

饲料 V_C 对草鱼生长、肌肉品质及非特异性免疫的影响

胡斌¹, 李小勤¹, 冷向军¹, 李家乐¹, 文华²

(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 200090; 2. 中国水产科学研究院 长江水产研究所, 湖北 荆州 434000)

摘要: 采用维生素 C (V_C, 以 V_C 磷酸酯为 V_C 源) 添加量分别为 50 mg/kg、100 mg/kg、150 mg/kg、200 mg/kg、300 mg/kg 饲料的配合饲料, 喂养体质量 (42.4±5.0) g 的草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 60 d, 以不添加 V_C 的基础饲料饲喂组为对照, 探讨 V_C 对草鱼生长性能、肌肉品质和非特异性免疫的影响。结果表明, 饲料中添加 V_C 能显著提高草鱼增重率, 降低饲料系数, 当 V_C 添加量为 150~200 mg/kg 时, 草鱼生长性能最佳; 随 V_C 添加量增加, 肌肉失水率、肌纤维直径和肌原纤维耐折力呈增加趋势; 肌肉胶原蛋白含量和肝脏 V_C 含量随 V_C 添加量的增加而增加; V_C 添加量为 150 mg/kg 及以上水平时, 各实验组草鱼血清碱性磷酸酶 (AKP) 活性比对照组显著提高 ($P<0.05$); V_C 添加量达到 300 mg/kg 后血清溶菌酶 (LSZ) 活性比对照组显著提高 ($P<0.05$); 各组间血清超氧化物歧化酶 (SOD) 活性差异不显著 ($P>0.05$)。上述研究表明, 饲料中添加 V_C 能促进草鱼生长, 改善肌肉品质, 增强非特异性免疫力。适宜的 V_C 添加量为 150 mg/kg 饲料。[中国水产科学, 2008, 15 (5): 794~800]

关键词: 草鱼; V_C; 生长; 肌肉品质; 非特异性免疫

中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2008)05-0794-07

维生素 C (V_C) 是维持鱼类正常生长的必需营养物质, 在细胞抗氧化、胶原蛋白形成、机体免疫调节、铁离子的吸收和转运等方面起着重要作用^[1-2]。V_C 能促进黑鲷 (*Sparus macrocephalus*) 仔鱼^[3]、鲈 (*Lateolabrax japonicus*)^[4]、异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio* Bloch)^[5]、翘嘴鲌 (*Culter alburnus*)^[6]、黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*)^[7] 的生长, 提高其非特异性免疫功能。V_C 还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。而胶原蛋白含量与猪肉嫩度^[8], 猪肌肉剪切力^[9], 鱼肉结构、柔韧性、强度和肌肉质地^[10] 密切相关。

草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 是中国重要的养殖经济鱼类, 关于 V_C 对草鱼的促生长作用及其适宜添加量的研究已有一些报道。饲料中添加 60~120 mg/kg V_C (以 V_C 多聚磷酸酯为 V_C 源) 可显著提高草鱼增重率^[11]; 以肝脏 V_C 蓄积量为标准, 所确定的草鱼鱼苗 (体质量 1.49 g) V_C 需求量为 600 mg/kg^[12], 根据血浆和肝脏 V_C 水平所确定的草鱼鱼种 (体质量 5.64 g) V_C 需求量为 441 mg/kg 包

膜 V_C、560 mg/kg V_C 多聚磷酸酯^[13]。V_C 对草鱼免疫功能影响的报道甚少, 文华等^[14] 的研究表明, 高剂量 V_C (1 217.7 mg/kg) 能显著提高草鱼血清补体活性、溶菌酶活性、吞噬细胞的吞噬指数和对病菌的抵抗力, 但 V_C 对草鱼其他免疫指标的影响则无报道, 在 V_C 对草鱼肌肉品质的影响方面更无相关研究。本研究通过在饲料中添加不同水平 V_C, 观察其对草鱼生长性能、肌肉成分、肌肉物理性能指标及血清非特异性免疫指标的影响, 为 V_C 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

实验用草鱼初始体质量 (42.4±5.0) g, 体质健康, 规格一致, 购于上海水产大学特种养殖场。

1.2 实验设计与实验饲料

在基础饲料中分别添加 V_C 50 mg/kg、100 mg/kg、150 mg/kg、200 mg/kg、300 mg/kg, 以不添加 V_C 的基础饲料饲喂组为对照, 共 6 个处理组, 每个处

收稿日期: 2008-01-07; 修订日期: 2008-04-26.

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (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); 上海水产大学水产养殖国家重点学科开放基金 (675016750118).

作者简介: 胡斌 (1980-), 男, 硕士研究生, 主要从事水产动物营养与饲料研究. E-mail: b-hu@163.com

通讯作者: 冷向军, 教授. E-mail: xjleng@shfu.edu.cn

理组 3 个平行。实验用 V_C 源为 V_C 磷酸酯,有效含量为 35%(北京三宝生物化学技术公司)。

基础饲料配方及主要营养指标见表 1。主要饲

料原料均粉碎过 40 目筛,混合均匀,以挤压机制成慢沉性颗粒饲料(粒径 2 mm),晾干备用。

表 1 基础饲料配方及营养组成(风干基础)

Tab.1 Ingredient and nutritional composition of basal diet (air-dry basis)

成分 Ingredients	含量 Content	营养组成 Nutritional composition	含量 Content
鱼粉 Fish meal	6.00	水分 Moisture	10.00
豆粕 Soybean meal	22.00	粗蛋白 Crude protein	31.70
棉粕 Cottonseed meal	8.00	粗脂肪 Crude fat	4.00
菜粕 Rapeseed meal	20.00	粗灰分 Crude ash	5.87
麸皮 Wheat middle	15.95	蛋氨酸 Met	0.46
次粉 Wheat meal	24.00	赖氨酸 Lys	1.60
鱼油 Fish oil	0.50		
豆油 Soybean oil	0.50		
氯化胆碱 Choline Chloride	0.50		
维生素预混料 Vitamin premix	0.25		
矿物质预混料 Mineral premix	0.50		
磷酸二氢钙 Monocalcium Phosphate	1.80		
合计 Total	100		

注: 维生素和微量元素在饲料中的添加量 (mg/kg 饲料): V_A, 6000 IU; V_D, 2000 IU; V_E, 50; V_K, 5; V_{B1}, 15; V_{B2}, 15; V_{B3}, 25; V_{B5}, 30; V_{B6}, 10; V_{B7}, 0.2; V_{B11}, 3; V_{B12}, 0.03; Inositol, 100; Zn, 80; Fe, 150; Cu, 4; Mn, 20; I, 0.4; Co, 0.1; Se, 0.1; Mg, 100.

Note: To Contain vitamin and mineral in diet added as premix (mg/kg diet): V_A, 6000 IU; V_D, 2000 IU; V_E, 50; V_K, 5; V_{B1}, 15; V_{B2}, 15; V_{B3}, 25; V_{B5}, 30; V_{B6}, 10; V_{B7}, 0.2; V_{B11}, 3; V_{B12}, 0.03; Inositol, 100; Zn, 80; Fe, 150; Cu, 4; Mn, 20; I, 0.4; Co, 0.1; Se, 0.1; Mg, 100.

1.3 饲养管理

养殖实验于 2006 年 8 月 10 日至 10 月 8 日在上海水产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 18 口,平均水深 0.7 m;每池放鱼 30 尾,共 540 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,每日于 8:00、12:00、17:00 投喂 3 次,投饲量为鱼体质量的 4% 左右,并根据生长、摄食情况作调整。养殖池 24 h 不间断充气。养殖期间水温为 24~28 ℃, pH 为 7.6±0.5,溶解氧为 6.7~7.4 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,饥饿 24 h 后,称每池鱼的总质量,计算增重率、饲料系数、饲料效率、蛋白质效率、成活率;每池随机取 3 尾体质量相近的草鱼,测量其体高、体长、体质量,解剖后称内脏质量、肝质量,计算肥满度、内脏比、肝脏比、体长体高比。

增重率 = [末体质量 (g) - 初体质量 (g)] / 初体质量 (g) × 100%

饲料系数 = 投饲量 (g) / 增重量 (g)

饲料效率 = 增重量 (g) / 投饲量 (g) × 100%

蛋白质效率 = 体增重 (g) / 蛋白质摄入量 (g) × 100%

成活率 = 成活尾数 / 总尾数 × 100%

肥满度 = 去内脏质量 (g) / 体长 (cm)

内脏比 = 内脏质量 (g) / 体质量 (g) × 100%

肝脏比 = 肝质量 (g) / 体质量 (g) × 100%

体长体高比 = 体长 (cm) / 体高 (cm)

1.4.2 肌肉成分和物理性能指标 养殖实验结束后,各池随机取 3 尾鱼,取背鳍下方侧线以上的背部肌肉,立即测定肌肉失水率、肌纤维直径、肌原纤维耐折力;另取部分背部肌肉, -20 ℃ 冷冻备用,测定肌肉组成和胶原蛋白含量。

水分测定: 105 ℃ 恒重法 (GB6435-86)

粗蛋白测定: 凯氏定氮法 (GB/T6432 94)

粗脂肪测定: 索氏抽提法 (GB/T6433 94)

胶原蛋白测定: 采用羟脯氨酸测定方法,参考李宝山等^[15]的实验方法。

肌肉失水率测定: 参考伦峰等^[16]的实验方法,剪取 5 g 背肌,沸水中煮 5 min。称初质量、末质量,计算失水率。肌肉失水率 = [初质量 (g) - 末质量

(g)] / 初质量 (g) × 100%

肌纤维直径测定: 参考伦峰等^[16]的实验方法, 沿着肌纤维走向, 剪取 1.0 cm × 0.3 cm × 0.3 cm 肌纤维束, 用线捆绑于载玻片上, 置 20% HNO₃ 溶液中 24 h, 用针挑取部分肌纤维束于载玻片上, 滴加甘油, 于 10×40 倍显微镜下测量肌纤维直径, 随机记录 100 个观测数据。

肌原纤维耐折力测定: 参考任泽林等^[17]的实验方法, 剪取 0.5 g 背肌, 加 10×A 液 (KCl 14.90 g、EDTA-Na₂ 3.44 g 和硼酸 4.78 g, 定容至 2 L, pH 7.0), 3 000 r/min 匀浆 3 min, 于 10×40 倍显微镜下测量肌原纤维长度, 随机记录 100 个观测数据。根据肌原纤维长度判断耐折力强弱, 肌原纤维越长其耐折力越强。

1.4.3 血清非特异性免疫指标 养殖实验结束后, 每池随机取 3 尾鱼, 于尾静脉处取血 2 mL, 4 000 r/min 离心 10 min, 血清于 -20 °C 冷冻保存, 测定血清超氧化物歧化酶 (SOD)、碱性磷酸酶 (AKP)、溶菌酶 (LSZ) 活性。

超氧化物歧化酶活性测定采用黄嘌呤氧化酶

法。溶菌酶活性测定采用比浊法。碱性磷酸酶活性测定采用对硝基苯磷酸盐法。上述 3 种酶活性的测定均使用南京建成生物研究所的试剂盒。

1.4.4 肝脏 V_C 含量测定 养殖实验结束后, 各池随机取 3 尾鱼, 取 1 g 肝脏, 以联菲罗啉测定法测定 V_C 含量。试剂盒购于南京建成生物研究所。

1.4.5 数据统计 采用 SPSS11.0 软件进行单因子方差分析, LSD 多重比较对数据进行处理和分析。当 $P < 0.05$ 时认为差异显著。

2 结果与分析

2.1 V_C对草鱼生长性能的影响

从表 2 可见, 对照组草鱼的增重率最低, 为 216.0%, 而饲料系数最高 (1.55)。当饲料中添加 V_C 后, 草鱼增重率、饲料效率、蛋白质效率均较对照组显著增高 ($P < 0.05$), 饲料系数显著下降 ($P < 0.05$), 当 V_C 添加量为 150~200 mg/kg 时, 草鱼增重率达到最高, 添加量继续增加后略下降。各实验组草鱼在形体指标 (包括体长体高比、内脏比、肝脏比及肥满度) 上与对照组差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 V_C 对草鱼生长性能及形体指标的影响
Tab. 2 Effects of V_C on growth performance and body indices of *Ctenopharyngodon idellus* $n=9; \bar{X} \pm SD$

项目 Item	V _C 添加量 / (mg·kg ⁻¹) V _C Supplement					
	0	50	100	150	200	300
平均尾初质量 /g Initial body weight	42.4 ± 5.0	42.4 ± 5.0	42.4 ± 5.0	42.4 ± 5.0	42.4 ± 5.0	42.4 ± 5.0
平均尾末质量 /g Final body weight	134.0 ± 4.9	144.0 ± 2.5	143.0 ± 1.9	147.6 ± 1.8	148.4 ± 4.1	143.4 ± 2.5
增重率 /% Weight gain	216.0 ± 10.5 ^a	239.3 ± 4.9 ^b	237.0 ± 3.9 ^b	247.9 ± 3.8 ^c	249.8 ± 9.0 ^c	237.9 ± 4.6 ^b
饲料系数 Feed coefficient	1.55 ± 0.03 ^a	1.37 ± 0.02 ^b	1.38 ± 0.03 ^b	1.36 ± 0.02 ^b	1.35 ± 0.04 ^b	1.41 ± 0.04 ^b
饲料效率 /% Feed conversion rate	64.5 ± 2.90 ^a	73.0 ± 1.29 ^b	72.5 ± 1.39 ^b	73.5 ± 1.21 ^b	74.1 ± 2.17 ^b	70.9 ± 2.04 ^b
蛋白质效率 /% Protein efficiency ratio	201.3 ± 9.3 ^a	225.6 ± 4.0 ^b	227.7 ± 4.4 ^b	229.8 ± 3.8 ^b	235.6 ± 6.9 ^b	224.9 ± 9.6 ^b
成活率 /% Survival rate	100	100	100	100	100	100
体长体高比 Length/height	4.29 ± 0.79	4.36 ± 0.29	4.32 ± 0.14	4.16 ± 0.10	4.32 ± 0.11	4.23 ± 0.13
内脏比 /% Purtenance/body weight	9.96 ± 0.21	9.66 ± 0.33	9.98 ± 0.56	9.60 ± 0.62	10.0 ± 0.52	9.80 ± 0.60
肝脏比 /% Hepatosomatic index	2.28 ± 0.12	2.25 ± 0.09	2.48 ± 0.03	2.29 ± 0.09	2.28 ± 0.07	2.40 ± 0.08
肥满度 Condition factor	8.08 ± 0.56	8.26 ± 0.80	7.99 ± 0.64	8.11 ± 0.63	8.04 ± 0.62	8.12 ± 0.34

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

Note: Values in the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

2.2 V_C对草鱼肌肉组成和物理性能指标的影响

从表 3 可见, 饲料中添加 V_C 对草鱼肌肉水分、粗蛋白、粗脂肪含量的影响不显著 ($P > 0.05$)。在肌肉胶原蛋白含量方面, V_C 添加量为 50 mg/kg、100 mg/kg 组较对照组显著增加 ($P < 0.05$), 而 V_C 添加量为 150 mg/kg、200 mg/kg、300 mg/kg 组又较

50 mg/kg、100 mg/kg 添加量组进一步增加 ($P < 0.05$)。

在肌肉物理性能指标方面, 随饲料中 V_C 添加量的增加, 肌肉失水率、肌原纤维耐折力 (肌原纤维长度) 和肌纤维直径呈增加趋势, 其中 V_C 添加量为 300 mg/kg 组的上述指标在 $P < 0.10$ 水平上与对照组有差异。

表 3 饲料中 V_C 不同添加量对草鱼肌肉组成和物理性能指标的影响
 Tab. 3 Effects of V_C in diet on muscle composition and physical indices of *Ctenopharyngodon idellus*
 n=9; $\bar{X} \pm SD$

项目 Item	V _C 添加量 / (mg·kg ⁻¹) V _C Supplement					
	0	50	100	150	200	300
水分 / % Moisture	76.0 ± 0.36	76.2 ± 0.87	76.5 ± 0.60	77.0 ± 0.73	76.9 ± 0.44	76.5 ± 0.67
粗蛋白 / % Crude protein	79.7 ± 1.90	80.2 ± 2.17	82.0 ± 1.32	82.3 ± 1.69	83.0 ± 1.65	83.0 ± 2.00
粗脂肪 / % Crude fat	3.67 ± 0.40	3.68 ± 0.25	3.99 ± 0.46	3.37 ± 0.29	3.72 ± 0.06	3.35 ± 0.13
胶原蛋白 / % Collagen	3.89 ± 0.50 ^a	5.86 ± 0.67 ^b	5.91 ± 0.87 ^b	9.08 ± 0.59 ^c	10.00 ± 0.89 ^c	10.09 ± 0.89 ^c
失水率 / % Water loss rate	17.8 ± 1.59	18.0 ± 1.18	18.2 ± 1.84	18.5 ± 1.64	18.8 ± 1.71	19.6 ± 1.59
肌原纤维长度 / μm Myofibril length	205.8 ± 10.6	208.5 ± 15.4	212.4 ± 15.3	218.7 ± 10.8	221.0 ± 18.2	227.6 ± 12.1
肌纤维直径 / μm Muscle fiber diameter	196.0 ± 18.7	198.5 ± 12.3	202.0 ± 18.7	208.2 ± 23.9	211.4 ± 21.2	212.2 ± 18.1

注: 同行上标小写字母不同表示二者之间有显著性差异 ($P < 0.05$).

Note: Values in the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

2.3 V_C对草鱼血清非特异性免疫的影响

在血清非特异性免疫指标方面, 随饲料中 V_C 添加量的增加, 血清 LSZ、AKP 活性呈上升趋势, 其中 V_C 添加量为 300 mg/kg 组的血清 LSZ 活性较对照组显著提高 ($P < 0.05$), V_C 添加量为 150 mg/kg、

200 mg/kg、300 mg/kg 组的血清 AKP 活性较对照组显著增高 ($P < 0.05$)。饲料中添加不同剂量 V_C 对草鱼血清 SOD 活性影响均不显著 ($P > 0.05$), 详见表 4。

表 4 饲料中 V_C 不同添加量对草鱼血清非特异性免疫指标的影响
 Tab. 4 Effect of V_C in diet on serum non-specific immunity indices of *Ctenopharyngodon idellus*
 n=9; $\bar{X} \pm SD$

项目 Item	V _C 添加量 / (mg·kg ⁻¹) V _C Supplement					
	0	50	100	150	200	300
SOD / (U·mL ⁻¹)	193.4 ± 3.91	192.8 ± 3.63	200.5 ± 7.58	194.3 ± 11.91	206.9 ± 4.40	196.6 ± 8.06
LSZ / (μg·mL ⁻¹)	5.63 ± 0.88 ^a	7.00 ± 1.09 ^{ab}	6.75 ± 1.06 ^{ab}	6.67 ± 0.76 ^{ab}	7.33 ± 1.01 ^{ab}	8.00 ± 1.32 ^b
AKP / (U·100 mL ⁻¹)	14.65 ± 0.62 ^a	14.62 ± 2.63 ^a	15.30 ± 2.48 ^a	21.93 ± 3.31 ^b	26.51 ± 3.31 ^b	27.40 ± 3.01 ^b

注: 同行上标小写字母不同表示二者之间有显著性差异 ($P < 0.05$).

Note: Values in the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

2.4 V_C对草鱼肝脏中V_C含量的影响

从表 5 可见, V_C 在草鱼肝脏中的含量随 V_C 添加量的增加而增加。V_C 添加量为 50 mg/kg、100 mg/kg、150 mg/kg、200 mg/kg 组的草鱼肝脏

V_C 含量分别较对照组提高了 109.3%、114.7%、116.2%、135.3% ($P < 0.05$), 而添加 300 mg/kg V_C 组草鱼肝脏 V_C 含量又较 50 mg/kg、100 mg/kg、150 mg/kg 组肝脏 V_C 含量显著提高 ($P < 0.05$)。

表 5 饲料中 V_C 不同添加量对草鱼肝脏 V_C 含量的影响
 Tab. 5 Effect of V_C in diet on vitamin C content in liver of *Ctenopharyngodon idellus*
 n=9; $\bar{X} \pm SD$

项目 Item	V _C 添加量 / (mg·kg ⁻¹) V _C Supplement					
	0	50	100	150	200	300
肝脏 V _C 含量 / (mg·g ⁻¹) V _C content in liver	2.04 ± 0.78 ^a	4.27 ± 0.32 ^b	4.38 ± 0.57 ^b	4.41 ± 0.25 ^b	4.80 ± 0.75 ^{bc}	5.83 ± 0.37 ^c

注: 同行上标小写字母不同表示二者之间有显著性差异 ($P < 0.05$).

Note: Values in the same row with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 V_C 对草鱼生长的影响

V_C 是鱼类维持正常生理功能的必需营养物质。大多数鱼类不能自身合成 V_C 。当饲料缺乏 V_C 时,鱼类会出现体表出血、脊柱侧弯、生长下降、死亡率增加等典型 V_C 缺乏症状。这在黑鲟仔鱼^[3]、鲈^[4]、草鱼鱼种^[12]中均有报道。 V_C 参与胶原蛋白、黏多糖等细胞间质的形成,而胶原蛋白是结缔组织、上皮组织、骨组织的重要成分, V_C 缺乏会导致结缔组织韧性下降,血管壁通透性和脆性加大,因而毛细血管易破裂出血;还可导致骨骼畸形,伤口不易愈合等症状。本研究中,养殖60 d后,对照组(饲喂不添加 V_C 的基础饲料)草鱼未出现典型的 V_C 缺乏症状,但是养殖后期出现不活跃、厌食等现象,可能是本次实验所用鱼体较大,对 V_C 的缺乏相对不敏感,也可能与饲料原料中含少量 V_C 有关。推测若延长养殖周期,对照组草鱼可能会表现出明显的 V_C 缺乏症状。

鱼类对 V_C 需要量的确定,一般以肝脏 V_C 含量、生长性能、免疫指标等作为评定标准^[2]。研究表明,以生长性能、肝脏 V_C 含量为标准确定的鲈 V_C 需求量分别为在饲料中添加 V_C 53.5 mg/kg、93.4 mg/kg^[4];以生长性能和非特异性免疫力为标准确定的异育银鲫 V_C 需要量分别为在饲料中添加 V_C 150 mg/kg、300 mg/kg^[5];胡志洲等^[12]认为以肝脏 V_C 含量为标准所确定的草鱼鱼苗 V_C 需要量为在饲料中添加 V_C 600 mg/kg;以肝脏和血浆中 V_C 含量为标准所确定的草鱼鱼种 V_C 需求量分别为在饲料中添加 V_C 441 mg/kg(包膜 V_C)、560 mg/kg(V_C 多聚磷酸酯)^[13]。可见,鱼类对 V_C 的需求量因评定标准不同而不同。本实验中草鱼的增重率在饲料中 V_C 添加量为150~200 mg/kg时达到最高;肝脏 V_C 含量则在饲料中 V_C 添加量为300 mg/kg时达到最高。因此本实验中以生长性能和肝脏 V_C 含量为标准确定的草鱼 V_C 需要量分别为饲料中添加 V_C 150 mg/kg、300 mg/kg,低于胡志洲等^[12]、许国焕等^[13]所确定的草鱼 V_C 需要量。一个重要原因是本实验所用鱼种较大,平均初体质量42.4 g,而胡志洲等^[12]、许国焕等^[13]的实验中所用草鱼初体质量仅1.49 g、5.64 g,可见, V_C 的需求量与鱼体大小也有关系,随鱼体增大,草鱼对营养物质(包括 V_C)的需要量下降。

饲料中添加 V_C 多聚磷酸酯对黑鲟仔鱼^[3]、牙鲈(*Paralichthys olivaceus* Temminck et Schlegel)仔鱼^[18]的肥满度以及肝体指数影响不显著($P>0.05$),添加包膜 V_C 对翘嘴鲈肝体指数也无影响^[6]。本实验中,各组草鱼在体长体高比、内脏比、肝脏比以及肥满度方面也无显著差异($P>0.05$),与上述报道基本一致。这表明, V_C 对鱼体形体指标没有显著影响。

3.2 V_C 对草鱼肌肉品质的影响

V_C 作为脯氨酸羟化酶和赖氨酸羟化酶的辅酶参与胶原蛋白合成。胶原蛋白是一种重要的肌肉组织成分,在肌肉表面形成类似鞘膜结构的连续分布的致密原纤维网,在很大程度上决定着肌肉的持水性能和嫩度^[19]。对猪肉的研究表明,肌纤维的组织学特性与肌肉品质特别是食用品质(嫩度、风味、多汁性)密切相关^[20]。肌纤维直径增加,可提高肌肉硬度,但降低肌肉系水力,使肌肉失水率增大^[8,21-22]。肌原纤维在外力作用下被折断后的长度能在一定程度上反映肌原纤维耐折力。通常,肌原纤维的长度越大,耐折力越高,韧性越好。在中国对虾(*Penaeus chinensis*)的研究中,添加500 mg/kg V_C 能显著提高肌肉胶原蛋白含量和肌原纤维耐折力^[17]。本实验中,饲料中添加 V_C ,显著提高了肌肉胶原蛋白含量,并有增加肌原纤维耐折力和肌纤维直径的趋势。如果进一步加大 V_C 的添加量(>300 mg/kg),可能会使肌肉失水率、肌纤维直径和肌原纤维耐折力增加的趋势更为明显。同时,如结合质构参数的测定(包括硬度、弹性、咀嚼性等),则能更为全面地反映 V_C 对肌肉品质的影响。

3.3 V_C 对草鱼血清非特异性免疫的影响

V_C 是一种重要的免疫增强剂。 V_C 作为还原剂参与生物体内的氧化还原反应,通过自身的氧化还原在生物氧化过程中作为氢的载体; V_C 参与叶酸、铜等的代谢及甾类激素的合成;使体内氧化型谷胱甘肽转变为还原型谷胱甘肽,从而起到保护酶的活性巯基、解除重金属毒性的作用^[2]。本实验以血清SOD、LZS、AKP活性为指标来评价 V_C 对草鱼非特异性免疫的影响。

SOD是鱼类体内关键的抗氧化酶之一,是超氧自由基的天然消除剂,可清除体内多余的自由基,免除其对生物分子的损伤等。 V_C 可提高胡子鲶(*Claris fuscus*)血清SOD活性^[23],但对中国对虾幼虾SOD活性无显著影响^[24],而河蟹(*Eriocheir sinensis*)血清SOD活性则随饲料 V_C 添加量增加

而降低^[25]。本实验中, V_C 对草鱼血清 SOD 活性也无显著影响。可见, V_C 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及其健康状况有关, 此问题有待进一步研究。

LZS 是评价非特异性免疫的重要指标, 广泛存在于鱼类体表黏液、鳃、血清、肠胃分泌液及吞噬细胞的溶酶体颗粒中, 对革兰氏阳性菌有较强杀灭作用, 在补体和抗体的参与下对革兰氏阴性细菌也有杀灭作用。饲料中添加 V_C 4 000 mg/kg, 可显著提高大西洋鲑 (*Salmo salar* Linnaeus) 头肾溶菌酶活性^[26]; 饲料中添加 V_C 3 000 mg/kg、762 mg/kg、500 mg/kg, 能分别显著提高虹鳟 (*Salmo gairdnerii* Richardson)^[27]、日本鳗鲡 (*Anguilla japonicus* Temminck et Schlegel)^[28] 和大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*)^[29] 的血清溶菌酶活性。本实验中, 添加 V_C 300 mg/kg 显著提高了草鱼血清 LZS 活性 ($P < 0.05$), 而添加 V_C 50~200 mg/kg 则影响不显著 ($P > 0.05$)。这表明, 添加高剂量 V_C 可提高血清 LZS 活性。

AKP 是生物体内的一种重要的代谢调控酶, 直接参与磷酸基团的转移和钙磷代谢, 也能通过改变病原体的表面结构而增强被侵袭机体对病原体的识别和吞噬能力, 有助于鱼体抗病力的提高。虹鳟肠道内有丰富的碱性磷酸酶, 可水解 V_C 磷酸酯, 使 V_C 为其所利用^[30]。在牙鲆饲料中以 V_C 多聚磷酸酯形式添加 100~900 mg/kg V_C, 血清 AKP 活性随着饲料中 V_C 添加而升高^[31]。本实验中, 饲料中添加 V_C 150~300 mg/kg 均显著提高了血清 AKP 活性。可见, V_C 具有提高血清 AKP 活性的作用。

4 小结

饲料中添加 V_C (V_C 磷酸酯为 V_C 源) 对草鱼具有显著的促生长作用, 可提高肌肉胶原蛋白含量和肝脏 V_C 含量, 提高血清 LZS、AKP 活性。综合生长性能和有关生化指标, 草鱼鱼种饲料中的 V_C 添加量建议为 150 mg/kg。

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]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 48-53.
- [3] 王秀英. 饲料维生素 C 对黑鲟仔鱼生长和体组织生化指标的影响 [D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [4] Ai Q H, Mai K S, Zhang C X, et al. Effects of dietary vitamin C on growth and immune response of Japanese sea bass, *Lateolabrax japonicus* [J]. Aquaculture, 2004, 242: 489-500.
- [5] 宋学宏, 蔡春芳, 潘新法, 等. 用生长和非特异性免疫力评定异育银鲫维生素 C 需要量 [J]. 水产学报, 2002, 8(4): 351-366.
- [6] 陈建民, 叶金云, 潘茜, 等. 饲料中添加维生素 C 对翘嘴鲈鱼种生长及组织中抗坏血酸含量的影响 [J]. 中国水产科学, 2007, 14(1): 106-111.
- [7] 王文辉, 王吉桥, 程鑫, 等. 不同剂型维生素 C 对黄颡鱼生长和几种免疫指标的影响 [J]. 中国水产科学, 2006, 13(6): 951-958.
- [8] 张克英, 陈代文, 胡祖禹. 次黄嘌呤核苷酸和胶原蛋白与猪肉品质的关系 [J]. 四川农业大学学报, 2002, 20(1): 56-59.
- [9] 蔡原, 赵有璋, 连总强, 等. 合作猪肌肉胶原蛋白发育性变化及其与肉质关系的研究 [J]. 甘肃农业大学学报, 2006, 41(4): 12-15.
- [10] 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]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1986, 52(9): 1595-1600.
- [11] 石文雷, 陆茂英, 徐增洪, 等. 三种 VC 产品对草鱼鱼种生长影响的研究 [J]. 浙江海洋学院学报 (自然科学版), 2001, 20: 127-129.
- [12] 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.
- [13] 许国煊, 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, 22(1): 28-30.
- [14] 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 and 抵抗细菌感染的影响 [J]. 饲料工业, 2005, 26(18): 56-59.
- [15] 李宝山, 冷向军, 李晓勤, 等. 投饲蚕豆对异育银鲫生长、肉质及肠道蛋白酶活力的影响 [J]. 动物营养学报, 2007, 19(5): 631-635.
- [16] 伦峰, 冷向军, 孟晓林, 等. 蚕豆对罗非鱼肉质影响的初步研究 [J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(1): 83-86.
- [17] 任泽林, 李爱杰. 饲料组成对中国对虾肌肉组织中胶原蛋白、肌原纤维和失水率的影响 [J]. 中国水产科学, 1998, 5(2): 40-44.
- [18] Wang X, Kim K W, Bai S C. Effects of different dietary levels of L-ascorbyl-2-polyphosphate on growth and tissue vitamin C concentrations in juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel) [J]. Aquac Res, 2002, 33(4): 261-267.
- [19] Warriss P D. Meat science: an introductory text [M]. Oxon UK: CABI Publishing, 2000: 41-43, 55-56, 106-130.

- [20] 川井田博. 猪肉肌纤维粗细与肉质的关系 [J]. 国外畜牧学 - 猪与禽, 1983, 3: 51-55.
- [21] 刘正远, 袁纛. 影响肉质的生物化学和组织学因素 [J]. 中国饲料, 2005, 11: 7-9.
- [22] 王亚鸣, 刘龙芳. 江西玉山猪肌肉组织学特征与肉质的关系 [J]. 江西农业大学学报, 1994, 16(3): 284-287.
- [23] 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]. 广州: 华南农业大学, 2004.
- [24] 宋理平, 黄旭雄, 周洪琪, 等. VC、 β -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.
- [25] 艾春香, 陈立桥, 高露皎. VC 对河蟹血清和组织中超氧化物歧化酶及磷酸酶活性的影响 [J]. 台湾海峡, 2002, 21(4): 431-438.
- [26] Waagbo R, Glette J, Raa-Nilsen E. Dietary vitamin C immunity and disease resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar* Linnaeus) [J]. Fish Physiol Biochem, 1993, 12(1): 61-73.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] Matusiewicz M, Dabrowski K. Characterization of ascorbyl esters hydrolysis in fish [J]. Comp Biochem Physiol, 1995, 110(4) B: 739-745.
- [31] 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.

Effects of dietary vitamin C on growth, meat quality and non-specific immunity indices of grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*

HU Bin¹, LI Xiao-qin¹, LENG Xiang-jun¹, LI Jia-le¹, WEN Hua²

(1. Ministry of Education Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China; 2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou 434000, China)

Abstract: The study was conducted to investigate the effects of supplemental vitamin C (V_C) in diets on growth, meat quality and non-specific immunity indices of grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*. Six practical diets were added with V_C of 0 (control group), 50, 100, 150, 200 and 300 mg/kg diet, which was supplied as L-ascorbyl-2-phosphate. Each diet was fed to triplicate groups of grass carp with initial body weight of (42.4 ± 5.0) g for 60 days. The results showed that growth rate of grass carp significantly increased ($P < 0.05$), whereas feed conversion rates decreased ($P < 0.05$) with the increase of supplemental V_C in diets. The optimal growth of grass carp was obtained when fishes were fed with diets supplemented with 150-200 mg/kg V_C . With supplemental V_C increased, water loss rate, myofibril length and muscle fiber diameter tended to increase. Muscle collagen content and V_C concentration in liver also increased with the increase of V_C supplement ($P < 0.05$). The activity of alkaline phosphatase (AKP) were significantly higher than that of control group when supplemental V_C was 150-300 mg/kg diet and lysozyme (LSZ) activity significantly increased when supplemental V_C was 300 mg/kg diet. There was no effect of supplemental V_C in diets on the activity of superoxide dismutase (SOD) ($P > 0.05$). Results above indicate that growth performance, meat quality and serum non-specific immunity indices of grass carp can be improved by supplemental V_C in diets. For grass carp fingerling, the optimal V_C supplement in diet is suggested to be 150 mg/kg. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(5): 794-800]

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

Corresponding author: LENG Xiang-jun. E-mail: xjleng@shfu.edu.cn