

文章编号: 1674-5566(2013)01-0112-08

维生素 C 对团头鲂幼鱼生长、血液学及肌肉理化指标的影响

万金娟^{1,2}, 刘波^{1,2}, 戈贤平^{1,2}, 谢骏^{1,2}, 崔素丽^{1,2}, 周明²

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏无锡 214081; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏无锡 214081)

摘要: 以酪蛋白和明胶为蛋白源, 豆油为脂肪源配制团头鲂幼鱼基础饲料, 制成维生素 C 水平为 0.2、33.4、65.8、133.7、251.5 mg/kg 和 501.5 mg/kg 的 6 种等氮等能的试验饲料。每种试验饲料随机投喂 3 组实验团头鲂幼鱼, 每天投喂 3 次, 达饱食水平, 试验周期为 90 d。结果表明, 随着饲料中维生素 C 添加量的增加, 增重率(WG)、特定增长率(SGR)呈先上升而后趋于平缓的趋势, 其中 251.5 mg/kg 和 501.5 mg/kg Vc 添加组团头鲂 WG、SGR 显著高于对照组($P < 0.05$)。各组间肝体比(HSI)和肥满度(CF)无显著性差异, 仅 133.7 mg/kg Vc 添加组团头鲂脏体比(VSI)显著高于对照组($P < 0.05$)。与对照组相比, 饲料中添加 65.8~501.5 mg/kg Vc 显著降低了血液中白细胞(WBC)数量; 添加 65.8 mg/kg Vc 显著降低了血清谷草转氨酶(AST)活力, 133.7 mg/kg 和 501.5 mg/kg 试验组显著降低了谷丙转氨酶(ALT)的水平; 添加 501.5 mg/kg Vc 显著提高了团头鲂血清中甘油三酯(TG)的水平; 添加 133.7 mg/kg Vc 显著提高了肌肉中 SOD 活性($P < 0.05$)。饲料中维生素 C 不同添加量对团头鲂幼鱼成活率、血液中红细胞(RBC)数量、血清碱性磷酸酶(ALP)水平、肌肉蒸煮损失等均无显著影响($P > 0.05$)。以鱼体增重率为评价指标, 经折线模型回归分析, 得到团头鲂幼鱼饲料中 Vc 的适宜添加量为 150 mg/kg。

研究亮点: 由于大多数鱼类缺少合成维生素 C 所必需的 L-古洛糖内酯氧化酶, 在体内不能合成维生素 C, 并且鱼类对维生素 C 的缺乏都很敏感, 所以必需从食物中获取。团头鲂为我国主要的淡水养殖品种之一, 经济价值高。迄今未见关于维生素 C 对团头鲂幼鱼生长影响的较为系统的研究。本试验采用单因子梯度饲养试验法对团头鲂幼鱼 Vc 营养需求进行研究, 探讨其对团头鲂生长、血液学以及肌肉理化指标的影响, 以期为研制适合团头鲂幼鱼生长需求的安全环保的饲料添加剂提供参考依据。

关键词: 团头鲂; 维生素 C; 生长; 血液学; 肌肉理化指标
中图分类号: S 963.73
文献标志码: A

维生素 C (Vc) 又名 L-抗坏血酸 (L-ascorbic acid, AA), 在鱼类生长和免疫^[1-4]等方面起重要作用^[5]。但是由于大多数鱼类缺少合成维生素 C 所必需的 L-古洛糖内酯氧化酶, 在体内不能合成维生素 C, 并且鱼类对维生素 C 的缺乏都很敏感, 所以必需从食物中获取^[6]。近年来, 已有很多从代谢、生理功能、免疫学等方面对鱼类维生素 C 营养需求的研究报道^[7-11]。事实上, 无论是在实验条件还是在生产实践中, 影响鱼类维生素 C 需要量的因素很多, 如鱼种、鱼类的生长状况、鱼体

大小、所处的水体环境以及 Vc 剂型等, 因而鱼类对 Vc 的需求量存在较大差异^[12]。

团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*), 又称武昌鱼, 隶属于硬骨鱼纲 (Osteichthyes), 鲤形目 (Cypriniformes), 鲤科 (Cyprinidae), 鲃亚科 (Abramidinae), 鲂属 (*Megalobrama*)。其肉质鲜美、生长快、经济价值高, 为我国主要的淡水养殖品种之一, 2011 年产量超过 60 万吨。相对于鲤、鲫等鱼类, 团头鲂不耐低氧和运输, 因此在养殖生产过程当中经常受到外界不利因素的影响产

收稿日期: 2012-09-07 修回日期: 2012-09-23

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-46); 公益性行业 (农业) 科研专项经费 (201003020); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (2012A0602)

作者简介: 万金娟 (1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产动物营养与免疫。E-mail: wanjinjuan_a@163.com

通信作者: 戈贤平, E-mail: gexp@ffrc.cn

生应激,造成受伤、生病和死亡,影响了团头鲂的生长与繁殖。迄今关于维生素 C 对团头鲂影响的报道很少,只有崔峰等^[13]探讨了饲料中添加不同类型的维生素 C 对团头鲂幼鱼生长的影响,但其养殖周期只有 25 d,平均增重率只有 38%,且只是单纯地从生长的角度展开研究,所以此研究对实际生产容易产生误导;同时关于维生素 C 对团头鲂幼鱼血液学和肌肉理化指标方面的影响还未见报道。鉴于此,本试验采用单因子梯度饲养试验法对团头鲂幼鱼维生素 C 营养需求进行研究,探讨其对团头鲂生长、血液学以及肌肉理化指标的影响,以期为研制适合团头鲂幼鱼生长需求的安全环保的饲料添加剂提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验鱼种、添加剂及日粮

团头鲂幼鱼由中国水产科学研究院淡水渔业研究中心试验场提供。试验选择体质健壮,规格和重量基本一致的团头鲂鱼种,初始体重(6.40±0.05)g,随机分为 6 组,分别为对照组(F0)及试验组(F1、F2、F3、F4、F5),每组设 3 个重复,放入 18 个可控温循环流水圆形蓄养槽(直径 820 mm、高 700 mm)内进行养殖,每个蓄养槽放养 25 尾。

以酪蛋白和明胶为蛋白源,豆油为脂肪源,设计了 6 组等氮等能的饲料,维生素 C 的添加水平分别为:0,30,60,120,240 和 480 mg/kg 饲料。基础日粮组成及主要营养成分见表 1(干物质基础)。饲料中不同的维生素 C 水平是通过在饲料中添加不同剂量的包膜维生素 C(95%,罗氏公司),制作后测定各组饲料中维生素 C 实际含量分别为:0.2,33.4,65.8,133.7,251.5 和 501.5 mg/kg 饲料。各种原料分别充分混匀后,用平模式颗粒饲料机制成粒径 1.0 mm 的沉性颗粒饲料,50℃烘干后于 4℃冰柜中保存备用。

1.2 饲养管理

团头鲂在养殖桶驯化 22 d 后正式开始投喂试验日粮。每天投喂 3 次,在早上 8:00-9:00 投喂适量,中午 11:00-12:00、下午 15:00-16:00 各再投喂一次。日投饵量为鱼体重 2%~4%,并根据摄食和生长情况作适当调整,以每次投饲后无残饵为宜。饲养期间水温 27.5℃左右,pH 为 7.2~7.8,溶解氧>5 mg/L,氨氮<0.01 mg/L,

硫化氢<0.01 mg/L。减少人为干扰,保持安静,防止额外应激,每日观察鱼摄食及死亡情况,发现死鱼及时捞出称重记数,并检查死亡原因。正式养殖 90 d 后结束,测量鱼体长、称重和采样等。

表 1 基础饲料配方及营养水平
Tab. 1 Formulation and nutrition levels of basal diet

basal diet		%	
原料	含量	营养成分	含量
酪蛋白(不含 Vc)	27.50	粗蛋白	32.12
明胶	6.50	粗脂肪	6.68
磷酸二氢钙	2.75	无氮浸出物 ³	37.91
豆油	6.00	总能(kJ/g) ⁴	16.74
大豆磷脂	1.00	赖氨酸	2.26
氯化胆碱(50%)	0.15	蛋氨酸	0.79
维生素预混料 ¹ (不含 Vc)	0.50		
矿物质预混料 ²	0.50		
糊精	10.00		
α-淀粉	25.00		
微晶纤维素	9.05		
羧甲基纤维素	11.00		
乙氧基喹啉	0.05		
合计	100.00		

注:1. 维生素预混料:维生素 A,900 000 IU;维生素 D,250 000 IU;维生素 E,4 500 mg;维生素 K₃,220 mg;维生素 B₁,320 mg;维生素 B₂,1 090 mg;维生素 B₆,5 000 mg;维生素 B₁₂,116 mg;生物素,50 mg;泛酸盐,1 000 mg;叶酸,165 mg;胆碱,60 000 mg;肌醇,15 000 mg;烟酸,2 500 mg;2. 矿物添加剂(每千克添加量):CuSO₄·5H₂O,2.5 g;FeSO₄·7H₂O,28 g;ZnSO₄·7H₂O,22 g;MnSO₄·4H₂O,9 g;Na₂SeO₃,0.045 g;KI,0.026 g;CoCl₂·6H₂O,0.1 g;3. 无氮浸出物(%)=100%-(水分+粗蛋白 CP+粗脂肪 EE+粗纤维 CF+粗灰分 Ash)%;4. 总能(kJ/g)=23.64 粗蛋白+39.54 粗脂肪+17.15 糖类。

1.3 采样与处理

饲养试验结束后,禁食 24 h,每槽随机选取 3 尾,每组 9 尾团头鲂,用浓度为 150 mg/L 的 MS-222 作快速深度麻醉,用一次性医用注射器从尾静脉采血。每尾鱼的血液分为两份,其中一份置于抗凝管中制备全血,供血细胞测定;将另一份血液于 4℃条件下 10 000 r/min 离心 5 min 制备血清,-20℃冻存备用。采血后称重和量体长,立即剖开腹部,剥离出内脏和肝胰脏并称重。同时采取新鲜背肌。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 生长与形体指标

分别按下式计算增重率(weight gain, WG)、特定生长率(specific growth rate, SGR)、饵料系数(feed conversion ratio, FCR)、成活率(survival

rate, S)、肝体比 (hepatosomatic index, HSI)、脏体比 (viscerosomatic index, VSI)、肥满度 (condition factor, CF) :

$$W_G = 100 \times (W_t - W_0) / W_0 \quad (1)$$

$$S_{CR} = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t \quad (2)$$

$$F_{CR} = F_1 / (W_t - W_0) \quad (3)$$

$$S = 100 \times N_t / N_0 \quad (4)$$

$$H_{SI} = 100 \times W_h / W_b \quad (5)$$

$$V_{SI} = 100 \times W_v / W_b \quad (6)$$

$$C_F = 100 \times W_b / L_3 \quad (7)$$

式中: W_G 为增重率; S_{CR} 为特定生长率; F_{CR} 为饵料系数; S 为成活率 (%); H_{SI} 为肝体比 (%); V_{SI} 为脏体比 (%); C_F 为肥满度 (%); W_0 为鱼初体均重; W_t 为鱼末体均重; t 为饲喂天数; F_1 为每尾鱼平均摄食饲料总量 (风干样重); N_t 为收获尾数; N_0 为放养尾数; W_h 为每尾鱼末肝脏重; W_v 为每尾鱼末内脏重; W_b 为每尾鱼末体重; L 为每尾鱼末体长。

1.4.2 血液常规参数的测定

白细胞 (WBC)、红细胞 (RBC)、血红蛋白 (HGB)、和血栓细胞 (PLT) 等在深圳迈瑞 BC-5300 全自动五分类血液细胞分析仪上测定, 试剂盒均购自深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司。

1.4.3 血液生化指标的测定

谷丙转氨酶 (ALT)、谷草转氨酶 (AST)、碱性磷酸酶 (ALP)、血糖 (Glu)、胆固醇 (TC) 和甘油三酯 (TG) 等在深圳迈瑞 BS-400 全自动生化分析仪上测定, 试剂盒均购自深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司。

1.4.4 肌肉相关指标的测定

肌肉滴水损失 (drip loss, DL) 测定: 取同侧新鲜背肌用吸水纸吸干背肌上的水分和血渍, 称重, 放于离心管中 (离心管底部垫有适量吸水纸), 于 4 °C 4 000 r/min 离心 20 min, 取出肉样, 用吸水纸吸干肌肉表面的水分, 称重。

$$D_L = 100 \times (W_0 - W_1) / W_0 \quad (8)$$

式中: D_L 为滴水损失 (%); W_0 为离心前肌肉的质量; W_1 为离心后肌肉的质量。

肌肉蒸煮损失 (cooking loss, CL) 测定: 取同侧新鲜背肌用吸水纸吸干背肌上的水分和血渍,

称重, 装入密封袋中, 于 70 °C 下隔水蒸煮 15 min, 取出肉样冷却, 用吸水纸吸干肌肉表面的水分, 称重。

$$C_L = 100 \times (W_0 - W_1) / W_0 \quad (9)$$

式中: C_L 为蒸煮损失 (%); W_0 为蒸煮前肌肉的质量; W_1 为蒸煮后肌肉的质量。

丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 含量和超氧化物歧化酶 (Superoxide dismutase, SOD) 活性测定采用南京建成生物工程研究所的试剂盒进行, 具体测定方法参照试剂盒说明书。

1.4.5 饲料中维生素 C 的测定

每组饲料分别称取 2 g 并粉碎, 每组 5 个重复。饲料与匀浆介质 (pH 7.4) 按 1:9 (W:V) 的比例冰浴匀浆, 然后 4 °C 10 000 r/min 离心 20 min, 取上清液用于分析。抗坏血酸 (维生素 C) 测定试剂盒购自南京建成生物工程研究所, 具体测定方法参照试剂盒说明书。

1.5 数据统计与分析

实验数据用 SPSS 16.0 统计软件包中的单因素方差分析 (One-way ANOVA) 和 Duncan 氏多重比较, 检验各组间的差异, 不同的小写字母表示各组之间比较差异显著 ($P < 0.05$)。所有的结果均以平均值 \pm 标准误 (Mean \pm SE) 表示。

2 结果与分析

2.1 维生素 C 对团头鲂幼鱼生长的影响

从表 2 可见, 随着饲料中维生素 C 添加量的增加, 增重率和特定生长率呈先上升而后趋于平缓的趋势, 其中 251.5 mg/kg 和 501.5 mg/kg Vc 添加组团头鲂增重率、特定生长率显著高于对照组 ($P < 0.05$); 饵料系数呈先减小而后趋于平缓的趋势, 其中 251.5 mg/kg 和 501.5 mg/kg Vc 添加组团头鲂饵料系数显著低于对照组 ($P < 0.05$)。各组间成活率、肝体比和肥满度无显著性差异, 仅 133.7 mg/kg Vc 添加组团头鲂脏体比显著高于对照组 ($P < 0.05$)。以鱼体增重率为评价指标, 经折线模型 (Broken line model) 回归分析, 得到团头鲂幼鱼饲料中 Vc 的适宜添加量为 150 mg/kg (图 1)。

表 2 日粮中添加不同水平的 Vc 对团头鲂幼鱼生长性能指标的影响
Tab.2 Effect of various levels of Vc on growth performance of juvenile

Wuchang bream (<i>Megalobrama amblycephala</i>) (Mean ± SE, n=9)									
Vc 添加量 / (mg/kg)	初始体重 /g	终末重量 /g	增重率 /%	特定增长率 /%/d	饵料系数	成活率 /%	肝体比 /%	脏体比 /%	肥满度 /%
0.2	6.36 ± 0.06	17.85 ± 0.62	180.15 ± 7.73 ^a	1.14 ± 0.02 ^a	2.57 ± 0.25 ^a	90.67 ± 4.8	1.03 ± 0.10	10.65 ± 0.20 ^{ac}	1.94 ± 0.02
33.4	6.38 ± 0.06	17.93 ± 1.06	180.83 ± 1.40 ^a	1.14 ± 0.02 ^a	2.56 ± 0.25 ^a	94.67 ± 3.5	1.14 ± 0.08	10.24 ± 1.21 ^c	2.01 ± 0.02
65.8	6.38 ± 0.03	18.18 ± 1.01	184.76 ± 7.52 ^{ab}	1.16 ± 0.01 ^{ab}	2.50 ± 0.21 ^{ab}	97.33 ± 1.3	1.29 ± 0.12	12.20 ± 0.13 ^a	1.90 ± 0.03
133.7	6.33 ± 0.05	18.74 ± 0.51	193.88 ± 7.60 ^{ab}	1.20 ± 0.01 ^{ab}	2.37 ± 0.12 ^{ab}	98.67 ± 1.3	1.15 ± 0.12	12.39 ± 0.18 ^b	2.03 ± 0.04
251.5	6.48 ± 0.06	19.33 ± 0.15	198.38 ± 4.71 ^b	1.22 ± 0.01 ^b	2.26 ± 0.03 ^b	97.33 ± 1.3	1.07 ± 0.76	11.70 ± 0.48 ^{abc}	1.89 ± 0.03
501.5	6.42 ± 0.04	19.45 ± 0.13	203.13 ± 2.19 ^b	1.23 ± 0.01 ^b	2.23 ± 0.03 ^b	97.33 ± 1.3	1.11 ± 0.13	11.37 ± 0.28 ^{abc}	1.94 ± 0.05

注:同一列数据中有不同上标英文字母表示有显著差异 ($P < 0.05$)。

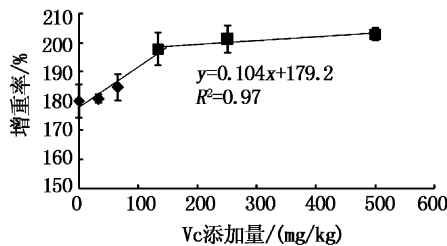


图 1 饲料中 Vc 添加量对团头鲂幼鱼增重率的影响

Fig.1 Effects of various levels of Vc on WG of juvenile *M. amblycephala*

表 3 日粮中添加不同水平的 Vc 对团头鲂幼鱼血细胞的影响

Tab.3 Effects of various levels of Vc on blood cell of juvenile *M. amblycephala* (Mean ± SE, n=9)

Vc 添加量 / (mg/kg)	白细胞 / (10^9 个/L)	红细胞 / (10^{12} 个/L)	血红蛋白 / (g/L)	血栓细胞 / (10^9 个/L)
0.2	156.42 ± 5.45 ^a	1.44 ± 0.08	72.33 ± 5.78	60.33 ± 13.57
33.4	146.58 ± 6.85 ^{ab}	1.36 ± 0.09	60.67 ± 6.67	54.33 ± 4.18
65.8	136.37 ± 5.07 ^{bc}	1.46 ± 0.06	66.67 ± 3.28	66.33 ± 6.06
133.7	128.76 ± 5.62 ^c	1.25 ± 0.08	57.33 ± 3.84	52.67 ± 7.84
251.5	131.74 ± 5.54 ^{bc}	1.34 ± 0.06	60.67 ± 2.96	52.33 ± 10.10
501.5	139.13 ± 4.77 ^{bc}	1.41 ± 0.08	67.67 ± 4.05	82.67 ± 29.33

注:同一列数据中有不同上标英文字母表示有显著差异 ($P < 0.05$)。

2.3 维生素 C 对团头鲂幼鱼血液生化指标的影响

由表 4 可知,与对照组相比,65.8 mg/kg 试验组血清谷草转氨酶 (AST) 活性显著降低了 33.03%;133.7 mg/kg 和 501.5 mg/kg 试验组谷

2.2 维生素 C 对团头鲂幼鱼血液常规参数的影响

由表 3 可知,65.8 ~ 501.5 mg/kg 试验组血液中白细胞 (WBC) 数量较对照组分别显著降低了 12.8%、17.7%、15.8%、11.1% ($P < 0.05$);而各组间红细胞 (RBC)、血红蛋白 (HGB) 和血栓细胞 (PLT) 数量差异不显著 ($P > 0.05$)。

丙转氨酶 (ALT) 的含量分别显著降低了 22.84%、18.53%;501.5 mg/kg 试验组甘油三酯 (TG) 的水平显著提高了 43.75% ($P < 0.05$)。饲料中添加维生素 C 对血清血糖 (GLU) 和胆固醇 (TC) 含量均无显著影响 ($P > 0.05$)。

表 4 日粮中添加不同水平的 Vc 对团头鲂幼鱼血清生理生化指标的影响

Tab.4 Effects of various levels of Vc on serum physiology and biochemical indices of juvenile *M. amblycephala*

(Mean ± SE, n=9)

Vc 添加量 / (mg/kg)	谷草转氨 / (U/L)	谷丙转氨酶 / (U/L)	血糖 / (mmol/L)	胆固醇 / (mmol/L)	甘油三酯 / (mmol/L)
0.2	145.96 ± 11.58 ^a	6.96 ± 0.47 ^a	40.80 ± 3.29	3.33 ± 0.27	0.32 ± 0.03 ^a
33.4	121.12 ± 17.54 ^{ab}	5.80 ± 0.50 ^{ab}	49.33 ± 7.40	3.65 ± 0.53	0.38 ± 0.01 ^a
65.8	97.75 ± 5.75 ^b	6.02 ± 0.07 ^{ab}	42.85 ± 4.56	3.55 ± 0.47	0.41 ± 0.03 ^a
133.7	125.48 ± 17.40 ^{ab}	5.37 ± 0.37 ^b	44.41 ± 6.15	3.03 ± 0.18	0.42 ± 0.02 ^a
251.5	126.18 ± 9.39 ^{ab}	6.08 ± 0.46 ^{ab}	39.28 ± 6.39	3.91 ± 0.04	0.41 ± 0.03 ^a
501.5	150.33 ± 11.61 ^a	5.67 ± 0.45 ^b	36.25 ± 4.15	3.89 ± 0.11	0.46 ± 0.02 ^b

注:同一列数据中有不同上标英文字母表示有显著差异 ($P < 0.05$)。

2.4 维生素 C 对团头鲂幼鱼肌肉相关指标的影响

从表 5 可以看出,随饲料中维生素 C 添加量的增大,超氧化物歧化酶(SOD)活性呈先增大后降低趋势,在添加量为 133.7 mg/kg 时达到最高。

与对照组相比,133.7 mg/kg 试验组 SOD 活性显著增大了 13.37% ($P < 0.05$)。各组肌肉滴水损失(DL)、蒸煮损失(CL)和丙二醛(MDA)差异不显著($P > 0.05$)。

表 5 日粮中添加不同水平的 Vc 对团头鲂幼鱼肌肉理化指标的影响
Tab.5 Effect of various levels of Vc on muscle physiochemical indexes of juvenile

Wuchang bream (<i>Megalobrama amblycephala</i>)					(Mean ± SE, n=9)
Vc 添加量/ (mg/kg)	滴水损失/%	蒸煮损失/%	丙二醛/ (nmol/mg)	超氧化物歧化酶/ (U/ mg)	
0.2	21.73 ± 0.39	22.70 ± 5.83	6.15 ± 0.55	13.61 ± 0.65 ^a	
33.4	16.42 ± 0.37	21.40 ± 2.72	5.94 ± 0.18	13.79 ± 0.28 ^{ab}	
65.8	19.72 ± 1.67	21.52 ± 2.29	5.83 ± 0.55	15.14 ± 1.10 ^{ab}	
133.7	19.25 ± 1.51	22.68 ± 0.56	5.87 ± 0.49	15.43 ± 0.43 ^b	
251.5	18.54 ± 1.98	19.64 ± 1.25	5.65 ± 0.66	15.09 ± 0.16 ^{ab}	
501.5	20.41 ± 1.38	17.97 ± 1.53	5.72 ± 0.43	15.21 ± 0.13 ^{ab}	

注:同一列数据中有不同上标英文字母表示有显著差异 ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 维生素 C 对团头鲂幼鱼生长性能的影响

维生素 C 是鱼类正常生长所必需的,在饵料中添加适量的维生素 C 对其生长是有促进作用的^[14],但其作用的效果与鱼类本身情况、其生长环境和维生素 C 剂型等都有关系^[7]。需要说明的一点是,本次试验所使用的是平模式颗粒饲料机,加工过程中营养损失少;且试验维生素 C 源采用的是包膜维生素 C,其稳定性高,所以饲料中维生素 C 未产生较大破坏。本实验中,随着饲料中维生素 C 添加量的增加,增重率和特定生长率呈先上升而后趋于平缓的趋势,其中 251.5 mg/kg 和 501.5 mg/kg Vc 添加组团头鲂增重率、特定生长率显著高于对照组 ($P < 0.05$);饵料系数呈先减小而后趋于平缓的趋势,其中 251.5 mg/kg 和 501.5 mg/kg Vc 添加组团头鲂饵料系数显著低于对照组 ($P < 0.05$)。相似的现象在其他鱼类的研究中也报道^[15-17]。各组间成活率、肝体比和肥满度无显著性差异,仅 133.7 mg/kg Vc 添加组团头鲂脏体比显著高于对照组 ($P < 0.05$)。这与胡斌等^[18]、李小勤等^[19]在饲料中添加维生素 C 对草鱼形态学指标无显著性影响一致。本试验中未观察到维生素 C 缺乏症诸如脊椎弯曲、鳍条糜烂、体表充血等症状。以鱼体增重率为评价指标,经折线模型(Broken line model)回归分析,得到团头鲂幼鱼饲料中 Vc 的适宜添加量为

150 mg/kg,这与李小勤等^[19]报道的草鱼成鱼的适宜维生素添加量为 100 mg/kg 略小,可能与幼鱼期机体维生素 C 沉积量小,对营养物质的需求量大有关。

3.2 维生素 C 对团头鲂幼鱼血液相关参数的影响

鱼类血液与机体的代谢、营养状况以及疾病等有着密切的关系,血液成分对自身生理状态变化和外界环境因子的刺激十分敏感,通过其血液学指标的检查,可以初步了解鱼类的健康状况及其生活水域环境的质量;因此,血液成份的变化被广泛地用来评价鱼类的健康状况、营养状况以及对环境的适应状况,是重要的生理、病理和毒理学指标^[20-22]。

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^[23]。表 3 显示,红细胞数目和血红蛋白含量各组间无显著差异 ($P > 0.05$),表明饲料中缺乏维生素 C,并未引起鱼贫血现象的产生,这与 CHHORN 等^[24]、刘海燕等^[25]研究表明日粮中维生素 C 可增加血液中的红细胞数量、血红蛋白结果不一致。这可能与鱼种不同有关,有待进一步研究。白细胞机体防御系统的一个重要组成部分,具有吞噬异物并产生抗体的作用,抗御病原体入侵的能力;其数目受很多因素的影响,比如温度上升、运动等,特别是机体发生炎症时,会呈现白细胞增多症^[26-27]。本实验中对对照组白细胞数目显著增高 ($P < 0.05$),表明日粮中添加维生

素 C 可以降低血液白细胞的含量,一定程度上增强鱼体的抗病力。

血液谷草转氨酶、谷丙转氨酶活性在氨基酸代谢及蛋白质、脂肪、糖类转化的过程中起重要作用,一般认为,谷草转氨酶活性增加,说明心脏或肌肉组织发生障碍;而谷丙转氨酶活性增加,说明肝脏发生障碍^[28]。REN 等^[29]研究表明日粮中添加 762 mg/kg 的维生素 C 试验组较 32 mg/kg 试验组能显著降低日本鳗鲡血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性,与本试验结果相似,表明日粮中添加维生素 C 在一定程度上可以防止肝损伤,促进鱼体健康生长。葡萄糖是主要的功能物质;胆固醇则是细胞膜的重要组成部分之一,是类固醇激素合成的重要原料;甘油三酯则是储能作用^[30]。本实验各组鱼的血糖水平均无显著差异($P > 0.05$)。这与 AFFONSO 等^[31]、MISRA 等^[32]在饲料中添加维生素 C 对亚马逊脂鲤、南亚黑鲩血糖水平无影响的报道一致。MCRAE^[33]报道高剂量维生素 C (500 mg/d) 能降低高血脂症患者血清甘油三酯和胆固醇的含量。但本实验中:501.5 mg/kg 试验组显著提高了血清中甘油三酯(TG)的水平($P < 0.05$),但对胆固醇的影响不显著($P > 0.05$),其原因还有待于进一步研究。

3.3 维生素 C 对团头鲂幼鱼肌肉理化指标的影响

肌肉滴水损失是反映肌肉一定时间内其水分的流失情况;蒸煮损失是指肌肉受热后,其组成成分发生一系列物化反应所产生的损失,二者都是衡量肌肉蛋白质保持水分的能力,直接影响肉的风味、质地和营养成分等食用品质^[34-35]。胡斌^[18]等报道饲料中添加维生素 C 对草鱼肌肉失水率无显著性影响,与本试验结果一致。超氧化物歧化酶(SOD)和丙二醛(MDA)可作为反应肌肉抗氧化能力和脂质过氧化程度的重要指标^[36]。王秀英^[37]发现随着饵料中维生素 C 水平的提高,肌肉中 SOD 的活力相应提高,且有维生素 C 添加组 SOD 活力显著高于对照组($P < 0.05$);肌肉中 MDA 含量随饵料中维生素 C 水平的提高呈现一定的下降趋势,但各组间无显著性差异($P > 0.05$);这与本试验结果一致。其中 133.7 mg/kg 试验组显著增加了 SOD 活性,说明维生素 C 能提高团头鲂幼鱼肉质的抗氧化能力。

综上所述,在本试验条件下,饲料中添加维

生素 C 有利于团头鲂幼鱼的生长,并在维持机体正常新陈代谢和提高抗氧化能力上发挥重要作用。以鱼体增重率为评价指标,经折线模型回归分析,得到团头鲂幼鱼饲料中 Vc 的适宜水平为 150 mg/kg;同时试验结果表明,在此维生素 C 水平下,团头鲂幼鱼能较好地进行新陈代谢等机能,故初步认为团头鲂幼鱼饲料中 Vc 的适宜含量为 150 mg/kg。

参考文献:

- [1] ROBERTS M L, DAVIES S J, PULSFORD A L. The influence of ascorbic acid (vitamin C) on non-specific immunity in the turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 1995, 5: 27-38.
- [2] ANBARASU K, CHANDRAN M R. Effects of ascorbic acid on the immune response of the catfish, *Mystus gulio* (Hamilton), to different bacterins of *Aeromonas hydrophila* [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2001, 11: 347-355.
- [3] ORTUNO J, CUESTA A, EATEBAN A, et al. Effect of oral administration of high vitamin C and E dosages on the gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) innate Immune System [J]. *Veterinary immunology and immunopathology*, 2001, 79: 167-180.
- [4] AI Q H, MAI K S, ZHANG C X, et al. Effects of dietary vitamin C on growth and immune response of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* [J]. *Aquaculture*, 2004, 242: 489-500.
- [5] LIN M F, SHIAU S Y. Dietary L-ascorbic acid affects growth, nonspecific immune responses and disease resistance in juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus* [J]. *Aquaculture*, 2005, 244: 215-221.
- [6] FRACALOSSO D M, ALLEN M E, YUYAMA L K, et al. Ascorbic acid biosynthesis in Amazonian fishes [J]. *Aquaculture*, 2001, 192: 321-332.
- [7] BAXMANN A C, MENDONCA C O G, HEILBERG I P. Effect of vitamin C supplements on urinary oxalate and pH in calcium stone-forming patients [J]. *Kidney International*, 2003, 63: 1066-1071.
- [8] SARMA K, PAL A K, SAHU N P, et al. Dietary high protein and vitamin C mitigates endosulfan toxicity in the spotted murrel, *Channa punctatus* (Bloch, 1793) [J]. *Science of the Environment*, 2009, 407: 3668-3673.
- [9] NAYAK S K, SWAIN P, MUKHERJEE S C. Effect of dietary supplementation of probiotic and vitamin C on the immune response of Indian major carp, *Labeo rohita* (Ham.) [J]. *Fish and Shellfish Immunology*, 2007, 23: 892-896.
- [10] BAE J Y, PARK G H, YOO K Y, et al. Re-evaluation of the optimum dietary vitamin C requirement in juvenile eel, *Anguilla japonica* by using L-Ascorbyl-2-monophosphate [J]. *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 2012, 25(1):

- 98 - 103.
- [11] SOBHANA K S, MOHAN C V, SHANKAR K M. Effect of dietary vitamin C on the disease susceptibility and inflammatory response of mrigal, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton) to experimental infection of *Aeromonas hydrophila* [J]. *Aquaculture*, 2002, 207: 225 - 238.
- [12] AI Q H, MAI K S, TAN B P, et al. Effects of dietary vitamin C on survival, growth, and immunity of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* [J]. *Aquaculture*, 2006, 261: 327 - 336.
- [13] 崔峰, 王松, 鲍方印, 等. 饲料中添加不同类型 Vc 对团头鲂幼鱼生长的影响[J]. 安徽技术师范学院学报, 2002, 16(4): 7 - 9.
- [14] AL-AMOUDI M M, EL-NAKKADI A M N, EL-NOUMAN B M, et al. Evaluation of optimum dietary requirement of vitamin C for the growth of *Oreochromis spilurus* fingerlings in water from the Red [J]. *Aquaculture*, 1992, 242: 489 - 500.
- [15] ZHOU Q C, WANG L G, WANG H L, et al. Effect of dietary vitamin C on the growth performance and innate immunity of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2012, 32: 969 - 975.
- [16] LIN M F, SHIAU S Y. Dietary L-ascorbic acid affects growth, nonspecific immune responses and disease resistance in juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus* [J]. *Aquaculture*, 2005, 244: 215 - 221.
- [17] WANG X J, KIN K W, BAI S C, et al. Effects of the different levels of dietary vitamin C on growth and tissue ascorbic acid changes in parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*) [J]. *Aquaculture*, 2003, 215: 203 - 221.
- [18] 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.
- [19] 李小勤, 胡斌, 冷向军, 等. VC 对草鱼成鱼生长、肌肉品质及血清非特异性免疫的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(6): 787 - 791.
- [20] 明建华, 谢骏, 徐跑, 等. 大黄素、维生素 C 及其配伍对团头鲂生长、生理生化指标、抗病原感染以及两种 HSP70s mRNA 表达的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(9): 1447 - 1459.
- [21] 周玉, 郭文场, 杨振国, 等. 鱼类血液学指标研究的进展[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(2): 163 - 165.
- [22] 何福林, 向建国, 李常健, 等. 水温对虹鳟血液学指标影响的初步研究[J]. 水生生物学报, 2007, 31(3): 363 - 369.
- [23] 段培昌, 张利民, 王际英, 等. 新型蛋白原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[J]. 水产学报, 2009, 33(5): 797 - 804.
- [24] CHHORN L, PHILLIP H K, MENG H L, et al. 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 [J]. *Aquaculture*, 2000, 185: 313 - 327.
- [25] 刘海燕, 雷武, 朱晓鸣, 等. 饲料中不同维生素 C 含量对长吻鮠的影响[J]. 水生生物学报, 2009, 33(4): 682 - 689.
- [26] 苏时萍, 李延璐. 假单胞菌对鳊鱼血液的影响[J]. 生物学杂志, 2007, 24(3): 36 - 38.
- [27] 杨秀萍. 动物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [28] 韩京城, 刘国勇, 梅朋森, 等. 温度对鲫血液生化指标和消化酶的影响[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(1): 87 - 92.
- [29] REN T J, KOSHIO S, ISHIKAWA M, 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.
- [30] 常玉梅, 匡友谊, 曹鼎臣, 等. 低温应激对鲤血液学和血清生化指标的影响[J]. 水产学报, 2006, 30(5): 701 - 706.
- [31] AFFONSO E G, SILVA E C, TAVARES-DIAS M, et al. Effect of high levels of dietary vitamin C on the blood responses of matrinx (*Brycon amazonicus*) [J]. *Comparative Biochemistry Physiology A*, 2007, 147(2): 383 - 388.
- [32] MISRA C K, DAS B K, MUKHERIEE S C, et al. Effects of dietary vitamin C on immunity, growth and survival of Indian major carp *Labeo rohita*, fingerlings [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2007, 13: 35 - 44.
- [33] MCRAE M P. Vitamin C supplementation lowers serum low-density lipoprotein cholesterol and triglycerides; a meta-analysis of 13 randomized controlled trials [J]. *Journal of Chiropractic Medicine*, 2008, 7(2): 48 - 58.
- [34] 于辉, 李华, 刘为民, 等. 梁子湖三种鲌肉质分析[J]. 水生生物学报, 2005, 29(5): 502 - 506.
- [35] 黄钧, 杨淞, 覃志彪, 等. 云斑鲮、泥鳅和瓦氏黄颡鱼的含肉率及营养价值比较研究[J]. 水生生物学报, 2010, 34(5): 990 - 997.
- [36] 王好, 庄平, 章龙珍, 等. 盐度对点篮子鱼的存活、生存及抗氧化防御系统的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(1): 66 - 73.
- [37] 王秀英. 饵料维生素 C 对黑鲷仔鱼生长和体组织生化指标的影响[D]. 浙江: 浙江大学, 2004.

Effects of dietary vitamin C on growth performance, hematology and muscle physiochemical indexes of juvenile Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*)

WAN Jin-juan^{1,2}, LIU Bo^{1,2}, GE Xian-ping^{1,2}, XIE Jun^{1,2}, CUI Su-li^{1,2}, ZHOU Ming²

(1. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, Jiangsu, China; 2. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, Jiangsu, China)

Abstract: A 90-days feeding trial was conducted to estimate the adequate dietary vitamin C (Vc) requirement of juvenile Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) and its effect on growth, hematology and muscle physiochemical indexes. 450 healthy fish were selected and randomly divided into six groups for which Vc were supplemented at 0.2, 33.4, 65.8, 133.7, 251.5 and 501.5 mg/kg diet. After 90 days feeding, the growth performance, hematology and muscle physiochemical indexes were investigated. The results showed that the weight gains (WG) and specific growth rate (SGR) had an increasing trend with the increase of dietary vitamin C, the fish in 251.5 mg/kg and 501.5 mg/kg Vc group had significantly higher SGR than in the control group ($P < 0.05$); while the feed coefficient reduced with increasing of dietary Vc, but no significant differences were observed among dietary treatments ($P > 0.05$). The fish body indices were not significantly different among groups, except the viscerosomatic index in fish with 133.7 mg/kg Vc was significantly higher than that of the control group ($P < 0.05$). Compared with the control, the contents of total leukocytes in fish with 65.8 – 501.5 mg/kg Vc, serum glutamic-oxaloacetic transaminase in fish with 65.8 mg/kg Vc and serum glutamic-pyruvic transaminase in fish with 133.7 mg/kg and 501.5 mg/kg Vc were significantly reduced ($P < 0.05$). The contents of serum triglycerides in fish with 501.5 mg/kg Vc, superoxide dismutase activities in the muscle in fish with 133.7 mg/kg Vc were significantly improved ($P < 0.05$). Other indices, such as survival rate, erythrocyte, hemoglobin, platelets, albumin and cooking loss of muscle were not significantly different among groups ($P > 0.05$). Based on broken-line model analyses in this study, the minimum dietary vitamin C level is 150 mg/kg to get optimal WG.

Key words: Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*); vitamin C; growth performance; hematology; physiochemical indexes