

维生素 C 对点带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*) 生长及组织中维生素 C 积累量的影响*

周歧存¹⁾ 刘永坚¹⁾ 麦康森²⁾ 田丽霞³⁾

(中山大学生命科学院 广州 510275; 湛江海洋大学水产学院 湛江 524025)

¹⁾(中山大学生命科学院 广州 510275)

²⁾(中山大学生命科学院 广州 510275; 中国海洋大学水产学院 青岛 266003)

提要 采用单因素实验设计方法,进行了饲料中添加维生素 C 对点带石斑鱼生长和组织中维生素 C 积累量影响的研究,设计了 6 个不同维生素 C 水平(0、35、70、140、280、700mg/kg)的等氮等能饲料,对石斑鱼幼鱼进行为期 8 周的生长实验,每个水平三个重复,每个养殖单元放养初始体重为 10g 左右的点带石斑鱼幼鱼 20 尾。饲养实验在海水网箱(1.5m×1m×2.0m)中进行。结果表明,饲料中未添加维生素 C 组的增重率、特定生长率以及存活率显著低于维生素 C 添加组,饲料中添加维生素 C 的浓度为 70mg/kg 组的增重率和特定生长率最高。对鱼体生物学指标的分析表明,饲料中添加维生素 C 并不影响鱼体的肥满度和内脏比指数,却显著影响肝体比指数。鱼体水分、蛋白质和灰分含量不受饲料中维生素 C 添加水平的影响,然而对鱼体脂肪含量的影响显著。随着饲料中维生素 C 添加水平的提高,石斑鱼肌肉和肝脏中维生素 C 的积累量显著升高。以增重率和特定生长率为指标,点带石斑鱼维生素 C 的适宜需要量为 70mg/kg。

关键词 维生素 C, 石斑鱼, 生长, 组织中维生素 C 积累量

中图分类号 S968.3

维生素 C 又名抗坏血酸,大多数的脊椎动物具有合成维生素 C 的能力,但灵长类、豚鼠和多数鱼类体内缺乏 L-古洛内酯氧化酶,不能合成维生素 C,必须从食物中获取(沈同等,1995)。已有的研究证实维生素 C 是一种具有广泛生理和免疫作用的调节因子,促进养殖动物快速生长,缓解养殖鱼类的应激状态,增强机体抵抗病原微生物感染能力以及特异性体液免疫功能(Li *et al.*, 1985; 王安利等,1996; 秦启伟等,2000; 宋学宏等,2002)。

石斑鱼(*Epinephelus* sp.)是科(Serranidae)、石斑鱼属(*Epinephelus*)鱼类的总称,其肉质鲜美,是名贵的海水养殖鱼类,也是我国南方沿海网箱养殖重要鱼类之一。当前石斑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,仅有的文献多集中在石斑鱼对能量、蛋白质以及蛋白源、脂肪等大量营养素营养需求的研究(Teng *et al.*, 1977; Teng, 1978; Wongsomnuk *et al.*, 1978; El-Dakour *et al.*, 1982; Chen *et al.*, 1994; Serrano *et al.*, 1996; Millamena *et al.*, 2002)。然而维生素 C 对点带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)生长和组织中维生素 C 积累量影响的研究迄今为止尚未见报道。基于维生素 C 的重要生理功能和化学不稳定性,水产动物对维生素 C 的需求以及稳定化处理一直是水产营养学领域研究的热点问题之一。本实验中作者以维生素 G-2 单磷酸酯为维生素 C 源,研究饲料中维生素 G-2 单磷酸酯添加水平对点带石斑鱼生长及组织维生素 C 积累量的影响,以期获得石斑鱼商业饲料中维生素 C

* 国家“十五”重大科技计划项目,2001DA505/06 号。周歧存,中山大学在职博士生, E-mail: qicunzhou@163.net

1) 通讯作者: 刘永坚,教授, E-mail: ls59@zsu.edu.cn

收稿日期: 2003-11-06, 收修稿日期: 2004-01-12

的适宜添加量提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼来源及驯养

点带石斑鱼由广东恒兴集团公司自行孵化, 选用当年人工孵化的同一批鱼苗, 于 2002 年 10 月 1 日将所购实验鱼暂养于海水网箱中, 网箱规格为 1.5m × 1m × 2.0m。实验开始前, 以不含维生素 C 的对照组饲料按饱食量投喂, 使石斑鱼苗

逐渐适应实验饲料。经过两周的驯化喂养后, 挑选出体格健壮、规格一致初始体重为 10.0g 左右的鱼苗作为实验鱼。本实验中设计 6 个处理, 每个处理 3 个重复, 共 18 个网箱, 每个网箱放养石斑鱼苗 20 尾, 网箱随机分布并固定于浮式网格中。随机捞取 20 尾实验鱼, 进行体重、体长等指标测量, 在 -18℃ 冰箱中冷冻保存, 以备测定样品的初始体成分。

表 1 实验饲料配方及成分分析(干重%)

Tab 1 Ingredient and proximate analysis of experimental diets (% DW)

饲料组成	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]
鱼粉	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
小麦蛋白粉	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
啤酒酵母	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
鱼油	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
玉米油	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
高筋面粉	12.50	12.497	12.493	12.486	12.472	12.43
卵磷脂(100%)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
褐藻酸钠	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
胆碱(50%)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
无机盐混合物*	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
维生素混合物**	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素 G-2 单磷酸酯	0.00	0.0035	0.007	0.014	0.028	0.07
成分测定值						
蛋白质(% DW)	52.71	52.04	52.27	52.48	52.51	52.76
脂肪(% DW)	13.43	13.35	13.02	13.34	13.16	13.12
灰分(% DW)	11.87	11.88	11.83	11.99	11.04	11.30

* 矿物质混合物(g/kg 预混料): MgSO₄, 157.5; MnSO₄, 4; ferric citrate, 2; CuSO₄, 0.2; ZnCl₂, 6; KI, 0.04; Na₂SeO₃, 0.012; NaCl, 188; KCl, 62.2; 沸石粉 570.048

** 维生素混合物(mg/kg 饲料添加量): thiamin HCl, 60; riboflavin, 200; folic acid, 15; pyridoxine HCl, 40; nicotinic acid, 800; Ca pantothenate, 280; inositol, 400; biotin, 6.0; vitamin E, 400; menadione, 40; cyanocobalamin (B12), 0.1; retinal acetate, 1.2; chelecalciferol, 0.05

1.2 实验设计及饲料制备

以白鱼粉、小麦蛋白粉和啤酒酵母为蛋白源, 鱼油和玉米油(2:1)为脂肪源, 面粉为糖源, 配制成 6 种等氮等能饲料(表 1)。维生素 G-2 单磷酸酯为罗氏公司生产的产品, 抗坏血酸含量为 35%, 饲料中维生素 G-2 单磷酸酯的添加量分别为 0、35、70、140、280、700mg/kg。白鱼粉和鱼油为新西兰进口, 小麦蛋白粉、面粉和玉米油为市售食用级。各种原料粉碎后过 60 目筛, 微量添加成分

采取逐级扩大法混合, 与鱼粉等大量原料混合均匀后添加油脂和水, 再在混合机中混合均匀后, 制成粒径为 2mm 的颗粒饲料, 风干后置于 -18℃ 冰箱中冷冻备用。

1.3 实验管理

养殖实验在浮式海水网箱中进行, 每种饲料随机投喂 3 组实验鱼。每天投喂 2 次(09:00, 17:00), 投喂量按鱼体重的 3% 投喂。实验期间, 每天监测养殖区域的水温、溶解氧、盐度和氨氮等

水质指标,每 2 周对网箱进行清洗以除去吸附于网箱中的藻类及污物,并检查实验鱼的生长情况。实验期间水温为 25—28℃,溶解氧浓度为 6.89—7.02mg/L,盐度为 22—26,氨氮浓度为 0.51—0.63mg/L。

1.4 样品采集和分析

实验结束时,随机取 5 尾鱼进行全鱼体成分分析,再随机抽取 5 尾新鲜鱼取肌肉和肝脏后迅速置于冰箱中冷冻保存以备测定肌肉和肝脏中维生素 C 的含量。将全鱼样品在 105℃下烘至恒重测定全鱼体水分含量;采用凯氏定氮法(总氮×6.25)测定全鱼粗蛋白质含量;采用索氏提取法测定粗脂肪含量;将样品在马福炉中高温灼烧(550℃)24h 测定灰分含量。肌肉及肝脏中维生素 C 的测定采用 2,4-二硝基苯肼法(大连轻工业学院等,1994)。

特定生长率 $SGR = 100 \times (\ln \text{终末体重} - \ln \text{初始体重}) / \text{实验天数}$

增重率 $WG(\%) = (\text{终末体重} - \text{初始体重}) \times 100 / \text{初始体重}$

存活率 $SR(\%) = \text{实验结束时鱼尾数} \times 100 / \text{实验开始时放鱼尾数}$

肝体比指数(%) = 肝脏重 × 100 / 全鱼体重

内脏比指数(%) = 内脏重 × 100 / 全鱼体重

肥满度 = $100 \times \text{体重}(g) / \text{体长}^3(\text{cm}^3)$

1.5 实验数据的统计分析

采用“Excel for Windows”软件对数据进行统计

表 2 饲料中添加维生素 C 对点带石斑鱼的生长及存活的影响

Tab 2 Weight gain and survival rate of *E. coioides* fed with graded vitamin C enriched diet

维生素 C 添加水平(mg/kg)	初重(g)	增重率(%)	特定生长率 SGR	存活率(%)
0	9.98±0.16	48.52±3.44 ^a	0.71±0.05 ^a	67.50±2.50 ^a
35	9.88±0.13	80.91±6.91 ^b	1.06±0.01 ^b	72.50±2.50 ^{ab}
70	10.10±0.05	116.34±9.29 ^c	1.34±0.13 ^c	80.00±5.00 ^b
140	9.98±0.23	97.66±8.50 ^{bc}	1.19±0.17 ^{bc}	77.50±2.50 ^b
280	9.88±0.13	99.93±7.90 ^{bc}	1.23±0.06 ^{bc}	82.50±2.50 ^b
700	9.95±0.22	93.65±2.08 ^b	1.17±0.12 ^b	80.00±5.00 ^b

注:表中的值为平均数±标准差($n=3$),同一列中不具相同字母标记的值表示差异显著(Duncan 多重比较, $P < 0.05$)。表 3、表 4、表 5 同

2.2 饲料中添加维生素 C 对点带石斑鱼肝体比、内脏比指数及肥满度的影响

表 3 的结果表明,饲料中添加维生素 C 显著影响点带石斑鱼肝体比指数($P < 0.05$),饲料中过量添加维生素 C 组(700mg/kg)肝体比数值最

学分析,先对数据作单因素方差分析(ANOVA),处理间若有显著差异,再作 Duncan's 多重比较(STATISTIC version 5.0), $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果

2.1 饲料中添加维生素 C 对点带石斑鱼生长、存活的影响

维生素 C 对点带石斑鱼生长、存活的影响见表 2。由表 2 可以看出,饲料中添加维生素 C 对点带石斑鱼的生长影响显著($P < 0.05$),随着饲料中维生素 C 添加量由 0 提高到 70mg/kg 时,石斑鱼的增重率显著提高。然而当饲料中维生素 C 的添加量超过 70mg/kg 饲料时,增重率反而出现下降,当饲料中维生素 C 添加水平达到 700mg/kg 时,增重率显著低于 70mg/kg 维生素 C 组。特定生长率的变化同增重率的趋势相似,特定生长率以饲料中添加 70mg/kg 维生素 C 组最高,饲料中未添加维生素 C 组的特定生长率显著低于其他各添加组,而随着饲料中维生素 C 添加量由 0 提高到 70mg/kg 时,特定生长率显著提高;随着维生素 C 添加水平的进一步提高,特定生长率反而显著下降($P < 0.05$)。饲料中添加维生素 C 显著影响点带石斑鱼的存活率($P < 0.05$),饲料中未添加维生素 C 组的存活率显著低于维生素 C 添加组,然而当饲料中维生素 C 添加水平由 35mg/kg 提高到 700mg/kg,点带石斑鱼的存活率并无显著提高。

表 2 饲料中添加维生素 C 对点带石斑鱼的生长及存活的影响

Tab 2 Weight gain and survival rate of *E. coioides* fed with graded vitamin C enriched diet

维生素 C 添加水平(mg/kg)	初重(g)	增重率(%)	特定生长率 SGR	存活率(%)
0	9.98±0.16	48.52±3.44 ^a	0.71±0.05 ^a	67.50±2.50 ^a
35	9.88±0.13	80.91±6.91 ^b	1.06±0.01 ^b	72.50±2.50 ^{ab}
70	10.10±0.05	116.34±9.29 ^c	1.34±0.13 ^c	80.00±5.00 ^b
140	9.98±0.23	97.66±8.50 ^{bc}	1.19±0.17 ^{bc}	77.50±2.50 ^b
280	9.88±0.13	99.93±7.90 ^{bc}	1.23±0.06 ^{bc}	82.50±2.50 ^b
700	9.95±0.22	93.65±2.08 ^b	1.17±0.12 ^b	80.00±5.00 ^b

注:表中的值为平均数±标准差($n=3$),同一列中不具相同字母标记的值表示差异显著(Duncan 多重比较, $P < 0.05$)。表 3、表 4、表 5 同

2.2 饲料中添加维生素 C 对点带石斑鱼肝体比、内脏比指数及肥满度的影响

表 3 的结果表明,饲料中添加维生素 C 显著影响点带石斑鱼肝体比指数($P < 0.05$),饲料中过量添加维生素 C 组(700mg/kg)肝体比数值最

低,未添加维生素 C 组次之,饲料中添加维生素 C140mg/kg 组的肝体比指数显著高于其他维生素 C 添加组。而石斑鱼内脏比指数和肥满度的数值不受饲料中维生素 C 添加水平的影响,各添加组之间差异不显著($P > 0.05$)。

表 3 饲料中添加维生素 C 对点带石斑鱼肥满度、内脏比、肝体比的影响

Tab 3 Condition factor, viserosomatic and hepatosomatic index of *E. coioides* fed with graded vitamin C enriched diet

维生素 C 水平 (mg/kg)	肝体比指数 (%)	内脏比指数 (%)	肥满度 (%)
0	1.83 ± 0.05 ^a	9.86 ± 0.89	3.57 ± 0.43
35	2.46 ± 0.29 ^b	9.71 ± 0.57	3.43 ± 0.30
70	2.65 ± 0.15 ^b	9.36 ± 0.41	3.34 ± 0.05
140	3.02 ± 0.28 ^c	9.74 ± 0.95	3.31 ± 0.08
280	2.86 ± 0.17 ^{bc}	9.43 ± 1.04	3.40 ± 0.42
700	1.44 ± 0.19 ^a	9.15 ± 0.32	3.41 ± 0.22

2.3 饲料中添加维生素 C 对点带石斑鱼体成分的影响

由表 4 可见, 点带石斑鱼全鱼体粗蛋白质、灰分及水分含量不受饲料中维生素 C 添加水平的影响 ($P > 0.05$)。然而饲料中添加维生素 C

显著影响点带石斑鱼体粗脂肪含量 ($P < 0.05$), 未添加维生素 C 组和添加量超过 280mg/kg 组石斑鱼体粗脂肪含量最低, 而饲料中维生素 C 添加水平为 35mg/kg 组的粗脂肪含量最高。

表 4 饲料中添加维生素 C 对石斑鱼体粗蛋白质、粗脂肪、水分和灰分的影响

Tab 4 Crude protein, crude lipid, moisture and ash composition of whole fish body of *E. coioides* fed with graded vitamin C enriched diet

维生素 C 水平 (mg/kg)	水分 (%)	蛋白质 (%)	脂肪 (%)	灰分 (%)
0	75.05 ± 2.27	62.65 ± 3.47	16.21 ± 2.81 ^b	19.21 ± 2.03
35	72.51 ± 0.99	60.57 ± 2.07	20.26 ± 2.95 ^c	18.08 ± 0.94
70	73.17 ± 0.51	61.70 ± 1.68	17.89 ± 0.93 ^b	17.78 ± 1.28
140	73.93 ± 2.36	63.74 ± 4.87	19.09 ± 0.71 ^c	18.72 ± 1.43
280	74.92 ± 1.87	64.71 ± 5.41	15.30 ± 2.10 ^{ab}	19.25 ± 2.56
700	76.03 ± 1.35	64.64 ± 2.29	15.29 ± 1.29 ^{ab}	18.88 ± 0.85
初始实验鱼	73.86 ± 1.08	65.95 ± 1.42	13.45 ± 0.44 ^a	18.15 ± 0.77

2.4 饲料中添加维生素 C 对点带石斑鱼肝脏和肌肉中维生素 C 含量的影响

饲料中添加维生素 C 对点带石斑鱼肌肉及肝脏维生素 C 积累量的影响见表 5, 从表 5 中可见, 无论是肌肉或肝脏维生素 C 积累量受饲料中

维生素 C 添加水平的影响显著 ($P < 0.05$)。随着饲料中维生素 C 添加水平的提高, 点带石斑鱼肌肉和肝脏维生素 C 积累量显著上升, 而未添加维生素 C 组肌肉和肝脏维生素 C 积累量最低。

表 5 饲料中添加维生素 C 对点带石斑鱼肌肉及肝脏抗坏血酸积累的影响

Tab 5 Muscle and liver ascorbic acid concentrations *E. coioides* fed with graded vitamin C enriched diet

维生素 C 水平 (mg/kg)	肌肉维生素 C 浓度 (mg/kg)	肝脏维生素 C 浓度 (mg/kg)
0	6.24 ± 0.29 ^a	15.20 ± 0.45 ^a
35	8.31 ± 0.05 ^{ab}	20.92 ± 1.37 ^{ab}
70	10.65 ± 0.15 ^{bc}	24.99 ± 1.35 ^{bc}
140	13.02 ± 0.28 ^c	28.88 ± 2.13 ^c
280	16.83 ± 0.17 ^{cd}	31.83 ± 1.07 ^{cd}
700	21.44 ± 0.19 ^d	33.56 ± 2.69 ^d

3 讨论与结论

本实验的结果表明, 饲料中添加适量的维生素 G-2 单磷酸酯对石斑鱼具有显著的促生长作用, 但过量添加维生素 C (140mg/kg 以上) 对石斑鱼的生长并无促进作用, 反而抑制了石斑鱼的生长。以增重率和特定生长率为指标, 点带石斑鱼饲料中维生素 C 适宜添加水平为 70mg/kg。这一结果同 Merchie 等(1996) 对大菱鲆仔鱼、Shiau 等(1999) 对杂交罗非鱼、Alexis 等(1999) 对欧洲鲈和隆颈巨额鲷等的研究结论一致。然而 Wang 等(2003a, b) 以维生素 G-2 单磷酸钙及维生素 G-2 单磷酸钠为维生素 C 源对鹦嘴鱼(parrot fish) 和朝鲜石头鱼(Korean rockfish) 的研究表明, 增重率随着饲料中维生素 C 添加水平的提高而显著上升。本实验中未添加维生素 C 组的存活率显著低于维生素 C 各添加组, 但存活率各添加组间差异不显著; 除了高的死亡率以外, 本实验中并未观察到维生素 C 缺乏症的其他症状, 如贫血、脊椎弯曲、鳍条糜烂, 体表充血等现象(Dabrowski *et al*, 1988)。

由于研究者所用的维生素 C 剂型不同, 由此得出鱼类对维生素 C 的需要量的结论差异较大。一般来说早期的实验多采用晶体维生素 C, 用这种维生素 C 源得出的鱼类维生素 C 需要量较高(Shiau *et al*, 1992; 王道尊等, 1996); 以稳定化处理的维生素 C 如包膜或维生素 C 酯类衍生物作为维生素 C 源, 确定的鱼类维生素 C 需要量较低(Shiau *et al*, 1995a, b; Wang *et al*, 2003a, b)。对同一种鱼类维生素 C 需要量的研究结果表明, 在一定的范围内, 添加维生素 C 磷酸酯比添加同等剂量的包膜维生素 C 具有更高的增重率(Wilson *et al*, 1989)。维生素 G-2 单磷酸酯极易被虹鳟转化为抗坏血酸(Miyasaki *et al*, 1992), 甚至在这种鱼的鱼苗阶段, 维生素 G-2 单磷酸酯与抗坏血酸表现出相等的营养价值(Sato *et al*, 1991)。本实验中以维生素 G-2 单磷酸酯为维生素 C 源, 确定了石斑鱼维生素 C 的需要量同罗非鱼(Shiau *et al*, 1995a, b; 1999)、鹦嘴鱼(Wang *et al*, 2003a) 和朝鲜石头鱼(Wang *et al*, 2003b) 等的结果相似。

对石斑鱼生物学指标和体主要成分的分析表明, 饲料中添加维生素 C 显著影响石斑鱼肝体比指数, 随着维生素 C 添加水平提高到 140mg/kg, 石斑鱼肝体比指数达到最大值。饲料中缺乏维生

素 C 或过高水平的维生素 C 组的肝体比指数均显著降低; 本实验结果与 Wang 等(2003b) 对朝鲜石头鱼维生素 C 需要的研究结果相似。然而鹦嘴鱼肝体比指数并不受饲料中维生素 C 添加水平的影响(Wang *et al*, 2003a), 这也许是由于实验鱼种的不同所致。本实验中石斑鱼内脏比指数和肥满度指标并不受饲料维生素 C 添加水平的影响。对石斑鱼体成分的分析表明, 石斑鱼体蛋白质、灰分和水分含量不受饲料中维生素 C 添加水平的影响, 然而却显著影响鱼体脂肪含量, 饲料中缺乏维生素 C 或过高水平的维生素 C 均导致石斑鱼体脂肪含量下降, 这也许是由于维生素 C 参与体脂肪代谢的结果, 其作用机理有待进一步研究。

一些研究者的结果表明, 鱼体维生素 C 的积累部位主要是肌肉、肝脏、鳃部和脑部, 而在这些组织中维生素 C 积累量由高到低的次序为脑、鳃、肝脏和肌肉(Wang *et al*, 2003a, b)。本实验中无论是石斑鱼肌肉还是肝脏维生素 C 的积累量均随着饲料中维生素 C 添加水平的提高而显著上升, 而肌肉中维生素 C 的积累量低于肝脏, 说明石斑鱼维生素 C 的积累部位主要在肝脏。Shiau 等(1992; 1995a, b; 1999) 对杂交罗非鱼、Alexis 等(1999) 对欧洲鲈和隆颈巨额鲷、Wang 等(2003a, b) 对鹦嘴鱼和朝鲜石头鱼的研究也得出相同的结论。

综上所述, 在本实验条件下, 饲料中添加维生素 C 对点带石斑鱼的生长和体组织维生素 C 的积累量影响显著, 以增重率和特定生长率为指标, 点带石斑鱼饲料中维生素 C 的适宜添加量为 70mg/kg(维生素 G-2 单磷酸酯)。

参 考 文 献

- 大连轻工业学院, 华南理工大学, 郑州轻工业学院等编, 1994. 食品分析. 北京: 中国轻工业出版社, 285—294
- 王安利, 母学全, 凌利英, 1996. 中国对虾配合饲料中维生素 C 添加量的研究. 海洋与湖沼, 27(4): 368—372 [Wang A L, Mu X Q, Ling L Y, 1996. Study on optimum supplement of vitamin C in formulated diet for Chinese prawn *Penaeus chinensis*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 27(4): 368—372]
- 王道尊, 冷向军, 1996. 异育银鲫对维生素 C 需要量的研究. 上海水产大学学报, 5(4): 240—245 [Wang D Z, Leng X J, 1996. A study on the requirement of vitamin C for allogynogenetic crucian carp. *Journal of Shanghai*

Fisheries University, 5(4): 240—245]

宋学宏, 蔡春芳, 潘新法等, 2002. 用生长和非特异性免疫力评定异育银鲫维生素 C 需要量. 水产学报, 26(4): 351—356 [Song X H, Cai C F, Pan X F *et al*, 2002. Determining the vitamin C requirement of allogynogenetic silver crucian carp with growth and non-specific immunity. Journal of Fisheries of China, 26(4): 351—356]

沈同, 1995. 生物化学. 北京: 高等教育出版社, 365—367

秦启伟, 吴灶和, 周永灿等, 2000. 饵料维生素 C 对青石斑鱼的非特异性免疫调节作用. 热带海洋, 19(1): 58—63 [Qin Q W, Wu Z H, Zhou Y C *et al*, 2000. Non-specific immunomodulatory effects of dietary vitamin C on grouper *Epinephelus avocra*. Tropic Oceanology, 19(1): 58—63]

Alexis M N, Nengas I, Fountoulaki E *et al*, 1999. Tissue ascorbic acid levels in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fingerlings fed diets containing different forms of ascorbic acid. Aquaculture, 179: 447—456

Chen H Y, Tsai J C, 1994. Optimal dietary protein level for the growth of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*, fed semipurified diets. Aquaculture, 119, 265—271

Dabrowski K, Hinterleitner S, Sturmbauer C, 1988. Do carp larvae require vitamin C. Aquaculture, 72: 295—306

El-Dakour S, George K A, 1982. Growth of hamoor (*Epinephelus tauvina*) fed on different protein: energy ratios. Kuwait Institute of Scientific Research Annual Research Report (1981), 75—77

Li Y, Lovell R T, 1985. Elevated levels of dietary ascorbic acid increase immuneresponses in channel catfish. J Nutr, 115(1): 123—131

Merchie G, Lavens P, Dhert P *et al*, 1996. Dietary ascorbic acid requirements during the hatchery production of turbot larvae. J Fish Biology, 49: 573—583

Millamena, Oseni M, 2002. Replacement of fish meal by animal by-product meals in a practical diet for grow-out culture of grouper *Epinephelus coioides*. Aquaculture, 204: 75—84

Miyasaki T, Sato M, Yoshinaka R *et al*, 1992. Conversion of ascorbyl-2-phosphate to ascorbic acid in rainbow trout. Nippon Suisan Gakkaishi, 58: 2101—2104

Sato M, Hatano Y, Yoshinaka R, 1991. L-ascorbyl-2-sulfate as a dietary vitamin C source for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Nippon Suisan Gakkaishi, 57: 717—721

Serrano A E, Apines M J, 1996. Effect of dietary protein and

energy on growth, protein utilization and body composition of juvenile grouper (*Epinephelus coioides*). Philipp J Aquat Sci, 1: 159—170

Shiau S Y, Jan F L, 1992. Dietary ascorbic acid requirement of juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. Fisheries Sci, 58: 671—675

Shiau S Y, Hsu T S, 1995a. L-ascorbyl-2-sulfate has equal anti-scorbutic activity as L-ascorbyl-2-monophosphate for tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. Aquaculture, 133: 147—157

Shiau S Y, Hsu T S, 1995b. Tissue storage of ascorbic acid in tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* fed L-ascorbyl-2-sulfate or L-ascorbyl-2-monophosphate. Fisheries Sci, 61: 1043—1044

Shiau S Y, Hsu T S, 1999. Quantification of vitamin C requirement for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*, with L-ascorbyl-2-monophosphate-Na and L-ascorbyl-2-monophosphate-Mg. Aquaculture, 175: 317—326

Teng S K, Chua T E, Lim P E, 1977. Preliminary Observation on the Dietary Protein Requirement of Estuary Grouper, *Epinephelus tauvina* (Forsskal) Cultured in Floating Net Cages. In: Divina M, Zamora V ed. Grouper Abstract, 1987. Brackish Water Aquaculture Information System, SEAFDEC. Philippines, 60

Teng S K, 1978. Preliminary observation on the dietary protein requirement of estuary grouper, *E. salmanides*, cultured in floating net. Lages Aquaculture, 15: 257—271

Wang X J, Kim K W, Bai S C *et al*, 2003a. Effects of the different levels of dietary vitamin C on growth and tissue ascorbic acid changes in parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*). Aquaculture, 215: 203—211

Wang X J, Kim K W, Bai S C, 2003b. Comparison of L-ascorbyl-2-monophosphate-Ca with L-ascorbyl-2-monophosphate-Na/Ca on growth and tissue ascorbic acid concentration in Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture, 225: 387—395

Wilson R P, Poe W E, Robinson E H, 1989. Evaluation of L-ascorbyl-2-polyphosphate as a dietary ascorbic acid for channel catfish. Aquaculture, 81: 129—136

Wongsomnuk S, Parnichsuka P, Danayadol Y, 1978. Experiment on nursing of grouper, *Epinephelus tauvina* (Forsskal) with various mixed feeds. Annual Report of Songkhla Station Department of Fisheries, 97—102

EFFECT OF THE DIFFERENT LEVELS OF DIETARY VITAMIN C ON GROWTH AND TISSUE ASCORBIC ACID CONCENTRATIONS IN JUVENILE GROUPER *EPINEPHELUS COIODES*

ZHOU Qi-Cun, LIU Yong-Jian¹, MAI Kang-Sen², TIAN Li-Xia³

¹(School of Life Science, Zhongshan University, Guangzhou, 510275;

Fisheries College, Ocean University of Zhejiang, Zhanjiang, 524025)

²(School of Life Science, Zhongshan University, Guangzhou, 510275)

³(School of Life Science, Zhongshan University, Guangzhou, 510275;

Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao, 266003)

Abstract A single-factor experiment was conducted to study the effects of dietary vitamin C (L-ascorbyl-2-monophosphate) on growth of juvenile grouper (*Epinephelus coioides*), body distribution of ascorbic acid concentrations, histopathological changes and main body composition of whole body. Six iso-nitrogenous and iso-energetic diets in the levels of 0, 35, 70, 140, 280 and 700mg/kg L-ascorbyl-2-monophosphate were fed twice daily (09:00, 17:00). Triplicated groups of 20 with initial weight of about 10g were fed with the diets in the levels for 8 weeks. The experiment was done in floating net cages (1.5m × 1.0m × 2.0m). Results indicated that after 8 weeks of the feeding trial, weight gain (WG), specific growth ratio (SGR) and survival rate (SR) of the fish fed with the control diet (L-ascorbyl-2-monophosphate un-supplemented diet) were significantly lower than those with vitamin C enriched diets. WG, SGR and SR were the highest in the fish fed in 70mg/kg level. However, with increase of dietary vitamin C supplemented levels from 0 to 70mg/kg, the WG and SGR increased significantly; but with increase of dietary vitamin C from 70 to 700mg/kg, the WG and SGR decreased slightly. No significant change in SR was found in the vitamin C enriched groups but the SR were higher than the un-supplemented vitamin C group. In addition, no significant differences for viserosomatic index and condition factor were shown between different groups. But it is clear that the hepatosomatic index was affected by enriched vitamin C diets, for example, the un-supplemented vitamin C group and the group in 700mg/kg level were significantly lower than other groups. Moisture, protein and ash concentration in whole body of juvenile grouper were not affected by the supplemental levels of dietary vitamin C; but the lipid concentration in the juvenile grouper increased significantly while vitamin C food enrichment from 0 to 35mg/kg, while with the increase of vitamin C supplemented level in diet was upper to 70mg/kg, the lipid concentration decreased significantly. For changes in ascorbic acid concentrations in the grouper muscle and liver, clear increases were found with the vitamin C enrichment. For instance, the ascorbic acid concentrations with no vitamin C enriched were the lowest among all, with the increase of vitamin C supplemented level in diet, the ascorbic acid concentrations increased significantly. Meanwhile, the ascorbic acid concentrations in liver were higher than in muscle's levels which were in a same supplemented level. Based on the WG and SGR of juvenile grouper, it is proposed that the optimal vitamin C enrichment in the form of L-ascorbyl-2-monophosphate for juvenile grouper growth is about 70mg/kg.

Key words Vitamin C (L-ascorbyl-2-monophosphate), Grouper (*Epinephelus coioides*), Growth, Tissue ascorbic acid concentrations