

VE对草鱼成鱼肌肉品质和抗氧化性能的影响

李小勤¹ 胡 斌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 201306;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 荆州 434000)

摘要:在 VE 含量为 24.1 mg/kg 的实用基础饲料中分别添加 VE 0 (对照组)、25、50、100、200 mg/kg, 饲喂平均体重为 (614.9 ± 60.5) g 的草鱼 60 d, 考察 VE 对草鱼成鱼生长性能、肌肉品质和抗氧化性能的影响。结果表明, 各组草鱼增重率分别为 51.6%、53.5%、53.4%、53.5%、54.8%, 饲料系数分别为 2.28、2.17、2.20、2.19、2.15, 饲料中添加 25—200 mg/kg VE 对草鱼成鱼增重率、饲料系数无显著影响 ($P > 0.05$); 在肌肉品质方面, 饲料中添加 VE 对肌肉水分、粗蛋白、粗脂肪含量无显著影响 ($P > 0.05$), 肌肉保鲜肉滴水损失和冷冻肉渗出损失随 VE 添加量的增加而降低; 随饲料中 VE 添加量的增加, 肌肉、肝脏中 VE 含量增加, 丙二醛含量则显著降低 ($P < 0.05$), 其中 VE 添加量为 200 mg/kg 组的肌肉、肝脏 VE 含量较对照组增加 431.0%、353.7%, 丙二醛含量则下降 67.2%、61.3% ($P < 0.01$); 在血清抗氧化能力方面, 当 VE 添加量 ≥ 50 mg/kg 后, 草鱼血清 SOD 活性显著提高 ($P < 0.05$), 而血清总抗氧化能力在 VE 添加量 0—100 mg/kg 各组间无显著差异, 200 mg/kg VE 组的血清总抗氧化能力较对照组显著增高 ($P < 0.05$)。上述研究表明, 饲料中添加 VE 能促进草鱼生长, 改善肌肉品质, 增强机体抗氧化能力。以生长性能为标准, 草鱼成鱼饲料 (基础饲料含 VE 24.1 mg/kg) 中的 VE 添加量 25 mg/kg 以肌肉品质、抗氧化能力指标为标准, 草鱼成鱼饲料中的 VE 添加量为 200 mg/kg。

关键词:草鱼; VE; 生长; 肌肉品质; 抗氧化性能

中图分类号: S963.73⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2009)06-1132-08

VE 是鱼类必需的脂溶性维生素, 除有抗不育功能外, 主要作为抗氧化剂, 使细胞膜上的不饱和脂肪酸免受氧化, 具有保护含磷脂的生物膜如红细胞血浆膜、线粒体膜和内质网免受脂质过氧化损伤的作用, 对于鱼类的生长、发育和繁殖具有不可替代的重要作用。目前, 对于一些主要养殖鱼类的 VE 需要量已基本确定, 如鲤鱼 (*Cyprinus carpio* L.) 为 100 mg/kg^[1]、斑点叉尾 (*Ictalurus punctatus*) 鱼种为 50 mg/kg^[2]、大西洋鲑 (*Salmo salar* Linnaeus) 为 35 mg/kg^[3]、杂交条纹鲈 (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) 为 28 mg/kg^[4]、香鱼 (*Labeo rohita*) 幼鱼为 131.9 mg/kg^[5]、石斑鱼 (*Epinephelus malabaricus*) 幼鱼在饲料脂肪水平 4%、9% 时, 对 VE 需要量分别为 61—68 mg/kg, 104—115 mg/kg^[6]。也有一些研究报道了 VE 对石斑鱼^[6]、虹鳟 (*Salmo gairdnerii* Richardson)^[7,8]、斑点叉尾^[9]、奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[10]、黄鳝 (*Monopterus albus*)^[11] 抗氧化能力、免疫功能和繁殖性能的改善作用。

草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 是我国最为重要的养殖经济鱼类, 在基本掌握其蛋白质、脂肪等宏量营养素需求的基础上, 近年来开始了对其维生素营养的研究, 包括肌醇^[12]、烟酸^[13]、叶酸^[14]、VB₁₂^[15]、VC^[16] 等, 但有关其 VE 营养的研究甚少, 仅见 Takeuchi, et al.^[17] 报道 VE 添加量为 200 mg/kg 时可提高草鱼增重率、避免 VE 缺乏症发生; 我国水产行业标准中对草鱼 VE 的需要量推荐为 50 mg/kg^[18]。目前, VE 对草鱼肌肉品质和抗氧化能力的影响还无相关报道。

本实验以草鱼为研究对象, 通过在饲料中添加不同水平的 VE, 考察对草鱼生长、肌肉品质及抗氧化能力的影响, 为 VE 添加剂的合理使用和养殖鱼

收稿日期: 2008-12-17; 修订日期: 2009-07-29

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 (B-8201-06-0017) 资助

作者简介: 李小勤 (1973—), 女, 四川大邑人; 讲师; 主要从事生物技术研究。E-mail: xqli@shou.edu.cn

通讯作者: 冷向军 (1972—), 男, 教授; 主要从事动物营养与饲料学研究。E-mail: xjleng@shou.edu.cn

类肌肉品质的改善提供理论依据。

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 VE 0 (对照组)、25、50、100、200 mg/kg,共 5 个处理组,每处理组设 3 个平行。基础饲料配方组成及主要营养指标 (表 1),基础饲料中 VE 含量为 24.1 mg/kg。主要饲料原料粉碎过 40 目筛,混合均匀,以挤压机制成直径 2 mm 的慢沉性颗粒饲料,晾干备用。所用 VE 为 DL-α生育酚乙酸酯,VE 含量 50%。

表 1 基础饲料配方及营养水平 (风干基础 %)

成分 Ingredients		含量 Content	营养水平 Nutrient level		含量 Content
豆粕 Soybean meal		17.45	水分 Moisture		10.00
棉粕 Cottonseed meal		15.00	粗蛋白 Crude protein		28.05
菜粕 Rapeseed meal		21.00	粗脂肪 Crude fat		3.25
麸皮 Wheat middle		19.00	粗灰分 Crude ash		5.46
次粉 Wheat meal		23.00	蛋氨酸 Met		0.40
鱼油 Fish oil		0.75	赖氨酸 Lys		1.28
豆油 Soybean oil		0.75			
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为 (mg/kg 饲料)
Note: To contain vitamin and mineral in diet added as premix (mg/kg diet): VA, 6000 IU; VD, 2000 IU; VC, 100; VK, 5; VB₁, 15; VB₂, 15; VB₃, 25; VB₅, 30; VB₆, 10; VB₇, 0.2; VB₁₁, 3; VB₁₂, 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 15 口,平均水深 0.7 m;每池放鱼 12 尾,共 180 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,各组保持基本一致投饲量水平,并根据生长、摄食情况调整。养殖池 24 h 不间断充气。养殖期间水温 24—28 ℃,pH 7.6 ±0.5,溶解氧 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 养殖结束后,鱼体饥饿 24 h,称每池鱼总重,计算增重率、饲料系数、成活率;每池随机取 3 尾体质量相近草鱼,测量其体高、体长、体重,解剖后称内脏重、肝重,计算肥满度、内脏比、肝比重、体长体高比。

增重率 = [末重 (g) - 初重 (g)] ÷ 初重 (g) ×100%

饲料系数 = 投饲量 (g) ÷ 增重量 (g)

成活率 = 成活尾数 ÷ 总尾数 ×100%

肥满度 = 去内脏重 (g) ÷ 体长 (cm)

内脏比 = 内脏重 (g) ÷ 体重 (g) ×100%

肝重比 = 肝重 (g) ÷ 体重 (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,立即测定保鲜肉滴水损失;另取部分背部肌肉, - 20 ℃ 冷冻备用,测定肌肉成分 (水分、粗蛋白、粗脂肪含量)。

水分测定: 105 ℃ 恒重法 (GB 6435-86)

粗蛋白测定: 凯氏定氮法 (GB/T 6432—94)

粗脂肪测定: 索氏抽提法 (GB/T 6433—94)

保鲜肉滴水损失的测定: 参照陈代文等的方法^[19],并作修改。取 15 g 左右的新鲜背部肌肉 4 (冰箱内) 悬挂贮存 0、2、4 h 后,称量肌肉重量,计算滴水损失:

保鲜肉滴水损失 = [贮存前肉重 (g) - 贮存后肉重 (g)] ÷ 贮存前肉重 (g) ×100%

冷冻肉渗出损失的测定:参照任泽林等的方法^[20],并作修改。取 15 g左右新鲜肌肉 - 20 ℃ 冷冻 24h后,取出于 10 ℃ 左右室温下解冻,在解冻后 0、2、4、8、24h,分别用纱布擦净表面渗出液,称量鱼肉重量,计算冷冻肉渗出损失:

冷冻肉渗出损失 = [解冻前肉重 (g) - 解冻后肉重 (g)] ÷ 解冻前肉重 (g) × 100%

1.4.3 抗氧化能力指标 养殖实验结束后,每池随机取 3尾鱼,于尾静脉取血 2 mL,4000 r/min离心 10min,血清 - 20 ℃ 冷冻保存,测定血清 SOD活性和总抗氧化能力 (T-AOC)活性;另取肌肉和肝脏, - 20 ℃ 冷冻保存。测定时,4 ℃ 下解冻,按重量体积比加生理盐水制备成 10%组织匀浆液,测定肌肉、肝脏 VE、丙二醛含量。上述指标均用南京建成生物技术研究所产试剂盒进行测定。

1.4.4 数据统计 试验数据以 (平均数 ± 标准差) 表示,采用 SPSS11.5 进行单因子方差分析、LSD 多

重比较对数据进行处理和分析。

2 结果

2.1 VE对草鱼成鱼生长性能的影响

经过 60d养殖,各组草鱼生长性能 (表 2)。由表 2可见,饲料中添加 25—200 mg/kg VE对草鱼成鱼增重率无显著影响 ($P > 0.05$),但添加 200 mg/kg VE有提高增重率、降低饲料系数的趋势 ($P < 0.10$);各组草鱼在形体指标方面,包括体长体高比、内脏比、肝重比及肥满度,均无显著差异 ($P > 0.05$)。

在养殖后期,VE添加 0 mg/kg组草鱼出现摄食不活跃、摄食量下降的现象。

2.2 VE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 VE对草鱼肌肉水分、粗蛋白、粗脂肪含量无影响显著 ($P > 0.05$)。

表 2 VE对草鱼生长性能及形体指标的影响

Tab. 2 Effects of supplemental VE on growth performance and body index of grass carp

项目 Index	VE添加量 VE Supplement (mg/kg)				
	0	25	50	100	200
平均尾初重 Initial Weight (g)	615.1 ±1.7	615.3 ±1.1	615.0 ±1.5	614.0 ±4.0	614.9 ±4.1
平均尾末重 Final Weight (g)	932.6 ±14.0	950.3 ±12.5	945.8 ±11.3	945.9 ±9.4	952.1 ±9.1
增重量 Weight gain (g)	317.5 ±12.9 ^a	335.0 ±13.4 ^a	330.8 ±9.3 ^a	331.9 ±7.8 ^a	337.2 ±10.4 ^a
增重率 Weight gain rate (%)	51.6 ±2.0 ^a	53.5 ±1.9 ^a	53.4 ±1.5 ^a	53.5 ±1.1 ^a	54.8 ±1.5 ^a
饲料系数 Feed coefficient	2.28 ±0.10 ^a	2.17 ±0.08 ^a	2.20 ±0.07 ^a	2.19 ±0.06 ^a	2.15 ±0.06 ^a
成活率 Survival rate (%)	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
体长体高比 Length/height	4.48 ±0.20 ^a	4.64 ±0.39 ^a	4.60 ±0.28 ^a	4.70 ±0.28 ^a	4.50 ±0.29 ^a
内脏比 Viscerance/body weight (%)	7.69 ±0.32 ^a	7.12 ±0.52 ^a	7.67 ±0.77 ^a	7.73 ±0.67 ^a	7.64 ±0.77 ^a
肝重比 Hepatosomatic index (%)	2.18 ±0.23 ^a	2.16 ±0.21 ^a	2.12 ±0.14 ^a	2.23 ±0.17 ^a	2.40 ±0.24 ^a
肥满度 Condition factor	24.10 ±2.47 ^a	24.33 ±1.28 ^a	24.22 ±1.60 ^a	22.56 ±2.30 ^a	23.31 ±1.31 ^a

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

Note: Figures in the same row with different letters indicated significantly different ($P < 0.05$); The same as follows

表 3 VE对草鱼肌肉成分的影响

Tab. 3 Effects of supplemental VE on meat composition of grass carp (%)

项目 Index	VE添加量 VE Supplement (mg/kg)				
	0	25	50	100	200
水分 Moisture	76.0 ±0.4 ^a	76.2 ±0.8 ^a	76.6 ±0.6 ^a	76.1 ±0.7 ^a	76.8 ±0.3 ^a
粗蛋白 Crude protein	82.7 ±1.2 ^a	83.2 ±2.0 ^a	83.0 ±1.7 ^a	83.3 ±1.6 ^a	83.0 ±3.6 ^a
粗脂肪 Crude fat	3.87 ±0.40 ^a	3.88 ±0.24 ^a	3.89 ±0.41 ^a	3.85 ±0.27 ^a	3.82 ±0.16 ^a

注:粗蛋白、粗脂肪表示为肌肉干物质中的含量

Note: Crude protein and crude fat are expressed as the percentage of dry matter of muscle

表 4为 VE对保鲜肉滴水损失的影响。饲料中添加 VE 25、50 mg/kg,在 2h、4h均显著降低了保鲜肉滴水损失, ($P < 0.05$),当 VE添加量达 100、200 mg/kg后,保鲜肉滴水损失较 VE添加 25、50 mg/kg组进一步降低 ($P < 0.05$)。

表 5为 VE对冷冻肉渗出损失的影响。随解冻后时间的延长,各组冷冻肉的渗出损失均呈增加趋势;在同一时间内,冷冻肉渗出损失随 VE添加增加而降低。0h时,VE添加 200 mg/kg组冷冻肉渗出损失最低,为 2.29%,较对照组降低了 53.4% ($P < 0.05$),也显著低于其他各组 ($P < 0.05$); 24h时,VE添加 200 mg/kg组冷冻肉渗出损失仍然最低,但与 VE 50、100 mg/kg组已无显著差异 ($P > 0.05$),且较对照组的降低幅度减少为 11.4% ($P < 0.05$)。这表明,VE对冷冻肉渗出损失的降低作用随解冻后时间的延长而减弱。

2.3 VE对草鱼成鱼肝脏、肌肉 VE、丙二醛含量影响

VE对草鱼成鱼肝脏、肌肉 VE、丙二醛含量的影响(表 6)。由表 6可见,随 VE添加量的增加,肝脏、肌肉的 VE含量增加,而丙二醛含量降低。饲料中添加 25mg/kg VE即可显著降低肝脏、肌肉丙二醛含量 ($P < 0.05$),增加肝脏 VE含量 ($P < 0.05$),而肌肉 VE含量的显著增加则在 VE添加量 ≥ 50 mg/kg时才出现。

2.4 VE对草鱼成鱼血清抗氧化指标的影响

VE对草鱼成鱼血清抗氧化指标的影响(表 7)。当饲料 VE添加量大于 25 mg/kg后,血清 SOD活性较对照组显著增加 ($P < 0.05$);血清 T-AOC在 VE添加 0—100 mg/kg各组间无显著差异,但当 VE添加量为 200 mg/kg时,血清 T-AOC较前述各组显著增加 ($P < 0.05$)。

表 4 VE对草鱼保鲜肉滴水损失的影响

Tab. 4 Effects of supplemental VE on drip loss of fresh meat of grass carp (%)

时间 Time (h)	VE添加量 VE Supplement (mg/kg)				
	0	25	50	100	200
2	10.42 $\pm$ 1.18 ^a	8.63 $\pm$ 0.69 ^b	8.92 $\pm$ 1.54 ^b	5.52 $\pm$ 0.95 ^c	2.62 $\pm$ 0.51 ^d
4	20.83 $\pm$ 2.03 ^a	15.34 $\pm$ 1.52 ^b	15.72 $\pm$ 2.39 ^b	11.80 $\pm$ 2.37 ^c	8.81 $\pm$ 1.27 ^d

表 5 VE对草鱼冷冻肉渗出损失的影响

Tab. 5 Effects of supplemental VE on exudative loss of freezing meat of grass carp (%)

时间 Time (h)	VE添加量 VE Supplement (mg/kg)				
	0	25	50	100	200
0	4.91 $\pm$ 0.51 ^a	4.23 $\pm$ 0.25 ^b	3.61 $\pm$ 0.41 ^c	2.87 $\pm$ 0.45 ^d	2.29 $\pm$ 0.35 ^e
2	7.28 $\pm$ 0.62 ^a	6.65 $\pm$ 0.47 ^b	5.80 $\pm$ 0.43 ^c	4.96 $\pm$ 0.32 ^d	4.46 $\pm$ 0.44 ^d
4	9.24 $\pm$ 0.62 ^a	8.33 $\pm$ 0.75 ^b	7.55 $\pm$ 0.58 ^c	6.67 $\pm$ 0.59 ^d	6.33 $\pm$ 0.68 ^d
8	12.13 $\pm$ 0.93 ^a	10.88 $\pm$ 1.15 ^b	9.28 $\pm$ 0.70 ^c	9.37 $\pm$ 0.85 ^c	9.15 $\pm$ 0.69 ^c
24	18.51 $\pm$ 1.06 ^a	18.04 $\pm$ 1.35 ^{ab}	17.65 $\pm$ 1.18 ^{abc}	16.60 $\pm$ 1.15 ^{bc}	16.40 $\pm$ 0.96 ^c

表 6 VE对草鱼肝脏和肌肉中 VE、丙二醛含量的影响

Tab. 6 Effect of supplemental VE on concentration of VE and MDA in liver and muscle of grass carp

项目 Index	VE添加量 VE Supplement (mg/kg)				
	0	25	50	100	200
肝脏 VE含量 VE content in liver (μ g/g)	16.4 $\pm$ 2.5 ^a	23.7 $\pm$ 2.3 ^b	38.4 $\pm$ 4.3 ^c	54.9 $\pm$ 6.7 ^d	74.4 $\pm$ 3.8 ^e
肝脏丙二醛含量 MDA content in liver (nmol/g)	187.9 $\pm$ 3.1 ^a	171.3 $\pm$ 2.5 ^b	142.8 $\pm$ 1.7 ^c	99.1 $\pm$ 3.0 ^d	72.8 $\pm$ 1.0 ^e
肌肉 VE含量 VE content in muscle (μ g/g)	4.2 $\pm$ 0.5 ^a	6.0 $\pm$ 0.9 ^{ab}	8.1 $\pm$ 1.6 ^b	18.1 $\pm$ 3.6 ^c	22.3 $\pm$ 2.0 ^d
肌肉丙二醛含量 MDA content in muscle (nmol/g)	67.0 $\pm$ 5.1 ^a	56.3 $\pm$ 1.2 ^b	40.3 $\pm$ 2.9 ^c	30.9 $\pm$ 2.2 ^d	22.0 $\pm$ 2.0 ^e

表 7 VE对草鱼血清抗氧化指标的影响
Tab. 7 Effect of supplemental VE on serum non-specific immunity index of grass carp (U/mL)

项目 Index	VE添加量 VE Supplement (mg/kg)				
	0	25	50	100	200
SOD	103.9 ±5.0 ^a	108.0 ±3.5 ^a	118.1 ±3.4 ^b	131.4 ±6.4 ^c	135.5 ±8.2 ^c
T-AOC	7.61 ±1.24 ^a	7.34 ±2.51 ^a	7.24 ±1.02 ^a	7.11 ±1.40 ^a	12.07 ±2.74 ^b

3 讨论

3.1 VE对草鱼生长性能的影响

VE是鱼类必需的维生素。VE缺乏通常会降低鱼类生长性能。以 VE 含量 0 mg/kg精制饲料饲喂初体重 1.45 g奥尼罗非鱼 14周,其增重率为 856%,较 VE添加 80 mg/kg组降低增重率 34.3%^[10];石斑鱼(7.80 g)摄食不添加 VE饲料 8周后,增重率为 139.5%,添加 VE 25、50 mg/kg后,增重率上升为 164.1%、179.7%^[6];类似报道也见于大鳞鲑鱼^[21]、鲤鱼^[22]、香鱼^[5]等。

目前有关草鱼 VE营养的研究甚少。对草鱼鱼种的研究表明,缺乏 VE的草鱼增重率显著降低,背部肌肉减少,呈瘦背状,而添加 200 mg/kg VE可防止缺乏症出现,并显著改善生长性能^[17]。本实验中,VE添加 0 mg/kg组草鱼在养殖后期食欲和采食量下降,但没有出现明显缺乏症状,添加 25—200 mg/kg VE后,在数值上提高了增重率,但未达显著水平。其原因可能在于所用草鱼初体重较大(615 g),已属成鱼阶段,对 VE具有较强蓄积能力,对 VE的缺乏显然不如幼鱼敏感;此外,本实验采用实用饲料配方,各原料中含有一定 VE,基础饲料 VE含量达 24.1 mg/kg,也许这已经能满足草鱼生长的基本要求,防止 VE缺乏症发生。添加 25 mg/kg VE后,饲料 VE总含量为 49.1 mg/kg,这与国家水产行业标准对草鱼 VE的推荐需要量 50 mg/kg基本一致^[18]。

3.2 VE对草鱼肌肉品质和抗氧化能力的影响

VE作为抗氧化剂和自由基清除剂,可防止脂质过氧化,维持生物膜结构完整性,改善肌肉品质^[23]。有关 VE对肌肉品质的影响在畜禽动物上已有一些报道。在猪的研究表明,饲料中添加 200 mg/kg VE,可显著降低背最长肌贮存 3d、6d(4 下)时的滴水损失,提高第 3天和第 6天(冷存)的肉色评分^[19];在含 VE 18 mg/kg饲料中添加 50、100 mg/kg VE,肉鸡腿肌失水率、胸肌滴水损失均显著下降,腿肌剪切力降低(肌肉嫩度提高)^[24]。VE对鱼类肌肉品质影响的研究很少,且集中在缺乏所造成的肌肉异常方

面:VE缺乏可使鲤鱼骨骼肌变性、坏死、肌萎缩和炎症细胞浸润^[25];缺乏 VE的草鱼背部肌肉减少,呈瘦背状,肌肉水分增高,蛋白质含量降低^[17];本实验中,添加 VE对草鱼肌肉常规成分含量无显著影响,但随饲料 VE添加量增加,肌肉 VE含量显著增加,4 下肌肉滴水损失和 -20 下肌肉渗出损失显著降低。肌肉 VE含量增加,抑制了不饱和脂肪酸氧化,维护了细胞膜完整,可延长鱼肉的货架寿命;此外肌肉中 VE含量的增加,也提高了鱼肉营养价值。

自由基能诱发细胞膜不饱和脂肪酸发生过氧化反应,终产物是丙二醛,其含量可反映脂质过氧化程度和机体抗氧化能力强弱;VE作为抗氧化剂,其含量也可在一定程度上反映机体抗氧化能力。在罗非鱼的研究表明,摄食 VE含量 0 mg/kg饲料后,肝脏、肌肉 VE含量低至无法检出,当添加 80、300 mg/kg VE后,肝脏和肌肉 VE含量分别达 27.6、39.6 U/kg和 140.9、100.5 U/kg,丙二醛含量则显著降低^[10]。类似报道也见于罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii* (de Man))^[26]、鲤^[27]、斑纹鲈(*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂)^[28]、斑节对虾(*Penaeus monodon*)^[29]等。本实验中,饲料中添加 25 mg/kg VE即可显著增加肝脏、肌肉 VE含量,降低肝脏、肌肉丙二醛含量($P < 0.05$)。可见,VE蓄积量的增加可抑制不饱和脂肪酸过氧化,使过氧化产物丙二醛含量降低,这是肌肉品质改善的重要方面。

动物在机体代谢中产生自由基 $O_2^- \cdot$,引起脂质过氧化反应,破坏细胞结构和功能。SOD是专一清除 $O_2^- \cdot$ 的金属酶,可消除其危害。以含 50—200 mg/kgVE饲料投喂斑节对虾,其血清 SOD活性显著高于 VE 0—25 mg/kg组^[29];在幼建鲤实验中,添加 VE 100 U/kg组血清 SOD活性较 VE缺乏组增加 56.7% ($P < 0.05$)^[30]。本实验中,添加 50—200 mg/kg VE可显著提高草鱼血清 SOD活性,与上述报道一致。可见,VE不仅本身具抗氧化能力,还可诱导机体提高 SOD活性。

血清总抗氧化能力反映了机体非酶抗氧化系统和抗氧化酶系统共同的抗氧化作用。研究表明,饲

料中添加 220、420 U/kg VE后,雏鸭血清中总抗氧化能力较 20 U/kg VE组显著升高^[31];肉羊摄食添加 400 mg/kg VE饲料 30d、60d后,血清总抗氧化能力较对照组增加了 37.1%、67.9% ($P < 0.01$)^[32]。目前有关 VE对鱼类血清总抗氧化能力的影响尚未见报道。本实验中,添加 25—100 mg/kg VE未对草鱼血清总抗氧化能力产生显著影响,但添加量增至 200 mg/kg后,血清总抗氧化能力较对照组提高 58.6% ($P < 0.05$)。相对于前述 VE、丙二醛指标,血清总抗氧化能力对于饲料 VE添加量增加的反应并不敏感,只有在饲料 VE含量较高后,血清总抗氧化能力才显著增加。这种现象还表现在奥尼罗非鱼肝脏 GSH指标上:饲料 VE含量在 0—80 mg/kg时,GSH活性并无显著变化,当 VE含量大于 120 mg/kg后,GSH活性才显著增加^[10]。

4 小 结

基础饲料 (VE含量 24.1 mg/kg)中添加 VE 25 mg/kg可维持草鱼正常生长;添加 25—200 mg/kg VE显著降低鲜肉滴水损失和冷冻肉渗出损失;随 VE添加量增加,VE在肌肉和肝脏中的蓄积量增加,丙二醛含量降低;血清 SOD活性也表现出随 VE添加量增加而增加的规律。以生长性能为标准,草鱼成鱼配合饲料中 VE的推荐添加量为 25 mg/kg;以肌肉品质和抗氧化能力为指标,VE的推荐添加量为 200 mg/kg。

参考文献:

- [1] Watannabe T F, Takashima F, Ogino C, *et al.* Requirement of young carp for α -tocopherol [J]. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 1981, 36: 972—976
- [2] Wilson R P, Bowser P R, Poe W E. Dietary vitamin E requirement of fingerling channel catfish [J]. *Journal of Nutrition*, 1984, 114: 2053—2058
- [3] Lall S P, Oliver G, Hines J A, *et al.* The role of vitamin E in nutrition and immune response of Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Bull. Aqua. ASSOC. Can.*, 1988, 88 (2): 76—79
- [4] Kocabas A M, Gatlin III D M. Dietary vitamin E requirement of hybrid striped bass (*Morone chrysops* female $\times$ *M. saxatilis* male) [J]. *Aquac. Nutr.*, 1999, 5: 3—7
- [5] Sau S K, Paul B N, Mohanta K N, *et al.* Dietary vitamin E requirement, fish performance and carcass composition of rohu (*Labeo rohita*) fry [J]. *Aquaculture*, 2004, 240: 359—368
- [6] Lin Y H, Shiao S Y. Dietary vitamin E requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus*, at two lipid levels, and their effects on immune responses [J]. *Aquaculture*, 2005, 248: 235—244
- [7] Boggio S M, Hardy R W, Babbitt J K. The influence of dietary lipid source and α -tocopherol acetate level on product quality of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *Aquaculture*, 1985, 51: 13—24
- [8] Chaiyapechara S, Michael T C, Ronald W H, *et al.* Fish performance, fillet characteristics, and health assessment index of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets containing adequate and high concentrations of lipid and vitamin E [J]. *Aquaculture*, 2003, 219: 715—738
- [9] Bai S C, Gatlin D M. Dietary vitamin E concentration and duration of feeding affect tissue α -tocopherol concentrations of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Aquaculture*, 1993, 113: 129—135
- [10] Huang C H, Huang S L. Effect of dietary vitamin E on growth, tissue lipid peroxidation, and liver glutathione level of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*, fed oxidized oil [J]. *Aquaculture*, 2004, 237: 381—389
- [11] Zhang G H, He R G, Zhang S P, *et al.* Effect of vitamin E in broodstock diet on reproductive performance of *Monopterus albus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31 (2): 196—200 [张国辉,何瑞国,张世萍,等.维生素E对黄鳝繁殖性能的影响.水生生物学报,2007,31(2):196—200]
- [12] Wen H, Zhao Z Y, Jiang M, *et al.* Dietary myo-inositol requirement for grass carp, *Ctenopharyngodon idella* fingerling [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, 14 (5): 794—800 [文华,赵智勇,蒋明,等.草鱼幼鱼肌醇营养需要量的研究.中国水产科学,2007,14(5):794—800]
- [13] Wu F, Jiang M, Zhao Z Y, *et al.* The dietary niacin requirement of juvenile *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2008, 32 (1): 65—70 [吴凡,蒋明,赵智勇,等.草鱼幼鱼对烟酸的需要量.水产学报,2008,32(1):65—70]
- [14] Zhao Z Y, Wen H, Wu F, *et al.* Dietary folic acid requirement for grass carp fingerling, *Ctenopharyngodon idella* [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2008, 17 (2): 187—192 [赵智勇,文华,吴凡,等.草鱼鱼种叶酸需要量的研究.上海水产大学学报,2008,17(2):187—192]
- [15] Wu F, Wen H, Jiang M, *et al.* Effects of dietary vitamin B12 on growth, body composition and hemopoiesis of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2007, 29 (6): 695—699 [吴凡,文华,蒋明,等.维生素B12对草鱼幼鱼生长、体组分和造血机能的影响.吉林农业大学学报,2007,29(6):695—699]
- [16] Hu B, Li X Q, Leng X J, *et al.* Effects of dietary vitamin C on growth, meat quality and non-specific immunity indices of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15 (5): 794—800 [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.中国水产科学,2008,15(5):794—800]
- [17] Takeuchi T, Watanabe K. Requirement of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fingerling for α -tocopherol [J]. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 1992, 58 (9): 1743—1749
- [18] SC/T 1024—2002. Formula feed for grass carp [S]. Fisheries standard of People's Republic of China. [SC/T 1024—2002, 草

鱼配合饲料. 中华人民共和国水产行业标准]

- [19] Chen D W, Li Y Y, Zhang K Y, *et al.* Growth performance and meat quality of pigs fed diets supplemented with or without 250 mg/ kg copper and 200 mg/ kg vitamin E [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2002, **20** (1): 23—28 [陈代文, 李永义, 张克英, 等. 饲料添加高铜和 VE 对猪生长性能和猪肉品质的影响. 四川农业大学学报, 2002, **20** (1): 23—28]
- [20] Ren Z L, Chen Y L, Huo Q G, *et al.* Effect of oxidized fish oil on meat quality of common carp, *Cyprinus carpio* [J]. *Feed China*, 2004, **19**: 37—40 [任泽林, 陈义林, 霍启光, 等. 氧化鱼油对鲤鱼 (*Cyprinus carpio*) 肉质的影响. 饲料广角, 2004, **19**: 37—40]
- [21] Woodward B. Dietary vitamin requirements of cultured young fish, with emphasis on quantitative estimates for salmonids [J]. *Aquaculture*, 1994, **124**: 134—168
- [22] Zhang Q. Effects of VE on growth performance and immune function of young common carp [D]. Thesis for Master of Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan. 2004 [张琼. 维生素 E 对幼建鲤生产性能和免疫功能的影响. 硕士学位论文. 四川农业大学, 四川雅安. 2004]
- [23] Chan W K M, Hakkarainen K, Faustman C, *et al.* Dietary vitamin E effect on colour stability and sensory assessment of spoilage in three beef muscles [J]. *Meat Science*, 1996, **42**: 387—399
- [24] Li T S, Han R L, Xing Y G, *et al.* Effect of dietary vitamin E level on performance and meat quality of Luxi yellow broilers [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2003, **15** (4): 44—48 [李同树, 韩瑞丽, 邢永国, 等. 日粮维生素 E 水平对鲁西黄鸡产肉性能与肉质的影响. 动物营养学报, 2003, **15** (4): 44—48]
- [25] Wang K Y, Zhou Z, Geng Y. Study on the pathology of vitamin E deficiency in common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*. 2007, **31** (3): 354—361 [汪开毓, 周震, 耿毅. 鲤维生素 E 缺乏的病理学研究. 水生生物学报, 2007, **31** (3): 354—361]
- [26] Dandapat J, Chainy G B N, Janardhana-Rao K. Dietary vitamin-E modulates antioxidant defence system in giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology (C)*, 2000, **127**: 101—115
- [27] Cai Z H, Xing K Z, Dong S L. Effect of high dose vitamin E on common carp (*Cyprinus carpio*) health [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2001, **47** (Supp): 120—124 [蔡中华, 邢克智, 董双林. 维生素 E 对鲤鱼健康的影响. 动物学报, 2001, **47** (专刊): 120—124]
- [28] Sealey W M, Gatlin D M. Dietary vitamin C and vitamin E interact to influence growth and tissue composition of juvenile hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂) but have limited effects on immune responses [J]. *The American Society for Nutritional Sciences*, 2002, **132**: 748—755
- [29] Lee M H, Shiau S Y. Vitamin E requirements of juvenile grass shrimp, *Penaeus monodon*, and effects on non-specific immune responses [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2004, **16** (4): 475—485
- [30] Zhou Z. A study of VE deficiency pathology in *Cyprinus carpio* [D]. Thesis for Master of Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan. 2004 [周震. 鲤鱼维生素缺乏的病理学研究. 硕士学位论文. 四川农业大学, 四川雅安. 2004]
- [31] Pang J, Wang A. Effects of cool temperature and different VE Levels on performance, antioxidative ability and serum glucose, serum lipid in egg-type ducklings in cages [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2007, **19** (3): 289—294 [庞婧, 王安. 低温与维生素 E 对笼养蛋雏鸭生长性能、抗氧化能力及血糖血脂的影响. 动物营养学报, 2007, **19** (3): 289—294]
- [32] Chen Y Y, He Y T, Han D. Effects of VE on antioxidative ability of meat goat [J]. *Modern Husbandry and Veterinarian*, 2006, **1**: 16—17 [陈玉艳, 何永涛, 韩迪. 维生素 E 对肉羊体内抗氧化功能影响的研究. 现代畜牧兽医, 2006, **1**: 16—17]

EFFECT OF SUPPLEMENTAL VE ON MEAT QUALITY AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF ADULT GRASS CARP

LI Xiao-Qin¹, HU Bin¹, LENG Xiang-Jun¹, LI Jia-Le¹ and WEN Hua²

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

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

Abstract: A Study was conducted to investigate the effects of supplemental vitamin E (VE) in practical diet on growth, meat quality and anti-oxidant capacity of adult grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). Basal diet, added with VE 0 (control group), 25, 50, 100 or 200 mg/kg, were fed to adult grass carp for 60 days. The basal diet contained 28.05% crude protein, 3.25% crude fat and 24.1 mg/kg VE. Adult grass carp, with body weight of (614.9 ± 60.5) g, were divided into five treatments with triplicate groups, and raised in 15 cement pools (3.0m $\times$ 2.5m $\times$ 1.2m). Fishes were fed twice per day (8:00 and 17:00) with the feed intake of 2% of the body weight. Growth rate, feed conversion rate (FCR), muscle composition, drip loss of fresh meat, exudative loss of freezing meat, VE and maleic dialdehyde (MDA) in liver and muscle, serum SOD, total antioxidant capacity (T-AOC) were measured. Results showed that growth rates of the five groups were 51.6%, 53.5%, 53.4%, 53.5%, 54.8%, and FCR were 2.28, 2.17, 2.20, 2.19, and 2.15, respectively. There was no significantly effect of supplemental VE in diets on growth and FCR of adult grass carp, but growth rate tended to be increased and FCR tended to be decreased by supplemental 200mg/kg VE in diet ($P < 0.10$). With supplemental VE increased, the drip loss of fresh meat and exudative loss of freezing meat decreased, but the moisture, crude protein, crude fat of meat kept constant among all groups. The VE concentration of muscle and liver were significantly increased, whereas MDA was decreased by supplemental VE ($P < 0.05$). Compared with control group, VE of meat and liver were increased by 431.0%, 353.7%, and MDA were decreased by 67.2%, 61.3% by supplemental 200mg/kg VE in diet ($P < 0.01$). Compared with control group, when supplemental VE was higher than 50 mg/kg, serum SOD activities significantly increased ($P < 0.05$), and T-AOC was significantly higher when supplemental VE was 200mg/kg ($P < 0.05$). No significant difference in serum T-AOC was observed among groups of 0, 50, 100 mg/kg VE addition group. Results above showed that growth performance, meat quality and serum anti-oxidant capacity of adult grass carp could be improved by supplemental VE in diets. For adult grass carp, the VE supplement in practical diet (containing VE 24.1 mg/kg) was estimated to be 25 mg/kg according to the growth performance, or 200 mg/kg according to meat quality and anti-oxidant capacity.

Key words: Grass carp; VE; Growth performance; Meat quality; Anti-oxidant capacity