );随着饲料中铁含量从 285.3mg/kg 增加到 327.2mg/kg,美国红鱼的增重率和特定生长率显著升高( $P<0.05$ ),而饲料中铁含量达到 443.7mg/kg 之后,其增重率和特定生长率显著下降;以特定生长率为指标,通过回归拟合分析美国红鱼最佳生长性能的饲料铁含量为 330mg/kg 左右。各饲料组肌肉中铁积累量无显著性差异( $P>0.05$ );随着饲料中铁含量从 285.3mg/kg 增加到 443.7mg/kg,美国红鱼肝脏中铁积累量显著增加( $P<0.05$ )。饲料铁含量在 368.1mg/kg 时血清溶菌酶活性达到最高值,并显著高于 285.3、303.5、327.2mg/kg 组( $P<0.05$ );饲料铁含量在 327.2、368.1、443.7mg/kg 时血清总补体活性显著高于 285.3、303.5mg/kg 组( $P<0.05$ );饲料铁含量在 327.2、368.1mg/kg 时血清 SOD 活性较高,但各饲料组之间无显著性差异( $P>0.05$ )。综上所述,美国红鱼生长和免疫的饲料铁适宜含量为 368.1mg/kg 左右。

**关键词** 美国红鱼,铁,生长,免疫

**中图分类号** S966.12

铁是鱼类血红蛋白的重要组成成分,参与氧气的运输。同时也是细胞色素、过氧化氢酶等酶的重要组成成分,在氧化还原反应中起传递氢的作用。铁对鱼类的正常生长、发育具有重要作用,缺铁可导致鱼类生长速度和饲料利用率显著下降(Gatlin *et al.*, 1986);铁在鱼类免疫活动过程中也起到了重要的作用,缺铁会使鱼类吞噬细胞活性受损,导致杀伤力降低,因而机体死亡率升高(Watanabe *et al.*, 1997);饲料中铁不足增加了斑点叉尾鲷*Ictalurus punctatus* Rafinesque 对细菌的易感性(Lim *et al.*, 1997; Sealey *et al.*, 1997),饲喂补充铁的饲料使斑点叉尾鲷的巨噬

细胞迁移能力显著提高(Lim *et al.*, 2000)。鱼类既能通过鳃和肠粘膜吸收水溶性的铁(Roeder *et al.*, 1966),又可从食物中获得铁,自然条件下不会发生铁缺乏症,但在商业化的精养体系中,饲料几乎是鱼类唯一的铁源,若其中含铁不足或者铁の利用受到不利影响,则可能导致鱼类的铁缺乏症,使其生长减慢,抗病能力下降。有关斑点叉尾鲷(Gatlin *et al.*, 1986)、真鲷 *Pagrosomus major* Temminck et Schlegel (Sakamoto *et al.*, 1978)、草鱼 *Ctenopharyngodon idella* Valenciennes (黄耀桐等, 1989)、异育银鲫 *Carassius auratus gibelio* Bloch (萧培珍, 2007)<sup>1)</sup>、黄颡鱼 *Pelteobagrus*

\* 国家科技支撑计划课题, 2007BAD29B04 号; 广东省科技计划重大专项, 2007A03260004 号; 广东省科技计划项目, 2007B020708013 号; 广东省重大科技兴海(兴渔)项目, A200501G01 号。周立斌, 博士, 副教授, E-mail: zlb@hzu.edu.cn

通讯作者: 王安利, 教授, E-mail: wanganl@senu.edu.cn

1) 萧培珍, 2007. 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的影响指标. 苏州大学硕士学位论文  
收稿日期: 2008-10-12, 收修改稿日期: 2008-12-21

*fulvidraco* Richardson (蒋蓉, 2006)<sup>1)</sup>、鲈鱼 *Lateolabrax japonicus* Cuvier (张佳明, 2007)<sup>2)</sup>、牙鲆 *Paralichthya olivaceus* Temminck et Schlegel (魏万权等, 1999)和鳗鲡 *Anguilla anguilla* Linnaeus (Nose *et al*, 1976)等对饲料中铁的需求量已有报道。

美国红鱼, 学名眼斑拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus* Linnaeus), 属鲈形目 Perciformes、石首鱼科 Scuaebudae、拟石首鱼属 *Sciaenops*, 是我国南方沿海网箱养殖重要鱼类之一。当前美国红鱼的养殖主要以冰冻小杂鱼作为饵料, 人工配合饲料的研究和开发严重滞后, 有关美国红鱼营养生理的研究已有相关报道(Steven *et al*, 1996; 刘永坚等, 2002; Mcgoogain *et al*, 1998; Thoman *et al*, 1999), 但美国红鱼对铁需求的报道却较少。本实验研究在配合饲料中添加不同剂量的铁对美国红鱼生长和免疫的影响, 以期确定为美国红鱼配合饲料中铁的适宜添加量提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验鱼及实验设计

试验于 2006 年 8—10 月在广东省大亚湾水产试验中心进行, 美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)购自大亚湾海区, 先放入暂养池中用基础饲料(表 1)驯养 2 周, 让其适应试验条件。试验分为 5 组, 每组 3 个重复, 将平均体重为(173.41±4.85)g 的 300 尾美国红鱼随机分在 15 个 1.5×1.0×1.0 m 的网箱中, 每箱 20 尾, 每组试验鱼初重差异不显著( $P>0.05$ )。基础饲料(表 1)中含铁 285.3mg/kg, 以硫酸铁( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 30%Fe, 分析纯)为铁源。先将原料粉碎和混合, 使其能全部通过 0.45mm 分析筛, 各组实验饲料再按试验设计的比例(0、20、40、80、160mg/kg)加入铁, 以微晶纤维素为填充剂, 使各试验组饲料其他营养水平保持一致, 然后进行混合和粉碎, 使其能全部通过 0.45mm 的分析筛, 再用绞肉机制成直径 2.0mm 的软颗粒饲料, 50 烘箱中烘干, 置于 -10℃ 冰箱保存备用。通过实测得各组饲料中铁含量为 285.3、303.5、327.2、368.1 和 443.7mg/kg, 分别用  $\text{Fe}_{285.3}$ 、 $\text{Fe}_{303.5}$ 、 $\text{Fe}_{327.2}$ 、 $\text{Fe}_{368.1}$ 、 $\text{Fe}_{443.7}$  来表示。

### 1.2 饲养管理

饲养水源为经过石英砂、活性炭水体净化装置处

理后的海水; 水温 26.5—32.5℃ 左右, 露天养殖, 自然光照。水体溶氧(DO) 6mg/L, 盐度 28—29,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  0.8mg/L。水体处于微流水状态。

饲养试验前四周每天按照鱼体总重的 3.0% 投喂, 后四周按 2.0% 投喂, 同时参照前一天情况调整投喂量, 每天投喂两次(9:30, 16:30), 每次分 3 遍投喂, 每遍间隔时间为 10min。

表 1 基础饲料组成及营养水平(干物质基础)

Tab.1 Ingredient of basal diet and nutrition value (air-dry basis)

原料	含量(%)	营养成分	含量(%)
鱼粉	50	粗蛋白	43.74
豆粕	9	粗脂肪	12.61
酵母粉	3	粗灰分	10.78
小麦粉	25.7		
豆油	2.5		
鱼油	3		
添加剂 <sup>1)</sup>	0.3		
卵磷脂	2.5		
矿物质预混料 <sup>2)</sup>	2		
维生素预混料 <sup>3)</sup>	2		

1) 添加剂: 甘氨酸, 甜菜碱。

2) 每 kg 日粮中微量元素预混料含: NaF 2mg、KI 0.8mg、 $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  50mg、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  10mg、 $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  50mg、 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  60mg、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  1200mg、 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_3)_2$  3000mg、NaCl 100mg、zoelite 15450mg。

3) 每 kg 日粮中维生素预混料含: 维生素  $\text{B}_1$  25mg、核黄素 45mg、维生素  $\text{B}_6$ (盐酸吡哆辛) 20mg、维生素  $\text{B}_{12}$  0.1mg、维生素  $\text{K}_3$  10mg、肌醇 800mg、泛酸 60mg、烟酸 200mg、叶酸 20mg、生物素 1.20mg、维生素 A 32mg、维生素  $\text{D}_3$  5mg、维生素 E 120mg、维生素 C 2000mg、氯化胆碱 2500mg、乙氧基奎宁 150mg、次粉 18520mg

### 1.3 指标测定

1.3.1 生长指标测定 经过八周的饲养之后, 对试验鱼生长性能指标等进行测定, 计算公式为:

$$\text{饲料效率}(FE, \%) = (W_t - W_0) / F \times 100\%$$

$$\text{成活率}(Survival, \%) = N_t / N_0 \times 100\%$$

$$\text{增重率}(WR, \%) = (\bar{W}_t - \bar{W}_0) / \bar{W}_0 \times 100\%$$

$$\text{特定生长率}(SGR, \%) = (\ln \bar{W}_t - \ln \bar{W}_0) / t \times 100\%$$

式中,  $W_t$  为  $t$  天后各组鱼体总重(g),  $W_0$  为初始时各组鱼体总重(g),  $t$  为饲养天数(d),  $F$  为  $t$  天内摄取的饲

1) 蒋蓉, 2006. 铜、铁、锰、锌对黄颡鱼生长和生理机能的影响. 苏州大学硕士学位论文

2) 张佳明, 2007. 鲈鱼和大黄鱼微量元素——锌、铁的营养生理研究. 中国海洋大学硕士学位论文

料量(g),  $\bar{W}_t$  为  $t$  天后各组鱼体平均体重(g),  $\bar{W}_0$  为初始时各组鱼体平均体重(g),  $N_t$  为  $t$  天后各组鱼总数(尾),  $N_0$  为初始各组鱼总数(尾)。

**1.3.2 饲料中营养成分的测定** 饲料中粗蛋白、粗脂肪、水分、粗灰分的测定按照国标 GB/T6432-1994、GB/T6433-1994、GB/T6435-1986、GB/T6438-1992 方法测定(中国饲料工业协会, 2002)。

**1.3.3 肝脏、肌肉和饲料中铁含量的测定** 将美国红鱼的肌肉、肝脏和饲料用冷冻干燥仪干燥至恒重。称取约 0.3g 干燥样品置于消化管中, 加 8ml 浓硝酸( $\text{HNO}_3$ , 分析纯)和 1ml 双氧水( $\text{H}_2\text{O}_2$ , 分析纯), 在 180 下微波消解 15min, 消化后的溶液用超纯水定容到 50ml 再经滤纸过滤, 在 HITACHI Z2000 偏振塞曼原子吸收分光光度计上测定铁含量。

### 1.3.4 血清免疫力的测定

血清样品的制备: 采用尾静脉抽血法, 取全血在室温下放置 1h, 再放于 4 过夜, 然后 2000r/min 离心 15min 以制成血清供免疫学指标的检测。

血清溶菌酶活性测定: 以 Sigma 提供的溶壁微球菌冻干粉为底物, 参照王雷等(1995)的方法。

血清总补体活性测定: 参照柳忠辉等(2002)的方法。

超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定: 参照静天玉等(1995)改进的邻苯三酚自氧化法, 略作修改。

### 1.4 数据处理统计

实验所得数据均以平均值  $\pm$  标准误(Mean  $\pm$  SD), 采用 SPSS11.0 软件统计包中的单因素方差分析和 Duncan's 法检验, 当  $P < 0.05$  时认为差异显著。图形处理及回归方程采用 Excel 处理。

## 2 结果

### 2.1 饲料中添加铁对美国红鱼生长和免疫的影响

各饲料组美国红鱼增重率、饲料效率、特定生长率、成活率和免疫等指标列于表 2。从表 2 可以看出, 随着饲料中铁含量的增加, 美国红鱼的生长表现出先增加后降低的趋势。其中  $\text{Fe}_{327.2}$  饲料组和  $\text{Fe}_{368.1}$  饲料组的增重率和特定生长率, 显著高于  $\text{Fe}_{285.3}$  饲料组和  $\text{Fe}_{443.7}$  饲料组( $P < 0.05$ ),  $\text{Fe}_{303.5}$  饲料组的增重率和特定生长率显著高于  $\text{Fe}_{285.3}$  饲料组( $P < 0.05$ )。对美国红鱼特定生长率进行回归拟合曲线分析, 见图 1, 根据回归方程得出, 饲料铁含量在 330mg/kg 时美国红鱼特定生长率达到最大。

$\text{Fe}_{327.2}$  饲料组和  $\text{Fe}_{368.1}$  饲料组的饲料效率显著高于其他饲料组( $P < 0.05$ ); 各饲料组的成活率(93.33%—95.00%)无显著性差异( $P > 0.05$ )。

由表 2 可知,  $\text{Fe}_{368.1}$  饲料组的血清溶菌酶活性显著高于  $\text{Fe}_{285.3}$  饲料组和  $\text{Fe}_{303.5}$  饲料组( $P < 0.05$ );  $\text{Fe}_{327.2}$  饲料组、 $\text{Fe}_{368.1}$  饲料组和  $\text{Fe}_{443.7}$  饲料组的血清总补体活性显著高于  $\text{Fe}_{285.3}$  饲料组和  $\text{Fe}_{303.5}$  饲料组( $P < 0.05$ );  $\text{Fe}_{327.2}$  饲料组的血清 SOD 活性较高, 但各饲料组的血清 SOD 活性没有显著性差异( $P > 0.05$ )。

### 2.2 饲料中添加铁对美国红鱼组织中铁积累量的影响

饲料中铁对美国红鱼组织中铁积累量的影响见图 2。由图 2 可知, 各饲料组美国红鱼肌肉铁积累量在 242.5—284.4mg/kg 之间, 且各组之间无显著性差异( $P > 0.05$ ); 随着饲料中铁含量从 285.3mg/kg 增加到 443.7mg/kg, 美国红鱼肝脏中铁积累量显著增加( $P < 0.05$ )。

表 2 饲料中铁对美国红鱼生长和免疫的影响  
Tab.2 Effects of dietary iron on growth and immune response of red drum

铁含量(mg/kg)	$\text{Fe}_{285.3}$	$\text{Fe}_{303.5}$	$\text{Fe}_{327.2}$	$\text{Fe}_{368.1}$	$\text{Fe}_{443.7}$
平均初重(g)	169.71 $\pm$ 10.12	165.55 $\pm$ 11.39	178.88 $\pm$ 12.48	173.54 $\pm$ 13.27	179.38 $\pm$ 12.87
平均末重(g)	235.23 $\pm$ 15.78 <sup>a</sup>	246.14 $\pm$ 16.23 <sup>ab</sup>	278.63 $\pm$ 13.87 <sup>b</sup>	266.81 $\pm$ 14.99 <sup>ab</sup>	258.26 $\pm$ 12.45 <sup>ab</sup>
增重率(%)	38.61 $\pm$ 2.48 <sup>a</sup>	48.69 $\pm$ 3.29 <sup>bc</sup>	55.76 $\pm$ 4.68 <sup>c</sup>	53.75 $\pm$ 4.12 <sup>c</sup>	43.97 $\pm$ 3.46 <sup>ab</sup>
饲料效率(%)	65.82 $\pm$ 3.59 <sup>a</sup>	67.45 $\pm$ 3.81 <sup>a</sup>	76.68 $\pm$ 45.21 <sup>b</sup>	75.55 $\pm$ 3.69 <sup>b</sup>	65.12 $\pm$ 3.01 <sup>a</sup>
特定生长率(%)	0.54 $\pm$ 0.035 <sup>a</sup>	0.66 $\pm$ 0.048 <sup>bc</sup>	0.74 $\pm$ 0.046 <sup>c</sup>	0.72 $\pm$ 0.044 <sup>c</sup>	0.61 $\pm$ 0.036 <sup>ab</sup>
成活率(%)	93.33 $\pm$ 2.89	95.00 $\pm$ 5.00	95.00 $\pm$ 0.00	93.33 $\pm$ 2.89	95.00 $\pm$ 0.00
溶菌酶活性(IU/ml)	1.05 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	1.13 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	1.20 $\pm$ 0.13 <sup>ab</sup>	1.53 $\pm$ 0.14 <sup>c</sup>	1.48 $\pm$ 0.16 <sup>bc</sup>
总补体活性(U/ml)	33.52 $\pm$ 4.19 <sup>a</sup>	35.80 $\pm$ 5.73 <sup>a</sup>	67.75 $\pm$ 7.26 <sup>b</sup>	63.12 $\pm$ 8.64 <sup>b</sup>	70.18 $\pm$ 8.48 <sup>b</sup>
SOD 活性(U/ml)	275.77 $\pm$ 26.04	290.29 $\pm$ 28.32	310.32 $\pm$ 27.66	308.43 $\pm$ 23.34	295.51 $\pm$ 30.20

注: 同一行中具不同字母标记的值表示差异显著( $P < 0.05$ )

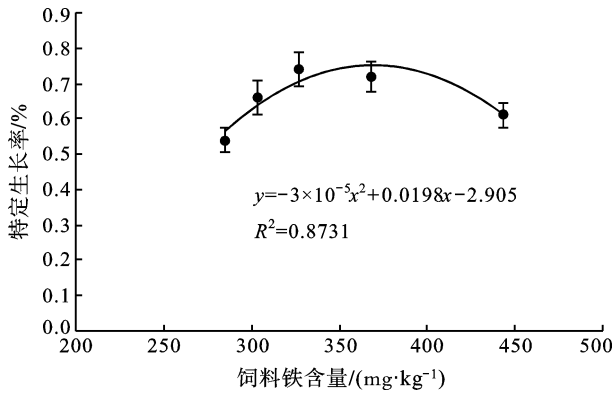


图1 饲料中铁对美国红鱼特定生长率的影响

Fig.1 Effects of dietary iron on specific growth rate of red drum

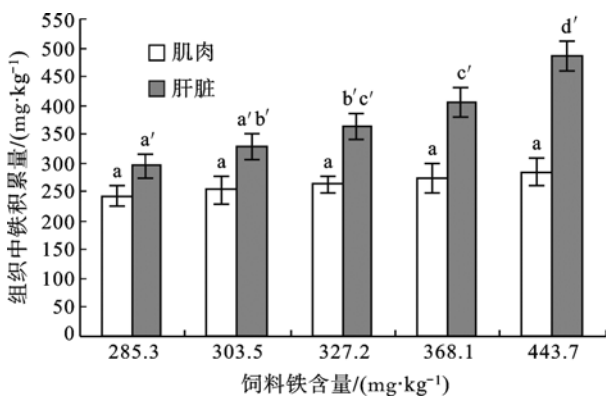


图2 饲料铁对美国红鱼组织中铁积累量的影响

Fig.2 Effects of dietary iron on tissue iron concentration in red drum

注: 图中具不同字母标记的值表示差异显著( $P < 0.05$ )

### 3 讨论

本实验结果表明,在基础饲料和试验条件完全相同的条件下,补充不同含量的铁对美国红鱼生长性能的影响有差异,各饲料组随着饲料中铁含量的增加,其增重率和特定生长率呈现出先增加后降低的趋势;在饲料铁含量为327.2mg/kg饲料时,美国红鱼的增重率和特定生长率达到最大。说明美国红鱼对饲料中铁含量在327.2mg/kg饲料时,生长效果最好。对特定生长率进行回归曲线分析得出公式 $Y = -3 \times 10^{-5}X^2 + 0.0198X - 2.905$ ,  $R^2 = 0.87$ ,得出饲料中铁含量在330mg/kg时鱼体特定生长率达到最大(表2,图1),这些结果表明铁是维持美国红鱼正常生长所必需的元素,同时美国红鱼能够利用无机态铁。依特

定生长率得到美国红鱼对饲料中铁的需要量为330mg/kg,这一结果高于斑点叉尾鲷(30mg/kg)(Gatlin *et al*, 1986)、真鲷(150mg/kg)(Sakamoto *et al*, 1978)、鲈鱼(53.2mg/kg)(张佳明, 2007)<sup>1)</sup>和鳊鲷(170mg/kg)(Nose *et al*, 1976)的研究中得到的数值,但低于在草鱼(900mg/kg)(黄耀桐等, 1989)、牙鲆(>373mg/kg)(魏万权等, 1999)、异育银鲫1150.78mg/kg(萧培珍, 2007)<sup>2)</sup>和黄颡鱼(840.53mg/kg)(蒋蓉, 2006)<sup>3)</sup>的研究中得到的数值。这可能与实验鱼的种类、饲料的组成及适口性、实验鱼的大小、投喂次数及水平、实验条件等多种因素有关。另外美国红鱼的成活率没有受到铁含量的影响,也未发现典型的铁缺乏症,这可能缘于养殖时间短和鱼粉中的铁基本满足了美国红鱼的生存。

生长和饲料利用率是用于评价鱼类和陆生动物对微量元素利用的有效指标,但有其不足(Baker, 1986; Cowey, 1992),主要是由于生长和饲料转化率不具有专一性(Tacon, 1992)。而动物机体组织中微量元素的含量可以作为评定其需要量的重要指标(Maage *et al*, 1993; King, 1990; Wekell *et al*, 1986; Dato *et al*, 1996)。其中,鱼体肝脏铁积累量常被作为鱼体铁状况的评价指标(Shiau *et al*, 2003)。本研究中,美国红鱼肝脏铁积累量随着饲料中铁含量的增加而显著增加,灵敏地反映出饲料中铁含量的变化,这预示着肝脏铁积累量有可能作为美国红鱼铁营养需求的有效指标。另外,各个饲料组的美国红鱼肌肉铁积累量没有显著性差异( $P > 0.05$ ),保持相对稳定,对其他动物的研究也表明,铁的吸收受到机体需要的控制,进入体内的过多的铁将在细胞周期结束时被排出体外,而美国红鱼肌肉中铁的相对稳定性的原因是否如此尚不清楚,但这似乎暗示了在美国红鱼中可能存在铁代谢的内稳态调节能力(魏万权等, 1999)。

溶菌酶是一种低分子量不耐热的碱性蛋白,主要来源于吞噬细胞,Marja等(1992)报道,在一定程度上,血清中溶菌酶活性变化与循环系统中白细胞数目变化相一致,白细胞数目多,溶菌酶活性就增加,二者正相关,而补体是一种非常重要的非特异性体液免疫因子。在异育银鲫(萧培珍, 2007)<sup>2)</sup>和黄颡鱼(蒋蓉, 2006)<sup>3)</sup>的饲料中添加一定量的铁能显著提高血清

1) 张佳明, 2007. 鲈鱼和大黄鱼微量元素——锌、铁的营养生理研究. 中国海洋大学硕士学位论文

2) 萧培珍, 2007. 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的影响指标. 苏州大学硕士学位论文

3) 蒋蓉, 2006. 铜、铁、锰、锌对黄颡鱼生长和生理机能的影响. 苏州大学硕士学位论文

溶菌酶活性, 和上述结果类似, 在本实验中, 美国红鱼血清溶菌酶活性和总补体活性随着饲料中铁含量的适量增加而显著升高, 并且饲料铁含量为 368.1mg/kg 时血清溶菌酶活性和总补体活性较高(表 2), 表明饲料中适宜含量的铁具有激活美国红鱼血清溶菌酶活性和总补体活的功效。超氧化物歧化酶作为一种特异性消除超氧自由基的循环酶, 主要负责过氧化和噬菌作用造成的组织损伤的防御保护作用。超氧化物歧化酶活性越高, 说明其清除自由基的能力越强(Marcelo *et al*, 2000), 王雷等(1994)的研究也表明了超氧化物歧化酶活性与水生动物的免疫水平密切相关。本实验中, 在饲料铁含量为 327.2mg/kg 和 368.1mg/kg 时, 美国红鱼血清中超氧化物歧化酶活性较高, 但与其他饲料组没有显著性差异( $P>0.05$ ), 这个结果与异育银鲫(萧培珍, 2007)<sup>1)</sup>相类似, 显示出美国红鱼血清中 SOD 活性并不受饲料中铁含量的影响。

本实验中, 以特定生长率为指标, 通过拟合曲线可知美国红鱼生长性能最佳的饲料铁含量是 330mg/kg 左右; 而从免疫方面考虑, 不同养殖鱼类对饲料铁的最适免疫需要量不同(萧培珍, 2007<sup>1)</sup>; 蒋蓉, 2006<sup>2)</sup>, 魏万权等, 1999; Barros *et al*, 2002)。本实验中, 饲料中铁含量达到 368.1mg/kg 时, 美国红鱼血清溶菌酶活性和总补体活性较高, 而此时血清超氧化物歧化酶活性也较高。综上所述, 为了达到较大生长率和较强免疫功能, 美国红鱼饲料中铁的含量为 368.1mg/kg 较适宜。

### 参 考 文 献

- 王 雷, 李光友, 毛远兴等, 1994. 口服免疫药物对养殖中国对虾病害防治作用的研究. 海洋与湖沼, 25(5): 486—488
- 王 雷, 李光友, 毛远兴, 1995. 中国对虾血淋巴中的抗菌、溶菌活力与酚氧化酶活力的测定及其特性研究. 海洋与湖沼, 26(2): 179—185
- 中国饲料工业协会, 2002. 饲料工业标准汇编. 北京: 中国标准出版社, 70—92
- 刘永坚, 刘栋辉, 田丽霞等, 2002. 饲料蛋白质和能量水平对红姑鱼生长和鱼体组成的影响. 水产学报, 6(3): 242—246
- 柳忠辉, 吕昌龙, 2002. 免疫学常用实验技术. 北京: 科学出版社, 48—56
- 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—151
- 静天玉, 赵晓瑜, 1995. 用终止剂改进超氧化物歧化酶临苯三酚测活法. 生物化学与生物物理学进展, 22(1): 84—86
- 魏万权, 李爱杰, 李德尚等, 1999. 饲料中添加铁对牙鲆幼鱼生长的影响. 水产学报, 23: 100—103
- Baker D H, 1986. Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients. Nutrition, 116: 2239—2249
- Barros M M, Lim C, Klesius P H, 2002. Effect of soybean meal replacement by cottonseed meal and iron supplementation on growth, immune response and resistance of Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) to *Edwardsiella ictaluri* challenge. Aquaculture, 207: 263—279
- Cowey C B, 1992. Nutrition: estimating requirements of rainbow trout. Aquaculture, 100: 177—189
- Dato Cajegas C R S, Yakupitiyage A, 1996. The need for dietary mineral supplementation for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, cultured in a semi-intensive system. Aquaculture, 144: 227—257
- Gatlin D M, Wilson R P, 1986. Characterization of iron deficiency and the dietary iron requirement of fingerling channel catfish. Aquaculture, 52: 191—198
- King J C, 1990. Assessment of zinc status. Journal of Nutrition, 120: 1474—1479
- Lim C, Klesius P H, Li M H *et al*, 2000. Interaction between dietary levels of iron and vitamin C on growth, hematology, immune response and resistance of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) to *Edwardsiella ictaluri* challenge. Aquaculture, 185: 313—327
- Lim C, Klesius P H, 1997. Responses of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed iron-deficient and replete diets to *Edwardsiella ictaluri* challenge. Aquaculture, 157: 83—93
- 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
- Marja M, 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
- Mcgoogain B, Gatlin D, 1998. Metabolic requirements of red drum, *Sciaenops ocellatus*. For protein and energy based on weigh gain and body composition. Journal of nutrition, 128(1): 123—129
- Marcelo M, Ricardo C, Jenny R *et al*, 2000. Measurement of reactive oxygen intermediate production in haemocytes of the penaeid shrimp, *Penaeus vannamei*. Aquaculture, 191: 89—107
- Nose T, Arai S, 1976. Recent advances on studies on mineral nutrition of fish in Japan. In: Pillay R V R, Dill W A ed. Advances in aquaculture. Faraham, UK: Fishing News Books, 584—590

1) 萧培珍, 2007. 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的影响指标. 苏州大学硕士学位论文

2) 蒋 蓉, 2006. 铜、铁、锰、锌对黄颡鱼生长和生理机能的影响. 苏州大学硕士学位论文

- Roeder M, Roeder R H, 1966. Effects of iron on the growth rate of fishes. *Journal of Nutrition*, 90: 86—90
- Sakamoto S, Yone Y, 1978. Requirement of red sea bream for dietary iron. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 44: 223—225
- Sealey W M, Lim C, Klesius P H, 1997. Influence of dietary level of iron from iron methionine and iron sulfate on immune response and resistance of channel catfish to *Edwardsiella ictaluri*. *J World Aquacult Soc*, 28: 142—149
- Shiau Shi-Yen, Su Li-Wen, 2003. Ferric citrate is half as effective as ferrous sulfate in meeting the iron requirement of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *The Journal of Nutrition*, 133: 4832—4836
- Steven R, Craig, Delbert M *et al*, 1996. Dietary choline requirement of juvenile red drum, (*Sciaenops ocellatus*). *Journal of Nutrition*, 126(6): 23—31
- Tacon A G J, 1992. *Nutritional Fish Pathology: Morphological Signs of Nutrient Deficiency and Toxicology in Farmed Fish*. FAO Fish Tech Pap, 330: 75
- Thoman E S, Davis D A, Arnold C R, 1999. Evaluation of grow out diets with varying protein and energy levels for red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture*, 176: 343—353
- Watanabe T, Kiron V, Satoh S, 1997. Trace minerals in fish nutrition. *Aquaculture*, 151(5): 185—207
- Wekell J C, E J Gauglitz Jr, 1986. High zinc supplementation of trout diets: Tissue indicators of body zinc status. *Prog Fish Cult*, 48: 205—212

## EFFECTS OF DIETARY IRON ON GROWTH AND IMMUNE RESPONSE OF RED DRUM *SCIAENOPS OCELLATUS*

ZHOU Li-Bin<sup>1,2</sup>, WANG An-Li<sup>1</sup>, MA Xi-Lan<sup>2</sup>, ZHANG Wei<sup>1</sup>, ZHANG Hai-Fa<sup>3</sup>

(1. College of Life Science, South China Normal University, Key Laboratory of Ecology and Environmental Science in Guangdong Higher Education, Guangzhou, 510631; 2. Department of Life Science, Huizhou University and Institute of Biotechnology, Huizhou, 516007; 3. Guangdong Daya Bay Fisheries Development Center, Huizhou, 516081)

**Abstract** An experiment was conducted to study the effects of dietary iron on growth (weight rate, feed efficiency ratio, specific growth rate (SGR) and survival rate), immune response [lysozyme activity, total complement activity and superoxide dismutase (SOD) activity] and body distribution of iron concentration of red drum (*Sciaenops ocellatus* Linnaeus). Five iso-nitrogenous and iso-energetic diets were formulated to contain 285.3, 303.5, 327.2, 368.1 and 443.7 mg Fe per kg diet, supplied as FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, and fed in 15 floating netcages (1.5 × 1.0 × 1.0m) to 20 fish [initial weight: (173.41 ± 4.85)g] twice a day (09:30 and 16:30) for 8 weeks, the water temperature was set from 26.5 to 32.5 °C, salinity from 28 to 29 and dissolved oxygen was approximately 6mg/L during the experimental period. Results indicate that no significant differences in survival rate (93.33%—95.00%) were found among dietary treatments (*P*>0.05); feed efficiency ratio in 327.2 and 368.1mg/kg treatments were significantly higher than those in 285.3, 303.5 and 443.7mg/kg treatments (*P*<0.05). Weight rate and specific growth rate in 327.2 and 368.1mg/kg treatment were higher significantly those in other treatments (*P*<0.05), regression curve analysis shows that the optimum dietary iron requirement for red drum, using SGR as response criteria, was 330mg/kg diet. No significant differences in iron concentration of muscle were found among dietary treatments (*P*>0.05). Iron concentration in liver increased significantly with increasing dietary iron from 285.3 to 443.7mg/kg (*P*<0.05). The maximal level of serum lysozyme activity was in 368.1mg/kg treatment, significantly higher than those in other treatments (*P*<0.05). Serum total complement activity in 327.2, 368.1 and 443.7mg/kg treatments was significantly higher than those in 285.3 and 327.2mg/kg treatments (*P*<0.05). Serum SOD activity in 327.2 and 368.1mg/kg treatments were higher, but no significant differences in serum SOD activity were found among dietary treatments (*P*>0.05). Based on the information above, the optimal dietary iron content for optimum growth performance and immune response in red drum is about 368.1mg/kg of dietary iron.

**Key words** Red drum *Sciaenops ocellatus* Linnaeus, Iron, Growth, Immune response