

文章编号: 1000-0615(2018)01-0100-12

DOI: 10.11964/jfc.20160810507

## 氧化鱼油对黄颡鱼幼鱼肠道健康的影响及精氨酸的干预作用

卓丽欣<sup>1,2</sup>, 赵红霞<sup>1</sup>, 黄燕华<sup>1</sup>, 曹俊明<sup>1\*</sup>,  
王国霞<sup>1</sup>, 陈冰<sup>1</sup>, 孙育平<sup>1</sup>

(1. 广东省农业科学院动物科学研究所, 广东 广州 510640;

2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

**摘要:** 为研究饲料中添加氧化鱼油对黄颡鱼幼鱼肠道免疫、抗氧化和其他功能指标、组织结构的影响及添加精氨酸对其的干预作用, 采用2×3设计方式, 在饲料中分别添加新鲜鱼油(FF): 氧化鱼油(OF)按照(m/m)2.5: 0、1.5: 1.0和0.5: 2.0的比例配制3种基础饲料(FF, OF1, OF2), 在基础饲料中分别添加0.48%精氨酸(Arg)盐酸盐配制3种精氨酸饲料(FFA, OFA1, OFA2), 选取初始体质量为(4.41±0.05) g的黄颡鱼600尾, 随机分为6组, 每组4个重复, 分别投喂6种实验饲料, 饲养56 d。结果显示, 在OF2组中, 黄颡鱼肠道酸性磷酸酶(ACP)、碱性磷酸酶(AKP)活性和白细胞介素-6(IL-6)含量显著升高; 与OF2组相比, OFA2组AKP活性和IL-6含量均显著下降。在FF、OF1、OF2三组中, 肠道超氧化物歧化酶(SOD)活性呈下降趋势, 谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)和过氧化氢酶(CAT)活性呈现上升趋势, 总抗氧化能力(T-AOC)呈现先下降后上升的趋势, 但差异均不显著; 在OF2组中, 丙二醛(MDA)含量显著升高; 添加精氨酸后, 除SOD活性有显著升高外, 其他抗氧化指标的组间均无显著性差异。双因素方差分析显示, 精氨酸对黄颡鱼肠道CAT活性的影响达到显著水平, 饲料中氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼肠道GSH-PX活性的影响存在交互作用。在FF、OF1、OF2三组中, 肠道二胺氧化酶(DAO)活性呈现下降趋势, 一氧化氮合酶(iNOS)活性呈现上升趋势, 但差异均不显著; 与OF2组相比, OFA2组的DAO和iNOS活性分别显著升高和下降; 双因素方差分析显示, 精氨酸(Arg)对黄颡鱼肠道DAO、iNOS活性的影响分别达到显著水平。在OF1组中, 肠道皱壁高度、肌层厚度和杯状细胞数量均明显升高; 与OF2组相比, OFA2组皱壁高度和杯状细胞数量明显升高; 与FF组相比, FFA组肌层厚度明显增加。双因素方差分析显示, 氧化鱼油对黄颡鱼肠道皱壁高度的影响达到显著水平。研究表明, 在饲料中添加一定水平的氧化鱼油会抑制黄颡鱼幼鱼肠道免疫及抗氧化指标, 损伤肠道组织结构, 但添加一定量的精氨酸可以缓解氧化鱼油对黄颡鱼幼鱼肠道免疫、抗氧化和组织结构的抑制作用。

**关键词:** 黄颡鱼; 氧化鱼油; 精氨酸; 肠道; 免疫指标; 抗氧化指标

**中图分类号:** S 963.7

**文献标志码:** A

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*), 鲇形目(Siluriformes), 鲿科(Bagridae), 黄颡鱼属(*Pelteobagrus*)。由于其蛋白质含量高、营养丰富、味道鲜美等优点, 成为我国淡水水体中分布较广的

底层经济杂食性鱼类。由于人工养殖密度过高、水质污染、饲料营养成分不足等因素, 导致实际养殖中伴随着较多病害, 其中肠炎作为较普遍的病症之一, 一直被人们所关注。肠

收稿日期: 2016-08-09 修回日期: 2016-12-17

资助项目: 国家自然科学基金(31402307)

通信作者: 曹俊明, E-mail: junmcao@163.com

道是动物最大的消化、吸收器官,也是最大的免疫、防御器官和内分泌器官。其作为动物体消化系统的第一道屏障,起着分隔肠腔内物质,防止致病性抗原入侵的作用。近年来,饲料质量对组织结构和功能的影响成为研究热点之一,饲料营养物质在维护鱼类肠道屏障结构与功能方面有重要的作用,而饲料中潜在的有毒有害物质如油脂的氧化产物也是破坏肠道结构屏障与功能的主要因素,并可能作为病原生物感染的原发性因素<sup>[1]</sup>。鱼油中含有丰富的多不饱和脂肪酸,因此被视为人工配合饲料的理想脂肪源,但由于本身的高度不饱和性,导致其极易发生氧化变质,产生大量的自由基、过氧化物(如丙二醛)等,这些油脂氧化产物会使肠道产生氧化应激,损伤肠道屏障功能<sup>[2-3]</sup>。

精氨酸作为鱼类的必需氨基酸,在生物体内参与多种代谢反应,如蛋白质、尿素和鸟氨酸的合成,谷氨酸和脯氨酸的代谢,肌酸和多胺的合成,胰岛素和胰高血糖素的排泄等,对促进鱼类生长、增强鱼体免疫、提高抗应激能力有着重要的作用<sup>[4-7]</sup>。已有研究表明,饲料中添加精氨酸可以改善斑点叉尾鲴(*Ictalurus punctatus*)<sup>[8]</sup>、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)<sup>[9]</sup>、杂交条纹鲈(*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)<sup>[10]</sup>、黄颡鱼<sup>[11]</sup>等鱼类的生长性能及免疫抗氧化功能。本实验前期研究亦表明,饲料中添加一定水平的精氨酸可以促进黄颡鱼的生长性能,提高抗氧化能力,其适宜添加水平为2.74%<sup>[12]</sup>,并且探讨了氧化鱼油和精氨酸的不同组合对黄颡鱼生长性能及免疫抗氧化指标的影响<sup>[13]</sup>。目前,关于精氨酸在氧化鱼油所致黄颡鱼肠道损伤的干预作用尚未见报道。为进一步揭示精氨酸对黄颡鱼肠道抗饲料氧化因子能力的影响,本实验以黄颡鱼幼鱼为研究对象,研究了饲料中添加不同组合的氧化鱼油和精氨酸对其肠道免疫及抗氧化指标和其他功能性指标、组织结构的影响,探讨了氧化鱼油的抑制效果和精氨酸的干预作用,以便为精氨酸在黄颡鱼饲料中的合理利用提供进一步的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 氧化鱼油的制作

氧化鱼油的制作参考殷永风等<sup>[14]</sup>的方法,

并略作改进。将500 g新鲜鱼油装到1 L的烧瓶中,其氧化条件为50 °C恒温水浴,且连续充气。每隔2天,取少量氧化鱼油测定过氧化值(POV),测定方法以SN/T 0801.3-2011为主要依据,并参照赵新淮等<sup>[15]</sup>、袁奕彬<sup>[16]</sup>等的测定方法。当氧化鱼油的POV值达到预期值时停止充气,放置在-20 °C的冰箱中保存备用。

### 1.2 实验饲料

用鱼粉、豆粕作为主要蛋白源,高筋面粉为主要糖源,豆油和鱼油为脂肪源配制实验饲料,以新鲜鱼油:氧化鱼油(*m/m*)分别为2.5:0、1.5:1.0和0.5:2.0添加配制3种饲料(FF、OF1和OF2),在此基础上的比例分别添加0.48% L-精氨酸盐酸盐(纯度≥99%,购自宁波海德氨基酸工业有限公司,中国)配制3种精氨酸饲料(FFA、OFA1和OFA2)。实验饲料原料成分和含量如表1所示。饲料原料经粉碎后过60目筛,按配方准确称取,各种饲料成分逐级混匀后,分别添加相应的油脂,用捏合机捏合,混合均匀后,加适量水在搅拌机中搅拌均匀,用SLX-80型双螺杆挤压机(华南理工大学科技实业总厂,中国)制成直径为1.5 mm条状,在G-500型造粒机(华南理工大学科技实业总厂,中国)中制成颗粒饲料,55 °C烘干,自然冷却后放入密封袋中,置于-20 °C冰箱中保存备用。

采用出口动植物油脂过氧化值检测方法(SN/T 0801.3-2011)测定6种饲料的POV,其结果分别为12.70、14.09、33.70、12.15、14.06、34.00 meq/kg。

### 1.3 实验鱼与饲养管理

实验用鱼购自广东省清远市黄沙渔业基地。正式实验前,黄颡鱼在室外水泥池中暂养2周,期间投喂商品饲料,每天2次。养殖实验在广东省农业科学院动物科学研究所水产研究室室内循环水养殖系统中进行,该系统由直径80 cm、高70 cm的圆柱形玻璃纤维桶组成,容水量约为300 L。选取初始体质量为(4.41±0.05) g的黄颡鱼600尾,随机分为6组,每组4个重复,每个重复25尾鱼,分别投喂6种实验饲料,标记为FF、OF1、OF2、FFA、OFA1和OFA2。投喂量为体质量的5%~6%,每天08:30和18:30各投喂1次。养殖系统采取循环水过滤,养殖用水为曝气的自来水,进水速率为1.5 L/min,定时换水。实验期间自然光源,水温29.5~33.0 °C,氨氮<0.20 mg/L,

表 1 实验饲料组成及营养水平(风干基础)  
**Tab. 1 Formulation and proximate composition of experimental diets(air-dry basis)** %

原料 ingredient	饲料 diets					
	FF	OF1	OF2	FFA	OFA1	OFA2
鱼粉 fish meal	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
豆粕 soybean meal	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
菜粕 rapeseed meal	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
玉米蛋白粉 corn gluten meal	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
高筋面粉 bread flour	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50	22.50
多维 vitamins premix <sup>a</sup>	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
多矿 minerals premix <sup>b</sup>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
VC酯 vitamin C ester	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
氯化胆碱 choline chloride	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
L-精氨酸盐酸盐 L-Arginine HCl	0.00	0.00	0.00	0.48	0.48	0.48
豆油 soybean oil	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
新鲜鱼油 fresh fish oil	2.50	1.50	0.50	2.50	1.50	0.50
氧化鱼油 oxidized fish oil	0.00	1.00	2.00	0.00	1.00	2.00
合计 total	100.00	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
<b>营养水平 nutrient levels<sup>c</sup></b>						
粗蛋白 crude protein	42.47	42.83	41.99	43.56	43.89	42.06
粗脂肪 crude lipid	8.53	8.43	8.53	8.86	8.94	8.74
灰分 ash	7.12	6.82	6.76	6.86	6.73	6.72
水分 moisture	8.49	8.58	8.16	8.37	8.56	8.11
精氨酸 Arg	2.63	2.80	2.81	3.26	3.15	3.22

注: a. 每千克维生素预混料: 维生素A 3 200 000 IU, 维生素B<sub>1</sub> 4 g, 维生素B<sub>2</sub> 8 g, 维生素B<sub>6</sub> 4.8 g, 维生素B<sub>12</sub> 16 mg, 维生素D<sub>3</sub> 1 600 000 IU, 维生素E 16 g, 维生素K 4 g, 泛酸钙16 g, 叶酸1.28 g, 烟酸28 g, 肌醇40 g, 生物素 64 mg。水分≤10%。 b. 每千克矿物质预混料: 硫酸镁 12 g, Ca(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 9 g, 氯化钾36 g, 蛋氨酸铜1.5 g, 硫酸锌10 g, 硫酸亚铁 1 g, 蛋氨酸钴 250 mg, 硒氧化钠 0.0036 g。 c. 营养水平为实测值  
 Notes: a. One kilogram of multi-vitamin premix: VA 3 200 000 IU, VB<sub>1</sub> 4 g, VB<sub>2</sub> 8 g, VB<sub>6</sub> 4.8 g, VB<sub>12</sub> 16 mg, VD<sub>3</sub> 1 600 000 IU, VE 16 g, VK 4 g, calcium pantothenate 16 g, folic acid 1.28 g, nicotinic acid 28 g, inositol 40 g, biotin 64 mg. moisture≤10%. b. One kilogram of mineral premix: MgSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 12 g, Ca(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 9 g, KCl 36 g, Met-Cu 1.5 g, ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 10 g, FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 1 g, Met-Co 250 mg, NaSeO<sub>3</sub> 0.0036 g. c. Nutrient levels were measured values

亚硝酸盐<0.01 mg/L, 溶氧>6.0 mg/L, pH 7.4~7.9。养殖实验为期56 d。

1.4 样品采集

养殖实验结束停食24 h后, 从每个重复随机选取7尾鱼, 放入 120 mg/L的MS-222溶液中麻醉。从中随机选取3尾鱼进行解剖, 取其前肠置于固定液中保存, 用于实验鱼肠道切片制作;

将另外4尾鱼进行解剖, 取其全肠置于-20 °C冰箱保存, 用于测定免疫及抗氧化指标、肠道功能性指标。

肠道上清液制备: 称取一定质量的全肠样品, 加9倍体积的0.86%预冷生理盐水在冰水浴中进行匀浆, 3000 r/min离心10 min, 取上清液, 置于-20 °C冰箱保存, 用于测定肠道免疫、抗氧化指标及肠道二胺氧化酶(DAO)、一氧化氮合酶

(iNOS)和一氧化氮(NO)指标。

### 1.5 指标测定及分析

黄颡鱼肠道免疫、抗氧化指标及其他功能性指标分析 肠道上清液用试剂盒进行指标测定。试剂盒均购自南京建成生物工程研究所, 具体测定方法参照试剂盒所附说明书。测定指标包括: 酸性磷酸酶(ACP)、碱性磷酸酶(AKP)、白细胞介素-6(IL-6)和免疫球蛋白(IgM), 超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)、过氧化氢酶(CAT)、总抗氧化能力(T-AOC)和丙二醛(MDA), 二胺氧化酶(DAO)、一氧化氮合酶(iNOS)和一氧化氮(NO)。

黄颡鱼肠道组织结构分析 实验鱼前肠组织石蜡切片的制作和观察在武汉谷歌生物科技有限公司完成。采用光学显微镜观察(H.E×100)前肠组织切片, 并用成像系统进行图像采集。利用Image-Pro Plus 6软件对前肠组织褶皱高度、肌层厚度和杯状细胞数量分别进行测定。

### 1.6 实验数据统计

实验数据用平均值±标准差(mean±SD, n=4)表示, 采用SPSS 20.0软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 利用Duncan氏法分析比较各组之间的数据。采用SAS 9.0 软件进行双因素方差分析(Two-Way ANOVA)。差异显著性水平为P<0.05。

## 2 结果

### 2.1 六组黄颡鱼的肠道免疫指标

在FF、OF1、OF2三组中, 黄颡鱼肠道ACP、AKP活性和IL-6含量呈现升高趋势, 均在OF2组达到显著水平(P<0.05)(表2); IgM含量随着氧化鱼油添加量的增加, 呈现先上升后下降的趋势。添加精氨酸后, 与OF2组相比, OFA2组肠道AKP活性显著下降(P<0.05), IL-6含量显著下降(P<0.05), 其下降率达到66.1%; 氧化鱼油添加量较低时, 同等水平下IgM含量呈现降低趋势, 但差异不显著(P>0.05)。经双因素方差分析, 氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼ACP、AKP活性和IL-6、IgM含量的影响没有呈现交互作用(P>0.05)。

### 2.2 六组黄颡鱼的肠道抗氧化指标

在FF、OF1、OF2三组中, 肠道SOD活性呈下降趋势, 其中OF2比FF组下降26.6%, GSH-PX和CAT活性呈现上升趋势, T-AOC呈现先下降后上升的趋势, 但均没有显著性差异(P>0.05)(表3); MDA含量呈现上升趋势, 在OF2组达到显著水平(P<0.05)。添加精氨酸后, OFA2的SOD比OF2升高14.6%; 与OF2组相比, OFA2组的GSH-PX活性和MDA含量显著下降(P<0.05), 分别下降了46.2%和38.1%; 同等氧化鱼油水平下, T-AOC呈现上升趋势, 但差异不显著

表2 氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼肠道免疫指标的影响

Tab. 2 The influence of oxidized fish oil and Arg on intestinal immune indexes of yellow catfish (*P. fulvidraco*)

	酸性磷酸酶/(U/g prot) ACP	碱性磷酸酶/(U/g prot) AKP	白细胞介素-6/(ng/L) IL-6	免疫球蛋白/(g/L) IgM
FF	0.42±0.07 <sup>a</sup>	0.95±0.48 <sup>a</sup>	597.25±262.92 <sup>a</sup>	0.09±0.04
OF1	0.61±0.13 <sup>b</sup>	1.07±0.58 <sup>a</sup>	1222.00±82.02 <sup>b</sup>	0.17±0.12
OF2	0.61±0.15 <sup>b</sup>	2.35±0.65 <sup>b</sup>	1784.75±313.91 <sup>c</sup>	0.04±0.001
FFA	0.54±0.06 <sup>ab</sup>	1.16±0.39 <sup>a</sup>	1268.00±151.32 <sup>b</sup>	0.02±0.01
OFA1	0.59±0.10 <sup>ab</sup>	1.05±0.27 <sup>a</sup>	1045.33±272.02 <sup>b</sup>	0.10±0.10
OFA2	0.57±0.06 <sup>ab</sup>	1.13±0.54 <sup>a</sup>	605.00±90.56 <sup>a</sup>	0.05±0.06
双因素方差分析 Two-Way ANOVA				
氧化鱼油 OF	0.37	0.75	0.06	0.41
精氨酸 Arg	0.24	0.99	0.16	0.90
氧化鱼油×精氨酸 OF×Arg	0.30	0.68	0.24	0.89

注: 同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05), 不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下同

Notes: In the same column, values with no or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), with different lowercase superscripts mean significant difference (P<0.05). The same below

表 3 氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼肠道抗氧化指标的影响

Tab. 3 The influence of oxidized fish oil and Arg on intestinal antioxidant indexes of yellow catfish (*P. fulvidraco*)

	超氧化物歧化酶/ (U/mg prot) SOD	谷胱甘肽过氧化物酶/ (U/mg prot) GSH-PX	过氧化氢酶/ (U/mg prot) CAT	总抗氧化能力/ (U/mg prot) T-AOC	丙二醛/ (umol/mg prot) MDA
FF	3.83±0.47	57.49±25.39 <sup>ab</sup>	1.54±1.26 <sup>a</sup>	1.60±0.61	5.96±2.82 <sup>a</sup>
OF1	3.46±0.86	79.67±40.75 <sup>ab</sup>	2.32±1.57 <sup>ab</sup>	1.48±0.84	7.08±1.43 <sup>a</sup>
OF2	2.81±1.69	101.31±12.47 <sup>b</sup>	3.76±1.10 <sup>b</sup>	1.96±0.81	10.24±2.54 <sup>b</sup>
FFA	2.79±1.40	86.61±22.07 <sup>ab</sup>	2.83±0.90 <sup>ab</sup>	2.51±1.18	4.27±0.58 <sup>a</sup>
OFA1	3.17±0.88	77.01±24.79 <sup>ab</sup>	1.50±0.56 <sup>a</sup>	1.64±0.78	6.38±2.08 <sup>ab</sup>
OFA2	3.22±0.86	54.46±18.30 <sup>a</sup>	2.05±1.88 <sup>ab</sup>	2.09±0.10	6.34±4.49 <sup>ab</sup>
双因素方差分析 Two-Way ANOVA					
氧化鱼油 OF	0.93	0.62	0.36	0.29	0.60
精氨酸 Arg	0.62	0.45	0.005	0.53	0.86
氧化鱼油×精氨酸 OF×Arg	0.44	0.02	0.31	0.33	0.39

( $P>0.05$ )。其他抗氧化指标组间均无显著性差异( $P>0.05$ )。双因素方差分析显示,精氨酸对黄颡鱼肠道CAT活性的影响达到显著水平( $P<0.05$ );饲料中氧化鱼油和精氨酸对肠道GSH-PX活性的影响存在交互作用( $P<0.05$ )。

### 2.3 六组黄颡鱼的肠道二胺氧化酶、一氧化氮合酶活性和一氧化氮含量

在FF、OF1、OF2三组中,肠道DAO活性呈现下降趋势,iNOS活性呈现上升趋势,但差异均不显著( $P>0.05$ )(表4);NO含量在各组间的差异

不显著( $P>0.05$ );与OF2组相比,OFA2组DAO活性显著升高( $P<0.05$ ),iNOS活性显著下降( $P<0.05$ )。双因素方差分析显示,精氨酸对黄颡鱼肠道DAO、iNOS活性的影响分别达到显著水平( $P<0.05$ )。

### 2.4 六组黄颡鱼前肠的皱壁高度、肌层厚度和杯状细胞数量

在FF、OF1、OF2三组中,前肠皱壁高度、肌层厚度和杯状细胞数量均在OF1组明显升高,但均未达到显著性差异水平( $P>0.05$ )(表5)。与

表 4 氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼肠道二胺氧化酶、一氧化氮合酶和一氧化氮指标的影响

Tab. 4 The influence of oxidized fish oil and Arg on intestinal DAO, iNOS activities and NO content of yellow catfish (*P. fulvidraco*)

	二胺氧化酶/(U/L) DAO	一氧化氮合酶/(U/mg prot) iNOS	一氧化氮/(umol/g prot) NO
FF	1.87±0.82 <sup>ab</sup>	262.31±66.36 <sup>abc</sup>	33.76±4.05
OF1	2.27±0.58 <sup>b</sup>	221.12±69.57 <sup>abc</sup>	35.92±2.70
OF2	1.35±0.52 <sup>a</sup>	288.38±67.00 <sup>c</sup>	33.15±3.27
FFA	1.80±0.33 <sup>ab</sup>	284.13±52.12 <sup>bc</sup>	32.60±4.67
OFA1	2.27±0.48 <sup>b</sup>	215.16±39.74 <sup>ab</sup>	33.89±7.03
OFA2	2.64±1.02 <sup>b</sup>	193.46±62.08 <sup>a</sup>	37.36±10.10
双因素方差分析 Two-Way ANOVA			
氧化鱼油 OF	0.18	0.37	0.89
精氨酸 Arg	0.04	0.04	0.75
氧化鱼油×精氨酸 OF×Arg	0.57	0.06	0.53

表 5 氧化鱼油和精氨酸对黄颡鱼前肠组织结构的影响

Tab. 5 The influence of oxidized fish oil and Arg on foregut structure of yellow catfish (*P. fulvidraco*)

	皱壁高度/ $\mu\text{m}$ height of fold	肌层厚度/ $\mu\text{m}$ thickness of muscle	杯状细胞数/(个/根) number of goblet cell
FF	1161.71 $\pm$ 179.73 <sup>ab</sup>	173.17 $\pm$ 63.46	85.43 $\pm$ 32.92
OF1	1405.92 $\pm$ 162.14 <sup>b</sup>	208.99 $\pm$ 29.37	99.46 $\pm$ 55.44
OF2	1072.80 $\pm$ 123.36 <sup>a</sup>	198.90 $\pm$ 41.04	67.21 $\pm$ 11.47
FFA	1081.27 $\pm$ 59.30 <sup>a</sup>	196.14 $\pm$ 46.35	75.61 $\pm$ 28.58
OFA1	1316.14 $\pm$ 269.98 <sup>ab</sup>	209.44 $\pm$ 78.80	93.19 $\pm$ 23.45
OFA2	1334.86 $\pm$ 118.65 <sup>ab</sup>	181.97 $\pm$ 27.33	82.69 $\pm$ 26.28
双因素方差分析 Two-Way ANOVA			
氧化鱼油 OF	0.03	0.44	0.43
精氨酸 Arg	0.65	0.60	0.99
氧化鱼油 $\times$ 精氨酸 OF $\times$ Arg	0.08	0.57	0.72

OF2组相比, OFA2组皱壁高度和杯状细胞数量分别升高24.4%和23.0%; 与FF组相比, FFA组肌层厚度升高13.3%。双因素方差分析显示, 氧化鱼油对黄颡鱼肠道皱壁高度的影响达到显著水平( $P < 0.05$ ), 氧化鱼油和精氨酸对皱壁高度、肌层厚度和杯状细胞数量的影响没有呈现交互作用( $P > 0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 氧化鱼油对黄颡鱼肠道免疫指标的影响及精氨酸的干预作用

鱼类和哺乳动物一样, 具有非特异性和特异性免疫功能, 能通过黏膜屏障、组织和体液中各种免疫细胞和因子共同抵御病原入侵<sup>[1]</sup>。ACP和AKP是巨噬细胞溶酶体的标志酶, 参与动物机体的免疫活动。其中ACP活性表示吞噬细胞清除异物的能力, AKP活性除了表示吞噬细胞清除异物的能力外, 还与一些营养物质的消化吸收能力有关<sup>[17]</sup>。已有研究表明, 氧化鱼油会抑制机体免疫机能<sup>[3]</sup>。本实验结果显示, 随着氧化鱼油添加量的增加, 黄颡鱼肠道ACP和AKP活性显著升高, 说明随着氧化产物等有害物质含量的提高, 黄颡鱼肠道作为机体免疫防御的第一道防线, 通过提高肠道ACP和AKP活性, 增强吞噬细胞清除外源有害物质的能力。已有研究表明, 精氨酸可增强鱼类机体的免疫功能<sup>[4, 7]</sup>。在本实验中, 摄食添加精氨酸的氧化鱼油饲料

后, 黄颡鱼肠道AKP活性显著下降。原因可能是精氨酸有效促进了黄颡鱼肠道组织结构的完整性, 同时降低了肠黏膜的通透性, 从而阻止外界有害物质侵入体内, 导致肠道免疫指标相对下降。炎症是常见的病理过程, 可以发生在机体各组织和器官。参与炎症反应研究的具有代表性的细胞因子主要有IL-1、IL-6和TNF- $\alpha$ 。其中IL-6对机体具有广泛的生物学功能, 在机体的免疫调节、炎症反应、造血调控等过程中均发挥重要作用。IL-6不仅可以促进B细胞增殖分化并产生抗体, 而且还可促进IgM的转化<sup>[18-19]</sup>。本实验结果显示, 随着氧化鱼油添加量的增加, 黄颡鱼肠道IL-6含量显著升高, 该结果与黄琳等<sup>[20]</sup>对新生仔猪上的研究结果相类似, 说明一定量的氧化产物会造成黄颡鱼肠道的炎症反应。在本实验中, 摄食添加精氨酸的氧化鱼油饲料后, 黄颡鱼肠道IL-6含量显著下降。该结果与Pohlenz等<sup>[21]</sup>对斑点叉尾鲟、Jiang等<sup>[22]</sup>对建鲤(*Cyprinus carpio* var. *jian*)、程镇燕等<sup>[23]</sup>对杂交条纹鲈、王际英等<sup>[24]</sup>对仿刺参(*Apostichopus japonicus*)、朱春华等<sup>[25]</sup>对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的研究结果相一致。说明精氨酸可以改善黄颡鱼肠道免疫系统, 缓解氧化产物对黄颡鱼肠道造成的损伤。其作用机理可能是精氨酸通过影响Th-2细胞来调控IL-6分泌量, 从而提高IgM<sup>+</sup>细胞分泌免疫球蛋白的能力, 提高特异性抗体滴度, 增强鱼类体液免疫功能, 或是精氨酸能抑制某些抗炎症因子的表达, 从而抑制鱼

类的炎症应答<sup>[22]</sup>,但具体机制有待深入研究。研究表明,鱼类能进行体液和细胞免疫应答,而免疫球蛋白是鱼类特异性体液免疫应答的主要介质<sup>[26]</sup>。本实验结果表明,随着氧化鱼油添加量的增加,黄颡鱼肠道IgM含量呈现先上升后下降的趋势。该结果与Jiang等<sup>[22]</sup>对建鲤的研究结果一致。进一步证实了黄颡鱼摄食少量氧化产物时,机体通过调节IgM含量,来提高自身特异性体液免疫应答,以减缓外源物质对机体造成的损伤。当氧化产物过高,超出机体本身的免疫应答能力时,造成机体代谢紊乱,使其本身特异性体液免疫下降。

### 3.2 氧化鱼油对黄颡鱼抗氧化指标的影响及精氨酸的干预作用

上皮细胞结构完整性与其抗氧化能力有关,抗氧化酶活性和非酶抗氧化物质含量可反映鱼类抗氧化能力<sup>[27]</sup>。SOD、GSH-PX和CAT是生物体抗氧化防御系统的重要物质,可清除体内活性氧自由基,保护细胞膜及细胞内的核酸抵御膜损伤<sup>[28]</sup>。本实验结果显示,随着氧化鱼油添加量的增加,黄颡鱼肠道SOD活性呈现下降趋势,GSH-PX和CAT活性显著提高。该结果与陈科全等<sup>[29]</sup>对草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)的研究结果相一致。说明一定量的氧化产物会造成黄颡鱼肠道的氧化应激反应,原因可能是黄颡鱼通过调节肠道GSH-PX和CAT等抗氧化相关酶的分泌量,来抵御氧化产物积累量过高对黄颡鱼肠道造成的氧化损伤。吴俊光等<sup>[30]</sup>在杂交鲟(*Acipenser schrenckii* Brandt♀×*A. baeri* Brandt♂)上的研究表明,精氨酸可增强鱼体的抗氧化功能。本实验结果显示,在摄食添加精氨酸的氧化鱼油饲料后,与OF2组相比,OFA2组黄颡鱼肠道SOD活性升高14.6%,GSH-PX活性下降46.2%,说明添加精氨酸后,可缓解较高氧化鱼油水平对黄颡鱼肠道的氧化应激现象。本实验经双因素方差分析可知,饲料中氧化鱼油和精氨酸对肠道GSH-PX活性的影响存在交互作用。并且精氨酸对黄颡鱼肠道CAT活性的影响达到显著水平,说明氧化鱼油饲料中添加一定量精氨酸可有效抑制氧化产物对黄颡鱼机体造成的毒副作用。其作用机理可能是精氨酸通过促进抗氧化酶合成,提高组织抗氧化能力,保护鱼体在应激条件下的上皮组织结构完整性,增强其屏障功能<sup>[31]</sup>;

或是精氨酸通过提高肠道黏膜细胞的增殖,来抵御膜损伤,这方面有待进一步研究。本实验结果显示,适量添加精氨酸后,同等氧化鱼油水平下,T-AOC呈现上升趋势,进一步说明精氨酸可提高机体组织的抗氧化能力。氧化应激能使细胞膜上的蛋白质和脂肪氧化降解,破坏细胞膜结构。MDA是脂肪氧化降解后的产物,其含量间接反映上皮细胞的氧化损伤程度<sup>[32-33]</sup>。在本实验中,随着氧化鱼油添加量的增加,黄颡鱼肠道MDA含量显著升高。该结果与陈科全等<sup>[29]</sup>对草鱼的研究结果相一致。说明随着氧化产物的积累,黄颡鱼机体内脂质过氧化物质的积累量增多。原因可能是体内细胞膜受到损伤,失去选择透过性功能,导致细胞内液大量外流。本实验结果显示,在摄食添加精氨酸的氧化鱼油饲料后,与OF2组相比,OFA2组黄颡鱼肠道MDA含量的下降率为38.1%。说明添加精氨酸后,黄颡鱼可能通过增强其选择透过性功能,保护体内细胞膜的完整性,从而降低其MDA含量。

### 3.3 氧化鱼油对黄颡鱼肠道DAO、iNOS和NO的影响及精氨酸的干预作用

肠道不仅在消化吸收营养物质过程中发挥着重要作用,而且是机体内分泌、免疫、屏障等功能为一体的重要器官,鱼类肠道健康对于鱼体的整体健康起到非常重要的作用<sup>[34-35]</sup>。DAO是具有高度活性的细胞内酶,该酶在小肠黏膜上皮绒毛中含量高,活性强,在其他组织含量低、活性弱。当肠黏膜细胞受损、肠黏膜通透性增加后,胞内释放大量的DAO会通过肠黏膜屏障而进入血液,使肠道内DAO活性下降<sup>[28]</sup>。因此,DAO是反映肠道黏膜结构和功能情况的理想指标。本实验结果显示,随着饲料中氧化鱼油含量的增加,黄颡鱼肠道DAO活性呈现下降趋势,该结果与陈科全等<sup>[29]</sup>对草鱼肠道的研究结果相一致。说明氧化鱼油损伤了黄颡鱼肠道黏膜屏障的完整性,肠黏膜通透性明显增加。本实验结果显示,添加精氨酸后,OFA2组DAO活性显著升高。经双因素方差分析可知,精氨酸对黄颡鱼肠道DAO活性的影响分别达到显著水平,说明精氨酸有效抑制氧化产物对黄颡鱼肠道黏膜屏障造成的毒副作用。iNOS受细胞因子、内毒素和缺氧等因素的转录调控,一般在正常组织中表达较低<sup>[36]</sup>。本实验结果显示,

随着饲料中氧化鱼油含量的增加, 黄颡鱼肠道 iNOS 活性呈现上升趋势, 与上述得到的结论相同。添加精氨酸后, OFA2 组 iNOS 活性显著下降。其原因可能是精氨酸通过 iNOS 催化产生 NO, 而 NO 在催化机体损伤修复方面起着重要的作用<sup>[37]</sup>, 或是通过调节其他相关酶的活性, 来修复肠黏膜受损细胞、改善肠黏膜通透性, 从而保护肠道形态结构完整性, 防止病原入侵。

### 3.4 氧化鱼油对黄颡鱼肠道组织结构的影响及精氨酸的干预作用

作为机体营养物质消化吸收的主要场所, 肠道也是机体抵御外界病原微生物的第一道防线<sup>[38]</sup>。因此, 良好的肠道黏膜形态结构对保持动物机体健康具有重要意义。肌层厚度、皱壁高度、皱壁宽度、绒毛长度和隐窝深度是评价肠道健康的重要指标。杯状细胞是一种糖蛋白分泌细胞, 其分泌的黏蛋白能润滑肠道, 保护肠上皮黏膜<sup>[39]</sup>。并且它产生的三叶状蛋白能在上皮黏膜受损时与细胞因子和生长因子的协同下加速上皮细胞的愈合<sup>[40]</sup>。因此, 杯状细胞的数量可作为肠黏膜损伤的评价指标。本实验结果显示, 在 OF1 组中黄颡鱼肠道皱壁高度、肌层厚度和杯状细胞数量均明显升高。经双因素方差分析可知, 氧化鱼油对黄颡鱼肠道皱壁高度的影响达到显著水平, 该结果与陈科全等<sup>[29]</sup>对草鱼的研究结果相一致。该现象说明当机体受到外源氧化物刺激后, 机体本身会通过增殖细胞来进行自我组织器官修复, 使肠道皱壁高度和肌层厚度增加以增强肠道吸收营养的能力, 从而减缓氧化产物对机体造成的损伤。当氧化产物过高, 超出机体承受范围时, 会造成机体代谢紊乱, 进而影响肠道组织结构的修复, 最终影响鱼体健康。Cheng 等<sup>[10]</sup>通过研究发现, 精氨酸对杂交条纹鲈前、中和后肠皱壁高度和绒毛高度有显著的提高作用。迟淑艳等<sup>[41]</sup>通过研究发现, 精氨酸对斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)前肠皱壁高度和肌层厚度有显著的提高作用。本实验结果表明, 当在较高水平氧化鱼油饲料中添加一定量的精氨酸后, 可明显改善氧化产物过高时对黄颡鱼肠道皱壁高度和杯状细胞数量造成的损伤。由此可见精氨酸可以保护肠道形态结构, 促进消化吸收, 防止病原入侵。其作用机制可能是黄颡鱼通过肠道组织增生, 促进机体对营养物质的吸收, 进而增强组织代谢及

相关酶的分泌, 最终保护肠道形态结构完整性, 防止病原入侵。

### 参考文献:

- [1] 吴国豪. 肠道屏障功能[J]. 肠外与肠内营养, 2004, 11(1): 44-47.  
Wu G H. Barrier function of intestinal[J]. Parenteral & Enteral Nutrition, 2004, 11(1): 44-47(in Chinese).
- [2] 姚仕彬, 叶元土, 李洁, 等. 鱼油在氧化过程中氧化指标及其脂肪酸组成的变化[J]. 饲料研究, 2012(6): 74-76.  
Yao S B, Ye Y T, Li J, *et al.* Oxidation index and its fatty acid composition changes in fish oil during oxidation[J]. Feed Research, 2012(6): 74-76(in Chinese).
- [3] 张红娟, 刘玉梅, 刘海燕, 等. 油脂氧化对水产动物的危害及其预防对策[J]. 饲料研究, 2013(7): 68-71.  
Zhang H J, Liu Y M, Liu H Y, *et al.* Harms of lipids oxidation to aquatic animals and preventive measures[J]. Feed Research, 2013(7): 68-71(in Chinese).
- [4] 孙红暖, 杨海明, 王志跃, 等. 精氨酸对动物的营养生理及免疫作用[J]. 动物营养学报, 2014, 26(1): 54-62.  
Sun H N, Yang H M, Wang Z Y, *et al.* Nutrition physiological and immune functions of arginine in animals[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(1): 54-62(in Chinese).
- [5] 万军利, 麦康森, 艾庆辉. 鱼类精氨酸营养生理研究进展[J]. 中国水产科学, 2006, 13(4): 679-685.  
Wan J L, Mai K S, Ai Q H. The recent advance on arginine nutritional physiology in fish[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(4): 679-685(in Chinese).
- [6] 王连生, 徐奇友. 鱼类精氨酸营养研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(9): 123-128.  
Wang L S, Xu Q Y. Research advances in arginine nutrition of fish[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2014, 45(9): 123-128(in Chinese).
- [7] Luo Z, Liu Y J, Mai K S, *et al.* Advance in researches on arginine requirement for fish: a review[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(4): 450-459(in Chinese).
- [8] Pohlenz C, Buentello A, le J Helland S, *et al.* Effects of dietary arginine supplementation on growth, protein optimization and innate immune response of channel catfish *Ictalurus punctatus* (Rafinesque 1818)[J]. *Aquaculture Research*, 2014, 45(3): 491-500.
- [9] Ren M C, Ai Q H, Mai K S. Dietary arginine require-



- ment of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. *Aquaculture Research*, 2014, 45(2): 225-233.
- [10] Cheng Z Y, Gatlin D M, Buentello A. Dietary supplementation of arginine and/or glutamine influences growth performance, immune responses and intestinal morphology of hybrid striped bass (*Morone chrysops*×*Morone saxatilis*)[J]. *Aquaculture*, 2012, 362-363: 39-43.
- [11] Zhou Q C, Jin M, Elmada Z C, *et al.* Growth, immune response and resistance to *Aeromonas hydrophila* of juvenile yellow catfish, *Pelteobagrus fulvidraco*, fed diets with different arginine levels[J]. *Aquaculture*, 2015, 437: 84-91.
- [12] Chen Q M, Zhao H X, Huang Y H, *et al.* Effects of dietary arginine levels on growth performance, body composition, serum biochemical indices and resistance ability against ammonia-nitrogen stress in juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)[J]. *Animal Nutrition*, 2016, 2(3): 204-210.
- [13] 卓丽欣, 赵红霞, 黄燕华, 等. 氧化鱼油对黄颡鱼生长性能和抗氧化指标的影响及精氨酸的干预作用[J]. *动物营养学报*, 2017, 29(1): 147-157.
- Zhuo L X, Zhao H X, Huang Y H, *et al.* Influences of oxidized fish oil on growth performance and antioxidant indexes of Yellow Catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) and the use of arginine as an intervention measure[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(1): 147-157(in Chinese).
- [14] 殷永风, 叶元土, 蔡春芳, 等. 在自制氧化装置中氧化时间对豆油氧化指标的影响[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(7): 4052-4054, 4057.
- Yin Y F, Ye Y T, Cai C F, *et al.* Variation of the oxidation index of soybean oil in home-made oxidation device at different time[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(7): 4052-4054, 4057(in Chinese).
- [15] 赵新淮, 张娜, 王琳. 油脂过氧化值的碘量测定法比较研究[J]. *中国油脂*, 2003, 28(4): 60-62.
- Zhao X H, Zhang N, Wang L. Comparison study on POV determination of oils by iodimetry[J]. *China Oils and Fats*, 2003, 28(4): 60-62(in Chinese).
- [16] 袁奕彬. 饲料用鱼油的质量指标与快速鉴定[J]. *广东饲料*, 2009, 18(2): 32-33.
- Yuan Y B. Fish feed quality indicators and rapid identification[J]. *Guangdong Feed*, 2009, 18(2): 32-33(in Chinese).
- [17] 刘云, 孔伟丽, 姜国良, 等. 2种免疫多糖对刺参组织主要免疫酶活性的影响[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(5): 787-793.
- Liu Y, Kong W L, Jiang G L, *et al.* Effects of two kinds of immunopolysaccharide on the activities of immunoenzymes in sea cucumber, *Apostichopus japonicus*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(5): 787-793(in Chinese).
- [18] 吴玥露, 孔薇. 白细胞介素-6在慢性肾小球肾炎中的作用研究[J]. *西部中医药*, 2012, 25(11): 113-116.
- Wu Y L, Kong W. Effects of interleukin-6 on chronic glomerulonephritis[J]. *Western Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2012, 25(11): 113-116(in Chinese).
- [19] 闫志玲, 闫若潜, 吴志明, 等. 重组鸡白细胞介素-6(rChIL-6)对传染性法氏囊炎活疫苗的免疫增强机理研究[J]. *中国兽医学报*, 2014, 34(5): 704-711.
- Yan Z L, Yan R Q, Wu Z M, *et al.* The immune-enhancing mechanism of recombinant chicken interleukin-6 (rChIL-6) protein for the infectious bursal virus inactivated vaccine[J]. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 2014, 34(5): 704-711(in Chinese).
- [20] 黄琳, 蒋宗勇, 林映才, 等. 饲喂氧化鱼油对新生仔猪肠道黏膜免疫应答的影响及大豆异黄酮的干预作用[J]. *动物营养学报*, 2011, 23(5): 799-806.
- Huang L, Jiang Z Y, Lin Y C, *et al.* Influence of oxidized fish oil on intestinal mucosal immune response in neonatal piglets and the use of soybean isoflavones as an intervention measure[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(5): 799-806(in Chinese).
- [21] Pohlenz C, Buentello A, Criscitiello M F, *et al.* Synergies between vaccination and dietary arginine and glutamine supplementation improve the immune response of channel catfish against *Edwardsiella ictaluri*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2012, 33(3): 543-551.
- [22] Jiang J, Shi D, Zhou X Q, *et al.* *In vitro* and *in vivo* protective effect of arginine against lipopolysaccharide induced inflammatory response in the intestine of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *jian*)[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2015, 42(2): 457-464.
- [23] 程镇燕, Buentello J A, Gatlin D M. 饲料中添加精氨酸和谷氨酰胺对杂交条纹鲈生长、免疫和肠道结构的影响[C]//2011年中国水产学会学术年会论文集. 厦门:

- 中国水产学会, 2011.
- Cheng Z Y, Buentello J A, Gatlin D M. Dietary supplementation of arginine and/or glutamine influence growth performance, immune responses and intestinal morphology of hybrid striped bass[C]//Academic Chinese Aquaculture Association Annual Meeting. Xiamen: China Society of Fisheries, 2011 (in Chinese).
- [24] 王际英, 李宝山, 张德瑞, 等. 饲料中添加精氨酸对仿刺参幼参生长、免疫能力及消化酶活力的影响[J]. 水产学报, 2015, 39(3): 410-420.
- Wang J Y, Li B S, Zhang D R, *et al.* Effects of dietary arginine on growth performance, immune responses and digestive enzyme of juvenile sea cucumber *Apostichopus Japonicus* Selenka[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(3): 410-420(in Chinese).
- [25] 朱春华, 李广丽, 吴天力, 等. L-精氨酸对凡纳滨对虾体液免疫因子的影响[J]. 海洋科学, 2009, 33(2): 55-59.
- Zhu C H, Li G L, Wu T L, *et al.* Effects of L-arginine on the humoral immunizing factors of *Litopenaeus vannamei*[J]. Marine Science, 2009, 33(2): 55-59(in Chinese).
- [26] 张立颖, 赵萌. 鱼类免疫球蛋白的研究进展[J]. 水产科学, 2009, 28(11): 701-705.
- Zhang L Y, Zhao M. Advances in the study on immunoglobulin of fishes[J]. Fisheries Science, 2009, 28(11): 701-705(in Chinese).
- [27] Zhao J, Feng L, Liu Y, *et al.* Effect of dietary isoleucine on the immunity, antioxidant status, tight junctions and microflora in the intestine of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *jian*)[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2014, 41(2): 663-673.
- [28] Wen H L, Feng L, Jiang W D, *et al.* Dietary tryptophan modulates intestinal immune response, barrier function, antioxidant status and gene expression of TOR and Nrf2 in young grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2014, 40(1): 275-287.
- [29] 陈科全, 叶元土, 蔡春芳, 等. 饲料氧化鱼油引起草鱼肠道结构损伤、通透性增加[J]. 水生生物学报, 2016, 40(4): 804-813.
- Chen K Q, Ye Y T, Cai C F, *et al.* Effects of dietary oxidized fish oil on the intestinal structure and permeability of grass carp (*Ctenopharyngodon Idellus*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2016, 40(4): 804-813(in Chinese).
- [30] 吴俊光, 王连生, 王常安, 等. 饲料中精氨酸水平对杂交鲟幼鱼抗氧化能力及血清生化指标的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(3): 272-279.
- Wu J G, Wang L S, Wang C A, *et al.* Effects of dietary arginine levels on antioxidative state and serum biochemical indices in juvenile hybrid sturgeon[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2016, 31(3): 272-279(in Chinese).
- [31] 石丹, 周小秋, 赵叶, 等. 精氨酸对鱼类免疫功能的影响及其机制[J]. 动物营养学报, 2015, 27(10): 3026-3032.
- Shi D, Zhou X Q, Zhao Y, *et al.* Effects of arginine on immune function in fish and its mechanism[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(10): 3026-3032(in Chinese).
- [32] Kong X F, Wu G Y, Liao Y P, *et al.* Effects of Chinese herbal ultra-fine powder as a dietary additive on growth performance, serum metabolites and intestinal health in early-weaned piglets[J]. Livestock Science, 2007, 108(1-3): 272-275.
- [33] 白东清, 吴旋, 郭永军, 等. 长期投喂黄芪多糖对黄颡鱼抗氧化及非特异性免疫指标的影响[J]. 动物营养学报, 2011, 23(9): 1622-1630.
- Bai D Q, Wu X, Guo Y J, *et al.* Effect of astragalus polysaccharides on antioxidant and nonspecific immune indices of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) over long-term feeding[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(9): 1622-1630(in Chinese).
- [34] 米海峰, 孙瑞健, 张璐, 等. 鱼类肠道健康研究进展[J]. 中国饲料, 2015(15): 19-22.
- Mi H F, Sun R J, Zhang L, *et al.* Review on the intestinal health of fish[J]. China Feed, 2015(15): 19-22(in Chinese).
- [35] 宋霖, 蔡春芳, 叶元土, 等. 四种植物蛋白对黄颡鱼肠道形态结构的影响[J]. 淡水渔业, 2012, 42(6): 54-60.
- Song L, Cai C F, Ye Y T, *et al.* Effects of four kinds of plant protein on intestinal morphology of *Pelteobagrus Fulvidraco*[J]. Freshwater Fisheries, 2012, 42(6): 54-60(in Chinese).
- [36] Zhou Q C, Zeng W P, Wang H L, *et al.* Dietary arginine requirement of juvenile yellow grouper *Epinephelus awoara*[J]. Aquaculture, 2012, 350-353: 175-182.
- [37] Heffernan D, Dudley B, McNeil P L, *et al.* Local arginine supplementation results in sustained wound nitric ox-

- ide production and reductions in vascular endothelial growth factor expression and granulation tissue formation[J]. *Journal of Surgical Research*, 2006, 133(1): 46-54.
- [38] 王圣, 李绍钰. 家禽肠道黏膜形态结构及其调控的研究进展[J]. *动物营养学报*, 2013, 25(4): 699-704.
- Wang S, Li S Y. Research advances in intestinal mucosal morphology and its regulation in poultry[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(4): 699-704(in Chinese).
- [39] Huerta B, Arenas A, Carrasco L, *et al.* Comparison of diagnostic techniques for porcine proliferative enteropathy (*Lawsonia intracellularis* infection)[J]. *Journal of Comparative Pathology*, 2003, 129(2-3): 179-185.
- [40] Pusterla N, Hilton H, Wattanaphansak S, *et al.* Evaluation of the humoral immune response and fecal shedding in weanling foals following oral and intra-rectal administration of an avirulent live vaccine of *Lawsonia intracellularis*[J]. *The Veterinary Journal*, 2009, 182(3): 458-462.
- [41] 迟淑艳, 韩凤禄, 谭北平, 等. 饲料精氨酸水平对斜带石斑鱼幼鱼生长和肠道形态的影响[J]. *水生生物学报*, 2016, 40(2): 388-394.
- Chi S Y, Han F L, Tan B P, *et al.* Effects of dietary arginine level on growth performance and intestine morphology of juvenile grouper *Epinephelus coioides*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, 40(2): 388-394(in Chinese).

## Influence of oxidized fish oil on the intestinal health of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) and the use of arginine as an intervention measure

ZHUO Lixin<sup>1,2</sup>, ZHAO Hongxia<sup>1</sup>, HUANG Yanhua<sup>1</sup>, CAO Junming<sup>1\*</sup>,  
WANG Guoxia<sup>1</sup>, CHEN Bing<sup>1</sup>, SUN Yuping<sup>1</sup>

(1. Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to investigate the influence of dietary oxidized fish oil (OF) and the intervention of Arginine (Arg) on the intestinal health of juvenile yellow catfish. A total of 600 healthy yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) with an initial body weight of (4.41±0.05) g were randomly divided into 6 groups with 4 replicates of 25 fish. During 56 d feeding trial, the fish were fed respectively six diets containing 2.5% fresh fish oil (FF), 1.5% FF+1.0% OF (OF1), 0.5% FF+2.0% OF (OF2), 2.5% FF+0.48% Arg (FFA), 1.5% FF+1.0% OF+0.48% Arg (OFA1), 0.5% FF+2.0% OF +0.48% Arg (OFA2). The results showed that the ACP, AKP activities and IL-6 content in intestine of yellow catfish were significantly higher in OF2 group. As for addition of arginine to the oxidized fish oil diets, the AKP activity and IL-6 content in intestine of yellow catfish were significantly lower in OFA2 group. The SOD activity in intestine of yellow catfish showed a downward trend and the GSH-PX and CAT activities showed a reversed trend, but there were no significant differences among FF, OF1 and OF2 groups. The SOD activity was significantly higher in OFA2 group. The MDA content in intestine of yellow catfish were significantly higher in OF2 group. Dietary oxidized fish oil and arginine had a significant interaction on the GSH-PX activity in intestine of yellow catfish. The CAT activity in intestine was significantly decreased by the arginine. The DAO activity in intestine of yellow catfish showed a downward trend and the iNOS showed an upward trend, but there was no significant difference among FF, OF1 and OF2 groups. The DAO activity significantly increased and iNOS significantly decreased in OFA2 group. The arginine had a significant impact on the DAO and iNOS activities in intestine of yellow catfish. The height of folds, the thickness of muscles and the number of goblet cells in foregut increased in OF1 group. In comparison with OF2 group, the height of folds and the number of goblet cells in foregut increased in the OFA2 group. Oxidized fish oil showed a significant influence on the height of folds. The results suggest that dietary oxidized fish oil would reduce the intestinal immune and total antioxidant capacity, and damage the structure in foregut of juvenile yellow catfish, but arginine supplementation can alleviate the inhibition induced by oxidized fish oil for intestinal immune, antioxidant capacity and tissue structure.

**Key words:** *Pelteobagrus fulvidraco*; oxidized fish oil; arginine; intestine; immune; antioxidant

**Corresponding author:** CAO Junming. E-mail: junmcao@163.com

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (31402307)