

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180420005

http://www.yykxjz.cn/

郑建明, 赵捷杰, 陈四清, 常青, 严俊丽, 朱之发, 刘长琳, 胡建成. 豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼生长和肌肉脂肪酸的影响. 渔业科学进展, 2019, 40(4): 39-46

Zheng JM, Zhao JJ, Chen SQ, Chang Q, Yan JL, Zhu ZF, Liu CL, Hu JC. Growth and fatty acid composition of juvenile spotted halibut (*Verasper variegatus*) fed diets with fish oil replaced by soybean oil. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(4): 39-46

豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼 生长和肌肉脂肪酸的影响*

郑建明¹ 赵捷杰¹ 陈四清¹ 常青^{1,2①}
严俊丽³ 朱之发¹ 刘长琳¹ 胡建成¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071; 2. 农业农村部极地渔业开发
重点实验室 青岛 266071; 3. 山东畜牧兽医职业学院 潍坊 261061)

摘要 本实验旨在研究饲料中豆油替代鱼油对圆斑星鲈(*Verasper variegatus*)幼鱼生长和肌肉脂肪酸组成的影响。用豆油分别替代0、25%、50%和75%的鱼油, 配制4组等氮、等脂肪的饲料。选择初始体重为(65.47±1.57) g的圆斑星鲈幼鱼360尾, 随机分为4组, 每组3个重复, 每个重复30尾鱼, 养殖56 d。结果显示, (1)随着豆油替代水平的升高, 增重率(WGR)呈现降低的趋势($P<0.05$), 饲料系数(FCR)呈现升高的趋势($P<0.05$), 25%替代组的WGR高于鱼油组($P<0.05$)。 (2)豆油替代鱼油对圆斑星鲈肌肉的粗蛋白、粗脂肪、灰分和水分含量无显著性影响($P>0.05$), 对肝体比(HSI)、脏体比(VSI)和肥满度(CF)无显著性影响($P>0.05$), 豆油替代组肝脏的脂肪含量显著高于鱼油组($P<0.05$)。 (3)随着饲料中豆油水平的增加, 圆斑星鲈幼鱼肌肉亚油酸(C18:2n-6)和亚麻酸(C18:3n-3)显著升高($P<0.05$), 而二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)则显著降低($P<0.05$)。研究结果表明, 在该实验条件下, 饲料中高比例的豆油替代鱼油会降低鱼体的生长性能和肌肉脂肪酸营养品质。

关键词 豆油; 鱼油; 圆斑星鲈; 生长性能; 肌肉脂肪酸

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2019)04-0039-08

近年来, 随着水产养殖的快速发展, 饲料行业对鱼油的需求与日俱增, 导致鱼油的价格不断上涨, 因此寻找适宜的鱼油替代源已成为饲料行业的研究热点。鱼油在饲料配方中主要起2个重要的作用: 一是为鱼类提供能量, 二是为鱼体提供长链多不饱和脂肪酸等必需脂肪酸(王骥腾等, 2016)。目前已知的鱼油替代物包括处于海洋食物链较低环节的浮游动物、渔

业的副渔获物及副产品等, 这些油源由于具有来自生态、环境、营养和可持续性的问题, 所以目前来讲上述所有的替代脂肪源没有一种是鱼油的理想替代品(Peng *et al.*, 2008)。但是对于植物油, 尽管在营养上缺乏长链多不饱和脂肪酸, 但是在供应上几乎没有任何限制, 所以植物油是目前唯一现成的、经济的鱼油替代油脂。豆油是世界上产量最大的植物油, 目前在

* 中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费项目(20603022016005)和天津市农业科技成果转化与推广项目(201604100)共同资助 [This work was supported by Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, YSFRI, CAFS (20603022016005), and Tianjin Agricultural Science and Technology Achievement Transformation and Extension Project (201604100)]. 郑建明, E-mail: 615709961@qq.com

① 通讯作者: 常青, 研究员, E-mail: changqing@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2018-04-20, 收修改稿日期: 2018-06-27

饲料中添加豆油的研究已在黑鲷(*Acanthopagrus schlegeli*) (Peng *et al*, 2008)、金头鲷(*Sparus aurate*) (Izquierdo *et al*, 2003)、赤点石斑鱼(*Epinephelus akaara*) (王骥腾等, 2016)等鱼类有报道, 研究发现适宜比例的植物油替代鱼油对鱼体的生长没有显著性影响。

作为我国北方重要的名贵海水鱼类, 圆斑星鲷(*Verasper variegatus*)肉质鲜美、营养丰富, 主要分布在我国黄渤海附近, 养殖潜力巨大(严俊丽等, 2017)。目前, 圆斑星鲷的养殖方式是工厂集约化养殖。在工厂化养殖中, 饲料成本是最大的部分, 而海水鱼饲料中的脂肪源主要来自鱼油, 因此, 寻找新型的鱼油替代源迫在眉睫。目前, 关于圆斑星鲷适宜的蛋能比(吕云云等, 2015)、维生素 C 需求量(王贞杰等, 2016)和鱼粉替代(吕云云等, 2016; 严俊丽等, 2016; 郑建明等, 2017)的研究已有相关报道。而在圆斑星鲷饲料中, 用植物油替代鱼油的研究未见报道。

因此, 本实验设计在圆斑星鲷饲料中, 用豆油替代 0、25%、50% 和 75% 的鱼油, 探究其对圆斑星鲷幼鱼的生长性能和肌肉脂肪酸等主要营养成分的影响。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以鱼粉、玉米蛋白粉、花生粕和大豆浓缩蛋白为蛋白源, 以豆油分别替代 0、25%、50% 和 75% 的鱼油, 配制等氮(50%)、等脂肪(8%)的颗粒饲料[饲料中的蛋白、脂肪需要量见吕云云等(2015)的文章结果], 并记为 R0、R25、R50 和 R75。实验饲料配方见表 1。对所有粉状原料经过粉碎机粉碎后, 过 80 目筛, 按饲料配方比例混合均匀, 将鱼油、豆油混合后, 再与其他粉状原料混合均匀, 加 30% 的水搅拌均匀, 最后用制粒机制成直径 3 mm 的颗粒饲料, 鼓风烘干 12~14 h, 制成的颗粒饲料-20℃ 保存。

1.2 饲养管理

实验鱼取自山东省烟台开发区天源水产有限公司。挑选体格健壮、规格统一的圆斑星鲷幼鱼 360 尾, 初始体重为(65.47±1.57) g, 体长为(15.14±0.56) cm, 随机分到 12 个体积为 330 L 的圆柱形塑料桶中, 每组设 3 个重复, 每个重复 30 尾。开始实验前投喂 R0 饲料暂养 7 d。养殖期间, 采用流水养殖模式, 自然水温, 温度范围为(15±1)℃, 盐度为 31, 溶氧为 5 mg/L 以上。实验从 2017 年 6 月 10 日~2017 年 8 月 12 日, 持续 56 d, 每天饱食投喂 1 次, 投喂 0.5 h 后使用虹吸管吸取残饵, 烘干称重, 每天记录摄食量。

表 1 实验饲料配方和营养组成(干物质, %)
Tab.1 Formulation and nutrient compositions of the Experimental diets (Dry matter, %)

原料 Ingredient	组别 Group			
	R0	R25	R50	R75
鱼粉 Fish meal	50.00	50.00	50.00	50.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	5.00	5.00	5.00	5.00
花生粕 Peanut meal	13.00	13.00	13.00	13.00
大豆浓缩蛋白 Soy protein concentrate	12.00	12.00	12.00	12.00
鱼油 Fish oil	5.60	4.20	2.80	1.40
豆油 Soybean oil	0.00	1.40	2.80	4.20
高筋粉 High gluten flour	10.80	10.80	10.80	10.80
预混料 Premix ¹	1.00	1.00	1.00	1.00
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	1.00	1.00	1.00	1.00
氯化胆碱 Choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50
磷酸二氢钙 Monocalcium phosphate	1.00	1.00	1.00	1.00
三氧化二铬 Chromium oxide	0.05	0.05	0.05	0.05
抗氧化剂 Antioxygen	0.05	0.05	0.05	0.05
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
粗蛋白 Crude protein	50.73	50.20	50.19	49.98
粗脂肪 Crude lipid	8.03	8.09	8.00	8.02

注: 1. 维生素 A, 375000 IU/kg; 维生素 D₃, 75000 IU/kg; 维生素 E, 3000 mg/kg; 维生素 K₃, 900 mg/kg; 维生素 B₁, 600 mg/kg; 维生素 B₂, 600 mg/kg; 维生素 B₆, 600 mg/kg; 维生素 B₁₂, 3.7 mg/kg; D-泛酸钙, 2400mg/kg; 烟酰胺, 4500 mg/kg; 叶酸, 185 mg/kg; D-生物素, 7.5mg/kg; 肌醇, 3000 mg/kg; 维生素 C, 10500 mg/kg; 锌, 1750mg/kg; 锰, 1050 mg/kg; 铜, 410 mg/kg; 铁, 1150 mg/kg; 钴, 60 mg/kg; 碘, 50 mg/kg; 硒, 15 mg/kg

Note: 1. V_A 375000 IU/kg, V_{D₃} 75000 IU/kg, V_E 3000 mg/kg, V_{K₃} 900 mg/kg, V_{B₁} 600 mg/kg, V_{B₂} 600 mg/kg, V_{B₆} 600 mg/kg, V_{B₁₂} 3.7 mg/kg, Calcium pantothenate 2400 mg/kg, Nicotinic acid amines 4500 mg/kg, Folic acid 185 mg/kg, Biotin 7.5 mg/kg, Inositol 3000 mg/kg, V_C 10500 mg/kg, Zn 1750mg/kg, Mn 1050 mg/kg, Cu 410 mg/kg, Fe 1150 mg/kg, Co 60 mg/kg, I₂ 50mg/kg, Se 15 mg/kg

1.3 样品收集与分析

实验结束后, 采样前使实验鱼饥饿 24 h, 并对每组鱼进行计数、称重。每桶随机取 3 尾鱼, 解剖分离内脏团和肝脏并称重, 用于计算肝体比(HSI)和脏体比(VSI)。然后取其背部肌肉, 测其常规成分及脂肪酸组成。

表 2 实验饲料脂肪酸组成(占总脂肪酸的百分比, %)
Tab.2 Fatty acid composition of the experimental diets
(Percentage of total fatty acids, %)

脂肪酸 Fatty acid	组别 Group			
	R0	R25	R50	R75
C14:0	2.70	2.20	1.71	1.32
C16:0	19.55	17.55	15.65	13.77
C18:0	4.38	4.31	4.29	4.54
C20:0	0.34	0.35	0.33	0.36
C22:0	0.48	0.45	0.37	0.34
SFA	27.45	24.86	22.35	20.33
C16:1	3.38	3.24	3.19	3.02
C18:1	18.59	18.78	18.02	18.09
C20:1	0.59	0.58	0.53	0.53
MUFA	22.56	22.60	21.74	21.64
C18:2n-6	25.21	30.21	35.65	39.43
C18:3n-6	0.09	0.07	0.08	0.06
C20:3n-6	0.03	0.03	0.03	0.03
C20:4n-6	0.44	0.42	0.42	0.40
n-6PUFA	25.77	30.73	36.18	39.92
C18:3n-3	1.98	2.48	3.00	3.66
C18:4n-3	0.69	0.62	0.66	0.58
C20:4n-3	0.25	0.23	0.23	0.21
C20:5n-3EPA	6.35	4.85	3.35	2.24
C22:5n-3	1.06	1.03	1.03	1.01
C22:6n-3DHA	5.74	4.25	2.75	1.87
n-3PUFA	16.07	13.46	11.02	9.57
DHA+EPA	12.09	9.10	6.10	4.11
DHA/EPA	0.90	0.88	0.82	0.83
n-3/n-6PUFA	0.62	0.44	0.30	0.24

注: SFA: 饱和脂肪酸; MUFA: 单不饱和脂肪酸; PUFA: 多不饱和脂肪酸。下同

Note: SFA: Saturated fatty acids; MUFA: Mono-unsaturated fatty acids; PUFA: Poly-unsaturated fatty acids. The same as below

饲料样品、肝脏及肌肉样品 105℃烘干后, 采用凯氏定氮法测得粗蛋白含量(VELP, UDK-142 automatic distillation unit, 意大利); 采用索氏抽提法(石油醚为抽提液)测得粗脂肪含量(FOSS 脂肪测定仪 SOXTEC-2050, 瑞典); 将样品在马弗炉(550℃)中灼烧 6 h 测得灰分含量。

脂肪酸测定方法: 用于测定脂肪酸的样品按照 Qiao 等(2015)的方法进行转脂化。取所得脂肪酸甲酯的正己烷溶液 2 μl 进行气相色谱测定(岛津 GC-2010), 所用毛细管柱为 Supelco SP-2560 (100 m×0.25 mm, 膜厚度 0.20 μm), 进样口和检测器的温度设定为 260℃, 柱温升温程序为自 140℃以

4℃/min 的速度升高至 240℃并恒温 10 min, 以高纯氮为载气, 通过与 37 种脂肪酸甲酯混标(Supelco 公司, 美国)对照确定脂肪酸组分。相关计算公式如下:

增重率(Weight gain rate, WGR, %)=(鱼体末重-鱼体初重)/鱼体初重×100

存活率(Survival rate, SR, %)=实验末鱼体个数/实验初鱼体个数×100

饲料系数(Feed conversion rate, FCR)=投饲总量/总增重量

肥满度(Condition factor, CF)=体重/体长³×100;

脏体比(Viscerosomatic index, VSI, %)=内脏质量/实验末鱼体质量×100;

肝体比(Hepatosomatic index, HSI, %)=肝脏质量/实验末鱼体质量×100。

1.4 数据统计

实验数据采用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 软件进行统计分析, 数据差异显著时采用 Duncan's 进行多重比较, 显著水平为 $P<0.05$, 数据以平均值±标准误差表示(Mean±SE)。

2 结果

2.1 豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼生长和饲料利用的影响

豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼生长和饲料利用的影响见表 3。25%替代组的 WGR 显著高于对照组($P<0.05$), 随着豆油替代水平的升高, WGR 呈现降低的趋势($P<0.05$), 25%替代组的 FCR 显著低于对照组($P<0.05$), FCR 呈现升高的趋势($P<0.05$), SR 没有显著性差异($P>0.05$)。

表 3 豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼生长和饲料利用的影响

Tab.3 Effects of fish oil replacement by soybean oil on the growth performance and feed utilization of juvenile spotted halibut

组别 Group	增重率 WGR(%)	存活率 SR(%)	饲料系数 FCR
R0	61.81±0.65 ^b	96.67±0.00	1.31±0.01 ^b
R25	76.58±1.55 ^a	95.56±2.94	1.06±0.02 ^c
R50	51.91±0.76 ^c	97.78±1.11	1.32±0.01 ^b
R75	45.09±0.24 ^d	94.44±1.11	1.46±0.01 ^a

注: 同列不同字母上标表示差异显著($P<0.05$), 下表同

Note: Values with different superscripts in the same column indicate significant difference ($P<0.05$), the same as below

2.2 豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼肌肉主要组分的影响

通过表4可知,豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼肌肉的粗蛋白、粗脂肪、灰分和水分无显著性影响($P>0.05$)。从表5可以看出,豆油替代鱼油对圆斑星鲈的HSI、VSI和CF无显著性影响($P>0.05$),但是随着豆油替代水平的增加,HSI和VSI呈现上升的趋势。肝脏的脂肪含量随着豆油替代水平的增加呈现升高的趋势,豆油替代水平达到50%和75%时,肝脏的脂肪含量显著高于鱼油组($P<0.05$)(表6)。

表4 豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼肌肉主要组分的影响
Tab.4 Effects of fish oil replacement by soybean oil on the muscle composition of juvenile spotted halibut

组别 Group	粗蛋白 CP (% DM)	粗脂肪 EE (% DM)	灰分 ASH (% DM)	水分 Moisture (%)
R0	69.62±0.16	9.22±0.09	6.08±0.19	77.11±0.24
R25	69.64±0.09	9.16±0.41	6.63±0.46	77.12±0.59
R50	69.38±0.06	9.23±0.07	6.96±0.21	76.63±0.19
R75	68.98±0.55	9.16±0.07	6.88±0.50	76.35±0.20

表5 豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼形态指标的影响
Tab.5 Effects of fish oil replacement by soybean oil on the morphometry of juvenile spotted halibut

组别 Group	肝体比 HSI (%)	脏体比 VSI (%)	肥满度 CF
R0	0.91±0.08	3.78±0.23	2.73±0.07
R25	1.06±0.10	3.83±0.14	3.15±0.25
R50	1.19±0.09	3.80±0.16	2.80±0.07
R75	1.17±0.15	4.28±0.21	2.75±0.08

表6 豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼肝脏脂肪和水分的影响

Tab.6 Effects of fish oil replacement by soybean oil on liver composition of juvenile spotted halibut

组别 Group	水分 Moisture (%)	粗脂肪 EE (%DM)
R0	69.06±0.33	30.75±1.69 ^b
R25	68.32±1.59	33.90±0.96 ^{ab}
R50	68.27±0.82	36.76±1.23 ^a
R75	66.02±0.76	37.21±1.64 ^a

2.3 豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼肌肉脂肪酸的影响

豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼肌肉脂肪酸的影响见表7。随着饲料中豆油水平的增加,圆斑星鲈幼鱼肌肉中饱和脂肪酸(SFA)总量呈现明显的降低趋势

($P<0.05$);单不饱和脂肪酸(MUFA)中,除了C18:1之外,其他2种脂肪酸的含量都有明显地下降($P<0.05$);多不饱和脂肪酸(PUFA)中,亚油酸(C18:2n-6)和亚麻酸(C18:3n-3)显著升高($P<0.05$),二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)则显著降低($P<0.05$);高不饱和脂肪酸(HUFA)中,n-3长链多不饱和脂肪酸的含量也显著降低($P<0.05$),n-6长链多不饱和脂肪酸的含量显著升高($P<0.05$),EPA和DHA的总含量(EPA+DHA)显著降低($P<0.05$),n-3长链多不饱和脂肪酸与n-6长链多不饱和脂肪酸的比值(n-3/n-6PUFA)也显著降低($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼生长和饲料利用的影响

鱼油替代实验中,鱼体的生长和饲料利用是重要的测定指标。在本研究中,高比例的豆油替代会显著降低鱼体的生长性能。目前关于植物油替代鱼油的实验已有很多报道,在大口黑鲈(*Micropterus salmoides*) (Subhadra *et al*, 2006)、尖吻重牙鲷(*Diplodus puntazzo*) (Piedecausa *et al*, 2007)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*) (Richard *et al*, 2006)等淡水鱼中研究发现,植物油部分或者全部替代鱼油对鱼体的生长无显著影响。在斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*) (Izquierdo *et al*, 2003)、金头鲷(*Sparus aurata*) (Izquierdo *et al*, 2005)、大黄鱼(*Larimichthys crocea*) (李桑等, 2015)、大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.) (彭墨等, 2015)等海水鱼中的研究发现,植物油部分替代鱼油不影响鱼体的生长,但是全部替代鱼油会显著影响大部分鱼类的生长。对于以上研究结果,有学者认为那些能够通过C18PUFA满足鱼体对必需脂肪酸需求的鱼类,在饲料中用植物油完全替代鱼油,不会影响鱼类的生长或饲料效率(Turchini *et al*, 2009)。由于淡水鱼具有一个完整的自身n-3长链多不饱和脂肪酸(n-3 LC-PUFA)合成机制,而植物油又富含C18PUFA,因此植物油可以给淡水鱼提供必需脂肪酸。但是由于海水鱼缺乏相应的合成机制,主要通过食物链的累积来满足对n-3 LC-PUFA的需求,因此植物油不能满足大部分海水鱼类对EPA和DHA的需要(Tocher *et al*, 2010)。在本研究中,饲料中用高比例豆油鱼油会显著降低圆斑星鲈的生长,从而也佐证了植物油高比例替代鱼油会影响海水鱼的生长这一结论。同时在本研究中也发现,25%豆油替代组的圆斑星鲈的生长性能优于鱼油组(对照组),原因可能是鱼油和低量的豆油形成脂肪酸

表7 豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼肌肉脂肪酸组成的影响(占总脂肪酸的百分比, %)
Tab.7 Effects of fish oil replacement by soybean oil on muscle fatty acid composition of juvenile spotted halibut(Percentage of total fatty acids, %)

脂肪酸 Fatty acid	组别 Group			
	R0	R25	R50	R75
C14:0	2.10±0.06 ^a	1.70±0.05 ^b	1.92±0.06 ^a	1.61±0.06 ^b
C15:0	0.26±0.01 ^a	0.19±0.01 ^c	0.22±0.01 ^b	0.19±0.01 ^c
C16:0	16.12±0.57 ^a	14.48±0.58 ^{ab}	13.92±0.57 ^b	12.55±0.60 ^b
C17:0	0.39±0.01 ^b	0.42±0.01 ^a	0.39±0.01 ^b	0.39±0.01 ^b
C18:0	5.42±0.12 ^c	7.19±0.11 ^a	6.00±0.11 ^b	6.15±0.11 ^b
C20:0	0.15±0.01 ^b	0.56±0.01 ^a	0.14±0.01 ^b	0.15±0.01 ^b
C22:0	0.41±0.01 ^a	0.20±0.01 ^d	0.25±0.01 ^b	0.23±0.01 ^c
SFA	24.85±0.77 ^a	24.74±0.78 ^a	22.84±0.77 ^{ab}	21.27±0.77 ^b
C16:1	2.89±0.06 ^a	1.89±0.05 ^c	2.29±0.06 ^b	1.97±0.06 ^c
C18:1	13.89±0.57	12.48±0.58	13.21±0.58	12.15±0.58
C20:1	1.27±0.06 ^a	0.85±0.06 ^b	1.02±0.05 ^b	0.97±0.05 ^b
MUFA	18.05±0.69 ^a	15.22±0.70 ^b	16.52±0.71 ^{ab}	15.09±0.69 ^b
C18:2n-6	18.05±0.57 ^c	20.89±0.57 ^b	23.51±0.58 ^a	25.12±0.58 ^a
C20:4n-6	1.15±0.05 ^c	1.42±0.06 ^{ab}	1.26±0.06 ^{bc}	1.47±0.06 ^a
n-6PUFA	19.20±0.57 ^c	22.31±0.54 ^b	24.77±0.58 ^a	26.59±0.55 ^a
C18:3n-3	1.30±0.05 ^b	1.28±0.06 ^b	1.99±0.06 ^a	2.09±0.06 ^a
C18:4n-3	0.49±0.01 ^a	0.28±0.01 ^d	0.44±0.01 ^b	0.36±0.01 ^c
C20:4n-3	0.28±0.01 ^a	0.22±0.01 ^c	0.24±0.01 ^b	0.23±0.01 ^{bc}
C20:5n-3EPA	6.90±0.12 ^a	6.59±0.11 ^{ab}	6.36±0.11 ^b	6.20±0.12 ^b
C22:5n-3	2.02±0.05	1.89±0.06	1.97±0.06	2.08±0.06
C22:6n-3DHA	14.04±0.57 ^a	13.70±0.58 ^a	12.10±0.58 ^{ab}	11.28±0.57 ^b
n-3PUFA	25.03±1.15	23.96±1.14	23.10±1.15	22.24±1.15
DHA+EPA	20.94±0.58 ^a	20.29±0.57 ^{ab}	18.46±0.57 ^{bc}	17.48±0.57 ^c
n-3/n-6PUFA	1.30±0.06 ^a	1.07±0.05 ^b	0.93±0.05 ^{bc}	0.83±0.06 ^c

注: 同行不同字母上标表示差异显著($P<0.05$)

Note: Values with different superscripts in the same line indicate significant different ($P<0.05$)

互补, 进而使用效果优于单一油脂(Izquierdo *et al.*, 2005)。目前研究发现黄斑篮子鱼(*Siganus oramin*)自身具有完整的 n-3 LC-PUFA 合成机制(谢帝芝等, 2013), 圆斑星鲈是否可能具有完整的 n-3 LC-PUFA 合成能力, 需要进一步的研究。

3.2 豆油替代鱼油对圆斑星鲈幼鱼肌肉和肝脏脂肪含量的影响

当植物油高比例替代鱼油的时候, 容易出现一系列的问题, 例如会导致脂肪异常沉积。在本研究中, 豆油替代 75% 的鱼油对圆斑星鲈肌肉的粗蛋白、粗脂肪、灰分和水分无显著性影响, 虽然对圆斑星鲈的 HSI、VSI 和 CF 无显著性影响, 但是 HSI 和 VSI 指标的数据呈现增加的趋势, 同时也发现鱼油替代组肝脏的脂肪含量显著高于鱼油组, 替代 75% 的豆油组肝脏脂肪含量最高。在该实验条件下, 脂肪主要沉积在

圆斑星鲈的肝脏部位。目前已有学者在尖吻重牙鲷(*Piedecausa et al.*, 2007)和大菱鲆(彭墨等, 2015)得出相同的结论。脂肪过多沉积于肝脏的原因, 可能与 n-3/n-6PUFA 的不平衡密切相关(彭墨等, 2015)。在本研究中, 全鱼油组、25% 的豆油组、50% 的豆油组和 75% 的豆油组饲料中 n-3/n-6 的比例分别为 0.62、0.44、0.30 和 0.24, 后面 2 组的比值明显低于全鱼油组, n-3/n-6PUFA 比例的失衡, 可能影响肝脏将过多的脂肪转运到外周组织, 进而导致肝脏脂肪组织细胞的增殖或增大(艾庆辉等, 2016)。其次可能是饲料中较低的 n-3 LC-PUFA 含量导致。本研究中, 4 组饲料中的 n-3 LC-PUFA 含量依次降低。彭墨等(2015)研究表明, n-3 LC-PUFA 不仅能激活过氧化物酶体增殖物激活受体 α (Peroxisome proliferators-activated receptor α , PPAR α), 促进脂肪分解; 而且能抑制固醇调节元件结合蛋白-1c (Sterol regulatory element-binding protein 1c,

SREBP-1c)的表达,进而抑制脂肪合成。因此,在本实验条件下,随着饲料中豆油的比例不断增加,饲料中较低的n-3 LC-PUFA含量可能导致肝脏脂肪过多沉积。

3.3 豆油替代鱼油对圆斑星鲈肌肉脂肪酸组分的影响

许多研究表明,饲料脂肪酸组成会显著影响鱼体肌肉脂肪酸的组成,而鱼体的最终脂肪酸组成是饲料输入和体内代谢的综合结果。对赤点石斑鱼(王骥腾等, 2016)、大黄鱼(李桑等, 2015)、大菱鲆(彭墨等, 2015)等海水鱼的研究发现,植物油替代鱼油会导致鱼体中长链多不饱和脂肪酸(EPA 和 DHA)含量的下降,而使 C18 脂肪酸(C18:2n-6 和 C18:3n-3)的含量增加。在本研究中,随着饲料中豆油水平的增加,圆斑星鲈幼鱼肌肉中 C18:2n-6 和 C18:3n-3 的含量显著升高,而 EPA 和 DHA 的含量则显著降低,和以上研究结果一致。肌肉脂肪酸精确的变化主要取决于所采用的脂肪源,用菜籽油替代时,会显著增加肌肉中的油酸(C18:1n-9)的含量(彭墨等, 2015);使用亚麻油时,C18:3n-3 的含量会增加(彭墨等, 2014)。而在本研究中,使用的是富含 C18:2n-6 的豆油,进而使圆斑星鲈肌肉的 C18:2n-6 显著升高。目前在大口黑鲈(Richard *et al*, 2006)、虹鳟(Subhadra *et al*, 2006)等淡水鱼中的研究发现,鱼体具有从 C18PUFA 合成长链多不饱和脂肪酸(LC-PUFA)的合成机制,及相关的去饱和酶和延长酶,而在金头鲷(Izquierdo *et al*, 2005)、大黄鱼(李桑等, 2015)、大菱鲆(彭墨等, 2015)等海水鱼中研究发现缺乏相关的酶活。因此饲料中不同的脂肪源及鱼体是否具有从 C18PUFA 合成长链多不饱和脂肪酸(LC-PUFA)的合成能力,决定了鱼体肌肉的脂肪酸组成。在本研究中,圆斑星鲈也可能缺乏相关的酶活,进而使肌肉中 EPA 和 DHA 的含量显著降低。

4 结 论

综合本研究中豆油替代 0、25%、50%和 75%的鱼油对圆斑星鲈生长和饲料利用、脂肪沉积和肌肉脂肪酸的影响,得出在该实验条件下,饲料中高比例的豆油替代鱼油会显著降低圆斑星鲈的生长性能和肌肉脂肪酸营养品质。

参 考 文 献

Ai QH, Yan J, Mai KS. Research progresses of lipids and fatty acids transport in fish. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, 40(4): 859–868 [艾庆辉, 严晶, 麦康森. 鱼类脂肪与脂肪酸的转运及调控研究进展. *水生生物学报*, 2016, 40(4):

- 859–868]
 Izquierdo MS, Montero D, Robaina L, *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. *Aquaculture*, 2005, 250(1–2): 431–444
 Izquierdo MS, Obach A, Arantzamendi L, *et al*. Dietary lipid sources for seabream and seabass: Growth performance, tissue composition and flesh quality. *Aquaculture Nutrition*, 2003, 9(6): 397–407
 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 *larvichthys 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]
 Lü YY, Chang Q, Chen SQ, *et al*. The effects of dietary fermented soybean meal on the growth and digestive ability of spotted halibut, *Verasper variegatus*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, 40(1): 10–18 [吕云云, 常青, 陈四清, 等. 发酵豆粕对圆斑星鲈生长及消化能力的影响. *水生生物学报*, 2016, 40(1): 10–18]
 Lü YY, Chen SQ, Yu CL, *et al*. The effects of the ratio of dietary protein to lipid on the growth, digestive enzyme activities and blood biochemical parameters in spotted halibut, *Verasper variegatus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(2): 118–124 [吕云云, 陈四清, 于朝磊, 等. 饲料蛋白脂肪比对圆斑星鲈(*Verasper variegatus*)生长、消化酶及血清生化指标的影响. *渔业科学进展*, 2015, 36(2): 118–124]
 Peng M, Xu W, Mai KS, *et al*. Growth performance, fatty acids composition and lipid deposition in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) fed diets with various fish oil substitution levels by linseed oil. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(8): 1131–1139 [彭墨, 徐玮, 麦康森, 等. 亚麻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*, 2014, 38(8): 1131–1139]
 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]
 Peng SM, Chen LQ, Qin JG, *et al*. Effects of replacement of dietary fish oil by soybean oil on growth performance and liver biochemical composition in juvenile black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*. *Aquaculture*, 2008, 276(1–4): 154–161
 Piedecausa MA, Mazón MJ, García BG, *et al*. Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils in the diets of sharpnose seabream (*Diplodus puntazzo*). *Aquaculture*,

- 2007, 263(1-4): 211-219
- Qiao HJ, Wang JY, Zhang LM, *et al.* An improved direct transesterification method for fatty acid determination of *Phaeodactylum tricornutum*. *Journal of Applied Phycology*, 2015, 27(2): 697-701
- Richard N, Kaushik S, Larroquet L, *et al.* Replacing dietary fish oil by vegetable oils has little effect on lipogenesis, lipid transport and tissue lipid uptake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *British Journal of Nutrition*, 2006, 96(2): 299-309
- Subhadra B, Lochmann R, Rawles S, *et al.* Effect of dietary lipid source on the growth, tissue composition and hematological parameters of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture*, 2006, 255(1-4): 210-222
- Tocher DR. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture Research*, 2010, 41(5): 717-732
- Turchini GM, Torstensen BE, Ng WK. Fish oil replacement in finfish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 2009, 1(1): 10-57
- Wang JT, Jiang YD, Yang YX, *et al.* 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*). *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016, 47(3): 640-646 [王骥腾, 姜宇栋, 杨云霞, 等. 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. *海洋与湖沼*, 2016, 47(3): 640-646]
- Wang ZJ, Ye BM, Chang Q, *et al.* Effects of dietary vitamin C content on anta-ammonia-nitrite stress ability of juvenile spotted halibut (*Verasper variegatus*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(12): 4054-4062 [王贞杰, 叶保民, 常青, 等. 饲料维生素 C 含量对圆斑星鲈幼鱼抗氨氮胁迫能力的影响. *动物营养学报*, 2016, 28(12): 4054-4062]
- Xie DZ, Wang SQ, You CH, *et al.* Influencing factors and mechanisms on HUFA biosynthesis in teleosts. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(2): 456-466 [谢帝芝, 王树启, 游翠红, 等. 鱼类高度不饱和脂肪酸合成的影响因素及其机理. *中国水产科学*, 2013, 20(2): 456-466]
- Yan JL, Chen SQ, Chang Q, *et al.* Early ontogeny of chromatophores and skin color changes of spotted halibut (*Verasper variegatus*). *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(5): 678-686 [严俊丽, 陈四清, 常青, 等. 圆斑星鲈仔稚鱼色素细胞发育和体色变化. *水产学报*, 2017, 41(5): 678-686]
- Yan JL, Chen SQ, Chang Q, *et al.* Effects of Antarctic krill meal replacing fish meal on growth performance, serum and liver biochemical indices and serum non-specific immune indices of juvenile spotted halibut (*Verasper variegatus*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(11): 3503-3510 [严俊丽, 陈四清, 常青, 等. 南极磷虾粉替代鱼粉对圆斑星鲈幼鱼生长性能、血清和肝脏生化指标及血清非特异性免疫指标的影响. *动物营养学报*, 2016, 28(11): 3503-3510]
- Zheng JM, Yan JL, Chen SQ, *et al.* Effects of dietary skimmed krill meal on the growth, non-specific immunity and serum physiological metabolism indices of juvenile spotted halibut (*Verasper variegatus*). *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(5): 107-113 [郑建明, 严俊丽, 陈四清, 等. 脱脂磷虾粉对圆斑星鲈 (*Verasper variegatus*) 幼鱼生长、非特异性免疫力和血清生理代谢指标的影响. *渔业科学进展*, 2017, 38(5): 107-113]

(编辑 陈辉)

Growth and Fatty Acid Composition of Juvenile Spotted Halibut (*Verasper variegatus*) Fed Diets with Fish Oil Replaced by Soybean Oil

ZHENG Jianming¹, ZHAO Jiejie¹, CHEN Siqing¹, CHANG Qing^{1,2①},
YAN Junli³, ZHU Zhifa¹, LIU Changlin¹, HU Jiancheng¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071;

2. Key Laboratory of Sustainable Development of Polar Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Qingdao 266071;

3. Shandong Vocational Animal Science and Veterinary College, Weifang 261061)

Abstract An 8-week experiment was conducted to investigate the effects of the replacement of dietary fish oil (FO) with soybean oil (SO) on growth, lipid deposition, and fatty acid composition of juvenile spotted halibut. Four isonitrogenous and isolipidic practical diets were formulated with SO replacing 0, 25%, 50%, and 75% FO, respectively. In total, 360 juvenile spotted halibut, with an initial body weight of (65.47±1.57) g were randomly distributed into four groups; three replicates were used per group and 30 fish were used per replicate. The fish in each group were randomly fed one of the four experimental diets. The following results were obtained: (1) Compared with 100% FO group, the feed conversion rate of spotted halibut was significantly increased ($P<0.05$), whereas the weight gain rate was significantly decreased ($P<0.05$). (2) SO replacement levels had no significant effects on body composition and muscle lipid content of juvenile spotted halibut ($P>0.05$), but had a significant effect on the liver lipid content of juvenile spotted halibut ($P<0.05$). The liver lipid content in the 50% and 75% SO groups was significantly higher than that in 100% FO group ($P<0.05$). (3) The fatty acid composition in the muscle was positively correlated with dietary fatty acid composition. Compared with the 100% FO group, the content of linoleic acid (C18:2n-6) and linolenic acid (C18:3n-3) in the muscle were significantly increased ($P<0.05$), whereas the content of eicosapentamethic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) in the muscle were significantly decreased ($P<0.05$). This study suggested that there were no significant effects on the growth of juvenile spotted halibut when dietary fish oil was replaced by soybean oil. However, the fatty acid composition of muscle was significantly altered.

Key words Soybean oil; Fish oil; Spotted halibut; Growth; Fatty acid of muscle

① Corresponding author: CHANG Qing, E-mail: changqing@ysfri.ac.cn