

金鼓鱼幼鱼对脂肪的适宜需要量

游翠红 林思源 王树启 李远友

汕头大学海洋生物研究所/广东省海洋生物技术重点实验室, 汕头 515063

摘要 为确定金鼓鱼(*Scatophagus argus*)日粮中脂肪的适宜添加量,以鱼油为脂肪源,配制脂肪水平分别为3%、6%、9%、12%、15%的5种等氮的配合饲料(F1~F5),在海上网箱中对初始体质量为4.3 g左右的幼鱼进行为期8周的养殖试验,测定其生长、免疫与抗氧化指标、内源性消化酶活性等。结果显示,增重率、特定增长率以饲料脂肪水平为9%的F3组最大,与饲料脂肪水平为12%和15%的两试验组间没有显著差异;蛋白质效率以饲料脂肪水平为12%的F4组最大,在F2~F5组间没有显著差异;饵料系数以饲料脂肪水平为9%的F3组最低,在F2~F5组间没有显著差异,其变化趋势与上述3个指标相反;肝体比随饲料脂肪水平的升高而不断上升,饲料脂肪水平为15%的F5组鱼的肝体比显著大于F1和F2组。饲料脂肪水平也显著影响金鼓鱼的粗脂肪、粗蛋白、灰分及水分含量。当饲料脂肪水平为9%时,金鼓鱼胃和肠道的脂肪酶活性较高,且肠道和肝脏的免疫与抗氧化指标较好。根据饲料脂肪含量与金鼓鱼的增重率、饵料系数分别作曲线回归分析,确定金鼓鱼饲料脂肪的适宜添加量为8.6%~11.0%。

关键词 金鼓鱼; 脂肪需求; 生长性能; 消化酶; 免疫与抗氧化指标

中图分类号 S 963.71 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)05-0090-07

金鼓鱼(*Scatophagus argus*)又名金钱鱼,栖息于海滨滩涂、红树林沼泽、入海口、海港等处,是一种广盐性的海水植食性鱼类,主要分布在印度—太平洋、马来群岛、菲律宾、澳大利亚及东南亚地区,在我国主要分布在广东、福建沿海海域。金鼓鱼体色会随环境而改变,具有很高的观赏价值,是一种重要的海水经济鱼类和观赏鱼类,已经成为中国南方沿海地区较受欢迎的水产养殖品种之一^[1]。

目前,有关海水植食性鱼类营养需求的研究资料较少。有研究表明,点蓝子鱼(*Siganus guttatus*)幼鱼饲料中最适脂肪水平为13%^[2],黄斑蓝子鱼(*Siganus canaliculatus*)幼鱼饲料中脂肪适宜添加量为6%~9%,蛋白适宜添加量为29.01%~34.37%^[3],不同鱼类对脂肪的适宜需要量不一样。金鼓鱼作为中国南方一种很有养殖前景的海水鱼类,有必要研究其对脂肪、蛋白等基础营养元素的需求量。脂肪可为鱼类生长提供能量、必需脂肪酸和膜脂成分等^[4]。本试验采用5组不同脂肪水平的配合饲料投喂金鼓鱼幼鱼8周,通过测定鱼体生长性

能、消化酶活性、免疫与抗氧化指标等,确定金鼓鱼幼鱼饲料中脂肪的适宜添加量,为后期研发科学、合理的金鼓鱼配合饲料提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

参考相关研究资料,本研究以鱼油为脂肪源,配制了饲料脂肪水平分别为3%、6%、9%、12%、15%的5组等氮(32%蛋白)的配合饲料(F1~F5)。所用的饲料原料的营养成分如下:酪蛋白的蛋白含量为80%;多维含量为:每千克中含有VA 4×10^6 IU、VB₁ 7.5 g、VB₂ 16 g、VB₆ 12 g、VB₁₂ 100 mg、VD₃ 2×10^6 IU、VE 60 g、VK₃ 6 g、生物素 100 mg、叶酸 2 g、泛酸 36 g、烟酸 88 g、肌醇 100 g、单磷脂 200 g;多矿含量为:每千克中含有铁 10 g、锌 3.2 g、镁 3 g、钴 52 mg、碘 65 mg、硒 5 mg。各饲料原料粉碎过0.25 mm筛,按配比称量、混匀,加入适量的蒸馏水后,用饲料膨化机(SLP-45,上海渔机所)制成浮性颗粒饲料(粒径约1 mm),自然风干后,置于-20℃

收稿日期: 2015-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41276179;31110103913;31202012); 广东省自然科学基金项目(S2011030005257)

游翠红,博士,讲师。研究方向:鱼类分子营养。E-mail: chyout@stu.edu.cn

通信作者: 李远友,博士,教授。研究方向:鱼类生理及营养与饲料。E-mail: yyli@stu.edu.cn

冰柜中冷藏保存。试验饲料的配方与营养成分见表 1。

表 1 5 组试验饲料的组成与生化成分(风干物质)
Table 1 Ingredients and composition of five formulated feeds (air-dry matter)

项目 Item	组别 Group				
	F1	F2	F3	F4	F5
饲料原料 Ingredients					
酪蛋白 Casein	40	40	40	40	40
小麦淀粉 Wheat starch	40.5	37.5	34.5	31.5	28.5
鱼油 Fish oil	3	6	9	12	15
α-淀粉 α-Starch	5	5	5	5	5
纤维素 Cellulose	9	9	9	9	9
多维 Vitamin premix	1	1	1	1	1
多矿 Mineral premix	1	1	1	1	1
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
生化组成 Proximate composition					
灰分 Ash	6.3	6.3	6.5	5.9	5.9
粗蛋白 Crude protein	32.4	31.5	31.8	32.1	32.4
粗脂肪 Crude lipid	3.1	6.2	9.4	11.9	15.2
水分 Moisture	10.4	11.2	9.8	9.4	10.3

1.2 试验动物

金鼓鱼幼鱼(平均体质量约 3 g)购自福建诏安,用水车运至汕头大学南澳临海实验站。养殖试验开始前,在海上网箱上驯养 4 周。在驯养期间,先用冰鲜杂鱼和商业配合饲料(广东海大公司生产的金鲳鱼饲料)混合投喂 2 周,再用 5 组试验饲料等量混合后投喂。

1.3 养殖管理

养殖试验在汕头大学南澳临海实验站海上网箱中进行。试验鱼的初始体质量为(4.28±0.02) g(表 2),分为 5 组,每组 3 个网箱,每个网箱放鱼 20 尾。网箱尺寸为 60 cm×60 cm×150 cm。试验期间,每天投喂 2 次(08:30,16:30),每次每个网箱轮流投喂 3 遍、以半小时内吃完为准(有少量残饵)。每天记录鱼死亡情况和投饵量,养殖时间为 8 周。养殖期间,水温(24±2)℃,溶氧在 5 mg/L 之上。

1.4 样本采集

养殖试验前后,用麻醉剂(0.01%苯氧基乙醇)将停食 24 h 的金鼓鱼麻醉后逐条称体质量,测量生长指标。另外,试验结束后,从每个网箱中随机抽取 3 尾鱼,保存在-20℃冰箱中用于测定全鱼的生化成分;每个网箱另取 3 尾鱼,解剖,取肝脏称质量,用于测量肝体比指标,并取胃、肠组织。各组织样本取出后迅速置于液氮中速冻,之后保存在-80℃冰箱中备用。其中,肝脏样本用于测定消化酶活性、免疫

与抗氧化指标,胃组织样本用于测定消化酶活性,肠组织样本用于测定消化酶、酸性磷酸酶和碱性磷酸酶的活性等。

1.5 指标测定

1)生长性能测定。金鼓鱼的增重率(weight gain rate, WGR)、特定生长率(specific growth rate, SGR)、饵料系数(feed conversion ratio, FCR)、蛋白质效率(protein efficiency rate, PER)、肝体比(hepatosomatic index, HSI)、成活率(survival rate, SR)等生长指标的计算公式参照文献[5]。日摄食量(daily feed intake, DFI)计算公式如下:

日摄食量(DFI, %/d) = 100 × (W_f - W_r) / [t × (ΣW_i + ΣW₀) / 2]

公式中, W_f 为投喂饵料总质量, g; W_r 为收集残饵总质量, g; ΣW_i 为终末鱼体总质量, g; ΣW₀ 为初始鱼体总质量, g; t 为试验天数, d。

2)生化成分测定。试验饲料和金鼓鱼全鱼样品的生化成分如水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪的测定按照相应的国家标准进行,见 GB/T 6435-1986、GB/T 6438-2008、GB/T 6432-1994、GB/T 6433-2006。

3)消化酶活性与免疫、抗氧化指标的测定。采用相关试剂盒(购自中国南京建成生物工程研究所)进行测定,具体方法详见说明书。其中,消化酶包括胃蛋白酶(胃)、胰蛋白酶(肠、肝脏)、脂肪酶(胃、肠、肝脏)、淀粉酶(肠、肝脏)等;免疫与抗氧化指标包括肝脏、肠组织的酸性磷酸酶(acid phosphatase, ACP)、碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)、溶菌酶(lysozyme)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)、总抗氧化力(activity in the anterior intestine, T-AOC)、过氧化氢酶(catalase, CAT)、丙二醛(malonaldehyde, MDA)等。

1.6 统计分析

采用 SPSS 16.0 软件对试验数据进行 ANOVA 分析和 Duncan's 多重比较, P<0.05 表示差异显著。以饲料脂肪水平与 WGR、FCR 作曲线回归分析,确定金鼓鱼饲料中最适的脂肪添加量。

2 结果与分析

2.1 不同饲料投喂组金鼓鱼的生长性能和饲料利用率

金鼓鱼用不同脂肪水平的饲料饲养 8 周后,其生长性能和成活率等见表 2。不同饲料投喂组的成

活率没有显著差异,为 84%~87%。当饲料脂肪水平为 3%~6%时,金鼓鱼的日摄食量显著下降。当饲料脂肪水平为 3%~15%时,WGR、SGR 和 PER 等先上升后下降。WGR 和 SGR 在 9%脂肪水平时达到最大值,显著高于饲料脂肪水平为 3%和 6%的 2 组鱼;当饲料脂肪水平为 12%时,金鼓鱼的 PER 达到最大值,显著高于饲料脂肪水平为 3%的试验鱼;FCR 则呈现相反趋势,先下降后上升,以饲料中含有 9%脂肪水平的 F3 组最小,显著低于含有 3%脂肪水平的 F1 组。此外,HSI 在不断上升,饲料脂肪水平为 15%的 F5 组鱼的 HSI 显著大于 F1 和 F2 组。上述结果显示,当饲料脂肪水平在 9%左右时,金鼓鱼幼鱼的生长效果最好。

分别以金鼓鱼幼鱼增重率和饵料系数为因变量(y),以饲料脂肪水平为自变量(x),构建曲线回归方程: $y = -2.98273 + 38.82049x - 2.42797x^2 +$

$0.04107x^3$ ($R^2 = 0.972$) 和 $y = 2.26488 - 0.31126x + 0.02873x^2 - 8.37188e - 4x^3$ ($R^2 = 0.999$)。当饲料脂肪水平为 11.0%时,金鼓鱼的增重率最大;当饲料脂肪水平为 8.6%时,金鼓鱼的饵料系数最小。综上,金鼓鱼幼鱼饲料适宜的脂肪添加量在 8.6%~11.0%左右。

2.2 不同饲料投喂组金鼓鱼的生化成分

金鼓鱼全鱼的生化成分见表 3。当饲料中脂肪的添加水平为 3%~15%时,金鼓鱼的水分、粗蛋白、灰分含量的变化趋势与粗脂肪相反。当饲料中添加 3%脂肪时,F1 组鱼的灰分含量显著高于饲料脂肪水平为 12%和 15%的 F4 和 F5 组,其粗蛋白含量显著高于其他 4 组。饲料脂肪水平为 9%~15%的 F3~F5 组鱼的粗脂肪含量则显著高于投喂低脂肪水平饲料的 2 个试验组(F1 和 F2 组),并且,F5 组鱼(饲料脂肪水平为 15%)的粗脂肪含量显著

表 2 金鼓鱼的生长性能和饲料利用率

Table 2 Growth performance and feed utilization of juvenile butterfish fed diets with different levels of lipid

生长指标 Growth indexes	组别 Group				
	F1	F2	F3	F4	F5
初体质量/g IBW	4.29±0.02	4.29±0.01	4.28±0.02	4.28±0.02	4.27±0.01
末体质量/g FBW	8.08±0.10c	9.77±0.22b	12.34±0.29a	11.63±0.26a	11.71±0.18a
增重率/% WGR	88.40±2.36c	127.77±5.44b	183.82±1.25a	177.00±2.55a	173.00±3.56a
蛋白质效率/% PER	2.11±0.17b	2.64±0.16a	2.70±0.04a	2.79±0.09a	2.62±0.06a
特定生长率/% SGR	1.13±0.02c	1.47±0.04b	1.86±0.01a	1.82±0.02a	1.80±0.02a
日摄食量/% DFI	1.77±0.00b	1.75±0.00b	1.98±0.00a	2.08±0.00a	1.93±0.00a
饵料系数 FCR	1.60±0.06a	1.25±0.07b	1.18±0.02b	1.22±0.02b	1.23±0.02b
成活率/% SR	85.33±1.33	84.23±2.31	86.67±3.53	84.00±2.31	86.67±5.81
肝体比/% HSI	1.60±0.09b	1.83±0.05b	1.98±0.12ab	2.36±0.07ab	2.47±0.09a

注:同行中标注不同字母者表示相互间有显著性差异($P<0.05$)。下表同。Note: Values with different letters are significantly different in the same row ($P<0.05$).The notes of the following tables are same with this table.

表 3 摄食不同脂肪水平饲料的金鼓鱼幼鱼的生化成分(风干基础)

Table 3 Body biochemical composition of butterfish juveniles fed diets with different levels of lipid (dry matter)

组别 Group	灰分 Ash	粗脂肪 Crude lipid	粗蛋白 Crude protein	水分 Moisture
F1	3.07±0.05a	4.58±0.32d	18.33±1.11a	74.69±0.13a
F2	2.96±0.03ab	5.75±0.28c	16.79±0.26b	72.96±0.49ab
F3	2.95±0.12ab	7.49±0.11b	17.14±0.77b	70.49±1.15b
F4	2.70±0.05b	7.85±0.18ab	15.76±0.15b	70.39±0.27b
F5	2.53±0.01c	8.64±0.20a	14.82±0.42b	69.33±0.48b

高于饲料脂肪水平为 9%的 F3 组。

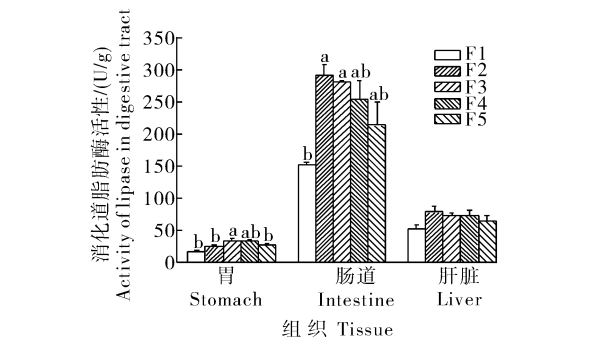
2.3 不同饲料投喂组金鼓鱼的消化酶活性

金鼓鱼消化系统中消化酶活性见图 1~图 3。胃、肠道脂肪酶活性随饲料脂肪水平的升高而先上升后下降,在胃中,以饲料脂肪水平为 9%的 F3 组鱼的脂肪酶活性最高,显著高于饲料脂肪水平为 3%、6%、15%的其他 3 组(图 1);在肠道中,以饲料脂肪水平为 6%的 F2 组鱼的脂肪酶活性最高,显著

高于饲料脂肪水平为 3%的 F1 组,而 F2~F5 组间无显著差异(图 1)。肝脏脂肪酶活性在各组间无显著差异(图 1)。此外,不同饲料组鱼胃、肠道和肝脏中的蛋白酶活性(图 2)以及肠道、肝脏中的淀粉酶活性(图 3)相互间无显著差异。

2.4 不同饲料投喂组鱼的免疫和抗氧化能力

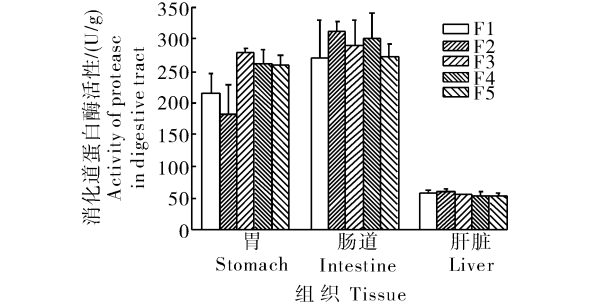
金鼓鱼幼鱼肝脏和肠道的免疫与抗氧化指标见表 4。在肝脏中,ALP 和 ACP 活性在各组之间无显



相同组织中，柱上标注不同字母者表示相互间差异显著 ($P<0.05$)，无字母标注表示相互间无显著差异 ($P>0.05$)。Values are Mean $\pm$ SE ($n=3$). In the same tissue, bars with different letters are significantly different among groups ($P<0.05$), and bars without a letter are not significantly different ($P>0.05$).

图 1 摄食不同脂肪水平饲料的金鼓鱼幼鱼胃、肠道和肝脏脂肪酶活性

Fig.1 Activities of lipase in stomach,intestine and liver of juvenile butterfish fed diets with different lipid levels



相同组织中，各饲料组间无显著性差异 ($P>0.05$)。图 3 同。胃测定胃蛋白酶活性，肝脏和肠道测定胰蛋白酶活性。In the same tissue, there were no significant differences among groups ($P>0.05$). The same as Fig.3. In stomach the pepsin activity was determined, and in liver and intestine the trypsin activity was determined.

图 2 摄食不同脂肪水平饲料的金鼓鱼幼鱼胃、肠道和肝脏蛋白酶活性

Fig.2 Activities of protease in stomach,intestine and liver of juvenile butterfish fed diets with different lipid levels

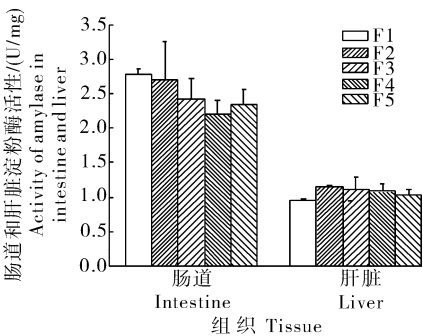


图 3 摄食不同脂肪水平饲料的金鼓鱼幼鱼肠道和肝脏淀粉酶活性

Fig.3 Activities of amylase in intestine and liver of juvenile butterfish fed diets with different lipid levels

著性差异；在肠道中，各组鱼的 ALP 活性亦无显著性差异。但是，当饲料脂肪水平在 9% 时，肠道中 ACP 活性和肝脏中溶菌酶活性最高，显著高于除 F4 组之外的其他 3 组 ($P<0.05$)。

饲料脂肪水平的上升对肝脏 SOD、CAT、GSH-Px 等抗氧化指标产生显著影响。饲料脂肪水平为 12% 的金鼓鱼肝脏 SOD 活性显著高于其他 4 组 ($P<0.05$)，而饲料脂肪水平为 9% 的金鼓鱼肝脏 CAT 和 GSH-Px 活性最高，均显著高于饲料脂肪水平为 3%~6% 的试验鱼。T-AOC 活性在各组间无显著差异。随着饲料脂肪水平的升高，金鼓鱼肝脏丙二醛含量在不断上升，其中，以饲料脂肪水平为

表 4 饲料脂肪水平对金鼓鱼幼鱼肠道、肝脏免疫与抗氧化指标的影响

Table 4 Effects on immune and antioxidant indexes in intestine and liver of butterfish juveniles fed diets with different lipid levels						
免疫及抗氧化指标		组别 Group				
Immune and antioxidant indexes		F1	F2	F3	F4	F5
肠道 Intestine						
酸性磷酸酶活性/(U/g) ACP		16.62 $\pm$ 0.46b	18.69 $\pm$ 0.65b	21.37 $\pm$ 0.80a	20.84 $\pm$ 0.42ab	16.87 $\pm$ 0.17b
碱性磷酸酶活性/(U/g) ALP		13.18 $\pm$ 1.42	15.22 $\pm$ 1.23	15.24 $\pm$ 1.67	12.63 $\pm$ 0.84	12.55 $\pm$ 0.64
肝脏 Liver						
酸性磷酸酶活性/(U/g) ACP		25.30 $\pm$ 1.67	25.65 $\pm$ 1.60	29.44 $\pm$ 0.35	27.89 $\pm$ 2.41	27.36 $\pm$ 1.47
碱性磷酸酶活性/(U/g) ALP		24.16 $\pm$ 1.05	27.71 $\pm$ 2.83	26.52 $\pm$ 0.84	25.71 $\pm$ 1.95	26.90 $\pm$ 1.17
溶菌酶/(U/g) Lysozyme		12.17 $\pm$ 1.11b	17.53 $\pm$ 1.45b	20.13 $\pm$ 1.30a	19.78 $\pm$ 2.14ab	14.23 $\pm$ 0.92b
超氧化物歧化酶/(U/g) SOD		125.41 $\pm$ 21.01c	191.80 $\pm$ 13.96c	225.65 $\pm$ 28.78b	327.86 $\pm$ 4.59a	232.17 $\pm$ 13.96b
过氧化氢酶/(U/mg) CAT		52.74 $\pm$ 2.57b	69.29 $\pm$ 5.50b	84.12 $\pm$ 2.41a	77.86 $\pm$ 5.66ab	68.43 $\pm$ 9.64b
谷胱甘肽过氧化物酶/(U/mg) GSH-Px		10.30 $\pm$ 2.00b	10.98 $\pm$ 2.34b	17.25 $\pm$ 1.65a	11.48 $\pm$ 1.89b	14.12 $\pm$ 1.42ab
总抗氧化力/(U/mg) T-AOC		2.20 $\pm$ 0.21	2.84 $\pm$ 0.23	3.22 $\pm$ 0.13	3.25 $\pm$ 0.28	2.15 $\pm$ 0.06
丙二醛/(nmol/mg) MDA		4.48 $\pm$ 0.20b	5.19 $\pm$ 0.43a	6.02 $\pm$ 0.52a	6.67 $\pm$ 0.03a	6.88 $\pm$ 0.53a

3%的F1组鱼最低,显著低于其他4组。

3 讨论

3.1 金鼓鱼对饲料脂肪的适宜需求量

研究表明,海水鱼的脂肪需求量高于淡水鱼,肉食性鱼类要高于杂食性和草食性鱼类。如石斑鱼(*Epinephelus coioides*)^[6]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[7]等肉食性海水鱼类的脂肪需求量分别为15.2%~15.4%和15%,而杂食性海水鱼类眼斑拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)为7%~11%^[8],植食性海水鱼黄斑蓝子鱼(*Siganus canaliculatus*)为6%~9%^[3]。但是,同为植食性海水鱼类的点蓝子鱼对脂肪的适宜需求量为13.94%^[2],与黄斑蓝子鱼差异较大。本研究发现,金鼓鱼幼鱼的增重率和特定生长率同在饲料脂肪水平为9%时达到最大值,而此时饵料系数最低,表明大于9%的饲料脂肪水平已超出金鼓鱼生长所需,过多的饲料脂肪为鱼体提供了过剩能量,从而降低了鱼的摄食量,导致其他必要营养成分摄入不足,影响鱼体生长^[9]。此外,饲料脂肪水平为3%和6%的试验鱼的日摄食量要显著低于其他3组,可能是由于这2组饲料中脂肪含量过低,影响了饲料适口性,从而影响了金鼓鱼幼鱼的生长,提示在配制饲料时,其适口性也是必须考虑到的一个因素^[10]。当饲料脂肪水平高于3%时,各组间饵料系数无显著性差异,表明高于3%的饲料脂肪水平对金鼓鱼幼鱼的饲料利用率影响不大。曲线回归分析的结果揭示,当饲料中添加8.6%~11.0%脂肪时,金鼓鱼幼鱼可以获得最佳的生长性能和饲料利用率。金鼓鱼饲料脂肪的适宜添加量处于黄斑蓝子鱼与点蓝子鱼这2种植食性海水鱼类之间,但都小于石斑鱼、军曹鱼等肉食性海水鱼类,表明鱼类对脂肪的适宜需求量与其食性密切相关^[11]。

3.2 饲料脂肪水平影响金鼓鱼幼鱼体成分

在本研究中,在3%~15%饲料脂肪水平下,提高脂肪的添加量,金鼓鱼幼鱼的粗脂肪含量和肝体比指标也随之升高,暗示多余的日粮脂肪被机体沉积,鱼肝脏分解脂肪的负担不断加重^[12]。对奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. laurus*)^[11]、虹鳟(*Salmo gairdneri* R.)^[13]、黄斑蓝子鱼^[3]等鱼类开展相关研究,结果显示,饲料脂肪水平的高低直接影响鱼类体脂沉积。然而,Peres等^[14]的研究发现,当饲料脂肪水平上升到一定程度后欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)的体脂水平不再升高。不同鱼类的研究结果存在差异,可能是因为不同种类在能

量需求、利用及脂代谢方面存在差异^[14]。

另外,饲料中脂肪添加量的上升也导致金鼓鱼幼鱼水分、粗蛋白和灰分含量的下降。对梭鱼(*Chelon haematocheilus*)^[15]、真鲷(*Pagrus major*)幼鱼^[16]和奥尼罗非鱼仔稚鱼^[17]的相关研究结果也表明,饲料脂肪水平提高会导致鱼体粗蛋白等常规营养成分下降,降低鱼的肌肉品质,主要是由于过高的脂肪摄入导致粗蛋白质和消化能之间的比例失衡,进而引起组织、肝脏中脂肪堆积,肌肉渗出性损失增加^[18-19]。上述研究结果表明,过高的饲料脂肪水平会引发金鼓鱼粗蛋白等常规营养成分含量下降,进而降低金鼓鱼的肌肉品质。

3.3 饲料脂肪水平对金鼓鱼脂肪酶活性的影响

鱼类机械消化能力较低,其消化机制主要依赖内源性消化酶,鱼类对营养成分的吸收能力与消化酶活性密切相关,消化酶活性的高低影响鱼类生长性能^[20]。研究显示,鱼体脂肪酶活性与其饲料中脂肪含量呈正相关关系,且饲料性质、成分等均可对脂肪酶活性产生影响^[21]。

汤宝贵等^[7]对军曹鱼、涂玮等^[22]对尼罗罗非鱼(*O. niloticus*)幼鱼的研究结果揭示,消化道脂肪酶活性随饲料脂肪水平的升高先上升而后降低。在本研究中,金鼓鱼的胃、肠道的脂肪酶活性也显现出这一现象。然而,王重刚等^[23]对真鲷稚鱼的研究发现,其脂肪酶活性与饲料中脂肪水平呈负相关。上述研究表明,鱼种类和生长阶段的不同可能导致鱼体对饲料脂肪水平变化的响应有所差异。金鼓鱼消化道中脂肪酶活性由高到低依次是肠道、肝脏和胃,在卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)中也有类似的研究报道^[24],表明肠道是脂肪消化吸收的主要场所,胃次之^[22]。肝脏脂肪酶活性在各组间并无显著差异,可能与肝脏的主要功能是酶原分泌有关,其并不直接参与脂肪的消化吸收;酶原在消化道中受到底物刺激等被进一步活化,参与脂肪吸收^[24]。所以,适当提高饲料脂肪水平有利于促进金鼓鱼幼鱼消化道的脂肪酶活性,为促进脂肪的消化吸收提供条件。

3.4 饲料脂肪水平影响金鼓鱼的免疫及抗氧化能力

饲料脂肪水平会影响鱼类非特异性免疫系统。一方面,饲料脂肪为鱼类提供能量与必需脂肪酸,当饲料中脂肪含量较低时,往往必需脂肪酸(EFAs)含量也下降,无法满足鱼体对EFAs的需求,从而导致鱼体免疫和抗氧化能力下降^[25]。另一方面,脂肪酸尤其是多不饱和脂肪酸(PUFA)的代谢过程中会产生超氧化物自由基、丙二醛(MDA)等,这些物质会

对鱼体造成氧化损伤。所以,饲料中脂肪含量过高反而会对鱼体免疫与抗氧化能力造成负面影响。鱼体抗氧化能力的评估指标包括 SOD、CAT、GSH-Px 等酶活指标^[26],它们的基本功能是清除超氧阴离子($O_2^{\cdot-}$)、过氧化氢(H_2O_2)等超氧化物自由基。此外,总抗氧化力可以反映酶系统和非酶系统抗氧化能力的总和^[27],而 MDA 是脂质过氧化反应的主要代谢产物,其含量升高表明脂质过氧化反应增强、氧化应激增强^[28]。在本研究中,金鼓鱼幼鱼的肝脏 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性在饲料脂肪水平为 9%~12% 时达到较高水平,而丙二醛含量随着饲料脂肪水平的增加而不断上升,表明饲料中添加 9%~12% 脂肪有助于增强金鼓鱼幼鱼的抗氧化能力,而过高的脂肪添加量又会对这种能力造成损伤^[29-30],主要是由于脂类本身是过氧化反应的底物,外源脂肪的添加量与脂类过氧化反应呈正相关关系^[29],饲料脂肪水平的增加会使得过氧化产物增加,进而造成氧化损伤^[31]。

ACP 与 ALP 广泛存在于动物的各组织中,是机体维持内环境稳定、保持健康和生长代谢所必需的酶,其受到营养状况等多种因素影响^[32]。溶菌酶广泛存在于各种鱼类的不同组织中,具有破坏和消除侵入机体内的异物进而发挥防御机能,与鱼类的抗病能力有关^[33]。随着饲料脂肪水平的上升,金鼓鱼肝脏和肠道 ACP 活性以及肝脏溶菌酶活性均在饲料脂肪水平为 9% 时达到最大值,说明适宜的饲料脂肪水平对平衡金鼓鱼幼鱼体内物质能量代谢有促进作用,同时有利于提高金鼓鱼的免疫能力。但是,金鼓鱼肝脏溶菌酶活性在饲料脂肪水平为 15% 时显著下降,可能是过多的脂肪堆积导致了肝组织损伤^[29]。

参 考 文 献

- [1] 兰国宝,闫冰,廖思明,等.金钱鱼生物学研究及回顾[J].水产科学,2005,24(7):39-40.
- [2] 朱卫,刘鉴毅,庄平,等.饲料脂肪水平对点蓝子鱼生长和体成分的影响[J].海洋渔业,2013,35(1):65-71.
- [3] 王树启,徐树德,吴清洋,等.黄斑蓝子鱼幼鱼对蛋白质和脂肪适宜需要量的研究[J].海洋科学,2010,34(11):18-22.
- [4] 陈佳毅,叶元土,张伟涛,等.不同脂肪(能量)蛋白比饲料对梭鲈幼鱼生长的影响[J].水产学报,2010,34(3):474-480.
- [5] 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.
- [6] TUAN L A, KEVIN C, WILLIAMS K C. Optimum dietary protein and lipid specifications for juvenile Malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*) [J]. Aquaculture, 2007, 267(4): 129-138.
- [7] 汤宝贵,陈刚,张健东,等.饵料系列对军曹鱼仔鱼生长、消化酶活力和体成分的影响[J].水生生物学报,2007,31(4):479-484.
- [8] SIMON C E, ROBERT C R. Effects of dietary lipid and carbohydrate level on growth and body composition of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*) [J]. Aquaculture, 1991, 97(4):383-394.
- [9] LUPATSCH I, KISSIL G W, SKLAN D, et al. Effects of varying dietary protein and energy supply on growth, body composition and protein utilization in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) [J]. Aquacult Nutr, 2001, 7(2):71-80.
- [10] 董书阁,郭连鹏,张奎旋,等.诱食剂影响乌鳢膨化饲料适口性的研究[J].饲料工业,2010,31(6):26-28.
- [11] 李坚明,甘晖,冯广鹏,等.饲料脂肪含量与奥尼罗非鱼幼鱼肝脏形态结构特征的相关性[J].南方水产,2008,4(5):37-43.
- [12] SANTINHA P J M, MEDALE F, CORRAZE G, et al. Effects of the dietary protein:lipid ratio on growth and nutrient utilization in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) [J]. Aquacult Nutr, 1999, 5(3):147-156.
- [13] KAUSHIK S J, MEDALE F, FAUCONNEAU B, et al. Effect of digestible carbohydrates on protein/energy utilization and on glucose metabolism in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.) [J]. Aquaculture, 1989, 79:63-70.
- [14] PERES H, OLIVA-TELES A. Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass juveniles (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture, 1999, 179:325-334.
- [15] 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):1088-1095.
- [16] OGATA H Y, SHEARER K D. Influence of dietary fat and adiposity on feed intake of juvenile red sea bream *Pagrus major* [J]. Aquaculture, 2000, 189(3/4):237-249.
- [17] 池作授,耿旭,郭云学,等.奥尼罗非鱼仔稚鱼饲料中适宜脂肪水平的研究[J].中国饲料,2010(20):32-36.
- [18] 段彪,向泉,周兴华,等.齐口裂腹鱼饲料中适宜脂肪需求量的研究[J].动物营养学报,2007,19(3):232-236.
- [19] 向泉,周兴华,陈建,等.日粮脂肪水平对翘嘴红鲌幼鱼生长性能 and 体组成的影响[J].动物营养学报,2009,21(3):411-416.
- [20] 向泉,周兴华,陈建,等.饲料蛋白水平及鱼粉含量对齐口裂腹鱼生长、体组成及消化酶活性的影响[J].中国粮油学报,2012,27(5):74-80.
- [21] 李芹,刁晓明.不同饲料对瓦氏黄颡鱼稚鱼生长和消化酶活性的影响[J].水生生态学杂志,2009,2(1):98-102.
- [22] 涂玮,田娟,文华,等.尼罗罗非鱼幼鱼饲料的适宜脂肪需要量[J].中国水产科学,2012,19(3):436-444.
- [23] 王重刚,陈品健,顾勇,等.不同饵料对真鲷稚鱼消化酶活性的影响[J].海洋学报,1998,20(4):103-106.
- [24] 区又君,罗奇,李加儿,等.卵形鲳鲹消化酶活性的研究 I:成鱼和幼鱼消化酶活性在不同消化器官中的分布及比较[J].南方水产科学,2011,7(1):50-55.
- [25] WU F C, TING Y Y, CHEN H Y, et al. Docosa-hexaenoic acid is

superior to eicosapentaenoic acid as the essential fatty acid for growth of grouper, *Epinephelus malabaricus* [J]. J Nutr, 2002, 132(1): 72-79.

[26] CHEUNG C C C, SIU W H L, RICHARDSON B, et al. Antioxidant responses to benzo [a] pyrene and Aroclor 1254 exposure in the green-lipped mussel, *Perna viridis* [J]. Environ Poll, 2004, 128(3): 393-403.

[27] ZHANG Q B, LI N, ZHOU G F, et al. *In vivo* antioxidant activity of polysaccharide fraction from *Porphyra haitanesis* (Rhodophyta) in aging mice [J]. Pharm Res, 2003, 48(2): 151-155.

[28] MARTINEZ-ALVAREZ R M, HIDALGO M C, MORALES D, et al. Physiological changes of sturgeon *Acipenser naccarii* caused by increasing environmental salinity [J]. J Exp Biol, 2002, 205(23): 3699-3706.

[29] 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.

[30] 王朝明, 罗莉, 张桂众, 等. 饲料脂肪水平对胭脂鱼幼鱼生长、体组成和抗氧化能力的影响 [J]. 淡水渔业, 2010(5): 47-53.

[31] STRPHAN G, GUILLAUME J, LAMOUR F. Lipid peroxidation in turbot (*Scophthalmus maximus*) tissue: effect of dietary vitamin E and dietary n-6 or n-3 polyunsaturated fatty acids [J]. Aquaculture, 1995, 130(2): 251-268.

[32] 区义君, 罗奇, 李加儿, 等. 卵形鲳鲹碱性磷酸酶和酸性磷酸酶 的分布及其低温保存 [J]. 南方水产科学, 2011, 7(2): 49-54.

[33] FEVOLDEN S E, ROED K H, GJERDE B. Genetic components of post-stress cortisol and lysozyme activity in Atlantic salmon; correlations to disease resistance [J]. Fish & shellfish immunology, 1994(4): 507-519.

Optimal requirement of dietary lipid for juvenile butterfly, *Scatophagus argus*

YOU Cuihong LIN Siyuan WANG Shuqi LI Yuanyou

Marine Biology Institute of Shantou University / Guangdong Provincial Key Laboratory of Marine Biotechnology, Shantou 515063, China

Abstract In order to determine the optimal requirement of dietary lipid for butterfly (*Scatophagus argus*), 5 isonitrogenous diets containing 3%, 6%, 9%, 12%, 15% lipid levels (F1-F5) were prepared with fish oil as lipid source, to feed the butterfly juveniles (average body weight 4.3 g) for 8 weeks in the floating cages in the sea, and the growth performance, immunity and antioxidant indexes and endogenous digestive enzyme activities of the fish were determined. The results showed that both the weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) reached the maximum values in F3 group with 9% dietary lipid level but showed no significant difference with F4 and F5 groups. Moreover, the maximum value of the protein efficiency rate (PER) was observed in F4 group with 12% dietary lipid level, and there was no significant difference among the F2-F5 groups with 6%-15% dietary lipid levels. However, the feed conversion ratio (FCR) displayed an opposite tendency, with the minimum value was observed in F3 group with 9% dietary lipid level and no significant difference was observed among the F2-F5 groups. The hepatosomatic index (HSI) increased with the increment of the dietary lipid levels and was significantly higher in F5 group with 15% dietary lipid level than those in F1 and F2 groups. The dietary lipid levels also significantly affected the contents of crude lipid, protein, ash and moisture of fish body. When the dietary lipid level was 9%, the fish exhibited higher lipase activities in the stomach and intestine and better immunity and antioxidant indexes in the intestine and liver than the other groups. The regression analysis of dietary lipid levels with WGR or FCR was conducted separately by the curvilinear method and the results suggested that the optimal dietary lipid level is 8.6%-11.0% for juvenile butterfly.

Keywords butterfly (*Scatophagus argus*); lipid requirement; growth performance; digestive enzymes; immunity and antioxidant indexes

(责任编辑:边书京)