

饲料中锌对花鲈(*Lateolabrax japonicus*)幼鱼生长、免疫和组织积累的影响*

周立斌^{1,2} 张伟¹ 王安利¹ 马细兰² 张海发³ 刘付永忠³

(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 惠州 516007; 3. 广东省大亚湾水产实验中心 惠州 516081)

提要 采用单因子实验设计方法, 进行饲料中添加锌对花鲈幼鱼生长(增重率、存活率、特定生长率和饲料效率)、免疫反应(血清溶菌酶活性和总补体活性)和组织中锌积累量影响的研究。通过在基础饲料中添加 $ZnSO_4$ 使饲料中锌含量分别达到 83.3、95.2、101.6、120.3、159.9mg/kg, 对花鲈幼鱼进行为期8周的生长实验, 每个水平3个重复, 每个养殖单元放养初始体重为(10.0 ± 0.58)g左右的花鲈幼鱼20尾。饲养实验在海水网箱(1.5 × 1.0 × 1.0m³)中进行, 实验期间水温为26.5—32.5℃, 盐度为28—29, 溶解氧含量在6mg/L左右。结果表明, 各饲料组成活率(95.00%—100.00%)无显著性差异($P>0.05$)。随着饲料中锌含量从83.3mg/kg增加到101.6mg/kg, 花鲈幼鱼的增重率和特定生长率显著升高($P<0.05$), 而饲料中锌含量达到101.6mg/kg之后, 其增重率和特定生长率变化不显著($P>0.05$); 以增重率和特定生长率为指标, 花鲈幼鱼最佳生长性能的饲料锌含量为103.4mg/kg左右。各饲料组肌肉中锌积累量无显著性差异; 随着饲料中锌含量从83.3mg/kg增加到101.6mg/kg, 花鲈幼鱼肝脏中锌积累量显著增加($P<0.05$), 而饲料中锌含量达到101.6mg/kg之后, 其肝脏中锌积累量变化不显著($P>0.05$); 花鲈幼鱼获得肝脏中最大锌积累量时饲料中锌最低含量为105.1mg/kg。随着饲料中锌含量从83.3mg/kg增加到101.6mg/kg, 花鲈幼鱼血清溶菌酶和总补体活性显著升高($P<0.05$), 饲料中锌含量达到101.6mg/kg之后, 血清溶菌酶和总补体活性变化不显著($P>0.05$)。综上所述, 花鲈幼鱼生长和免疫的锌适宜添加量为105.1mg/kg左右。

关键词 花鲈幼鱼, 锌, 生长, 免疫, 组织积累

中图分类号 S966.12

锌是大多数生物所必需的微量元素, 在生物体内, 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。缺锌会导致动物发育减缓, 骨骼受损, 影响生殖系统、免疫功能和代谢等(Lorentzen *et al.*, 1999; Masahio, 1999; Kiron, 1993)。由于水体中锌含量低, 不能满足鱼类生长的需要, 因此饲料被认为是鱼类主要的锌源(Spry *et al.*, 1988; Willis *et al.*, 1984)。有关虹鳟(*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) (Ogino *et al.*, 1978)、真鲷(*Sciaenops ocellatus* Temminck

et Schlegel) (Gatlin *et al.*, 1991)、大西洋鲑(*Salmo salar* Linnaeus) (Maage *et al.*, 1993)、牙鲆(*Paralichthys olivaceus* Temminck *et Schlegel*) (魏万权等, 1999)和大黄鱼(*Pseudosciaena crocea* Richardson)(张佳明等, 2008)等对饲料中锌的需要量已有相关报道。

花鲈(*Lateolabrax japonicus* Cuvier *et Valenciennes*)属鲈形目、鲈科、花鲈属, 是我国南方沿海网箱养殖重要鱼类之一。当前花鲈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

* 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@sclu.edu.cn

收稿日期: 2007-11-17, 收修改稿日期: 2008-01-18

后,有关花鲈营养生理的研究已有相关报道(潘勇等, 2000; 杜震宇等, 2002; Ai *et al*, 2004, 2007; Mai *et al*, 2006), 但花鲈对锌需求的报道却较少。本实验中通过在配合饲料中添加不同剂量的锌, 研究饲料中锌对花鲈幼鱼生长、免疫和组织积累的影响, 以期获得花鲈配合饲料中锌的适宜添加量提供依据。

1 材料与方 法

1.1 实验鱼及实验设计

实验于 2006 年 5—7 月在广东大亚湾水产实验中心进行, 花鲈(*Lateolabrax japonicus*)幼鱼购自大亚湾海区, 先放入暂养池中用基础饲料(表 1)驯养 2 周, 使其适应实验条件。实验分为 5 组, 每组 3 个重复, 将平均体重为(10.0 ± 0.58)g 的 300 尾花鲈幼鱼随机分在 15 个 1.5 × 1.0 × 1.0m³ 的网箱中, 每箱 20 尾, 每组实验鱼初重差异不显著($P > 0.05$)。基础饲料(表 1)中含锌 83.3mg/kg, 以硫酸锌(ZnSO₄ · H₂O, 37.4% Zn, 分析纯)为锌源。先将原料粉碎、混合, 使其能全部通过 0.45mm 分析筛, 各组实验饲料再按实验设计的比例(0、10、20、40、80mg/kg)加入锌, 以微晶纤维素为填充剂, 使各实验组饲料其它营养水平保持一致, 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 °C 冰箱保存备用。通过实测(见 1.3.2)得各组饲料中锌含量为 83.3、95.2、101.6、120.3、

159.9mg/kg, 分别用 Zn_{83.3}、Zn_{95.2}、Zn_{101.6}、Zn_{120.3}、Zn_{159.9} 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; 水温为 26.5—32.5 °C, 露天养殖, 自然光照。水体溶氧(DO) 6mg/L, 盐度为 28—29, NH₄⁺-N 0.8mg/L。水体处于微流水状态。

饲养实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, 两遍间隔时间为 10min。

1.3 指标测定

1.3.1 生长指标测定 经过八周的饲养之后, 对实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、肌肉和饲料中锌含量的测定 将花鲈肌肉、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(HNO₃, 分析纯)和 1ml 双氧水(H₂O₂, 分析纯), 在 180 °C 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锌含量。

1.3.4 血清免疫力的测定

(1) 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 °C 过夜, 然后 2000r/min 离心 15min 以制成血清供免疫学指标的检测。

(2) 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。

(3) 血清总补体活性测定: 根据补体能使溶血素致敏的绵羊红细胞发生溶血, 当致敏红细胞浓度恒定时, 溶血程度与补体量和活性成正比例关系。将新

表 1 基础饲料组成及营养水平(干物质基础)

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

| 原料 | 含量(%) | 原料 | 含量(%) |
|-------------------|-------|----------------------|-------|
| 鱼粉 | 50.0 | 卵磷脂 | 2.5 |
| 豆粕 | 9.0 | 矿物质预混料 ²⁾ | 2.0 |
| 酵母粉 | 3.0 | 维生素预混料 ³⁾ | 2.0 |
| 小麦粉 | 25.7 | 营养成分 | 含量(%) |
| 豆油 | 2.5 | 粗蛋白 | 43.74 |
| 鱼油 | 3.0 | 粗脂肪 | 12.61 |
| 添加剂 ¹⁾ | 0.3 | 粗灰分 | 10.78 |

1) 添加剂为甘氨酸和甜菜碱; 2) 矿物质预混料为每 kg 日粮中含: NaF 2mg、KI 0.8mg、CoCl₂ · 6H₂O 50mg、CuSO₄ · 5H₂O 10mg、FeSO₄ · H₂O 80mg、MnSO₄ · H₂O 60mg、MgSO₄ · 7H₂O 1200mg、Ca(H₂PO₃)₂ 3000mg、NaCl 100mg、zoelite 15450mg; 3) 维生素预混料为每 kg 日粮中含: 维生素 B₁ 25mg、核黄素 45mg、维生素 B₆(盐酸吡哆辛) 20mg、维生素 B₁₂ 0.1mg、维生素 K₃ 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 D₃ 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

鲜待测血清作不同稀释处理后,与致敏红细胞反应,测定溶血程度,以50%溶血时的最小血清量为判定终点,测定补体溶血活性 CH_{50} ,参照柳忠辉等(2002)的方法,略作修改。

1.4 数据处理统计

实验数据采用DPS v7.55统计软件中单因素方差分析和最小显著差异法对花鲈幼鱼各项测定指标进行分析处理,如 $P < 0.05$ 即可认为有显著性差异。所有的结果均以平均值 \pm 标准误来表示。图形处理以及回归方程计算用Excel进行。

2 结果

2.1 饲料中添加锌对花鲈幼鱼生长和免疫的影响

各饲料组花鲈幼鱼增重率、饲料效率和特定生长率、成活率和免疫等指标列于表2。从表2可以看出,随着饲料中锌含量从83.3mg/kg增加到101.6mg/kg,花鲈幼鱼的增重率和特定生长率显著升高($P < 0.05$),而饲料中锌含量达到101.6mg/kg之后,其增重率和特定生长率变化不显著($P > 0.05$); $Zn_{83.3}$ 饲料组的饲料

效率显著低于其它饲料组($P < 0.05$);各饲料组花鲈幼鱼的成活率(95.00%—100.00%)无显著性差异($P > 0.05$)。

以锌含量与增重率作回归直线,通过折线法得知,花鲈幼鱼获得最大增重率时饲料中锌最低含量为102.9mg/kg(图1);以锌含量与特定生长率作回归直线,通过折线法得知,花鲈幼鱼获得最高特定生长率时饲料中锌最低含量为103.4mg/kg(图2)。

由表2可知,随着饲料中锌含量从83.3mg/kg增加到101.6mg/kg,花鲈幼鱼血清溶菌酶和总补体活性显著升高($P < 0.05$),当饲料中锌含量达到101.6mg/kg之后,血清溶菌酶和总补体活性没有显著性的变化($P > 0.05$)。

2.2 饲料中锌对花鲈幼鱼组织中锌积累量的影响

饲料锌不同含量对花鲈幼鱼组织中锌积累量的影响见图3。由图3可知,各饲料组花鲈幼鱼肌肉锌积累量在22.5—24.4mg/kg之间,且各组之间无显著性差异($P > 0.05$);鱼体肝脏锌含量随饲料锌含量的上升呈先上升后平稳的趋势,其中 $Zn_{83.3}$ 饲料组花鲈幼

表2 饲料锌对花鲈生长和免疫的影响

Tab.2 Effects of dietary zinc on growth and immune response of Japanese seabass

| 饲料标号 | $Zn_{83.3}$ | $Zn_{95.2}$ | $Zn_{101.6}$ | $Zn_{120.3}$ | $Zn_{159.9}$ |
|--------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 平均初重(g) | 9.71 ± 0.62 | 9.92 ± 0.69 | 10.33 ± 0.48 | 10.19 ± 0.27 | 9.87 ± 1.07 |
| 平均末重(g) | 26.73 ± 1.13^a | 29.12 ± 0.44^{ab} | 31.81 ± 1.25^b | 32.17 ± 0.48^b | 31.54 ± 2.86^b |
| 增重率(%) | 175 ± 5.99^a | 193 ± 8.67^b | 208 ± 6.38^c | 213 ± 7.78^c | 219 ± 4.44^c |
| 饲料效率(%) | 86 ± 4.02^a | 93 ± 1.23^b | 93 ± 5.53^b | 93 ± 5.51^b | 96 ± 4.07^b |
| 特定生长率(%) | 1.69 ± 0.027^a | 1.79 ± 0.025^b | 1.87 ± 0.036^c | 1.92 ± 0.017^c | 1.94 ± 0.035^c |
| 成活率(%) | 98.33 ± 2.89 | 95.00 ± 0.00 | 95.00 ± 0.00 | 98.33 ± 2.89 | 100.00 ± 0.00 |
| 溶菌酶活性(IU/ml) | 1.48 ± 0.08^a | 1.59 ± 0.06^{ab} | 1.64 ± 0.04^b | 1.62 ± 0.03^b | 1.63 ± 0.06^b |
| 总补体活性(U/ml) | 105 ± 4.07^a | 110 ± 4.14^{ab} | 116 ± 5.66^b | 116 ± 1.41^b | 108 ± 4.95^{ab} |

注:同一行中具不同字母标记的值表示差异显著($P < 0.05$)

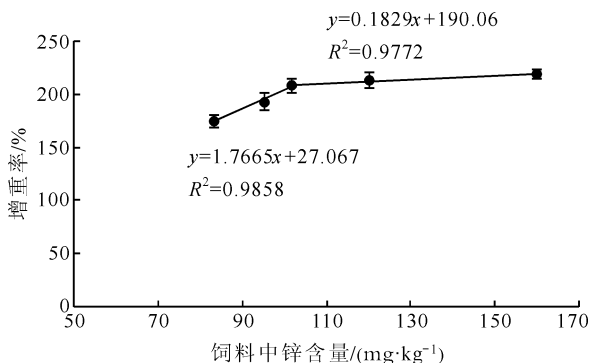


图1 饲料中锌对花鲈幼鱼增重率的影响

Fig.1 Effects of dietary zinc on weight gain of juvenile Japanese seabass

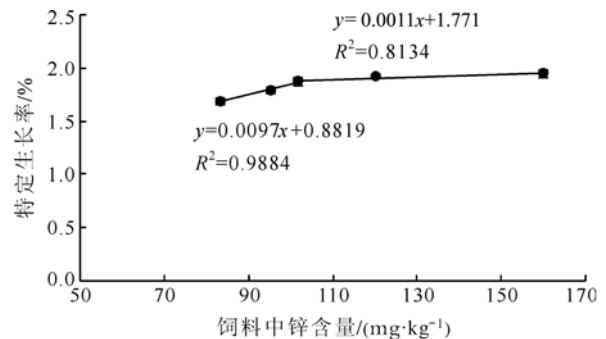


图2 饲料中锌对花鲈幼鱼特定生长率的影响

Fig.2 Effects of dietary zinc on specific growth rate of juvenile Japanese seabass

鱼肝脏锌积累量与 $Zn_{95.2}$ 饲料组差异不显著($P>0.05$), 但显著低于饲料锌含量为 101.6mg/kg 以上各组($P<0.05$), $Zn_{95.2}$ 饲料组花鲈幼鱼肝脏锌积累量显著低于 $Zn_{159.9}$ 饲料组($P<0.05$)。

以饲料中锌含量与肝脏中锌积累量作回归直线, 通过折线法得知花鲈幼鱼获得肝脏最大锌积累量时饲料中锌最低含量为 105.1mg/kg (图 4)。

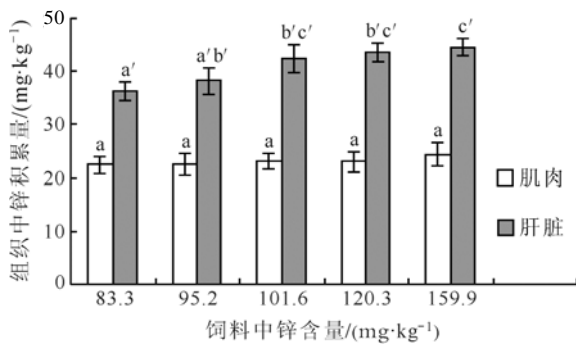


图 3 饲料锌对花鲈幼鱼组织中锌积累量的影响

Fig.3 Effects of dietary zinc on tissue zinc concentration in juvenile Japanese seabass

注: 图中具不同字母标记的值表示差异显著($P<0.05$)

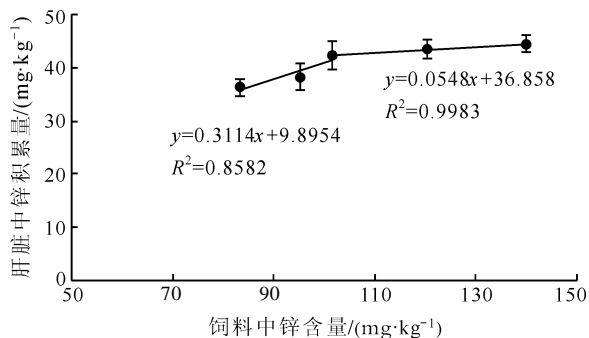


图 4 饲料中锌对花鲈幼鱼肝脏中锌积累量的影响

Fig.4 Effects of dietary zinc on liver zinc concentration in juvenile Japanese seabass

3 讨论

本研究通过在精制基础饲料中添加不同含量的微量元素锌饲养花鲈幼鱼 8 周后, 发现摄食缺锌饲料的花鲈幼鱼生长缓慢, 饲料转化率数值偏低。随着饲料锌含量的上升, 花鲈幼鱼生长状况明显得到改善, 当饲料锌含量达到或超过 101.6mg/kg 时, 增重率和特定生长率达到一平台(表 2, 图 1, 图 2), 这些结果表明锌是维持花鲈幼鱼正常生长所必需的元素, 同时花鲈幼鱼能够利用无机态锌。依增重率和特定生长率得到花鲈幼鱼对饲料中锌的需要量为 102.9mg/kg 和 103.4mg/kg , 这一结果高于在虹鳟($15\text{—}30\text{mg/kg}$)

(Ogino *et al*, 1978)、真鲷($20\text{—}25\text{mg/kg}$) (Gatlin *et al*, 1991)、大西洋鲑(67mg/kg) (Maage *et al*, 1993)、大黄鱼(59.6mg/kg) (张佳明等, 2008)的研究中得到的数值, 但低于在牙鲆($>119.2\text{mg/kg}$) (魏万权等, 1999)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。

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, 血清中溶菌酶活力变化与循环系统中白细胞数目变化相一致, 白细胞数目多, 溶菌酶活力就增加, 二者呈正相关; 补体是一种非常重要的非特异性体液免疫因子。在本实验中, 花鲈幼鱼血清溶菌酶活性和总补体活性随着饲料中锌含量的增加($83.3\text{—}101.6\text{mg/kg}$)而显著升高, 表明饲料中适宜含量的锌具有激活花鲈幼鱼血清溶菌酶活性和总补体活性的功效。

动物机体组织中微量元素的含量是评定其需要量的重要指标之一。在鱼类, 整体和消化道(Maage *et al*, 1993)、骨骼(King, 1990)、血清(Wekell *et al*, 1986)和尾鳍(Dato *et al*, 1996)等的锌含量在某些鱼中常被用作确定锌营养状况的有效评价指标。本实验中, 肝脏锌含量相当灵敏地反映出饲料中的锌状况, 与鱼体增重率和特定生长率的变化趋势也比较一致, 这预示着肝脏含量可能作为花鲈幼鱼锌营养需求的有效指标。但 Maage 等(1993)发现大西洋鲑的肝脏并不是锌的主要贮存器官, 在饲养 4 周和 8 周后测量, 肝脏中锌含量都没有随着饲料中锌的增加而增加, 而整体锌含量则与饲料中锌水平呈显著正相关, 导致这种差异的原因还不清楚。

在本实验中肌肉锌积累量似乎并没有受到饲料中锌添加量的影响, 这可能是因为相对于肝脏而言, 肌肉中锌的代谢慢很多, 在比较短的时间内, 饲料锌的变化还不足以引起肌肉锌积累量的变化。也可能是花鲈肌肉中锌的正常水平在 $22\text{—}25\text{mg/kg}$ 左右, 饲料中较多的锌被贮存于其它器官或者代谢掉。但遗憾的是作者在实验中未对整体、骨骼和其它器官中锌含量进行测定。此结果也说明, 当养殖时间较短时, 肌肉中锌积累量不宜用作评价指标。另外花鲈幼鱼的成活率没有受到锌添加量的影响, 也未发现典型的锌缺乏症, 这可能是由于养殖时间短和花鲈从水中吸收了必要的锌作为补充。但添加锌使花鲈的生长加快, 说明花鲈与虹鳟(Satoh *et al*, 1987)、牙鲆(魏万权等,

1999)一样,对鱼粉中的锌利用率不高或者需求量比较小,但随着饲料中锌含量的增大,鱼体增重率和特定生长率都随之增高,这表明,为了满足花鲈幼鱼对锌的营养需求,在基础饲料中必须添加锌。

本实验中,锌含量达到 101.6mg/kg 饲料时,花鲈幼鱼的增重率、饲料系数、特定生长率都有显著性的提高,而以增重率和特定生长率为指标,通过折线法可知花鲈幼鱼生长性能最佳的饲料锌含量是 103.4mg/kg 左右;而从肝脏锌积累量来看,当饲料中锌含量高于 101.6mg/kg 时,花鲈幼鱼肝脏中锌积累量增加不明显,并且通过折线法得知,花鲈幼鱼获得肝脏最大锌积累量时饲料中锌最低含量为 105.1mg/kg;从免疫方面考虑,不同养殖鱼类对饲料锌的最适免疫需要量不同(魏万权等,1999;张佳明等,2008;张薇等,2004),以碱性磷酸酶为指标,当饲料中锌含量分别为 80mg/kg 和 48.9mg/kg 时,牙鲆和大黄鱼碱性磷酸酶活性最大(魏万权等,1999;张佳明等,2008);而鲤鱼锌含量则是在 38—80mg/kg 时,生物发光值、抗体的凝集效价和腹腔 M 吞噬活性较高(张薇等,2004),而在本实验中,饲料中锌含量达到 101.6mg/kg 时,花鲈幼鱼血清溶菌酶活性和总补体活性较高。综上所述,为了达到较大生长率和保持鱼体组织中正常锌积累量以及从免疫方面考虑,花鲈幼鱼饲料中锌的含量应在为 105.1mg/kg 较适宜。

参 考 文 献

- 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
- 杜震宇,刘永坚,郑文晖等,2002. 三种脂肪源和两种降脂因子对鲈生长、体营养成分组成和血清生化指标的影响. 水产学报, 26(6): 542—550
- 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
- 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
- 潘 勇,王福强,刘焕亮,2000. 花鲈配合饲料中鱼粉与豆粕适宜比例的研究. 大连水产学院学报, 15(3): 157—163
- 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
- Ai Q H, Mai K S, Zhang C X *et al*, 2004. Effects of dietary vitamin C on growth and immune response of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture*, 242: 489—500
- Ai Q H, Mai K S, Zhang W B *et al*, 2007. Effects of exogenous enzymes (phytase, non-starch polysaccharide enzyme) in diets on growth, feed utilization, nitrogen and phosphorus excretion of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 147(2): 502—508
- 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 III, O'Connell J P, Scarpa J, 1991. Dietary zinc requirement of the red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture*, 92: 259—265
- King J C, 1990. Assessment of zinc status. *Journal of Nutrition*, 120: 1474—1479
- Kiron V, 1993. Effect of nutritional diets on activity of NK cell of rainbow trout. *Research of Fish Disease*, 28(2): 71—76
- Lorentzen M, Maage A, 1999. Trace element status of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar* L. fed a fish-meal based diet with or without supplementation of zinc, iron, manganese and copper from first feeding. *Aquaculture Nutrition*, 5(3): 163—171
- 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
- Mai K S, Zhang L, Ai Q H *et al*, 2006. Dietary lysine requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture*, 258: 535—542
- 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
- Masahio S, 1999. Current research status of fish immunostimulants. *Aquaculture*, 172(1): 63—92
- Ogino C, Yang G Y, 1978. Requirement of rainbow trout for dietary zinc. *Nippon Suisan Gakkaihi*, 44: 1015—1018
- Satoh S, Izume K, Takeuchi T *et al*, 1987. Availability to rainbow trout of zinc contained in various types of fish meal. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53(10): 1861—1866
- Spry D J, Hodson P V, Wood C M, 1988. Relative contributions of dietary and waterborne zinc in the rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Can J Fish Aquat Sci*, 45: 32—41
- Wekell J C, Gauglitz E J, 1986. High zinc supplementation of trout diets: Tissue indicators of body zinc status. *Prog Fish-Cult*, 48: 205—212
- Willis J N, Sunda W G, 1984. Relative contributions of food and water in the accumulation of zinc by two species of marine fish. *Mar Biol*, 80: 273—279

EFFECTS OF DIETARY ZINC ON GROWTH, IMMUNE RESPONSE AND TISSUE CONCENTRATION OF JUVENILE JAPANESE SEABASS *LATEOLABRAX JAPONICUS*

ZHOU Li-Bin^{1,2}, ZHANG Wei¹, WANG An-Li¹, MA Xi-Lan², ZHANG Hai-Fa³, LIUFU Yong-Zhong³

(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, Huizhou, 516007; 3. Guangdong Daya Bay Fisheries Development Center, Huizhou, 516081)

Abstract An experiment was conducted to study the effects of dietary zinc on growth (weight gain, feed efficiency ratio, specific growth rate and survival rate), immune response (lysozyme activity and total complement activity) and body distribution of zinc concentration of juvenile Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*. Five iso-nitrogenous and iso-energetic diets were formulated and contained 83.3, 95.2, 101.6, 120.3, 159.9mg zinc per kg diet, supplied as ZnSO₄ · H₂O, and fed in 15 floating netcages (1.5 × 1.0 × 1.0m³) with 20 fish [initial weight: (10.0 ± 0.58)g]; fish were fed twice daily (09:30 and 16:30) for 8 weeks, the water temperature fluctuated 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 (95.00%—100.00%) were found among dietary treatments ($P>0.05$). The weight gain rate and specific growth rate increased significantly with increasing dietary zinc from 83.3 to 101.6mg/kg ($P<0.05$), but no significant differences were observed among the fish fed the diets with equal to or higher than 101.6mg/kg of zinc ($P>0.05$), and the optimal dietary zinc content for maximum growth was about 103.4mg/kg. No significant differences in zinc concentration of muscle were found among dietary treatments ($P>0.05$), zinc concentration in liver increased significantly with increasing dietary zinc from 83.3 to 101.6mg/kg ($P<0.05$); no significant differences were observed among the fish fed the diets with equal to or higher than 101.6mg/kg of zinc ($P>0.05$), juvenile Japanese seabass maintained greatest zinc concentration in liver and lowest zinc demand content when fed with 105.1mg/kg of dietary zinc. Serum lysozyme activity and total complement activity of juvenile Japanese seabass increased significantly with increasing dietary zinc from 83.3 to 101.6mg/kg ($P<0.05$), but no significant differences were observed among the fish fed with the diets with equal to or higher than 101.6mg/kg of zinc ($P>0.05$). Based on the information above, the optimal dietary zinc content for optimum growth performance and immune response in juvenile Japanese seabass was about 105.1mg/kg of dietary zinc.

Key words Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*, Zinc, Growth, Immune response, Tissue concentration