

# 肌醇缺乏对幼建鲤消化功能和免疫功能的影响

冯琳<sup>1,2</sup> 李江<sup>1</sup> 周小秋<sup>1,2\*</sup> 刘扬<sup>1,2</sup>

(1. 四川农业大学动物营养研究所, 雅安 625014; 2. 动物营养与饲料工程四川省重点实验室, 雅安 625014)

**摘要:** 为研究幼建鲤的肌醇缺乏症及其缺乏对幼建鲤消化功能和免疫功能的影响, 试验选择体重为  $(10.31 \pm 0.04)$  g 的健康幼建鲤 360 尾, 随机分成 2 组, 每组 3 个重复, 每个重复 60 尾鱼, 分别饲喂含肌醇 0 和 450 mg/kg 的纯合饵料, 试验期 80 d。结果表明, 肌醇缺乏导致幼建鲤呈现体表出血糜烂、鳍条糜烂等症状; 增重和摄饵量极显著降低 ( $P < 0.01$ ); 饵料系数极显著升高 ( $P < 0.01$ )。肌醇缺乏极显著降低了肠道和肝胰脏重量和蛋白质含量 ( $P < 0.01$ ); 极显著降低了肠道胰蛋白酶、糜蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶、 $\gamma$ -谷氨酰转移酶、肌酸激酶、碱性磷酸酶和  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase 活性 ( $P < 0.01$ ); 极显著降低了攻毒前肾脏和脾脏重量, 攻毒后存活率和血清补体 C3、C4、类 IgM 含量、酸性磷酸酶、总铁结合力、凝集素效价和溶菌酶含量 ( $P < 0.01$ )。综上所述, 肌醇缺乏可导致幼建鲤的消化和免疫功能降低。

**关键词:** 肌醇; 建鲤; 缺乏; 消化; 免疫

饵料肌醇缺乏会影响水生动物的正常生长<sup>[1]</sup>。但是近年的研究表明杂交品种和纯种之间对饵料肌醇的需要存在差异。Helena 等<sup>[2]</sup>的研究表明饵料肌醇缺乏不会影响纯种罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 的正常生长、饲料利用率和血红细胞的生成能力。而 Shiau 等<sup>[3]</sup>的研究表明杂交罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) 则要在饵料中添加肌醇来达到其最大生长速度。目前关于肌醇在鲤鱼上的研究仅有一篇报道, Aoe 等<sup>[4]</sup>报道, 普通鲤鱼能够在肠道中合成一定量的肌醇, 但是其合成量不足以满足其正常的生长需要, 所以需要在饵料中添加 440 mg/kg 的肌醇。建鲤是我国人工培育的杂交品种, 其生长速度比普通鲤鱼快 30%~40%<sup>[5]</sup>。因此, 建鲤对饵料中肌醇缺乏可能比普通鲤鱼更为敏感。本研究通过考察消化器官的生长发育和相关酶活变化来研究肌醇缺乏对建鲤消化功能的影响; 通过考察免疫器官的生长和血液生化指标的变化研究肌醇缺乏对建鲤免疫功能的影响, 为建鲤精准饲料配方的建立及提高疾病抵抗力措施的提出提供一定的科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

肌醇购自 sigma 公司, 纯度为 98.6%。

### 1.2 试验设计与饲养管理

鱼苗购自德阳通威水生动物饲养基地, 饲喂于循环流水过滤水族箱 ( $90 \text{ cm} \times 55 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ ) 中, 驯化饲养 3 周后, 将平均体重为  $(10.31 \pm 0.04)$  g 的健康建鲤 360 尾随机分为 2 组, 每组 3 个重复, 每个重复 60 尾, 以重复为单位在水族箱中 ( $90 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ ) 进行试验, 水源为曝气自来水, 水温为  $(21 \pm 4)^\circ\text{C}$ , pH 为 6.9, 溶氧保持 5 mg/L 以上。试验期间每天投喂 8 次, 投喂时间分别为 07:00、09:00、11:00、13:00、15:00、17:00、19:00 和 21:00, 投喂量根据建鲤采食情况进行调整, 试验期 80 d。

### 1.3 试验饵料

试验饵料以酪蛋白和明胶作为主要蛋白质源。饵料粗蛋白质、粗脂肪、有效磷、 $\omega 3$  必需脂肪酸、 $\omega 6$  必需脂肪酸、微量元素和维生素营养标准的选择参照 NRC(1993) 鲤鱼营养需要标准, 没有鲤鱼营养需要标准的则参照鳊鱼、斑点叉尾鲷或大西洋鲑的标准 (VD、VB<sub>12</sub> 和叶酸参考虹鳟; VK 参考湖鳊; 硒参考斑点叉尾鲷; 碘参考大西洋鲑)。试验饵料组成及营养水平见表 1。

收稿日期: 2009-04-20

基金项目: 教育部长江学者和创新团队发展计划 (IRT0555); 四川省教育厅重点项目 (07ZA068)

作者简介: 冯琳 (1980-), 女, 四川省石棉人, 博士研究生, 从事水生动物营养与免疫研究。E-mail: forest926412@tom.com

\* 通讯作者: 周小秋, 教授, 博士生导师, E-mail: xqzhouqq@tom.com

表 1 试验饵料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis, %)

项目 Items	对照组 Control group	缺乏组 Default group
原料 Ingredients		
酪蛋白 Casein	25.57	25.57
明胶 Gelatinum	14.88	14.88
玉米淀粉 Corn starch	16.00	16.00
$\alpha$ -淀粉 $\alpha$ -starch	32.61	32.61
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.62	0.62
大豆油 Soybean oil	1.89	1.89
鱼油 Fish oil	2.79	2.79
微量元素预混料 Mineral premix <sup>1)</sup>	0.50	0.50
维生素预混料 Vitamin premix <sup>2)</sup>	0.15	0.15
肌醇预混料 Inositol premix	0.30 <sup>3)</sup>	0.30 <sup>4)</sup>
磷酸二氢钙 CaH <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (22%)	1.85	1.85
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.30	0.30
羧甲基纤维素 Carboxymethyl cellulose	2.50	2.50
抗氧化剂 Antioxidant (30%)	0.04	0.04
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>5)</sup>		
粗蛋白质 CP	35.00	35.00
粗脂肪 EE	4.79	4.79
赖氨酸 Lys	2.20	2.20
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	1.44	1.44
$\omega$ 3+ $\omega$ 6	2.00	2.00
有效磷 AP	0.60	0.60
肌醇 Inositol (mg/kg)	450.00	—

<sup>1)</sup> 每千克微量元素预混料含 Contained the following per kg of mineral premix: Fe 30.00 g; Cu 0.61 g; Zn 6.01 g; Mn 2.61 g; Se 0.05 g; I 0.12 g。

<sup>2)</sup> 每千克维生素预混料含 Contained the following per kg of vitamin premix: VA 13 333 500 IU; VD<sub>3</sub> 833 000 IU; VE 33.34 g; VK 0.34 g; VB<sub>1</sub> 0.170 g; VB<sub>2</sub> 2.33 g; VB<sub>6</sub> 2.00 g; VB<sub>12</sub> 0.003 g; VC 23.33 g; 泛酸 pantothenic acid 10.00 g; 烟酸 niacin 10.00 g; 生物素 biotin 0.33 g; 叶酸 folic acid 0.33 g; 面粉 flour 818.884 g。

<sup>3)</sup> 每千克肌醇预混料含 Contained the following per kg of inositol premix: 肌醇 inositol 153.06 g; 面粉 flour 846.94 g。

<sup>4)</sup> 每千克肌醇预混料含 Contained the following per kg of inositol premix: 肌醇 inositol 0 g; 面粉 flour 1 000 g。

<sup>5)</sup> 肌醇、粗蛋白质和赖氨酸含量为实测值,其余根据 NRC(1993)计算得出。The content of inositol, CP and Lys were measured values, and other nutrient levels were calculated values according to NRC (1993)。

1.4 采样与分析

试验期间,观察试验鱼的体色、体形、体态和鳍、眼、口、鳃等外观变化并统计存活率进行文字记录和摄像记录。试验前、后对鱼称重,试验结束时计算增重、摄饵量和饵料系数。

在试验结束时,每组随机取 25 尾鱼,最后一次投饵 12 h 后开始采样,称取体重和测定体长后,分离肠道、肝胰脏并称取重量。每组随机取 4 尾鱼,迅速将分离的肠道组织放入样品袋,立即置于液氮中

冷冻,然后在 -20 ℃ 冰箱保存备测。测定时,将冷冻肠样取出后立即称重,并放在冰上解冻。加入生理盐水在冰浴中先用剪刀剪碎再经超声波细胞破碎制成组织匀浆用于测定肠道相关酶活,采用相应试剂盒测定(Sigma)。

饲喂 8 周后每个重复选 10 尾鱼进行攻毒试验,用嗜水气单胞菌攻毒,饲养 17 d 后,尾静脉采血,3 000 r/min 离心 10 min(4 ℃)后取上清液,用于测定血清中体液免疫因子的活性。血清中体液免疫因子

的活性测定采用相应的试剂盒进行测定(Sigma)。

1.5 数据统计与分析

用 SPSS 13.0 统计软件对数据进行 *T* 检验,用 Duncan 氏法进行多重比较,检验组间的差异显著性。

2 结 果

2.1 体表观察、生长性能和存活率

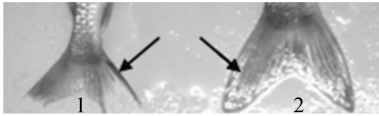
饲喂不添加肌醇的饵料 80 d 后,肌醇缺乏组建鲤出现体表出血(图 1)和鳍条糜烂(图 2)等症状,而对照组没有出现以上症状。缺乏组的增重、摄饵量和饲料转化率都极显著的低于对照组( $P<0.01$ )。试验组增重比对照组低 87.58%,并且缺乏组的死亡率比对照组高 38.33%(表 2)。



1. 缺乏组 Default group; 2. 对照组 Control group

图 1 幼建鲤体表观察图

Fig.1 The body surface symptom of juvenile carp



1. 缺乏组 Default group; 2. 对照组 Control group

图 2 幼建鲤尾鳍观察

Fig.2 The caudal fin symptom of juvenile carp

表 2 肌醇缺乏对幼建鲤生长性能和存活率的影响

Table 2 Effects of inositol deficiency on growth performance and survival rate of juvenile Jian carp

项目 Items	对照组 Control group	缺乏组 Default group
增重 Weight gain (g)	10.31 ± 0.26 <sup>A</sup>	1.28 ± 0.17 <sup>B</sup>
摄饵量 Feed intake (g)	21.30 ± 0.97 <sup>A</sup>	15.18 ± 0.73 <sup>B</sup>
饵料系数 Feed conversion ratio <sup>*</sup>	2.06 ± 0.06 <sup>A</sup>	11.86 ± 0.41 <sup>B</sup>
存活率 Survival rate (%)	95.00	56.67

同行数据肩注不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ )。下表同。

Means in the same row with different capital letter superscripts mean significantly different ( $P<0.01$ ). The same as below.

<sup>\*</sup> 饵料系数 = 摄饵量(g)/增重(g)。Feed conversion ratio (FCR) = feed intake (g)/weight gain (g)。

2.2 肌醇缺乏对消化器官的影响

肌醇缺乏对肠道和肝胰脏重量、蛋白质含量的影响见表 3。从表 3 中可以看出,肌醇缺乏导致肝

胰脏重量、肝胰脏蛋白质含量、肠道重量和肠道蛋白质含量极显著的降低( $P<0.01$ )。

表 3 肌醇缺乏对幼建鲤肠道和肝胰脏重量和蛋白质含量的影响

Table 3 Effects of inositol deficiency on intestine, hepatopancreas weight and protein content of juvenile Jian carp (%)

项目 Items	对照组 Control group	缺乏组 Default group
肝胰重 Hepatopancreas weight (g)	0.60 ± 0.05 <sup>A</sup>	0.28 ± 0.07 <sup>B</sup>
肝胰脏蛋白质含量 Hepatopancreas protein content	11.39 ± 0.34 <sup>A</sup>	9.92 ± 0.28 <sup>B</sup>
肠重 Intestine weight (g)	0.34 ± 0.03 <sup>A</sup>	0.12 ± 0.01 <sup>B</sup>
肠蛋白质含量 Intestine protein content	8.19 ± 0.14 <sup>A</sup>	6.86 ± 0.24 <sup>B</sup>

2.3 肌醇缺乏对消化相关酶活性的影响

肌醇缺乏对肠道胰蛋白酶、糜蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性的影响见表 4。从表 4 中可以看出,肌

醇缺乏导致肠道胰蛋白酶、糜蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性极显著降低( $P<0.01$ )。

肌醇缺乏对肠道  $\gamma$ -谷氨酰转移酶、肌酸激酶、

碱性磷酸酶和  $\text{Na}^+$  ,  $\text{K}^+$ -ATPase 活性的影响见表 5。从表 5 中可以看出,肌醇缺乏对肠道的  $\gamma$ -谷氨酰转移酶、肌酸激酶、碱性磷酸酶和  $\text{Na}^+$  ,  $\text{K}^+$ -ATPase 有极显著的影响,肌醇缺乏导致肠道  $\gamma$ -谷氨酰转移酶、肌酸激酶、碱性磷酸酶和  $\text{Na}^+$  ,  $\text{K}^+$ -ATPase 活性极显著的降低( $P<0.01$ )。

表 4 肌醇缺乏对幼建鲤肠道胰蛋白酶、糜蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性的影响  
Table 4 Effects of inositol deficiency on activity of trypsin, chymotrypsin, lipase and amylase in intestine of juvenile Jian carp (U/g)

项目 Items	对照组 Control group	缺乏组 Default group
胰蛋白酶 Trypase	1.79 ± 0.02 <sup>A</sup>	1.20 ± 0.10 <sup>B</sup>
糜蛋白酶 Chymotrypsin (ΔA/(g · min))	1.52 ± 0.04 <sup>A</sup>	0.80 ± 0.10 <sup>B</sup>
脂肪酶 Lipase	993.30 ± 71.02 <sup>A</sup>	517.93 ± 19.64 <sup>B</sup>
淀粉酶 Amylase	515.25 ± 16.61 <sup>A</sup>	274.58 ± 12.98 <sup>B</sup>

表 5 肌醇缺乏对幼建鲤肠道  $\gamma$ -谷氨酰转移酶、肌酸激酶、AKP 和  $\text{Na}^+$  ,  $\text{K}^+$ -ATP 酶活性的影响  
Table 5 Effects of inositol deficiency on activity of  $\gamma$ -glutamyl transferase, creatinkinase, AKP,  $\text{Na}^+$  ,  $\text{K}^+$ -ATPase in intestine of juvenile Jian carp (U/g)

项目 Items	对照组 Control group	缺乏组 Default group
$\gamma$ -谷氨酰转移酶 $\gamma$ -GT	39.94 ± 0.67 <sup>A</sup>	22.35 ± 0.48 <sup>B</sup>
肌酸激酶 CK	63.98 ± 1.53 <sup>A</sup>	53.59 ± 2.33 <sup>B</sup>
碱性磷酸酶 AKP	18.82 ± 0.91 <sup>A</sup>	14.15 ± 0.82 <sup>B</sup>
$\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ -ATPase	342.19 ± 13.12 <sup>A</sup>	195.12 ± 8.85 <sup>B</sup>

2.4 肌醇缺乏对攻毒前肾脏、脾脏重量和攻毒后存活率的影响  
肌醇缺乏对肾脏、脾脏重量和攻毒后存活率的影响见表 6。从表 6 中可以看出,肌醇缺乏导致肾脏、脾脏重量极显著的降低( $P<0.01$ ),并且缺乏组的攻毒后存活率比对照组低 20%。

表 6 肌醇缺乏对肾脏、脾脏重量和攻毒后存活率的影响  
Table 6 Effects of inositol deficiency on spleen, kidney weight before challenge and survival rate after challenge

项目 Items	对照组 Control group	缺乏组 Default group
脾脏重量 Spleen weight (g)	94.50 ± 15.26 <sup>A</sup>	49.01 ± 7.96 <sup>B</sup>
肾脏重量 Kindey weight (g)	32.59 ± 5.83 <sup>A</sup>	16.20 ± 1.83 <sup>B</sup>
存活率 Survival rate (%)	50	30

2.5 肌醇缺乏对攻毒后血清中免疫相关指标的影响  
补体 C3、C4 和类 IgM 含量、酸性磷酸酶、总铁结合力、凝集素效价和溶菌酶含量极显著下降( $P<0.01$ )。从表 7 中可以看出,肌醇缺乏导致攻毒后血清中

表 7 肌醇缺乏对攻毒后血清中补体 C3、C4 和类 IgM 含量、酸性磷酸酶活力、总铁结合力、溶菌酶含量和凝集素效价的影响  
Table 7 Effects of inositol deficiency on serum C3, C4 and IgM-like content, acid phosphatase, total iron binding capacity (TIBC), lysozyme content and lectin titer after challenge (mg/L)

项目 Items	对照组 Control group	缺乏组 Default group
补体 C3 Complement C3	158.10 ± 0.97 <sup>A</sup>	116.57 ± 2.22 <sup>B</sup>
补体 C4 Complement C4	37.34 ± 3.15 <sup>A</sup>	31.40 ± 0.90 <sup>B</sup>
类 IgM IgM-like	247.02 ± 12.16 <sup>A</sup>	102.14 ± 1.99 <sup>B</sup>
酸性磷酸酶 ACP (U/L)	2 843.90 ± 9.50 <sup>A</sup>	455.70 ± 4.46 <sup>B</sup>
总铁结合力 TIBC	11.60 ± 0.40 <sup>A</sup>	8.53 ± 0.23 <sup>B</sup>
溶菌酶 Lysozyme ( $\mu\text{g/mL}$ )	204.55 ± 31.82 <sup>A</sup>	159.09 ± 19.81 <sup>B</sup>
凝集素效价 Lectin titer ( $\log_2\text{Z}$ )	8.33 ± 0.83 <sup>A</sup>	6.67 ± 0.58 <sup>B</sup>

### 3 讨 论

饲喂不含肌醇的饵料 80 d 后,建鲤出现体表出血、鳍条糜烂等症状,并伴随高死亡率的出现。目前尚未见鲤鱼肌醇典型缺乏症状的报道。本研究结果表明,肌醇缺乏导致建鲤增重、摄食量降低,饵料系数升高,从而降低了幼建鲤的生产性能。Aoe 等<sup>[4]</sup>在普通鲤鱼上研究也表明肌醇缺乏导致同样的结果,Shiau 等<sup>[3]</sup>在杂交罗非鱼上的研究发现饵料中添加肌醇显著提高其生长速度。但 Helena 等<sup>[2]</sup>的研究结果与上述结果不一致,其研究结果表明饵料肌醇缺乏对纯种罗非鱼的正常生长、饲料利用率无显著影响。结果不一致的原因可能是不同品种鱼类对肌醇缺乏的敏感度不一样,杂交品种的生长速度高于普通品种,对包括肌醇在内的营养物质的需求较高。以上研究也说明肌醇缺乏对生长潜力和生长速度较普通鲤鱼大的建鲤影响更大。

肌醇缺乏导致建鲤生产性能下降可能与其影响消化能力有关。鱼类的消化能力主要与相关酶的消化能力有关<sup>[6]</sup>。本研究结果表明肌醇缺乏导致胰蛋白酶、糜蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶的活力极显著降低。胰脏是鱼类消化酶分泌的主要器官,消化酶活降低可能与肝胰脏的生长发育受阻有关。肌醇缺乏导致建鲤肝胰脏重量、肝胰脏蛋白质含量极显著降低,从而降低消化酶分泌能力,消化功能下降。肠道是建鲤消化和吸收的主要场所,肠道的生长发育与其吸收功能密切相关<sup>[7]</sup>。本研究中肌醇缺乏影响了肠道的正常生长发育,导致肠道重量和肠道蛋白质含量极显著下降。肠道的碱性磷酸酶参与了肠道中营养物质的吸收,如脂肪、葡萄糖、钙和无机磷酸盐的吸收<sup>[8]</sup>。 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ -ATPase 的活力能敏感反映肠道的吸收能力<sup>[9]</sup>。 $\gamma$ -谷氨酰转移酶能催化谷胱甘肽裂解为谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸,也能把  $\gamma$ -谷氨酰基转移到氨基酸受体上,并在细胞内摄取氨基酸过程中起重要作用<sup>[10]</sup>。肌酸激酶通常存在于动物组织的细胞浆和线粒体中,是一个与细胞内能量转运、肌肉收缩、ATP 的再生有直接关系的重要激酶<sup>[11]</sup>。本研究结果表明肌醇缺乏导致幼建鲤肠道碱性磷酸酶和  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ -ATPase、 $\gamma$ -谷氨酰转移酶、肌酸激酶等酶活力极显著降低,严重阻碍幼建鲤对营养物质的吸收能力。

本研究还发现肌醇缺乏显著降低了幼建鲤的疾病抵抗能力。肌醇缺乏组嗜水气单胞菌攻毒后存活率比对照组低 20%。免疫器官的发育是其发挥免疫功能基础,而肌醇缺乏极显著降低了幼建鲤肾脏

和脾脏的重量,影响免疫功能的正常发挥。IgM 是 B 细胞经抗原刺激后产生的与特异免疫相关的一类球蛋白,大多数的硬骨鱼类只存在一种类似于哺乳动物 IgM 的免疫球蛋白<sup>[12]</sup>。肌醇缺乏能显著影响血浆中 IgM 含量,比对照组下降了 59%。目前,关于肌醇对幼建鲤 IgM 含量的影响未见报道。凝集素能够特异的识别细菌、真菌和病毒的表面分子<sup>[13]</sup>;补体 C3、C4 能裂解为 C3b、C4b,与免疫细胞上的相应受体结合<sup>[14]</sup>;溶菌酶能够破坏细胞壁,对病原物质的溶菌能力与溶菌酶的活力密切相关<sup>[15]</sup>。酸性磷酸酶存在与单核巨噬细胞系统中,主要功能是清除表面带有磷酸酯的异物以及异体酯类。试验结果表明肌醇缺乏极显著的降低了血清中补体 C3、C4 含量、酸性磷酸酶活力、凝集素效价、溶菌酶含量。说明肌醇缺乏导致幼建鲤特异性免疫和非特异性免疫功能显著下降,从而严重降低其疾病抵抗能力。

### 4 结 论

综上所述,肌醇缺乏会导致幼建鲤出现体表出血、鳍条糜烂等症状,并通过影响其消化功能来影响其正常生长,通过影响其免疫功能来影响其疾病抵抗能力,因此饵料中添加肌醇对建鲤具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] NRC. Nutrient Requirements of Fish[S]. Washington, D. C.: National Academy Press, 1993.
- [2] Helena P, Chhorn L, Phillip H, Klesiusb C A. Growth, chemical composition and resistance to *Streptococcus iniae* challenge of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed graded levels of dietary inositol[J]. Aquaculture, 2004, 235: 423-432.
- [3] Shiau S Y, Su S L. Juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) requires dietary myo-inositol for maximal growth[J]. Aquaculture, 2005, 243: 273-277.
- [4] Aoe H, Masuda I. Water-soluble vitamin requirements of carp. II. Requirements for p-aminobenzoic acid and inositol[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1967, 33: 674-680.
- [5] Sun X Y, Zhang J S, Shi Y H, Wang J X, Gong Y S. Studies on the genetic characteristic of Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) in China[J]. Aquaculture, 1995, 137: 271-284.
- [6] Kumulu M, Jones D A. The effect of live and artificial diets on growth, survival, and tripsin activity in larvae of *Penaeus indicus*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1995, 26: 406-415.

- [7] Pederson H E, Sissons J W. Effect of antigenic soyabean protein on the physiology and morphology of the gut in the of protein-dye binding[J]. *Animal Biochemistry*, 1984, 72: 248-256.
- [8] Villanueva J, Vanacore R, Goicocchea O, Amthauer R. Intestinal alkaline phosphatase of the fish *Cyprinus carpio*: regional distribution and membrane association[J]. *Journal of Experimental Zoology*, 1997, 279: 347-355.
- [9] Lin Y, Zhou X Q. Dietary glutamine supplementation improves structure and function of intestine of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian)[J]. *Aquaculture*, 256: 389-394.
- [10] Bell J G, Buddington R K, Walton M J, Cowey C B. Studies on the putative role of gamma-glutamyl transpeptidase in intestinal transport of amino acids in Atlantic salmon[J]. *Journal of Comparative Physiology*, 1987, 157(2): 161-169.
- [11] 周秀菊, 刘党生, 蒋宇扬. 肌酸激酶结构与功能研究进展[J]. *沈阳药科大学学报*, 2002, 19(5): 386.
- [12] David B, Adrien S, Rigottier-Gois L, Messiaen S, Chilmonczyk S, Quillet E, Boudinot P, Benmansour A. Phenotypic and functional similarity of gut intra-epithelial and systemic T cells in a teleost fish[J]. *The Journal of Immunology*, 2006, 176: 3 942-3 949.
- [13] Russell L, John P. Function and heterogeneity of fish lectins[J]. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 2005, 108: 111-120.
- [14] Holland M C H, Shimon H, Yonathan Z. The effects of long-term testosterone, gonadotropin-releasing hormone agonist and pimozide treatments on testicular development and luteinizing hormone levels in juvenile and early maturing striped bass, *Morone saxatilis*[J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2002, 3: 178-187.
- [15] Bergljót M. Innate immunity of fish[J]. *Fish and Shellfish Immunology*, 2006, 2: 137-151.

## Effects of Insitol Deficiency on Digestive and Immune Function of Juvenile Jian Carp (*Cyprinus carpio* var. Jian)

FENG Lin<sup>1,2</sup> LI Jiang<sup>1</sup> ZHOU Xiaoqi<sup>1,2\*</sup> LIU Yang<sup>1,2</sup>

(1. *Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China*; 2. *Key Laboratory for Animal Nutrition and Feed Engineering of Sichuan Province, Ya'an 625014, China*)

**Abstract:** This study was designed to determine the effects of insitol deficiency on digestive and immune function of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). In trial, three hundred and sixty juvenile Jian carps with initial body weight of  $(10.31 \pm 0.04)$  g were randomly allocated to 2 groups (with 3 replicates and each replicate had 60 fish) fed with purified diet containing insitol 0 or 450 mg/kg for 80 days. The results showed that, insitol deficiency symptoms of juvenile Jian carp were observed, such as body surface hyperaemia and fin erosion. The insitol deficiency significantly decreased the weight gain and feed intake, and significantly increased the feed conversion ratio ( $P < 0.01$ ). The intestine, hepatopancreas weight and protein content were significantly decreased by insitol deficiency ( $P < 0.01$ ). The activities of trypase, chymotrypsin, lipase, amylase, alkaline phosphatase,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase,  $\gamma$ -glutamyl transferase and creatinkinase in intestine were all significantly decreased by insitol deficiency ( $P < 0.01$ ). The insitol deficiency significantly decreased the kidney, spleen weight before challenge and the survival rate, activity of serum complement C3, C4, IgM-like, acid phosphatase, total iron binding capacity, lectin titer and lysozyme after challenge ( $P < 0.01$ ). These results indicated that insitol deficiency resulted in the depression of digestive and immune function of juvenile Jian carp. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2009, 21(6): 878-883]

**Key words:** Insitol; Juvenile Jian carp; Deficiency; Digestive; Immune