

## 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼生长、 肌肉脂肪酸组成和体色的影响

易新文<sup>1,2</sup>, 张文兵<sup>1,2\*</sup>, 麦康森<sup>1,2</sup>, 申屠基康<sup>3</sup>

(1. 中国海洋大学水产动物营养与饲料农业部重点实验室, 山东 青岛 266003;

2. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003;

3. 宁波市海洋与渔业研究院, 浙江 宁波 315010)

**摘要:**以初始体质量为(13.56 ± 0.05) g 的大黄鱼为对象,研究饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼生长、肌肉脂肪酸组成和体色的影响。以鱼油组为对照组,用菜籽油分别替代 25%、50%、75%、100% 的鱼油,配制 5 种等氮等脂的实验饲料,在海水浮式网箱中进行为期 8 周的摄食生长实验。结果显示,饲料中不同水平菜籽油替代鱼油对大黄鱼的存活率(SR)和特定生长率(SGR)均无显著性影响;但饲料系数(FCR)随着替代水平的增加呈上升趋势,在 100% 替代组显著高于对照组。各处理组之间全鱼粗蛋白质、粗脂肪、灰分和水分含量均无显著性差异。肌肉中脂肪酸和饲料中脂肪酸线性关系分析表明,随着菜籽油替代鱼油水平的升高,大黄鱼肌肉中 C18:0、C18:1、C18:2n-6 和 C18:3n-3 含量不断增加,而 C20:4n-6 和 C22:5n-3 含量不断降低。肌肉中的饱和脂肪酸(SFA)含量随着替代水平的升高而升高,与饲料中 SFA 含量的变化趋势相反。菜籽油替代鱼油对大黄鱼腹部皮肤亮度值( $L^*$ )无显著性影响,但显著影响了背部皮肤  $L^*$  值,100% 替代组  $L^*$  值显著高于对照组。对照组腹部皮肤红色值( $a^*$ )显著高于替代组;与腹部皮肤红色值相反,对照组背部皮肤红色值低于各替代组。菜籽油替代鱼油对大黄鱼背部和腹部皮肤黄色值( $b^*$ )均无显著性影响。研究表明,在本实验条件下,菜籽油替代鱼油对大黄鱼生长和体组成无显著影响,却显著影响了大黄鱼的肌肉脂肪酸组成和体色。

**关键词:**大黄鱼;菜籽油;鱼油;脂肪酸;体色

**中图分类号:** S 963

**文献标志码:** A

鱼油是水产饲料尤其是海水养殖动物饲料中常用的优质脂肪源。全球鱼油产量在 2010 年达到最高约 130 万 t<sup>[1-2]</sup>,而水产养殖业自 20 世纪 80 年代开始每年以 8% 的速度增长,水产饲料生产对鱼油的需求也不断的增长,导致鱼油的价格越来越昂贵<sup>[3]</sup>。同时,自然环境因素如厄尔尼诺现象等都会对鱼油价格产生重要影响<sup>[4]</sup>。因此如何利用其它廉价的脂肪源替代鱼油成为近年来水产动物营养与饲料领域的研究热点之一。

菜籽油的产量大,供应充足,价格通常比鱼油

价格便宜且鱼类对其消化利用率高。同其它植物油一样,菜籽油中二噁英和其它有机污染物的含量较鱼油低<sup>[4-7]</sup>,因此菜籽油成为一种重要的替代脂肪源。有研究表明,菜籽油可以部分或完全替代鱼油而对鱼类生长不产生显著性影响<sup>[8-16]</sup>。鱼类着色物质——类胡萝卜素是脂溶性物质,因此饲料中脂肪源的种类和含量会影响鱼类对其吸收和利用<sup>[17]</sup>。目前有关脂肪源对鱼体内色素沉积和体色的研究较少,结果也不尽一致。Menoyo 等<sup>[18]</sup>和 Izquierdo 等<sup>[19]</sup>研究发现亚麻油和豆油会

收稿日期:2012-11-13 修回日期:2012-12-26

资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200903029)

通信作者:张文兵,E-mail:wzhang@ouc.edu.cn

影响金头鲷 (*Sparus aurata*) 肌肉的红色值和黄色值以及皮肤的亮度值, 而 Bell 等<sup>[10]</sup> 的研究表明, 菜籽油 100% 替代鱼油对大西洋鲑 (*Salmo salar*) 肌肉颜色没有显著性影响。

大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 是我国特有的海水养殖鱼类, 2011 年产量达到 8.6 万 t<sup>[20]</sup>。大黄鱼因其体色金黄, 肉质鲜美, 富含高不饱和脂肪酸, 而深受人们欢迎。但是, 人工养殖的大黄鱼体色退化严重, 影响了其品质和市场销售。在金头鲷和大西洋鲑中的研究表明, 植物油替代饲料中鱼油后会影响到鱼类皮肤或肌肉的颜色, 而这可能与饲料中脂肪酸的组成有关<sup>[18-19, 21]</sup>。实验以菜籽油为植物油的代表, 初步探讨菜籽油替代饲料中不同水平的鱼油后对大黄鱼生长、肌肉脂肪酸组成和体色的影响, 以期为大黄鱼高效配合饲料的开发提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料设计

以鱼粉和豆粕为主要蛋白源, 小麦粉为主要糖源, 鱼油为主要脂肪源配制粗蛋白质含量为 45%, 粗脂肪含量为 12% 的基础饲料。在基础饲料的基础上用菜籽油分别替代 0%、25%、50%、75%、100% 的鱼油, 配制成 5 种等氮等脂的实验饲料, 分别命名为 RP0、RP25、RP50、RP75、RP100, 饲料配方见表 1, 饲料的脂肪酸组成见表 2。原料经粉碎过 60 目筛, 按照实验配比, 用电子秤准确称量后在混匀机中混合均匀, 加水加油揉成面团, 经制粒机制成规格为 4 mm × 5 mm 的颗粒饲料, 在 40 °C 烘箱中干燥至水分低于 10%, 密封保存备用。

表 1 饲料配方和营养成分分析 (干重)

Tab. 1 Ingredient and proximate composition of the experimental diets (% , dry weight)

| 原料 ingredient                     | RP0   | RP25  | RP50  | RP75  | RP100 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 鱼粉 fish meal                      | 43.00 | 43.00 | 43.00 | 43.00 | 43.00 |
| 豆粕 soybean meal                   | 21.00 | 21.00 | 21.00 | 21.00 | 21.00 |
| 小麦粉 wheat meal                    | 20.91 | 20.91 | 20.91 | 20.91 | 20.91 |
| 酵母 yeast                          | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  |
| 鱼油 fish oil                       | 7.10  | 5.33  | 3.55  | 1.78  | 0.00  |
| 菜籽油 rapeseed oil                  | 0.00  | 1.78  | 3.55  | 5.33  | 7.10  |
| 卵磷脂 lecithin                      | 1.50  | 1.50  | 1.50  | 1.50  | 1.50  |
| 多矿 mineral premix <sup>1</sup>    | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  |
| 多维 vitamin premix <sup>2</sup>    | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  |
| 诱食剂 attractant <sup>3</sup>       | 0.30  | 0.30  | 0.30  | 0.30  | 0.30  |
| 防霉剂 mold inhibitor                | 0.10  | 0.10  | 0.10  | 0.10  | 0.10  |
| 乙氧基喹啉 ethoxyquin                  | 0.10  | 0.10  | 0.10  | 0.10  | 0.10  |
| 营养成分分析 proximate analysis (n = 3) |       |       |       |       |       |
| 粗蛋白质 crude protein                | 46.02 | 45.98 | 45.62 | 45.37 | 45.58 |
| 粗脂肪 crude lipid                   | 12.55 | 13.12 | 12.04 | 12.23 | 12.05 |
| 灰分 ash                            | 12.71 | 13.03 | 13.01 | 13.09 | 12.64 |
| 水分 moisture                       | 6.26  | 6.67  | 6.31  | 6.17  | 6.17  |

注: 1. 无机盐混合物 (mg or g/kg diet): 氟化钠, 2 mg; 碘化钾, 18 mg; 氯化钴 (1%), 50 mg; 硫酸铜, 10 mg; 硫酸铁, 80 mg; 硫酸锌, 50 mg; 硫酸锰, 60 mg; 硫酸镁, 1 200 mg; 磷酸二氢钙, 10 g; 氯化钠, 100 mg; 沸石粉, 8.45 g。2. 维生素混合物 (mg or g/kg diet): 维生素 B<sub>1</sub>, 25 mg; 核黄素, 45 mg; 维生素 B<sub>6</sub> (盐酸吡哆醇), 20 mg; 维生素 B<sub>12</sub>, 0.1 mg; 维生素 K<sub>3</sub>, 10 mg; 肌醇, 800 mg; 维生素 B<sub>3</sub> (泛酸), 60 mg; 烟酸, 200 mg; 叶酸, 20 mg; 生物素, 1.20 mg; 维生素 A, 32 mg; 维生素 D<sub>3</sub>, 5 mg; 维生素 E, 120 mg; 维生素 C, 2 000 mg; 乙氧基喹啉, 150 mg; 次粉, 16.51 g。3. 诱食剂: 甘氨酸: 甜菜碱 = 1: 1。

Notes: 1. Mineral premix (mg or g/kg diet): NaF, 2 mg; KI, 18 mg; CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O (1%), 50 mg; CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O, 10 mg; FeSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O, 80 mg; ZnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O, 50 mg; MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O, 60 mg; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 1 200 mg; Ca (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O, 10 g; NaCl, 100 mg; Zeolite, 8.45 g。2. Vitamin premix (mg or g/kg diet): thiamin, 25 mg; riboflavin, 45 mg; pyridoxine HCl, 20 mg; vitamin B<sub>12</sub>, 0.1 mg; vitamin K<sub>3</sub>, 10 mg; inositol, 800 mg; pantothenic acid, 60 mg; niacin acid, 200 mg; folic acid, 20 mg; biotin, 1.20 mg; retinol acetate, 32 mg; cholecalciferol, 5 mg; alpha-tocopherol, 120 mg; ascorbic acid, 2 000 mg; ethoxyquin, 150 mg; wheat middling, 16.51 g。3. Attractant: glycine: betaine = 1: 1。

表 2 实验饲料脂肪酸组成

Tab. 2 Fatty acid composition of the experimental diets

|             | RP0   | RP25  | RP50  | RP75  | RP100 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C14:0       | 3.84  | 3.23  | 2.41  | 1.65  | 0.89  |
| C16:0       | 17.91 | 15.77 | 13.79 | 11.73 | 9.95  |
| C18:0       | 4.00  | 4.02  | 5.08  | 6.32  | 6.74  |
| C20:0       | 1.34  | 1.12  | 0.79  | 0.47  | 0.19  |
| Σ SFA       | 27.08 | 24.14 | 22.07 | 20.17 | 17.77 |
| C16:1       | 5.37  | 4.57  | 3.65  | 2.92  | 1.93  |
| C18:1       | 18.16 | 21.42 | 23.92 | 26.09 | 28.80 |
| Σ MUFA      | 23.53 | 25.99 | 27.57 | 29.01 | 30.73 |
| C18:2n-6    | 12.16 | 13.64 | 15.24 | 16.71 | 18.15 |
| C20:4n-6    | 3.95  | 4.44  | 5.01  | 5.93  | 6.44  |
| Σ n-6PUFA   | 16.11 | 18.08 | 20.25 | 22.64 | 24.59 |
| C18:3n-3    | 1.94  | 2.68  | 3.33  | 4.02  | 4.63  |
| C20:5n-3    | 6.99  | 6.05  | 4.84  | 3.81  | 2.64  |
| C22:6n-3    | 10.03 | 8.58  | 6.90  | 5.36  | 3.81  |
| Σ n-3PUFA   | 18.95 | 17.31 | 15.06 | 13.19 | 11.08 |
| n-3HUFA     | 17.01 | 14.63 | 11.73 | 9.17  | 6.45  |
| DHA/EPA     | 1.44  | 1.42  | 1.43  | 1.41  | 1.44  |
| n-3/n-6PUFA | 1.18  | 0.96  | 0.74  | 0.58  | 0.45  |

注:表中脂肪酸含量以每种脂肪酸甲酯占总脂肪酸甲酯的百分比表示。

Notes: Fatty acid content in the table expressed as percentage of total fatty acid methyl esters.

## 1.2 实验鱼来源与驯化

养殖实验在浙江省象山县西沪港进行。实验用大黄鱼购自于当地养殖户养殖的同一批苗,在正式实验前将鱼苗置于浮式海水网箱(3 m × 6 m × 3 m)中暂养 14 d,每天以基础饲料投喂两次,使之逐渐适应实验饲料和养殖环境。

## 1.3 实验过程

驯化结束后,挑选规格一致、体格健壮的大黄鱼(13.56 ± 0.05)g 随机分组,放置于 15 个海水网箱(1 m × 1 m × 1.5 m)中,放养密度为 45 尾/箱。每种饲料随机投喂 3 个实验网箱,每天于 5:00 和 17:00 饱食投喂两次,实验共进行 8 周。养殖期间水温在 21 ~ 30 °C,盐度为 25 ~ 32,溶解氧大于 7 mg/L。

## 1.4 样品采集和分析

实验结束后,对实验鱼进行饥饿处理 24 h,然后进行称重、计数和取样,样品保存于 -20 °C 冰箱中待测。鱼体和饲料常规指标的测定按照 AOAC<sup>[22]</sup>的方法进行,样品先在 105 °C 烘干至恒重后,求得干物质含量,然后进行生化分析。采用凯氏定氮法测定样品中的总氮含量,将测定结果

乘以 6.25 得粗蛋白质含量;以乙醚为抽提剂,采用索氏抽提法测定粗脂肪含量;将样品在电炉上碳化后,在马弗炉中灼烧(550 °C)8 h,测定样品灰分含量。肌肉和饲料中脂肪酸的组成分析参考 Metcalfe 等<sup>[23]</sup>的方法用 HP5890 气相色谱仪测定。饲料中脂肪含量乘以该脂肪酸甲酯占总脂肪酸甲酯的百分比即饲料中该脂肪酸含量的干重。

大黄鱼体色采用国际发光照明委员会 CIE<sup>[24]</sup>规定的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  色空间表示,其中  $L^*$  表示亮度值,  $-b^*$  表示蓝色值,  $+b^*$  表示黄色值,  $-a^*$  表示绿色值,  $+a^*$  表示红色值。使用 CR-400 型彩色色差计(柯尼卡-美能达,日本)于第 8 周夜间 19:30 至 22:00 进行测定。色差计使用前用白板进行校准,每个网箱测定 5 尾鱼背部和腹部皮肤的体色值,背部测定区域为背鳍前缘下方及侧线上方之间的区域,腹部为大黄鱼腹部的腹鳍到臀鳍之间的区域。在夜间测定前和测定过程中避免外源灯光对大黄鱼体色的影响。

## 1.5 计算公式

存活率(survival rate, SR, %) = 100 × 终末尾数/初始尾数

特定增长率(specific growth rate, SGR, %/d) = 100 × (Ln 终末体质量 - Ln 初始体质量)/实验天数

饲料系数(feed conversion ratio, FCR) = 饲料消耗量(g)/鱼体质量增加量(g)

## 1.6 统计方法

实验数据采用平均值 ± 标准误表示,经 SPSS 15.0 软件对数据进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),当差异显著时进行 Tukey's 多重比较,显著水平为 0.05。对肌肉中脂肪酸和饲料中脂肪酸关系采用 SPSS 进行线性回归分析。

## 2 结果

### 2.1 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼存活和生长的影响

从表 3 可以看出,饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼的存活率(SR)无显著性影响( $P > 0.05$ ),当菜籽油替代鱼油水平从 0% 增加到 100% 时,大黄鱼的存活率为 88.89% ~ 96.03%。各处理组间大黄鱼特定增长率(SGR)无显著性差异( $P > 0.05$ ),SGR 为 1.76 ~ 1.95%/d,其中鱼油组(RP0)SGR 略高于其它各处理组。随着替代水

平的升高饲料系数 (FCR) 呈不断上升趋势, RP100 饲料系数显著高于 RP0 ( $P < 0.05$ )。

## 2.2 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼体组成的影响

从表 4 可以看出, 饲料中菜籽油不同水平替代

鱼油对大黄鱼全鱼粗蛋白、粗脂肪、灰分和水分含量均无显著性影响 ( $P > 0.05$ )。大黄鱼全鱼水分含量为 73.55% ~ 75.74%, 粗蛋白质含量为 15.14% ~ 16.11%, 粗脂肪含量为 5.83% ~ 7.42%, 灰分含量在 3.38% ~ 3.80%。

表 3 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼存活率 (SR)、特定生长率 (SGR) 和饲料系数 (FCR) 的影响

Tab.3 Effects of replacement of dietary fish oil by rapeseed oil on survival rate (SR), specific growth rate (SGR) and feed conversion ratio (FCR) of large yellow croaker

| 饲料组<br>diets | 初始体质量/g<br>initial weight | 终末体质量/g<br>final weight | 存活率/%<br>survival rate | 特定生长率/(%/d)<br>specific growth rate | 饲料系数<br>feed conversion ratio |
|--------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| RP0          | 13.78 ± 0.09              | 40.37 ± 1.45            | 92.86 ± 2.75           | 1.95 ± 0.07                         | 1.54 ± 0.04 <sup>a</sup>      |
| RP25         | 13.60 ± 0.13              | 38.29 ± 1.71            | 94.05 ± 3.57           | 1.84 ± 0.11                         | 1.64 ± 0.12 <sup>ab</sup>     |
| RP50         | 13.53 ± 0.06              | 36.28 ± 1.03            | 88.89 ± 2.10           | 1.76 ± 0.06                         | 1.82 ± 0.03 <sup>ab</sup>     |
| RP75         | 13.60 ± 0.08              | 37.95 ± 0.58            | 96.03 ± 0.79           | 1.83 ± 0.03                         | 1.60 ± 0.00 <sup>ab</sup>     |
| RP100        | 13.53 ± 0.05              | 38.13 ± 1.30            | 90.48 ± 2.75           | 1.85 ± 0.06                         | 1.93 ± 0.14 <sup>b</sup>      |

注: 表中数据为平均数和三个重复的标准误, 同一列中不同上标字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Values are means and standard errors of three replicates. Means in each column with different superscripts show significant differences ( $P < 0.05$ ).

表 4 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼体组成的影响

Tab.4 Effects of replacement of dietary fish oil by rapeseed oil on body composition of large yellow croaker

| 饲料组<br>diets | 粗蛋白质/%<br>crude protein | 粗脂肪/%<br>crude lipid | 灰分/%<br>ash | 水分/%<br>moisture |
|--------------|-------------------------|----------------------|-------------|------------------|
| RP0          | 15.54 ± 0.55            | 7.10 ± 0.92          | 3.38 ± 0.15 | 74.17 ± 1.26     |
| RP25         | 15.73 ± 0.44            | 7.42 ± 1.01          | 3.66 ± 0.16 | 74.02 ± 1.50     |
| RP50         | 15.14 ± 0.47            | 6.07 ± 0.35          | 3.48 ± 0.06 | 75.74 ± 0.81     |
| RP75         | 16.11 ± 0.61            | 7.32 ± 0.55          | 3.80 ± 0.19 | 73.55 ± 1.21     |
| RP100        | 15.54 ± 0.29            | 5.83 ± 0.21          | 3.44 ± 0.12 | 75.49 ± 0.46     |

## 2.3 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼肌肉脂肪酸含量的影响

饲料中脂肪酸组成显著影响了大黄鱼肌肉中脂肪酸含量 (表 5), 肌肉中脂肪酸与饲料中相对脂肪酸的线性回归分析见表 6。当菜籽油替代水平从 0% 增加到 100% 时, 大黄鱼肌肉中脂肪酸随饲料中脂肪酸的增加而增加, 如 C18:0、C18:1、C18:2n-6、C20:4n-6 和 C18:3n-3。若斜率大于 1 表明随着替代水平的升高大黄鱼肌肉中该脂肪酸含量增加速率高于饲料中该脂肪酸的增加速率, 反之则低于饲料中该脂肪酸的增加速率<sup>[25-26]</sup>。C18:0 斜率为 2.353, 而 C18:1、C18:2n-6、C20:4n-6 和 C18:3n-3 斜率分别为 0.771、0.740、0.737 和 0.724, 表明与饲料中脂肪酸相比肌肉中沉积更多的是 C18:0, 而不是 C18:1、C18:2n-6、C20:4n-6 和 C18:3n-3。当肌肉中脂肪酸随着饲料中该脂肪酸的减少而减少时, 如 C16:0、C20:0、

C16:1、C20:5n-3 和 C22:6n-3, 若斜率大于 1 表明该脂肪酸更容易被消耗利用, 若斜率小于 1 表明该脂肪酸更利于积累<sup>[25-26]</sup>。C16:1 斜率为 1.045 表明 C16:1 更容易被利用; C16:0、C20:0、C20:5n-3 和 C22:6n-3 斜率分别为 0.476、0.643、0.723 和 0.650, 说明这 4 种脂肪酸更倾向于积累, 其中 C22:6n-3 斜率小于 C20:5n-3 表明 C22:6n-3 减少的速率要比 C20:5n-3 慢。

肌肉中饱和脂肪酸 (SFA) 随着菜籽油替代鱼油水平的升高而升高, 这与饲料中 SFA 变化趋势相反, 即斜率小于 0 (表 2、表 5 和表 6)。MUFA 随菜籽油替代的升高而升高但各处理组间均无显著性差异 ( $P > 0.05$ ), n-6PUFA 和 n-3PUFA 随着替代的升高而显著降低 ( $P < 0.05$ ) (表 5)。当菜籽油替代鱼油水平从 0% 增加到 100% 时, 肌肉中 n-3/n-6PUFA 从 1.10 降低到 0.51 (表 5)。

表 5 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼肌肉脂肪酸组成的影响  
Tab.5 Effects of replacement of dietary fish oil by rapeseed oil on fatty acid composition in muscle of large yellow croaker

|             | RP0                       | RP25                       | RP50                       | RP75                       | RP100                     |
|-------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| C14:0       | 3.50 ± 0.02 <sup>a</sup>  | 2.92 ± 0.05 <sup>b</sup>   | 2.42 ± 0.02 <sup>c</sup>   | 2.04 ± 0.04 <sup>d</sup>   | 1.55 ± 0.07 <sup>e</sup>  |
| C16:0       | 18.54 ± 0.55 <sup>a</sup> | 18.13 ± 0.97 <sup>a</sup>  | 17.14 ± 0.39 <sup>ab</sup> | 16.52 ± 0.45 <sup>ab</sup> | 14.55 ± 0.02 <sup>b</sup> |
| C18:0       | 5.87 ± 0.58 <sup>a</sup>  | 8.14 ± 0.62 <sup>a</sup>   | 9.59 ± 0.63 <sup>ab</sup>  | 12.12 ± 0.83 <sup>bc</sup> | 13.65 ± 1.05 <sup>c</sup> |
| C20:0       | 1.05 ± 0.03 <sup>a</sup>  | 0.80 ± 0.03 <sup>b</sup>   | 0.62 ± 0.03 <sup>c</sup>   | 0.43 ± 0.01 <sup>d</sup>   | 0.28 ± 0.03 <sup>e</sup>  |
| Σ SFA       | 28.96 ± 0.92              | 29.99 ± 1.50               | 29.77 ± 0.29               | 31.11 ± 0.89               | 30.01 ± 0.98              |
| C16:1       | 6.97 ± 0.32 <sup>a</sup>  | 6.44 ± 0.25 <sup>ab</sup>  | 5.49 ± 0.44 <sup>bc</sup>  | 4.48 ± 0.05 <sup>cd</sup>  | 3.49 ± 0.11 <sup>d</sup>  |
| C18:1       | 19.64 ± 0.71 <sup>a</sup> | 20.32 ± 1.31 <sup>a</sup>  | 21.84 ± 0.75 <sup>ab</sup> | 24.17 ± 1.52 <sup>ab</sup> | 27.89 ± 1.15 <sup>b</sup> |
| Σ MUFA      | 26.62 ± 1.02              | 26.75 ± 1.55               | 27.33 ± 0.31               | 28.64 ± 1.49               | 31.38 ± 1.26              |
| C18:2n-6    | 10.69 ± 0.26 <sup>a</sup> | 11.23 ± 0.33 <sup>a</sup>  | 12.70 ± 0.20 <sup>b</sup>  | 13.41 ± 0.11 <sup>b</sup>  | 15.17 ± 0.33 <sup>c</sup> |
| C20:4n-6    | 3.94 ± 0.06 <sup>a</sup>  | 4.34 ± 0.05 <sup>b</sup>   | 4.58 ± 0.10 <sup>b</sup>   | 5.37 ± 0.09 <sup>c</sup>   | 5.80 ± 0.06 <sup>d</sup>  |
| Σ n-6PUFA   | 14.61 ± 0.22 <sup>a</sup> | 15.57 ± 0.38 <sup>a</sup>  | 17.28 ± 0.30 <sup>b</sup>  | 18.78 ± 0.15 <sup>c</sup>  | 20.97 ± 0.28 <sup>d</sup> |
| C18:3n-3    | 1.83 ± 0.07 <sup>a</sup>  | 2.25 ± 0.08 <sup>b</sup>   | 2.82 ± 0.05 <sup>c</sup>   | 3.19 ± 0.01 <sup>d</sup>   | 3.80 ± 0.10 <sup>e</sup>  |
| C20:5n-3    | 5.37 ± 0.04 <sup>a</sup>  | 4.35 ± 0.07 <sup>b</sup>   | 3.59 ± 0.07 <sup>c</sup>   | 2.75 ± 0.02 <sup>d</sup>   | 2.20 ± 0.10 <sup>e</sup>  |
| C22:6n-3    | 8.80 ± 0.33 <sup>a</sup>  | 7.34 ± 0.53 <sup>ab</sup>  | 6.34 ± 0.35 <sup>bc</sup>  | 5.52 ± 0.14 <sup>c</sup>   | 4.61 ± 0.50 <sup>c</sup>  |
| Σ n-3PUFA   | 15.99 ± 0.31 <sup>a</sup> | 13.93 ± 0.53 <sup>b</sup>  | 12.69 ± 0.30 <sup>bc</sup> | 11.47 ± 0.17 <sup>cd</sup> | 10.69 ± 0.40 <sup>d</sup> |
| n-3HUFA     | 14.17 ± 0.37 <sup>a</sup> | 11.69 ± 0.61 <sup>ab</sup> | 9.93 ± 0.41 <sup>bc</sup>  | 8.27 ± 0.16 <sup>c</sup>   | 6.90 ± 0.49 <sup>d</sup>  |
| n-3/n-6PUFA | 1.10 ± 0.04 <sup>a</sup>  | 0.90 ± 0.06 <sup>ab</sup>  | 0.73 ± 0.03 <sup>bc</sup>  | 0.61 ± 0.01 <sup>c</sup>   | 0.51 ± 0.03 <sup>d</sup>  |

表 6 肌肉中脂肪酸与饲料中脂肪酸的线性回归分析  
Tab.6 Regression analysis of muscle fatty acid against dietary fatty acid

|             | 方程                   | R <sup>2</sup> | P     |
|-------------|----------------------|----------------|-------|
| C14:0       | y = 0.636x + 0.956   | 0.989          | 0.003 |
| C16:0       | y = 0.476x + 10.392  | 0.913          | 0.003 |
| C18:0       | y = 2.353x - 2.435   | 0.932          | 0.304 |
| C20:0       | y = 0.643x + 0.133   | 0.981          | 0.062 |
| Σ SFA       | y = -0.143x + 33.156 | 0.446          | 0.001 |
| C16:1       | y = 1.045x + 1.519   | 0.990          | 0.008 |
| C18:1       | y = 0.771x + 4.508   | 0.898          | 0.300 |
| Σ MUFA      | y = 0.629x + 10.923  | 0.776          | 0.134 |
| C18:2n-6    | y = 0.740x + 1.414   | 0.969          | 0.313 |
| C20:4n-6    | y = 0.737x + 1.005   | 0.991          | 0.018 |
| Σ n-6PUFA   | y = 0.740x + 2.400   | 0.984          | 0.123 |
| C18:3n-3    | y = 0.724x + 0.373   | 0.991          | 0.076 |
| C20:5n-3    | y = 0.723x + 0.135   | 0.984          | 0.657 |
| C22:6n-3    | y = 0.650x + 2.011   | 0.984          | 0.011 |
| Σ n-3PUFA   | y = 0.653x + 3.086   | 0.958          | 0.004 |
| n-3HUFA     | y = 0.674x + 2.240   | 0.983          | 0.038 |
| n-3/n-6PUFA | y = 0.801x + 0.143   | 0.998          | 0.003 |

注: x 代表饲料中该脂肪酸含量, y 代表肌肉中该脂肪酸含量。

Notes: x represents dietary fatty acid content, y represents muscle fatty acid content.

#### 2.4 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼皮肤体色值的影响

饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼背部和腹部皮肤的亮度值( $L^*$ )、红色值( $a^*$ )和黄色值( $b^*$ )的影响见表 7。菜籽油替代鱼油对大黄鱼腹部  $L^*$

值无显著性影响,但是随着替代水平的提高背部  $L^*$  值呈不断上升的趋势,RP75 和 RP100 亮度值显著高于 RP50 和 RP0 ( $P < 0.05$ )。RP0 大黄鱼腹部  $a^*$  值显著高于其它各处理组 ( $P < 0.05$ ); 与腹部  $a^*$  值相反,RP0 组大黄鱼背部  $a^*$  值低于其它各处理组,其中 RP0 显著低于 RP25、RP75 和 RP100 ( $P < 0.05$ )。菜籽油替代鱼油对大黄鱼背部和腹部  $b^*$  值均无显著性影响 ( $P > 0.05$ ),腹部皮肤的  $b^*$  值高于背部皮肤的  $b^*$  值。

### 3 讨论

#### 3.1 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼存活和生长的影响

菜籽油 100% 替代鱼油对大黄鱼幼鱼的存活和生长没有显著性影响,这与在大西洋鲑<sup>[8,10,27]</sup>、虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)<sup>[9,15,28]</sup> 和驼背鲈 (*Cromileptes altivelis*)<sup>[13]</sup> 上的研究结果一致。但是 Izquierdo 等<sup>[19]</sup> 和 Fountoulaki 等<sup>[14]</sup> 发现用菜籽油分别替代 60% 和 69% 的鱼油不会影响金头鲷的生长,而当菜籽油替代鱼油水平提高到 80% 时会显著抑制其生长;Bowler 等<sup>[16]</sup> 研究发现菜籽油完全替代鱼油会显著降低黄尾鲷 (*Seriola lalandi*) 的生长,而 50% 替代不会抑制其生长。菜籽油 100% 替代鱼油同样会影响尖吻鲈幼鱼 (*Lates calcarifer*) 的生长<sup>[29]</sup>。

表 7 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼皮肤体色值的影响 ( $n = 15$ )  
 Tab. 7 Effects of replacement of dietary fish oil by rapeseed oil on the skin color of large yellow croaker

|       | 腹部皮肤 ventral skin |                           |              | 背部皮肤 dorsal skin           |                            |              |
|-------|-------------------|---------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
|       | $L^*$             | $a^*$                     | $b^*$        | $L^*$                      | $a^*$                      | $b^*$        |
| RP0   | 82.54 ± 0.14      | -0.10 ± 0.10 <sup>a</sup> | 58.27 ± 0.64 | 58.76 ± 0.96 <sup>a</sup>  | -2.20 ± 0.09 <sup>a</sup>  | 14.04 ± 0.36 |
| RP25  | 82.50 ± 0.11      | -1.32 ± 0.04 <sup>b</sup> | 57.56 ± 0.49 | 61.33 ± 1.27 <sup>ab</sup> | -1.52 ± 0.04 <sup>b</sup>  | 13.09 ± 0.43 |
| RP50  | 83.31 ± 0.15      | -1.75 ± 0.07 <sup>b</sup> | 54.72 ± 0.89 | 59.38 ± 0.21 <sup>a</sup>  | -1.86 ± 0.06 <sup>ab</sup> | 13.32 ± 0.54 |
| RP75  | 82.85 ± 0.34      | -1.45 ± 0.14 <sup>b</sup> | 58.31 ± 0.65 | 67.90 ± 2.62 <sup>bc</sup> | -1.52 ± 0.13 <sup>b</sup>  | 12.66 ± 0.28 |
| RP100 | 83.32 ± 0.26      | -1.68 ± 0.08 <sup>b</sup> | 58.33 ± 0.80 | 71.46 ± 1.51 <sup>c</sup>  | -1.50 ± 0.13 <sup>b</sup>  | 13.80 ± 0.57 |

注:表中数据为平均数和三个重复的标准误,同一列中不同上标字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。  $L^*$  表示亮度值,  $a^*$  表示红色值,  $b^*$  表示黄色值。

Notes: Values are means and standard errors of three replicates. Means in each column with different superscripts have significant differences ( $P < 0.05$ ).  $L^*$ : skin lightness,  $a^*$ : skin redness,  $b^*$ : skin yellowness.

实验发现随着菜籽油替代水平的提高,饲料系数升高,100% 替代组显著高于 0% 组,这与 Bowyer 等<sup>[16]</sup>用菜籽油 100% 替代鱼油会显著增加黄尾鲷饲料系数的研究结果一致。然而许多研究表明,菜籽油部分或完全替代鱼油并不会影响海水鱼类的饲料系数<sup>[10-13,15,25,27-28,30]</sup>。

由于海水鱼类体内将亚麻酸(18:3n-3)转化形成 n-3HUFA(特别是 DHA 和 EPA)所需的  $\Delta 6$  去饱和酶和延长酶的活性很低<sup>[31-32]</sup>,导致海水鱼类必需从食物中获取一定量的 n-3HUFA 才能满足生长<sup>[33-34]</sup>、免疫<sup>[35-36]</sup>和繁殖<sup>[37-38]</sup>等需要。植物油中含有丰富的 n-6PUFA,而缺乏海水鱼类所必需的 n-3HUFA,当饲料中鱼油被植物油替代后,饲料中的脂肪酸组成也随着发生改变,特别是 n-3HUFA 显著降低,从而可能会影响鱼类的生长。Turchini 等<sup>[4]</sup>认为,如果饲料中 EFA 满足了鱼类对 EFA 的需要,其它脂肪源可以替代 60%~75% 的鱼油而不影响鱼类的摄食、生长和饲料系数。Zuo 等<sup>[39]</sup>的研究表明,当饲料中 n-3HUFA 含量高于 0.6% (干重)时即可满足大黄鱼的正常生长。在实验中,饲料中含有 43% 的鱼粉,可以提供一定量的 n-3HUFA,当菜籽油替代水平从 0% 提高到 100% 时,饲料中 n-3HUFA 含量从 2.13% (干重)下降到 0.77% (干重),即实验中所有的饲料处理组的 n-3HUFA 含量均满足大黄鱼的需求。

除了满足 n-3HUFA 需求外,饲料中 DHA/EPA 的比例也需要满足在一定的范围内才能维持鱼类的正常生长。实验饲料中 DHA/EPA 的比例维持在 1.41~1.44,符合大黄鱼幼鱼的生长需求<sup>[40]</sup>。此外,在满足鱼类对 n-3HUFA 需求的同时,饲料中 n-3/n-6PUFA 的比例也会影响鱼类的

生长和免疫等性能<sup>[41]</sup>,这是因为 n-3PUFA 和 n-6PUFA 会竞争脂肪酸代谢过程中的酶<sup>[42]</sup>。本研究中,当菜籽油替代鱼油的水平从 0% 增加到 100% 时,饲料中 n-3/n-6PUFA 从 1.18 下降到 0.45(表 2)。这可能是导致 100% 替代组饲料系数显著高于 0% 替代组的原因之一,具体原因还有待进一步研究。

### 3.2 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼肌肉脂肪酸组成的影响

许多研究表明,饲料中脂肪酸组成会显著影响鱼体组织中脂肪酸的组成<sup>[10-15,30]</sup>。在实验中,随着菜籽油替代鱼油水平的提高,大黄鱼肌肉中 SFA 含量随着饲料中 SFA 的下降而上升。而 Bell 等<sup>[10]</sup>和 Torstensen 等<sup>[25]</sup>在大西洋鲑上及 Menoyo 等<sup>[18]</sup>在金头鲷上研究发现,用不同水平的菜籽油替代鱼油,随着替代水平的提高,肌肉中 SFA 的含量随饲料中 SFA 的减少而减少。通过肌肉中脂肪酸和饲料中脂肪酸的相关性分析表明,这主要是因为随着菜籽油替代鱼油水平的提高,大黄鱼肌肉中 C18:0 含量随饲料中 C18:0 含量的增加而快速增加(斜率为 2.353),而肌肉中 C16:0 含量降低的速率远低于饲料中 C16:0 含量降低的速率(斜率为 0.476)(表 5 和表 6)。这可能是由于大黄鱼不能有效利用 SFA 作为能量来源而倾向于在体内积累 SFA 的结果。肌肉中脂肪酸和饲料中脂肪酸相关性分析表明,C18:1、C16:1、C18:2n-6、C20:4n-6 和 C18:3n-3 随着菜籽油替代水平的提高而被机体代谢利用。也有研究表明,鱼类与其它脂肪酸相比,单不饱和脂肪酸和 C18:2n-6 更易于被  $\beta$ -氧化而加以利用<sup>[42-44]</sup>。Bell 等<sup>[10,27]</sup>对肌肉中脂肪酸和饲料中脂肪酸的线性回归的研究同样表明,C18:1、C18:2n-6 和

C18:3n-3易于被大西洋鲑氧化利用。随着替代水平的提高,大黄鱼肌肉中的 DHA 和 EPA 含量随着饲料中 DHA 和 EPA 含量的减少而减少,但是其减少速率小于饲料中 DHA 和 EPA 减少的速率(斜率小于 1),这表明 DHA 和 EPA 在大黄鱼体内倾向于积累从而维持鱼体的正常生理功能。相似的结果还出现在大西洋鲑<sup>[10]</sup>、金头鲷<sup>[19]</sup>、虹鳟<sup>[28]</sup>和黄尾鲈<sup>[16]</sup>等植物油替代鱼油对鱼体脂肪酸组成的研究上。

### 3.3 饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼皮肤体色的影响

鱼类体色是影响鱼类品质和市场售价的重要因素之一<sup>[45]</sup>。很多研究表明通过向食物中添加类胡萝卜素能显著改善人工养殖鱼类体色<sup>[18-19,21]</sup>。由于类胡萝卜素是脂溶性物质,因此饲料中脂肪源会影响鱼类对色素的吸收和代谢,最终影响体色<sup>[17]</sup>。在实验中,随着菜籽油替代水平的提高,各处理组大黄鱼腹部的亮度值、背部和腹部的黄色值均无显著性差异,而背部亮度值不断升高;菜籽油的添加提高了大黄鱼背部红色值而降低了腹部红色值。Menoyo 等<sup>[18]</sup>和 Izquierdo 等<sup>[19]</sup>发现亚麻油和豆油替代鱼油后会显著降低金头鲷肌肉的红色值和黄色值,同时会提高皮肤的亮度值。Regost 等<sup>[30]</sup>的研究表明,鱼油组大西洋鲑肌肉红色和类胡萝卜素含量显著高于植物油替代组。Bjerkeng 等<sup>[21]</sup>通过分析饲料中的脂肪酸组成和大西洋鲑肌肉红色值的关系后,认为饲料中脂肪酸组成影响了肌肉的红色值。但是 Bell 等<sup>[10,46]</sup>分别用菜籽油和棕榈油不同水平替代鱼油后发现,大西洋鲑肌肉中总色素含量和虾青素含量不受脂肪源和替代水平的影响,而肌肉中的色素含量和虾青素含量决定了肌肉的颜色,这表明饲料中的脂肪酸组成与肌肉颜色没有相关性。实验没有得出二者的直接相关性,因此,在本实验条件下大黄鱼体色的变化没有显著受到饲料中不同脂肪酸组成的影响。目前关于脂肪源对鱼类体色影响的具体原因还不清楚,有待进一步研究。

实验结果表明,在饲料蛋白质水平为 45%,脂肪水平为 12% 的条件下,菜籽油不同水平(0%、25%、50%、75%、100%)替代鱼油投喂大黄鱼幼鱼 8 周,对大黄鱼幼鱼生长、存活和体组成无显著性影响。然而,随着替代水平的提高,饲料系数不断上升。饲料中脂肪酸组成显著影响了大

黄鱼幼鱼肌肉中脂肪酸的组成。菜籽油的添加,显著影响了大黄鱼背部和腹部皮肤的红色值及背部皮肤的亮度值,而对背部和腹部皮肤黄色值和腹部皮肤的亮度值无显著性影响。体色的变化与饲料脂肪酸的组成没有显著相关性。

### 参考文献:

- [1] FAO. The state of world fisheries and aquaculture. FAO fisheries and aquaculture department [R]. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, 2010.
- [2] Jackson A. Fishmeal, fish oil: prime feed ingredients not limiting factors for responsible aquaculture [R]. The Global Aquaculture Advocate. Global Aquaculture Alliance, St Louis, Missouri, USA, 2010.
- [3] Pickova J, Mørkøre T. Alternate oils in fish feeds [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2007, 109(3): 256-263.
- [4] Turchini G M, Torstensen B E, Ng W K. Fish oil replacement in finfish nutrition [J]. Reviews in Aquaculture, 2009, 1(1): 10-57.
- [5] Figueiredo-Silva A, Rocha E, Dias J, et al. 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 [J]. Aquaculture Nutrition, 2005, 11(2): 147-155.
- [6] Miller M R, Nichols P D, Carter C G. n-3 oil sources for use in aquaculture alternatives to the unsustainable harvest of wild fish [J]. Nutrition Research Reviews, 2008, 21(2): 85-96.
- [7] Martings D A, Valente L M P, Lall S P. Partial replacement of fish oil by flaxseed oil in Atlantic halibut (*Hippoglossus shippoglossus* L.) diets: effects on growth, nutritional and sensory quality [J]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(6): 671-684.
- [8] Thomassen M S, Rosjo C. Different fats in feed for salmon: influence on sensory parameters, growth rate and fatty acids in muscle and heart [J]. Aquaculture, 1989, 79(1-4): 129-135.
- [9] Greene D H S, Selivonchek D P. Effects of dietary vegetable, animal and marine lipids on muscle lipid and hematology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1990, 89(2): 165-182.
- [10] 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.
- [ 11 ] Ng W K, Sigholt T, Bell J G. The influence of environmental temperature on the apparent nutrient and fatty acid digestibility in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed finishing diets containing different blends of fish oil, rapeseed oil and palm oil [ J ]. Aquaculture Research, 2004, 35(13): 1228 - 1237.
- [ 12 ] Torstensen B E, Frøyland L, Lie Ø. Replacing dietary fish oil with increasing levels of rapeseed oil and olive oil-effects on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) tissue and lipoprotein lipid composition and lipogenic enzyme activities [ J ]. Aquaculture Nutrition, 2004, 10(3): 175 - 192.
- [ 13 ] Shapawi R, Mustafa S, Ng W K. Effects of dietary fish oil replacement with vegetable oils on growth and tissue fatty acid composition of humpback grouper, *Cromileptes altivelis* ( Valenciennes ) [ J ]. Aquaculture Research, 2008, 39(3): 315 - 323.
- [ 14 ] Fountoulaki E, Vasilaki A, Hurtado R, et al. Fish oil substitution by vegetable oils in commercial diets for gilthead seabream (*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(3-4): 317 - 326.
- [ 15 ] Stone D A, Oliveira A C M, Ross C F, et al. The effects of phase-feeding rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with canola oil and Alaskan pollock fish oil on fillet fatty acid composition and sensory attributes [ J ]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(2): e521 - e529.
- [ 16 ] Bowyer J N, Qin J G, Smullen R P, et al. Replacement of fish oil by poultry oil and canola oil in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) at optimal and suboptimal temperatures [ J ]. Aquaculture, 2012, 356 - 357: 211 - 222.
- [ 17 ] Choubert G, Mendes-Pinto M M, Morais R. Pigmenting efficacy of astaxanthin fed to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*; Effect of dietary astaxanthin and lipid sources [ J ]. Aquaculture, 2006, 257(1-4): 429 - 436.
- [ 18 ] Menoyo D, Izquierdo M S, Robaina L, et al. Adaptation of lipid metabolism, tissue composition and flesh quality in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) to the replacement of dietary fish oil by linseed and soybean oils [ J ]. The British Journal of Nutrition, 2004, 92(1): 41 - 52.
- [ 19 ] Izquierdo M S, Robaina L, Caballero M J, et al. Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding [ J ]. Aquaculture, 2005, 250(1-2): 431 - 444.
- [ 20 ] 中华人民共和国农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴 [ M ]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 29.
- [ 21 ] Bjerkgeng B, Hatlen B, Wathne E. Deposition of astaxanthin in fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with herring, capelin, sandeel, or Peruvian high PUFA oils [ J ]. Aquaculture, 1999, 180(3-4): 307 - 319.
- [ 22 ] AOAC ( Association of Official Analytical Chemists ). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, 16th edition [ M ]. Cunniff P, Ed. AOAC International, Arlington, VA, 1995.
- [ 23 ] Metcalfe L D, Schmitz A A, Pelka J R. Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis [ J ]. Analytical Chemistry, 1966, 38(3): 514 - 515.
- [ 24 ] CIE. Official Recommendations on uniform colour space, colour difference equations and metric colour terms [ M ]. Paris: Commission International de l'Éclairage, 1976.
- [ 25 ] Torstensen B E, Frøyland L, Ørnstrud R, et al. Tailoring of cardio protective muscle fatty acid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed vegetable oils [ J ]. Food Chemistry, 2004, 87(4): 567 - 580.
- [ 26 ] Trusenski J, Schwarz M, Lewis H, et al. Effect of replacing dietary oil with soybean oil on production performance and fillet lipid and fatty acid composition of juvenile cobia [ J ]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(2): e437 - e447.
- [ 27 ] Bell J G, Tocher D R, Henderson R J, et al. Altered fatty acid compositions in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets containing linseed and rapeseed oils can be partially restored by a subsequent fish oil finishing diet [ J ]. The Journal of Nutrition, 2003, 133(9): 2793 - 2801.
- [ 28 ] Pettersson A, Johnsson L, Brannas E, et al. Effects of rapeseed oil replacement in fish feed on lipid composition and self-selection by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [ J ]. Aquaculture Nutrition, 2009, 15(6): 577 - 586.
- [ 29 ] Raso S, Anderson T A. Effects of dietary fish oil



- replacement on growth and carcass proximate composition of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) [J]. *Aquaculture Research*, 2003, 34 (10):813 – 819.
- [30] Regost C, Jakobsen J V, Rorá A M B. Flesh quality of raw and smoked fillets of Atlantic salmon as influenced by dietary oil sources and frozen storage [J]. *Food Research International*, 2004, 37 (3): 259 – 271.
- [31] Kanazawa A, Teshima S I, Ono K. Relationship between essential fatty acid requirements of aquatic animals and the capacity for bioconversion of linolenic acid to highly unsaturated fatty acids [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 1979, 63 (3): 295 – 298.
- [32] Cowey C B, Sargent J R. Lipid nutrition in fish [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 1977, 57 (4): 269 – 273.
- [33] Skalli A, Robin J H. Requirement of n-3 long chain polyunsaturated fatty acids for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles; growth and fatty acid composition [J]. *Aquaculture*, 2004, 240 (1 – 4):399 – 415.
- [34] Kim K D, Lee S M. Requirement of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids for juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture*, 2004, 229 (1 – 4):315 – 233.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] Lavens P, Lebegue E, Jaunet H, *et al.* Effect of dietary essential fatty acids and vitamins on egg quality in turbot broodstocks [J]. *Aquaculture International*, 1999, 7 (4):225 – 240.
- [38] Izquierdo M S, Fernandez-Palacios H, Tacon A G J. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish [J]. *Aquaculture*, 2001, 197 (1 – 4):25 – 42.
- [39] Zuo R T, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids on growth, nonspecific immunity, expression of some immune related genes and disease resistance of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) following natural infestation of parasites (*Cryptocaryon irritans*) [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2012, 32 (2): 249 – 258.
- [40] Zuo R T, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effects of dietary docosahexaenoic to eicosapentaenoic acid ratio (DHA/EPA) on growth, nonspecific immunity, expression of some immune related genes and disease resistance of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) following natural infestation of parasites (*Cryptocaryon irritans*) [J]. *Aquaculture*, 2012, 334 – 337:101 – 109.
- [41] Thompson K D, Tatner M F, Henderson R J. Effects of dietary (n-3) and (n-6) polyunsaturated fatty acid ratio on the immune response of Atlantic salmon, *Salmo salar* L [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1996, 2 (1):21 – 31.
- [42] Sargent J, Henderson R J, Tocher D R. The lipids [M] // Halver J E, Ed. *Fish Nutrition*, London UK: Academic Press, 1989.
- [43] Henderson R J, Sargent J R. Chain-length specificities of mitochondrial and peroxisomal beta-oxidation of fatty acids in livers of rainbow trout [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 1985, 82 (1): 79 – 85.
- [44] Kiessling K H, Kiessling A. Selective utilization of fatty acids in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) red muscle mitochondria [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1993, 71 (2):248 – 251.
- [45] Kalinowski C T, Robaina L E, Fernández-Palacios H, *et al.* Effect of different carotenoid sources and their dietary levels on red porgy (*Pagrus pagrus*) growth and skin colour [J]. *Aquaculture*, 2005, 244 (1 – 4):223 – 231
- [46] Bell J G, Henderson R J, Tocher D R, *et al.* Substituting fish oil with crude palm oil in the diet of atlantic salmon (*Salmo salar*) affects muscle fatty acid composition and hepatic fatty acid metabolism [J]. *The Journal of Nutrition*, 2002, 132 (2): 222 – 230.

## Effects of dietary fish oil replaced with rapeseed oil on the growth, fatty acid composition and skin color of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)

YI Xinwen<sup>1,2</sup>, ZHANG Wenbing<sup>1,2\*</sup>, MAI Kangsen<sup>1,2</sup>, SHENTU Jikang<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Aquaculture Nutrition and Feeds, Ministry of Agriculture, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

3. Ningbo Ocean and Fisheries Research Institute, Ningbo 315010, China)

**Abstract:** An 8-week feeding trial was conducted to investigate the effects of dietary fish oil replaced with rapeseed oil on growth, muscle fatty acid compositions and skin color of large yellow croaker (initial weight  $13.56 \pm 0.05$  g). Five isoproteic and isolipidic experimental diets were formulated with 0%, 25%, 50%, 75% and 100% replacement of fish oil by rapeseed oil. Results showed that these replacements did not significantly influence the survival rate (SR) and specific growth rate (SGR) ( $P > 0.05$ ). However, the feed conversion ratio (FCR) was increased with the increasing of replacement levels. Furthermore, FCR in the group of 100% rapeseed oil was significantly higher than that of 100% dietary fish oil ( $P < 0.05$ ). No significant difference was observed in the whole body compositions ( $P > 0.05$ ). The concentrations of C18:0, C18:1, C18:2n-6, C18:3n-3 and the saturated fatty acid (SFA), except C20:4n-6 and C22:5n-3 in muscle, were elevated with the increasing of dietary rapeseed oil levels. There were no significant differences in yellowness ( $b^*$ ) of dorsal and ventral skin among the five treatments ( $P > 0.05$ ). Lightness ( $L^*$ ) of the dorsal skin in the treatment with 100% dietary rapeseed oil was significantly higher than that with 100% dietary fish oil ( $P < 0.05$ ). However,  $L^*$  of the ventral skin was not significantly different among the all treatments ( $P > 0.05$ ). Higher redness ( $a^*$ ) of ventral skin and lower  $a^*$  of dorsal skin were found in fish fed with 0% rapeseed oil. This study suggested that there were no significant effects of replacement of dietary fish oil by rapeseed oil on growth and body composition. However, the fatty acid composition of muscle and the skin color were significantly influenced.

**Key words:** *Larimichthys crocea*; rapeseed oil; fish oil; fatty acid; skin color

**Corresponding author:** ZHANG Wenbing. E-mail: wzhang@ouc.edu.cn