

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2013.04.003

增加饲料中 V_C 质量分数对银鲳血清溶菌酶活性 及组织抗氧化能力的影响

彭士明, 施兆鸿, 高权新, 尹飞, 孙鹏, 王建钢

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘要: 研究了增加饲料中维生素 C (V_C) 质量分数对银鲳 (*Pampus argenteus*) 血清溶菌酶活性及组织抗氧化能力的影响。以鱼粉、虾粉为蛋白源, 鱼油为脂肪源配制 V_C 质量分数分别为 $104.21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $455.33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $800.54 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 3 组饲料, 依次编号为 C1 (对照组)、C2、C3。每组饲料设 3 个重复, 投喂平均体质量为 $(6.18 \pm 0.15) \text{ g}$ 的银鲳幼鱼 9 周。结果显示, 随着饲料中 V_C 质量分数的增加, 血清溶菌酶活性逐渐升高, C3 组较 C1、C2 组溶菌酶活性显著性升高 ($P < 0.05$)。增加 V_C 质量分数可显著提高组织中的超氧化物歧化酶 (SOD) 活性及总抗氧化能力 (T-AOC) ($P < 0.05$), 但 V_C 对不同组织中 SOD 活性的影响程度并不相同。随着饲料中 V_C 质量分数的增加, 肝脏与肌肉中 V_C 水平显著性升高 ($P < 0.05$)。同时, 高水平 V_C 也显著降低了组织中丙二醛 (MDA) 的质量摩尔浓度。分析表明, 增加饲料中 V_C 质量分数 (大于 $455.33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 可提高银鲳血清溶菌酶活性与组织抗氧化能力, 降低组织中的脂质过氧化反应。

关键词: 银鲳; 维生素 C; 溶菌酶; 抗氧化

中图分类号: S 965.331

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2013)04-0016-06

Effects of increasing dietary vitamin C on serum lysozyme activity and antioxidant ability of tissues in *Pampus argenteus*

PENG Shiming, SHI Zhaohong, GAO Quanxin, YIN Fei, SUN Peng, WANG Jianguang

(East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: This study investigated the effects of increasing dietary vitamin C on serum lysozyme activity and antioxidant ability of tissues in silver pomfret (*Pampus argenteus*). The basal practical diet was formulated with fish meal and shrimp meal as protein sources, and fish oil as lipid source. There were three experimental diets containing ascorbic acid $104.21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (C1), $455.33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (C2) and $800.54 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (C3) respectively, and triplicate feeding by every diet group to the juvenile with initial average weight $(6.18 \pm 0.15) \text{ g}$ for 9 weeks. The results show that serum lysozyme activity increases with the increase of dietary vitamin C, and lysozyme activity of C3 diet group is significantly higher than those of C1 and C2 diet groups ($P < 0.05$). The superoxide dismutase (SOD) activities significantly increase with the increasing vitamin C supplementation ($P < 0.05$), but the degree of influence is different in various tissues. High dietary vitamin C also significantly promotes the total antioxidant ability (T-AOC) of tissues ($P < 0.05$). Vitamin C concentrations in liver and muscle significantly improve with increasing vitamin C supplementation, while the malonaldehyde (MDA) contents of tissues significantly reduce with the increase of dietary vitamin C. In conclusion, increasing dietary vitamin C ($> 455.33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) can significantly improve the serum lysozyme activity and tissue antioxidant ability, and reduce the tissue lipid peroxidation of silver pomfret.

收稿日期: 2012-12-19; 修回日期: 2013-02-19

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD13B01); 国家自然科学基金项目(31202009); 中央级公益性科研院所基本科研业务费(东 2011M09); 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室开放课题基金(2010F30003)

作者简介: 彭士明(1980-), 男, 博士, 副研究员, 从事海水鱼类繁育生物学研究。E-mail: shiming_peng@163.com

通信作者: 施兆鸿(1958-), 男, 研究员, 从事海水鱼类繁育生物学研究。E-mail: shizhh@hotmail.com

Key words: silver pomfret; vitamin C; lysozyme; antioxidant

维生素 C (V_C) 是鱼类生长发育所必需的一种营养素, 由于鱼类无法自身合成, 因此必须通过外源摄入才能满足其生长所需^[1]。饲料中 V_C 的缺乏会导致鱼类生长受阻^[1-3]。然而, V_C 并不参与体内的能量代谢^[4-5], 饲料中过多的 V_C 并不能有效地促进鱼类的生长^[2-5]。V_C 作为一种水溶性的抗氧化剂, 在胶原蛋白的合成^[6]、铁离子代谢^[4]、血液学^[4,7]、免疫学^[8] 以及应激性胁迫反应^[9-10] 中均具有重要的生理作用。目前, 关于鱼类 V_C 方面的研究报道主要围绕需求量、免疫、抗病力及抗氧化能力等方面^[3,7-8,11], 而值得注意的是, 针对 V_C 影响鱼类抗氧化能力方面的研究结论往往存在较大差异^[11,12-14]。同时, 只有当饲料中 V_C 质量分数远高于维持鱼体正常生长的最低需求量时, 鱼体方能表现出较好的免疫、抗病力与抗胁迫能力^[7-8,15-16]。然而, 不同鱼类 V_C 的需求量不同^[2-3,11], V_C 对不同鱼类免疫、抗氧化能力及抗病力的影响效果也不尽相同。

银鲳 (*Pampus argenteus*) 是中国主要的海产经济鱼类之一。近些年来, 随着其人工育苗及养殖技术的不断完善, 养殖生物学方面的研究报道较多^[17-20]。文章的目的在于研究分析增加饲料中 V_C

质量分数是否能够提高银鲳血清溶菌酶活性及组织抗氧化能力, 以为银鲳全价高效人工配合饲料的研制提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以鱼粉和虾粉为蛋白源, 鱼油为脂肪源配制基础饲料, 其原料成分及营养组成见表 1。在基础饲料中依次分别添加 V_C-2-多聚磷酸酯 (活性成分 35%) 0、1 000 mg·kg⁻¹ 和 2 000 mg·kg⁻¹, 配制 V_C 实际质量分数分别为 104.21 mg·kg⁻¹、455.33 mg·kg⁻¹ 和 800.54 mg·kg⁻¹ 的 3 组饲料, 依次编号为 C1 (对照组)、C2 和 C3。对照组 V_C 质量分数的确定参照 HOSSAIN 等^[21] 对银鲳的研究报道。试验用饲料均放于 -20 °C 冰箱保存备用。

1.2 试验用鱼及饲养试验设计

试验用鱼取自中国水产科学研究院东海水产研究所银鲳繁育基地, 试验开始前试验鱼在容器中暂养 2 周。试验开始时选取平均体质量为 (6.18 ± 0.15) g 的银鲳幼鱼 540 尾, 随机放入 9 个圆形玻璃钢桶 (直径 3 m, 水深 1 m) 中, 每个玻璃钢桶放置 60 尾。每组饲料各设 3 个重复, 试验为期 9 周。

表 1 对照组 (C1 组) 基础饲料的组成

Tab. 1 Composition of the control diet

饲料组成 diet composition	质量分数/g·kg ⁻¹ content	饲料组成 diet composition	质量分数 content
鱼粉 fish meal ^a	690	营养组成 (干质量) proximate composition (dry weight)	
虾粉 shrimp meal ^b	60	粗蛋白/% crude protein	46.53
鱼油 fish oil	60	粗脂肪/% crude fat	12.37
羧甲基纤维素 carboxymethyl cellulose ^c	15	灰分/% ash	11.26
α-淀粉 α-starch	135	维生素 C/mg·kg ⁻¹ ascorbic acid	104.21
复合维生素 vitamin premix ^d	20		
复合矿物质 mineral premix ^e	20		

注: a. 鱼粉含蛋白 62%, 脂肪 9%, 灰分 13%; b. 虾粉含蛋白 44%, 脂肪 8%, 灰分 7%; c. 饲料粘合剂; d. 复合维生素 (mg·kg⁻¹) 为肌醇 400, 烟酸 150, 泛酸钙 44, 核黄素 20, 维生素 B₆ 12, 维生素 K 10, 维生素 B₁ 10, 维生素 A 7.3, 叶酸 5, 生物素 1, 维生素 D₃ 0.06, 维生素 B₁₂ 0.02, 维生素 C 100, 维生素 E 35; e. 复合矿物质 (mg 或 mg·kg⁻¹) 为磷酸二氢钾 (KH₂PO₄) 22 g, 硫酸铁 (FeSO₄·7H₂O) 1.0 g, 硫酸锌 (ZnSO₄·7H₂O) 0.13 g, 硫酸锰 (MnSO₄·4H₂O) 52.8 mg, 硫酸铜 (CuSO₄·5H₂O) 12 mg, 硫酸钴 (CoSO₄·7H₂O) 2 mg, 碘化钾 (KI) 2 mg

Note: a. fish meal contain protein 62%, fat 9%, ash 13%; b. shrimp meal contain protein 44%, fat 8%, ash 7%; c. diet adhesive; d. vitamin premix (mg·kg⁻¹) contain inositol 400, nicotinic acid 150, calcium pantothenate 44, lactochrome 20, vitamin B₆ 12, vitamin K 10, vitamin B₁ 10, vitamin A 7.3, folic acid 5, biotin 1, vitamin D₃ 0.06, vitamin B₁₂ 0.02, vitamin C 100, vitamin E 35; e. mineral premix (mg or mg·kg⁻¹) contain KH₂PO₄ 22 g, FeSO₄·7H₂O 1.0 g, ZnSO₄·7H₂O 0.13 g, MnSO₄·4H₂O 52.8 mg, CuSO₄·5H₂O 12 mg, CoSO₄·7H₂O 2 mg, KI 2 mg.

试验期间每天饱食投喂4次(07:00、11:00、15:00、18:00),换水2次(08:00、16:00),每次换水量25%,24 h连续充氧,溶解氧质量浓度大于7 mg·L⁻¹,水温25~27℃,盐度24~26。

1.3 样品采集与分析

试验结束后停食24 h,随机从每池中取5尾鱼,经MS222麻醉后尾部取血,并解剖取其肝脏、背部肌肉组织。血样在4℃下静置4 h后,3 000 r·min⁻¹离心10 min。所得血清与肝脏、肌肉样品均保存于-70℃中待测。肝脏与肌肉样品在4℃下解冻,1:9质量体积比加入预冷pH 7.4的磷酸缓冲液,于碎冰上进行匀浆,匀浆液在4℃条件下10 000 r·min⁻¹离心10 min,取上清液。

溶菌酶、总抗氧化能力(T-AOC)及组织V_C质量摩尔浓度的测定均采用南京建成生物公司提供的检测试剂盒,具体操作步骤按照试剂盒说明书进行。超氧化物歧化酶(SOD)活性采用邻苯三酚自氧化法进行测定,25℃条件下每分钟抑制邻苯三酚自氧化率达到50%时所需酶量定义为1个酶活力单位。丙二醛(MDA)的测定采用硫代巴比妥酸法,利用MDA可与硫代巴比妥酸反应生成红色物质,并于光密度(OD)532 nm处具有最大吸收峰。

1.4 数据处理

试验数据以平均值±标准误($\bar{X} \pm SE$)表示,采用SPSS 17.0软件对数据进行统计分析,Duncan's检验进行多重比较, $P < 0.05$ 表示有显著性差异。

2 结果

2.1 对银鲳血清溶菌酶活性的影响

随着饲料中V_C添加量的增加,血清溶菌酶活性逐渐升高。然而,C2饲料组(455.33 mg·kg⁻¹)与对照组C1(104.21 mg·kg⁻¹)相比,溶菌酶活性虽略有升高但未呈现出显著性的差异($P > 0.05$)(图1)。

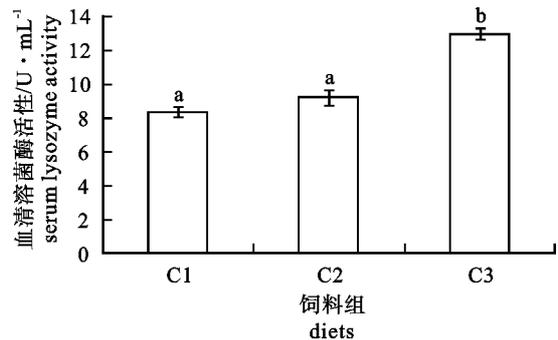


图1 增加饲料中V_C质量分数对银鲳

血清溶菌酶活性的影响

各处理组间不同标示字母表示差异显著($P < 0.05$),后图同此

Fig. 1 Effects of increasing dietary V_C on the serum

lysozyme activity in silver pomfret

Columns with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$). The same case in the following figures.

当饲料中V_C添加量为800.54 mg·kg⁻¹(C3组)时血清溶菌酶活性呈现出显著性的升高趋势($P < 0.05$)。

2.2 对组织抗氧化能力的影响

饲料中较高水平的V_C一定程度上提高了银鲳各组织中SOD活性,但V_C对不同组织中SOD活性的影响程度有所差异(表2)。C2组血清SOD活性显著高于C1组($P < 0.05$),然而,在肌肉与肝脏组织中SOD活性在C2组与C1组之间并无显著性差异($P > 0.05$)。血清与肌肉中SOD活性在C3与C2组间均未有显著性差异($P > 0.05$),但在肝脏组织中C3组的SOD活性显著高于C2组($P < 0.05$)。增加饲料中V_C的质量分数均显著提高了银鲳各组织的T-AOC(表2)。血清、肌肉和肝脏中T-AOC的变化趋势基本一致,C2组与C3组的T-AOC均显著高于C1组($P < 0.05$),但C3组与C2组间各组织中T-AOC均并未表现出显著性差异($P > 0.05$)。

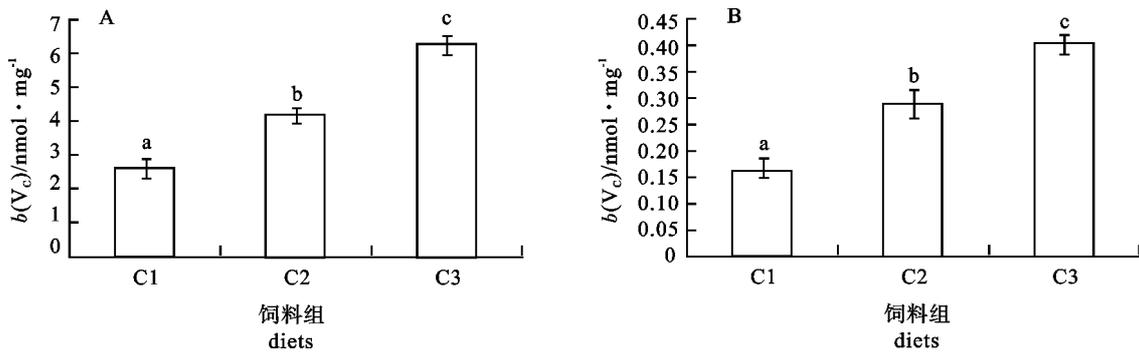
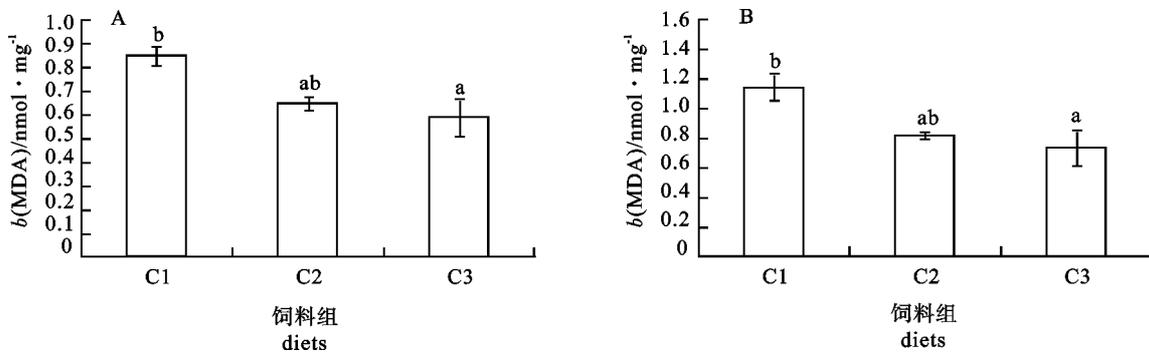
表2 增加饲料中V_C质量分数对组织中超氧化物歧化酶活性和总抗氧化能力的影响($\bar{X} \pm SE$)

Tab. 2 Effects of increasing dietary V_C on the tissue SOD activities and T-AOC in silver pomfret

饲料 diets	超氧化物酶活性 SOD activity			总抗氧化能力 T-AOC		
	血清/U·mL ⁻¹ serum	肌肉/U·mg ⁻¹ prot muscle	肝脏/U·mg ⁻¹ prot liver	血清/U·mL ⁻¹ serum	肌肉/U·mg ⁻¹ prot muscle	肝脏/U·mg ⁻¹ prot liver
C1	78.25 ± 6.41 ^a	35.04 ± 0.21 ^a	371.24 ± 18.47 ^a	5.61 ± 0.20 ^a	0.32 ± 0.03 ^a	5.86 ± 0.19 ^a
C2	109.83 ± 4.70 ^b	38.37 ± 2.12 ^{ab}	434.76 ± 12.93 ^a	8.08 ± 0.65 ^b	0.89 ± 0.03 ^b	8.58 ± 0.18 ^b
C3	127.69 ± 4.47 ^b	41.30 ± 0.68 ^b	547.04 ± 22.48 ^b	8.55 ± 0.40 ^b	0.95 ± 0.03 ^b	9.15 ± 0.23 ^b

注:同一列不同标示字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different superscript letters within each column represent significant difference ($P < 0.05$).

图2 增加饲料中 V_c 质量分数对银鲳肝脏(A)和肌肉(B)中 V_c 质量摩尔浓度的影响Fig. 2 Effects of increasing dietary V_c on the liver (A) and muscle (B) V_c contents in silver pomfret图3 增加饲料中 V_c 质量分数对银鲳肝脏(A)和肌肉(B)丙二醛质量摩尔浓度的影响Fig. 3 Effects of increasing dietary V_c on the liver (A) and muscle (B) MDA contents in silver pomfret

组织中 V_c 质量分数与饲料中 V_c 的添加剂量密切相关,随着饲料中 V_c 添加剂量的增加,肝脏与肌肉中 V_c 质量摩尔浓度均表现出明显升高的趋势,且各组间均具有显著性差异($P < 0.05$) (图2)。饲料中 V_c 质量分数的增加降低了组织中脂质过氧化产物 MDA 的质量摩尔浓度, C3 组肝脏与肌肉中 MDA 质量摩尔浓度均分别显著低于 C1 组($P < 0.05$) (图3)。然而,肝脏与肌肉中 MDA 质量摩尔浓度在 C3 与 C2 组间、C2 与 C1 组间均未呈现出显著性差异($P > 0.05$)。

3 讨论

血清溶菌酶活性是反映机体非特异性免疫的重要指标之一,是一种能水解致病菌中黏多糖的碱性酶,具有抗菌、消炎、抗病毒等作用^[22]。笔者研究结果显示,随着饲料中 V_c 添加量的增加,银鲳血清溶菌酶活性呈现出逐渐升高的趋势,饲料中 V_c 质量分数达到对照组 V_c 质量分数的近 8 倍时血清溶菌酶活性的升高趋势才呈现出显著性。在对鲈 (*Lateolabrax japonicus*)^[2] 和大黄鱼

(*Pseudosciaena crocea*)^[3] 的研究中也发现,随着饲料中 V_c 添加量的增加,其血清溶菌酶活性随之升高,但仅在饲料 V_c 质量分数达到维持生长所需最低需求量的 20 倍左右时,溶菌酶活性方能呈现出显著性升高趋势。这些研究结果均验证了只有当饲料中 V_c 的含量高于维持正常生长所需最低需求量的数倍甚至数十倍时, V_c 才能较好的呈现出提高鱼体免疫力方面的作用效果^[2-3,15-16]。此外, V_c 作为一种抗氧化剂与免疫增强剂并不参与机体中的能量代谢^[4-5],因此,饲料中过高的 V_c 并不能有效提高鱼类的生长速度。不同鱼类对 V_c 的需求量不同^[2-3,11],从提高鱼体免疫力的角度来讲,不同鱼类饲料中 V_c 的适宜添加剂量也不尽相同。笔者试验中 C2 组血清溶菌酶活性虽比 C1 组有所增强,但与 C1 组并无显著性差异,当饲料 V_c 质量分数达到 $800.54 mg \cdot kg^{-1}$ 时银鲳的溶菌酶活性才得以显著性升高。然而, AI 等^[3] 在对大黄鱼的研究中得出饲料中 V_c 质量分数达到 $23.8 mg \cdot kg^{-1}$ 时可基本满足大黄鱼的生长需求,而当饲料中 V_c 的质量分数达到

489.0 mg·kg⁻¹时大黄鱼血清溶菌酶活性才表现出显著性升高趋势。

V_C 在体内的抗氧化作用不仅仅是体现在可直接清除氧自由基,在体内还可能通过其他间接途径发挥其抗氧化作用。明建华等^[12]在对团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 的研究中发现,高含量 V_C 可显著提高团头鲂肝脏 SOD 活性,并且最高含量组 (C3) 银鲳肝脏 SOD 活性显著性升高。此外,该研究中高含量 V_C 同样显著提高了组织中的 T-AOC。由于 SOD 与 T-AOC 是反映机体抗氧化能力的 2 个重要生理指标^[23],因此,可以得出增加饲料中 V_C 含量可显著提高银鲳机体的抗氧化能力的结论。同样,赵红霞等^[11]在对军曹鱼 (*Rachycentron canadum*) 的研究中也发现,较高的 V_C 含量可显著提高军曹鱼机体的抗氧化能力。然而,从目前已有的关于 V_C 与鱼类抗氧化方面的研究报道来分析,不同研究报道所得出的结论存在较大差异。如高含量的 V_C 显著降低了长吻鲢 (*Leiocassis longirostris*) 组织中的 SOD 活性^[13];而 V_C 对草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) SOD 活性并无显著性影响^[14]。导致上述研究结果间差异较大的原因可能与鱼的种类、生长阶段、健康状况以及试验设计方法有关。此外,笔者试验中饲料 V_C 质量分数对银鲳各组织中 SOD 活性的影响程度不同,可能与不同组织中 V_C 积累量的不同有关,具体原因需要进一步的研究分析。

由于 V_C 作为一种强抗氧化剂可通过还原作用消除有害自由基的毒性^[24],因此,组织中 V_C 的积累量在一定程度上也可以反映出机体的抗氧化水平。笔者试验中发现随着饲料中 V_C 添加量的增加,银鲳组织中的 V_C 质量分数均显著性升高。这与在斑点叉尾鲟 (*Ictalurus punctatus*)^[4]、条石鲷 (*Oplegnathus fasciatus*)^[25] 以及点带石斑鱼 (*Epinephelus malabaricus*)^[16] 的研究中所得到的结论相似。以往在对鲈^[2]、大黄鱼^[3] 等的研究中发现,其组织中 V_C 的积累量在达到一定量之后,会达到一种饱和状态,即不再随饲料中 V_C 质量分数的增加而增大。而在笔者研究中随着饲料中 V_C 质量分数的增加,银鲳组织中 V_C 的积累量一直呈升高趋势,这表明试验中 V_C 的最高添加量仍在银鲳可消化吸收的剂量范围内。由于笔者试验并未设置更高的添加量,因此,如需确定能够使得银鲳组织 V_C 积累

量达到饱和状态的饲料 V_C 添加剂量尚需进一步的研究分析。MDA 是组织中脂质过氧化的最终产物,具有很强的细胞毒性,组织中 MDA 质量摩尔浓度的高低可以反映出组织中的脂质过氧化程度^[26-28]。笔者研究中发现,随着饲料中 V_C 添加量的增加,银鲳组织中 MDA 质量摩尔浓度呈现明显的下降趋势。这表明增加饲料中 V_C 质量分数明显抑制了银鲳组织中的脂质过氧化反应,提高了组织的抗氧化能力,这与明建华等^[12]对团头鲂、刘海燕等^[13]对长吻鲢的研究结果相一致。

综上所述,增加饲料中 V_C 质量分数可明显提高银鲳血清溶菌酶活性与组织抗氧化能力,降低组织中的脂质过氧化反应。因此,在银鲳人工养殖过程中适宜补充饲料中的 V_C 质量分数(大于 455.33 mg·kg⁻¹)有利于提高银鲳的非特异性免疫水平及抗氧化能力,从而有利于其健康生长。

参考文献:

- [1] FRACALOSSO D M, ALLEN M E, YUYAMA L K, et al. Ascorbic acid biosynthesis in Amazonian fishes[J]. *Aquaculture*, 2001, 192(2/3/4): 321-332.
- [2] 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(1/2/3/4): 489-500.
- [3] 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(1): 327-336.
- [4] LIM C, KLESIOUS P H, LI M H, 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(3/4): 313-327.
- [5] ORTUNO J, ESTEBAN M A, CUESTA 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]. *Veter Immunol Immunopathol*, 2001, 79(3/4): 167-180.
- [6] SATO M, KONDO T, YASHINAKA R, et al. Effect of dietary ascorbic acid levels on collagen formation in rainbow trout[J]. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 1982, 48(4): 553-556.
- [7] CHEN R G, LOCHMANN R, GOODWIN A, et al. Effects of dietary vitamins C and E on alternative complement activity, hematology, tissue composition, vitamin concentrations and response to heat stress in juvenile golden shiner (*Notemigonus crysoleucas*) [J]. *Aquaculture*, 2004, 242(1/2/3/4): 553-569.
- [8] 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(3/4): 225 - 238.
- [9] 冯伟, 李健, 李吉涛, 等. V_c对中国对虾非特异免疫因子及TLR/NF- κ B表达量的影响[J]. *水产学报*, 2011, 35(2): 200 - 207.
- [10] 徐维娜, 刘文斌, 邵仙萍, 等. 维生素C对异育银鲫原代肝脏细胞活性及抗敌百虫氧化胁迫的影响[J]. *水产学报*, 2011, 35(12): 1849 - 1856.
- [11] 赵红霞, 曹俊明, 谭永刚, 等. 军曹鱼幼鱼维生素C需要量的研究[J]. *动物营养学报*, 2008, 20(4): 435 - 441.
- [12] 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.
- [13] 刘海燕, 雷武, 朱晓鸣, 等. 饲料中不同维生素C含量对长吻鲈的影响[J]. *水生生物学报*, 2009, 33(4): 682 - 689.
- [14] 胡斌, 李小勤, 冷向军, 等. 饲料V_c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.
- [15] ORTUNO J, ESTEBAN M A, MESEGUER J. The effect of dietary intake of vitamins C and E on the stress response of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) [J]. *Fish & Shellfish Immunol*, 2003, 14(2): 145 - 156.
- [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(1/2/3/4): 215 - 221.
- [17] 彭士明, 施兆鸿, 孙鹏, 等. 养殖密度对银鲳幼鱼生长及组织生化指标的影响[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(7): 1371 - 1376.
- [18] 彭士明, 尹飞, 孙鹏, 等. 不同饲料对银鲳幼鱼增重率、肝脏脂酶及抗氧化酶活性的影响[J]. *水产学报*, 2010, 34(6): 769 - 774.
- [19] 尹飞, 孙鹏, 彭士明, 等. 低盐度胁迫对银鲳幼鱼肝脏抗氧化酶、鳃和肾脏ATP酶活力的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(4): 1059 - 1066.
- [20] 彭士明, 施兆鸿, 李杰, 等. 运输胁迫对银鲳血清皮质醇、血糖、组织中糖元及乳酸含量的影响[J]. *水产学报*, 2011, 35(6): 831 - 837.
- [21] HOSSAIN M A, ALMATAR S M, JAMES C. Optimum dietary protein level for juvenile silver pomfret, *Pampus argenteus* (Euphrasen) [J]. *J World Aquac Soc*, 2010, 41(5): 710 - 720.
- [22] 钟国防, 钱曦, 华雪铭, 等. 玉米蛋白粉替代鱼粉对暗纹东方鲀溶菌酶活性及c型溶菌酶mRNA表达的影响[J]. *水产学报*, 2010, 34(7): 1121 - 1128.
- [23] 苏慧, 区又君, 李加儿, 等. 饥饿对卵形鲳鲹幼鱼不同组织抗氧化能力、Na⁺/K⁺-ATP酶活力和鱼体生化组成的影响[J]. *南方水产科学*, 2012, 8(6): 28 - 36.
- [24] 葛颖华, 钟晓明. 维生素C和维生素E抗氧化机制及其应用的研究进展[J]. *吉林医学*, 2007, 28(5): 707 - 708.
- [25] WANG X J, KIM 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(1): 203 - 211.
- [26] PENG S M, CHEN L Q, QIN J G, et al. Effects of dietary vitamin E supplementation on growth performance, lipid peroxidation and tissue fatty acid composition of black seabream (*Acanthopagrus schlegelii*) fed oxidized fish oil [J]. *Aquac Nutr*, 2009, 15(3): 329 - 337.
- [27] 秦洁芳, 陈海刚, 蔡文贵, 等. 邻苯二甲酸二丁酯对汉氏棱鲷生化指标的影响[J]. *南方水产科学*, 2011, 7(2): 29 - 34.
- [28] 黄志斐, 马胜伟, 张喆, 等. BDE3胁迫对翡翠贻贝(*Perna viridis*)SOD、MDA和GSH的影响[J]. *南方水产科学*, 2012, 8(5): 25 - 30.