

饲料脂肪水平对许氏平鲷脂肪沉积、 血液生化指标及脂肪代谢酶活性的影响

宋理平*, 冒树泉, 马国红, 张延华, 许 鹏

(山东省淡水渔业研究院, 山东 济南 250013)

摘要:以鱼油为脂肪源,分别配制脂肪水平为 3.7%、6.8%、9.6%、13.1%、15.6% 的 5 种实验饲料,对平均初始体质量为(7.13 ± 0.03)g 的许氏平鲷进行为期 60 d 的饲养实验,探讨饲料脂肪水平对许氏平鲷形体指数、脂肪沉积、血液生化指标与脂肪代谢酶活性的影响。结果表明:肝体指数、脏体指数随着饲料脂肪水平的升高显著提高($P < 0.05$),脂肪水平对肥满度没有显著影响($P > 0.05$);许氏平鲷鱼体脂肪沉积随饲料脂肪水平的增加显著提高($P < 0.05$),15.6% 全鱼、肌肉、肝脏脂肪含量最高,显著高于 3.7%、6.8% 组($P < 0.05$)。随着脂肪添加量的增加,许氏平鲷肝脏葡萄糖-6-磷酸脱氢酶(G6PDH)和苹果酸脱氢酶(MHD)活性显著降低($P < 0.05$),15.6% 与 13.1% 组 G6PDH、MHD 活性显著低于 3.7% 和 6.8% 组($P < 0.05$);肝酯酶(HL)和脂蛋白酯酶(LPL)活性显著升高($P < 0.05$),15.6% 与 13.1% 组 HL 和 LPL 活性显著高于 3.7% 和 6.8% 组($P < 0.05$)。血液甘油三酯(TG)和总胆固醇(CHO)含量随着饲料脂肪水平增加有下降的趋势,15.6% 组的 TG 和 CHO 含量显著低于 3.7% 和 6.8% 组($P < 0.05$);血液中高密度脂蛋白胆固醇(HDLC)、谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)与碱性磷酸酶(ALP)活性呈上升趋势($P < 0.05$),15.6% 组最高;低密度脂蛋白胆固醇(LDLC)呈先上升后下降的趋势($P < 0.05$)。研究表明,饲料脂肪水平对许氏平鲷形体指数、脂肪沉积、血液生化指标及脂肪代谢酶活性影响显著,但过高的脂肪水平将使许氏平鲷肝脏脂肪沉积增多,当饲料脂肪水平高于 9.6% 时不利于鱼类健康生长。

关键词:许氏平鲷; 脂肪水平; 形体指数; 脂肪沉积; 血液生化指标; 脂肪代谢酶

中图分类号: Q 493.5; S 963

文献标志码: A

鱼类对碳水化合物的利用能力较低,主要依靠分解蛋白质和脂肪获取能量来维持其正常生命活动,蛋白质价格昂贵,并且单位质量的脂肪所含的能量比蛋白质和碳水化合物相对更高,因此饲料脂肪是鱼类获得能量来源的重要途径。鱼类的生长和繁殖离不开脂肪,饲料中的脂肪是鱼体内激素和脂溶性维生素的合成原料,同时提供生命活动所需的必需脂肪酸,脂肪中构成组织细胞成分的磷脂能够维持细胞膜结构和功能的稳定与连续,并明显提高养殖鱼类的繁育能力和仔稚鱼的成活率与生长性能^[1-4]。

饲料中脂肪含量不足或缺乏会影响鱼体的新陈代谢、降低蛋白质效率、引起鱼体脂溶性维生素缺乏症,增加脂肪含量能够促进饲料利用,减少鱼体代谢氮的排出^[5]。饲料中脂肪含量过多,会减少养殖动物摄食量、降低养殖动物对其他营养成分利用率,造成机体中脂肪沉积过多^[6],还会导致生长速度下降^[1,7]与抗病能力的减弱,因此饲料中适宜的脂肪水平对养殖动物非常重要。

许氏平鲷(*Sebastes schlegeli*),隶属于鲷形目(Scorpaeniformes)、鲷科(Scorpaenidae)、平鲷属(*Sebastes*),又称黑鲷、黑头、黑寨等,是一种

收稿日期:2014-04-14 修回日期:2014-08-01

资助项目:国家海洋局公益性行业科研专项(201205025)

通信作者:宋理平,E-mail:lpsyang1974@126.com

冷温性鱼类,分布于我国黄海、渤海和东海,是人工鱼礁进行资源增殖和网箱养殖的理想种类。许氏平鲈因具有生长速度快、适温范围广、环境适应强、养殖病害少、饲养方便等优点,成为韩国第二大海水养殖鱼类^[8],也是中国北部沿海重要的鱼类养殖对象。其肉质嫩滑爽口、无肌间刺、含肉率高、味道鲜美,深受广大消费者欢迎,在其他亚洲国家鲜活鱼市场上广泛销售,是市场潜力巨大的一种高档名贵海水鱼类。目前,对许氏平鲈的研究主要有生物学特性、环境影响、幼苗繁育、饥饿再投喂等方面^[9-13],而对其营养需求研究较少,仅见许氏平鲈幼鱼赖氨酸需求量的报道^[14]。本研究开展了饲料中脂肪水平对许氏平鲈形体指数、脂肪沉积、血液生化指标和肝脏脂肪代谢酶活性影响的相关研究,以期脂肪在体内的代谢调控机理和研制许氏平鲈全价饲料提供参考。

1 材料与方 法

1.1 饲料配制

配制5种许氏平鲈幼鱼实验饲料,其中鱼油作为脂肪原料、鱼粉和豆粕作为蛋白原料、玉米淀粉作为碳水化合物原料,设计脂肪水平分别为3.7%、6.8%、9.6%、13.1%和15.6%。对饲料原料进行粉碎研磨,全部过60目筛网,混合均匀,加工成粒径为2.0 mm的颗粒饲料。实验饲料设计和营养成分分析见表1。

1.2 实验幼鱼来源及日常管理

许氏平鲈幼鱼取自烟台泰华海珍品养殖有限公司,驯养两周,每天投喂未添加脂肪组(3.7%组)饲料3次,时间分别为8:30、13:30、17:30。选取规格统一、体质健康且无损伤的许氏平鲈幼鱼(7.13±0.03)g,在烟台泰华海珍品养殖有限公司的国家级黑鲷水产良种场温室水泥池内挂网箱(60 cm×60 cm×120 cm)进行养殖实验。每网箱放20尾鱼,随机分为5组,每组3个重复。海水流水养殖,实验期间水温(23.5±1.5)℃,溶解氧(8.13±0.04)mg/L,pH 7.12±0.14,氨氮(0.10±0.01)mg/L,亚硝态氮(0.04±0.003)mg/L,硝态氮(0.02±0.002)mg/L,24 h充气。每天投喂3次,时间分别为8:30、13:30、17:30,饱食投喂,投饵量约为鱼体质量的4%左右;每5天清除一次网箱内的残饵与粪便,实验期为60 d。

表1 实验饲料设计和化学成分分析(以风干样为基础)

饲料原料 ingredient	组别 group				
	3.7%	6.8%	9.6%	13.1%	15.6%
鱼粉 fish meal	45	45	45	45	45
豆粕 soy meal	25	25	25	25	25
鱼油 fish oil ²	0	3	6	9	12
淀粉 corn starch	23	20	17	14	11
预混料 premix ^{1,2}	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
氯化胆碱 choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
α-淀粉 α-starch	2	2	2	2	2
化学成分分析 chemical proximate composition					
粗蛋白 crude protein	42.1	41.8	42.5	42.8	43.1
粗脂肪 crude lipid	3.7	6.8	9.6	13.1	15.6
粗灰分 crude ash	13.2	13.4	13.6	12.9	13.2
总能/(MJ/kg) gross energy	1.55	1.61	1.66	1.74	1.79

注:1. 复合矿物盐(mg或IU/kg饲料):硫酸镁,5 500;柠檬酸铁,150;氯化钴,4;硫酸锰,3;碘化钾,7;氯化铝,8;硫酸铜,8;氯化钾,4 000;硫酸锌,140;亚硒酸钠,0.6;磷酸二氢钙,15 000。2. 复合维生素(mg或IU/kg饲料):维生素B₁,50;维生素B₂,20;维生素B₆,50;维生素B₁₂,0.1;泛酸,50;烟酸,250;叶酸,15;肌醇,2 000;维生素K₃,40;维生素A,5 000 IU;生物素,5;维生素C,400;维生素D₃,2 000 IU;维生素E,400

Notes: 1. Mineral premix (mg or IU/kg diet): MgSO₄ · 7H₂O, 5 500; Ferric citrate, 150; CoCl₂ · 6H₂O, 4; MnSO₄ · H₂O, 3; KI, 7; AlCl₃ · 6H₂O, 8; CuSO₄ · 5H₂O, 8; KCl, 4 000; ZnSO₄ · 7H₂O, 140; Na₂SeO₃, 0.6; Ca(H₂PO₄)₂, 15 000。2. Vitamin premix (mg or IU/kg diet): thiamin hydrochloride, 50; riboflavin, 20; pyridoxine hydrochloride, 50; vitamin B₁₂, 0.1; pantothenic acid, 50; nicotinic acid, 250; folic acid, 15; inositol, 2 000; menadione, 40; retinol acetate, 5 000 IU; biotin, 5; Ascorbic phosphate ester, 400; cholecalciferol, 2 000 IU; alphatocopheryl acetate, 400

1.3 样品分析

样品采集 实验开始和结束时,实验鱼饥饿24 h后准确测定体长和体质量。每个网箱中随机选取10尾许氏平鲈,用浓度为200 mg/L的MS222将鱼麻醉处理后,在冰盘上采集血液、肌肉和肝脏样品。体侧取血法取出血液,放入含1%肝素钠的2 mL离心管中,制备成抗凝血。4℃生理盐水冲洗分离出的肝脏与全肠,滤纸吸干后,称取肝脏和内脏团质量。另外,分别从每个实验网箱中随机捕捞3尾许氏平鲈待测全鱼体成分,所有样品收集编号后放入液氮快速冷冻,置-70℃超低温冰箱中保存备用。

形体指标测定 根据测定的数据并按照以下公式计算实验鱼肝体指数(HSI)、脏体指数(VSI)和肥满度(CF)。

$$\text{肝体指数 (HSI, \%)} = 100 \times W_h / W$$

脏体指数 (VSI, %) = $100 \times W_v / W$

肥满度 (CF, %) = $100 \times W / L^3$

式中, W 为鱼体体质量, W_h 为鱼体肝质量 (g), W_v 为鱼体内脏质量 (g), L 为体长 (cm)。

鱼体脂肪含量的测定 将实验鱼全鱼、背部肌肉、肝脏分别用组织捣碎机充分捣碎搅拌均匀,然后在 105 °C 烘干获得干物质,随机取样采用索氏抽提法^[15]测定全鱼、肌肉、肝脏脂肪含量。

血液生化指标的测定 血液中谷草转氨酶 (AST)、谷丙转氨酶 (ALT)、碱性磷酸酶 (ALP) 活性以及甘油三酯 (TG)、胆固醇 (CHO)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 含量的测定均采用半自动生化分析仪进行分析。

肝脏脂肪代谢酶活性的测定 按照南京生物工程研究所试剂盒的说明书对肝脏脂肪代谢酶的活性进行测定。用 4 °C 生理盐水与一定量的肝脏组织在匀浆器进行匀浆 (体积质量比为 9:1), 3 000 r/min 冷冻离心 10 min, 然后取上清液测定葡萄糖-6-磷酸脱氢酶 (G6PD)、苹果酸脱氢酶

(MHD)、肝酯酶 (HL) 和脂蛋白酯酶 (LPL) 的活性。

1.4 数据统计

所得数据均用 mean ± SE 表示,采用 SPSS 16.0 分析软件进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 和 Duncan 氏多重比较,显著水平采用 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 饲料脂肪水平对许氏平鲈形体指数的影响

许氏平鲈的终末体质量和增重随着饲料脂肪水平的递增表现为先上升后下降的趋势,9.6% 组鱼体增重显著高于 3.7% 和 15.6% 组 ($P < 0.05$) (表 2)。饲料脂肪水平对许氏平鲈肝体比和脏体比有显著的影响 ($P < 0.05$),但对许氏平鲈的肥满度影响不显著 ($P > 0.05$)。随着饲料脂肪水平上升,各组的肝体比和脏体比都呈上升趋势,15.6% 组许氏平鲈肝体比为 3.22%,显著高于 3.7% 和 6.8% 组 ($P < 0.05$);3.7% 组脏体比为 7.92%,显著低于其余组 ($P < 0.05$)。

表 2 饲料脂肪水平对许氏平鲈形体指数的影响
Tab. 2 Effect of dietary lipid levels on body indexes of *S. schlegeli*

指标 indicator	组别 group				
	3.7%	6.8%	9.6%	13.1%	15.6%
初始体质量/g initial body	7.04 ± 0.12	7.12 ± 0.12	7.20 ± 0.07	7.20 ± 0.21	7.11 ± 0.06
终末体质量/g final body	10.46 ± 0.37 ^{bc}	11.49 ± 0.14 ^b	12.61 ± 0.45 ^a	11.45 ± 0.17 ^{bc}	10.42 ± 0.42 ^c
增重/g weight gain	3.42 ± 0.37 ^{bc}	4.37 ± 0.14 ^{ab}	5.41 ± 0.45 ^a	4.25 ± 0.17 ^{bc}	3.31 ± 0.41 ^c
肝体比/% HSI	2.72 ± 0.17 ^b	2.75 ± 0.13 ^b	2.82 ± 0.07 ^{ab}	3.05 ± 0.13 ^{ab}	3.22 ± 0.12 ^a
脏体比/% VSI	7.92 ± 0.84 ^b	9.43 ± 0.07 ^a	9.80 ± 0.29 ^a	9.99 ± 0.15 ^a	10.01 ± 0.15 ^a
肥满度/% CF	2.68 ± 0.03	2.73 ± 0.04	2.75 ± 0.01	2.81 ± 0.02	2.82 ± 0.09

注:表中同一指标不同上标字母表示差异显著 ($P < 0.05$),以下注释同此

Notes: The different superscripts in the same row show significant difference ($P < 0.05$), the same as the following

2.2 饲料脂肪水平对许氏平鲈脂肪沉积的影响

饲料中添加脂肪对许氏平鲈全鱼、肌肉、肝脏中脂肪沉积有显著影响 ($P < 0.05$),鱼体脂肪含量随着饲料中脂肪水平的提高而增大 (表 3)。脂

肪水平 3.7% 和 6.8% 两组全鱼、肌肉、肝脏脂肪含量均显著低于 15.6% 组 ($P < 0.05$)。6.8% 和 9.6% 组、13.1% 和 15.6% 组间鱼体脂肪沉积不受饲料脂肪含量的影响 ($P > 0.05$)。

表 3 饲料脂肪水平对许氏平鲈脂肪沉积的影响 (干物质)
Tab. 3 Effect of dietary lipid levels on lipid deposition of *S. schlegeli* (dry matter)

指标 indicator	组别 group				
	3.7%	6.8%	9.6%	13.1%	15.6%
全鱼粗脂肪/% whole body crude lipid	20.23 ± 0.63 ^c	20.84 ± 0.54 ^c	22.51 ± 1.26 ^{bc}	24.06 ± 0.40 ^{ab}	24.98 ± 0.45 ^a
肌肉粗脂肪/% muscle crude lipid	5.51 ± 0.37 ^c	5.54 ± 0.52 ^c	6.43 ± 0.33 ^c	7.74 ± 0.69 ^{ab}	8.85 ± 0.43 ^a
肝脏粗脂肪/% liver crude lipid	45.76 ± 1.34 ^c	47.68 ± 2.22 ^b	50.21 ± 1.52 ^{abc}	51.48 ± 1.61 ^{ab}	53.16 ± 1.22 ^a

2.3 饲料脂肪水平对许氏平鲈血液生化指标的影响

饲料脂肪水平显著影响许氏平鲈血液生化指标 ($P < 0.05$) (表4)。血液甘油三酯 (TG) 和总胆固醇 (CHO) 含量随着饲料脂肪水平增加有下降的趋势, 15.6% 组的 TG 和 CHO 含量显著低于 3.7% 和 6.8% 组 ($P < 0.05$), 3.7%、6.8%、9.6% 组 TG 和 CHO 含量组间无显著性差异 ($P > 0.05$)。

许氏平鲈血液中高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 随着饲料中脂肪水平的提高而逐渐升高, 15.6% 组最高为 3.91 mmol/L, 与 13.1% 组无显著性差异 ($P > 0.05$), 显著高于 9.6%、6.8%、

3.7% 组 ($P < 0.05$)。随着脂肪添加量的增大, 许氏平鲈血液低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 呈现先上升后下降的趋势, 15.6% 组显著低于 6.8%、9.6% 组 ($P < 0.05$), 与 3.7%、13.1% 组无显著性差异 ($P > 0.05$)。

血液中谷草转氨酶 (AST)、谷丙转氨酶 (ALT) 和碱性磷酸酶 (ALP) 活性随着饲料脂肪含量的递增呈上升趋势。13.1% 和 15.6% 组血液 AST 和 ALT 活性差异不显著 ($P > 0.05$), 均显著高于 3.7% 组 ($P < 0.05$)。15.6% 组血液 ALP 活性与 9.6%、13.1% 组差异不显著 ($P > 0.05$), 但显著高于 6.8% 和 3.7% 组 ($P < 0.05$)。

表4 饲料脂肪水平对许氏平鲈血液生化指标的影响

Tab.4 Effect of dietary lipid levels on blood biochemistry indices of *S. schlegelii*

指标 indicator	组别 group				
	3.7%	6.8%	9.6%	13.1%	15.6%
甘油三酯/(mmol/L) TG	12.52 ± 1.05 ^{ab}	12.59 ± 0.60 ^a	11.15 ± 0.75 ^{abc}	10.13 ± 0.71 ^b	8.88 ± 0.70 ^c
总胆固醇/(mmol/L) CHO	13.48 ± 0.51 ^a	13.54 ± 0.85 ^a	13.39 ± 1.67 ^a	9.92 ± 0.36 ^b	8.98 ± 0.91 ^b
高密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) HDL-C	2.81 ± 0.14 ^c	3.06 ± 0.10 ^c	3.23 ± 0.12 ^{bc}	3.56 ± 0.18 ^{ab}	3.91 ± 0.19 ^a
低密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) LDL-C	3.32 ± 0.16 ^{bc}	3.70 ± 0.13 ^{ab}	3.87 ± 0.16 ^a	3.50 ± 0.19 ^{abc}	3.16 ± 0.13 ^c
谷草转氨酶/(U/L) AST	405.33 ± 13.86 ^c	443.33 ± 23.62 ^{bc}	470.67 ± 23.14 ^{abc}	533.34 ± 18.11 ^a	506.67 ± 33.32 ^{ab}
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	30.50 ± 2.71 ^c	33.20 ± 1.53 ^b	36.52 ± 0.98 ^b	40.52 ± 1.49 ^{ab}	48.19 ± 3.62 ^a
碱性磷酸酶/(U/L) ALP	84.80 ± 5.95 ^b	87.32 ± 3.61 ^b	93.93 ± 5.74 ^{ab}	99.10 ± 6.28 ^{ab}	109.62 ± 3.70 ^a

2.4 饲料脂肪水平对许氏平鲈脂肪代谢酶活性的影响

许氏平鲈肝脏葡萄糖-6-磷酸脱氢酶 (G6PDH) 与苹果酸脱氢酶 (MHD) 活性随脂肪水平的升高有降低趋势 (表5), 15.6% 组 G6PDH 活性与 13.1% 组无显著性差异 ($P > 0.05$), 但显著低于 3.7%、6.8% 和 9.6% 组 ($P < 0.05$); 13.1% 组 G6PDH 活性与 9.6% 组无显著性差异 ($P > 0.05$), 显著低于

3.7% 和 6.8% 组 ($P < 0.05$); 15.6% 组与 13.1% 组 MHD 活性无显著性差异 ($P > 0.05$), 均显著低于 3.7% 和 6.8% 组 ($P < 0.05$)。

许氏平鲈肝脏中肝酯酶 (HL) 和脂蛋白酯酶 (LPL) 活性随着饲料脂肪水平的升高逐渐升高, 15.6% 组与 13.1% 组 HL 和 LPL 活性显著高于 3.7%、6.8% 组 ($P < 0.05$), 但 15.6%、13.1% 两组间 HL 和 LPL 活性没有显著性差异 ($P > 0.05$)。

表5 饲料脂肪水平对许氏平鲈脂肪代谢酶活性的影响

Tab.5 Effect of dietary lipid levels on lipid metabolism enzyme activities of *S. schlegelii*

指标 indicator	组别 group				
	3.7%	6.8%	9.6%	13.1%	15.6%
葡萄糖-6-磷酸脱氢酶/(U/L) G6PDH	8.15 ± 0.53 ^a	7.49 ± 0.50 ^a	6.90 ± 0.38 ^b	5.73 ± 0.21 ^{bc}	4.85 ± 0.20 ^c
苹果酸脱氢酶/(U/L) MHD	4.07 ± 0.31 ^a	3.71 ± 0.22 ^{ab}	3.12 ± 0.21 ^{bc}	2.61 ± 0.23 ^c	2.50 ± 0.25 ^c
肝酯酶/(U/L) HL	0.86 ± 0.21 ^c	1.12 ± 0.15 ^b	1.36 ± 0.21 ^{abc}	1.52 ± 0.11 ^{ab}	1.87 ± 0.23 ^a
脂蛋白酯酶/(U/L) LPL	3.83 ± 0.23 ^c	4.22 ± 0.36 ^{bc}	5.18 ± 0.39 ^b	5.73 ± 0.32 ^{ab}	6.53 ± 0.34 ^a

3 讨论

脂肪是动物体内的重要贮能物质, 机体在需要时水解为脂肪酸和甘油, 被鱼类作为能量所利

用。脂肪含量不足或缺乏时, 饲料中的蛋白质优先作为能量被消耗掉, 而不是用于生长。脂肪添加具有节约蛋白质、促进鱼类生长和提高饲料效率的作用^[16]。脂肪添加对水产养殖动物的形体

指数也有显著影响^[17]。军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[18]、黑线鳕 (*Melanogrammus aeglefinus*)^[19]、翘嘴红鲌 (*Erythroculter ilishaeformis*)^[20]的肝体指数和脏体指数随着饲料脂肪水平的升高而增大。本实验中,许氏平鲷肝体指数和脏体指数随着饲料脂肪水平的升高显著增大,与上述研究结果基本一致,说明肝脏作为脂肪的代谢器官,高饲料脂肪水平导致鱼体吸收到体内脂肪增多,鱼体脂肪代谢负担加重,进而引起肝脏增大。但在大西洋白姑鱼 (*Argyrosomus regius*)上的研究发现,饲料脂肪水平对肝体指数和脏体指数影响不显著^[21]。肥满度的变化情况可以反映鱼类的营养状况^[21],弓背石首鱼 (*Sciaena umbra*)^[22]和锦鲤 (*Cyprinus carpio*)^[23]鱼体的肥满度与饲料脂肪含量没有相关性,与本实验对许氏平鲷的研究结果类似。但白甲鱼 (*Onychostoma sima*)^[24]和奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂)^[25]肥满度随饲料脂肪水平的升高呈先升后降的变化趋势,研究结果的差异可能是由于脂肪种类、配方设计、实验环境以及养殖动物的不同所致。

饲料脂肪水平不仅影响鱼类形体指数,过高的饲料脂肪水平还会引起鱼体的脂肪沉积^[26]。随着饲料脂肪水平的增加,军曹鱼^[18]、草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*)^[27]全鱼、肌肉和肝脏脂肪含量都增加。本实验中许氏平鲷全鱼、肌肉、肝脏脂肪含量随着饲料脂肪水平的升高有增加的趋势,当饲料脂肪水平超过 9.6% 时显著增加,与上述研究结果一致。这是由于饲料中过高的脂肪含量,超过了鱼体对脂肪的正常代谢能力,多余的脂肪贮存在肝脏和肌肉中,并且影响其肉质^[28]。另外研究发现,脂肪沉积的部位和程度因鱼种类的不同而异,高饲料脂肪水平导致大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*)^[29]和梭鱼 (*Liza haematocheila*)^[30]肝脏脂肪含量升高,但肌肉中脂肪含量无显著变化;吉富罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)^[31]饲料中过多的脂肪容易积累在肌肉和肝脏中。高饲料脂肪水平使欧洲鲈 (*Dicentrarchus labrax*)^[32]和梭鱼^[30]肝脏中脂肪含量升高,但脂肪水平继续增加时并不能增加全鱼脂肪含量。红姑鱼 (*Sciaenops ocellatus*)^[33]和翘嘴红鲌^[20]肝脏脂肪含量随饲料脂肪水平增加而升高,饲料脂肪水平对导致红姑鱼发生营养性

脂肪肝的程度有显著影响。

血液生化指标体现的是鱼体生理代谢状态,与营养状况密切相关,血液生化指标的改变可以反映其机体代谢、营养状况与疾病状况^[20]。甘油三酯 (TG) 主要参与体内能量的产生与储存,是重要的能源物质。胆固醇 (CHO) 是合成胆汁酸、维生素 D 以及甾体激素的原料,并参与形成细胞膜。在人类血液中, TG 的升降往往伴随着 CHO 的升降^[34],本实验也发现许氏平鲷血液 TG 和 CHO 含量随着饲料中添加脂肪而下降,当饲料脂肪水平大于 9.6% 时显著下降。在奥尼罗非鱼^[27]、厚唇弱棘鲷 (*Hiphaestus fuliginosus*)^[35]以及褐菖鲉 (*Sebastes marmoratus*)^[36]的研究中也得出与本实验相似的结论,血液中 TG 和 CHO 含量的降低可能是胆汁分泌异常或肝功能障碍所致。鱼类在正常情况下血液中转氨酶活性很低,当肝脏组织病变或受损程度较高时,细胞膜通透性增大,其中大量谷草转氨酶 (AST)、谷丙转氨酶 (ALT) 渗入血液,导致血液中 AST、ALT 浓度上升或活性持续增强^[37-38]。本研究中脂肪水平 13.1% 和 15.6% 组许氏平鲷血液 AST、ALT 活性显著高于 3.7% 组。鱼类的肝脏功能可能受到饲料中过高脂肪水平的影响,致使鱼体的肝细胞遭到破坏或者功能性损伤, TG 转运受到阻碍和 AST、ALT 通透性增加,使血液中的 TG 相对减少和 AST、ALT 活性增大。随着饲料脂肪水平的增加,吉富罗非鱼^[39]、梭鱼^[30]血液 TG 和 CHO 含量相应增加,但吉富罗非鱼^[39]血液 AST、ALT 活性没有显著变化,研究结果的差异可能是由于实验动物、养殖条件、实验饲料的不同引起的。脂蛋白包括高密度脂蛋白 (HDL) 和低密度脂蛋白 (LDL), HDL 把各组织的 CHO 送回肝代谢,而 LDL 把 CHO 从肝运送到全身组织^[40]。本实验中许氏平鲷血液高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 含量随饲料脂肪水平升高增大,脂肪水平 13.1% 和 15.6% 组 HDL-C 含量显著高于 3.7% 和 6.8% 组;而低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 含量随饲料脂肪水平升高而下降,15.6% 组 LDL-C 含量显著低于 6.8% 和 9.6% 组,与对褐菖鲉^[36]的研究结论一致。临床医学认为血清 HDL-C 的升高对机体具有积极作用,而 LDL-C 数值过低可能反映的是肝功能异常或其他代谢问题。血清碱性磷酸酶 (ALP) 与机体营养免疫相关,正常情况下 ALP 的

活性很低,当肝脏或者骨头病变时,ALP 活性才会显著升高^[41]。本实验结果显示,饲料脂肪水平大于 9.6% 时许氏平鲷血液 ALP 活性显著升高,可能由于高脂肪水平的饲料能够引起鱼类肝脏病变^[42],从而使 ALP 活性升高,与对吉富罗非鱼^[39]的研究结果一致。

鱼类肝脏中脂肪分解代谢酶活性随着脂肪添加量的增大而升高,但是脂肪合成酶的活性降低。肝组织是鱼类脂肪合成的重要场所^[43]。鱼类脂肪的生化合成离不开 NADPH,葡萄糖-6-磷酸脱氢酶(G6PDH)和苹果酸脱氢酶(MHD)作为脂肪合成酶能够催化产生 NADPH。在一些研究中发现肝脏 G6PDH 和 MHD 活性与饲料脂肪水平呈负相关^[42,44],本实验结果也表明,脂肪水平 13.1% 和 15.6% 组 G6PDH 和 MHD 活性显著低于 3.7% 和 6.8% 组。许氏平鲷肝脏中 G6PDH 的活性(4.85 ~ 8.15 U/L)高于 MHD(2.50 ~ 4.07 U/L),与在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[45]、舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[46]和银鲑(*Oncorhynchus kisutch*)^[43]上的研究结果一致,说明鱼体内主要通过戊糖磷酸途径产生 NADPH。研究表明,饲料碳水化合物水平影响肝脏脂肪合成酶活性,饲料中较高的碳水化合物含量和较低的脂肪水平均可以促进脂肪合成^[47],本实验也发现相似现象。脂蛋白酯酶(LPL)和肝酯酶(HL)是鱼类肝脏脂肪分解代谢过程中的两个关键酶,LPL 催化 TG 水解。HL 参与脂蛋白代谢和 LDL 的清除^[48]。饲料中添加脂肪可以显著提高养殖鱼类肝脏中 LPLmRNA 表达水平和 LPL 活性^[39,49]。本实验也发现饲料中添加脂肪提高了许氏平鲷肝脏 LPL、HL 活性,当脂肪水平大于 9.6% 时,LPL、HL 活性显著高于未添加脂肪组(3.7% 组),这是由于高饲料脂肪水平为许氏平鲷提供了大量 TG,需大量 LPL、HL 用于分解 TG,进而诱导肝脏合成 LPL、HL,致使肝脏中 LPL、HL 活性显著升高。但在尼罗罗非鱼^[50]和白甲鱼^[24]上的研究发现,肝脏 LPL、HL 活性随饲料脂肪水平的升高呈先升后降的趋势,研究结果的不一致可能是由于实验动物、养殖条件、饲料配方、脂肪来源的不同引起的,其相关机理需作进一步探讨。

4 小结

本实验条件下,饲料中添加脂肪显著影响许

氏平鲷形体指数、脂肪沉积、血液生化指标和脂肪代谢酶活性。当脂肪水平超过 9.6% 时,许氏平鲷肝体指数和脏体指数增大,脂肪分解酶活性增强、合成酶活性下降,鱼体脂肪沉积量升高,血液 TG 和 CHO 含量下降,血液 AST、ALT 和 ALP 活性升高。综合各项生理生化指标,许氏平鲷饲料的适宜脂肪水平为 9.6%,这一结果与生长性能和饲料利用方面反映出的最适饲料脂肪水平 9.6% 的结论相一致。

参考文献:

- [1] Watanabe T. Lipid nutrition in fish [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 1982, 73(3): 3-15.
- [2] Fernández-Palacios H, Izquierdo M S, Robaina L, et al. Effect of n-3 HUFA level in brood stock diets on egg quality of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) [J]. *Aquaculture*, 1995, 132(3-4): 325-337.
- [3] Cavalli R O, Lavens P, Sorgeloos P. Performance of *Macrobrachium rosenbergii* broodstock fed diets with different fatty acid composition [J]. *Aquaculture*, 1999, 179(1-4): 387-402.
- [4] Furuita H, Tanaba H, Yamamoto T, et al. Effects of high levels of n-3 HUFA in broodstock diet on egg quality and egg fatty acid composition of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. *Aquaculture*, 2002, 210(1-4): 323-333.
- [5] Chou R L, Su M S. Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile Cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2001, 193(1-2): 81-89.
- [6] Andersen N G, Alsted N S. Growth and body composition of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) in relation to different lipid/protein ratios in the diet [J]. *Fish Nutrition in Practice*, 1993, 61: 479-491.
- [7] Ellis S C, Reigh R C. Effects of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus* [J]. *Aquaculture*, 1991, 97(4): 383-394.
- [8] Lee S M, Im G J, Lee J Y. Effect of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegelii*) [J]. *Aquaculture*, 2002, 211(1-4): 227-239.
- [9] Lin Y Z. Reproductive physiological and developmental biology research in *Sebastes schlegelii* Hilgendorf [D]. QingDao: Ocean University of China, 2013. [蔺玉珍. 许氏平鲷繁殖生理及发育生

- 物学研究. 青岛:中国海洋大学,2013.]
- [10] Yang Y P, Wen H S, He F, *et al.* The morphology and developmental histology of testis in rockfish *Sebastes schlegeli* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2010(5): 391 - 396. [杨艳平, 温海深, 何峰, 等. 许氏平鲷精巢的形态结构与发育组织学. 大连海洋大学学报, 2010(5): 391 - 396.]
- [11] Wang X J, Zhang X M, Jiang M. Salinity stress on the ultrastructure of gill, head kidney and spleen of rockfish (*Sebastes schlegeli*) [J]. Journal of Ocean University of China, 2006(36): 85 - 90. [王晓杰, 张秀梅, 姜明, 等. 盐度胁迫对许氏平鲷鳃、头肾、脾脏超微结构的影响. 中国海洋大学学报, 2006(36): 85 - 90.]
- [12] Zheng J S, Feng X Y. Distribution of intestinal enzymes in digestive tract of *Sebastes schlegeli* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2002, 9(4): 309 - 314. [郑家声, 冯晓燕. 许氏平鲷消化道中部分消化酶的研究. 中国水产科学, 2002, 9(4): 309 - 314.]
- [13] Liu Q. Study on Compensatory Growth in *Sebastes schlegeli* [D]. QingDao: Ocean University of China, 2011. [刘群. 许氏平鲷 (*Sebastes schlegeli*) 幼鱼补偿生长的研究. 青岛:中国海洋大学, 2011.]
- [14] Yan Q G, Xie S Q, Lei W, *et al.* Quantitative dietary Lysine requirement for juvenile *Sebastes schlegeli* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(4): 459 - 465. [严全根, 解绶启, 雷武, 等. 许氏平鲷幼鱼的赖氨酸需求量. 水生生物学报, 2006, 30(4): 459 - 465.]
- [15] Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 5009. 6 - 2003. Determination of fat in foods [S]. 2003. [中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009. 6 - 2003. 食品中脂肪的测定. 2003.]
- [16] 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. [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. 动物营养学报, 2007, 19(3): 232 - 236.]
- [17] Nanton D A, Lall S P, McNiven M A. Effects of dietary lipid level on liver and muscle lipid deposition in juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L [J]. Aquaculture Research, 2001, 32(1): 225 - 234.
- [18] 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.
- [19] Tibbetts S M, Lall S P, Milley J E. Effects of dietary protein and lipid levels and DP DE⁻¹ ratio on growth, feed utilization and hepatosomatic index of juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. [J]. Aquaculture Nutrition, 2005, 11(1): 67 - 67.
- [20] Liu B, Tang Y K, Yu J H, *et al.* Effects of dietary lipids on growth, GK and G6Pase activities and mRNA levels in top-mouth cutler (*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(6): 1024 - 1033. [刘波, 唐永凯, 俞菊华, 等. 饲料脂肪对翘嘴红鲌生长、葡萄糖激酶和葡萄糖-6-磷酸酶活性与基因表达的影响. 中国水产科学, 2008, 15(6): 1024 - 1033.]
- [21] 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.
- [22] Chatzifotis S, Martin-Prat A V, Limberis N, *et al.* First data on growth of cultured brown meager *Sciaena umbra* using diets with different protein and fat contents [J]. Fisheries Science, 2006, 72(1): 83 - 88.
- [23] 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. [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. 天津农学院学报, 2011, 18(2): 23 - 31.]
- [24] Xiang X, Zhou X H, Chen J, *et al.* Effect of dietary lipid level on body index, lipid deposition and lipid metabolic enzyme activities of juvenile *Onychostoma sima* [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(9): 1349 - 1358. [向泉, 周兴华, 陈建, 等. 饲料脂肪水平对白甲鱼幼鱼形体指数、脂肪沉积和脂肪代谢酶活性的影响. 水产学报, 2013, 37(9): 1349 - 1358.]
- [25] Gan H, Li J M, Feng G P, *et al.* Effects of different lipid levels on growth and haematological biochemistry in juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) [J]. Journal of

- Shanghai Ocean University, 2009, 18(1): 35 - 41. [甘晖, 李坚明, 冯广朋, 等. 饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长和血浆生化指标的影响. 上海海洋大学学报, 2009, 18(1): 35 - 41.]
- [26] Anne G, Valérie B, Geneviève C, *et al.* The combined effects of feeding time and dietary fat levels on feed intake, growth and body composition in rainbow trout [J]. *Aquatic Living Resources*, 2002, 1(4): 225 - 230.
- [27] Cao J M, Guan G Q, Liu Y J, *et al.* Effects of Different Dietary Levels of Protein, Fat and Carbohydrate on Growth Rate and Tissue Nutritional Composition in Grass Carp [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 1997, 24(2): 56 - 60. [曹俊明, 关国强, 刘永坚, 等. 饲料蛋白质、脂肪、碳水化合物水平对草鱼生长和组织营养成分组成的影响. 水产科技情报, 1997, 24(2): 56 - 60.]
- [28] Ergün S, Soyutürk M, Güroy B, *et al.* Influence of Ulva meal on growth, feed utilization, and body composition of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at two levels of dietary lipid [J]. *Aquaculture International*, 2009, 17(4): 355 - 361.
- [29] Regost C, Arzel J, Cardinal M, *et al.* Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*) [J]. *Aquaculture*, 2001, 193(3 - 4): 291 - 309.
- [30] 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. [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. 中国水产科学, 2013, 20(1): 108 - 115.]
- [31] Han G M, Wang A M, Xu P, *et al.* Effect of dietary lipid levels on fat deposition and fatty acid profiles of GIFT, *Oreochromis niloticus* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(2): 338 - 349. [韩光明, 王爱民, 徐跑, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼体沉积及脂肪酸组成的影响. 中国水产科学, 2011, 18(2): 338 - 349.]
- [32] 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(1 - 4): 325 - 334.
- [33] Feng J, Liu Y J, Liu D H, *et al.* Relationship between dietary lipid levels and proportion of Lipid acids on fatty liver disease in juvenile *Sciaenops ocellatus* [J]. *Marine Sciences*, 2004, 28(6): 28 - 31. [冯健, 刘永坚, 刘栋辉, 等. 红姑鱼日粮脂肪水平和脂肪酸比例与脂肪肝病关系研究. 海洋科学, 2004, 28(6): 28 - 31.]
- [34] He Z Q. Human Nutrition [M]. Second Edition. Beijing: People's Medical Publishing House, 2000: 95 - 123. [何志谦. 人类营养学. 第2版. 北京: 人民卫生出版社, 2000: 95 - 123.]
- [35] 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. [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. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2010, 29(3): 222 - 226.]
- [36] Shi Z H, Yue Y F, Peng S M, *et al.* Effects of dietary lipid levels on serum biochemistry indices, immunity, and antioxidant activity in *Sebastes marmoratus* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(1): 101 - 107. [施兆鸿, 岳彦峰, 彭士明, 等. 饲料脂肪水平对褐菖鲉血清生化指标、免疫及抗氧化酶活力的影响. 中国水产科学, 2013, 20(1): 101 - 107.]
- [37] Zheng Y H, Pu F Y. Transaminase activities of Tissues in *Carp* & *Cauratus* [J]. *Journal of Southwest Agricultural University*, 1997(1): 41 - 45. [郑永华, 蒲富永. 汞对鲤鱼组织转氨酶活性的影响. 西南农业大学学报, 1997(1): 41 - 45.]
- [38] Hui T C, Shi M H, Zhu M M. Effects of Selenium on Antioxidant Enzymes and Transaminases of Liver in Cadmium Chronic Toxic *Tilapia nilotica* [J]. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 2000, 20(3): 264 - 266. [惠天朝, 施明华, 朱萌媚. 硒对罗非鱼慢性镉中毒肝抗氧化酶及转氨酶的影响. 中国兽医学报, 2000, 20(3): 264 - 266.]
- [39] Wang A M, Han G M, Feng G, *et al.* Effect of dietary lipid levels on Growth performance, Nutrient Digestibility and Blood Biochemical Indices of Gift Tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35(1): 80 - 87. [王爱民, 韩光明, 封功, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生产性能、营养物质消化及血液生化指标的影响. 水生生物学报, 2011, 35(1): 80 - 87.]
- [40] Zhou S W. Animal Biochemistry [M]. 3rd edition. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 144 - 146. [周顺伍. 动物生物化学. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 144 - 146.]
- [41] Zhang Q, Xu R, Wang G L. Effects of petroleum

- pollution on the activities of serum enzymes of *Tilapia mossambica* [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1998, 20(4):60-65. [张勤,徐韧,王桂兰. 石油污染对莫桑比克罗非鱼血清酶活性的影响. 海洋学报, 1998, 20(4):60-65.]
- [42] Shimeno S, Shikata T. Regulation of carbohydrate metabolism in fish. XIV. Effects of acclimatization temperature and feeding rate on carbohydrate metabolizing enzyme activity and lipid content of common carp [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1993, 59(4):661-666.
- [43] Lin H, Romsos D R, Tack P I, *et al.* Effects of fasting and feeding various diets on hepatic lipogenic enzyme activities in coho salmon [*Oncorhynchus kisutch* (Walbaum)] [J]. *The Journal of Nutrition*, 1977, 107(8):1477-1483.
- [44] Arnesen P, Krogdahl Å, Kristiansen I Ø. Lipogenic enzyme activities in liver of atlantic salmon (*Salmo salar*, L.) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Comparative Biochemistry*, 1993, 105(3-4):541-546.
- [45] Hung S S O, Storebakken T. Carbohydrate utilization by rainbow trout is affected by feeding strategy [J]. *The Journal of Nutrition*, 1994, 124(2):223-230.
- [46] Iniesta M G, Cano M J, Garrido-Pertierro A. Properties and function of malate enzyme from *Dicentrarchus labrax* L. liver [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Comparative Biochemistry*, 1985, 80(1):35-39.
- [47] Brauge C, Corraze G, Médale F. Effects of dietary levels of carbohydrate and lipid on glucose oxidation and lipogenesis from glucose in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, reared in freshwater or seawater [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology*, 1995, 111(1):117-124.
- [48] Zhang X G, Chen Y Z. Hepatic lipase and lipoprotein metabolism [J]. *Foreign Medical: Clinical Biochemistry and Laboratory Science Volume*, 2002, 23(1):48-49. 张晓刚, 陈运贞. 肝脂酶与脂蛋白代谢. 国外医学: 临床生物化学与检验学分册, 2002, 23(1):48-49.
- [49] Zheng K K, Zhu X M, Han D, *et al.* Effects of Dietary Lipid Level on Growth and Lipoprotein Lipase Gene Expression in *Pelteobagrus Vachelli* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, 34(4):815-821. [郑珂珂, 朱晓鸣, 韩冬, 等. 饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼生长及脂蛋白脂酶基因表达的影响. 水生生物学报, 2010, 34(4):815-821.]
- [50] Tu W, Tian J, Wen H, *et al.* Optimal dietary lipid requirement of advanced juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(3):436-444. [涂玮, 田娟, 文华, 等. 尼罗罗非鱼幼鱼饲料的适宜脂肪需要量. 中国水产科学, 2012, 19(3):436-444.]

Effects of dietary lipid level on lipid deposition, blood biochemistry indices and lipid metabolic enzyme activities of *Sebastes schlegeli*

SONG Liping*, MAO Shuquan, MA Guohong, ZHANG Yanhua, XU Peng

(Freshwater Fisheries Academy of Shandong Province, Jinan 250117, China)

Abstract: We evaluated the effects of dietary lipid levels on body index, lipid deposition, blood biochemistry indices and lipid metabolic enzyme activities of *Sebastes schlegeli*. Juvenile fish [average initial body weight: (7.13 ± 0.03) g] were randomly divided into 5 groups and fed diets containing different lipid levels (3.7%, 6.8%, 9.6%, 13.1% and 15.6%) using fish oil as the lipid source for 60 d. The results showed that the hepatosomatic index (HSI) and viscerosomatic index (VSI) of *S. schlegeli* increased with increasing dietary lipid levels ($P < 0.05$), while the condition factor (CF) had no significant differences among groups ($P < 0.05$). The crude lipid content of whole body, muscle and liver of *S. schlegeli* increased with increasing dietary lipid levels ($P < 0.05$). The crude lipid contents of whole body, muscle and liver in the group fed 15.6% lipid were significantly higher than those of the groups fed 3.7% and 6.8% lipid ($P < 0.05$). Dietary lipid had a significant effect on lipid metabolic enzymes ($P < 0.05$). The activities of hepatic glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PDH) and malic dehydrogenase (MDA) decreased with increasing lipid level, but the activities of lipoprotein lipase (HPL) and hepatic lipase (HL) increased ($P < 0.05$). The activities of G6PDH and MDA were significantly lower in the groups fed 15.6% and 13.1% lipid than those of the groups fed 3.7% and 6.8% lipid ($P < 0.05$), but the activities of HPL and HL were significantly higher ($P < 0.05$). The contents of blood triglyceride (TG) and cholesterol (CHO) decreased with increasing dietary lipid levels, but the contents of blood high density lipoprotein cholesterol (HDL-C), glutamic oxaloacetic transaminase (AST) and glutamic pyruvic transaminase (ALT) increased ($P < 0.05$). The contents of blood TG and CHO in the group fed 15.6% lipid were significantly lower than those of the groups fed 3.7% and 6.8% lipid ($P < 0.05$), but the contents of blood HDL-C, AST and ALT were highest. The contents of blood low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) initially increased with increasing lipid levels, but then decreased ($P < 0.05$). Results of the above show that dietary lipid level had significant effects on body index, lipid deposition, blood biochemistry indices and lipid metabolic enzyme activities of *S. schlegeli*, but when dietary lipid level exceeds 9.6%, the lipid deposition in liver would increase, which is bad for health and growth of *S. schlegeli*.

Key words: *Sebastes schlegeli*; dietary lipid level; body index; lipid deposition; blood biochemistry indices; lipid metabolic enzyme

Corresponding author: SONG Liping. E-mail: lpsyang1974@126.com