

文章编号: 1004 - 7271(2008)03 - 0298 - 07

氧化鱼油饲料中添加 V_E 对黑鲷幼鱼体脂含量 及肝脏抗氧化酶活性的影响

彭士明¹, 陈立侨¹, 侯俊利¹, 王伟¹, 龙章强¹, 叶金云², 孙新瑾¹

(1. 华东师范大学生命科学学院, 上海 200062;

2. 浙江省淡水水产研究所, 浙江 湖州 313001)

摘要:研究了投喂氧化鱼油饲料中添加维生素 E 对黑鲷 (*Acanthopagrus schlegeli*) 各组织中脂肪含量及肝脏抗氧化酶活性的影响。以鱼粉、鲑鱼粉、豆粕为蛋白源, 以氧化鱼油 (过氧化物值 POV 为 45 Meq O_2 /kg 油) 为脂肪源配制基础饲料, 维生素 E 醋酸酯 (纯度 50%) 的添加量依次为 0 mg/kg、100 mg/kg、300 mg/kg、700 mg/kg、1 500 mg/kg 饲料, 共配制五种不同维生素 E 含量的配合饲料, 投喂平均体重 18.7 g 的黑鲷幼鱼 9 周。结果显示, 饲料中添加维生素 E 可以显著降低全鱼的脂肪含量 ($P < 0.05$), 而对肝脏与肌肉中脂肪含量并未有显著的影响 ($P > 0.05$); 随着饲料中维生素 E 添加量的增加, 鱼肝脏中的维生素 E 含量显著升高 ($P < 0.05$); 饲料中添加维生素 E 显著降低了肝脏中丙二醛 (MDA) 的含量 ($P < 0.05$), 且随着饲料中维生素 E 添加量的增加肝脏 MDA 含量呈现下降的趋势, 但添加维生素 E 100、300 和 700 mg/kg 组间, 700 和 1500 mg/kg 组间肝脏 MDA 含量均无显著性差异。与此同时, 饲料中添加维生素 E 可以显著降低肝脏超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、谷胱甘肽 - 硫 - 转移酶 (GST) 活性 ($P < 0.05$), 并且 SOD、CAT 活性随着饲料中维生素 E 添加量的增加呈下降趋势, 但维生素 E 对谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-px) 与谷胱甘肽还原酶 (GR) 活性并未产生显著性影响 ($P > 0.05$)。由此可见, 在投喂黑鲷氧化鱼油条件下饲料中添加维生素 E 在一定程度上可以减缓体内由于氧化鱼油胁迫所产生的脂质过氧化程度, 减轻由于体内过氧化所造成的机体损伤。

关键词: 黑鲷; 氧化鱼油; 维生素 E; 脂肪; 抗氧化

中图分类号: S 963.1 文献标识码: A

Effect of dietary vitamin E on lipid content and hepatic antioxidant enzyme activities of juvenile black seabream, *Acanthopagrus schlegeli* fed oxidized fish oil

PENG Shi-ming¹, CHEN Li-qiao¹, HOU Jun-li¹, WANG Wei¹,
LONG Zhang-qiang¹, YE Jin-yun², SUN Xin-jin¹

(1. College of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, China)

Abstract: A feeding experiment was conducted to evaluate the effects of dietary vitamin E levels on lipid content and hepatic antioxidant enzyme activity of juvenile black seabream *Acanthopagrus schlegeli* fed diets

收稿日期: 2007-09-18

基金项目: 浙江省科技重大项目 (2002C12015)

作者简介: 彭士明 (1980 -), 男, 山东东营人, 博士研究生, 研究方向为水产动物营养生理学。E-mail: shiming.peng@163.com

通讯作者: 陈立侨, Tel: 021 - 62233637, E-mail: lqchen@bio.ecnu.edu.cn

containing oxidized oil. Five diets were formulated utilizing fish meal, squid meal and soybean meal as dietary protein source, and fish oil (which was oxidized to peroxide value POV of 45 meq/kg oil) as dietary lipid source. The addition of α -tocopheryl acetate (purity: 50%) is 0 mg/kg, 100 mg/kg, 300 mg/kg, 700 mg/kg and 1 500 mg/kg dry diet respectively. Juvenile black seabream with an initial weight 18.7 g, were fed test diets to apparent satiation twice a day lasting for 9 weeks. Significant ($P < 0.05$) inter-treatment differences in whole body fat content were found, but no differences in liver and muscle fat content were noted ($P > 0.05$). Dietary vitamin E level significantly affected hepatic vitamin E content. Hepatic vitamin E level increased when dietary vitamin E increased. The increment of dietary vitamin E significantly reduced hepatic MDA levels ($P < 0.05$). However, there were no significant differences among 100 mg/kg, 300 mg/kg, 700 mg/kg vitamin E supplementation groups and between 700 mg/kg and 1 500 mg/kg vitamin E supplementation groups, respectively. Catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD) and glutathione-S-transferase (GST) activities in fish liver were all significantly reduced by dietary vitamin E supplementation ($P < 0.05$), and with the increase of vitamin E supplementation, CAT and SOD activities were also reduced. In contrast, glutathione peroxidase (GPX) and glutathione reductase (GR) were less affected by the dietary vitamin E supplementation ($P > 0.05$). In conclusion, the present study showed that dietary vitamin E supplementation can partially abrogated the lipid peroxidation in fish fed diets containing oxidized oil, to some extent, lessened the damage to the fish caused by high pro-oxidative stress.

Key words: *Acanthopagrus schlegeli*; oxidized oil; vitamin E; lipid; antioxidant

脂质过氧化特别是多不饱和脂肪酸的氧化会引发体内膜脂的氧化损伤,并最终破坏细胞生物膜的结构^[1]。对于鱼类,由氧自由基所引发的体内脂质过氧化是许多疾病产生的主要原因^[2]。由于海水鱼必须从饲料中获得 n-3HUPA,因此可以说饲料中高含量的 HUFA 一方面是海水鱼正常生长所必需的营养素,另一方面也是其体内产生过氧化的一种负荷^[1]。研究已证明维生素 E 是一种脂溶性的抗氧化剂,可以有效的抑制体内脂类过氧化^[3]。目前针对维生素 E 的抗氧化机制研究大都以哺乳动物为研究对象^[4-5],而在鱼类上的研究,特别是维生素 E 针对油脂氧化胁迫的抗氧化作用的研究仍然较匮乏。通过对金头鲷 (*Sparus aurata* L.)^[1]和杂交罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[3]的研究中发现,维生素 E 的抗氧化能力在不同鱼种及饲养模式下存在差异。本实验以海水养殖种类黑鲷 (*Acanthopagrus schlegeli*)为研究对象,以氧化鱼油为脂源配制基础饲料,通过在饲料中添加不同剂量的 α -生育酚醋酸酯,研究其对海水网箱养殖黑鲷各组织中脂肪含量及其肝脏抗氧化酶活性的影响,旨在为水产养殖业的健康与可持续发展提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验饲料的制备

1.1.1 氧化鱼油的制备

氧化鱼油的制备参考文献[3]的方法。油脂过氧化值、酸价和碘价的测定依次采用国标 GB/T 5538-1995、氢氧化钾滴定法和 Hanus 法。氧化鱼油的各种氧化指标见表 1。

表 1 氧化鱼油的氧化指标

Tab.1 Oxidative indices of oxidized fish oil

指标	过氧化值 (meq O ₂ /kg)	酸价 (mg/g)	碘价 (g/100g)
新鲜鱼油	1.27 ± 0.11	1.10 ± 0.01	145.95 ± 2.11
氧化鱼油	45.48 ± 0.11	5.11 ± 0.16	143.42 ± 1.54

1.1.2 饲料配制

试验的基础饲料以鱼粉、豆粕与鱿鱼粉作为蛋白源,以氧化鱼油作为脂肪源。维生素 E 醋酸酯(纯度 50%)的添加量分别为 0 mg/kg、100 mg/kg、300 mg/kg、700 mg/kg、1 500 mg/kg 饲料,共配制五种不同维生素 E 含量的配合饲料,依次表示为 E0、E1、E2、E3、E4。饲料原料经粉碎并过 40 目筛,混和均匀后制成直径为 2 mm 的颗粒饲料,置于 -20 °C 冰箱备用。饲料粗蛋白、粗脂肪与灰分含量测定方法分别采用凯氏定氮法、索氏抽提法与灼烧法(550 °C)。基础饲料组成和营养成分见表 2。

1.2 试验用鱼

黑鲷幼鱼购自宁波市海湾水产苗种繁育中心。暂养一周后,选取体质健壮、大小整齐的黑鲷幼鱼作为试验用鱼,平均体重为(18.7 ± 0.1) g。

1.3 试验设计及饲养管理

试验于浙江象山港内的海水网箱中进行,网箱规格为 1 m × 1 m × 2 m,共有五种饲料即五个处理,每个处理设三重复,每个网箱随机放养 30 尾鱼。日投喂 2 次,分别在 8:00 和 16:00 时,每次投喂至鱼摄食不活跃为止,饲料基本无浪费。实验周期为 9 周,试验期间养殖海区溶氧 7 mg/L 以上,水温(28 ± 1) °C, pH 值 7.83 ~ 8.05,盐度 24.3 ~ 25.9。

1.4 样品采集与分析

实验结束后,停食 24 h,从每个网箱中随机选取 5 尾鱼经 MS222 麻醉后解剖取其肝脏,肝脏样品置于 -70 °C 冰箱保存待测。组织样品在 4 °C 下解冻,剪碎,按 1:9 重量体积比(w/v)加入预冷的 50 mmol/L 磷酸缓冲液(pH 值 7.4),然后匀浆(均在冰上操作)。匀浆液经 10 000 r/min 离心 10 min,取上清液备用。

丙二醛 MDA 用 TBA 法测定(nmol/mg prot)^[6]。

维生素 E 用高效液相色谱法测定(μg/g 组织湿重)。

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽-硫-转移酶(GST)和谷胱甘肽还原酶(GR)的测定采用南京建成生物工程研究所的试剂盒,谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-px)的测定采用碧云天生物研究所的试剂盒,具体测定方法参照试剂盒的说明书。

组织匀浆液的蛋白含量以福林-酚试剂法测定^[7]。

1.5 数据处理

数据以平均值 ± 标准误(Mean ± SE)表示(n = 3),试验结果用 SPSS11.0 软件进行统计与分析,采用 Duncan 检验进行多重比较,P < 0.05 即认为有显著性差异。

2 结果

2.1 添加维生素 E 对幼鱼脂肪含量的影响

表 3 列出了饲养 9 周后各处理组幼鱼全鱼、肝脏、肌肉中的脂肪含量(湿重比)。由表 3 可以看出,与未添加维生素 E 的 E0 组相比,添加不同维生素 E 的 E1、E2、E3、E4 各组,其全鱼的脂肪含量依次降低了 22.3%、29.0%、25.8% 和 23.4%,统计分析表明,饲料中不同维生素 E 添加组全鱼的脂肪含量均

表 2 基础饲料组成和营养成分
Tab.2 The component and its composition of the basal diets

饲料原料	含量(g/kg)
鱼粉	400
豆粕	260
面粉	209.5
鱿鱼粉	18
氧化鱼油	100
复合维生素 ¹	5
维生素 C 磷酸酯	0.5
胆碱	2
复合矿物质 ²	5
营养成分(n = 3)	
粗蛋白(%)	42.72
粗脂肪(%)	16.92
粗灰分(%)	12.75
维生素 E(mg/kg) a-Tocopherol	118

注:1. 每千克饲料添加(mg/kg):肌醇 400,烟酸 150,泛酸钙 44,维生素 B₂20,维生素 B₆12,维生素 K₃10,维生素 B₁10,维生素 A 醋酸酯 7.3,叶酸 5,生物素 1,维生素 D₃0.06,维生素 B₁₂0.02。

2. 每千克饲料添加: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

显著低于对照 E0 组 ($P < 0.05$),但随着维生素 E 添加量的增加,鱼体脂肪含量的变化并不十分明显。肝脏中脂肪含量随着添加 VE 量的增加有下降的趋势,但与对照组相比无显著性差异 ($P > 0.05$);肌肉中脂肪含量的变化趋势与肝脏脂肪的变化趋势相同。

表 3 添加维生素 E 对黑鲷全鱼、肝脏、肌肉中脂肪含量的影响

Tab. 3 Effects of adding V_E on fat content in whole body, liver and muscle of juvenile black seabream

处理	全鱼 (%)	肝脏 (%)	肌肉 (%)
E0	11.94 ± 0.06 ^a	14.67 ± 0.27	1.80 ± 0.01 ^a
E1	9.29 ± 0.17 ^b	13.79 ± 0.36	1.78 ± 0.02 ^a
E2	8.48 ± 0.07 ^c	14.02 ± 0.78	1.77 ± 0.09 ^a
E3	8.86 ± 0.12 ^{bc}	13.67 ± 0.44	1.75 ± 0.05 ^a
E4	9.15 ± 0.09 ^b	13.53 ± 0.29	1.59 ± 0.01 ^b

注:表中数据为的平均值 ± 标准误,同一列数据不同上标字母代表有显著差异 ($P < 0.05$)

2.2 添加维生素 E 对黑鲷幼鱼肝脏中 V_E 、MDA 含量的影响

图 1 和图 2 表明,饲料中添加维生素 E 对幼鱼肝脏中维生素 E 与脂质过氧化中间产物丙二醛 MDA 的含量有明显的影。随着饲料中维生素 E 添加量的增加,除 E1 组外其它三组幼鱼肝脏中维生素 E 的含量均显著高于 E0 组 ($P < 0.05$),E0、E1、E2、E3、E4 组肝脏中维生素 E 的含量依次为 97.65、494.12、807.06、1 240.00、2 557.65 $\mu\text{g/g}$ 组织湿重。与对照组相比,饲料中添加维生素 E 显著降低了肝脏中 MDA 的含量 ($P < 0.05$),但随着维生素 E 添加量的增加,E1、E2 和 E3 组间肝脏 MDA 含量并没有显著性差异,E3 和 E4 组之间也没有显著性差异 ($P > 0.05$)。E1、E2、E3、E4 组肝脏中 MDA 含量较 E0 组依次降低了 23.4%、22.5%、36.0%、45.0%。

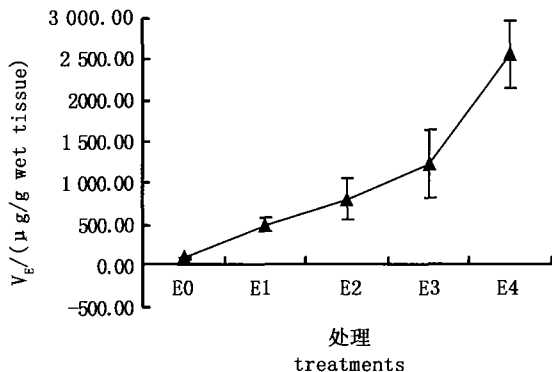


图 1 添加维生素 E 对黑鲷肝脏中维生素 E 含量的影响
Fig. 1 Effects of adding V_E on hepatic V_E content in juvenile black seabream

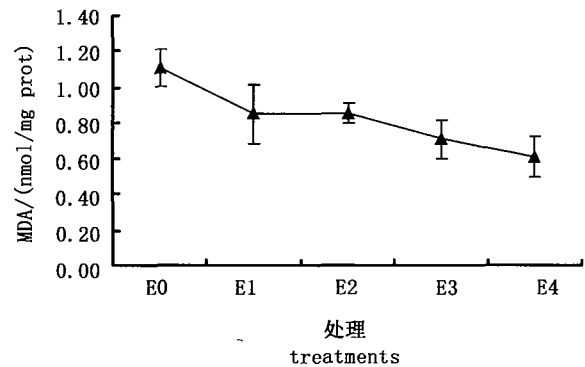


图 2 添加维生素 E 对黑鲷肝脏中 MDA 含量的影响
Fig. 2 Effects of adding V_E on hepatic MDA content in juvenile black seabream

2.3 添加维生素 E 对黑鲷肝脏中几种抗氧化酶活性的影响

表 4 列出了用实验饲料饲养黑鲷幼鱼 9 周后黑鲷肝脏中几种抗氧化酶活性的变化。由表 4 可以看出,饲料中添加维生素 E 可以显著降低肝脏中 SOD、CAT 与 GST 活性 ($P < 0.05$),但随着饲料中维生素 E 添加量的增加 SOD、CAT 与 GST 活性的变化并不十分明显。随着饲料中维生素 E 添加量的增加,肝脏中 SOD 活性呈现降低的趋势。CAT 活性具有与 SOD 相似的变化规律。GST 活性随着饲料中维生素 E 添加量的增加呈现出波动性的变化,但 E1、E2、E3 和 E4 组 GST 活性均显著性低于 E0 组 ($P < 0.05$)。同时,试验结果还显示,饲料中添加维生素 E 对 GSH-px 与 GR 活性并没有产生显著性的影响 ($P > 0.05$)。

表 4 添加 VE 对黑鲷肝脏中主要抗氧化酶活性的影响

Tab. 4 Effects of adding VE on hepatic antioxidant defence enzymes in juvenile black seabream

处理	超氧化物歧化酶 (U/mg prot)	过氧化氢酶 (U/g prot)	谷胱甘肽过氧化物酶 (mU/mg prot)	谷胱甘肽-硫-转移酶 (U/mg prot)	谷胱甘肽还原酶 (U/g prot)
E0	48.49 ± 0.55 ^a	446.41 ± 5.85 ^a	5.56 ± 0.41	28.03 ± 1.57 ^a	2.17 ± 0.07
E1	39.93 ± 0.78 ^b	316.14 ± 5.74 ^b	5.52 ± 0.36	22.61 ± 0.74 ^{bc}	2.25 ± 0.17
E2	34.91 ± 1.51 ^c	299.48 ± 9.61 ^b	5.29 ± 1.15	23.45 ± 2.16 ^b	2.45 ± 0.21
E3	34.75 ± 1.57 ^c	248.31 ± 10.24 ^c	5.10 ± 0.32	18.88 ± 0.88 ^c	2.31 ± 0.22
E4	34.18 ± 0.89 ^c	265.68 ± 9.76 ^c	4.98 ± 0.20	23.68 ± 1.13 ^b	2.37 ± 0.20

注:表中数据为的平均值 ± 标准误,同一列数据不同上标字母代表有显著差异 ($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 添加维生素 E 对黑鲷组织中脂肪含量的影响

脂肪氧化酸败产生的大量具有不良气味的醛、酮等低分子化合物及过氧化物,除会影响饲料的适口性和营养价值,刺激肠粘膜而降低了鱼类的采食及其对营养素的吸收外,对鱼类还有直接毒害作用,如会造成肝脏肿大、脂肪变性积累和代谢紊乱等^[8]。饲料中添加维生素 E 可以在一定程度上减缓这种由于脂质过氧化所造成的对机体的损伤^[9],降低组织中脂质过氧化产物丙二醛的含量^[3],提高组织中维生素 E^[1,3]及还原性谷胱甘肽的含量^[3],并最终可以提高鱼体的增重率^[3,10]。本试验结果显示,饲料中添加维生素 E 可显著降低全鱼的脂肪含量,肝脏、肌肉中脂肪含量也同样表现出下降的趋势。但随着维生素 E 添加量的增加,机体中脂肪含量的变化并不十分明显。提示在氧化鱼油饲料中添加适量维生素 E 可以提高黑鲷对饲料中油脂的利用,原因可能是饲料中添加维生素 E 致使鱼体组织中的维生素 E 含量升高,而组织中维生素 E 含量的升高则有效抑制了机体中脂质过氧化程度,降低了组织中的脂质过氧化产物丙二醛的含量^[3-4],提高了机体脂肪的利用率,从而减少了鱼体中脂肪的积累。此外,结果显示,肌肉中脂肪含量较低而全鱼与肝脏中脂肪含量则较高,原因主要在于试验所用脂肪来源为氧化鱼油,使鱼体腹腔与肝脏中脂肪过多积累所致。

3.2 添加维生素 E 对黑鲷肝脏中 V_E 、MDA 含量的影响

目前要直接检测氧化损伤尚有一定的困难,一般是通过测定氧自由基作用于各种生物分子如脂质蛋白及 DNA 而引起的损伤来评估氧化损伤。其中丙二醛(MDA)、异前列腺素等是目前检测氧化损伤的标记,此为还可通过检测抗氧化剂如 V_E 、 V_C 等来间接反应机体的氧化损伤程度。

本研究中,饲料中的维生素 E 含量显著影响组织中的维生素 E 含量,随着饲料中维生素 E 添加量的增加,黑鲷肝脏中维生素 E 的含量也相应增加。Stephan 等^[11]对大菱鲆(*Scophthalmus maximus*), Gatta 等^[12]对舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*), Ruff 等^[13]对庸鲈(*Hippoglossus hippoglossus*)的研究中同样发现,鱼体肝脏中维生素 E 的含量随着饲料中维生素 E 含量的增加而增加。由于维生素 E 是一种有效的生物抗氧化剂,可与脂氧自由基或脂过氧自由基反应,使脂质过氧化链式反应中断,从而清除体内过多的自由基,因此组织中较高的维生素 E 含量可以有效抑制组织中的脂质过氧化^[3]。本试验中随着维生素 E 添加量的增加黑鲷肝脏中维生素 E 含量逐渐升高,可从一个方面预示着其抗氧化能力在逐渐得到加强。但 Kaewsrihong 等^[14]在对香鱼(*Plecoglossus altivelis*)的研究中发现,饲料中较多的维生素 E 可导致香鱼机体脂质过氧化程度加强,使血浆和红细胞中脂质过氧化产物过氧化氢物的含量增加。一般来说,维生素 E 可中断脂质过氧化的链式反应而自身转变为维生素 E 自由基^[15]。在正常情况下,体内维生素 E 自由基的消除主要依靠两种途径,一是其和另一脂质过氧化自由基反应生成非自由基的产物,二是被组织中维生素 C 或者还原性谷胱甘肽还原成维生素 E^[16-17]。因而过多添加维生素 E 导致香鱼血浆与红细胞中脂质过氧化反应加剧的原因,可能是机体组织中维生素 C 的含量不足以消除机体内产生的维生素 E 自由基^[14]。此外,已有资料证实组织中过量的维生素 E 自由基还可与脂质底物及过氧化

氢物反应生成新的脂质过氧化自由基^[18-20],而体内脂质过氧化自由基的增多则最终加剧了机体脂质氧化的程度。因此,分析认为,只有饲料中添加适量的维生素 E 方可有效抑制机体中的脂质过氧化程度。

丙二醛(MDA)是多不饱和脂肪酸氧化降解的主要产物之一,可以反映机体内的脂质过氧化程度,同时也是评定抗氧化维生素如维生素 E 和 C 在抑制组织脂质过氧化方面有效性的一种指标^[21-22]。本研究中,饲料中添加维生素 E 的 E1、E2、E3 和 E4 组其肝脏中 MDA 含量均明显低于未添加维生素 E 的 E0 组,提示饲料中添加维生素 E 可以有效抑制肝脏中的脂质过氧化,从而降低了脂质过氧化对肝细胞的损伤。Mourente 等^[1]在对金头鲷(*Sparus aurata* L.)、Huang 等^[3]在杂交罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)的研究中均发现,饲料中添加维生素 E 均可显著性降低组织中 MDA 的含量。

3.3 添加维生素 E 对黑鲷肝脏中主要抗氧化酶活性的影响

针对抗氧化酶的研究大都集中在其抗毒性作用^[23]和其在不同发育阶段的活性变化^[24-25]。动物体参与清除体内过多自由基的防御系统可以分为非酶系统和酶系统,非酶系统主要包括维生素 E、维生素 C、β-胡萝卜素、谷胱甘肽、巯基类化合物以及一些微量元素如硒、铜、锌等;而体内清除自由基的抗氧化酶系统主要包括超氧化物歧化酶(清除超氧阴离子)、过氧化氢酶(清除过氧化氢)、谷胱甘肽过氧化物酶及谷胱甘肽-硫-转移酶(清除脂质氢过氧化物)及谷胱甘肽还原酶(维持体内还原性谷胱甘肽的水平)等。体内维生素 E 和抗氧化酶共同组成机体抗氧化防御系统,因而机体维生素 E 含量可直接影响氧化油脂对抗氧化酶的作用。从本研究的结果来看,饲料中添加维生素 E 的 E1、E2、E3 和 E4 组其肝脏中 SOD 和 CAT 活性均显著低于未添加维生素 E 的 E0 组。Mourente 等^[1]在对金头鲷的研究中也发现,在投喂氧化油脂时饲料中添加维生素 E 可显著降低金头鲷肝脏中 SOD 和 CAT 的活性。但也有资料显示,在高氧胁迫下维生素 E 对大西洋鲑体内的抗氧化系统并未产生显著性影响^[26],原因可能是维生素 E 的抗氧化作用机制在不同鱼种和胁迫因子条件下存在一定差异。此外,已有研究证实淡水鱼与海水鱼之间、鱼体不同组织之间其抗氧化酶活性也存在差异^[27-28],这也是导致不同试验结果间产生差异的原因之一。

本试验中,饲料中添加维生素 E 可显著降低 SOD、CAT、GST 活性,但随着饲料中维生素 E 添加量的增加,SOD、CAT、GST 活性并未出现显著性变化,原因可能是在氧化油脂胁迫下维生素 E 的抗氧化作用具有一定的限度,或者是此时酶活力已足以消除胁迫的负面影响。试验结果还显示,投喂氧化鱼油条件下饲料中添加维生素 E 对黑鲷肝脏 GSH-px 和 GR 活性没有产生显著性影响。Mourente 等^[1]的实验结果同样表明,添加维生素 E 对金头鲷肝脏 GSH-px 和 GR 活性没有显著性的影响,Vallsa 等^[29]的报道也指出添加维生素 E 对高脂胁迫下小鼠肝脏 GSH-px 活性并没有显著性影响。究其原因,可能是当 GSH-px 和 GR 活力已达到足以清除体内脂质氢过氧化物自由基、维持体内还原型谷胱甘肽水平的能力时,维生素 E 对两者不具有明显的生理效应,但确切的原因还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] Mourente G, Diaz-Salvago E, Bell J G, et al. Increased activities of hepatic antioxidant defence enzymes in juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fed dietary oxidized oil: attenuation by dietary vitamin E[J]. *Aquaculture*, 2002, 214: 343 - 361.
- [2] Sakai T, Murata H, Endo M, et al. Severe oxidative stress is thought to be a principal cause of jaundice of yellowtail *Seriola quinqueradiata* [J]. *Aquaculture*, 1998, 160: 205 - 214.
- [3] 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* × *O. aureus*, fed oxidized oil [J]. *Aquaculture*, 2004, 237: 381 - 389.
- [4] Suzuk H, Jang H G, Rhim J H. Effect of oxidized fish oil and α-tocopherol on the peroxidation of erythrocyte membrane phospholipids in rats [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 1999, 37: 509 - 513.
- [5] Valls V, Goicoechea M, Muniz P, et al. Effect of corn oil and vitamin E on the oxidative status of adipose tissues and liver in rat [J]. *Food Chemistry*, 2003, 81: 281 - 286.
- [6] Rueda-Jasso R, Conceição L E C, Dias J, et al. Effect of dietary non-protein energy levels on condition and oxidative status of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2004, 231, 417 - 433.

- [7] Lowry O H, Rosebrough N L, Randall R I. Protein measurement with Folin phenol reagent[J]. J Biol Chem, 1951, 193:265 – 275.
- [8] 任泽林, 霍启光. 氧化油脂对动物机体的影响[J]. 动物营养学报, 2000, 12(3):1 – 13.
- [9] Baker R T M, Davies S J. Increased production of docosahexaenoic acid(22:6 n-3, DHA) in catfish nutritionally stressed by the feeding of oxidized oils and the modulatory effect of dietary α -tocopheryl acetate[J]. Journal of Fish Biology, 1996, 49:748 – 752.
- [10] Baker R T M, Davies S J. Oxidative nutritional stress associated with feeding rancid oils to African catfish, *Clarias gariepinus*(Burchell) and the protective role of α -tocopherol[J]. Aquac Res, 1996, 27:795 – 803.
- [11] Stephan G, Guillaume J, Lamour F. Lipid peroxidation in turbot (*Scophthalmus maximus*) tissue: effect of dietary vitamin E and dietary n-6 or n-3 polyunsaturated fatty acid[J]. Aquaculture, 1995, 130:251 – 268.
- [12] Gatta P P, Pirini M, Testi S, et al. The influence of different levels of dietary vitamin E on sea bass, *Dicentrarchus labrax* flesh quality[J]. Aquac Nutr, 2000, 6:47 – 52.
- [13] Ruff N, FitzGerald R D, Cross T F, et al. Fillet shelf-life of Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus* L. fed elevated levels of α -tocopheryl acetate[J]. Aquac Res, 2002, 33:1059 – 1071.
- [14] Kaewsritthong J, Ohshima T, Ushio H, et al. Effects of an excess dose of dietary α -tocopherol on hydroperoxide accumulation and erythrocyte osmotic fragility of sweet smelt *Plecoglossus altivelis*(Temminck et Schlegel)[J]. Aquaculture Research, 2001, 32(Suppl. 1):191 – 198.
- [15] Tappel A L. Vitamin E. In: The Vitamins (ed. by G. F. Combs) [M]. New York: Academic Press, 1992:179 – 203.
- [16] Pecker J E, Slater T F, Willson R L. Direct observation of a free radical interaction between vitamin E and vitamin C[J]. Nature, 1979, 278:737 – 738.
- [17] Sato K, Niki E, Shimasaki H. Free radical mediated chain oxidation of low density lipoprotein and its synergistic inhibition by vitamin E and vitamin C[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1990, 279:402 – 405.
- [18] Terao J, Matsushita S. The peroxidizing effect of α -tocopherol on autoxidation of methyl linoleate in bulk phase[J]. Lipids, 1986, 21:255 – 260.
- [19] Mukai K, Okauchi Y. Kinetic study of reaction between tocopheroxyl radical and unsaturated fatty acid esters in benzene[J]. Lipids, 1989, 24:936 – 939.
- [20] Mukai K, Sawada K, Kohno Y, et al. Kinetic study of the peroxidation effect of tocopherol. Hydrogen abstraction from lipid hydroperoxides by tocopheroxyls in solution[J]. Lipids, 1993, 28:747 – 752.
- [21] Harats D, Ben-Naim M, Dabach Y, et al. Effect of vitamin C and E supplementation on susceptibility of plasma lipoproteins to peroxidant induced by acute smoking[J]. Atherosclerosis, 1990, 85:47 – 54.
- [22] de Zwart L L, Meerman J H N, Commandeur J N M, et al. Biomarkers of free radical damage: applications in experimental animals and in humans[J]. Free Radic Biol Med, 1999, 26:202 – 226.
- [23] Martinez-Lara E, Toribio F, Lopez-Barea J, et al. Glutathione-S-transferase isoenzyme patterns in the gilthead seabream (*Sparus aurata*) exposed to environmental contaminants[J]. Comp Biochem Physiol, 1996, 113C:215 – 220.
- [24] Otto D M E, Moon T W. Endogenous antioxidant systems of two teleost fish, the rainbow trout and the black bullhead, and the effect of age [J]. Fish Physiol Biochem, 1996, 15:349 – 358.
- [25] Peters L D, Livingstone D R. Antioxidant enzyme activities in embryologic and early larval stages of turbot[J]. J Fish Biol, 1996, 49:986 – 997.
- [26] Lygren B, Hamre K, Waagbø R. Effect of induced hyperoxia on the antioxidant status of Atlantic salmon *Salmo salar* L. fed three different levels of dietary vitamin E[J]. Aquac Res, 2000, 31:401 – 407.
- [27] Wdzieczak J, Zalesna G, Wujec E, et al. Comparative studies on superoxide dismutase, catalase and peroxidase levels in erythrocytes and livers of different freshwater and marine fish species[J]. Comp Biochem Physiol, 1982, 73B:361 – 365.
- [28] Lemaire P, Viarengo A, Canesi L, et al. Pro-oxidant and antioxidant processes in gas gland and other tissues of cod (*Gadus morhua*) [J]. J Comp Physiol, 1993, 163:477 – 486.
- [29] Vallsa V, Goicoechea M, Munizc P, et al. Effect of corn oil and vitamin E on the oxidative status of adipose tissues and liver in rat[J]. Food Chemistry, 2003, 81:281 – 286.