

# 豆油替代鱼油对赤点石斑鱼(*Epinephelus akaara*) 生长、体组成及体脂肪酸组成的影响\*

王骥腾 姜宇栋 杨云霞 韩涛<sup>①</sup> 杨敏 郑普强 盛建海

(浙江海洋大学水产养殖系 舟山 316022)

**摘要** 以鱼粉和酪蛋白为蛋白源, 玉米淀粉为糖源, 以豆油分别替代 25%、50%、75%和 100%的鱼油, 配制 4 组等氮(50.26%—51.03%)、等能(20.82—21.01kJ/g)实验饲料, 每组饲料设 3 个平行, 每个平行 20 尾鱼, 进行为期 6 周的生长实验。实验结果表明, 过高的豆油替代会引起生长的下降。随着豆油替代水平的升高, 饲料转换系数(FCR)呈现先下降后上升的趋势, 最高值(1.96±0.42)出现在全豆油替代水平组, 而蛋白质效率(PER)表现为相反的结果。全豆油替代组呈现相对最高的肝体比(HSI)值, 但各处理组之间没有显著性差异( $P>0.05$ )。全鱼水分和蛋白含量没有明显差异( $P>0.05$ )。投喂 25%替代水平组的全鱼脂肪含量最高( $P<0.05$ ), 但是在 50%—100%替代水平处理组之间没有显著差异( $P>0.05$ )。赤点石斑鱼体脂肪酸组成明显受到饲料脂肪酸组成的影响。随着饲料豆油水平的升高, 全鱼鱼体中的亚油酸(C18:2n6)含量显著升高( $P<0.05$ ), ARA(C20:4n6)、EPA(C20:5n3)和 DHA(C22:6n3)含量在全豆油替代组最低。总之, 饲料豆油替代水平不宜超过 75%, 过高的豆油替代水平可能会对赤点石斑鱼生长产生不利影响, 并影响鱼的品质。

**关键词** 赤点石斑鱼; 饲料替代; 生长; 体脂肪酸

中图分类号 S963 doi: 10.11693/hyhz20160300054

脂肪是饲料的重要组成成分, 它不仅能为鱼类生长提供能量, 还能为鱼体提供必需脂肪酸。鱼类对脂肪的利用在很大程度上与其所含的必需脂肪酸相关(Stickney *et al.*, 1989)。然而, 不同脂肪源的脂肪酸组成不同, 鱼油因其富含高不饱和脂肪酸, 一直被作为传统水产饲料的主要脂肪源(李思萌等, 2015; 张红娟等, 2015)。近年来, 随着水产饲料行业的快速发展, 渔用饲料生产对鱼油的需求与日俱增, 鱼油资源的有限性和价格的上涨使得养殖成本不断升高, 寻找适宜的脂肪源替代鱼油已成为本领域的研究热点。相比鱼油, 许多植物油源产量稳定、价格低廉, 且含有较高的不饱和脂肪酸, 能在一定程度上为鱼类生长提供所需脂肪酸。豆油是世界上产量最大的植物油, 且相对于其它植物油源, 豆油含有更高含量的多不

饱和脂肪酸(Figueiredo-Silva *et al.*, 2005; NRC, 2011), 因此它已成为最具潜力的可替代鱼油的脂肪源。Peng 等(2008)发现, 使用豆油替代饲料鱼油含量的 60%—80%后, 黑鲷(*Acanthopagrus schlegeli*)的生长没有发生显著变化。Izquierdo 等(2003)在对金头鲷(*Sparus aurate*)和欧洲齿舌鲈(*Dicentrarchus labrax*)的研究中以不同比例油源混合物替代 60%的鱼油, 没有对生长和肉质产生显著影响。但是, 豆油替代鱼油对赤点石斑鱼影响的研究仍未见报道。

赤点石斑鱼(*Epinephelus akaara*), 俗称红斑, 是我国名贵的海产经济鱼类之一, 其肉质鲜美, 营养丰富, 深受国内外市场欢迎。随着人工育苗及苗种生产技术的初步成功, 赤点石斑鱼的养殖正在成为一个新的水产养殖产业(Wang *et al.*, 2016)。但是, 目前关

\* 浙江省自然科学基金项目, LY16C190005 号; 浙江省国际科技合作项目, 2015C34002 号; 浙江省科技计划项目, 2015C33089 号; 舟山市科技计划项目, 2014C41009 号。王骥腾, 副教授, E-mail: 825415526@qq.com

通讯作者: 韩涛, 副教授, E-mail: goodhantao@gmail.com

收稿日期: 2016-03-14, 收修改稿日期: 2016-03-31

于赤点石斑鱼幼鱼营养需要量的研究较少, 仅见于对其最适饲料蛋白含量(Wang *et al*, 2016)及适宜饲料脂肪含量的研究(Jiang *et al*, 2015)。因此, 本研究以豆油替代饲料中不同比例鱼油, 探究其对赤点石斑鱼生长、体组成及体脂肪酸的影响, 旨在为赤点石斑鱼专用饲料的研发提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料

以鱼粉、酪蛋白为蛋白源, 玉米淀粉为糖源, 以豆油分别替代 25% (S25)、50% (S50)、75% (S75)和 100% (S100) 的鱼油, 配制 4 组等氮(50.26%—51.03%)、等能(20.82—21.01kJ/g)实验饲料(表 1)。实验饲料的脂肪酸组成见表 2。

表 1 实验饲料配方及营养组成(%)

原料	S25	S50	S75	S100
鱼粉	31.41	31.41	31.41	31.41
酪蛋白	34.15	34.15	34.15	34.15
玉米淀粉	11.31	11.31	11.31	11.31
鱼油	4.80	3.20	1.60	0.00
豆油	1.60	3.20	4.80	6.40
维生素 <sup>1</sup>	2.50	2.50	2.50	2.50
胆碱	0.30	0.30	0.30	0.30
矿物盐 <sup>2</sup>	1.50	1.50	1.50	1.50
CMC	2.50	2.50	2.50	2.50
VC	0.50	0.50	0.50	0.50
纤维素	18.57	18.57	18.57	18.57
大致营养组成(g/100g 干物质)				
水分	3.25	2.48	3.46	2.90
粗蛋白	50.26	50.64	50.33	51.03
粗脂肪	8.23	8.19	8.07	7.97
粗灰分	5.73	5.56	5.74	5.94
总能(kJ/g)	21.01	20.82	20.90	21.01

1. 维生素预混料(g/kg): 甲萘醌 4g, 核黄素 5g, 肌醇 200g, 生物素 0.6g, 叶酸 1.5g, 维生素 B<sub>12</sub> 0.01g, D 泛酸钙 10g, 烟酸 20g, 盐酸吡哆醇 4g, 盐酸硫胺素 5g, 维生素 E 40g, 维生素 A 5g, 维生素 D 4.8g,  $\alpha$ -纤维素 700.09g

2. 矿物盐预混料(g/kg): MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 90.43g, Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 122.87g, KI 0.02g, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 42.03g, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 19.73g, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 0.34g, NaCl 32.33g, KCl 65.75g, CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.79g, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 8.44g, 柠檬酸铁 38.26g, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 163.83g, 乳酸钙(98%) 683.62g, MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 0.37g

所有干物质原料经过粉碎, 过 60 目筛后放入混合机中进行充分混合, 其后加入油源和适量的蒸馏水再次混合均匀, 之后使用双螺杆挤压机将饲料制

成 2.5mm 直径的颗粒。饲料颗粒在 45°C 下干燥 12h 后保存在 -20°C 冰箱备用。

表 2 实验饲料的脂肪酸组成

项目	S25	S50	S75	S100
C14:0	3.15	2.35	1.55	0.94
C16:0	18.03	16.02	14.35	13.10
C18:0	4.92	4.54	4.50	4.34
$\Sigma$ SFA <sup>1</sup>	26.09	22.91	20.41	18.38
C16:1	4.74	3.49	2.55	1.81
C18:1n9	25.01	22.79	23.93	23.91
$\Sigma$ MUFA <sup>2</sup>	29.75	26.27	26.48	25.72
C18:2n6	24.46	33.17	38.54	44.90
C18:3n3	3.25	5.00	6.56	6.90
C20:4n6	0.77	0.59	0.34	0.01
C20:5n3	5.58	4.45	2.94	1.73
C22:6n3	10.09	7.61	4.73	2.36
$\Sigma$ PUFA <sup>3</sup>	27.71	38.17	45.10	51.80
n-3 HUFA <sup>4</sup>	15.67	12.06	7.67	4.10
$\Sigma$ n-3/ $\Sigma$ n-6	0.75	0.51	0.37	0.25

1. 饱和脂肪酸; 2. 单不饱和脂肪酸; 3. 多不饱和脂肪酸; 4. n-3 高不饱和脂肪酸

### 1.2 实验鱼及养殖管理

实验用鱼来自宁波一个商业海水鱼育苗场的同一批次幼鱼, 饲养实验在浙江海洋大学营养实验室(浙江舟山)进行。实验开始前, 幼鱼每天用暂养颗粒饲料投喂 2 次, 暂养过程持续 2 周。暂养结束后, 随机挑选 240 尾健康且规格相近的幼鱼随机分配到 12 个 500L 圆形 PE 养殖桶。实验设有 4 个处理, 每个处理分 3 个平行, 每个平行 20 尾幼鱼(初始重大约为 6g)。

实验为期 6 周, 每天 9:00 和 18:00 分 2 次进行饱食投喂。使用配备微滤机、砂率缸、蛋白质泡沫机、紫外消毒等设备的循环水过滤系统, 实验期间, 水温维持在(28±2)°C, 盐度维持在(25±1)g/L, 溶解氧高于 6mg/L, 亚硝酸盐浓度低于 0.1mg/L。

### 1.3 样品采集

实验开始前, 随机留取 18 尾初始鱼液氮冷冻后, 置于超低温冰箱中备用。养殖实验结束, 禁食 24h 后, 对每个养殖缸的石斑鱼进行计数, 称重并记录。每个平行缸随机获取 3 尾鱼用于全鱼成分分析; 另从各平行随机获取 6 尾, 经 MS-222 麻醉后称重解剖, 称取内脏团、肝脏及肠脂。取背部肌肉、肝脏经由液氮冷冻后, 储存于 -76°C 超低温冰箱中, 用于水分、蛋白质、脂肪含量及脂肪酸组成分析。

#### 1.4 成分分析及脂肪酸分析

饲料和全鱼成分分析采用 AOAC(1995)方法。粗蛋白(N×6.25)通过凯氏定氮法测得(K355/K437, Buchi, Flawil, Switzerland); 粗脂肪使用索氏抽提法测得(E816, Buchi, Flawil, Switzerland); 水分采用冷冻干燥法测得(Freeze Dryer LL1500, Thermo Fisher Scientific, Waltham, USA), 灰分使用马弗炉 550°C 灼烧法测定。

用于脂肪酸测定的饲料及全鱼样品在氯仿-甲醇液(2:1, V/V)中均质用于提取脂肪。脂肪酸的甲酯化物(FAME)使用气相色谱仪(GC 7890B, Agilent Technologies, Santa Clara, USA)进行分析。以毛细管柱(60m×250μm; DB-23 Agilent, America)采用程序升温(初始温度为 70°C, 以 20°C/min 程序升温至 150°C, 其后以 6°C/min 升至 180°C, 再以 20°C/min 升至 220°C, 保持 6min)进行分离, 载气为氮气(气压: 140.43kpa; 流速: 1mL/min)。进样温度和检测器温度分别为 250°C 和 300°C。

#### 1.5 数据统计分析

实验数据均以“平均值±标准差”表示。所有数据

经 Microsoft Office Excel 2007 初步整理后, 采用 SPSS 18.0 (IBM, Chicago, USA) for Windows 软件进行单因子方差分析(ANOVA), 若存在显著性差异, 则用 Duncan's 法多重比较, 检验均值的差异显著性, 显著水平为  $P<0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 豆油替代鱼油对赤点石斑鱼幼鱼生长及饲料利用的影响(表 3)

由表 3 可知, 尽管在各个饲料处理组之间的体重(WG)和特定生长率(SGR)未发现有统计学上的差异( $P>0.05$ ), 但是豆油 100%替代鱼油组的 WG 及 SGR 值还是相对明显较低。各实验组之间的日摄食量(DFI)没有显著性差异( $P>0.05$ )。饲料系数(FCR)值受到饲料处理的显著影响( $P<0.05$ ), 随着饲料豆油替代水平的升高, 呈现先下降后上升的趋势, FCR 最高值(1.96±0.42)出现在 100%替代水平组, 25%—75%替代水平的 3 个组之间没有显著差异( $P>0.05$ )。蛋白质效率(PER)表现为相反的结果, 100%替代水平组呈现最低的值(1.06±0.21)。

表 3 豆油替代鱼油对赤点石斑鱼幼鱼生长及饲料利用的影响

Tab.3 Effect of dietary fish oil replacement by soybean oil on growth performance and feed utilization of red spotted grouper *E. akaara*

项目	S25	S50	S75	S100
初始体重(IBW)(g)	5.95 ± 0.03	6.00 ± 0.05	5.98 ± 0.03	6.02 ± 0.08
终末体重(FBW)(g)	14.15 ± 0.70	14.29 ± 1.10	14.24 ± 0.91	12.80 ± 1.04
体增重(WG)(%)	137.83 ± 10.78	138.01 ± 16.63	138.10 ± 15.81	112.78 ± 20.14
特定生长率(SGR)(%/d)	2.08 ± 0.15	2.13 ± 0.16	2.12 ± 0.17	1.67 ± 0.08
饲料系数(FCR)	1.71 ± 0.10ab	1.37 ± 0.12b	1.48 ± 0.14b	1.96 ± 0.42a
蛋白质效率(PER)	1.20 ± 0.08ab	1.46 ± 0.14a	1.37 ± 0.12a	1.06 ± 0.21b
日摄食量(DFI)	3.32 ± 0.09	2.65 ± 0.08	2.86 ± 0.19	3.39 ± 1.10

1. 同行数据肩标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 字母相同表示差异不显著( $P>0.05$ );

2. 增重率(WG, %)= $100 \times (FBW-IBW)/IBW$ ; 特定生长率(SGR, %/d)= $100 \times [\ln(FBW)-\ln(IBW)]/42$ ; 饲料系数(FCR)=饲料干物质摄入量/(FBW-IBW); 蛋白质效率(PER)=(FBW-IBW)/蛋白质摄入量; 日摄食量(DFI)= $100 \times \text{饲料摄入量}/(\text{初重}+\text{末重})/2 \times 42$

### 2.2 豆油替代鱼油对赤点石斑鱼幼鱼生物学指标及体组成的影响(表 4, 表 5)

由表 4 可知, 豆油替代鱼油对赤点石斑鱼生物学指标的影响不显著。100%豆油替代组呈现相对最高的肝体比(HSI)值, 但各处理组之间没有显著性差异( $P>0.05$ )。全鱼水分和蛋白含量没有明显差异( $P>0.05$ ) (表 5)。投喂 25%替代水平组的全鱼脂肪含量最高(7.36±0.32), 显著高于 75%和 100%替代水平组, 但是在 50%—100%替代水平处理组之间没有显著差异

表 4 豆油替代鱼油对赤点石斑鱼幼鱼生物学指标的影响  
Tab.4 Effect of dietary fish oil replacement by soybean oil on biometric parameters of red spotted grouper *E. akaara*

项目	S25	S50	S75	S100
脏体比(VSI)	14.15±0.70	14.29±1.10	14.24±0.91	12.80±1.04
肝体比(HSI)	1.10±0.70	1.10±0.13	1.09±0.20	1.21±0.31
肠脂比(IPF)	1.62±0.31	2.13±0.44	2.02±0.12	1.72±0.61

1. 同行数据肩标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 字母相同表示差异不显著( $P>0.05$ );

2. 脏体比(VSI)=内脏重/体重×100; 肝体比(HSI)=肝脏重/体重×100; 肠脂比(IPF)=肠脂重/体重×100

表 5 豆油替代鱼油对赤点石斑鱼幼鱼体组成的影响  
Tab.5 Effect of dietary fish oil replacement by soybean oil on body composition of red spotted grouper *E. akaara*

项目	S25	S50	S75	S100
全鱼				
水分	70.60±0.57	70.97±0.26	71.30±0.40	70.53±2.34
蛋白	16.45±0.48	16.54±0.19	16.06±0.48	16.49±1.28
脂肪	7.36±0.32 <sup>a</sup>	6.81±0.27 <sup>ab</sup>	6.62±0.34 <sup>b</sup>	6.71±0.35 <sup>b</sup>
肌肉				
水分	76.40±0.94	75.32±0.21	75.53±1.26	76.09±0.86
蛋白	20.11±1.63	20.25±0.86	19.82±0.53	19.50±1.25
脂肪	1.89±0.64	2.18±0.75	2.32±0.83	2.00±0.59

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 字母相同表示差异不显著( $P>0.05$ )

表 6 豆油替代鱼油对赤点石斑鱼幼鱼体脂肪酸组成的影响

Tab.6 Effect of dietary fish oil replacement by soybean oil on body fatty acids composition of red spotted grouper *E. akaara*

项目	初始样	S25	S50	S75	S100
C14:0	4.46	3.52±0.21 <sup>a</sup>	3.30±0.42 <sup>ab</sup>	3.04±0.08 <sup>bc</sup>	2.80±0.07 <sup>c</sup>
C16:0	21.81	19.52±0.53 <sup>a</sup>	19.07±0.62 <sup>ab</sup>	19.01±0.17 <sup>ab</sup>	18.47±0.16 <sup>b</sup>
C18:0	8.42	8.19±0.10	7.92±0.28	8.03±0.15	8.13±0.43
∑ SFA	34.69	31.24±0.67 <sup>a</sup>	30.28±0.72 <sup>ab</sup>	30.07±0.30 <sup>b</sup>	29.40±0.41 <sup>b</sup>
C16:1	5.84	4.95±0.34 <sup>a</sup>	4.54±0.52 <sup>ab</sup>	4.19±0.19 <sup>bc</sup>	3.87±0.09 <sup>c</sup>
C18:1n9	21.38	21.17±0.48	21.85±1.27	20.32±0.08	21.35±0.74
∑ MUFA	27.22	26.13±0.62	26.39±1.67	24.51±0.19	25.22±0.83
C18:2n6	11.39	17.99±1.51 <sup>b</sup>	18.96±0.90 <sup>b</sup>	24.25±1.74 <sup>a</sup>	26.46±0.41 <sup>a</sup>
C18:3n3	2.18	4.85±2.10	5.32±2.82	3.08±0.24	4.48±2.25
C20:4n6	1.42	1.36±0.05 <sup>a</sup>	1.29±0.11 <sup>a</sup>	1.18±0.07 <sup>a</sup>	0.90±0.20 <sup>b</sup>
C20:5n3	7.96	5.06±0.16 <sup>ab</sup>	5.19±0.68 <sup>a</sup>	5.21±0.93 <sup>a</sup>	3.92±0.47 <sup>b</sup>
C22:6n3	15.15	13.39±0.25 <sup>a</sup>	12.56±1.01 <sup>a</sup>	11.69±0.77 <sup>a</sup>	9.62±1.58 <sup>b</sup>
∑ PUFA	38.10	42.64±1.06 <sup>b</sup>	43.33±2.13 <sup>ab</sup>	45.42±0.34 <sup>a</sup>	45.37±0.67 <sup>a</sup>
∑n-3 HUFA	25.28	18.45±0.39 <sup>a</sup>	17.75±1.25 <sup>a</sup>	16.90±1.65 <sup>a</sup>	13.54±1.92 <sup>b</sup>
∑n-3/∑n-6	1.97	1.21±0.17 <sup>a</sup>	1.14±0.10 <sup>a</sup>	0.79±0.10 <sup>b</sup>	0.66±0.04 <sup>b</sup>

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 字母相同表示差异不显著( $P>0.05$ )

### 3 讨论

研究结果表明, 经过 6 周的养殖实验, 不同饲料处理未对赤点石斑鱼幼鱼的生长产生显著影响, 相似的结果也被报道在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)(徐奇友等, 2009; Thanuthong *et al*, 2011a, b)和哲罗鱼(*Hucho taimen*)(王炳谦等, 2006)的研究中。而在黑鲟(Peng *et al*, 2008)和大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)(Peng *et al*, 2014)的研究中发现, 饲料中过高的豆油替代水平会显著降低养殖鱼类的生长。在本实验中, 尽管各处理组之间的 WG 值没有显著性差异存在, 但

被发现( $P>0.05$ )。肌肉水分、蛋白及脂肪含量没有随豆油替代水平的增加发生显著变化( $P>0.05$ )。

### 2.3 豆油替代鱼油对赤点石斑鱼幼鱼体脂肪酸组成的影响(表 6)

由表 6 可知, 赤点石斑鱼鱼体脂肪酸组成明显受到饲料脂肪酸组成的影响。随着饲料豆油水平的升高, 鱼体中亚油酸(C18:2n6)和多不饱和脂肪酸(PUFA)含量显著升高( $P<0.05$ ); 全鱼的 ARA(C20:4n6)、EPA(C20:5n3)和 DHA(C22:6n3)含量在全豆油替代组最低, 但是没有显著性差异被观察在 25%—75%豆油替代组之间( $P>0.05$ )。

是全豆油组的生长还是明显低于其余各组。此外, 不同的饲料处理对 FCR 和 PER 值具有显著性影响, 全豆油组有最高的 FCR 及最低的 PER 值, 这表明在饲料中使用豆油完全替代鱼油降低了赤点石斑鱼幼鱼对饲料的利用率。这与 Xu 等(2012)对长鳍篮子鱼(*Siganus canaliculatus*)的研究结果相似。

研究表明, 高不饱和脂肪酸(HUFA)对海水鱼类生长、健康和繁殖发挥着重要作用, 特别是二十二碳六烯酸(DHA)和二十碳五烯酸(EPA), 为大部分海水鱼类的必需脂肪酸。Turchini 等(2009)认为, 饲料中过高的植物油会降低饲料 HUFA 的含量, 从而降低养殖

鱼类的生长和对饲料的利用效率。由于大多数海水鱼类自身合成 EPA 和 DHA 的能力十分有限,因此饲料中通常需要添加 EPA 和 DHA 的总量在 0.8%—2% 之间才能满足大部分海水鱼类的需求(NRC, 2011)。而在本研究中,全豆油替代组饲料的 EPA 和 DHA 的总量仅为 0.3%左右,远低于大部分海水鱼类的需要量,这可能是在本实验条件下,全豆油组有相对低的生长和显著低的饲料利用率的重要原因之一。此外,与 25%的替代水平组相比,50%和 75%替代组饲料中有相对更低的 EPA 和 DHA 含量,然而全鱼中的 EPA 和 DHA 的含量在这三个处理组之间没有存在显著性差异。相似的结果也见于其它鱼类的报道,如军曹鱼(*Rachycentron canadum*)(王骥腾等, 2007)、虹鳟(*Caballero et al*, 2002)、大西洋鲑(*Salmo salar*)(Bell *et al*, 2001)和大菱鲆(Bell *et al*, 1995)等。Skonberg 等(1994)认为这是由于鱼类会选择性的保留某些重要的脂肪酸。通过对比饲料及全鱼脂肪酸组成,我们发现, EPA 和 DHA 的保留率随着替代水平的升高而升高,这在一定程度上表明 EPA 和 DHA 可能是赤点石斑鱼的必需脂肪酸。尽管全豆油组的生长和其它处理组之间没有显著差异存在,但是全鱼中 EPA 和 DHA 含量却显著低于其它各处理组,这进一步表明全豆油组饲料中的 EPA 和 DHA 含量是不足的。

通常情况下,鱼体脂肪酸组成在一定程度上反映了饲料中脂肪酸的组成(张红娟等, 2015)。在本实验中, C18:2n6 作为豆油中的特征脂肪酸,在全鱼鱼体中的含量随饲料中 C18:2n6 含量的升高而显著上升。然而,随着饲料中 C18:3n3 含量的升高,全鱼鱼体中 C18:3n3 的比例在各处理组之间却没有显著性的差异存在。相似的结果也被发现在对虹鳟的研究中,作者认为这可能是由于 C18:3n3 比 C18:2n6 在鱼体中更容易被用于能量代谢(Thanuthong *et al*, 2011)。大量的研究表明,尽管高水平的植物油替代鱼油不会对生长产生显著性影响,但是高的植物油替代水平往往会降低鱼体中 HUFA 的含量(Bell *et al*, 2001; Caballero *et al*, 2002)。海水鱼作为人类一个重要的食物来源,除了为人类提供了优质的蛋白质,更重要的营养价值是为人类提供了 n-3 系列的 HUFA(张红娟等, 2015),特别是 EPA 和 DHA,对人体的心血管健康以及婴幼儿的神经发育十分有益。因此,鱼体中 HUFA 的含量通常体现出鱼的营养价值。在本研究中,随着饲料豆油对鱼油替代水平的升高,饲料中的 HUFA 以及 n-3/n-6 表现出下降的趋势,最低的值出现在全豆

油组。考虑到食用鱼的营养价值和品质,豆油对鱼油的完全替代是不合适的。

脏体比、肝体比和肠脂比是用于评价鱼体形态变化的常用指标(姚林杰等, 2015),这些指标在很大程度上决定了食用鱼的品质优劣及商品价值(金鑫等, 2014)。植物油替代鱼油对鱼体体组成及肌肉组成的影响已经被大量报道。Peng 等(2008)研究发现,大菱鲆幼鱼的肝体比随着豆油替代水平的上升而升高,作者认为这可能是由于在高比例的植物油替代组肝脏沉积了更多的脂肪。然而在本实验中,脏体比、肝体比和肠脂比均未受豆油替代水平显著影响。此外,与 25%的替代组比,大于 75%的替代水平组有显著更低的体脂肪含量。黄裕等(2015)认为,饲料中的 PUFA 会抑制脂肪酸合成酶基因的表达,促进脂肪氧化分解基因的表达,从而抑制脂类合成,加速脂类分解,使鱼体脂肪含量降低。在本研究中,大于 75%的豆油替代水平组与 25%的替代组相比,含有更高的 PUFA,这可能是大于 75%替代水平组有显著低的体脂肪积累的原因之一。此外,在各处理组之间,全鱼水分、蛋白含量和肌肉组成均没有存在显著性差异。相似的结果也见于对大菱鲆(彭墨等, 2014)、黑鲷(Peng *et al*, 2008)、长鳍篮子鱼(Turchini *et al*, 2009)的报道。

#### 4 结论

综上所述,在本实验条件下,饲料豆油替代水平不宜超过 75%,过高的豆油替代水平会对赤点石斑鱼饲料利用及生长产生不利影响;此外 EPA 和 DHA 在体内被选择性保留,可能是赤点石斑鱼的必需脂肪酸,而过高的豆油替代水平会降低鱼体中 EPA 和 DHA 含量而影响鱼的品质。

#### 参 考 文 献

- 王炳谦,徐奇友,徐连伟等,2006. 豆油代替鱼油对哲罗鱼稚鱼生长和体成分的影响. 中国水产科学, 13(6): 1023—1027
- 王骥腾,韩涛,田丽霞等,2007. 3种植物油源对军曹鱼生长、体组成和脂肪酸组成的影响. 浙江海洋学院报(自然科学版), 26(3): 237—245
- 李思萌,吴立新,姜志强等,2015. 饲料脂肪源对大菱鲆幼鱼生长性能和肌肉脂肪酸组成的影响. 动物营养学报, 27(5): 1421—1430
- 张红娟,陈秀玲,张瑞玲等,2015. 海水鱼对脂肪的需求及脂肪源替代研究进展. 水产科学, 34(2): 122—127
- 金鑫,徐钢春,杜富宽等,2014. 饥饿胁迫对刀鲚形体、体成分及血液生化指标的影响. 动物学杂志, 49(6): 897—903
- 姚林杰,叶元土,蔡春芳等,2015. 团头鲂幼鱼饲料中  $\alpha$ -亚麻酸、亚油酸的适宜含量. 动物营养学报, 27(3): 766—774

- 徐奇友, 许红, 李婵等, 2009. 用豆油代替鱼油对虹鳟生长、非特异性免疫和组织酶活性的影响. 大连水产学院学报, 24(2): 104—108
- 黄裕, 王际英, 李宝山等, 2015. 小麦胚芽油替代鱼油对半滑舌鳎幼鱼生长、体成分、血清生化指标及脂肪代谢酶的影响. 中国水产科学, 22(6): 1195—1208
- 彭墨, 徐玮, 麦康森等, 2014. 菜籽油替代鱼油对大菱鲆幼鱼生长、脂肪酸组成及脂肪沉积的影响. 水产学报, 38(8): 756—765
- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists
- Bell J G, Castell J D, Tocher D R *et al*, 1995. Effects of different dietary arachidonic acid: docosahexaenoic acid ratios on phospholipid fatty acid compositions and prostaglandin production in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). Fish Physiology and Biochemistry, 14(2): 139—151
- Bell J G, McEvoy J, Tocher D R *et al*, 2001. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. The Journal of Nutrition, 131(5): 1535—1543
- Caballero M J, Obach A, Rosenlund G *et al*, 2002. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, 214(1—4): 253—271
- Figueiredo-Silva A, Rocha E, Dias J *et al*, 2005. Partial replacement of fish oil by soybean oil on lipid distribution and liver histology in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. Aquaculture Nutrition, 11(2): 147—155
- Izquierdo M S, Obach A, Arantzamendi L *et al*, 2003. Dietary lipid sources for seabream and seabass: growth performance, tissue composition and flesh quality. Aquaculture Nutrition, 9(6): 397—407
- Jiang Y D, Wang J T, Han T *et al*, 2015. Effect of dietary lipid level on growth performance, feed utilization and body composition by juvenile red spotted grouper (*Epinephelus akaara*). Aquaculture International, 23(1): 99—110
- National Research Council (NRC), 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Washington DC, USA: National Academies Press, 71—73
- Peng M, Xu W, Mai K S *et al*, 2014. Growth performance, lipid deposition and hepatic lipid metabolism related gene expression in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) fed diets with various fish oil substitution levels by soybean oil. Aquaculture, 433: 442—449
- Peng S M, Chen L Q, Qin J G *et al*, 2008. Effects of replacement of dietary fish oil by soybean oil on growth performance and liver biochemical composition in juvenile black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*. Aquaculture, 276(1—4): 154—161
- Skonberg D L, Rasco B A, Dong F M, 1994. Fatty acid composition of salmonid muscle changes in response to a high oleic acid diet. The Journal of Nutrition, 124(9): 1628—1638
- Stickney R R, Hardy R W, 1989. Lipid requirements of some warmwater species. Aquaculture, 79(1—4): 145—156
- Thanuthong T, Francis D S, Manickam E *et al*, 2011a. Fish oil replacement in rainbow trout diets and total dietary PUFA content: II) Effects on fatty acid metabolism and *in vivo* fatty acid bioconversion. Aquaculture, 322—323: 99—108
- Thanuthong T, Francis D S, Senadheera S D *et al*, 2011b. Fish oil replacement in rainbow trout diets and total dietary PUFA content: I) Effects on feed efficiency, fat deposition and the efficiency of a finishing strategy. Aquaculture, 320(1—2): 82—90
- Turchini G M, Torstensen B E, Ng W K, 2009. Fish oil replacement in finfish nutrition. Reviews in Aquaculture, 1(1): 10—57
- Wang J T, Jiang Y D, Li X Y *et al*, 2016. Dietary protein requirement of juvenile red spotted grouper (*Epinephelus akaara*). Aquaculture, 450: 289—294
- Xu S D, Wang S Q, Zhang L *et al*, 2012. Effects of replacement of dietary fish oil with soybean oil on growth performance and tissue fatty acid composition in marine herbivorous teleost *Siganus canaliculatus*. Aquaculture Research, 43(9): 1276—1286

## EFFECTS OF DIETARY FISH OIL REPLACEMENT BY SOYBEAN OIL ON GROWTH PERFORMANCE, BODY COMPOSITION AND BODY FATTY ACID COMPOSITION OF RED SPOTTED GROUPER *EPINEPHELUS AKAARA*

WANG Ji-Teng, JIANG Yu-Dong, YANG Yun-Xia, HAN Tao, YANG Min,  
ZHENG Pu-Qiang, SHENG Jian-Hai

(Aquaculture Department of Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

**Abstract** A 6-week experiment was conducted to investigate the effects of dietary fish oil replacement by soybean oil on growth performance, body composition, and body fatty acid composition of red spotted grouper *Epinephelus akaara*. Four isonitrogenous (crude protein 50.26%—51.03%) and isoenergetic (20.82—21.01kJ/g) experimental diets were formulated with soybean oil replacing 25%, 50%, 75%, and 100% fish oil, respectively. Grouper were randomly distributed into four triplicate groups (20 fish per group). The results show that with the increase of soybean oil content, FCR (food conversion factor) decreased and then increased. The highest FCR value ( $1.96\pm 0.42$ ) occurred in the group of entire replacement by soybean oil. However, the PER (protein efficiency ratio) value showed an inverse tendency with FCR. The entire replacement treatment showed a relatively high HSI (hepatosomatic index) value, but no significant different was observed among treatments ( $P>0.05$ ). In addition, no significant impact was shown on whole body moisture and protein regardless of soybean oil replacement level ( $P>0.05$ ), except that those fed with 25% replacement of soybean oil showed the highest whole body lipid content ( $P<0.05$ ). No apparent correlation occurred with the dietary replacement in body fatty acid composition. The content of C18:2n6 significantly increased ( $P<0.05$ ) with increase in dietary soybean oil level; and the lowest ARA (C20:4n6), EPA (C20:5n3), and DHA (22C:6n3) contents occurred in 100% soybean oil group. Therefore, the level of soybean oil replacement should be kept below 75%.

**Key words** red spotted grouper *Epinephelus akaara*; dietary replacing; growth performance; body fatty acid composition