

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20170529001

http://www.yykxjz.cn/

闫春为, 陈乃松, 李自强, 连雪原, 王孟乐. 大黄鱼幼鱼饲料中大豆磷脂油与菜籽油的适宜配比. 渔业科学进展, 2018, 39(4): 56-65

Yan CW, Chen NS, Li ZQ, Lian XY, Wang ML. Suitable ratio of soybean phospholipid oil to rapeseed oil in the diet of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(4): 56-65

## 大黄鱼幼鱼饲料中大豆磷脂油 与菜籽油的适宜配比\*

闫春为<sup>1</sup> 陈乃松<sup>1,2,3①</sup> 李自强<sup>1</sup> 连雪原<sup>1</sup> 王孟乐<sup>1</sup>

(1. 农业农村部鱼类营养与环境生态研究中心 上海 201306; 2. 水产科学国家级  
实验教学示范中心 上海 201306; 3. 上海水产养殖工程技术研究中心 上海 201306)

**摘要** 配制浓缩大豆磷脂油与精制菜籽油的添加比例分别为 0:6、2:4、4:2 和 6:0 的 4 种等氮、等能和等脂的饲料(P0R6、P2R4、P4R2 和 P6R0), 在海水浮式网箱中, 养殖初始体重为(20.84±0.05) g 的大黄鱼(*Larimichthys crocea*)幼鱼 51 d, 每个处理组设 3 个重复, 每个重复 40 尾鱼。通过评定 2 种油脂的不同对比对大黄鱼幼鱼的生长、体组成和脂肪酸组成的影响, 以得出大黄鱼幼鱼饲料中大豆磷脂油与菜籽油的适宜配比。结果显示, 各组实验鱼的存活率均高于 91%, 且无显著差异( $P>0.05$ )。P2R4 组实验鱼的特定生长率显著高于 P4R2 和 P6R0 组( $P<0.05$ )。P2R4 组实验鱼的蛋白质沉积率和脂肪沉积率显著高于 P0R6 和 P6R0 组( $P<0.05$ )。P0R6 和 P2R4 组全鱼的粗脂肪含量显著高于 P4R2 和 P6R0 组( $P<0.05$ )。全鱼和肌肉的脂肪酸组成受实验鱼所摄食饲料的脂肪酸组成的影响。P6R0 饲料显著降低了实验鱼的肝脏脂肪含量和肥满度( $P<0.05$ )。研究表明, 大黄鱼幼鱼饲料中浓缩大豆磷脂油与精制菜籽油的适宜配比为 2:4。

**关键词** 大豆磷脂; 菜籽油; 大黄鱼; 生长; 体组成; 脂肪酸组成

中图分类号 S963 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2018)04-0056-10

磷脂是所有含磷脂质的总称, 不仅可以为机体提供能量和必需脂肪酸, 还具有特殊的营养生理作用(Tocher *et al*, 2008)。Coutteau 等(1997)研究表明, 适量的磷脂用于水产饲料可以促进稚鱼和早期幼鱼的生长, 并提高其存活率和抗应激能力。饲料中添加适量的磷脂可以促进真鲷(*Pagrosomus major*)和斑石鲷(*Oplegnathus punctatus*)仔鱼以及香鱼(*Plecoglossus altivelis*)幼鱼的生长(Kanazawa *et al*, 1983、1981)。然而, 鱼类对磷脂的需求量具有阶段特异性。一般来说, 稚鱼对磷脂的需求量高达 8%~12%, 幼鱼对磷脂的需

求量为 2%~4%, 成鱼饲料中则不需要额外添加磷脂(Tocher *et al*, 2008)。菜籽油具有产量大、价格低、不饱和脂肪酸含量较其他植物油脂高的特点, 从而可作为替代水产饲料中鱼油的潜在脂肪源。研究表明, 以适量的菜籽油替代鱼油对某些海水鱼的特定生长率和饲料效率均无显著影响(Bell *et al*, 2001; Pettersson *et al*, 2009a,b), 且菜籽油 100%替代饲料中的鱼油对大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)幼鱼的脂肪表观消化率无显著影响(彭墨等, 2015)。但过量替代会显著影响鱼体的脂肪酸组成(易新文等, 2013), 降低鱼肉质

\* 上海市科技兴农重点攻关项目(G20130508)资助 [This work was supported by the Shanghai Agriculture Applied Technology Development Program, China (G20130508)]. 闫春为, E-mail: chunweiyang@163.com

① 通讯作者: 陈乃松, 教授, E-mail: nschen@shou.edu.cn

收稿日期: 2017-05-29, 收修改稿日期: 2017-06-07

质和营养价值,甚至引起肝脏组织病变(Caballero *et al.*, 2002)和生长性能下降(王骥腾等, 2007)。因此,在鱼类饲料中采用适量的大豆磷脂油和菜籽油相结合,既可以发挥磷脂的营养生理作用,还可以发挥菜籽油替代鱼油的价格优势。

大黄鱼(*Larimichthys crocea*),俗称黄花鱼,是我国特有的海水养殖经济鱼类。但是,高效生态的大黄鱼专用人工配合饲料尚未开发成功,养殖生产中主要以冰鲜杂鱼为饵料,既浪费资源,又污染环境。因此,进一步开展大黄鱼营养研究对于其配合饲料的研发具有重要意义。目前,磷脂或植物油在大黄鱼饲料中应用的研究还处于起步阶段(Zhao *et al.*, 2013; 易新文等, 2013; 董小敬等, 2015; 李桑等, 2015)。本研究通过生长实验,评估饲料中不同配比的浓缩大豆磷脂油和精制菜籽油对大黄鱼幼鱼生长、体组成和脂肪酸

组成的影响,以期得出大黄鱼幼鱼饲料中大豆磷脂油和菜籽油的适宜配比,从而为经济和高效的大黄鱼人工配合饲料的配制提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料

实验饲料以鱼粉、虾粉、发酵豆粕和大米蛋白为主要蛋白源,以鱼油和4种混合植物油(配比分别为0:6、2:4、4:2和6:0的浓缩大豆磷脂油和精制菜籽油)为主要脂肪源, $\alpha$ -淀粉为主要糖源配制成粗蛋白水平为51.66%,粗脂肪水平为14.30%的4种等氮、等能和等脂的饲料,命名为P0R6、P2R4、P4R2和P6R0。饲料配方和组分分析见表1。饲料脂肪酸组成见表2。

表1 实验饲料配方及组分分析(干饲料)  
Tab.1 Formulation and proximate analysis of trial diets (Dry diet)

原料 Ingredient	饲料 Diets			
	P0R6	P2R4	P4R2	P6R0
鱼油 Fish oil (%)	3.00	3.00	3.00	3.00
其他固定成分 <sup>1</sup> The other constant ingredient (%)	91.00	91.00	91.00	91.00
浓缩大豆磷脂油 <sup>2</sup> Concentrated soybean phospholipid oil (%)	0	2.00	4.00	6.00
精制菜籽油 <sup>3</sup> Refined rapeseed oil (%)	6.00	4.00	2.00	0
组分分析 Proximate analysis				
粗蛋白质 Crude protein (%)	51.93	51.94	51.33	51.42
粗脂肪 Crude lipid (%)	14.35	14.41	14.20	14.25
总能 Gross energy (MJ/kg)	20.26	20.18	19.57	19.70

注: 1: 其他固定成分(%干饲料): 红鱼粉, 35.00; 白鱼粉, 10.00; 虾粉, 3.00; 发酵豆粕, 9.00; 大米蛋白, 9.00; 谷朊粉, 3.00; 血粉, 3.00; 鱿鱼膏, 2.00;  $\alpha$ -淀粉, 7.50; 牛磺酸, 0.30; 酵母粉, 3.00; 酵母提取物, 0.50;  $\text{CaH}_2\text{PO}_4$ , 3.00; 沸石粉, 0.50; 蛋氨酸, 0.20; 多维多矿\*, 2.00

2: 浓缩大豆磷脂油(丙酮不溶物为60%, 食品级)购于安庆市中创磷脂工程技术有限公司

3: 精制菜籽油购自于超市

\*多维多矿(IU或mg/kg干饲料): 维生素A, 16000 IU; 维生素D<sub>3</sub>, 8000 IU; 维生素K<sub>3</sub>, 14.70; 维生素B<sub>1</sub>, 17.80; 维生素B<sub>2</sub>, 48.00; 维生素B<sub>6</sub>, 29.52; 维生素B<sub>12</sub>, 0.24; 维生素E, 160.00; 维生素C, 800; 烟酰胺, 79.20; 泛酸钙, 73.60; 叶酸, 6.40; 生物素, 0.64; 肌醇, 320.00; 氯化胆碱, 1500.00; L-肉碱, 100.00; 铜( $\text{CuSO}_4$ ), 2.00; 锌( $\text{ZnSO}_4$ ), 34.40; 锰( $\text{MnSO}_4$ ), 6.20; 铁( $\text{FeSO}_4$ ), 21.10; 碘[ $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ ], 1.63; 硒( $\text{NaSeO}_3$ ), 0.18; 钴( $\text{CoC}_{12}$ ), 0.24; 镁( $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), 52.70

Note: 1: The other constant ingredient (% dry diet): Brown fish meal, 35.00; White fish meal, 10.00; Shrimp meal, 3.00; Fermented soybean meal, 9.00; Rice protein concentrate, 9.00; Wheat gluten meal, 3.00; Spray-dried blood cell meal, 3.00; Squid viscera meal, 2.00;  $\alpha$ -starch, 7.50; Taurine, 0.30; Brewer's yeast meal, 3.00; Yeast extract, 0.50; Calcium biphosphate, 3.00; Zeolite powder, 0.50; Met., 0.20; Vitamin premix and mineral premix\*, 2.00

2: Concentrated soybean phospholipid oil (60% acetone insolubility contained, food grade), purchased from Anqing Zhongchuang Lecithin Engineering Co., Ltd

3: Refined rapeseed oil was purchased from supermarket

\* Vitamin premix and mineral premix (IU or mg/kg dry diet): Vitamin A, 16000 IU; Vitamin D<sub>3</sub>, 8000 IU; Vitamin K<sub>3</sub>, 14.70; Vitamin B<sub>1</sub>, 17.80; Vitamin B<sub>2</sub>, 48.00; Vitamin B<sub>6</sub>, 29.52; Vitamin B<sub>12</sub>, 0.24; Vitamin E, 160.00; Vitamin C, 800; Niacinamide, 79.20; Calcium-pantothenate, 73.60; Folic acid, 6.40; Biotin, 0.64; Inositol, 320.00; Choline chloride, 1500.00; L-carnitine, 100.00; Cu ( $\text{CuSO}_4$ ), 2.00; Zn ( $\text{ZnSO}_4$ ), 34.40; Mn ( $\text{MnSO}_4$ ), 6.20; Fe ( $\text{FeSO}_4$ ), 21.10; I [ $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ ], 1.63; Se ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ), 0.18; Co ( $\text{CoC}_{12}$ ), 0.24; Mg ( $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), 52.70

表2 大黄鱼幼鱼饲料脂肪酸组成(%总脂肪酸)

Tab.2 Fatty acid composition of the diets for juvenile large yellow croaker (% total fatty acids)

脂肪酸组成 Fatty acid composition	饲料 Diets			
	P0R6	P2R4	P4R2	P6R0
C14:0	2.86	3.22	3.61	4.01
C16:0	14.02	14.74	15.44	16.07
C18:0	4.27	4.95	5.59	6.19
SFAs	21.16	22.90	24.64	26.27
C16:1	5.41	6.07	6.60	7.21
C18:1	36.85	32.70	29.48	26.43
C20:1	1.63	1.65	1.68	1.75
MUFAs	43.89	40.43	37.76	35.40
18:2n-6(LA)	13.30	15.01	16.83	17.50
20:4n-6(ARA)	0.88	0.84	0.80	0.77
n-6PUFAs	14.18	15.85	17.63	18.27
18:3n-3(LNA)	4.33	4.11	3.91	3.70
20:5n-3(EPA)	5.03	4.95	5.06	4.95
22:6n-3(DHA)	6.90	6.87	6.97	7.01
n-3PUFAs	16.27	15.93	15.94	15.66
n-3/n-6PUFAs	1.15	1.01	0.90	0.85
LNA/LA	0.33	0.27	0.23	0.21

注: 含量较小的脂肪酸, 如 C14:0, C15:0, 16:2n6, C17:00, 17:1n7, 22:5n3 和 22:1n9, 未列入表中。SFAs(饱和脂肪酸)包含 C14:0, C16:0 和 C18:0; MUFAs(总单不饱和脂肪)包含 C16:1, C18:1 和 C20:1; n-6PUFAs(总 n-6 多不饱和脂肪酸)包含 18:2-6 和 20:4-6; n-3PUFAs(总 n-3 多不饱和脂肪酸)包含 18:3-3, 20:5-3 和 22:6-3; LA: 亚油酸; ARA: 花生四烯酸; LNA 亚麻酸; EPA: 二十碳五烯酸; DHA: 二十二碳六烯酸

Note: Some fatty acids, of which the contents were minor, trace amount or not detected, such as C14:0, C15:0, 16:2n6, C17:00, 17:1n7, 22:5n3 and 22:1n9, were not listed in the table. SFAs (total saturated fatty acids) contain C14:0, C16:0 and C18:0; MUFAs (total monounsaturated fatty acid) contain C16:1, C18:1 and C20:1; n-6PUFAs (total n-6 polyunsaturated fatty acids) contain 18:2-6 and 20:4-6; n-3PUFAs (total n-3 polyunsaturated fatty acids) contain 18:3-3, 20:5-3 and 22:6-3; LA: Linoleic acid; ARA: Arachidonic acid; LNA: Linolenic acid; EPA: Eicosapentaenoic acid; DHA: Docosahexaenoic acid

实验饲料的制作: 原料经粉碎机粉碎后, 过 80 目标准筛充分混匀, 加入鱼油和混合植物油再次混匀, 最后加入适量水混匀后, 用制粒机制成直径为 2 mm, 长约 5 mm 的颗粒; 颗粒饲料置于 105℃烘箱中熟化 15 min 后, 55℃烘干, -20℃密封保存备用。

## 1.2 实验鱼与养殖管理

实验鱼于 2015 年 8 月购自上海农好饲料有限公司宁德大黄鱼养殖合作社, 为当年春季繁殖的同一批鱼苗。在正式养殖实验前, 将鱼苗置于网箱中暂养 7 d, 期间用上海农好饲料有限公司生产的大黄鱼专用商业饲料(粗蛋白含量为 47%, 粗脂肪含量为 9.5%)驯化。

养殖实验在福建省宁德市城澳村近海养殖区的海水浮式网箱(为上海农好养殖合作社所有)中进行。暂养后的大黄鱼幼鱼, 经 24 h 禁食, 从中挑选体格健壮, 规格一致的个体进行分组和称重。按 4 种饲料处

理, 每个处理组设 3 个重复, 随机放入 12 个实验网箱(长、宽和深为 1.0 m × 0.8 m × 1.5 m), 每个网箱放养 40 尾初始体重为(20.84±0.05) g 的实验鱼。实验期间, 采取表观饱食投喂, 每天投喂 2 次(05:30, 16:00)。每天巡视实验网箱, 发现死亡幼鱼及时捞出, 称重并记录。实验期间, 海区的水温为 23.0℃~26.8℃, 盐度为 29~31。养殖实验持续了 51 d。

## 1.3 样品的采集及生化指标测定

**1.3.1 样品采集** 养殖实验开始时, 随机取 10 尾鱼于-20℃保存, 用于初始样本的体组成分析。养殖实验结束时, 实验鱼经 24 h 的饥饿, 采用丁香酚麻醉后, 统计各网箱中鱼尾数及总质量。从中随机抽取 15 尾鱼, 其中, 5 尾置于-80℃保存, 用于体组成的分析, 其余 10 尾被用作测定体型, 解剖。解剖的内脏和肝脏, 称重后于-80℃保存, 用于内脏组成分析。

另取侧线上方背部肌肉于-80℃保存,用于肌肉体组成分析。

**1.3.2 饲料与鱼体组成的分析** 饲料、全鱼、肌肉和内脏的分析方法:水分采用105℃恒温烘干失重法;粗灰分采用马弗炉(上海实验仪器公司)于550℃下灼烧法测定;粗蛋白质采用凯氏定氮仪(Kjeltec 2200, FOSS, 丹麦)测定;粗脂肪采用氯仿-甲醇法(Lee *et al.*, 1996)测定;饲料总能采用氧弹仪(6200, Parr, 美国)测定。

**1.3.3 脂肪酸测定** 饲料、全鱼、肌肉和肝脏的脂肪酸组成分析采用Wen等(2013)的三氟化硼甲酯酯化法,样品经气相色谱仪(Agilent-7890A型,美国)联合质谱仪(Agilent-5975C, 美国)分析处理。根据37种脂肪酸甲酯混标(Sigma, 47885-U)的分析图谱和保留时间,对样品的每1个色谱峰的质谱图进行标准质谱库(NIST 11版)检索,对样品中的脂肪酸进行定性,按峰面积计算出各脂肪酸相对含量。

#### 1.4 计算及统计分析方法

存活率(Survival rate, SR, %) =  $100 \times \frac{\text{初始尾数}}{\text{终末尾数}}$

特定生长率(Specific growth rate, SGR, %/d) =  $100 \times \frac{\ln(\text{终末体重}) - \ln(\text{初始体重})}{\text{实验天数}}$

增重率(Weight gain rate, WGR, %) =  $100 \times \frac{\text{终末体重} - \text{初始体重}}{\text{初始体重}}$

摄食量(Feed intake, FI, g/fish/d) =  $\frac{\text{总干物质摄食量}}{[\text{实验天数} \times (\text{初始尾数} + \text{终末尾数})/2]}$

饲料效率(Feed efficiency ratio, FER) =  $\frac{\text{鱼体增重(湿重)}}{\text{总干物质摄食量}}$

蛋白质效率(Protein efficiency ratio, PER) =  $\frac{\text{终末体重} - \text{初始体重}}{\text{蛋白质摄入量}}$

蛋白质沉积率(Protein deposition rate, PDR, %) =  $100 \times \frac{\text{鱼体蛋白质贮存量}}{\text{蛋白质摄入量}}$

脂肪沉积率(Lipid deposition rate, LDR, %) =  $100 \times \frac{\text{鱼体脂肪贮存量}}{\text{脂肪摄入量}}$

肝体比(Hepatosomatic index, HSI, %) =  $100 \times \frac{\text{肝脏重}}{\text{鱼体重}}$

脏体比(Viscerosomatic index, VSI, %) =  $100 \times \frac{\text{内脏重}}{\text{鱼体重}}$

肥满度(Condition factor, CF) =  $100 \times \frac{\text{鱼体重(g)}}{\text{鱼体长(cm)}^3}$

实验数据以平均值±标准误(Mean±SE)表示。采用SPSS17.0软件对各组数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA),用Duncan法进行多重差异显著

性比较, $P < 0.05$ 为显著水平。采用Excel 2010绘制数据图像。

## 2 结果

### 2.1 大豆磷脂油和菜籽油的配比对实验鱼的生长和营养素利用的影响

从表3可以看出,随着饲料中磷脂油和菜籽油配比的升高,大黄鱼幼鱼的SR呈升高趋势,但各组之间无显著差异( $P > 0.05$ )。P2R4组的生长状况最佳,其SGR和WGR分别达到1.69%和142.00%,显著高于P4R2和P6R0组( $P < 0.05$ )。P6R0组的实验鱼在FI和FER中最低( $P < 0.05$ )。P2R4饲料显著提高了实验鱼的PER和LDR( $P < 0.05$ )。

### 2.2 大豆磷脂油和菜籽油的配比对实验鱼体组成和脂肪酸组成的影响

从图1A可以看出,饲料中大豆磷脂油和菜籽油的配比对全鱼和肌肉中的粗蛋白含量无显著影响( $P > 0.05$ ),但P0R6组饲料显著增加了实验鱼内脏的粗蛋白含量( $P < 0.05$ )。从图1B可以看出,饲料中大豆磷脂油和菜籽油的配比对实验鱼粗脂肪含量有显著影响( $P < 0.05$ ),高配比的磷脂油和菜籽油(P4R2和P6R0组)显著降低了全鱼和肌肉的粗脂肪含量( $P < 0.05$ );P6R0组内脏中粗脂肪的含量显著低于其他各组( $P < 0.05$ )。从图1C可以看出,随着饲料中磷脂油和菜籽油配比的升高,全鱼中的水分含量无显著差异( $P > 0.05$ ),肌肉和内脏的水分含量显著升高( $P < 0.05$ )。饲料中磷脂油和菜籽油的配比对全鱼、肌肉和内脏中的灰分含量无显著影响( $P > 0.05$ ) (图1D)。

从表4可以看出,随着饲料中磷脂油和菜籽油配比的升高,全鱼和肌肉的脂肪酸组成中SFAs和n-6PUFAs的比例显著升高( $P < 0.05$ ),MUFAs和n-3PUFAs的比例显著降低( $P < 0.05$ )。全鱼和肌肉中的EPA和DHA的比例随着饲料中磷脂油和菜籽油配比的升高而下降( $P < 0.05$ )。

### 2.3 大豆磷脂油和菜籽油的配比对实验鱼的HSI、VSI、肝脏脂肪含量和CF的影响

从图2可以看出,随着饲料中磷脂油和菜籽油配比的升高,实验鱼的HSI、VSI、肝脏脂肪含量和CF均由升高转为降低趋势。实验鱼的HSI和VSI受饲料中磷脂油和菜籽油配比影响不显著( $P > 0.05$ ) (图2A、图2B)。P6R0饲料显著降低了实验鱼的肝脏脂肪含量和CF( $P < 0.05$ ) (图2C、图2D)。

表3 大豆磷脂油和菜籽油的配比对实验鱼的生长和营养素利用的影响

Tab.3 Effects of the ratio of soybean phospholipid oil to rapeseed oil on growth performance and nutrient utilization of test fish

指标 Indices	饲料 Diets			
	P0R6	P2R4	P4R2	P6R0
初始体重 Initial body weight (g)	20.88±0.31	20.83±0.22	20.71±0.56	20.92±0.38
终末体重 Final body weight (g)	45.07±0.85 <sup>ab</sup>	50.33±3.14 <sup>a</sup>	42.93±2.29 <sup>b</sup>	41.30±1.29 <sup>b</sup>
存活率 Survival rate (%)	91.67±3.63	94.17±2.21	93.33±3.00	95.83±0.84
特定增长率 Specific growth rate (%/d)	1.48±0.03 <sup>ab</sup>	1.69±0.22 <sup>a</sup>	1.40±0.05 <sup>b</sup>	1.31±0.34 <sup>b</sup>
增重率 Weight gain rate (%)	116.00±2.88 <sup>ab</sup>	142.00±16.50 <sup>a</sup>	107.33±3.83 <sup>b</sup>	97.67±3.83 <sup>b</sup>
摄食量 Feed intake (g/fish/d)	0.50±0.01 <sup>a</sup>	0.50±0.02 <sup>a</sup>	0.46±0.01 <sup>ab</sup>	0.44±0.01 <sup>b</sup>
饲料效率 Feed efficiency ratio	0.96±0.07 <sup>ab</sup>	1.13±0.09 <sup>a</sup>	0.95±0.04 <sup>ab</sup>	0.88±0.03 <sup>b</sup>
蛋白质效率 Protein efficiency ratio	1.65±0.02	2.02±0.20	1.68±0.12	1.63±0.06
蛋白质沉积率 Protein deposition rate (%)	26.56±1.05 <sup>b</sup>	32.59±2.67 <sup>a</sup>	27.41±1.65 <sup>ab</sup>	26.34±0.59 <sup>b</sup>
脂肪沉积率 Lipid deposition rate (%)	50.48±3.12 <sup>b</sup>	74.47±6.21 <sup>a</sup>	49.29±5.09 <sup>b</sup>	50.48±3.12 <sup>b</sup>

注：同行数值带有不同上标字母表示差异显著( $P<0.05$ )，下同

Notes: Horizontal column values with different below superscripts indicate significant difference ( $P<0.05$ ), the same as below

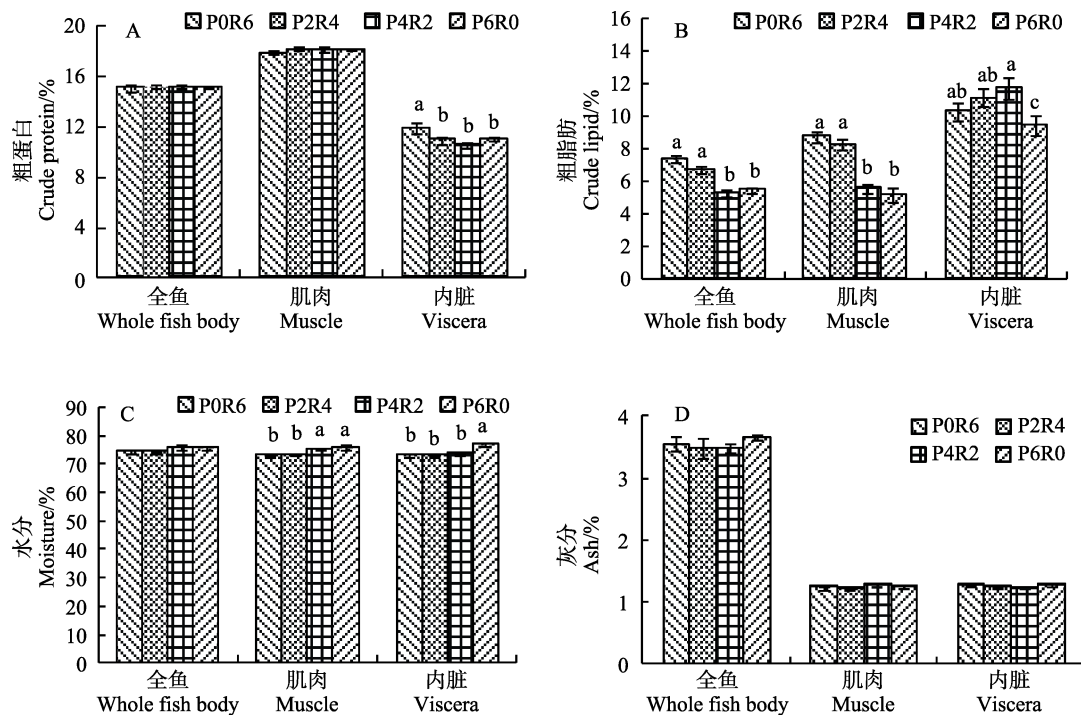


图1 大豆磷脂油和菜籽油的配比对实验鱼的体组成的影响

Fig.1 Effects of the ratio of soybean phospholipid oil to rapeseed oil on body composition of test fish

### 3 讨论

#### 3.1 饲料中大豆磷脂油和菜籽油的配比对生长和饲料利用的影响

本研究显示，各处理组间的SR无显著性差异，但当浓缩大豆磷脂油和菜籽油的配比高于2:4时，实验鱼的WGR、SGR和FER显著降低。根据WGR、SGR和FER得出，大黄鱼幼鱼饲料中浓缩大豆磷脂

油和菜籽油的适宜配比为2:4。Carmona-Antoñanzas等(2015)研究表明，稚鱼肠道细胞合成的内源性磷脂不足，饲料中须添加适量的磷脂以维持稚鱼的正常生长发育。随着鱼的生长发育，其合成的内源性磷脂逐渐满足自身需求，而对饲料中磷脂的需求量逐渐降低。冯硕恒等(2014)研究表明，随着饲料中大豆磷脂的添加量由0上升到12.00%，大黄鱼稚鱼(初始体重为3.86 mg)的SGR显著升高；对于初始体重为7.36 g的大黄鱼幼鱼，随着饲料中大豆磷脂的添加量由0升

表 4 大豆磷脂油和菜籽油的配比对实验鱼全鱼和肌肉脂肪酸组成的影响(%总脂肪酸)

Tab. 4 Effects of the ratio of soybean phospholipid oil to rapeseed oil on fatty acid composition of whole body and muscle of test fish (% total fatty acids)

脂肪酸组成 Fatty acid composition	全鱼 Whole fish body				肌肉 Muscle			
	P0R6	P2R4	P4R2	P6R0	P0R6	P2R4	P4R2	P6R0
C14 : 0	2.77±0.01 <sup>c</sup>	2.76±0.05 <sup>c</sup>	2.95±0.04 <sup>a</sup>	3.13±0.05 <sup>a</sup>	2.67±0.05 <sup>b</sup>	2.75±0.06 <sup>b</sup>	3.01±0.02 <sup>a</sup>	3.15±0.09 <sup>a</sup>
C16 : 0	14.99±0.20 <sup>c</sup>	16.21±0.39 <sup>b</sup>	17.34±0.11 <sup>a</sup>	17.21±0.07 <sup>a</sup>	14.67±1.10 <sup>b</sup>	15.13±0.84 <sup>b</sup>	16.19±0.19 <sup>a</sup>	17.01±0.45 <sup>a</sup>
C18 : 0	5.76±0.30 <sup>b</sup>	6.28±0.29 <sup>ab</sup>	6.80±0.27 <sup>a</sup>	7.05±0.42 <sup>a</sup>	5.75±0.18 <sup>b</sup>	6.27±0.32 <sup>ab</sup>	6.10±0.09 <sup>ab</sup>	6.62±0.28 <sup>a</sup>
ΣSFA	23.52±0.10 <sup>c</sup>	25.26±0.33 <sup>b</sup>	27.09±0.19 <sup>a</sup>	27.39±0.31 <sup>a</sup>	23.08±0.92 <sup>b</sup>	24.15±0.66 <sup>b</sup>	25.30±0.26 <sup>a</sup>	26.79±0.08 <sup>a</sup>
C16 : 1	7.54±0.16 <sup>b</sup>	7.40±0.10 <sup>b</sup>	8.05±0.12 <sup>a</sup>	8.39±0.14 <sup>a</sup>	7.60±0.16	7.61±0.16	7.93±0.18	8.20±0.29
C18 : 1	31.70±0.19 <sup>a</sup>	31.09±0.57 <sup>a</sup>	28.86±0.09 <sup>b</sup>	25.13±0.14 <sup>c</sup>	32.81±0.17 <sup>a</sup>	30.86±0.31 <sup>b</sup>	29.42±0.18 <sup>c</sup>	25.36±0.08 <sup>d</sup>
C20 : 1	1.90±0.04 <sup>a</sup>	1.69±0.05 <sup>b</sup>	1.50±0.02 <sup>c</sup>	1.50±0.06 <sup>c</sup>	2.20±0.09 <sup>a</sup>	2.13±0.03 <sup>a</sup>	2.09±0.03 <sup>a</sup>	1.92±0.01 <sup>b</sup>
ΣMUFA	41.14±0.11 <sup>a</sup>	40.18±0.46 <sup>b</sup>	38.40±0.16 <sup>b</sup>	35.02±0.25 <sup>c</sup>	42.62±0.32 <sup>a</sup>	40.60±0.32 <sup>b</sup>	39.44±0.10 <sup>c</sup>	35.48±0.39 <sup>d</sup>
18 : 2n-6(LA)	12.43±0.14 <sup>d</sup>	14.14±0.22 <sup>c</sup>	16.01±0.25 <sup>b</sup>	17.78±0.09 <sup>a</sup>	12.59±0.13 <sup>d</sup>	14.21±0.17 <sup>c</sup>	16.36±0.21 <sup>b</sup>	18.48±0.57 <sup>a</sup>
20 : 4n-6(ARA)	1.04±0.01 <sup>a</sup>	0.93±0.03 <sup>b</sup>	0.84±0.01 <sup>c</sup>	0.90±0.03 <sup>bc</sup>	0.93±0.02 <sup>a</sup>	0.91±0.02 <sup>a</sup>	0.81±0.02 <sup>b</sup>	0.83±0.01 <sup>b</sup>
Σn-6 PUFA	13.47±0.13 <sup>d</sup>	15.08±0.21 <sup>c</sup>	16.86±0.26 <sup>b</sup>	18.68±0.11 <sup>a</sup>	13.52±0.15 <sup>d</sup>	15.12±0.17 <sup>c</sup>	17.17±0.19 <sup>b</sup>	19.31±0.58 <sup>a</sup>
18 : 3n-3(LNA)	4.35±0.09 <sup>a</sup>	3.89±0.10 <sup>b</sup>	2.97±0.02 <sup>c</sup>	3.18±0.04 <sup>c</sup>	3.47±0.07 <sup>a</sup>	3.39±0.07 <sup>a</sup>	2.56±0.01 <sup>b</sup>	2.60±0.03 <sup>b</sup>
20 : 5n-3(EPA)	4.60±0.09 <sup>a</sup>	4.01±0.20 <sup>ab</sup>	3.91±0.05 <sup>b</sup>	4.05±0.10 <sup>ab</sup>	4.02±0.11 <sup>a</sup>	3.83±0.09 <sup>a</sup>	3.65±0.14 <sup>b</sup>	3.72±0.03 <sup>ab</sup>
22 : 6n-3(DHA)	6.94±0.07 <sup>a</sup>	5.92±0.24 <sup>ab</sup>	5.37±0.07 <sup>b</sup>	5.74±0.14 <sup>ab</sup>	7.53±0.14 <sup>a</sup>	7.12±0.12 <sup>a</sup>	6.64±0.23 <sup>b</sup>	6.93±0.04 <sup>ab</sup>
Σn-3 PUFA	15.89±0.15 <sup>a</sup>	13.84±0.55 <sup>ab</sup>	12.25±0.11 <sup>b</sup>	12.97±0.27 <sup>b</sup>	15.03±0.30 <sup>a</sup>	14.34±0.27 <sup>a</sup>	12.86±0.36 <sup>b</sup>	13.26±0.04 <sup>ab</sup>

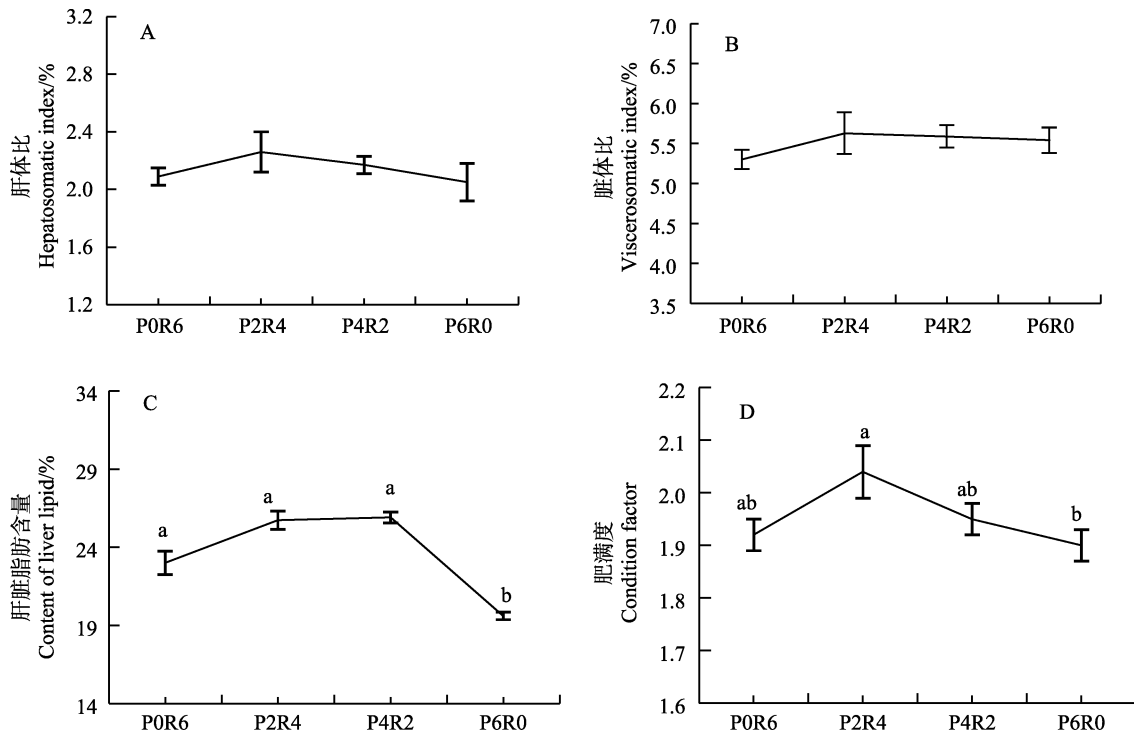


图 2 大豆磷脂油和菜籽油的配比对实验鱼的肝体比、脏体比、肝脏脂肪含量和肥满度的影响

Fig. 2 Effects of the ratio of soybean phospholipid oil to rapeseed oil on hepatosomatic index, viscerosomatic index, liver lipid content and condition factor of test fish

高到 8.00%，幼鱼的终末体重和 SGR 差异不显著。本研究中，饲料中浓缩大豆磷脂油的添加量为 4.00%和 6.00%时，实验鱼的生长受到抑制，即饲料中过量的大

豆磷脂油对实验鱼产生了一定的负面影响。这种因饲料中过量的大豆磷脂所产生的负面影响在其他研究中也 有体现。何流健(2013)根据二次曲线模型得出，斜带

石斑鱼(*Epinephelus coioides*) (初始体重为 12.96 g)饲料中大豆磷脂油的最适添加量为 2.11%, 而随着饲料中大豆磷脂油的添加量由 2.50%升高至 7.50%, 实验鱼的 WGR、SGR 和 FER 均显著下降。随着饲料中大豆磷脂油的添加量由 1.50%升高至 3.00%, 军曹鱼(*Rachycentron canadum*) (周萌等, 2007) (初始体重为 22.45 g)的 WGR 呈降低趋势。饲料中过量的大豆卵磷脂还降低了花尾胡椒鲷(*Plectorhinchus cinctus*) (黄周英等, 2005; 陈彦等, 2002)的 SR 及其体内  $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶(与鱼体骨骼发育相关)和  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATP 酶(与海水鱼调节机体渗透压相关)的活性。目前, 关于磷脂对鱼类生长影响的研究结果不尽一致, 这除了与鱼的种类和生长阶段有关外, 还与研究中使用磷脂的种类(组成)和来源有关(艾庆辉等, 2014)。如磷脂酰胆碱在促进鱼类生长方面发挥了主要作用, 磷脂酰肌醇则主要在提高鱼类 SR 和维持机体正常发育方面发挥主要作用(Geurden *et al.*, 1998); 蛋黄卵磷脂促进鱼类生长的效果优于大豆卵磷脂(Azarm *et al.*, 2013]。今后可深入研究不同种类和来源的磷脂对大黄鱼的影响, 以更好地指导磷脂在大黄鱼饲料生产中的应用。

饲料的脂肪酸组成随大豆磷脂油和菜籽油配比的改变而改变, 这是影响实验鱼生长的一个重要因素。左然涛等(2012)研究表明, 在满足大黄鱼幼鱼对 DHA 和 EPA 需求的前提下, 随着饲料中 LNA/LA 由 0.90 降低至 0.05, 大黄鱼幼鱼的生长受到显著抑制。大豆磷脂油富含 LA, 而菜籽油富含 LNA。本研究中, 大豆磷脂油和菜籽油配比的升高导致饲料中 LNA/LA 降低(表 2), 从而对实验鱼的生长产生了不利影响。

此外, Geurden 等(2005)在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的研究发现, 菜籽油的适口性优于大豆油(大豆磷脂油的主要成分之一)。本研究中, P6R0 组摄食量降低, 生长缓慢, 可能与 P6R0 饲料的适口性较差有一定关系。目前, 关于饲料中不同脂肪源在大黄鱼上的适口性研究还很缺乏, 需进一步的研究。

### 3.2 饲料中大豆磷脂油和菜籽油的对比对鱼体脂肪含量和脂肪酸组成的影响

饲料的脂肪源是影响鱼体生化组成的重要因素。本研究中, 全鱼和肌肉中粗脂肪的含量随饲料中大豆磷脂油和菜籽油配比的升高而显著降低。此结果的产生有两方面的原因。一方面, 饲料中的大豆磷脂油可减少脂肪在鱼体中沉积。冯硕恒(2013)研究表明, 随着饲料中磷脂含量由 1.30%升高至 4.80%, 大黄鱼幼鱼(初始体重为 7.36 g)体内微粒体甘油三酯转运蛋白的表达量显著升高, 肌肉中粗脂肪的含量显著降低。

类似的研究结果在斜带石斑鱼(初始体重为 12.96 g 和 106.52 g)和巴丁鱼(*Pangasias sutchi*) (麻艳群等, 2011) (初始体重为 1.30 g)中也有发现; 另一方面, 饲料中的菜籽油可增加脂肪在鱼体中的沉积。现有研究表明, 菜籽油适量替代饲料中的鱼油可提高大黄鱼全鱼中粗脂肪的含量(易新文等, 2013; 李桑等, 2015)。本研究虽未使用混合植物油替代饲料中的部分鱼油, 但在 4 种饲料中, 鱼油添加量一致的前提下, 高菜籽油组(P0R6 和 P2R4 组)全鱼和肌肉中粗脂肪的含量显著高于低菜籽油组(P4R2 和 P6R0 组), 与已有的研究结果有一定的相似性。

肝脏是脂肪代谢的主要器官, 影响鱼类肝脏中脂肪含量的因素具有多样性和复杂性(杜震宇, 2014)。大豆磷脂对鱼类肝脏脂肪含量的影响, 不同的学者有不同的见解。Kenari 等(2011)认为, 褐鳟(*Salmo trutta*)肝脏中的脂肪含量随饲料中大豆卵磷脂含量的升高而升高。麻艳群等(2011)研究发现, 饲料中适量的大豆磷脂可显著降低巴丁鱼肝脏中脂肪的含量。因此, 饲料中大豆磷脂对鱼类脂肪代谢以及肝脏中脂肪含量的影响也因鱼的种类和生长阶段而异。饲料中添加一定量菜籽油, 可以显著增加鱼类肝脏中粗脂肪的含量, 这一结论在大菱鲆(彭墨等, 2015)、北极嘉鱼(*Salvelinus alpinus*) (Pettersson *et al.*, 2009b)、大西洋鲑鱼(*Salmo salar*) (Bell *et al.*, 2001)和金头鲷(*Sparus aurata*) (Fountoulaki *et al.*, 2009b)中均得到证实。本研究表明, P0R6、P2R4 和 P4R2 组肝脏中的粗脂肪含量均显著高于 P6R0 组(图 2C), 即饲料中的菜籽油显著增加了大黄鱼幼鱼肝脏中粗脂肪的含量。此外, 这种结果的产生还可能与 P6R0 组的摄食量较低有关(Du *et al.*, 2006)。

已有研究表明, 鱼体的脂肪酸组成可反映饲料的脂肪酸组成(何流健, 2013; 季文娟, 1999)。本研究成果也有类似发现, 鱼体和肌肉中的 SFAs、MUFAs、n-6PUFAs 和 n-3PUFAs 含量的变化趋势与饲料的脂肪酸组成变化趋势相同(表 2 和表 4), 饲料中的植物油对大黄鱼 EPA 和 DHA 合成能力的影响需要进一步的研究。

## 4 结论

通过对大黄鱼生长、饲料效率、体组成和脂肪酸组成进行评估得出, 大黄鱼幼鱼饲料中, 浓缩大豆磷脂油和菜籽油的适宜配比为 2:4(饲料的粗脂肪含量为 14.41%)。研究结果可为配制高效生态的大黄鱼人工配合饲料提供参考。

## 参 考 文 献

- Ai QH, Han B, Mai KS. Advances on phospholipid nutrition of fish. *Progress in Fishery Sciences*, 2014, 35(2): 129–134 [艾庆辉, 韩冰, 麦康森. 鱼类磷脂营养生理研究进展. *渔业科学进展*, 2014, 35(2): 129–134]
- Azarm HM, Kenari AA, Hedayati M. Effect of dietary phospholipid sources and levels on growth performance, enzymes activity, cholecystokinin and lipoprotein fractions of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Aquaculture Research*, 2013, 44(4): 634–644
- Bell J, Mcevoy J, Tocher DR, *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. *Journal of Nutrition*, 2001, 131(5): 1535–1543
- Caballero MJ, 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*. *Aquaculture*, 2002, 214(1–4): 253–271
- Carmona-Antoñanzas G, Taylor JF, Martinezrubio L, *et al.* Molecular mechanism of dietary phospholipid requirement of Atlantic salmon, *Salmo salar*, fry. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2015, 1851(11): 1428–1441
- Chen Y, Wang CG, Chen PJ, *et al.* Effect of lecithin on the  $Ca^{2+}$ -ATPase and  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$ -ATPase activities of juvenile *Plectorhynchus cinctus*. *Marine Sciences*, 2002, 26(8): 54–57 [陈彦, 王重刚, 陈品健, 等. 卵磷脂对花尾胡椒鲷幼鱼  $Ca^{2+}$ -ATP 酶和  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$ -ATP 酶活性的影响. *海洋科学*, 2002, 26(8): 54–57]
- Coutteau P, Geurden I, Camara MR. Review on the dietary effects of phospholipids in fish and crustacean larviculture. *Aquaculture*, 1997, 155(1): 149–164
- Dong XJ, Tan P, Mai KS, *et al.* 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*). *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(9): 1380–1385 [董小敬, 谭朋, 麦康森, 等. 植物油替代鱼油对虹鳟、花鲈和大黄鱼组织结构的影响. *水产学报*, 2015, 39(9): 1380–1385]
- Du ZY. Causes of fatty liver farmed fish: A review and new perspectives. *Journal of Fish of China*, 2014, 38(9): 1628–1638 [杜震宇. 养殖鱼类脂肪肝成因及相关思考. *水产学报*, 2014, 38(9): 1628–1638]
- Du ZY, Liu YJ, Tian LX, *et al.* The influence of feeding rate on growth, feed efficiency and body composition of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Aquaculture International*, 2006, 14(3): 247–257
- Feng SH. Effects of dietary phospholipids on growth performance and phospholipids metabolism of larval and juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). Master's Thesis of Ocean University of China, 2014, 24–25 [冯硕恒. 大豆磷脂对大黄鱼(*Larimichthys crocea*)稚鱼和幼鱼生长和磷脂代谢的影响. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2014, 24–25]
- 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. *Aquaculture*, 2009, 289(3–4): 317–326
- Geurden I, Cuvier A, Gondouin E, *et al.* Rainbow trout can discriminate between feeds with different oil sources. *Physiology and Behavior*, 2005, 85(2): 107–114
- Geurden I, Marion D, Charlon N, *et al.* Comparison of different soybean phospholipidic fractions as dietary supplements for common carp, *Cyprinus carpio*, larvae. *Aquaculture*, 1998, 161(1–4): 225–235
- He LJ. Requirement of n-3 highly unsaturated fatty acids and lecithin of different specification of grouper (*Epinephelus coioides*). Master's Thesis of Guangdong Ocean University, 2013, 16 [何流健. 两种规格斜带石斑鱼 n-3 高度不饱和脂肪酸和卵磷脂需要量的研究. 广东海洋大学硕士研究生学位论文, 2013, 16]
- Huang ZY, Chen Y, Xie YJ, *et al.* Effects of soy lecithin in diet on growth in young *Plectorhynchus cinctus*. *Journal of Quanzhou Normal College*, 2005, 23(4): 89–93 [黄周英, 陈彦, 谢仰杰, 等. 饲料卵磷脂对花尾胡椒鲷幼鱼生长的影响. *泉州师范学院学报*, 2005, 23(4): 89–93]
- Ji WJ. The influence of different fat sources in feed on the growth rate of juvenile and fatty acid composition of body fat of black sea bream (*Sparus macrocephalus*). *Marine Fisheries Research*, 1999, 20(1): 69–74 [季文娟. 饲料中不同脂肪源对黑鲷幼鱼生长和鱼体脂肪酸组成的影响. *海洋水产研究*, 1999, 20(1): 69–74]
- Kanazawa A, Teshima SI, Inamori S, *et al.* Effects of dietary phospholipids on growth of the larval red sea bream and knife jaw. *Memoirs of Faculty of Fisheries Kagoshima University*, 1983, 32: 109–114
- Kanazawa A, Teshima SI, Inamori S, *et al.* Effects of phospholipids on growth, survival rate and incidence of malformation in the larval ayu. *Memoirs of Faculty of Fisheries Kagoshima University*, 1981, 30: 301–309
- Kenari AA, Sotoudeh E, Rezaei MH. Dietary soybean phosphatidylcholine affects growth performance and lipolytic enzyme activity in Caspian brown trout (*Salmo trutta* Caspius) alevin. *Aquaculture Research*, 2011, 42(5): 655–663
- Lee CM, Trevino B, Chaiyawat M. A simple and rapid solvent extraction method for determining total lipids in fish tissue. *Journal of Aoac International*, 1996, 79(2): 487–492
- Li S, Chen CY, Huang XX, *et al.* Effect of partial replacement of fish oil with vegetable oil on muscle and liver total lipid and fatty acid of larvae *Larimichthys crocea*. *Journal of Shanghai*



- Ocean University, 2015, 24(5): 726–736 [李桑, 陈春燕, 黄旭雄, 等. 植物油部分替代饲料中鱼油对大黄鱼脂肪及脂肪酸的影响. 上海海洋大学学报, 2015, 24(5): 726–736]
- Ma YQ, Huang K, Xiao X, *et al.* Effect of dietary phospholipid level on growth of catfish (*Pangasius sutchi*). *Fisheries Science*, 2011, 30(7): 383–386 [麻艳群, 黄凯, 肖新, 等. 饲料磷脂水平对巴丁鱼生长的影响. 水产科学, 2011, 30(7): 383–386]
- Peng M, Xu W, Mai KS, *et al.* Growth, fatty acid composition and lipid deposition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) fed diets with fish oil replacement by rapeseed oil. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(3): 756–765 [彭墨, 徐玮, 麦康森, 等. 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. 动物营养学报, 2015, 27(3): 756–765]
- Pettersson A, Johnsson L, Brännäs E, *et al.* Effects of rapeseed oil replacement in fish feed on lipid composition and self-selection by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, 2009a, 15(6): 577–586
- Pettersson A, Pickova J, Brännäs E. Effects of crude rapeseed oil on lipid composition in Arctic charr *Salvelinus alpinus*. *Journal of Fish Biology*, 2009b, 75(6): 1446–1458
- Tocher DR, Bendiksen EA, Campbell PJ, *et al.* The role of phospholipids in nutrition and metabolism of teleost fish. *Aquaculture*, 2008, 280(1–4): 21–34
- Wang JT, Han T, Tian LX, *et al.* Impact of three vegetable oil sources on growth, body composition and tissue fatty acid composition of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Journal of Zhejiang Ocean University(Natural Science)*, 2007, 26(3): 237–245 [王骥腾, 韩涛, 田丽霞, 等. 3种植物油源对军曹鱼生长、体组成和脂肪酸组成的影响. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2007, 26(3): 237–245]
- Wen W, Huang XX, Chen QK, *et al.* Temperature effects on early development and biochemical dynamics of a marine fish, *Inimicus japonicus*. *Journal of Experimental Marine and Biology Ecology*, 2013, 442: 22–29
- Yi XW, Zhang WB, Mai KS, *et al.* Effects of dietary fish oil replaced with rapeseed oil on the growth, fatty acid composition and skin color of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(5): 751–760 [易新文, 张文兵, 麦康森, 等. 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. 水产学报, 2013, 37(5): 751–760]
- Zhao JZ, Ai QH, Mai KS, *et al.* Effects of dietary phospholipids on survival, growth, digestive enzymes and stress resistance of large yellow croaker, *Larimichthys crocea*, larvae. *Aquaculture*, 2013, 410–411(11): 122–128
- Zhou M, Cao JM, Ma L, *et al.* Effect of supplementation of phospholipid oil, choline and L-carnitine in diet on growth and lipid content in tissue of cobia, *Rachycentron canadum*. *Feed Industry*, 2007, 28(10): 23–25 [周萌, 曹俊明, 马利, 等. 饲料中添加磷脂油、胆碱、L-肉碱对军曹鱼生长及组织脂肪含量的影响. 饲料工业, 2007, 28(10): 23–25]
- Zuo RT, Ai QH, Mai KS, *et al.* Dietary ratio of alfa-linolenic to linoleic acid (ALA/LA) affects growth, nonspecific immunity, antioxidant capacity and relate gene expression of juvenile large yellow croaker, *Larimichthys crocea*. *The National PhD Student Academic Forum*, 2012 [左然涛, 艾庆辉, 麦康森, 等. 饲料亚麻酸与亚油酸比例影响了大黄鱼生长、非特异性免疫、抗氧化能力和相关基因表达. 全国博士研究生学术论坛, 2012]

(编辑 陈严)

## Suitable Ratio of Soybean Phospholipid Oil to Rapeseed Oil in the Diet of Juvenile Large Yellow Croaker (*Larimichthys crocea*)

YAN Chunwei<sup>1</sup>, CHEN Naisong<sup>1,2,3①</sup>, LI Ziqiang<sup>1</sup>, LIAN Xueyuan<sup>1</sup>, WANG Mengle<sup>1</sup>

(1. Research Center of the Agriculture and Rural Affairs Ministry on Fish Nutrition and Environmental Ecology at Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. National Demonstration Center on Experiment Teaching of Fisheries Science at Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 3. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306)

**Abstract** Four isonitrogenous, isoenergetic, and isolipidic diets with varying ratios (0 : 6, 2 : 4, 4 : 2, and 6 : 0) of concentrated soybean phospholipid oil (P) to refined rapeseed oil (R) (P0R6, P2R4, P4R2, and P6R0) were formulated to determine the suitable ratio of soybean phospholipid oil to rapeseed oil in the diet of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). Each diet was randomly assigned to triplicate sea floating cages of 40 fish [initial body weight (20.84±0.05) g]. Fish were fed to apparent satiation twice daily (5:30 and 16:00) over 51 d. The results suggested that the survival rates of tested fish were higher than 91%, with no significant differences among treatments ( $P>0.05$ ). The special growth rate was significantly higher with fish fed P2R4, compared with those fed P4R2 and P6R0 ( $P<0.05$ ). Higher lipid and protein deposition rates were found in P2R4-fed fish compared with those fed the other treatments ( $P<0.05$ ). Contents of crude protein in whole body and muscle were not significantly affected by the ratio of soybean phospholipid oil to rapeseed oil in diets ( $P>0.05$ ), but were significantly higher in the viscera of P0R6-fed fish compared with the other treatments ( $P<0.05$ ). Concentrations of crude lipid in the whole body of P0R6- and P2R4-fed fish were significantly higher than those in P4R2- and P6R0-fed fish ( $P<0.05$ ). The fatty acid profile of the whole body and muscle was similar to that of the fed diet. The ratio of soybean phospholipid oil to rapeseed oil in diets had no significant effect on hepatosomatic index and viscerosomatic index ( $P>0.05$ ). The P6R0 diet significantly reduced the liver lipid content and condition factor of test fish ( $P<0.05$ ). Under the conditions of this study, the suitable ratio of concentrated soybean phospholipid oil to refined rapeseed oil in the diets of juvenile large yellow croaker was 2 : 4, based on growth performance, body composition, and fatty acid composition.

**Key words** Soybean phospholipid; Rapeseed oil; Large yellow croaker (*Larimichthys crocea*); Growth; Body composition; Fatty acid composition

① Corresponding author: CHEN Naisong, E-mail: nschen@shou.edu.cn