

文章编号: 1674 - 5566(2010)06 - 0787 - 05

## VC 对草鱼成鱼生长、肌肉品质及血清非特异性免疫的影响

李小勤<sup>1</sup>, 胡斌<sup>1</sup>, 冷向军<sup>1</sup>, 李家乐<sup>1</sup>, 文华<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 荆州 434000)

**摘要:** 以 VC 磷酸酯为 VC 源, 配制 VC 添加量分别为 0 mg/kg (对照组)、100 mg/kg、200 mg/kg 的 3 组实用饲料, 喂养体重 (614.9 ± 60.5) g 的草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 60 d, 探讨 VC 对草鱼成鱼生长性能、肌肉品质和血清非特异性免疫的影响。结果表明, 饲料中添加 VC 100 mg/kg 或 200 mg/kg, 均可显著提高草鱼增重率 ( $P < 0.05$ ), 降低饲料系数 ( $P < 0.05$ ); 草鱼肌肉胶原蛋白含量、肌纤维直径和肝脏 VC 含量随 VC 添加量的增加而增加 ( $P < 0.05$ ); 饲料中 VC 添加量 ≥ 100 mg/kg 后, 血清超氧化物歧化酶 (SOD) 活性显著提高 ( $P < 0.05$ ), VC 添加量达 200 mg/kg 后, 血清碱性磷酸酶 (AKP) 活性显著提高 ( $P < 0.05$ ); 各组间血清溶菌酶 (LSZ) 活性差异不显著 ( $P > 0.05$ )。上述研究表明, 实用饲料中添加 VC 能促进草鱼成鱼生长, 改善肌肉品质, 增强机体非特异性免疫力。以生长性能为指标, 草鱼成鱼饲料中适宜的 VC 添加量为 100 mg/kg。

**关键词:** 草鱼; 维生素 C; 生长; 肌肉品质; 非特异性免疫

中图分类号: S 963.73 文献标识码: A

## Effects of supplemental vitamin C on growth, meat quality and serum non-specific immunity of adult grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*

LI Xiao-qin<sup>1</sup>, HU Bin<sup>1</sup>, LENG Xiang-jun<sup>1</sup>, LI Jia-le<sup>1</sup>, WEN Hua<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;

2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou 434000, China)

**Abstract:** A study was conducted to investigate the effects of supplemental VC in practical diet on growth, meat quality and non-specific immunity of adult grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). Three practical diets added with L-ascorbyl-2-phosphate as VC 0 (control group), 100 or 200 mg/kg respectively, were fed to triplicate groups of adult grass carp with body weight of (614.9 ± 60.5) g for 60 days. Results showed that the growth rate of grass carp was significantly increased, whereas feed conversion ratio was decreased by supplemental VC 100 or 200 mg/kg in diet ( $P < 0.05$ ). Collagen content of muscle, muscle fiber diameter and liver VC concentration increased with the increase of VC supplement ( $P < 0.05$ ). The activity of serum

收稿日期: 2010-03-12

基金项目: 国家科技部“十一五”支撑计划 (2006BAD03B03); 上海市重点学科建设项目 (Y1101); 上海市科委基础重大专项 (06DJ14003); 上海海洋大学水产养殖国家重点学科开放基金 (675016750118)

作者简介: 李小勤 (1973 -), 女, 副教授, 主要从事生物技术与遗传营养学方面的研究。E-mail: xqli@shou.edu.cn

通讯作者: 冷向军, E-mail: xjleng@shou.edu.cn

SOD( superoxide dismutase) was significantly higher than that of control group when supplemental VC was 100 or 200mg/kg diet, and serum AKP( alkaline phosphatase) activity significantly increased when supplemental VC was 200mg/kg diet ( $P < 0.05$ ). There was no effect of supplemental VC in diets on the activity of LSZ( lysozyme) ( $P > 0.05$ ). It is suggested that supplemental VC in diets could improve growth performance, meat quality and serum non-specific immunity indices of grass carp. For adult grass carp, the VC supplement in diet was estimated to be 100 mg · kg<sup>-1</sup> based on growth performance.

**Key words:** Grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*); vitamin C; growth; meat quality; non-specific immunity index

VC 在动物体内具有广泛生理功能,在细胞氧化、胶原蛋白形成、铁离子吸收和转运、调节免疫机能等方面都起着重要作用<sup>[1-2]</sup>。由于鱼类自身不能合成 VC,因而 VC 在鱼类营养中具有特殊地位。草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)是我国重要的养殖经济鱼类,关于草鱼的 VC 营养已有一些报道:体重 1.49 g 草鱼鱼苗对 VC 需求量为 600 mg/kg<sup>[3]</sup>;体重 5.64 g 草鱼鱼种对 VC 需求量为 441 mg/kg(包膜 VC)、560 mg/kg(VC 多聚磷酸酯)<sup>[4]</sup>,而体重 42.4 g 草鱼鱼种的饲料 VC 添加量则为 150 mg/kg<sup>[5]</sup>;饲料高剂量 VC (1217.7 mg/kg)能显著提高草鱼血清补体活性、溶菌酶活性和对病菌抵抗力<sup>[6]</sup>;当 VC 添加量 ≥ 150 mg/kg 时,可显著提高血清碱性磷酸酶活性<sup>[5]</sup>。在肌肉品质方面,相关研究甚少,本实验室研究表明,饲料 VC 添加量大于 50 mg/kg 后,肌肉胶原蛋白含量显著提高,肌肉耐折力和肌纤维直径也有增加趋势<sup>[7]</sup>。

到目前为止,有关草鱼 VC 营养研究中所采用的实验动物均为鱼苗或鱼种,鱼类不同生长阶段对 VC 需要量不同,且肌肉品质与成鱼联系更为紧密,因此,本研究以草鱼成鱼为实验对象,在饲料中添加不同水平 VC,考察对草鱼成鱼生长、肌肉品质及非特异性免疫能力的影响,为 VC 添加剂的合理使用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验用鱼

实验草鱼初始体重(614.9 ± 60.5) g,体质健康,规格一致,购于上海海洋大学特种养殖场。

### 1.2 实验设计与实验饲料

在基础饲料中分别添加 VC 0 mg/kg(对照组)、100 mg/kg、200 mg/kg,共 3 个处理组,每处

理组 3 平行。以 VC 磷酸酯为 VC 源,有效含量 35%。基础饲料配方及主要营养指标见表 1。主要饲料原料粉碎过 40 目筛,混合均匀,以挤压机制成慢沉性颗粒饲料(直径 2 mm),晾干备用。

表 1 基础饲料配方及营养水平(风干基础 %)

Tab.1 Ingredients and nutrition levels of basal diet (air-dry basis %)

成分	含量	营养水平	含量
豆粕	17.45%	水分	10.00%
棉粕	15.00%	粗蛋白	28.05%
菜粕	21.00%	粗脂肪	3.25%
麸皮	19.00%	粗灰分	5.46%
次粉	23.00%	蛋氨酸	0.40%
鱼油	0.75%	赖氨酸	1.28%
豆油	0.75%		
氯化胆碱	0.50%		
维生素预混料*	0.25%		
矿物质预混料*	0.50%		
磷酸二氢钙	1.80%		
合计	100%		

注: \* 表示维生素预混料,矿物质预混料的组成,可参考文献[11]。

### 1.3 饲养管理

养殖实验在上海海洋大学特种养殖场进行,养殖池为水泥池(3.0 m × 2.5 m × 1.2 m),共 9 口,平均水深 0.7 m;每池放鱼 12 尾,共 108 尾。实验开始前用基础饲料驯养草鱼 14 d,以适应环境和实验饲料。实验开始后,每日投喂 2 次: 8:00、17:00,投饲率为鱼体重 2% 左右,并根据生长、摄食情况作调整。养殖池 24 h 不间断充气。养殖期间水温 24 ~ 28℃,pH 7.3 ± 0.5,溶氧 5.1 ~ 7.4 mg/L。养殖时间为 60 d。

### 1.4 测定指标与方法

#### 1.4.1 生长指标与形体指标

养殖结束后,饥饿 24 h,记录每池草鱼尾数、称重,计算增重率、饲料系数、成活率;每池随机

取鱼 3 尾,测量体高、体长、体重,解剖后称内脏重、肝重,计算内脏比、肝重比、体长体高比。

$$R_{WC} = (W_f - W_i) / W_i \times 100\% \quad (1)$$

$$R_{FC} = F_i / (W_f - W_i) \quad (2)$$

$$R_s = N_f / N_i \times 100\% \quad (3)$$

$$I_{VS} = W_v / W_f \times 100\% \quad (4)$$

$$I_H = W_l / W_f \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{体长体高比} = L/H \quad (6)$$

式中:  $R_{WC}$  为增重率(%),  $W_f$  为末重(g),  $W_i$  为初重(g),  $R_{FC}$  为饲料系数,  $F_i$  为采食量(g),  $R_s$  为成活率,  $N_f$  为成活尾数,  $N_i$  为总尾数,  $I_{VS}$  为内脏比(%),  $I_H$  为肝重比,  $W_v$  为内脏重(g),  $W_l$  为肝重(g),  $L$  为体长(cm),  $H$  为体高(cm)。

#### 1.4.2 肌肉品质测定

养殖实验结束后,各池随机取 3 尾鱼,取背鳍下方侧线以上背部肌肉,立即测定肌肉失水率、肌纤维直径;另取部分背肌,  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  冷冻备用,测定肌肉成分、胶原蛋白含量。水分测定采用 105  $^\circ\text{C}$  恒重法(GB6435-86);粗蛋白测定采用凯氏定氮法(GB/T6432-94);粗脂肪测定采用索氏抽提法(GB/T6433-94);胶原蛋白测定采用羟脯氨酸法,参考胡斌等<sup>[5]</sup>方法;肌肉失水率、肌纤维直径测定参考胡斌等<sup>[5]</sup>方法。

#### 1.4.3 免疫指标与肝脏 VC 含量测定

养殖实验结束后,每池随机取 3 尾鱼,尾静脉采血 2 mL,离心(4 000 r/min) 10 min,取血清  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  冷冻保存,测定超氧化物歧化酶(SOD)、碱性磷酸酶(AKP)、溶菌酶(LSZ)活性。SOD 活性测定采用黄嘌呤氧化酶法;LSZ 活性测定采用比浊法;AKP 活性测定采用对硝基苯磷酸盐法;另取 1 g 肝脏,按重量体积比加生理盐水制备成 10% 组织匀浆,以联菲罗啉测定法测定 VC 含量。测试盒均购于南京建成生物技术研究所。

#### 1.5 数据统计

数据以平均值  $\pm$  标准差(mean  $\pm$  SD)表示,试验结果采用 SPSS 11.0 进行单因子方差分析和 LSD 多重比较,差异显著水平设为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 VC 对草鱼成鱼生长性能的影响

从表 2 可见,经 60 d 养殖后,对照组草鱼增重率最低,为 48.5%,而饲料系数最高(2.68)。

饲料中添加 VC 100、200 mg/kg 后,增重率显著提高,饲料系数显著下降( $P < 0.05$ ),VC 添加量 100、200 mg/kg 组草鱼在生长性能上无显著差异( $P > 0.05$ )。各组草鱼在形体指标方面无显著差异( $P > 0.05$ ),成活率均为 100%。此外,在养殖过程中发现,饲料中未添加 VC 组草鱼在养殖后期食欲下降,行动不活跃,体表伤口不易愈合(伤口为锚头蚤寄生所留,后以敌百虫 0.5 mg/L 全池泼洒杀灭)。

表 2 VC 对草鱼成鱼生长性能及形体指标的影响  
Tab.2 Effects of VC on growth performance and body indices of adult grass carp

项目	VC 添加量 (mg/kg)		
	0	100	200
平均尾初重(g)	614.9 $\pm$ 3.1	615.1 $\pm$ 1.5	614.9 $\pm$ 3.3
平均尾末重(g)	913.1 $\pm$ 24.6	945.8 $\pm$ 11.3	959.6 $\pm$ 25.4
增重率(%)	48.5 $\pm$ 2.7 <sup>a</sup>	53.8 $\pm$ 2.2 <sup>b</sup>	56.0 $\pm$ 2.6 <sup>b</sup>
饲料系数	2.68 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	2.20 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	2.11 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>
成活率(%)	100	100	100
体长体高比	4.58 $\pm$ 0.26	4.60 $\pm$ 0.28	4.54 $\pm$ 0.24
内脏比(%)	7.99 $\pm$ 0.91	7.67 $\pm$ 0.77	7.93 $\pm$ 0.76
肝重比(%)	2.21 $\pm$ 0.43	2.12 $\pm$ 0.29	2.03 $\pm$ 0.38

注:同行上标小写字母不同,表示二者之间有显著性差异( $P < 0.05$ ),以下各表同此。

### 2.2 VC 对草鱼成鱼肌肉成分和物理性能指标的影响

从表 3 可见,饲料中添加 VC 对草鱼肌肉水分、粗蛋白、粗脂肪含量的影响不显著( $P > 0.05$ );在胶原蛋白含量方面,VC 添加量 100 mg/kg 组较对照组显著增加( $P < 0.05$ ),而 VC 添加量 200 mg/kg 组又较 100 mg/kg 组进一步增加( $P < 0.05$ )。在肌肉物理性能指标方面,添加 VC 对肌肉失水率无显著影响( $P > 0.05$ );而肌纤维直径随 VC 添加量的增加而增大,当添加量达 200 mg/kg 后,肌纤维直径较对照组显著提高( $P < 0.05$ )。

表 3 VC 对草鱼肌肉成分和物理性能指标的影响  
Tab.3 Effects of VC on muscle composition and physical indices of adult grass carp

项目	VC 添加量 (mg/kg)		
	0	100	200
水分(%)	76.4 $\pm$ 0.5	76.6 $\pm$ 0.6	76.2 $\pm$ 0.4
粗蛋白(%)	82.7 $\pm$ 1.5	83.0 $\pm$ 1.7	82.6 $\pm$ 1.7
粗脂肪(%)	3.87 $\pm$ 0.30	3.89 $\pm$ 0.41	3.82 $\pm$ 0.26
胶原蛋白(%)	0.42 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.68 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>	0.97 $\pm$ 0.076 <sup>c</sup>
失水率(%)	25.03 $\pm$ 1.55	24.31 $\pm$ 2.25	24.63 $\pm$ 1.63
肌纤维直径( $\mu\text{m}$ )	202.5 $\pm$ 9.7 <sup>a</sup>	219.0 $\pm$ 14.0 <sup>ab</sup>	235.4 $\pm$ 7.7 <sup>b</sup>

### 2.3 VC 对草鱼成鱼血清非特异性免疫和肝脏 VC 含量的影响

在血清非特异性免疫指标方面(表4),饲料中添加 VC100 mg/kg,显著提高了血清 SOD 活性( $P < 0.05$ ),VC 添加量 200 mg/kg 组血清 SOD 活性又较 100 mg/kg 组进一步增加( $P < 0.05$ );添加 VC 对草鱼血清 AKP 活性也有提升作用,但对 LSZ 活性影响不显著( $P > 0.05$ )。

从表4可见,草鱼肝脏 VC 含量随 VC 添加量增加而增加。VC 添加量 100 mg/kg 组肝脏 VC 含量较对照组提高了 80.5% ( $P < 0.05$ ),而添加 VC200 mg/kg 组草鱼肝脏 VC 含量又较 100 mg/kg 组增加了 68.9% ( $P < 0.05$ )。

表4 VC 对草鱼血清非特异性免疫指标和肝脏 VC 含量的影响

Tab.4 Effect of VC on serum non-specific immunity index and liver vitamin C content of grass carp

项目	VC 添加量( mg/kg)		
	0	100	200
SOD( U/mL)	87.2 ± 7.9 <sup>a</sup>	118.1 ± 3.4 <sup>b</sup>	152.4 ± 3.1 <sup>c</sup>
LSZ( μg/mL)	2.65 ± 0.08	2.71 ± 0.11	2.81 ± 0.1
AKP( U/100 mL)	3.07 ± 0.23 <sup>a</sup>	3.52 ± 0.31 <sup>a</sup>	4.82 ± 0.33 <sup>b</sup>
肝脏 VC 含量( mg/kg)	303.5 ± 46.4 <sup>a</sup>	547.6 ± 62.1 <sup>b</sup>	924.5 ± 57.6 <sup>c</sup>

## 3 讨论

### 3.1 草鱼的 VC 缺乏症与 VC 需要量

VC 是鱼类维持正常生理功能的必需营养物质。当饲料缺乏 VC 时,草鱼鱼种(5.64 g)表现为体表、肌肉充血,尾鳍糜烂,身体畸形,死亡率高<sup>[4]</sup>,类似症状在体重 1.49 g 草鱼苗中也有报道<sup>[3]</sup>;VC 缺乏症的产生,被认为是胶原蛋白形成不足,结缔组织韧性下降,血管壁通透性和脆性加大所致。本试验中 VC 添加 0 mg/kg 组草鱼未出现典型缺乏症状,但观察到体表伤口不易愈合现象(养殖期间锚头蚤寄生后所留),其原因可能是所用鱼体较大(614.9 g),对 VC 缺乏相对不敏感,也可能与饲料原料含少量 VC 有关。若延长养殖周期,对照组草鱼可能会表现出明显 VC 缺乏症状。

草鱼对 VC 的需要量,受评价指标和生长阶段的影响。以肝脏 VC 蓄积量为标准所确定的草

鱼鱼苗(1.49 g)的 VC 需求量为 600 mg/kg<sup>[3]</sup>,根据血浆和肝脏 VC 水平所确定的草鱼鱼种(5.64 g)VC 需求量为 441 mg/kg(包膜 VC)、560 mg/kg(VC 多聚磷酸酯)<sup>[4]</sup>,根据生长性能和血清非特异免疫确定的草鱼鱼种(42.4 g)的饲料 VC 添加量为 150 mg/kg<sup>[5]</sup>。本试验在饲料中添加 VC 100 mg/kg 后,显著提高了草鱼增重率,降低了饲料系数( $P < 0.05$ ),且与 VC 添加量 200 mg/kg 组无显著差异( $P > 0.05$ ),表明草鱼成鱼饲料中的 VC 添加量应不超过 100 mg/kg。这个数值较前述报道的草鱼鱼苗、鱼种 VC 需要量(或饲料添加量)均低,这符合随鱼体增大,鱼类对营养物质(包括 VC)的需要量下降的一般规律。

### 3.2 VC 对草鱼肌肉品质和血清非特异性免疫的影响

VC 作为脯氨酸羟化酶和赖氨酸羟化酶的辅酶参与胶原蛋白形成,而胶原蛋白是结缔组织、上皮组织的重要成分,其含量与鱼肉结构、柔韧性、强度和肌肉质地密切相关<sup>[8]</sup>。本实验在饲料中添加 100 mg/kg、200 mg/kg VC,显著提高了肌肉胶原蛋白含量,肌纤维直径有随 VC 添加量增加而增加的趋势,这与本实验室在草鱼鱼种的研究<sup>[5]</sup>一致。可以认为,饲料中添加 VC 可提高草鱼肌肉胶原蛋白含量,使肌纤维粗壮,在一定程度上改善肌肉品质。由于本实验 VC 添加的最高水平为 200 mg/kg,更高添加量的影响如何,有待进一步研究。

超氧化物歧化酶(SOD)是鱼类机体内关键的抗氧化酶之一。研究表明,VC 可提高胡子鲶(*Claris fuscus*)<sup>[9]</sup>、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)<sup>[10]</sup>血清 SOD 活性,本实验中,添加 VC 100~200 mg/kg 也显著提高了草鱼血清 SOD 活性,与上述报道一致;但 VC 对中国对虾幼虾 SOD 活性无显著影响<sup>[11]</sup>,而河蟹(*Eriocheir sinensis*)血清 SOD 活性则随饲料 VC 添加量增加而降低<sup>[7]</sup>。在三角帆蚌肌肉注射 VC 后 24 h,血淋巴中 SOD 活性极显著上升,48 h 后则恢复到正常水平<sup>[12]</sup>。可见,VC 对水产动物体内 SOD 活性的影响尚无一致结论,可能与水产动物种类、生理阶段及健康状态有关。

溶菌酶(LZS)是评价非特异性免疫的重要指标。饲料中添加 VC 3 000 mg/kg、762 mg/kg、500

mg/kg、500 mg/kg 能显著提高虹鳟 (*Salmo gaidnerii* Richardson)<sup>[13]</sup>、日本鳗鲡 (*Anguilla japonicus* Temminck et Schlegel)<sup>[14]</sup>、大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*)<sup>[15]</sup>、大口黑鲈<sup>[9]</sup> 血清溶菌酶活性; 在草鱼鱼种饲料中添加 VC 300 mg/kg 也可显著提高血清 LZS 活性 ( $P < 0.05$ ), 但添加 VC 50 ~ 200 mg/kg 则影响不显著<sup>[5]</sup>。本实验中, 添加 VC 200 mg/kg 对血清 LZS 活性没有影响。可能 VC 对血清 LZS 活性的提高只有在高剂量添加时才表现明显, 而低剂量添加的作用效果则不显著。

碱性磷酸酶 (AKP) 是生物体内的一种重要代谢调控酶, 直接参与磷酸基团转移和钙磷代谢。在饲料中分别添加 VC 100 ~ 900 mg/kg, 2 500 ~ 10 000 mg/kg, 牙鲆<sup>[16]</sup>、河蟹<sup>[11]</sup> 血清 AKP 活性随饲料 VC 添加量增加而升高; 在草鱼鱼种实验中, 饲料中添加 VC 150 ~ 300 mg/kg 显著提高了血清 AKP 活性<sup>[5]</sup>。本实验与在草鱼鱼种<sup>[5]</sup> 的报道基本一致, 可见, VC 具有提高血清 AKP 活性的作用。

#### 参考文献:

- [1] 许梓荣. 动物维生素营养 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1998: 62 - 65.
- [2] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学 [M]. 中国农业出版社, 1996: 48 - 53.
- [3] 胡志洲, 黄忠志, 廖朝兴, 等. 草鱼早期生长阶段对维生素 C 需要 [J]. 淡水渔业, 1988, (2): 12 - 14.
- [4] 许国焕, 丁庆秋. 草鱼饲料中几种维生素 C 剂型添加效果的比较研究 [J]. 饲料工业, 2001, (1): 28 - 30.
- [5] 胡斌, 李小勤, 冷向军, 等. 饲料 VC 对草鱼生长、肌肉品质及非特异性免疫的影响 [J]. 中国水产科学, 2008, 15(5): 794 - 800.
- [6] 文华, 严安生, 雍文岳, 等. 饲料维生素 C 水平对草鱼的免疫功能和抵抗细菌感染的影响 [J]. 饲料工业, 2005, (18): 56 - 59.
- [7] 艾春香, 陈立侨, 刘晓玲, 等. 维生素 C 对中华绒螯蟹非特异性免疫的影响 [J]. 水产学报, 2008, 32(2): 249 - 256.
- [8] Sato K, Yoshinaka R, Sato M, *et al.* Collagen content in the muscle of fishes in association with their swimming movement and meat texture [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1986, 52(9): 1595 - 1600.
- [9] 钱沛锋. 维生素 C 对胡子鲶免疫机能、生长性能和抗病力影响的研究 [D]. 华南农业大学, 2004.
- [10] 谢一荣, 吴锐全, 谢骏, 等. 维生素 C 对大口黑鲈生长与非特异性免疫的影响 [J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(4): 249 - 254.
- [11] 宋理平, 黄旭雄, 周洪琪, 等. VC、 $\beta$ -葡聚糖和藻粉对中国对虾幼虾生长、成活率及免疫酶活性的影响 [J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(3): 477 - 481.
- [12] 陈友明, 李家乐, 白志毅. 肌肉注射维生素 C 对三角帆蚌血淋巴抗氧化酶活力的影响 [J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(4): 418 - 422.
- [13] Verlhac V. Influence of dietary glucan and vitamin C on non-specific and specific immune responses of rainbow trout [J]. Aquaculture, 1996, 143: 123 - 133.
- [14] Tongjun R, Shunsuke K, Manabu I, *et al.* Influence of dietary vitamin C and bovine lactoferrin on blood chemistry and non-specific immune responses of Japanese eel, *Anguilla japonica* [J]. Aquaculture, 2007, 267: 31 - 37.
- [15] Ai Q H, Mai K S, Zhang C X, *et al.* Effects of dietary vitamin C on survival, growth, and immunity of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* [J]. Aquaculture, 2006, 261: 327 - 336.
- [16] 张道波, 李爱杰, 王如才. 牙鲆对维生素 C 需求量的研究 [J]. 饲料工业, 2002, 23(5): 37 - 38.