

## 植物油替代鱼油对虹鳟、花鲈和大黄鱼组织结构的影响

董小敬, 谭 朋, 麦康森, 蔡佐楠, 徐瀚林, 艾庆辉\*

(中国海洋大学教育部海水养殖重点实验室 农业部水产动物营养与饲料重点实验室 山东 青岛 266003)

摘要: 以初始体质量分别为(11.24 ± 0.07)、(18.60 ± 0.36)和(8.93 ± 0.21) g 的虹鳟、花鲈和大黄鱼幼鱼为研究对象,用植物油(亚麻籽油:豆油 = 1:1)分别替代 0% (FO,对照组)、50% (FV)和 100% (VO) 的鱼油来配制 3 种等氮(粗蛋白含量为 41%)等脂(粗脂肪含量为 12%)的实验饲料。通过投喂实验探讨不同植物油替代鱼油水平对虹鳟(淡水鱼)、花鲈(广盐性鱼类)和大黄鱼(海水鱼)肝脏和肠道组织结构的影响差异。70 d 投喂实验后发现,随着替代水平增加虹鳟、花鲈和大黄鱼的肝细胞中脂肪滴累积程度逐渐增高,相同替代水平下肝细胞中脂肪滴累积程度为大黄鱼 > 花鲈 > 虹鳟;肠道组织中杯状细胞随植物油替代水平升高而增多,而在大黄鱼全植物油组出现脂肪滴累积和上皮细胞死亡现象。以上结果表明,植物油替代鱼油对虹鳟组织结构影响最小,对大黄鱼影响最大。

关键词: 虹鳟; 花鲈; 大黄鱼; 鱼油; 植物油; 营养

中图分类号: S 963

文献标志码: A

淡水鱼类能将食物中的 C18 不饱和脂肪酸转化为长链多不饱和脂肪酸(LC-PUFA),而海水鱼类这种转化能力缺乏或不足<sup>[1-2]</sup>,因而海水养殖鱼类的饲料中必须人为添加一定量的 LC-PUFA<sup>[3-4]</sup>。鱼油中富含 LC-PUFA,是水产养殖产业中常用的 LC-PUFA 油源。然而,由于海洋渔业资源日益枯竭,鱼油价格逐年攀升,养殖成本也逐年增高。为降低水产饲料行业对鱼油的依赖,寻找鱼油的替代品成为水产养殖业实现可持续发展的必然需求。植物油产量稳定、价格低廉并且含有丰富的多不饱和脂肪酸(PUFA),是理想的脂肪源替代品<sup>[5]</sup>。目前,大豆油、亚麻籽油、菜籽油、葵花油、棕榈油和橄榄油已经在水产动物饲料生产中得到应用,其中豆油和亚麻籽油被认为是鲑鳟鱼类和淡水鱼类较好的替代油源<sup>[6-8]</sup>。豆油富含亚油酸(C18:2n-6),亚麻籽油富含亚麻酸(C18:3n-3),分别占总脂肪酸的 50% 左右。

研究表明,饲料中植物油替代鱼油会影响鱼类肝脏和肠道组织结构,影响程度因不同植物油种类、替代水平和鱼种类而存在差异。在金头鲷

(*Sparus aurata*)中,分别以大豆油、棕榈油和菜籽油替代饲料中 69% 的鱼油不影响其肠道组织形态,但是在棕榈油替代鱼油饲料喂养的鱼的肝细胞中出现了大量的脂肪滴积累及肝细胞肿大、细胞核偏移等现象<sup>[9]</sup>。梭鲈(*Lucioperca lucioperca*)饲料中植物油替代鱼油造成肝细胞空泡化和肠上皮细胞中脂肪滴累积,但不影响肝细胞和肠上皮细胞的大小<sup>[10]</sup>。在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)中,用不同的植物油替代 60%~80% 的鱼油导致肝细胞膨胀并出现大量大小不一的脂肪滴,同时肠上皮细胞中大量的脂肪液滴聚集在核上导致细胞核移位<sup>[7]</sup>。而在大西洋白姑鱼(*Argyrosomus regius*)中,60% 的混合植物油替代鱼油不影响肠道的组织学形态<sup>[11]</sup>。大量相关研究还表明,单一植物油替代鱼油会导致饲料中 n-3/n-6 比例失衡,进而降低鱼类的免疫力,而混合植物油则具有相对好的效果<sup>[5,12-13]</sup>。

虹鳟、花鲈(*Lateolabrax japonicus*)及大黄鱼(*Larimichthys crocea*)是世界范围重要的养殖种类。本实验以虹鳟、花鲈和大黄鱼为研究对象,以

收稿日期: 2015-03-09

修回日期: 2015-04-07

资助项目: 国家“九七三”重点基础研究发展计划(2014CB138600);教育部博士点基金博导类项目(20120132110007)

通信作者: 艾庆辉, E-mail: qhai@ouc.edu.cn

<http://www.scxuebao.cn>

豆油和亚麻籽油等比例混合的植物油为替代油源制备不同替代水平的饲料,通过养殖实验探讨植物油对不同适盐性鱼类肝脏和肠道组织结构的影响差异。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验饲料和实验对象

以脱脂鱼粉(粗蛋白 72.1%,粗脂肪 1.4%)和豆粕为主要蛋白源,配制等氮(粗蛋白含量为 41%)等脂(粗脂肪含量为 12%)的基础饲料(表 1)。在此基础上,制备 3 种不同植物油替代水平的实验饲料:全鱼油组(FO)、50%植物油替代组(FV)和全植物油替代组(VO)。实验用植物油为亚麻籽油和豆油等比例的混合油。

以初始体质量分别为(11.24 ± 0.07)、(18.60 ± 0.36)和(8.93 ± 0.21)g 的虹鳟、花鲈和大黄鱼幼鱼为研究对象,分别代表淡水鱼、广盐性鱼和海水肉食性鱼类。花鲈和大黄鱼的养殖实验在浙江省宁波西沪港海区网箱养鱼养殖场完成,虹鳟养殖实验在中国海洋大学水产馆的淡水养殖系统中完成。实验开始时,首先对实验鱼进行 24 h 饥饿,然后取大小均一的花鲈或大黄鱼随机分到海水浮式网箱(1.5 m × 1.5 m × 2.0 m)中,每箱 30 尾,每组 3 个重复;大小均一的虹鳟随机分到淡水养殖系统的 60 L 玻璃缸中,每缸 15 尾,每组 3 个重复。实验期间,海水温度 23.5 ~ 30.0 °C,盐度 28 ~ 32,溶解氧 6 ~ 7 mg/L。淡水养殖系统为循环水,水温 15.0 ~ 21.0 °C,溶解氧 7 ~ 8 mg/L。养殖周期共 70 d。

### 1.2 样品采集

养殖实验结束后,先对实验鱼进行 24 h 饥饿,然后从每个网箱或玻璃缸中随机取 3 尾鱼以 MS-222 进行麻醉(250 mg/L,Argent,Redmond,WA)。使用无菌的剪刀和镊子取出鱼的肝尖和中肠,清理其表面的脂肪和结缔组织后放入波恩氏液进行固定。所有样品固定 24 h 后,用 70%乙醇清洗,并保存于 70%乙醇中。

### 1.3 组织学观察

取出 70%乙醇中保存的样品,进行乙醇脱水、石蜡包埋、组织切片机切片、苏木精和 H & E 染色、中性树胶封片等步骤。使用倒置光学显微镜观察肝脏和肠道的组织学特征,照片中右下角所有标尺 = 50 μm。

表 1 饲料配方(饲料干重)

Tab. 1 Formulation of the experimental diets (dry matter)

原料 ingredients	FO <sup>a</sup>	FV <sup>b</sup>	VO <sup>c</sup>
脱脂鱼粉 defatted white fish meal <sup>d</sup>	15	15	15
豆粕 soybean meal	32	32	32
酪蛋白 casein <sup>e</sup>	11	11	11
小麦粉 wheat meal	26	26	26
矿物质预混物 mineral premix <sup>f</sup>	2	2	2
维生素预混物 vitamin premix <sup>g</sup>	2	2	2
诱食剂 attractant <sup>h</sup>	0.3	0.3	0.3
防腐剂 mold inhibitor <sup>i</sup>	0.1	0.1	0.1
大豆卵磷脂 lecithin	2.6	2.6	2.6
鱼油 fish oil	9	4.5	0
豆油 soybean oil	0	2.5	4.5
亚麻籽油 linseed oil	0	2.5	4.5
total	100	100	100
成分分析 proximate analysis			
粗蛋白/% crude protein	41.67	41.74	41.71
粗脂肪/% crude lipid	12.85	12.70	12.76

注: a. FO: 鱼油组,为对照组; b. FV: 50% 混合植物油(亚麻籽油/豆油 = 1:1) 替代鱼油; c. VO: 100% 混合植物油替代鱼油; d. 脱脂鱼粉: 72.1% 粗蛋白,1.4% 粗脂肪,白鱼粉(PESQUERA DIAMANTE S. A., Samanco, Peru) 与酒精以 1:2 (w:v) 的比例在 37 °C 条件下脱脂 3 次; e. 酪蛋白(Alfa Aesar, Avocado Research Chemicals Ltd, UK): 88% 粗蛋白和 1.3% 粗脂肪; f. 矿物质预混物(mg or g/kg diet): CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O 10 mg; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> (1%) 25 mg; ZnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 50 mg; CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O (1%) 50 mg; MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 60 mg; FeSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 80 mg; Ca( IO<sub>3</sub> )<sub>2</sub> 180 mg; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 1 200 mg; 沸石粉 18.35 g; g. 维生素预混物(mg or g/kg diet): 维生素 D 5 mg; 维生素 K 10 mg; 维生素 B12 10 mg; 维生素 B6 20 mg; 叶酸 20 mg; 维生素 B1 25 mg; 维生素 A 32 mg; 维生素 B2 45 mg; 泛酸 60 mg; 生物素(2%) 60 mg; 烟酸 200 mg; 维生素 E 240 mg; 肌醇 800 mg; 维生素 C 2 000 mg; 微晶纤维素 16.47 g; h. 诱食剂: 甘氨酸/甜菜碱 = 1:3; i. 防腐剂: 富马酸/丙酸钙 = 1:1

Notes: a. FO: Fish oil group, control group also; b. V50: compounded vegetable oil (inseed oil /soybean oil = 1:1) replacement fish oil with 50%; c. V100: compounded vegetable oil replacement fish oil with 100%; d. Defatted fish meal(PESQUERA DIAMANTE S. A., Samanco, Peru): 72.1% crude protein and 1.4% crude lipid; white fish meal were defatted with ethanol [fish meal: ethanol = 1:2 (w:v)] at 37 °C for three times; e. Casein (Alfa Aesar, Avocado Research Chemicals Ltd, UK): 88% crude protein and 1.3% crude lipid, Alfa Aesar, Avocado Research Chemicals Ltd, UK; f. Mineral premix (mg or g/kg diet): CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O 10 mg; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> (1%) 25 mg; ZnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O, 50 mg; CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O (1%) 50 mg; MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 60 mg; FeSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 80 mg; Ca( IO<sub>3</sub> )<sub>2</sub> 180 mg; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 1 200 mg; zeolite 18.35 g; g. Vitamin premix (mg or g/kg diet): vitamin D 5 mg; vitamin K 10 mg; vitamin B12 10 mg; vitamin B6 20 mg; folic acid 20 mg; vitamin B1 25 mg; vitamin A 32 mg; vitamin B2 45 mg; pantothenic acid 60 mg; biotin 60 mg; niacin acid 200 mg; α-tocopherol 240 mg; inositol 800 mg; ascorbic acid 2 000 mg; microcrystalline cellulose 16.47 g; h. Phagostimulant: Glycine/Betaine = 1:3; i. Preservative: Fumarat/Calcium pnpionabe = 1:1.

<http://www.scxuebao.cn>

## 2 结果

### 2.1 肝脏组织结构

鱼油组的虹鳟肝细胞索明显,细胞形态正常,细胞界限清晰,细胞核位于细胞的中间。饲料中植物油替代50%鱼油的虹鳟肝细胞边缘较模糊,有些细胞核发生偏移。饲喂植物油的虹鳟中较多肝细胞出现细胞核偏移和空泡变性的现象(图1)。

在花鲈中,全鱼油组的肝细胞索明显,细胞形态正常,细胞界限清晰,细胞核位于细胞的中间。植物油替代50%鱼油组的肝细胞排列不规则,有

部分细胞中有大小不一的脂肪滴出现,导致细胞核偏移。全植物油组的肝细胞与以上2组相比严重肿大变性,细胞中充满脂肪滴,细胞核挤压至一侧甚至萎缩或消失,空泡变性现象较虹鳟植物油组严重(图1)。

在大黄鱼中,鱼油组的肝细胞组织形态学较为正常,大小均匀一致且呈多边形,肝细胞完整,虽然细胞质中有少数脂肪滴,但细胞没有肿大,细胞核明显。植物油替代50%鱼油导致细胞核萎缩甚至消失,肝细胞出现空泡化。植物油组肝细胞形态严重破坏,细胞严重空泡化,几乎所有肝细胞中都充满了脂肪滴(图1)。

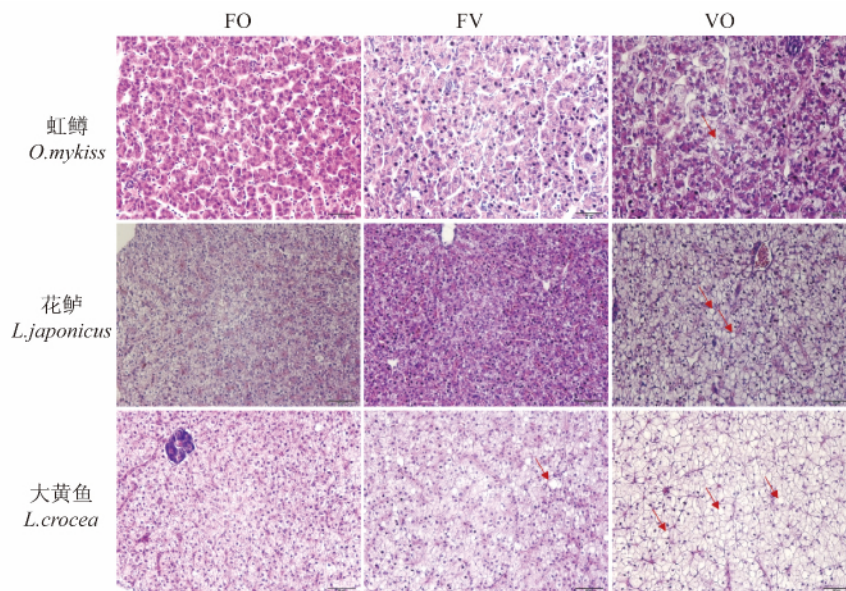


图1 植物油替代鱼油对肝脏组织的影响

H & E 染色  $\times 400$ ; 红色箭头标注为脂肪滴; FO 鱼油组(对照组); FV 50% 混合植物油(亚麻籽油/豆油 = 1:1) 替代鱼油; VO 100% 混合植物油替代鱼油,下同

Fig. 1 Histological sections of the liver fed the experimental diets

H & E  $\times 400$ ; Fat dripping are shown in red arrow; FO Fish oil group( control group); FV compounded vegetable oil( inseed oil / soyabean oil = 1:1) replacement fish oil with 50%; VO compounded vegetable oil replacement fish oil with 100%, the same as the following

### 2.2 肠道组织结构

鱼油组的虹鳟肠道褶皱壁结构完整,上皮细胞的细胞核整齐排列在细胞基部,纹状缘完整。植物油替代50%鱼油组的肠道褶皱壁结构完整,但是杯状细胞增多。植物油组的虹鳟杯状细胞明显增多(图2)。

在花鲈中,鱼油组的肠道褶皱壁完整,上皮细胞的细胞核整齐排列在细胞基部,纹状缘完整。植物油替代50%鱼油组的小肠绒毛中杯状细胞增

多,有部分上皮细胞排列不紧密,细胞核排列混乱。植物油组的小肠绒毛表面充满了大量的杯状细胞,固有层增加(图2)。

在大黄鱼中,鱼油组的肠道褶皱壁完整,上皮细胞的细胞核整齐排列在细胞基部,纹状缘完整。植物油替代50%鱼油组的黏膜上皮破损,上皮细胞出现空泡化。植物油组中小肠绒毛高度降低,固有层增厚,出现脂肪滴累积现象,上皮细胞大量死亡(图2)。

<http://www.scxuebao.cn>

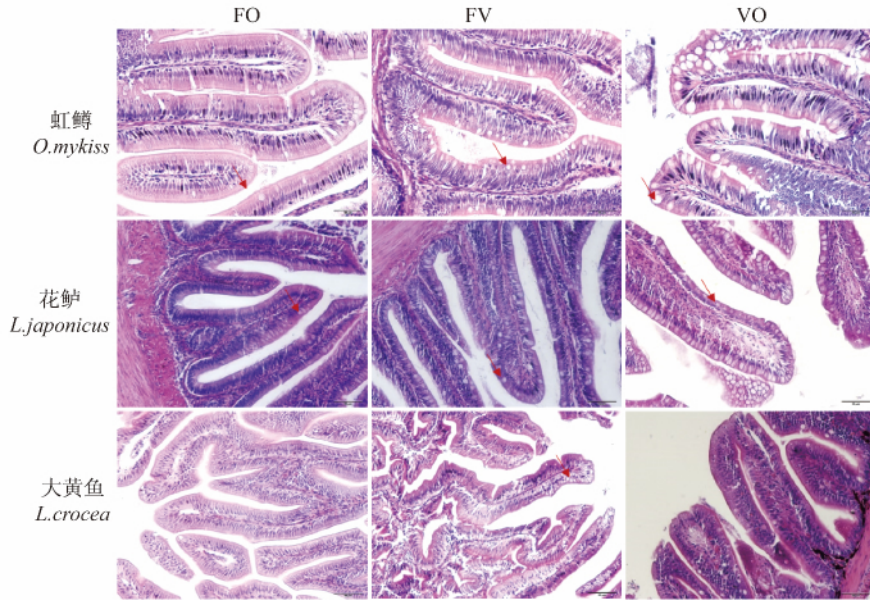


图 2 植物油替代鱼油对肠道组织的影响

H & E 染色 × 400; 红色箭头标注为杯状细胞

Fig. 2 Histological sections of the intestinal fed the experimental diets

H & E × 400; Goblet cells are shown in red arrow

### 3 讨论

研究表明,饲料中植物油替代鱼油会对淡水鱼和海水鱼的肝脏和肠道的组织结构产生显著影响<sup>[9-11]</sup>,但由于各研究中所用饲料的脂肪源和替代量不同,不同适盐性鱼类的组织结构受到植物油影响的程度难以直接进行比较。本实验以相同的植物油源和替代水平的饲料饲喂 3 种肉食性鱼类:虹鳟、花鲈和大黄鱼(分别作为淡水鱼、广盐性鱼和海水鱼的代表),探讨相同植物油替代水平对它们组织结构影响的差异,从而为海水鱼较淡水鱼利用植物油能力低的现象提供理论依据。

植物油替代鱼油会造成饲料中 LC-PUFA 含量的减少或缺失,而 LC-PUFA 是脂蛋白磷脂的重要组分,长时间摄食植物油会影响脂肪酸和脂蛋白合成,从而降低脂肪转运的能力,造成脂肪在肝细胞和肠道上皮细胞中的累积<sup>[7,14-16]</sup>。本研究发现,植物油替代鱼油在 3 种鱼的肝细胞中都造成了脂肪滴累积,其中大黄鱼脂肪滴累积程度最高,花鲈次之,虹鳟最低(图 1)。而随着植物油替代水平的升高,脂肪滴累积程度也随之加强。全植物油替代组的大黄鱼肠细胞中也发现了脂肪滴累积的现象,而虹鳟和花鲈中则没有(图 2)。从 LC-PUFA 影响脂肪转运的角度分析,大黄鱼 LC-

PUFA 自身合成能力较虹鳟和花鲈低可能也是造成本实验结果的原因之一。

另外,饲料中 LC-PUFA 的缺少也会造成鱼体抗病力降低,免疫力下降<sup>[17-19]</sup>。因为 LC-PUFA 是代谢的重要活性物质,如以 ARA 和 EPA 为前体合成的一系列类二十烷酸在免疫、炎症反应和中枢功能等生理过程中发挥重要作用,而 DHA 的衍生物具有抗炎和降脂的作用<sup>[20-21]</sup>。在本实验中,随着植物油替代水平增加,虹鳟和花鲈的肠黏膜上皮中的杯状细胞明显增多,表明炎症反应随植物油替代水平升高而增强<sup>[22]</sup>(图 2)。在大黄鱼中,植物油替代 50% 鱼油造成杯状细胞显著增多并伴随出现细胞空泡化,全植物油替代更是造成小肠绒毛缩短、乳糜管肿胀和大量上皮细胞死亡现象的发生。即使在全植物油替代情况下,虹鳟和花鲈中也并未发生肠组织结构破坏和细胞死亡现象。这与金头鲷的研究结果类似,植物油替代 60% 和 80% 鱼油后,肠道组织结构没有出现病理性现象,但在黏膜上皮细胞核固着层中有脂肪滴的累积<sup>[14]</sup>。相反,在淡水鱼北极红点鲑(*Salvelinus alpinus*)中,饲料中的亚麻籽油却造成了肠道上皮细胞的破损,破坏了肠道组织结构的完整性<sup>[15-16]</sup>。出现这种情况的原因可能是在北极红点鲑的精制饲料中不含有磷脂,而本实验饲

<http://www.sexuebao.cn>



料和金头鲷的饲料中都含有磷脂。磷脂对鱼类脂类的吸收和转运起到重要的作用,饲料中磷脂的缺乏会引起鱼类肠道形态的改变<sup>[23]</sup>。

实验结果显示,无论是 FV 组还是 VO 组,大黄鱼的肝细胞空泡化现象都最为严重,且植物油替代鱼油对大黄鱼的肠道组织结构伤害最大,对虹鳟造成的影响最小。综上所述,植物油替代鱼油对 3 种鱼的肝细胞和肠组织的影响程度是虹鳟 < 花鲈 < 大黄鱼。造成这种差异的根本原因可能是海水鱼利用植物油合成 LC-PUFA 能力较低,植物油替代鱼油后造成海水鱼体内缺乏 LC-PUFA,从而影响机体组织结构。

#### 参考文献:

- [1] Ghioni C, Tocher D R, Bell M V, et al. Low C18 to C20 fatty acid elongase activity and limited conversion of eicosapentaenoic acid 20:5(n-3) to eicosapentaenoic acid 20:5(n-3) in a cell line from the turbot *Scophthalmus maximus* [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1999, 1437 (2): 170-181.
- [2] Tocher D R, Ghioni C. Fatty acid metabolism in marine fish: Low activity of fatty acyl  $\Delta 5$  desaturation in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) cells [J]. *Lipids*, 1999, 34 (5): 433-440.
- [3] Bostock J, McAndrew B, Richards R, et al. Aquaculture: global status and trends [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society-part B: Biological Sciences*, 2010, 365 (1554): 2897-2912.
- [4] Tidwell J H, Allan G L. Fish as food: aquaculture's contribution: Ecological and economic impacts and contributions of fish farming and capture fisheries [J]. *EMBO Journal* 2001 2 (11): 958-963.
- [5] Turchini G M, Torstensen B E, Ng W K. Fish oil replacement in finfish nutrition [J]. *Reviews in Aquaculture* 2009 1 (1): 10-57.
- [6] Bell J G, McEvoy J, Tocher D R, et al. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism [J]. *The Journal of nutrition*, 2001, 131 (5): 1535-1543.
- [7] Caballero M J, Obach A, Rosenlund G, et al. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture* 2002 214 (1): 253-271.
- [8] Rosenlund G, Obach A, Sandberg M G, et al. Effect of alternative lipid sources on long-term growth performance and quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) [J]. *Aquaculture Research*, 2001, 32 (suppl. 1): 323-328.
- [9] Fountoulaki E, Vasilaki A, Hurtado R, et al. Fish oil substitution by vegetable oils in commercial diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.); effects on growth performance, flesh quality and fillet fatty acid profile: recovery of fatty acid profiles by a fish oil finishing diet under fluctuating water temperatures [J]. *Aquaculture* 2009 289 (3): 317-326.
- [10] Kowalska A, Zakeś Z, Jankowska B, et al. Impact of diets with vegetable oils on the growth, histological structure of internal organs, biochemical blood parameters, and proximate composition of pikeperch *Sander lucioperca* (L.) [J]. *Aquaculture* 2010 301 (1): 69-77.
- [11] Ribeiro L, Moura J, Santos M, et al. Effect of vegetable based diets on growth, intestinal morphology, activity of intestinal enzymes and haematological stress indicators in meagre (*Argyrosomus regius*) [J]. *Aquaculture*, 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.12.017>.
- [12] Sales J, Glencross B. A meta-analysis of the effects of dietary marine oil replacement with vegetable oils on growth, feed conversion and muscle fatty acid composition of fish species [J]. *Aquaculture Nutrition* 2011, 17 (2): 271-287.
- [13] Montero D, Izquierdo M. Welfare and health of fish fed vegetable oils as alternative lipid sources to fish oil [D] // Turchini G M, Wing-Keong N, Tocher DR, eds. Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds, Boca Raton: CRC Press 2010: 439-485.
- [14] Caballero M J, Izquierdo M S, Kjörsvik E, et al. Morphological aspects of intestinal cells from gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed diets containing different lipid sources [J]. *Aquaculture*, 2003 225 (1): 325-340.
- [15] Olsen R E, Myklebust R, Kaino T, et al. Lipid digestibility and ultrastructural changes in the enterocytes of Arctic char (*Salvelinus alpinus* L.) fed linseed oil and soybean lecithin [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1999 21 (1): 35-44.
- [16] Olsen R E, Myklebust R, Ringø E, et al. The <http://www.scxuebao.cn>

- influences of dietary linseed oil and saturated fatty acids on caecal enterocytes in Arctic char (*Salvelinus alpinus* L.): a quantitative ultrastructural study [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2000, 22 (3): 207–216.
- [17] Kiron V, Fukuda H, Takeuchi T *et al.* Essential fatty acid nutrition and defence mechanisms in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology*, 1995, 111 (3): 361–367.
- [18] Montero D, Socorro J, Tort L, *et al.* Glomerulonephritis and immunosuppression associated with dietary essential fatty acid deficiency in gilthead sea bream, *Sparus aurata* L., juveniles [J]. *Journal of Fish Diseases*, 2004, 27 (5): 297–306.
- [19] Montero D, Mathlouthi F, Tort L *et al.* Replacement of dietary fish oil by vegetable oils affects humoral immunity and expression of pro-inflammatory cytokines genes in gilthead sea bream *Sparus aurata* [J]. *Fish & shellfish immunology*, 2010, 29 (6): 1073–1081.
- [20] Belayev L, Marcheselli V L, Khoutorova L, *et al.* Docosahexaenoic acid complexed to albumin elicits high-grade ischemic neuroprotection [J]. *Stroke*, 2005, 36 (1): 118–123.
- [21] Rossmeisl M, Jelenik T, Jilkova Z, *et al.* Prevention and reversal of obesity and glucose intolerance in mice by DHA derivatives [J]. *Obesity*, 2009, 17 (5): 1023–1031.
- [22] Puerto M, Jos A, Pichardo S *et al.* Acute exposure to pure cylindrospermopsin results in oxidative stress and pathological alterations in tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Environmental toxicology*, 2014, 29 (4): 371–385.
- [23] Liu J, Caballero M J, Izquierdo M *et al.* Necessity of dietary lecithin and eicosapentaenoic acid for growth, survival, stress resistance and lipoprotein formation in gilthead sea bream *Sparus aurata* [J]. *Fisheries science*, 2002, 68 (6): 1165–1172.

## Effects of replacement of fish oil by vegetable oil on hepatic and intestinal histology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) and yellow croaker (*Larimichthys crocea*)

DONG Xiaojing, TAN Peng, MAI Kangsen, CAI Zuonan, XU Hanlin, AI Qinghui\*  
(The Key Laboratory of Aquaculture Nutrition and Feeds, Ministry of Agriculture; The Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** A 70-day feeding trial was conducted to investigate the effects of replacement of fish oil by vegetable oil on hepatic and intestinal histology of rainbow trout, Japanese seabass and yellow croaker, with initial weight ( $11.24 \pm 0.07$ ), ( $18.60 \pm 0.36$ ) and ( $8.93 \pm 0.21$ ) g, respectively. Three isonitrogenous (crude protein 41%) and isolipidic (crude lipid 12%) practical diets were formulated to contain graded levels of vegetable oil blend (0%, 50% and 100% dry weight) by supplementation of soybean oil and inseed oil (1:1). 0% vegetable oil blend group was treated as the control group. The three artificial diets were named FO, FV and VO, respectively. The feeding trials were conducted in indoor freshwater system (rainbow trout) or sea floating cages (Japanese seabass and yellow croaker). Results showed that increased lipid vacuoles in hepatocytes cytoplasm and serious intestinal inflammation was induced by increasing level of fish oil replacement in all three fish species. Among the three fishes, liver and intestinal structure of yellow croaker was affected the most seriously by the vegetable oil.

**Key words:** *Oncorhynchus mykiss*; *Lateolabrax japonicus*; *Larimichthys crocea*; fish oil; vegetable oil; nutrition

**Corresponding author:** Ai Qinghui. E-mail: qhai@ouc.edu.cn

<http://www.scxuebao.cn>