

文章编号: 1674 - 5566(2015)01 - 0085 - 09

养成期斜带石斑鱼对饲料脂肪的需要量

董晓慧, 杨俊江, 谭北平, 杨奇慧, 迟淑艳, 刘泓宇, 章 双

(广东海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524088)

摘 要: 在基础饲料中添加鱼油, 配成 5 种不同脂肪水平(7.07%、9.92%、12.92%、15.95% 和 19.04%) 的等氮饲料, 投喂体重 278.5 g 的石斑鱼 10 周。结果表明: 随着饲料脂肪水平的升高, 石斑鱼的增重率、特定生长率和蛋白质效率呈逐渐上升后显著下降趋势($P < 0.05$), 饲料效率变化趋势同增重率相反; 各处理组成活率不受饲料脂肪水平的影响($P > 0.05$)。全鱼和肌肉粗脂肪含量逐渐上升后稳定, 全鱼灰分含量逐渐下降; 全鱼水分、粗蛋白和肌肉水分、粗蛋白、灰分含量不受饲料脂肪水平的影响($P > 0.05$)。肥满度和脏体比随饲料脂肪水平的增加逐渐上升后稳定; 肝体比逐渐上升。血浆葡萄糖、甘油三酯、总胆固醇和高密度脂蛋白水平均显著升高($P < 0.05$), 总蛋白和低密度脂蛋白显著下降($P < 0.05$)。肝脏肝脂酶、脂蛋白酯酶和苹果酸脱氢酶活力随饲料脂肪水平的升高逐渐下降, 乳酸脱氢酶活力逐渐上升。肝脏碱性磷酸酶、超氧化物歧化酶和溶菌酶活力随饲料脂肪水平的升高逐渐上升后稳定; 酸性磷酸酶活力显著下降($P < 0.05$)。以特定生长率为判据, 二次曲线模型拟合得出, 养成期斜带石斑鱼对饲料脂肪的需要量为 14.44%。

研究亮点: 陆生动物生产普遍采用阶段饲养方式, 其营养需求研究也是按不同养殖阶段进行的, 但水产动物营养研究大多以幼鱼(虾)为主, 而大部分水产动物的上市体重为幼鱼期体重的几十倍甚至上百倍, 因此, 养成期水产动物对营养物质的需求与幼鱼期必然不同。研究养成期水产动物的营养需求可遵循其生长发育规律更加科学精准地按养殖阶段配制饲料, 提高饲料转化效率。

关键词: 斜带石斑鱼; 脂肪; 生长性能; 生化指标; 消化酶

中图分类号: S 963.1

文献标志码: A

斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*) 属于鲈形目(Perciformes)、鲷科(Serranidae)、石斑鱼属(*Epinephelus*), 是我国广东、海南等省的重要海水养殖品种。目前石斑鱼养殖主要以投喂冰鲜鱼为主, 饲料普及率低下, 其主要原因是石斑鱼营养需要研究基础薄弱。因此, 开展斜带石斑鱼营养需求的研究进而开发精准的配合饲料已成为斜带石斑鱼集约化养殖可持续发展的迫切需要。

海水鱼类对蛋白质需要量高, 但在资源日益短缺的今天, 鱼粉等优质蛋白源价格高昂。为节约成本, 养殖者希望饲料蛋白质能更有效地转化为鱼体蛋白。鱼类的生理特点决定了其对饲料碳水化合物利用能力有限, 但却能很好地利用脂肪, 因此饲料脂肪常常作为鱼类重要的能量来

源^[1]。饲料中脂肪含量低, 水产动物生长缓慢, 添加适量的脂肪则可有效促进水产动物的生长, 还能起到节约蛋白质的作用^[2]。

石斑鱼对脂肪需要量的研究已有部分报道。以鱼油为脂肪源, 初重 10.9 g 的斜带石斑鱼获得最大生长的脂肪水平为 10%^[3]; 以鱼油和玉米油(1:1) 为脂肪源, 初重 4.43 g 的点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*) 饲料中适宜脂肪水平为 9%^[4]; 以鱼油和豆油(1:1) 为脂肪源, 9 g 的点带石斑鱼对脂肪的需要量为 11.85%^[5], 而 17 g 的点带石斑鱼获得最大生长的脂肪水平为 12%^[6]。初重 7.71 g 的赤点石斑鱼(*Epinephelus akaara*) 在饲料脂肪水平为 3% ~ 4% 时, 增重率最高^[7]; 初重 6.38 g 的褐石斑鱼(*Epinephelus bruneu*) 对脂

收稿日期: 2014-08-06 修回日期: 2014-10-30

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201003020); 广东省珠江学者项目(2011)

作者简介: 董晓慧(1970—), 女, 博士, 教授, 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: dongxiaohui2003@163.com

通信作者: 谭北平, E-mail: bptan@126.com

肪的需要量为 15%^[8];初重为 39.33 g 的青石斑鱼 (*Epinephelus awoara*) 饲料中脂肪适宜含量为 9.87%^[9]。以上研究表明:石斑鱼幼鱼 (<40 g) 对脂肪需要量为 3%~15%,因石斑鱼种类、脂肪源等的不同而差异较大。因此,本实验以初重 278.5 g 的斜带石斑鱼为对象,研究养成期斜带石斑鱼对脂肪的适宜需要量,为研制精准高效石斑鱼饲料提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验设计与饲料制作

在基础饲料中添加不同水平的鱼油,配成 5 种脂肪水平的等氮饲料,饲料脂肪含量分别为 7.07%、9.92%、12.92%、15.95%、和 19.04%,记为 L1、L2、L3、L4 和 L5 组,饲料配方见表 1。原料粉碎后过 40 目筛,按配方比例称取各种原料进行混合,然后加入鱼油和大豆磷脂油,将油脂微粒搓散后,放入 V 型立式混合机中混合均匀,缓慢加入占饲料质量 30%~40% 的水后再次混合,用 F-26 型双螺杆挤条机(华南理工大学)加工成直径为 6 mm 的颗粒饲料,风干至水分含量 10% 左右,用封口袋分装后放于 -20 °C 冰箱保存备用。

1.2 实验用鱼及饲养管理

1.2.1 实验鱼的来源及驯化

石斑鱼购自湛江雷州市覃斗镇某石斑鱼养殖场。实验鱼运回后,投喂商品饲料(中山统一饲料有限公司,粗蛋白 46%)一周,再投喂 L1 组饲料一周,使之逐渐适应养殖环境和饲料。

1.2.2 饲养管理

养殖实验在湛江市南三岛近海浮式网箱中进行。挑选均重为 278.5 g 左右、规格均匀,体格健壮的石斑鱼随机分配于各网箱中。根据实验设计,共 5 个处理,每个处理设 3 个重复,每重复一个 1.2 m × 1.2 m × 2.5 m 的网箱,每个网箱放 20 尾鱼。每天投喂 2 次(07:00 和 17:00),饱食投喂,养殖期 10 周。水温 27~29.5 °C,盐度为 22~26,溶解氧含量 7 mg/L 以上。

1.3 样品采集及分析方法

1.3.1 样品采集

养殖实验结束石斑鱼饥饿 24 h 后,取样。将石斑鱼全部捞出,以丁香酚(1:10 000)麻醉后称重,计数,计算生长指标。每个网箱中随机取 5

尾鱼测量其体重、体长,计算肥满度,测量完成后于 -20 °C 冰箱保存,用于全鱼常规成分分析。再随机取 5 尾鱼尾静脉采血,血样放入 1.5 mL 抗凝管中,室温下静置 4 h 后离心(3 500 r/min, 10 min, 4 °C),收集的血浆放入 -80 °C 冰箱保存,用于血浆生化指标测定。取血后的石斑鱼分离内脏,分别称每尾鱼的内脏团和肝脏重量,计算肝体比和脏体比;然后分离背部肌肉,分装于封口袋中于 -80 °C 冰箱保存,用于肌肉常规成分分析。最后随机取 3 尾鱼,分离肝脏, -80 °C 冰箱保存,备测肝脏酶活。

表 1 实验饲料组成及营养水平
Tab.1 Composition and nutrient levels of experimental diets %

原料 ingredient	饲料 diets				
	L1	L2	L3	L4	L5
白鱼粉 white fish meal	55	55	55	55	55
小麦谷朊粉 vital wheat gluten	12	12	12	12	12
面粉 wheat flour	16	16	16	16	16
α-淀粉 α-starch	13.82	10.82	7.82	4.82	1.82
鱼油 fish oil	0	3	6	9	12
大豆磷脂油 soybean lecithin	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
维生素 C vitamin C (35%)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
氯化胆碱 choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
维生素预混料 vitamin premix ¹	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
矿物质预混料 mineral premix ²	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
诱食剂 attractant	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
乙氧基喹啉 ethoxyquin	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
合计 total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 nutrient levels					
干物质 dry matter	90.48	90.75	90.85	90.56	90.54
粗蛋白 crude protein	50.57	49.96	50.27	50.85	50.53
粗脂肪 crude lipid	7.07	9.92	12.92	15.95	19.04
灰分 ash	15.62	15.95	15.47	15.23	15.85

注:1. 每千克维生素预混料含: V_A 10 g; V_{D3} 50 g; V_E 99 g; V_{K3} 5.0 g; V_{B1} 25.50 g; V_{B2} 25 g; V_{B6} 50 g; V_{B12} 0.1 g; 泛酸钙 61 g; 烟酸 101 g; 生物素 2.5 g; 肌醇 153.06 g; 叶酸 6.25 g; 纤维素 411.59 g; 2. 每千克矿物质预混料含: KIO₄ 0.03 g; CoCl₂ · 6H₂O 4.07 g; CuSO₄ · 5H₂O 19.84 g; 柠檬酸铁 13.71 g; ZnSO₄ · 7H₂O 28.28 g; MnSO₄ · 7H₂O 0.12 g; Ca(H₂PO₄)₂ 80 g; MgSO₄ · H₂O 12.43 g; KCl 15.33 g; Na₂SeO₃ 2 g; 沸石粉 824.19 g。

Note: 1. The per kg vitamin premix content: V_A 10 g, V_{D3} 50 g, V_E 99 g, V_{K3} 5.0 g, V_{B1} 25.50 g, V_{B2} 25 g, V_{B6} 50 g, V_{B12} 0.1 g, Calcium pantothenate 61 g, Nicotinic acid 101 g, Biotin 2.5 g, Inositol 153.06 g, Folic acid 6.25 g, Cellulose 411.59 g. 2. The per kg mineral premix content: KIO₄ 0.03 g, CoCl₂ · 6H₂O 4.07 g, CuSO₄ · 5H₂O 19.84 g, Ferric citrate 13.71 g, ZnSO₄ · 7H₂O 28.28 g, MnSO₄ · 7H₂O 0.12 g, Ca(H₂PO₄)₂ 80 g, MgSO₄ · H₂O 12.43 g, KCl 15.33 g, Na₂SeO₃ 2 g, Zeolite powder 824.19 g.

1.3.2 分析方法

实验饲料、全鱼、肌肉常规成分的测定方法为:水分 105 °C 烘干恒重法;粗蛋白凯氏定氮法(Kjeltec™ 8400 瑞典);脂肪索氏抽提法(抽提溶剂为乙醚);粗灰分 550 °C 灼烧法。

血浆生化指标测定采用全自动生化分析仪(7020 型,Hitachi,日本)。

肝脏相关酶活采用南京建成生物公司的试剂盒测定,相应操作参照说明书。溶菌酶测定方法参照 ELLIS^[10]。

1.4 计算公式及统计分析

1.4.1 计算公式

$$W_{GR}(\%) = 100 \times (W_f - W_i) / W_i \quad (1)$$

式中: W_{GR} 为增重率(weight gain rate); W_f 为实验期末体重(g); W_i 为实验初始体重(g)。

$$S_{GR}(\%) = 100 \times (\ln W_f - \ln W_i) / D_t \quad (2)$$

式中: S_{GR} 为特定生长率(specific growth rate); W_f 为实验期末体重(g); W_i 为实验初始体重(g); D_t 为实验天数。

$$P_{ER}(\%) = 100 \times (W_f - W_i) / I_p \quad (3)$$

式中: P_{ER} 为蛋白质效率(protein efficiency ratio); W_f 为实验期末体重(g); W_i 为实验初始体重(g); I_p 为蛋白质摄入量(g)。

$$F_{CR} = I_w / (W_f - W_i) \quad (4)$$

式中: F_{CR} 为饲料效率(feed conversion ratio); I_w 为摄食饲料总量(g); W_f 为实验期末体重(g); W_i 为实验初始体重(g)。

$$S_R(\%) = 100 \times N_f / N_i \quad (5)$$

式中: S_R 为成活率(survival rate); N_f 为实验期末尾数; N_i 为实验初始尾数。

$$C_F(\%) = 100 \times B_w / B_l^3 \quad (6)$$

式中: C_F 为肥满度(condition factor); B_w 为体重(g); B_l 为体长(cm)。

$$H_{SI}(\%) = 100 \times H_w / B_w \quad (7)$$

式中: H_{SI} 为肝体比(hepatosomatic index); H_w 为肝脏重(g); B_w 为体重(g)。

$$V_{SI}(\%) = 100 \times V_w / B_w \quad (8)$$

式中: V_{SI} 为脏体比(viscerosomatic index); V_w 为内脏重(g); B_w 为体重(g)。

1.4.2 统计分析

数据均以平均值 ± 标准差(Mean ± SD)表示。用 SPSS 17.0 软件对数据进行单因子方差分析(One-way ANOVA),当处理间差异显著($P < 0.05$)时,进行 Duncan 氏多重比较。

2 结果

2.1 饲料脂肪水平对石斑鱼生长性能及饲料利用的影响

如表 2 所示,石斑鱼的 WGR、SGR 和 PER 均呈上升后下降趋势;FCR 变化趋势同 PER 相反,呈先下降后升高的趋势。以 SGR 为评价指标,二次曲线模型拟合得出,斜带石斑鱼对饲料中脂肪的最适需要量为 14.44% (图 1)。

表 2 饲料脂肪水平对石斑鱼生长性能及饲料利用的影响

Tab.2 Effect of dietary lipid levels on growth performance and feed utilization of grouper

项目 items	饲料 diets				
	L1	L2	L3	L4	L5
初重 IBW/g	277.3 ± 1.7	278.8 ± 1.9	277.9 ± 0.4	278.4 ± 1.7	279.8 ± 0.8
末重 FBW/g	541.8 ± 14.00 ^a	559.3 ± 9.0 ^{bc}	568.0 ± 2.5 ^c	600.2 ± 2.5 ^d	548.9 ± 0.3 ^{ab}
增重率 WGR/%	95.4 ± 3.9 ^a	102.8 ± 2.4 ^b	104.4 ± 3.4 ^b	115.6 ± 1.2 ^c	96.2 ± 0.6 ^a
特定生长率 SGR/(%/d)	1.03 ± 0.03 ^a	1.09 ± 0.02 ^b	1.10 ± 0.03 ^b	1.18 ± 0.01 ^c	1.04 ± 0.01 ^a
蛋白质效率 PER/%	1.25 ± 0.06 ^a	1.32 ± 0.04 ^b	1.42 ± 0.05 ^{cd}	1.45 ± 0.01 ^d	1.36 ± 0.01 ^{bc}
饲料系数 FCR	1.60 ± 0.08 ^d	1.54 ± 0.04 ^{cd}	1.44 ± 0.05 ^{ab}	1.41 ± 0.01 ^a	1.50 ± 0.01 ^{bc}
成活率 SR/%	96.67 ± 2.89	96.67 ± 5.77	98.33 ± 2.89	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00

注:同行上标小写字母不同代表差异显著($P < 0.05$),下表同。

Note: Values in the same line with different letters were significantly different ($P < 0.05$), the same as follows.

2.2 饲料脂肪水平对石斑鱼全鱼及肌肉常规成分的影响

由表 3 可知,随着饲料脂肪水平升高,石斑鱼全鱼、肌肉粗脂肪含量逐渐上升;全鱼粗灰分

含量逐渐下降,全鱼水分、粗蛋白和肌肉水分、粗蛋白、粗灰分不受饲料脂肪水平的影响。

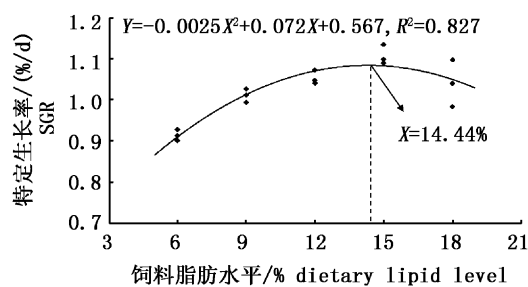


图1 饲料脂肪水平与石斑鱼特定生长率(SGR)之间的关系

Fig.1 Relationship between SGR and dietary lipid level for grouper as described by second-order polynomial regression model

表3 饲料脂肪水平对石斑鱼全鱼和肌肉常规成分的影响(干物质)

项目 items	饲料 diets				
	L1	L2	L3	L4	L5
全鱼 whole body					
水分 moisture	68.46 ± 1.32	67.39 ± 5.53	69.09 ± 3.37	69.44 ± 4.23	69.96 ± 2.93
粗蛋白 crude protein	61.13 ± 1.14	60.64 ± 0.71	60.07 ± 0.42	60.09 ± 0.16	59.97 ± 1.25
粗脂肪 crude lipid	21.56 ± 0.89 ^a	21.96 ± 3.21 ^a	22.87 ± 1.86 ^a	24.02 ± 1.39 ^{ab}	26.41 ± 1.66 ^b
灰分 ash	13.56 ± 0.92 ^b	12.88 ± 0.73 ^b	13.99 ± 0.86 ^b	11.40 ± 1.36 ^{ab}	10.79 ± 1.18 ^a
肌肉 muscle					
水分 moisture	77.05 ± 2.8	77.16 ± 1.53	77.04 ± 1.37	76.48 ± 1.32	76.86 ± 1.09
粗蛋白 crude protein	86.59 ± 0.53	86.15 ± 0.41	86.21 ± 0.77	85.19 ± 0.94	85.14 ± 0.27
粗脂肪 crude lipid	4.86 ± 0.30 ^a	5.24 ± 0.47 ^{ab}	6.02 ± 0.33 ^b	6.93 ± 0.62 ^c	7.07 ± 0.23 ^c
灰分 ash	5.92 ± 1.28	5.49 ± 0.35	5.42 ± 0.27	5.31 ± 0.20	5.37 ± 0.28

表4 饲料脂肪水平对石斑鱼形态学指标的影响

Tab.4 Effect of dietary lipid levels on CF, HSI and VSI of grouper %

项目 items	饲料 diets				
	L1	L2	L3	L4	L5
肥满度 CF	2.43 ± 0.15 ^a	2.48 ± 0.19 ^a	2.89 ± 0.12 ^b	2.74 ± 0.12 ^{ab}	2.88 ± 0.24 ^b
肝体比 HSI	3.90 ± 0.19 ^a	4.33 ± 0.07 ^b	4.30 ± 0.28 ^b	4.31 ± 0.25 ^b	4.79 ± 0.09 ^c
脏体比 VSI	8.93 ± 0.24 ^a	9.09 ± 0.35 ^a	10.03 ± 0.62 ^b	9.98 ± 0.29 ^b	10.05 ± 0.48 ^b

表5 饲料脂肪水平对石斑鱼血浆生化指标的影响

Tab.5 Effect of dietary lipid levels on plasma biochemical parameters of grouper

项目 items	饲料 diets				
	L1	L2	L3	L4	L5
总蛋白 TP/(g/L)	43.00 ± 1.00 ^b	40.67 ± 1.53 ^b	37.00 ± 1.73 ^a	37.00 ± 2.00 ^a	34.67 ± 1.52 ^a
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	1.72 ± 0.05 ^{ab}	1.58 ± 0.04 ^a	1.90 ± 0.04 ^b	2.25 ± 0.08 ^c	3.15 ± 0.29 ^d
甘油三酯 TG/(mmol/L)	1.11 ± 0.14 ^a	1.78 ± 0.02 ^{ab}	1.73 ± 0.44 ^{ab}	2.64 ± 0.99 ^{bc}	3.28 ± 0.62 ^c
总胆固醇 TC/(mmol/L)	3.57 ± 0.31 ^a	4.13 ± 0.23 ^a	4.03 ± 0.25 ^a	5.30 ± 0.62 ^b	6.10 ± 0.50 ^c
高密度脂蛋白 HDLC/(mmol/L)	0.91 ± 0.11 ^a	1.22 ± 0.22 ^b	1.19 ± 0.15 ^{ab}	1.37 ± 0.14 ^b	1.68 ± 0.16 ^c
低密度脂蛋白 LDLC/(mmol/L)	1.91 ± 0.34 ^b	1.46 ± 0.69 ^{ab}	1.56 ± 0.26 ^{ab}	1.32 ± 0.14 ^{ab}	0.94 ± 0.29 ^a

2.5 饲料脂肪水平对石斑鱼肝脏酶活性的影响

随着饲料脂肪水平升高,肝脏肝酯酶

2.3 饲料脂肪水平对石斑鱼形态学指标的影响

随着饲料脂肪水平升高,CF和VSI逐渐上升后稳定,HSI逐渐上升(表4)。

2.4 饲料脂肪水平对石斑鱼血浆生化指标的影响

随着饲料脂肪水平升高,石斑鱼血浆葡萄糖(glucose, GLU)、甘油三酯(triglyceride, TG)、总胆固醇(total cholesterol, TC)和高密度脂蛋白(high density lipoprotein cholesterol, HDLC)水平均逐渐升高,低密度脂蛋白(low density lipoprotein cholesterol, LDLC)和总蛋白(total protein, TP)逐渐下降($P < 0.05$),见表5。

(hepatic lipase, HL)、脂蛋白酯酶(lipoproteinesterase, LPL)和苹果酸脱氢酶(malic

dehydrogenase, MDH)活力均呈逐渐下降趋势,乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH)活力逐渐上升。肝脏碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, AKP)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase,

SOD)和溶菌酶(lysozyme, LZ)活性呈升高后稳定趋势,酸性磷酸酶(acid phosphatase, ACP)呈逐渐下降趋势(表6)。

表6 饲料脂肪水平对石斑鱼肝脏酶活性的影响

Tab. 6 Effect of dietary lipid levels on enzyme activities in liver of grouper

项目 items	饲料 diets				
	L1	L2	L3	L4	L5
肝脂酶 HL/(U/mg)	0.73 ± 0.05 ^c	0.65 ± 0.14 ^{bc}	0.49 ± 0.09 ^{ab}	0.48 ± 0.09 ^{ab}	0.46 ± 0.06 ^a
脂蛋白酯酶 LPL/(U/mg)	0.77 ± 0.05 ^b	0.70 ± 0.09 ^b	0.65 ± 0.06 ^b	0.50 ± 0.11 ^a	0.45 ± 0.01 ^a
乳酸脱氢酶 LDH/(U/mg)	1083.24 ± 66.45 ^a	1224.61 ± 127.74 ^{ab}	1254.01 ± 29.40 ^{ab}	1379.01 ± 218.83 ^{bc}	1493.64 ± 35.54 ^c
苹果酸脱氢酶 MDH/(U/mg)	7.86 ± 1.48 ^b	7.63 ± 1.47 ^b	6.47 ± 0.62 ^{ab}	5.94 ± 0.28 ^{ab}	4.86 ± 0.37 ^a
碱性磷酸酶 AKP/(U/g)	12.23 ± 0.79 ^a	14.95 ± 1.58 ^{ab}	14.24 ± 0.86 ^{ab}	17.63 ± 3.76 ^b	15.53 ± 2.18 ^{ab}
酸性磷酸酶 ACP/(U/g)	154.55 ± 7.03 ^c	144.12 ± 11.52 ^c	121.49 ± 9.08 ^{ab}	126.24 ± 3.05 ^b	108.82 ± 7.99 ^a
超氧化物歧化 SOD/(U/mg)	51.08 ± 4.09 ^a	58.46 ± 2.69 ^{ab}	65.06 ± 3.02 ^{bc}	75.34 ± 6.68 ^c	68.34 ± 2.71 ^{bc}
溶菌酶 LZ/(U/mg)	150.00 ± 9.00 ^a	185.00 ± 13.23 ^b	212.00 ± 13.11 ^c	205.67 ± 3.79 ^{bc}	220.67 ± 17.62 ^c

3 讨论

在本实验中,随饲料脂肪水平的升高,WGR和SGR表现为先升高后下降的趋势,最大值均出现在L4组。表明饲料中适量地添加脂肪,可以促进石斑鱼的生长,而过高的饲料脂肪水平可降低石斑鱼的生长。鱼类在饲料蛋白水平相同时,高脂肪水平比低脂肪水平有更好的生长表现,称作“脂肪对蛋白质的节约效应”^[11]。白姑鱼(*Argyrosomus regius*)^[12]和石首鱼(*Atractoscion nobilis*)^[13]也获得了与本实验相同的结果。但也有研究表明,饲料中添加过多的脂肪可导致鱼类摄食率减少和生长下降,如齿鲷(*Dentex dentex*)^[14]、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)和长尾鲩(*Leiocassis longirostris* Gunther)^[15]。本研究表明,当饲料脂肪含量达到14.44%时,石斑鱼的生长性能和饲料系数达到最佳(图1)。蛋白质效率是饲料蛋白转化为动物体蛋白程度的评价指标。本实验中,随着饲料脂肪水平升高,PER呈先上升后降低的趋势。这与红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)^[16]的研究结果一致。但也有研究表明,蛋白质效率和饲料脂肪水平呈一定的正相关^[17]。这可能由于一定水平的饲料脂肪增加了饲料中可利用的能量,使蛋白质分解供能降低,进而提高了蛋白质的沉积率。

本实验中石斑鱼全鱼和肌肉脂肪含量逐渐上升。长吻鲩幼鱼全鱼脂肪含量随着日粮脂肪水平的升高而增加^[18],异育银鲫^[19]、军曹鱼

(*Rachycentron canadum*)^[20]的实验结果也表明鱼体脂肪含量与饲料脂肪水平呈正相关;本实验中饲料脂肪水平升高对鱼体和肌肉蛋白含量无显著影响,与石首鱼^[13]的研究结果类似,而篮子鱼(*Siganus rivulatus*)^[21]的研究结果表明饲料脂肪降低了全鱼和肌肉中的蛋白含量。SHEARER等^[22]研究认为鱼类的体成分受内源因素(规格、性别等)和外源因素(饲料、环境等)的共同影响,鱼体蛋白和灰分含量与鱼类的生长阶段(内源因素)有关,而体脂肪含量主要受外源因素影响。

鱼类形态学指标与饲料脂肪水平密切相关。异育银鲫的VSI^[19]及团头鲂的HIS^[23]随饲料脂肪水平的增加而显著升高,与本实验类似。齐口裂腹鱼的CF随着饲料脂肪水平升高呈先上升后下降的趋势^[24],而团头鲂的CF则呈逐渐升高趋势^[23],但异育银鲫^[19]、鳙(*Elopichthys bambusa*)^[25]的实验结果表明CF不受饲料脂肪水平的影响。实验结果的不同可能源于鱼种、初重、饲料脂肪水平和来源、养殖环境因子等的不同。

准确掌握鱼类的血液生化指标的变化规律有利于了解鱼类健康状况及对饲料营养水平和营养价值进行评估^[26]。镜鲤(*Cyprinus specularis*)血清TP、TG、TC和GLU浓度随着脂肪水平的增加而升高^[27],与本实验结果一致;相似的研究还有红鳍东方鲀^[16]、大西洋鲑(*Gadus morhua* L)^[28]。鱼类血浆脂蛋白与肝脏脂肪(主要是甘油三脂)结合后随血液运出肝脏,从而使肝脏中

的脂肪和外周组织的脂肪代谢保持平衡^[29]。在本实验中,随着饲料脂肪水平的升高,血浆 HDLC 逐渐升高,LDLC 下降;而厚唇弱棘鲷表现为随饲料脂肪水平的升高血浆 HDLC 浓度逐渐升高,而 LDLC 浓度呈现先上升后下降的趋势^[30]。鳃血浆 HDLC 和 LDLC 浓度均随脂肪水平的升高而降低^[25]。实验结果的差异可能源于鱼种、脂肪源等的不同。红鳍东方鲀血浆 GLU 浓度同饲料脂肪水平呈正相关^[16]。随着饲料脂肪水平升高,鳃血浆 TP 逐渐下降^[25],与本实验结果基本一致。

HL 和 LPL 是鱼类肝脏中参与脂肪降解的两种关键酶,HL 可促进 LDLC 和乳糜微粒残粒进入肝细胞,并直接参与 HDLC 逆转运和 HDLC 残粒的分解^[31]。LPL 能够水解富含甘油三酯的脂蛋白,产生游离脂肪酸^[32]。本实验中随着饲料脂肪水平升高,石斑鱼肝脏 HL 和 LPL 活性均显著下降;说明饲料中添加大量的脂肪使得鱼体脂肪分解代谢减弱。但梭鱼(初重 5.4 g)的实验结果表明,随饲料脂肪水平的升高,HL 和 LPL 的活性显著升高^[33]。实验结果的不同可能源于鱼种、实验鱼初始体重、油源和添加水平的不同。苹果酸脱氢酶(MDH)和葡萄糖六磷酸脱氢酶(G-6-PD)活性的高低直接关系到 NADPH 的生成量,进而影响体内脂肪的合成^[34-35]。在本实验中,随着饲料脂肪水平升高,肝脏 MDH 活力逐渐下降;这与对塞内加尔鳎(*Solea senegalensis*)^[36]的研究一致;说明随着饲料脂肪水平升高在一定程度上抑制了石斑鱼体内的脂肪合成代谢。随着脂肪水平升高,肝脏乳酸脱氢酶(LDH)活性逐渐上升,锦鲤^[37]的研究也得到相似结果。

本研究表明,随着饲料脂肪水平增加,石斑鱼肝脏中 AKP、SOD 和 LZ 活力逐渐上升,ACP 逐渐下降。点带石斑鱼的研究结果表明,LZ 活性同饲料脂肪含量的增加呈正相关^[38]。锦鲤肝脏中 SOD 活力随脂肪水平的升高而下降,而饲料脂肪水平对 AKP 等免疫指标没有显著影响^[39]。梭鱼肝脏 SOD 活性随着饲料脂肪水平的升高呈先上升后下降的趋势^[33];镜鲤肝脏 SOD 和 LZ 随饲料脂肪水平的增加先升高后降低^[40]。鱼类免疫力的提高可能与随饲料脂肪水平的升高,饲料中必需脂肪酸含量的增加有关。

综上所述,在本实验条件下,体重 278.5 g 左右的养成期斜带石斑鱼对饲料中脂肪的最适需

要量为 14.44%。

参考文献:

- [1] 宋理平. 宝石鲈营养需求的研究 [D]. 济南: 山东师范大学, 2009: 72-78.
SONG L P. Study of nutritional requirement of jade perch (*Scortum barcoo*) [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2009: 72-78.
- [2] NG W K, ABDULLAH N, DE SILVA S S. The dietary protein requirement of the Malaysian mahseer, *Tor tambroides* (Bleeker), and the lack of protein-sparing action by dietary lipid [J]. *Aquaculture*, 2008, 284 (1/4): 201-206.
- [3] LUO Z, LIU Y J, MAI K S, et al. Effect of dietary lipid level on growth performance, feed utilization and body composition of grouper *Epinephelus coioides* juveniles fed isonitrogenous diets in floating netcages [J]. *Aquaculture International*, 2005, 13 (3): 257-269.
- [4] LIN Y H, SHIAU S Y. Dietary lipid requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus*, and effects on immune responses [J]. *Aquaculture*, 2003, 225 (1/4): 243-250.
- [5] 王庆奎, 陈成勋, 刑克智, 等. 饵料中蛋白质、糖类、脂类对点带石斑鱼生长的影响 [J]. *饲料工业*, 2010, 31 (14): 7-9.
WANG Q K, CHEN C X, XING K Z, et al. Effects of dietary protein, carbohydrate and lipid on growth performance of grouper (*Epinephelus malabaricus*) [J]. *Feed Industry*, 2010, 31 (14): 7-9.
- [6] TUAN L A, WILLIAMS K C. Optimum dietary protein and lipid specifications for juvenile malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*) [J]. *Aquaculture*, 2007, 267 (1/4): 129-138.
- [7] 马平. 添加油脂影响石斑鱼幼鱼内脏脂肪蓄积的影响 [J]. *台湾海峡*, 1996, 15 (s): 55-58.
MA P. Influence of lipid diet on fat accumulation in gut of juvenile red-spotted grouper [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1996, 15 (s): 55-58.
- [8] YOSHII K, TAKAKUWA F, NGUYEN H P, et al. Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization of juvenile kelp grouper *Epinephelus bruneus* [J]. *Fisheries Science*, 2010, 76 (1): 139-145.
- [9] 周立红, 胡家才, 陈学豪. 青石斑人工配合饵料中脂肪适宜含量的研究 [J]. *厦门水产学院学报*, 1995, 17 (2): 13-17.
ZHOU L H, HU J C, CHEN X H. The most suitable content of fat in the artificial diets to culture *Epinephelus awoara* [J]. *Journal of Xiamen Fisheries College*, 1995, 17 (2): 13-17.
- [10] ELLIS A E. Lysozyme assays [M]//STOLEN J S, FLETCHER T C, ANDERSON D P, et al. *Techniques in Fish Immunology*. SOS Publications, Fair Haven, NJ, USA, 1990: 101-103.

- [11] YIGIT M, KOSHIO S, TESHIMA S, et al. Dietary protein and energy requirements of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. Journal of Applied Sciences, 2004, 4(3): 486-492.
- [12] CHATZIFOTIS S, PANAGIOTIDOU M, PAPAIOANNOU N, et al. Effect of dietary lipid levels on growth, feed utilization, body composition and serum metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) juveniles [J]. Aquaculture, 2010, 307(1/2): 65-70.
- [13] LÓPEZ L M, DURAZO E, VIANA M T, et al. Effect of dietary lipid levels on performance, body composition and fatty acid profile of juvenile white seabass, *Atractoscion nobilis* [J]. Aquaculture, 2009, 289(1/2): 101-105.
- [14] ESPINOS F J, TOMAS A, PEREZ L M, et al. Growth of dentex fingerlings (*Dentex dentex*) fed on diets containing different levels of protein and lipid [J]. Aquaculture, 2003, 218(1/4): 479-490.
- [15] PEI Z, XIE S, LEI W, et al. Comparative study on the effect of dietary lipids level and feed utilization for gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) and Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Gunther) [J]. Aquaculture Nutrition, 2004, 10(4): 209-216.
- [16] KIKUCHI K, FURUTA T, IWATA N, et al. Effect of dietary lipid levels on the growth, feed utilization, body composition and blood characteristics of tiger puffer *Takifugu rubripes* [J]. Aquaculture, 2009, 298(1/2): 111-117.
- [17] 张春暖, 王爱民, 刘文斌, 等. 饲料脂肪水平对梭鱼生长、营养物质消化及体组成的影响 [J]. 江苏农业学报, 2012, 28(5): 1088-1095.
- ZHANG C N, WANG A M, LIU W B, et al. Effects of dietary lipid levels on growth, nutrient digestibility and body composition of *Chelon haematocheilus* [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Science, 2012, 28(5): 1088-1095.
- [18] 陈斌, 彭淇, 梁文, 等. 长吻鲩幼鱼日粮中常量营养物质适宜需求量的研究 [J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(2): 179-184.
- CHEN B, PENG Q, LIANG W, et al. Optimal macronutrient composition of formulated diets for juvenile longsnout catfish *Leiocassis longirostris* Gunther [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(2): 179-184.
- [19] 何吉祥, 崔凯, 徐晓英, 等. 异育银鲫幼鱼对蛋白质、脂肪及碳水化合物需求量的研究 [J]. 安徽农业大学学报, 2014, 41(1): 30-37.
- HE J X, CUI K, XU X Y, et al. Optimal dietary requirements of protein, lipid and carbohydrate for juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2014, 41(1): 30-37.
- [20] WANG J T, LIU Y J, TIAN L X, et al. Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. Aquaculture, 2005, 249(1/4): 439-447.
- [21] GHANAWI J, ROY L, ALLEN D A, et al. Effects of dietary lipid levels on growth performance of marbled spinefoot rabbit fish *Siganus rivulatus* [J]. Aquaculture, 2011, 310(3/4): 395-400.
- [22] SHEARER K D. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids [J]. Aquaculture, 1994, 119(1): 63-88.
- [23] 蒋阳阳, 李向飞, 刘文斌, 等. 不同蛋白质和脂肪水平对1龄团头鲂生长性能和体组成的影响 [J]. 水生生物学报, 2012, 36(5): 826-836.
- JIANG Y Y, LI X F, LIU W B, et al. Effects of different protein and lipid levels on the growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) yearlings [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(5): 826-836.
- [24] 段彪, 向泉, 周兴华, 等. 齐口裂腹鱼饲料中适宜脂肪需要量的研究 [J]. 动物营养学报, 2007, 19(3): 232-236.
- DUAN B, XIANG X, ZHOU X H, et al. The optimal lipid content of feed for *Schizothorax prenanti* [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2007, 19(3): 232-236.
- [25] 赵巧娥, 朱邦科, 沈凡, 等. 饲料脂肪水平对鳃幼鱼生长、体成分及血清生化指标的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(3): 357-363.
- ZHAO Q E, ZHU B K, SHEN F, et al. Effect of dietary lipid levels on growth, body composition and blood biochemical indices of juvenile yellowcheek carp (*Elopichthys bambusa*) [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2012, 31(3): 357-363.
- [26] BOND C E. Circulation, respiration, and the gas bladder [M]// BOND C E. Biology of Fishes. London: W. B Saunders Company Press, 1979: 347-374.
- [27] 徐奇友, 许治冲, 王常安, 等. 不同温度下饲料脂肪水平对松浦镜鲤幼鱼肝脏游离脂肪酸、血清生化及肝脏组织结构的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2012, 43(9): 118-126.
- XU Q Y, XU Z C, WANG C A, et al. Effect of dietary lipid levels on liver free fatty acids, serum biochemical parameters and liver histological structure in mirror common carp at different temperatures [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2012, 43(9): 118-126.
- [28] MARTE A K, ANNE V, GERD M B, et al. Characterisation of lipid transport in Atlantic cod (*Gadus morhua*) when fasted and fed high or low fat diets [J]. Aquaculture, 2009, 288(3/4): 325-336.
- [29] DEPLANO M, CONNES R, DIAZ J P, et al. Intestinal steatosis in the farm-reared sea bass *Dicentrarchus labrax* [J]. Diseases of Aquatic Organisms, 1989, 6(2): 121-130.
- [30] 王爱英, 韩勃, 宋理平, 等. 不同脂肪水平对厚唇弱棘鲷血液生化指标的影响 [J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2010, 29(3): 222-226.
- WANG A Y, HAN B, SONG L P, et al. Effects of dietary lipids on the serum biochemical indices of sooty grunter [J].

- Journal of Zhejiang ocean University; Natural Science, 2010, 29(3):222-226.
- [31] CHOI S Y, GOLDBERG I J, CURTISS L K, et al. Interaction between ApoB and hepatic lipase mediates the uptake of ApoB-containing lipoproteins [J]. Journal of Biological Chemistry, 1998, 273(32):20456-20462.
- [32] AUWERX J, LEROY P, SCHOONJANS K. Lipoprotein lipase: recent contributions from molecular biology [J]. Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences, 1992, 29(3/4):243-268.
- [33] 张春暖, 王爱民, 刘文斌, 等. 饲料脂肪水平对梭鱼脂肪沉积、脂肪代谢酶及抗氧化酶活性的影响 [J]. 中国水产科学, 2013, 20(1): 108-115.
- ZHANG C N, WANG A M, LIU W B, et al. Effects of dietary lipid levels on fat deposition, lipid metabolize enzyme and antioxidant activities of *Chelon haematocheilus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(1): 108-115.
- [34] SCOTT R A, COMNELIUS S G, MERSMANN H J. Effects of age on lipogenesis and lipolysis in lean and obese swine [J]. Journal of Animal Science, 1981, 52(3):505-511.
- [35] LEE Y B, KAUFFMAN R G. Cellularity and lipogenic enzyme changes activities of porcine intramuscular adipose tissue [J]. Journal of Animal Science, 1974, 38(3):538-544.
- [36] JORGE D, REBECA R J, STEPHAN P, et al. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth, lipid deposition and metabolic hepatic enzymes in juvenile Senegalese sole (*Solea senegalensis*) [J]. Aquaculture Research, 2004, 35(12):1122-1130.
- [37] 崔培, 姜志强, 韩雨哲, 等. 饲料脂肪水平对红白锦鲤体色、生长及部分生理生化指标的影响 [J]. 天津农学院学报, 2011, 18(2):23-31.
- CUI P, JIANG Z Q, HAN Y Z, et al. Effects of dietary lipid levels on body pigmentation, growth, partial physiological and biochemical indexes of ornamental carp (*Cyprinus carpio* L) [J]. Journal of Tianjin Agricultural University, 2011, 18(2):23-31.
- [38] LIN Y H, SHIAU S Y. Dietary lipid requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus*, and effects on immune responses [J]. Aquaculture, 2003, 225(1/4):243-250.
- [39] 孙向军, 罗琳, 姜志强, 等. 饲料脂肪水平对锦鲤体色和几项免疫指标的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(5):397-401.
- SUN X J, LUO L, JIANG Z Q, et al. Effects of dietary lipid levels on body pigmentation and immune indicators in Koi carp *Cyprinus carpio* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(5):397-401.
- [40] 许治冲, 刘晖, 徐奇友, 等. 温度和饲料脂肪水平对松浦镜鲤免疫及抗氧化能力的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(5):429-435.
- XU Z C, LIU H, XU Q Y, et al. Effects of dietary lipid levels on immunity and antioxidant function in Songpu mirror carp at different temperatures [J]. Journal of Dalian ocean University, 2012, 27(5):429-435.

Dietary lipid requirement of grow-out grouper (*Epinephelus coioides*)

DONG Xiaohui, YANG Junjiang, TAN Beiping, YANG Qihui, CHI Shuyan, LIU Hongyu, ZHANG Shuang
(Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong, China)

Abstract: The present study was performed to investigate the requirement of lipid for grow-out grouper. Fish (initial body weight 278.5 g) were fed isonitrogenous diets containing five graded lipid levels (7.07%, 9.92%, 12.92%, 15.95% and 19.04%) of fish oil and soybean lecithin for 10 weeks. The results showed that: Weight gain rate, specific growth rate and protein efficiency ratio significantly increased, then decreased ($P < 0.05$) with increased dietary lipid levels. Feed conversion ratio showed an opposite trend with weight gain rate. Survival of treatments were not significantly affected by the dietary lipid levels ($P > 0.05$). Whole body and muscle crude lipid content first gradually increased, then stabilized and whole body ash gradually decreased with the dietary lipid level increased. Moisture and crude protein in whole body and moisture, crude protein and ash in muscle were not affected by dietary lipid levels ($P > 0.05$). With increased dietary lipid levels, condition factor and viscerosomatic index gradually increased and then stabilized and hepatosomatic index gradually increased. Plasma glucose, triglyceride, total cholesterol and high density lipoprotein cholesterol levels significantly increased with increased dietary lipid levels ($P < 0.05$), and total protein, low density lipoprotein cholesterol decreased significantly ($P < 0.05$). With increased dietary lipid levels, the hepatic lipase, lipoproteinesterase and malic dehydrogenase activity gradually decreased, but lactate dehydrogenase activity gradually increased. Alkaline phosphatase, superoxide dismutase, lysozyme activities first increased, then stabilized with increased dietary lipid levels and acid phosphatase vitality significantly decreased ($P < 0.05$). On the basis of specific growth rate, the optimum dietary lipid level, determined by second-order polynomial regression analysis is 14.44% for grow-out *Epinephelus coioides*.

Key words: *Epinephelus coioides*; lipid; growth performance; biochemical parameters; digestive enzyme