

文章编号: 1000-0615(2016)09-1387-11

DOI: 10.11964/jfc.20160310326

## 不同储存条件的鱼油对斜带石斑鱼幼鱼 生长性能和抗氧化指标的影响

刘迪<sup>1</sup>, 迟淑艳<sup>1\*</sup>, 谭北平<sup>1,2</sup>, 董晓慧<sup>1,2</sup>,  
杨奇慧<sup>1</sup>, 刘泓宇<sup>1</sup>, 章双<sup>1</sup>

(1. 广东海洋大学水产学院, 水产经济动物营养与饲料实验室, 广东 湛江 524088;

2. 南海生物资源开发与利用协同创新中心, 广东 广州 510006)

**摘要:** 为研究不同储存时间、温度、抗氧化剂添加量处理的鱼油对斜带石斑鱼生长性能和抗氧化指标的影响, 实验鱼油采用如下条件进行氧化处理: 储存温度: 4 °C、环境温度(ambient temperature, AT): (31.5±3.5) °C; 抗氧化剂添加量: 30 mg/kg(EQ)、300 mg/kg(HEQ); 储存时间: 45、90 和 135 d。根据鱼油储存方式的不同共分为 14 个处理组, 分别为 T<sub>F+EQ</sub>(正对照组, 新鲜鱼油+EQ)、T<sub>F</sub>(负对照组, 新鲜鱼油未加EQ)、T<sub>4 °C+45d+EQ</sub>、T<sub>4 °C+45d+HEQ</sub>、T<sub>4 °C+90d+EQ</sub>、T<sub>4 °C+90d+HEQ</sub>、T<sub>4 °C+135d+EQ</sub>、T<sub>4 °C+135d+HEQ</sub>、T<sub>AT+45d+EQ</sub>、T<sub>AT+45d+HEQ</sub>、T<sub>AT+90d+EQ</sub>、T<sub>AT+90d+HEQ</sub>、T<sub>AT+135d+EQ</sub>、T<sub>AT+135d+HEQ</sub>, 配制等氮等脂饲料。选择健康幼鱼[初重(18±0.02)g]进行实验, 养殖 8 周。结果显示, T<sub>4 °C+45d+EQ</sub> 组增重率与 T<sub>F+EQ</sub> 组相比无显著差异, 但是显著高于 T<sub>AT+135d+EQ</sub> 组。T<sub>4 °C+45d+EQ</sub>、T<sub>4 °C+45d+HEQ</sub>、T<sub>AT+45d+EQ</sub> 和 T<sub>AT+45d+HEQ</sub> 组饲料系数较低, 与 T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub> 组比差异不显著, 但显著低于 T<sub>AT+135d+EQ</sub>、T<sub>AT+135d+HEQ</sub> 组。T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>4 °C+45d+HEQ</sub> 组细胞结构明显, 细胞内脂肪粒大小正常, T<sub>AT+135d+EQ</sub> 和 T<sub>AT+135d+HEQ</sub> 组鱼油氧化程度较高, 肝细胞中脂肪淤积现象明显。T<sub>4 °C+135d+EQ</sub>、T<sub>AT+135d+EQ</sub> 和 T<sub>AT+135d+HEQ</sub> 组的 CAT 活力显著高于 T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub> 组, SOD 和 GSH-Px 均在 T<sub>AT+135d+EQ</sub> 组达到最高且显著高于 T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub> 组。T<sub>4 °C+45d+EQ</sub>、T<sub>4 °C+45d+HEQ</sub>、T<sub>AT+45d+EQ</sub> 和 T<sub>AT+45d+HEQ</sub> 组肝脏中 MDA 含量与 T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub> 组对比无明显差异, 但是显著低于其余各组。研究表明, T<sub>4 °C+45d+EQ</sub>、T<sub>4 °C+45d+HEQ</sub>、T<sub>AT+45d+EQ</sub> 和 T<sub>AT+45d+HEQ</sub> 组斜带石斑鱼鱼油生长性能和抗氧化指标相对良好, T<sub>4 °C+45d+EQ</sub> 和 T<sub>4 °C+45d+HEQ</sub> 组更优于 T<sub>AT+45d+EQ</sub> 和 T<sub>AT+45d+HEQ</sub> 组, 说明短期、添加抗氧化剂有利于鱼油的保存, 4 °C 比环境温度保存效果更好。

**关键词:** 斜带石斑鱼; 储存条件; 鱼油; 生长性能; 抗氧化指标

**中图分类号:** S 963.32

**文献标志码:** A

近年来, 水产养殖业迅猛发展对水产饲料的需求也大幅增加。饲料原料的供不应求导致大量生产厂家提前购买和储备饲料原料以保证销售旺季时的顺利生产。然而在原料储存过程中储存时间和时间的不同会直接影响其品质,

抗氧化剂也是各种原料中必不可少的稳定剂, 如若添加较少就会缩短原料的储存期限, 但是添加过多亦可能会对饲喂动物造成不良影响, 因此在储存温度、时间和抗氧化剂添加量 3 种因素之间探寻最佳结合点对饲料原料的合理储存

收稿日期: 2016-03-25 修回日期: 2016-05-31

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003020); 广东省教育厅高等学校高层次人才项目粤财教[(2013)246]; 广东省科技厅公益研究与能力建设项目(2016A020206006)

通信作者: 迟淑艳, E-mail: chishuyan77@163.com

显得尤为重要。

鱼油作为水产饲料中的重要脂肪源,可增强饲料的诱食性、提供生长所需的必需脂肪酸、参与机体生物膜的形成、协助脂溶性维生素的吸收、提供能量进而改善饲料蛋白质的利用率<sup>[1]</sup>。但是鱼油富含多种高不饱和脂肪酸,尤其是二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)<sup>[2]</sup>,若储存不当,极易氧化酸败,导致营养物质流失,此外还会产生大量有毒有害物质,如氢过氧化物、醛、酮、醇、酯类和多聚体等物质影响动物的机体健康<sup>[3]</sup>。大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)<sup>[4]</sup>、大西洋鲑(*Salmo salar*)<sup>[5]</sup>、和庸鲈(*Hippoglossus hippoglossus*)<sup>[6]</sup>摄食含有氧化鱼油的饲料后,其生长性能和抗氧化能力均有所下降。

实验开始前,通过对多家大型饲料厂参观调查发现,鱼油的储存方式多为置于室外,铁质油桶保存,储存时间更是多达数月。因此本实验将不同储存时间、温度、抗氧化剂添加量处理的鱼油添加到饲料中投喂斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*),评估在不同处理条件下氧化的鱼油对斜带石斑鱼生长性能和抗氧化指标的影响,为鱼油的妥善存放和使用提供参考数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验鱼油的前期处理

**实验材料** 实验所用鱼油为新鲜南美鳕鱼鱼油(未添加抗氧化剂, EPA 18%, DHA 12%, 山东禹王制药有限公司);抗氧化剂为乙氧基喹啉(EQ),油状(纯度为95%,广州全奥化工产品有限公司)。

**鱼油处理条件和方法** 储存温度: 4 °C、环境温度(ambient temperature, AT): (31.5±3.5) °C;抗氧化剂添加量: 30 mg/kg(EQ)、300 mg/kg(HEQ);储存时间: 45、90 和 135 d。根据处理方式不同,实验共设置 14 个处理组,详细如下: T<sub>F+EQ</sub>(正对照组,新鲜鱼油+EQ)、T<sub>F</sub>(负对照组,新鲜鱼油未加EQ)、T<sub>4 °C+45d+EQ</sub>、T<sub>4 °C+45d+HEQ</sub>、T<sub>4 °C+90d+EQ</sub>、T<sub>4 °C+90d+HEQ</sub>、T<sub>4 °C+135d+EQ</sub>、T<sub>4 °C+135d+HEQ</sub>、T<sub>AT+45d+EQ</sub>、T<sub>AT+45d+HEQ</sub>、T<sub>AT+90d+EQ</sub>、T<sub>AT+90d+HEQ</sub>、T<sub>AT+135d+EQ</sub>、T<sub>AT+135d+HEQ</sub>。各组鱼油品质见表1。

表 1 鱼油品质

Tab. 1 The quality of fish oil

鱼油 fish oil	指标 index		
	过氧化值/ (meq/kg) POV	酸值/ (mg KOH/g) AV	硫代巴比妥酸 反应物/ (mg/kg) TBARS
T <sub>F+EQ</sub>	3.42	0.64	3.62
T <sub>F</sub>	3.42	0.64	3.62
T <sub>4 °C+45d+EQ</sub>	10	0.75	18.69
T <sub>4 °C+45d+HEQ</sub>	5.95	0.75	16.97
T <sub>4 °C+90d+EQ</sub>	12.26	0.76	26.69
T <sub>4 °C+90d+HEQ</sub>	7.24	0.73	10.47
T <sub>4 °C+135d+EQ</sub>	25.03	0.88	6.89
T <sub>4 °C+135d+HEQ</sub>	11.07	0.87	8.32
T <sub>AT+45d+EQ</sub>	7.66	0.83	14.01
T <sub>AT+45d+HEQ</sub>	12.91	0.76	8.9
T <sub>AT+90d+EQ</sub>	16.09	0.82	16.53
T <sub>AT+90d+HEQ</sub>	20.38	0.91	14.02
T <sub>AT+135d+EQ</sub>	56.89	2.1	17.85
T <sub>AT+135d+HEQ</sub>	43.27	1.55	6.73

### 1.2 实验饲料配方及制作

白鱼粉、去皮豆粕和玉米蛋白粉经粉碎后过60目筛,各原料按配方准确称重,逐级混匀后用双螺杆挤压机(华南理工大学科技实业总厂, F-75)加工制成3.0 mm的颗粒状饲料,晾干后于-20 °C冰箱中储存备用,实验饲料配方见表2。

### 1.3 实验用鱼及饲养管理

实验鱼购自海南文昌石斑鱼苗场,在水泥池中暂养,期间投喂商业饲料,驯化一周后,随机挑选规格一致、健康的斜带石斑鱼[(18±0.02)g]于玻璃钢桶(1000 L)中,养殖实验在广东海洋大学东海岛生物研究基地室内海水鱼养殖系统中进行。实验设14个处理,每个处理3个重复,每个重复30尾鱼。每天分别于8:00和17:00投喂实验饲料,初始投喂量为3%体质量,并根据摄食情况适当调整。实验期间水温(30±1.5) °C,盐度 30±2,溶解氧≥7 mg/L, pH 7.6~8.0,氨氮≤0.03 mg/L,实验持续8周。

### 1.4 样本采集及分析

养殖实验结束,空腹24 h后称重,记录存活

表2 实验饲料配方(干重)

Tab. 2 The formula of the experimental diets (dry weight)

项目 items	实验饲料 experimental diets	%
<b>原料 ingredients</b>		
白鱼粉 white fish meal	45.00	
去皮豆粕 dehulled soybean meal	16.00	
玉米蛋白粉 corn protein powder	7.10	
面粉 wheat flour	20.20	
赖氨酸 lysine	1.30	
蛋氨酸 methionine	0.30	
鱼油 fish oil	6.00	
大豆磷脂油 soybean lecithin	2.00	
维生素预混料 vitamin premix <sup>1</sup>	0.20	
矿物质预混料 mineral premix <sup>2</sup>	0.20	
氯化胆碱 choline chloride	0.50	
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.00	
维生素C(35%) vitamin C	0.05	
甜菜碱 lycine	0.10	
乙氧基喹啉 ethoxyquin	0.05	
合计 total	100.00	
<b>营养成分(干重) proximate composition(DM)</b>		
水分 moisture	11.63	
粗蛋白质 crude protein	50.18	
粗脂肪 ether extract	11.65	
粗灰分 crude ash	10.56	

注: 1. 维生素预混料为每千克饲料提供维生素B<sub>1</sub> 25.5 mg, 核黄素 25 mg, 吡哆醇 50 mg, 氰钴胺素 0.1 mg, 叶酸 6.25 mg, 泛酸钙 61 mg, 肌醇 800 mg, 烟酸 201 mg, 生物素 2.5 mg, 维生素A 10 mg, 维生素D 120 mg, 维生素E 99 mg, 维生素K 10 mg, 纤维素 589.65 mg; 2. 矿物质预混料为每千克饲料提供: 碘酸钾 0.06 mg, 氯化钴 8.14 mg, 硫酸铜 39.68 mg, 柠檬酸铁 27.42 mg, 硫酸锌 56.56 mg, 硫酸锰 0.24 mg, 磷酸钙 160 mg, 硫酸镁 24.86 mg, 氯化钾 30.66 mg, 亚硒酸钠 4 mg, 沸石粉 1648.38 mg

Notes: 1. The vitamin premix provided the following for per Kg of diet: thiamin 25.5 mg, riboflavin 25 mg, pyridoxine 50 mg, cyanocobalamin 0.1 mg, folic acid 6.25 mg, calcium pantothenate 61 mg, inositol 800 mg, niacin 201 mg, biotin 2.5 mg, VA 10 mg, VD 120 mg, VE 99 mg, VK 10 mg, cellulose 589.65 mg; 2. The mineral premix provided the following for per Kg of diet: KIO<sub>3</sub> 0.06 mg, CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 8.14 mg, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 39.68 mg, Ferric citrate 27.42 mg, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 56.56 mg, MnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.24 mg, Ca(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 160 mg, MgSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 24.86 mg, KCl 30.66 mg, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 4 mg, Zeolite powder 1648.38 mg

尾数, 计算存活率、增重率、特定增长率、蛋白质效率和饲料系数。每个重复随机取5尾鱼测

体长、体质量后备测全鱼常规养分; 另取5尾鱼解剖, 取肝脏称重后迅速于液氮中保存, 后置于-80 °C冷冻保存, 用于肝脏酶活力测定; 每桶取1尾鱼解剖取肝脏置于4%甲醛溶液中, 用于肝脏油红O切片的制作。

饲料和全鱼样品进行常规营养分析, 水分测定采用105 °C烘干恒重法, 粗蛋白质采用凯氏定氮法(Kjeltec 8400 凯氏定氮仪), 粗脂肪索式抽提法, 粗灰分采用550 °C马弗炉灼烧法。肝脏超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、丙二醛(MDA)和匀浆液蛋白含量采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定。油红切片于武汉谷歌生物科技有限公司制作。

## 1.5 计算方法

成活率(survival rate, SR, %)= $N_t/N_0 \times 100$ ;

增重率(weight gain rate, WGR, %)= $(W_t - W_0)/W_0 \times 100$ ;

特定增长率(special growth rate, SGR, %/d)= $(\ln W_t - \ln W_0)/t \times 100$ ;

饲料系数(feed coefficient rate, FCR)= $F/(W_t - W_0)$ ;

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER, %)= $[(W_t - W_0)/(F \times P)] \times 100$ ;

肥满度(condition factor, CF, g/cm<sup>3</sup>)= $W_s(g)/L(\text{cm})^3 \times 100$ ;

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %)= $W_l/W_s \times 100$

式中,  $N_t$ 、 $N_0$ 分别为终末尾数、初始尾数,  $W_t$ 、 $W_0$ 分别为终末均重、初始均重,  $F$ 为饲料摄入量,  $P$ 为饲料蛋白质含量,  $W_s$ 、 $W_l$ 分别为个体质量、肝重,  $L$ 为体长。

## 1.6 统计分析

采用SPSS 20.0统计软件对数据进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 如有显著性差异( $P < 0.05$ ), 则进行Duncan氏多重比较。实验数据用平均数±标准差(mean±SD)表示。

## 2 结果

### 2.1 不同储存条件的鱼油对斜带石斑鱼生长性能的影响

T<sub>AT+45d+EQ</sub>、T<sub>AT+135d+EQ</sub>、T<sub>AT+135d+HEQ</sub>组SR显

著低于 $T_{F+EQ}$ 、 $T_F$ 组( $P<0.05$ ), 其余各组与 $T_{F+EQ}$ 、 $T_F$ 组相比差异不显著( $P>0.05$ )(表3)。各组间WGR差异显著, 其中 $T_{AT+135d+EQ}$ 组最低且显著低于 $T_{F+EQ}$ 、 $T_F$ 组( $P<0.05$ ), 其次是 $T_{AT+45d+EQ}$ 、 $T_{AT+135d+HEQ}$ 和 $T_{4^{\circ}C+135d+EQ}$ 组, 但是 $T_{4^{\circ}C+45d+EQ}$ 组与 $T_{F+EQ}$ 组无显著差异( $P>0.05$ )。SGR在 $T_{AT+135d+EQ}$ 组达到最低且显著低于 $T_{F+EQ}$ 、 $T_F$ 组( $P<0.05$ )。PER除 $T_{AT+90d+EQ}$ 和 $T_{AT+135d+EQ}$ 组显著低于 $T_{F+EQ}$ 、 $T_F$ 组( $P<0.05$ )外, 其余各组之间无显著差异( $P>0.05$ )。 $T_{4^{\circ}C+45d+EQ}$ 、 $T_{4^{\circ}C+45d+HEQ}$ 、 $T_{AT+45d+EQ}$ 、 $T_{AT+45d+HEQ}$ 组FCR较低, 与 $T_{F+EQ}$ 、 $T_F$ 组对比差异不显著( $P>0.05$ )。

## 2.2 不同储存条件的鱼油对斜带石斑鱼全鱼体成分和形态指标的影响

不同储存条件的鱼油对斜带石斑鱼全鱼水分和CP的影响不显著( $P>0.05$ )(表4)。 $T_{AT+135d+EQ}$ 和 $T_{AT+135d+HEQ}$ 组EE显著高于 $T_{F+EQ}$ 、 $T_F$ 组( $P<0.05$ ), 其余组与 $T_{F+EQ}$ 、 $T_F$ 组相比无明显差异( $P>0.05$ )。ash在 $T_F$ 组最高,  $T_{AT+90d+EQ}$ 组最低且差异显著( $P<0.05$ )。HSI在 $T_{AT+135d+EQ}$ 组达到最低且显著低于 $T_{F+EQ}$ 、 $T_F$ 组( $P<0.05$ ), 其余各组无明显差异( $P>0.05$ )。CP在 $T_{AT+135d+EQ}$ 组最低且显著低于 $T_{F+EQ}$ 、 $T_F$ 组,  $T_{AT+135d+HEQ}$ 组次之。

表3 不同储存条件的鱼油对石斑鱼生长性能的影响

Tab. 3 The effects of fish oil in different stored conditions on the growth performance of *E. coioides*

实验饲料 diets	初始体质量/ (g/尾) initial weight	终末体质量/ (g/尾) final weight	存活率/% SR	增重率/% WGR	特定增长率 /(%/d) SGR	蛋白质效率/% PER	饲料系数 FCR
$T_{F+EQ}$	18±0.00	61.42±1.03 <sup>s</sup>	100±0.00 <sup>e</sup>	241.22±4.72 <sup>b</sup>	2.12±0.03 <sup>c</sup>	1.67±0.05 <sup>b</sup>	1.01±0.02 <sup>a</sup>
$T_F$	17.99±0.01	60.44±1.87 <sup>fs</sup>	100±0.00 <sup>e</sup>	225.98±3.42 <sup>de</sup>	2.09±0.05 <sup>cde</sup>	1.73±0.07 <sup>b</sup>	1.00±0.02 <sup>a</sup>
$T_{4^{\circ}C+45d+EQ}$	17.99±0.02	60.82±0.84 <sup>fs</sup>	100±0.00 <sup>e</sup>	238.16±5.02 <sup>gh</sup>	2.10±0.03 <sup>de</sup>	1.78±0.02 <sup>b</sup>	1.00±0.06 <sup>a</sup>
$T_{4^{\circ}C+45d+HEQ}$	17.99±0.02	59.79±0.39 <sup>efg</sup>	100±0.00 <sup>e</sup>	232.35±2.17 <sup>efg</sup>	2.07±0.01 <sup>cde</sup>	1.72±0.02 <sup>b</sup>	1.03±0.02 <sup>ab</sup>
$T_{4^{\circ}C+90d+EQ}$	18±0.00	59.10±0.77 <sup>cddef</sup>	100±0.00 <sup>e</sup>	226.01±2.50 <sup>de</sup>	2.05±0.02 <sup>cd</sup>	1.69±0.03 <sup>b</sup>	1.12±0.00 <sup>cd</sup>
$T_{4^{\circ}C+90d+HEQ}$	18±0.00	59.52±1.07 <sup>defg</sup>	100±0.00 <sup>e</sup>	227.36±2.79 <sup>def</sup>	2.06±0.03 <sup>cde</sup>	1.74±0.04 <sup>b</sup>	1.10±0.08 <sup>bcd</sup>
$T_{4^{\circ}C+135d+EQ}$	18±0.00	57.44±0.05 <sup>c</sup>	97.53±4.28 <sup>abc</sup>	219.14±0.29 <sup>c</sup>	2.02±0.04 <sup>c</sup>	1.66±0.03 <sup>b</sup>	1.16±0.03 <sup>de</sup>
$T_{4^{\circ}C+135d+HEQ}$	18±0.01	59.90±0.35 <sup>efg</sup>	100±0.00 <sup>e</sup>	232.86±1.88 <sup>fg</sup>	2.05±0.04 <sup>cde</sup>	1.68±0.15 <sup>b</sup>	1.12±0.02 <sup>cd</sup>
$T_{AT+45d+EQ}$	17.99±0.02	57.69±0.00 <sup>bc</sup>	96.25±0.09 <sup>ab</sup>	220.81±0.59 <sup>cd</sup>	2.05±0.05 <sup>cd</sup>	1.73±0.00 <sup>b</sup>	1.08±0.02 <sup>abc</sup>
$T_{AT+45d+HEQ}$	18±0.00	60.20±0.63 <sup>efg</sup>	98.67±2.31 <sup>bc</sup>	234.42±3.51 <sup>g</sup>	2.08±0.02 <sup>cde</sup>	1.66±0.07 <sup>b</sup>	1.02±0.06 <sup>a</sup>
$T_{AT+90d+EQ}$	18±0.00	55.39±1.23 <sup>b</sup>	100±0.00 <sup>e</sup>	211.53±1.76 <sup>b</sup>	2.04±0.01 <sup>cd</sup>	1.43±0.07 <sup>a</sup>	1.12±0.04 <sup>cd</sup>
$T_{AT+90d+HEQ}$	18±0.01	58.38±0.22 <sup>cde</sup>	97.48±2.18 <sup>abc</sup>	224.28±1.33 <sup>cd</sup>	2.03±0.01 <sup>c</sup>	1.67±0.00 <sup>b</sup>	1.05±0.03 <sup>abc</sup>
$T_{AT+135d+EQ}$	18±0.00	53.40±0.52 <sup>a</sup>	95.01±0.25 <sup>a</sup>	196.69±2.71 <sup>a</sup>	1.88±0.02 <sup>a</sup>	1.39±0.02 <sup>a</sup>	1.22±0.04 <sup>c</sup>
$T_{AT+135d+HEQ}$	18±0.001	55.59±0.58 <sup>b</sup>	96.28±0.25 <sup>ab</sup>	208.79±3.12 <sup>b</sup>	1.95±0.02 <sup>b</sup>	1.65±0.17 <sup>b</sup>	1.21±0.06 <sup>c</sup>

注: 同一列中, 上标小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ ), 相同小写字母或无字母表示差异不显著( $P>0.05$ )

Notes: In the same column, different superscripted small letters mean significant different ( $P<0.05$ ), the same small letter superscripts or no letter superscripts mean no significant differences ( $P>0.05$ ), the same below

## 2.3 不同储存条件的鱼油对斜带石斑鱼肝脏组织形态的影响

油红O染色的石斑鱼肝脏切片中染成蓝色的为细胞核, 染成红色的为脂肪滴(图版)。 $T_{F+EQ}$ 、 $T_{4^{\circ}C+45d+HEQ}$ 组肝细胞中脂肪滴颜色浅、数量少、个体小, 细胞界限清晰无融合现象。 $T_F$ 、 $T_{4^{\circ}C+45d+EQ}$ 、 $T_{4^{\circ}C+90d+EQ}$ 、 $T_{4^{\circ}C+90d+HEQ}$ 、 $T_{4^{\circ}C+135d+EQ}$ 、 $T_{4^{\circ}C+135d+HEQ}$ 、 $T_{AT+45d+EQ}$ 、

$T_{AT+45d+HEQ}$ 组中脂肪滴颜色加深, 体积明显增大占细胞内空间1/2以上, 数量增多。 $T_{AT+90d+EQ}$ 、 $T_{AT+90d+HEQ}$ 、 $T_{AT+135d+EQ}$ 、 $T_{AT+135d+HEQ}$ 组脂肪滴淤积明显增多, 其中 $T_{AT+135d+EQ}$ 组最差, 脂肪滴占据整个细胞, 细胞间界限消失, 出现融合现象。

## 2.4 不同储存条件的鱼油对斜带石斑鱼肝脏抗氧化酶活性和丙二醛含量的影响

$T_{F+EQ}$ 、 $T_F$ 、 $T_{4^{\circ}C+45d+EQ}$ 、 $T_{4^{\circ}C+45d+HEQ}$ 、

表4 不同储存条件的鱼油对斜带石斑鱼全鱼常规成分和形态指标的影响

Tab. 4 The body composition and morphological index of *E. coioides*

实验饲料 diets	水分/% moisture	粗蛋白质/% CP	粗脂肪/% EE	粗灰分/% ash	肝体比/% HSI	肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) CF
T <sub>F+EQ</sub>	73.29±0.60	60.25±0.46	23.40±0.35 <sup>a</sup>	15.05±0.30 <sup>ab</sup>	3.11±0.17 <sup>bcd</sup>	3.05±0.15 <sup>de</sup>
T <sub>F</sub>	73.31±1.27	60.58±0.92	23.20±1.08 <sup>a</sup>	16.20±1.04 <sup>b</sup>	3.26±0.29 <sup>d</sup>	2.98±0.05 <sup>de</sup>
T <sub>4°C+45d+EQ</sub>	73.42±0.34	60.43±0.49	23.59±0.46 <sup>ab</sup>	14.18±0.49 <sup>a</sup>	3.22±0.35 <sup>cd</sup>	3.06±0.08 <sup>e</sup>
T <sub>4°C+45d+HEQ</sub>	72.97±0.56	59.60±0.78	24.14±2.26 <sup>ab</sup>	14.52±0.96 <sup>a</sup>	3.15±0.60 <sup>bcd</sup>	2.90±0.13 <sup>bcd</sup>
T <sub>4°C+90d+EQ</sub>	72.68±0.79	59.85±0.80	24.45±1.21 <sup>ab</sup>	14.40±0.76 <sup>a</sup>	2.88±0.29 <sup>abcd</sup>	2.72±0.26 <sup>ab</sup>
T <sub>4°C+90d+HEQ</sub>	73.48±1.05	59.90±0.66	24.17±1.07 <sup>ab</sup>	14.92±0.10 <sup>ab</sup>	3.05±0.24 <sup>bcd</sup>	2.84±0.10 <sup>abcd</sup>
T <sub>4°C+135d+EQ</sub>	72.74±0.32	60.19±0.29	23.73±0.58 <sup>ab</sup>	14.13±0.62 <sup>a</sup>	2.74±0.36 <sup>abc</sup>	2.78±0.15 <sup>abc</sup>
T <sub>4°C+135d+HEQ</sub>	72.84±0.25	60.39±0.45	23.75±0.74 <sup>ab</sup>	14.71±0.36 <sup>ab</sup>	2.83±0.30 <sup>abcd</sup>	2.80±0.25 <sup>abc</sup>
T <sub>AT+45d+EQ</sub>	72.71±0.79	59.37±0.31	24.05±0.46 <sup>ab</sup>	15.10±0.44 <sup>ab</sup>	2.87±0.35 <sup>abcd</sup>	2.72±0.20 <sup>ab</sup>
T <sub>AT+45d+HEQ</sub>	72.60±0.45	59.62±0.42	24.32±0.92 <sup>ab</sup>	13.83±0.63 <sup>a</sup>	2.89±0.30 <sup>abcd</sup>	2.83±0.23 <sup>abc</sup>
T <sub>AT+90d+EQ</sub>	72.40±0.25	59.39±0.20	24.10±1.00 <sup>ab</sup>	13.78±0.13 <sup>a</sup>	2.83±0.38 <sup>abcd</sup>	2.63±0.13 <sup>a</sup>
T <sub>AT+90d+HEQ</sub>	73.04±0.40	60.07±1.28	24.18±0.55 <sup>ab</sup>	14.85±0.72 <sup>ab</sup>	2.71±0.35 <sup>ab</sup>	2.80±0.18 <sup>abc</sup>
T <sub>AT+135d+EQ</sub>	73.27±0.81	59.88±0.76	25.44±0.40 <sup>b</sup>	14.49±0.05 <sup>a</sup>	2.49±0.29 <sup>a</sup>	2.66±0.11 <sup>a</sup>
T <sub>AT+135d+HEQ</sub>	72.79±0.32	59.78±0.26	25.36±0.32 <sup>b</sup>	14.33±1.38 <sup>a</sup>	2.69±0.19 <sup>ab</sup>	2.75±0.16 <sup>ab</sup>

T<sub>4°C+90d+EQ</sub>、T<sub>4°C+90d+HEQ</sub>组之间CAT活力无明显差异( $P>0.05$ ), T<sub>4°C+135d+EQ</sub>、T<sub>4°C+135d+HEQ</sub>、T<sub>AT+45d+EQ</sub>、T<sub>AT+45d+HEQ</sub>、T<sub>AT+90d+EQ</sub>、T<sub>AT+90d+HEQ</sub>、T<sub>AT+135d+EQ</sub>、T<sub>AT+135d+HEQ</sub>组的CAT活力呈上升趋势,且显著高于T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub>组( $P<0.05$ )(表5)。T<sub>4°C+45d+EQ</sub>和T<sub>4°C+45d+HEQ</sub>组SOD活力与T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub>组相比无明显差异( $P>0.05$ ),但显著低于其余各组( $P<0.05$ )。T<sub>4°C+45d+EQ</sub>、T<sub>4°C+45d+HEQ</sub>组GSH-Px活力与T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub>组相比无明显差异( $P>0.05$ )且处于较低水平,其余组均显著高于对照组( $P<0.05$ ),T<sub>AT+135d+EQ</sub>组GSH-Px活力最高。不同储存条件的鱼油同样对肝脏中MDA含量产生了不同影响,T<sub>4°C+45d+EQ</sub>、T<sub>4°C+45d+HEQ</sub>、T<sub>AT+45d+EQ</sub>和T<sub>AT+45d+HEQ</sub>组肝脏中MDA含量与T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub>组对比无明显差异( $P>0.05$ ),但是显著低于其余各组( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 不同储存条件的鱼油对斜带石斑鱼生长性能的影响

鱼油作为水产动物饲料中重要的脂肪源<sup>[7]</sup>,可以提供大量高不饱和脂肪酸,也正因此若保存或使用不当则易氧化酸败产生有害物质继

而降低饲养动物的生长性能<sup>[8]</sup>。高淳仁等<sup>[9]</sup>用不同程度氧化鱼油投喂真鲷(*Pagrosomus major*)幼鱼时发现当鱼油的POV达到42.6 meq/kg时,SR显著降低,本实验中T<sub>AT+135d+EQ</sub>和T<sub>AT+135d+HEQ</sub>组POV达到56.89 meq/kg和43.27 meq/kg其SR显著低于对照组。T<sub>F+EQ</sub>组WGR和SGR最高,T<sub>AT+135d+EQ</sub>组WGR、SGR和PER均是最低且显著低于T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub>组,其FCR显著高于T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub>组。这与庸鲈<sup>[10]</sup>、真鲷<sup>[11]</sup>结果相似,其主要原因可能是T<sub>AT+135d+EQ</sub>和T<sub>AT+135d+HEQ</sub>组鱼油氧化酸败程度相对于T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub>组较为严重,产生大量有毒物质,其中醇、酯、羧酸、烃、羰基化合物及芳香化合物是主要产物,对动物产生毒害作用,使其正常机能紊乱,严重时导致死亡<sup>[12-13]</sup>;另一方面由于营养价值降低而导致饲喂动物营养不良,生长减缓<sup>[14]</sup>。

#### 3.2 不同储存条件的鱼油对斜带石斑鱼全鱼常规成分和形态指标的影响

鱼油氧化所产成的氧自由基、过氧化物和各种毒性物质会破坏细胞膜流动性及其完整性,降低外源脂肪在体内的吸收、利用和代谢,同时这些有害物质还会攻击组织器官使其正常结构被破坏,如出现肝脏增生、肿大、变

表 5 不同储存条件的鱼油对斜带石斑鱼肝脏酶活性和丙二醛含量的影响

Tab. 5 The effects of fish oil in different stored conditions on antioxidant enzyme activities and the content of MDA in the liver of *E. coioides*

实验饲料 diets	过氧化氢酶/(U/mg prot) CAT	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	丙二醛/(nmol/mg prot) MDA
T <sub>F+EQ</sub>	55.61±17.05 <sup>a</sup>	131.42±7.86 <sup>ab</sup>	229.52±12.63 <sup>a</sup>	25.44±1.29 <sup>a</sup>
T <sub>F</sub>	64.79±10.84 <sup>ab</sup>	128.50±5.80 <sup>a</sup>	235.58±20.89 <sup>a</sup>	26.99±1.88 <sup>a</sup>
T <sub>4°C+45d+EQ</sub>	53.89±3.90 <sup>a</sup>	144.52±7.46 <sup>abc</sup>	249.18±16.11 <sup>ab</sup>	27.36±2.00 <sup>a</sup>
T <sub>4°C+45d+HEQ</sub>	96.88±12.55 <sup>abc</sup>	141.83±4.79 <sup>abc</sup>	247.11±18.08 <sup>ab</sup>	25.26±2.50 <sup>a</sup>
T <sub>4°C+90d+EQ</sub>	89.83±11.47 <sup>abc</sup>	147.35±8.33 <sup>bc</sup>	290.88±4.52 <sup>cd</sup>	38.22±5.78 <sup>b</sup>
T <sub>4°C+90d+HEQ</sub>	79.88±10.17 <sup>ab</sup>	150.80±4.59 <sup>c</sup>	280.66±8.46 <sup>cd</sup>	36.39±5.22 <sup>b</sup>
T <sub>4°C+135d+EQ</sub>	274.88±28.92 <sup>f</sup>	198.80±8.29 <sup>f</sup>	293.98±12.34 <sup>cd</sup>	37.12±0.81 <sup>b</sup>
T <sub>4°C+135d+HEQ</sub>	97.90±25.11 <sup>abc</sup>	207.13±3.59 <sup>f</sup>	269.26±0.80 <sup>bc</sup>	39.66±4.21 <sup>b</sup>
T <sub>AT+45d+EQ</sub>	109.56±14.35 <sup>bcd</sup>	169.31±11.46 <sup>de</sup>	278.73±9.95 <sup>cd</sup>	29.42±1.91 <sup>a</sup>
T <sub>AT+45d+HEQ</sub>	145.72±20.21 <sup>de</sup>	157.61±9.77 <sup>cd</sup>	279.06±3.46 <sup>cd</sup>	29.20±3.93 <sup>a</sup>
T <sub>AT+90d+EQ</sub>	164.77±12.79 <sup>e</sup>	183.71±7.27 <sup>e</sup>	326.37±11.00 <sup>e</sup>	43.21±5.17 <sup>ab</sup>
T <sub>AT+90d+HEQ</sub>	130.72±46.04 <sup>cde</sup>	167.49±4.01 <sup>d</sup>	277.54±13.33 <sup>cd</sup>	41.16±4.44 <sup>b</sup>
T <sub>AT+135d+EQ</sub>	295.77±29.04 <sup>f</sup>	267.19±5.66 <sup>g</sup>	371.35±12.73 <sup>f</sup>	49.52±4.87 <sup>c</sup>
T <sub>AT+135d+HEQ</sub>	263.24±42.25 <sup>f</sup>	247.42±18.91 <sup>g</sup>	298.78±22.75 <sup>d</sup>	57.82±4.05 <sup>d</sup>

性、坏死等<sup>[15-16]</sup>。本实验中, T<sub>AT+135d+EQ</sub>和T<sub>AT+135d+HEQ</sub>组EE显著高于T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub>组, 其原因可能是氧化鱼油导致机体脂肪代谢功能紊乱, 外源脂肪进入机体后无法及时吸收利用造成大量淤积<sup>[17]</sup>。HSI、CF随鱼油储存时间的延长呈下降趋势, 在T<sub>AT+135d+EQ</sub>和T<sub>AT+135d+HEQ</sub>组显著低于T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub>组。向鱼油中加入600 mg/kg H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>和3 mL/L H<sub>2</sub>O并在37 °C下通入空气加热, 使其快速氧化获得不同氧化程度的鱼油投喂凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)后发现, 随着鱼油氧化程度增加, HSI和CF显著降低<sup>[18]</sup>, 同样用氧化鱼油投喂黑鲷(*Sparus macrocephalus*)<sup>[19]</sup>也得到类似结果。由于肝脏作为脂肪代谢中心和解毒中心, 其对于氧化鱼油的毒害作用更为敏感, 并且当摄入的有毒物质超过肝脏解毒能力时就会造成坏死降解, 继而对机体造成不良影响。

### 3.3 不同储存条件的鱼油对斜带石斑鱼肝脏组织形态的影响

肝脏作为水产动物脂肪吸收代谢的主要器官之一, 对氧化油脂的反应极为敏感。韩雨哲等<sup>[20]</sup>将氧化鱼油投喂花鲈(*Lateolabrax japonicus*)

后, 观察其肝脏H.E染色切片发现新鲜鱼油组肝细胞结构完整而氧化鱼油组肝细胞出现大面积坏死现象。同样在大口黑鲈<sup>[21]</sup>、鲤(*Cyprinus carpio*)<sup>[22]</sup>等研究中也通过肝脏H.E染色切片发现氧化鱼油会破坏水产动物肝脏正常结构。本实验中则通过观察肝脏油红O染色切片发现T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>4°C+45d+HEQ</sub>组细胞结构明显, 细胞内脂肪粒大小正常, T<sub>AT+135d+EQ</sub>和T<sub>AT+135d+HEQ</sub>组鱼油氧化程度较高, 造成肝细胞中脂肪淤积, 肝细胞中脂肪积累也随之增多最终导致脂肪肝的形成<sup>[23]</sup>。这说明T<sub>4°C+45d+HEQ</sub>对鱼油的保存效果较好, 对石斑鱼肝脏的损伤很小, 但是T<sub>AT+135d+EQ</sub>和T<sub>AT+135d+HEQ</sub>组鱼油氧化程度较高, 产生了大量有害物质阻碍了肝脏对外界脂肪的吸收、转运和代谢, 进而也造成摄入脂肪在机体内的淤积, 这与POV较高鱼油组EE显著升高相互印证。

### 3.4 不同储存条件的鱼油对斜带石斑鱼肝脏抗氧化酶活性和丙二醛含量的影响

CAT、SOD和GSH-Px是动物体内自主抵御外界氧化物系统的关键组成部分, 可以将细胞内超氧根离子(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)和过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)浓度维持在

正常水平,缓解机体氧化,是评价机体对外界应激反应的重要指标<sup>[24]</sup>。唐筱等<sup>[25]</sup>发现投喂大黄鱼(*Larimichthys crocea*)含有不同氧化程度鱼油的饲料后,CAT和SOD活性随氧化程度的加深而显著升高。将在50℃加热并曝气24h的鱼油添加到饲料中投喂庸鲈后会导致其肝脏中SOD与GSH-Px活性显著升高<sup>[26]</sup>,结果相似的还有五条鲷(*Seriola quinqueradiata*)<sup>[27]</sup>、奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*O.aureus*)<sup>[28]</sup>。本实验中T<sub>4</sub>℃+135d+EQ、T<sub>AT+135d+EQ</sub>和T<sub>AT+135d+HEQ</sub>组的CAT活力显著高于T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub>组,SOD和GSH-Px也均在T<sub>AT+135d+EQ</sub>组达到最高且显著高于T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub>组。CAT、SOD和GSH-Px 3种酶活力随着储存时间的延长整体呈上升趋势,这也说明鱼油储存时间越长氧化程度越高,实验动物摄入含有氧化鱼油的饲料后,体内氧化物质增多,引起机体应激反应最终导致抗氧化酶类活性升高以清除氧化物质<sup>[29]</sup>,而T<sub>F+EQ</sub>、T<sub>F</sub>、T<sub>4</sub>℃+45d+EQ和T<sub>4</sub>℃+45d+HEQ组CAT、SOD和GSH-Px活力处于较低水平,主要是因为这4组储存条件下的鱼油氧化程度低,其中含有的过氧化物少,对机体的氧化刺激小,因此这些抗氧化酶并未表现出较高活力。但是还有研究如斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)<sup>[30]</sup>、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)<sup>[31]</sup>、大西洋鳕(*Gadus morhua*)<sup>[32]</sup>等发现当投喂含有氧化鱼油的饲料时,CAT、SOD和GSH-Px显著降低,其原因主要是动物摄食氧化鱼油后机体中会产生和积累大量氧自由基,超过了机体免疫机能的承受能力,无法完全将其清除,就会导致这些抗氧化酶类活性降低<sup>[33]</sup>。

在生物机体中MDA是生物膜脂质过氧化的主要产物之一,它可以破坏细胞膜的流动性和完整性,甚至导致细胞凋亡<sup>[34]</sup>。鱼油氧化酸败时会产生大量MDA<sup>[35]</sup>,因此当动物摄入氧化酸败的鱼油时,会导致机体细胞中MDA含量升高,加剧细胞的损伤<sup>[36]</sup>。将鱼油置于50℃加热,并通入氧气获得不同氧化程度鱼油,将其制成饲料投喂花鲈后发现,花鲈肝脏中MDA含量随鱼油氧化程度升高而升高<sup>[37]</sup>。Chen等<sup>[38]</sup>对大口黑鲈进行实验也得到了类似结果。本实验中随着储存时间的延长,鱼油中MDA的含量整体呈现升高趋势,石斑鱼摄食相应的饲料后,肝脏中MDA含量也随之升高且差异显著。但是

T<sub>AT+135d+HEQ</sub>组鱼油MDA含量较低,对应肝脏中MDA含量却很高,其原因可能是高量抗氧化剂同样会促使机体细胞中MDA含量增加。

## 4 结论

相比于环境温度储存条件下的鱼油,低温储存条件下的鱼油投喂石斑鱼后增重率和特定增长率普遍较高,说明低温条件下可较好地维持鱼油品质,降低对石斑鱼的影响。长期保存的鱼油会使鱼油氧化酸败程度增加,因此建议鱼油在45d内使用,这样能够减少对石斑鱼的氧化应激。抗氧化剂可有效维持鱼油品质的稳定性,但是长期或高温保存会使其效力减弱。若4℃储存,短期内使用添加EQ剂量为30mg/kg即可,长期保存可考虑添加EQ剂量为300mg/kg。

## 参考文献:

- [1] Chen J, Zhu X, Han D, *et al.* Effect of dietary n-3 HUFA on growth performance and tissue fatty acid composition of gibel carp *Carassius auratus gibelio*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2011, 17(17): e476-e485.
- [2] David C S, Albert B B, Cutfield W S. Fishing for answers: Is oxidation of fish oil supplements a problem?[J]. *Journal of Nutritional Science*, 2015, 4: e36.
- [3] 曹文明, 薛斌, 袁超, 等. 油脂氧化酸败研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2013, 26(3): 1-5.  
Cao W M, Xue B, Yuan C, *et al.* Research progress on the oxidative rancidity of oils and fats[J]. *Cereals & Oils*, 2013, 26(3): 1-5 (in Chinese).
- [4] Chen Y J, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Effect of dietary vitamin E and selenium supplementation on growth, body composition, and antioxidant defense mechanism in juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoide*) fed oxidized fish oil[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2013, 39(3): 593-604.
- [5] Sutton J, Balfry S, Higgs D, *et al.* Impact of iron-catalyzed dietary lipid peroxidation on growth performance, general health and flesh proximate and fatty acid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared in seawater[J]. *Aquaculture*, 2006, 257(1-4): 534-557.
- [6] Martins D A, Afonso L O B, Hosoya S, *et al.* Effects of

- moderately oxidized dietary lipid and the role of vitamin E on the stress response in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.)[J]. *Aquaculture*, 2007, 272(1-4): 573-580.
- [7] Bahurmiz O M, Ng W K. Effects of dietary palm oil source on growth, tissue fatty acid composition and nutrient digestibility of red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp., raised from stocking to marketable size[J]. *Aquaculture*, 2007, 262(2-4): 382-392.
- [8] Tres A, Magrinyà N, Bou R, *et al.* Impact of the oxidative quality of fish oils in feeds on the composition and oxidative stability of chicken and rabbit meat[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2014, 196(5): 76-87.
- [9] 高淳仁, 雷霖霖. 饲料中氧化鱼油对真鲷幼鱼生长、存活及脂肪酸组成的影响[J]. *上海水产大学学报*, 1999, 8(2): 124-130.
- Gao C R, Lei J L. Effects of oxidized fish oils in diets on the growth, survival and fatty acid composition of juvenile red seabream *Pagrus major*[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1999, 8(2): 124-130 (in Chinese).
- [10] Lewis-McCrea L M, Lall S P. Effects of phosphorus and vitamin C deficiency, vitamin A toxicity, and lipid peroxidation on skeletal abnormalities in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2010, 26(2): 334-343.
- [11] Gao J, Koshio S, Ishikawa M, *et al.* Effect of dietary oxidized fish oil and vitamin C supplementation on growth performance and reduction of oxidative stress in red sea bream *Pagrus major*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2013, 19(1): 35-44.
- [12] Topuz O K, Yerlikaya P, Uçak İ, *et al.* Influence of pomegranate peel (*Punica granatum*) extract on lipid oxidation in anchovy fish oil under heat accelerated conditions[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52(1): 625-632.
- [13] Raudoniūtė I, Rovira J, Venskutonis P R, *et al.* Antioxidant properties of garden strawberry leaf extract and its effect on fish oil oxidation[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2011, 46(5): 935-943.
- [14] Hamre K, Harboe T. Artemia enriched with high n-3 HUFA may give a large improvement in performance of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) larvae[J]. *Aquaculture*, 2008, 277(3-4): 239-243.
- [15] 任泽林, 霍启光, 曾虹, 等. 氧化鱼油对鲤鱼生产性能和肌肉组织结构的影响[J]. *动物营养学报*, 2001, 13(1): 59-64.
- Ren Z L, Huo Q G, Zeng H, *et al.* Effect of oxidized fish oil on the performance and muscular histological structure of carps[J]. *Acta Zoonutrientia Sinica*, 2001, 13(1): 59-64 (in Chinese).
- [16] 黄凯, 阮栋俭, 战歌, 等. 氧化油脂对奥尼罗非鱼生长和抗氧化性能的影响[J]. *淡水渔业*, 2006, 36(6): 21-24.
- Huang K, Ruan D J, Zhan G, *et al.* Effects of oxidized oils on the growth and antioxidant activities of juvenile tilapia[J]. *Freshwater Fisheries*, 2006, 36(6): 21-24 (in Chinese).
- [17] 彭士明, 陈立桥, 叶金云, 等. 饲料中添加氧化鱼油对黑鲷幼鱼生长的影响[J]. *水产学报*, 2007, 31(增1): 109-115.
- Peng S M, Chen L Q, Ye Y J, *et al.* Effect of dietary oxidized fish oil on growth performance of juvenile black seabream *Acanthopagrus schlegelii*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31(suppl.1): 109-115 (in Chinese).
- [18] Yang S P, Liu H L, Wang C G, *et al.* Effect of oxidized fish oil on growth performance and oxidative stress of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2015, 21(1): 121-127.
- [19] Peng S, Chen L, Qin J G, *et al.* Effects of dietary vitamin E supplementation on growth performance, lipid peroxidation and tissue fatty acid composition of black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) fed oxidized fish oil[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2009, 15(3): 329-337.
- [20] 韩雨哲, 姜志强, 任同军, 等. 氧化鱼油与棕榈油对花鲈肝脏抗氧化酶及组织结构的影响[J]. *中国水产科学*, 2010, 17(4): 798-806.
- Han Y Z, Jiang Z Q, Ren T J, *et al.* Effects of oxidized fish oil blended with palm oil on antioxidant capacity and histology of Japanese sea bass (*Lateolabrax maculatus*) juvenile[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(4): 798-806 (in Chinese).
- [21] 陈拥军. 鱼油氧化对大口黑鲈幼鱼健康的危害及其控制[D]. 广州: 中山大学, 2014.
- Chen Y J. Detrimental effects of fish oil oxidation on the health and its precautions of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides*[D]. Guangzhou: Sun Yat-Sen



- University, 2014 (in Chinese).
- [22] 任泽林, 曾虹, 霍启光, 等. 氧化鱼油对鲤肝胰脏抗氧化机能及其组织结构的影响[J]. 大连水产学院学报, 2000, 15(4): 235-243.
- Ren Z L, Zeng H, Huo Q G, *et al.* Effects of oxidized fish oil on the anti-oxidative function and histological structure of carp hepatopancreas[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2000, 15(4): 235-243 (in Chinese).
- [23] 田娟, 文华, 曾令兵, 等. 草鱼食用鱼不同颜色肝脏脂肪肝程度的判断[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2011, 37(5): 557-564.
- Tian J, Wen H, Zeng L B, *et al.* Judgment on the degree of fatty liver in different color livers for edible grass carp, *Ctenopharyngodon idella*[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences), 2011, 37(5): 557-564 (in Chinese).
- [24] Yang X J, Chen J, Zhang C X, *et al.* Evaluation of antioxidant activity of fermented soybean meal extract[J]. African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2012, 6(24): 1774-1781.
- [25] 唐筱, 王珺, 徐后国, 等. 氧化鱼油和维生素E对大黄鱼SOD和CAT酶活性的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2010, 40(增1): 55-58.
- Tang X, Wang J, Xu H G, *et al.* Effects of oxidized fish oil and vitamin E supplementation on activities of SOD and CAT in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea* R.)[J]. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(suppl. 1): 55-58 (in Chinese).
- [26] Tocher D R, Mourente G, Van der Eecken A, *et al.* Comparative study of antioxidant defence mechanisms in marine fish fed variable levels of oxidised oil and vitamin E[J]. Aquaculture International, 2003, 11(1-2): 195-216.
- [27] Sakai T, Murata H, Yamauchi K, *et al.* Effects of dietary lipid peroxides contents on in vivo lipid peroxidation,  $\alpha$ -tocopherol contents, and superoxide dismutase and glutathione peroxidase activities in the liver of yellowtail[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(8): 1483-1486.
- [28] 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(1-4): 381-389.
- [29] Mourente G, Díaz-Salvago E, Bell J G, *et al.* Increased activities of hepatic antioxidant defence enzymes in juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fed dietary oxidised oil: attenuation by dietary vitamin E[J]. Aquaculture, 2002, 214(1-4): 343-361.
- [30] Dong G F, Zhu X M, Ren H X, *et al.* Effects of oxidized fish oil intake on tissue lipid metabolism and fatty acid composition of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. Aquaculture Research, 2014, 45(11): 1867-1880.
- [31] 鞠雪, 王秋举, 罗莎, 等. 氧化鱼油对草鱼幼鱼脂质过氧化及抗氧化酶活性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2015, 38(3): 491-496.
- Ju X, Wang Q J, Luo S, *et al.* Effect of oxidized fish oil on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2015, 38(3): 491-496 (in Chinese).
- [32] Kjør M A, Aursnes I A, Berge G M, *et al.* The influence of different dietary oil qualities on growth rate, feed utilization and oxidative stress in Atlantic cod[J]. Aquaculture Nutrition, 2014, 20(2): 192-204.
- [33] Vázquez-Añón M, Jenkins T. Effects of feeding oxidized fat with or without dietary antioxidants on nutrient digestibility, microbial nitrogen, and fatty acid metabolism[J]. Journal of Dairy Science, 2007, 90(9): 4361-4367.
- [34] 黄雨薇, 叶元土, 蔡春芳, 等. 饲料氧化鱼油引起草鱼肠道黏膜结构屏障损伤[J]. 水产学报, 2015, 39(10): 1511-1520.
- Huang Y W, Ye Y T, Cai C F, *et al.* The study on damage of intestinal mucosa barrier structure with oxidized fish oil diets in *Ctenopharyngodon idella* [J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(10): 1511-1520 (in Chinese).
- [35] 董小林, 董桂芳, 朱晓鸣, 等. 不同温度条件下鱼油氧化的动态变化[J]. 中国油脂, 2012, 37(7): 36-40.
- Dong X L, Dong G F, Zhu X M, *et al.* Dynamic variation of fish oil oxidation under different temperatures[J]. China Oils and Fats, 2012, 37(7): 36-40 (in Chinese).
- [36] 陈科全, 叶元土, 蔡春芳, 等. 饲料中氧化鱼油对草鱼生长及肌肉脂肪酸组成的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(6): 1698-1708.
- Chen K Q, Ye Y T, Cai C F, *et al.* Effects of dietary

- oxidizes fish oil on growth and muscle fatty acid composition of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(6): 1698-1708 (in Chinese).
- [37] 王珺. 乙氧基喹啉、氧化鱼油和烟酸铬对大黄鱼与鲈鱼生长性能的影响及其(或代谢物)在鱼体组织中残留的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.  
Wang J. Effects of ethoxyquin, oxidized fish oil and chromium polynicotinate on the growth performance and their (or metabolites) residues in tissues of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* and Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010 (in Chinese).
- [38] Chen Y J, Liu Y J, Yang H J, *et al.* Effect of dietary oxidized fish oil on growth performance, body composition, antioxidant defence mechanism and liver histology of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides*[J]. Aquaculture Nutrition, 2012, 18(3): 321-331.

## Effects of fish oil under different stored conditions on growth performance and antioxidant indexes in juvenile grouper (*Epinephelus coioides*)

LIU Di<sup>1</sup>, CHI Shuyan<sup>1\*</sup>, TAN Beiping<sup>1,2</sup>, DONG Xiaohui<sup>1,2</sup>,  
YANG Qihui<sup>1</sup>, LIU Hongyu<sup>1</sup>, ZHANG Shuang<sup>1</sup>

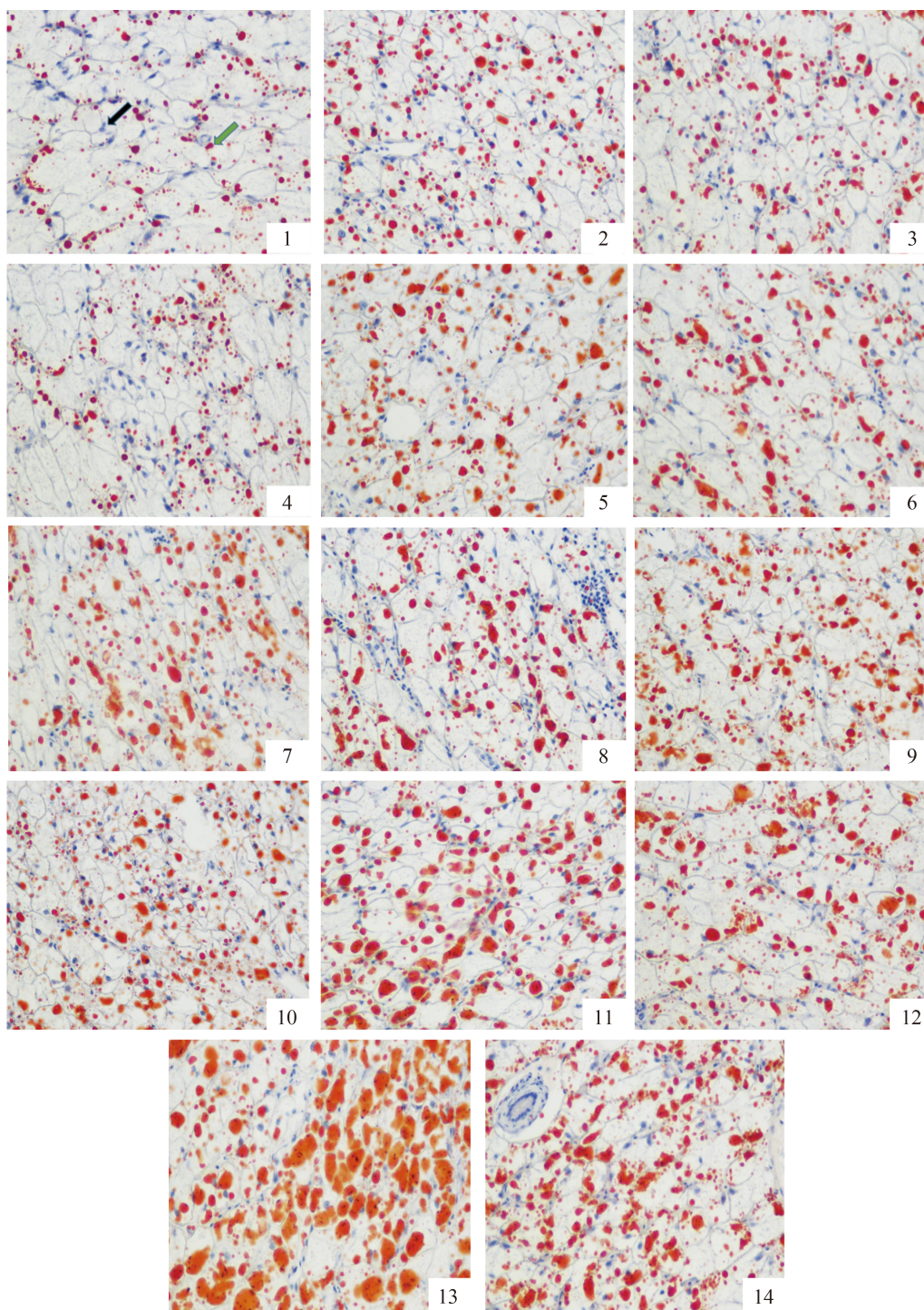
(1. Laboratory of Aquatic Animal Nutrition and Feed, College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;  
2. South China Sea Bio-Resource Exploitation and Utilization Collaborative Innovation Center, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** In order to study the effects of fish oil under different stored conditions on growth performance and antioxidant indexes in juvenile grouper, *Epinephelus coioides*. The conditions which the fish oil was oxidized are as follows: stored temperature: 4 °C, ambient temperature(AT): (31.5±3.5) °C; stored time: 45, 90, 135 d; supplementations of antioxidant: 30 mg/Kg(EQ), 300 mg/Kg(HEQ). According to the different treatment conditions of fish oil, there were 14 groups: T<sub>F+EQ</sub>[positive control (fresh oil+ EQ)], T<sub>F</sub> [negative control (fresh oil)], T<sub>4 °C+45d+EQ</sub>, T<sub>4 °C+45d+HEQ</sub>, T<sub>4 °C+90d+EQ</sub>, T<sub>4 °C+90d+HEQ</sub>, T<sub>4 °C+135d+EQ</sub>, T<sub>4 °C+135d+HEQ</sub>, T<sub>AT+45d+EQ</sub>, T<sub>AT+45d+HEQ</sub>, T<sub>AT+90d+EQ</sub>, T<sub>AT+90d+HEQ</sub>, T<sub>AT+135d+EQ</sub>, T<sub>AT+135d+HEQ</sub>. Preparation of nitrogen and other fat diets fed the *Epinephelus coioides*, which is from juvenile grouper (18±0.02) g to 56 days. There were no significant differences between T<sub>F+EQ</sub> and T<sub>4 °C+45d+EQ</sub>, but T<sub>4 °C+45d+EQ</sub> was significantly higher than T<sub>AT+135d+EQ</sub> in WGR. The FCR of T<sub>4 °C+45d+EQ</sub>, T<sub>4 °C+45d+HEQ</sub>, T<sub>AT+45d+EQ</sub> and T<sub>AT+45d+HEQ</sub> were relatively low, which had no significant differences with T<sub>F+EQ</sub> and T<sub>F</sub> but significantly lower than T<sub>AT+135d+EQ</sub> and T<sub>AT+135d+HEQ</sub> (P<0.05). The cell structures of T<sub>F+EQ</sub>, T<sub>4 °C+45d+HEQ</sub> were clear and obvious and the sizes of these fat droplets in cells were normal, but much more greater fat droplets in T<sub>AT+135d+EQ</sub> and T<sub>AT+135d+HEQ</sub>. The CAT of T<sub>4 °C+135d+EQ</sub>, T<sub>AT+135d+EQ</sub> and T<sub>AT+135d+HEQ</sub> were significantly higher than T<sub>F+EQ</sub> and T<sub>F</sub>. The SOD and GSH-Px were highest in T<sub>AT+135d+EQ</sub>, which were significantly higher than T<sub>F+EQ</sub> and T<sub>F</sub>. The MDA of T<sub>F+EQ</sub>, T<sub>F</sub>, T<sub>4 °C+45d+EQ</sub>, T<sub>4 °C+45d+HEQ</sub>, T<sub>AT+45d+EQ</sub> and T<sub>AT+45d+HEQ</sub> in liver had no significant differences, but were significantly lower than the other groups. We found the growth performance and antioxidant index in juvenile grouper of T<sub>4 °C+45d+EQ</sub>, T<sub>4 °C+45d+HEQ</sub>, T<sub>AT+45d+EQ</sub> and T<sub>AT+45d+HEQ</sub> were relatively good, T<sub>4 °C+45d+EQ</sub>, T<sub>4 °C+45d+HEQ</sub> were better than T<sub>AT+45d+EQ</sub> and T<sub>AT+45d+HEQ</sub>. That shows short term storage, adding antioxidants are advantageous to storage of fish oil, besides 4 °C is better than ambient temperature.

**Key words:** *Epinephelus coioides*; stored conditions; fish oil; growth performance; antioxidant index

**Corresponding author:** CHI Shuyan. E-mail: chishuyan77@163.com

**Funding projects:** National Special Research Fund for Non-Profit Sector (Agriculture) (201003020); Foundation for High-level Talents in Higher Education of Guangdong, Guangdong finance and education ([2013] 246); Public Welfare Research and Capacity Building of Guangdong Province (2016A020206006)



图版 斜带石斑鱼肝脏切片图(油红O染色, 200×)

黑色箭头所指为细胞核, 绿色箭头所指为脂肪滴; 1:  $T_{F+EQ}$ ; 2:  $T_F$ ; 3:  $T_{4^{\circ}C+45d+EQ}$ ; 4:  $T_{4^{\circ}C+45d+HEQ}$ ; 5:  $T_{4^{\circ}C+90d+EQ}$ ; 6:  $T_{4^{\circ}C+90d+HEQ}$ ; 7:  $T_{4^{\circ}C+135d+EQ}$ ; 8:  $T_{4^{\circ}C+135d+HEQ}$ ; 9:  $T_{AT+45d+EQ}$ ; 10:  $T_{AT+45d+HEQ}$ ; 11:  $T_{AT+90d+EQ}$ ; 12:  $T_{AT+90d+HEQ}$ ; 13:  $T_{AT+135d+EQ}$ ; 14:  $T_{AT+135d+HEQ}$

**Plate Cross sections of liver histology of *E. coioides* (Oil red O stain, 200×)**

black arrow indicates nucleus, green arrow indicates fat droplet; 1:  $T_{F+EQ}$ ; 2:  $T_F$ ; 3:  $T_{4^{\circ}C+45d+EQ}$ ; 4:  $T_{4^{\circ}C+45d+HEQ}$ ; 5:  $T_{4^{\circ}C+90d+EQ}$ ; 6:  $T_{4^{\circ}C+90d+HEQ}$ ; 7:  $T_{4^{\circ}C+135d+EQ}$ ; 8:  $T_{4^{\circ}C+135d+HEQ}$ ; 9:  $T_{AT+45d+EQ}$ ; 10:  $T_{AT+45d+HEQ}$ ; 11:  $T_{AT+90d+EQ}$ ; 12:  $T_{AT+90d+HEQ}$ ; 13:  $T_{AT+135d+EQ}$ ; 14:  $T_{AT+135d+HEQ}$