

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

向 巢^{1,2}, 周兴华¹, 陈 建¹, 王文娟¹, 黄 辉¹,
李代金¹, 吴 青¹, 周小秋^{2*}

(1. 西南大学荣昌校区水产系, 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室,
水产科学重庆市市级重点实验室, 重庆 402460;
2. 四川农业大学动物营养研究所, 四川 雅安 625014)

摘要: 实验评价了不同饲料脂肪水平对白甲鱼形体指数、脂肪沉积和脂肪代谢酶活性的影响。选用初始均质量(0.78±0.05)g 的白甲鱼幼鱼 900 尾, 随机分成 6 个实验组, 每组 3 个重复, 每个重复 50 尾实验鱼, 分别饲喂添加 0% (对照组)、2%、4%、6%、8% 和 10% 的豆油, 设计出脂肪水平为 2.83%、4.52%、6.68%、9.14%、11.35% 和 14.07% 的 6 种等氮(蛋白质含量为 40%) 等能(总能为 16.30 MJ/kg) 的实验饲料, 养殖时间为 60 d。结果表明, 随着饲料脂肪水平的升高, 白甲鱼幼鱼肥满度(CF)先升后降的变化趋势, 且脂肪水平为 9.14% 时最大, 为 2.64%, 但饲料脂肪水平为 6.68%~14.07% 时差异不显著($P>0.05$), 肝体指数(HSI)随饲料脂肪水平的升高呈上升趋势, 脏体指数(VSI)则随饲料脂肪水平的升高呈略微上升趋势($P>0.05$); 白甲鱼幼鱼肌肉和肝脏中脂肪的含量易受饲料脂肪水平的影响。随着饲料脂肪水平的升高, 肌肉和肝脏脂肪含量均呈上升趋势, 饲料脂肪水平对饲料氮的沉积量无明显影响($P>0.05$), 能量沉积量则在饲料脂肪水平为 14.07% 时最高, 氮和能量的沉积率随饲料脂肪水平的升高呈先升后降的变化趋势, 且分别在饲料脂肪水平为 11.35% 和 9.14% 时达到最大, 脂肪的沉积量随饲料脂肪水平的升高而升高, 但脂肪沉积率则随饲料脂肪水平的升高而逐渐降低($P<0.05$); 白甲鱼幼鱼肠道脂肪酶活性呈先升后降的变化趋势, 且在脂肪水平为 9.14% 时最大, 为 296.03 U/g, 脂蛋白酯酶、肝脂酶和总酯酶活性则呈先升后降并逐渐趋于稳定, 均在饲料脂肪水平为 9.14% 时达到最高; 脂肪合成酶则呈逐渐降低的趋势($P<0.05$)。说明适当的饲料脂肪水平可以提高饲料营养物质的利用率, 但过高的脂肪水平(11.35% 及以上)将使白甲鱼肝脏脂肪沉积增多, 不利于鱼类健康生长。

关键词: 白甲鱼; 脂肪水平; 形体指数; 脂肪沉积; 脂肪代谢酶

中图分类号: S 963

文献标志码: A

脂肪是鱼类重要的营养物质, 对维持鱼类的生长、发育和正常的生理代谢均具有重要的作用。由于鱼类对碳水化合物的利用能力较低, 则维持其正常生命活动所需的能量主要依靠蛋白质和脂肪的分解, 使鱼类能有效利用脂肪物质并从中获得能量。因此, 适量的脂肪水平可提高饲料蛋白

的利用效率, 节约饲料蛋白质^[1]。但饲料中脂肪含量过高时, 则会抑制鱼类的生长^[2], 导致鱼体的脂肪沉积增加, 严重时甚至会导致大量脂肪在肝细胞内堆积, 引起肝细胞变性、坏死, 导致肝功能下降甚至衰竭^[3]。李坚明等^[4]认为, 饲料脂肪含量大于或等于 6% 时, 奥尼罗非鱼(*Oreochromis*

收稿日期: 2013-03-28 修回日期: 2013-06-28

资助项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD25B10); 中央高校基本科研业务费专项资金(XDJK2009C165)

通信作者: 周小秋, E-mail: xqzhouqq@tom.com

niloticus × *O. aureus*) 幼鱼的肝胰脏肿大,呈油腻状,颜色发黄,部分胆囊肿大且颜色变深,肠系膜有过量的白色脂肪沉积,严重时脂肪几乎覆盖整个肠器官。冯健等^[5]研究表明,红姑鱼(*Sciaenops ocellatus*)肝胰脏脂肪含量和发生营养性脂肪肝病的程度均与饲料脂肪水平成正相关;饲料中 n-3HUFA 的含量大于 0.92% 将使黑鲷(*Spams macrocephalus*)幼鱼脂肪酸合成酶(FAS)活性显著下降^[6];Gaylord 等^[7]研究发现,杂交条纹鲈(*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)的体脂肪含量与饲料中脂肪含量成正比,且在饲料蛋白水平相同时,其肝体指数(HSI)随着饲料脂肪水平的增加而显著增加。白甲鱼(*Onychostoma simus*),属鲤形目、鲤科,白甲鱼属鱼类,是长江中上游、珠江及沅江水系的一种主要经济鱼。肌肉中人体必需的 8 种氨基酸占氨基酸总含量的 43.96%,且其脂肪酸中 EPA 与 DHA 质量分数分别为 5.28%、30.07%^[8]。因此,白甲鱼是一种很有经济开发价值的名优鱼类。近年来由于捕捞过度等因素的影响,野生种群数量急剧下降。为了保护、开发和持续利用这一水生动物资源,对于其胚胎发育^[9]、人工繁殖^[10]等已有一些研究,但对白甲鱼对脂肪等

营养物质的需求及脂肪对其生长、代谢的影响等还未见报道。实验探讨了饲料脂肪对白甲鱼幼鱼部分形体指标、脂肪沉积及脂肪代谢酶活性的影响,阐明白甲鱼幼鱼对饲料脂肪的利用能力及体脂沉积的规律,进一步丰富和完善其营养生理和消化生理,为确定白甲鱼幼鱼配合饲料的营养标准和设置合理的饲料脂肪水平提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以鱼粉、豆粕、花生粕、菜粕等为饲料蛋白质源,大豆油为饲料脂肪源,玉米淀粉和 α -淀粉作为饲料糖源。分别饲喂添加 0% (对照组)、2%、4%、6%、8% 和 10% 的豆油,设计出脂肪水平为 2.83%、4.52%、6.68%、9.14%、11.35% 和 14.07% 的 6 种等氮(蛋白质含量为 40%)等能(总能为 16.30 MJ/kg)的实验饲料。其中脂肪水平的增减用 α -淀粉调平,各原料均粉碎过 60 目筛,称重后混匀,量少的组分采用逐级扩大法混合,用实验室小型绞肉机制成直径为 2 mm 的实验饲料,在室温下晾干后保存在 -20 °C 冰箱中备用。实验饲料组成见表 1。

表 1 基础饲料配方及主要营养成分(风干基础)

Tab. 1 Composition and nutrient level of foundation diets (air-dry basis, %)

原料 ingredients	大豆油添加水平/% soybean oil levels					
	0	2	4	6	8	10
鱼粉 fish meal	25	25	25	25	25	25
豆粕 soybean meal	20	20	20	20	20	20
花生粕 peanut meal	10	10	10	10	10	10
菜粕 rapeseed meal	16	16	16	16	16	16
玉米淀粉 maize starch	12	12	12	12	12	12
α -淀粉 α -starch	14	12	10	8	6	4
大豆油 soybean oil	0	2	4	6	8	10
复合预混料 ¹ compound premix	1	1	1	1	1	1
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
氯化胆碱 choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
营养成分(%干物质) proximate composition						
水分 moisture	10.95	10.54	10.98	10.21	10.35	10.48
粗蛋白 crude protein	40.06	40.16	40.25	40.45	40.33	40.29
粗脂肪 lipid	2.83	4.52	6.68	9.14	11.35	14.07
灰分 ash	5.85	5.56	5.48	4.97	5.12	5.31
总能/(MJ/kg) gross energy	16.12	16.34	16.47	16.58	16.09	16.26

注:复合预混料为每 1 kg 饲料提供的维生素和矿物元素:VA 30 000 IU;VC 200 mg;VD₃ 25 000 IU;VE 600 mg;VK 100 mg;VB₁ 50 mg, VB₂ 60 mg;尼克酸 100 mg;泛酸钙 120 mg;VB₆ 40 mg;VB₁₂ 0.2 mg;生物素 7 mg;叶酸 20 mg;肌醇 250 mg;FeSO₄ · 7H₂O 122.0 g; CuSO₄ · 5H₂O 7.20 g;MnSO₄ · H₂O 5.16 g, ZnSO₄ · 7H₂O 15.56 g;KI 6.58 g; NaSeO₃ 2.10 g。

Notes: The compound premix provides vitamin and mineral for a kilogram of diets: VA 30 000 IU, VC 200 mg, VD₃ 25 000 IU, VE 600 mg, VK 100 mg, VB₁ 50 mg, VB₂ 60 mg, nicotinic acid 100 mg, Calcium Pantothenate 120 mg, VB₆ 40 mg, VB₁₂ 0.2 mg, Biotin 7 mg, folic acid 20 mg, inositol 250 mg, FeSO₄ · 7H₂O 122.0 g, CuSO₄ · 5H₂O 7.20 g, MnSO₄ · H₂O 5.16 g, ZnSO₄ · 7H₂O 15.56 g, KI 6.58 g, NaSeO₃ 2.10 g.

1.2 实验鱼及饲养管理

实验用白甲鱼幼鱼为合川大口鲶原种场同一批繁殖的幼鱼,购回后先用 3%~5% 的食盐水消毒后放入暂养池,用商品饲料暂养 7 d。实验开始时,选择健康、无伤病的实验(0.81±0.06)g 的白甲鱼幼鱼 900 尾,随机投入 18 个实验水泥池(150 cm×100 cm×50 cm)中。并随机分成 6 组,每组 3 个重复,每个重复 50 尾鱼,分别投喂 6 种不同脂肪水平的实验饲料。每天按实验鱼实验的 3%~5% 投喂饲料(根据白甲鱼的摄食情况及水温等环境状况及时调整投喂率),每天 8:00、13:00、16:00 各投喂 1 次,投喂前虹吸清污,饱食后 30 min 迅速虹吸残饵并风干测定其质量。养殖期间每天换水 1 次,每次换水量为养殖水体的 1/3。实验用水为曝气后的自来水,每日监测水温、水质、实验鱼的摄食行为和死亡数量等。水温维持在 25~28℃,溶氧高于 6.0 mg/L, pH 为 7.0~7.5,养殖时间 60 d。

1.3 样品采集

实验开始和结束前一天停食 24 h,对每尾鱼进行体质量及体长测量。每个实验组中随机取 10 尾鱼用 50 mg/L 的 MS-222 溶液麻醉后解剖,于冰盘上解剖后取出内脏,分离出肝和全肠,并用 4℃ 预冷的生理盐水冲洗,然后用滤纸吸干,精度称量肝胰脏和内脏团的质量。分离出背部肌肉、肝脏、腹腔脂肪组织样品,将所有样品置于 -80℃ 冰箱中备用。

1.4 指标测定

形体指标计算 根据测定的数据计算实验鱼的平均体质量(average body weight, ABW);肥满度(condition factor, CF);肝体指数(hepatosomatic index, HSI);脏体指数(viscerosomatic index, VSI);氮摄入量(nitrogen intake, NI)、能量摄入量(energy intake, EI)、脂肪摄入量(lipid intake, LI);氮沉积量(nitrogen gain, NG)、能量沉积量(energy gain, EG)、脂肪沉积量(lipid gain, LG);氮沉积率(nitrogen retention, NR)、能量沉积率(energy retention, ER)、脂肪沉积率(lipid retention, LR),计算公式如下:

$$\text{平均体质量(ABW, g)} = (W_t + W_0) / 2$$

$$\text{肥满度(CF, \%)} = 100 \times W / L^3$$

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

$$\text{脏体指数(VSI, \%)} = 100 \times W_v / W$$

$$\text{氮摄入量(NI, g/kg} \cdot \text{d)} = N_f / (\text{ABW} \times t)$$

$$\text{氮沉积量(NG, g/kg} \cdot \text{d)} = (W_t \times N_t - W_0 \times N_0) / (\text{ABW} \times t)$$

$$\text{氮沉积率(NR, \%)} = \text{NG} / \text{NI}$$

$$\text{能量摄入量(EI, kJ/kg} \cdot \text{d)} = E_f / (\text{ABW} \times t)$$

$$\text{能量脂肪沉积量(EG, kJ/kg} \cdot \text{d)} = (W_t \times E_t - W_0 \times E_0) / (\text{ABW} \times t)$$

$$\text{能量沉积率(ER, \%)} = \text{EG} / \text{EI}$$

$$\text{脂肪摄入量(LI, g/kg} \cdot \text{d)} = L_f / (\text{ABW} \times t)$$

$$\text{脂肪沉积量(LG, g/kg} \cdot \text{d)} = (W_t \times L_t - W_0 \times L_0) / (\text{ABW} \times t)$$

$$\text{脂肪沉积率(LR, \%)} = \text{LG} / \text{LI}$$

式中: W_0 为实验鱼初始体质量(g); W_t 为实验鱼终末体质量(g); 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); N_f 、 E_f 、 L_f 分别表示实验饲料中的氮、能量和粗脂肪含量; N_t 、 E_t 、 L_t 分别表示实验结束后鱼体中氮、能量和粗脂肪含量; N_0 、 E_0 、 L_0 分别表示实验开始前鱼体中氮、能量和粗脂肪含量; L 为体长(cm); t 为实验天数(d)。

鱼体脂肪含量的测定 实验鱼的背部肌肉、肝脏、腹腔脂肪组织粗脂肪采用索氏抽提法(GB 5009.6-2010)测定^[11]。

脂肪代谢酶活性的测定 (1) 粗酶液的制备。采用田娟等^[12]的方法制备粗酶液,每尾实验鱼取 1.0 g 全肠(前、中、后各取一段),加入 9 倍体积 4℃ 双蒸水,冰浴匀浆(10 000 r/min, 10 s/次,连续 4 次),3 000 r/min 离心 10 min,取上清液测肠道脂肪消化酶活性;取 0.1 g 肝组织加入 9 倍体积 4℃ 生理盐水,用同上方法制备粗酶液,测定脂蛋白酯酶和肝脂酶活性;脂肪酸合成酶粗酶液的制备方法为:将鱼致死后,立刻取 1.0 g 肝胰脏,加 2 mL 抽提液^[13]匀浆,冷冻离心 50 min(20 000 r/min, 4℃),上清液于 -80℃ 冰箱冻存。

(2) 脂肪代谢酶活性的测定。肠道脂肪酶测定参照聚乙烯醇橄榄油乳化液水解法^[14],其活力单位定义为在 pH 7.4, (28±1)℃ 条件下,1 g 组织每分钟分解脂肪产生 1 μmol 的游离脂肪酸为 1 个活性单位(U/g);脂肪酸合成酶(FAS)酶活则根据田维熙等^[15]的方法测定,其活力单位定义为 1 g 肝脏每分钟氧化 14 nmol NADPH 的酶量(U/g);脂蛋白酯酶和肝脂酶活性采用南京生物

工程研究所试剂盒方法测定,定义为每 1 g 肝脏组织每 1 h 产生 1 μmol 的游离脂肪酸为 1 个酶活单位(U/g),其中总脂酶活性 = 脂蛋白脂酶活性 + 肝脂酶活性^[16]。

1.5 数据处理方法

实验数据以平均值 \pm 标准差(mean \pm SD)表示,采用 SPSS Statistics 17.0 统计软件中单因子方差分析(One-Way ANOVA)对数据进行统计分析,若组间差异显著,再进行 Duncan 氏多重比较,差异显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 饲料水平对白甲鱼幼鱼形体指数的影响

由表 2 可知,白甲鱼幼鱼的平均体质量

(ABW)和肥满度(CF)均随饲料脂肪水平的升高呈先升后降的变化趋势。ABW 在脂肪水平大于等于 4.52% 后差异不显著($P > 0.05$);CF 在饲料脂肪水平为 6.68% ~ 14.07% 时差异不显著($P > 0.05$),且在脂肪水平为 9.14% 时最大,为 2.64%,显著大于脂肪水平为 2.83% ~ 4.52% 的实验组($P < 0.05$);白甲鱼幼鱼的肝体指数(HSI)随饲料脂肪水平的升高呈上升趋势。HSI 在饲料脂肪水平为 14.07% 时最大,为 2.51%。但脂肪水平在 6.68% ~ 14.07%、2.83% ~ 4.52% 和 4.52% ~ 9.14% 时,HSI 差异均不显著($P > 0.05$);脏体指数(VSI)随饲料脂肪水平的升高呈略微上升趋势($P > 0.05$)。

表 2 饲料脂肪水平对白甲鱼幼鱼形体指数及肌肉、肝脏脂肪含量的影响

Tab. 2 Effect of dietary lipid levels on lipid content in muscle and hepatopancreas, condition factor, hepatosomatic and viscerosomatic index of juvenile *O. sima*

项目 items	饲料脂肪水平/% dietary lipid levels					
	2.83	4.52	6.68	9.14	11.35	14.07
初始体质量/g initial weight	0.79 \pm 0.04	0.81 \pm 0.06	0.79 \pm 0.05	0.81 \pm 0.08	0.78 \pm 0.07	0.70 \pm 0.04
终末体质量/g final weight	2.60 \pm 0.16 ^a	3.13 \pm 0.25 ^{ab}	3.63 \pm 0.25 ^c	3.72 \pm 0.31 ^c	3.61 \pm 0.34 ^c	3.38 \pm 0.16 ^{bc}
平均体质量/g ABW	1.74 \pm 0.10 ^a	1.97 \pm 0.15 ^{ab}	2.22 \pm 0.15 ^b	2.27 \pm 0.19 ^b	2.20 \pm 0.20 ^b	2.09 \pm 0.10 ^b
肥满度/% CF	2.03 \pm 0.14 ^a	2.10 \pm 0.28 ^a	2.35 \pm 0.22 ^{ab}	2.64 \pm 0.25 ^b	2.57 \pm 0.17 ^b	2.38 \pm 0.27 ^{ab}
肝体指数/% HSI	1.85 \pm 0.08 ^a	2.13 \pm 0.23 ^{ab}	2.18 \pm 0.25 ^{bc}	2.31 \pm 0.13 ^{bc}	2.30 \pm 0.11 ^{bc}	2.51 \pm 0.17 ^c
脏体指数/% VSI	6.65 \pm 0.31	6.88 \pm 0.43	7.05 \pm 0.22	6.83 \pm 0.35	6.96 \pm 0.36	7.10 \pm 0.31
肌肉粗脂肪/% crude lipid in muscle	1.42 \pm 0.07 ^a	1.86 \pm 0.11 ^b	1.99 \pm 0.22 ^{bc}	2.05 \pm 0.07 ^{bc}	2.27 \pm 0.18 ^{cd}	2.58 \pm 0.36 ^d
肝脏粗脂肪/% crude lipid in hepatopancreas	6.03 \pm 0.99 ^a	6.56 \pm 0.83 ^{ab}	8.76 \pm 0.92 ^{bc}	8.62 \pm 0.30 ^{bc}	9.58 \pm 0.81 ^c	10.63 \pm 2.49 ^c

注:同列肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著($P > 0.05$),不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Notes: In the same row, values with same small letter superscripts or no letter superscripts mean no significant differences ($P > 0.05$) different small letter superscripts mean significant differences ($P < 0.05$). The same as below.

2.2 饲料水平对白甲鱼幼鱼肌肉、肝脏脂肪含量的影响

由表 2 可知,白甲鱼幼鱼肌肉和肝脏中脂肪的含量易受饲料脂肪水平的影响。随着饲料脂肪水平的升高,肌肉和肝脏脂肪含量均呈上升趋势。饲料脂肪水平为 14.07% 时白甲鱼幼鱼肌肉脂肪含量最高,为 2.58%,除与 11.35% 组差异不显著外($P > 0.05$),显著高于其余各实验组($P < 0.05$);肝脏脂肪含量在饲料脂肪水平为 2.83% ~ 4.52%、4.52% ~ 9.14% 和 6.68% ~ 14.07% 时均无显著差异($P > 0.05$),但 14.07% 组的肝脏脂肪含量显著高于饲料脂肪水平为 2.83% ~ 4.52% 的实验组($P < 0.05$)。实验鱼肝脏脂肪含量高于肌肉脂肪含量。

2.3 饲料水平对饲料氮、能量和脂肪利用率的影响

由表 3 可知,白甲鱼幼鱼对饲料氮的摄入量在饲料脂肪水平为 4.52% ~ 11.35% 时无显著差异($P > 0.05$),但显著低于 2.83% 和 14.07% 组($P < 0.05$);饲料氮的沉积量随饲料脂肪水平的升高无明显差异($P > 0.05$);饲料氮的沉积效率则随饲料脂肪水平的升高呈先升后降的变化趋势,当饲料脂肪水平为 11.35% 时最高,为 34.35%,除与 9.14% 组差异不显著外($P > 0.05$),显著高于其余各实验组($P < 0.05$)。白甲鱼幼鱼对饲料能量的摄入量在饲料脂肪水平为 2.83% 最高,除与 14.07% 组不显著外($P > 0.05$),明显高于其余各实验组($P < 0.05$);能量

沉积量则在饲料脂肪水平为 14.07% 时最高,除与 9.14% 和 11.35% 组差异不显著外 ($P > 0.05$),明显高于其余各实验组 ($P < 0.05$);能量沉积效率也随饲料脂肪水平的升高呈先升后降的变化趋势,在饲料脂肪水平为 9.14% 时最高,除与 11.35% 组无明显差异外 ($P > 0.05$),显著高于其余各实验组 ($P < 0.05$)。白甲鱼幼鱼对饲料脂肪的摄入量和沉积量均随饲料脂肪水平的升高而

升高。饲料脂肪水平为 14.07% 时脂肪的摄入量明显高于其余各实验组 ($P < 0.05$),而脂肪沉积量在饲料脂肪水平大于或等于 11.35% 时差异不显著 ($P > 0.05$),饲料脂肪沉积效率则随饲料脂肪水平的升高而逐渐降低,饲料脂肪水平为 2.83% 时,脂肪沉积率最高,除与 4.52% 组无明显差异外 ($P > 0.05$),显著高于其余各实验组 ($P < 0.05$)。

表 3 饲料脂肪水平对白甲鱼幼鱼对饲料氮、能量及脂肪利用率的影响
Tab. 3 Effect of dietary lipid levels on utilization of nitrogen, energy and lipid of juvenile *O. sima*

项目 items	饲料脂肪水平/% dietary lipid levels					
	2.83	4.52	6.68	9.14	11.35	14.07
氮 nitrogen						
摄入量/(g/kg·d) intake	2.99 ± 0.27 ^b	2.35 ± 0.18 ^a	2.54 ± 0.22 ^a	2.23 ± 0.17 ^a	2.32 ± 0.14 ^a	2.65 ± 0.20 ^b
沉积量/(g/kg·d) gain	0.75 ± 0.05	0.73 ± 0.04	0.80 ± 0.06	0.76 ± 0.07	0.79 ± 0.09	0.75 ± 0.07
沉积效率/% retention	25.08 ± 0.93 ^a	30.99 ± 1.73 ^{ab}	31.47 ± 1.38 ^b	34.08 ± 2.60 ^c	34.35 ± 0.19 ^c	28.37 ± 1.04 ^a
能量 energy						
摄入量/(kJ/kg·d) intake	751.84 ± 41.36 ^c	598.60 ± 39.57 ^a	649.18 ± 30.20 ^b	569.85 ± 29.70 ^a	578.16 ± 17.82 ^a	668.37 ± 32.38 ^{bc}
沉积量/(kJ/kg·d) gain	179.84 ± 9.20 ^a	169.72 ± 11.98 ^a	229.75 ± 14.90 ^b	263.51 ± 12.04 ^c	256.84 ± 18.46 ^{bc}	266.24 ± 7.73 ^c
沉积效率/% retention	23.92 ± 2.24 ^a	28.40 ± 2.29 ^a	35.45 ± 2.89 ^b	46.37 ± 4.01 ^c	44.46 ± 3.57 ^{bc}	39.84 ± 5.37 ^b
脂肪 lipid						
摄入量/(g/kg·d) intake	1.32 ± 0.08 ^a	1.66 ± 0.40 ^a	2.63 ± 0.13 ^b	3.14 ± 0.45 ^{bc}	4.08 ± 0.52 ^c	5.78 ± 0.81 ^d
沉积量/(g/kg·d) gain	1.09 ± 0.11 ^a	1.24 ± 0.05 ^a	1.44 ± 0.10 ^b	1.51 ± 0.02 ^b	1.85 ± 0.03 ^c	1.90 ± 0.12 ^c
沉积效率/% retention	82.58 ± 8.77 ^c	74.70 ± 4.21 ^c	54.75 ± 4.89 ^b	48.13 ± 2.31 ^b	45.45 ± 6.91 ^{ab}	33.01 ± 6.21 ^a

2.4 饲料水平对白甲鱼相关脂肪代谢酶活性的影响

由表 4 可知,随着饲料脂肪水平的升高,白甲鱼幼鱼肠道脂肪酶活性呈先升后降的变化趋势,且 9.14% 组最大,为 296.03 U/g,除与 11.35% 组差异不显著外 ($P > 0.05$),明显高于其余各实验组 ($P < 0.05$);脂蛋白酯酶、肝脂酶和总酯酶活性

则先升后降并逐渐趋于稳定。均在饲料脂肪水平为 9.14% 时达到最高,且肝脂酶活性显著高于其余各实验组 ($P < 0.05$),而肝脂酶脂蛋白酯酶和总酯酶活性在饲料脂肪水平大于等于 9.14% 时无显著差异 ($P > 0.05$),但明显高于其余各实验组 ($P < 0.05$),脂肪合成酶则呈逐渐降低的趋势。且各实验组显著低于 2.83% 组 ($P < 0.05$)。

表 4 饲料脂肪水平对白甲鱼幼鱼相关脂肪代谢酶活性的影响
Tab. 4 Effect of dietary lipid levels on lipid metabolism enzyme activities of juvenile *O. sima*

项目 items	饲料脂肪水平/% dietary lipid levels						U/g
	2.83	4.52	6.68	9.14	11.35	14.07	
肠道 intestine							
肠脂肪酶 intestinal lipase	207.68 ± 17.29 ^a	217.25 ± 3.76 ^a	241.55 ± 11.61 ^b	296.03 ± 10.78 ^c	280.63 ± 7.41 ^c	252.02 ± 7.25 ^b	
肝脏 liver							
脂蛋白酯酶 lipoprotein lipase	21.82 ± 1.03 ^a	24.09 ± 0.32 ^{ab}	26.37 ± 0.31 ^{bc}	30.59 ± 1.73 ^d	29.47 ± 2.88 ^d	28.57 ± 1.86 ^{cd}	
肝脂酶 hepatic lipase	22.50 ± 1.93 ^a	24.57 ± 2.05 ^{ab}	27.24 ± 2.27 ^{bc}	34.28 ± 2.46 ^d	30.04 ± 1.15 ^c	29.39 ± 1.69 ^c	
总酯酶 total lipase	44.32 ± 2.25 ^a	48.66 ± 2.36 ^a	53.61 ± 3.30 ^a	64.87 ± 5.34 ^b	60.51 ± 2.73 ^b	57.96 ± 3.42 ^b	
脂肪酸合成酶 fatty acid synthetase	204.26 ± 7.13 ^f	166.59 ± 3.77 ^e	129.30 ± 9.28 ^d	86.81 ± 3.86 ^c	63.03 ± 4.97 ^b	48.53 ± 2.75 ^a	

3 讨论

饲料脂肪水平一定范围内的升高有利于提高鱼类对饲料的利用率^[1],但过高的脂肪含量则会引起肝脂的沉积^[5]。Nanton 等^[17]报道,饲料中脂肪含量超过 14% 时,鳙鱼 (*Melanogrammus aeglefinus*) 的肝体指数和肝脂含量显著升高, Wang 等^[18]发现,军曹鱼 (*Rachycentron canadum*) 的肝体指数和脏体指数随饲料脂肪的升高而增大,饲料脂肪水平达到 16.55% 时,吉富罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 鱼体肝体指数和脏体指数较高。李坚明等^[4]研究表明,饲料中脂肪水平超过 4% 将对奥尼罗非鱼肝脏形态学与组织学产生一定影响,脂肪水平为 6%~8% 时,其肝胰脏出现肿大,Chatzifotis 等^[19]则认为饲料脂肪水平对大西洋白姑鱼 (*Argyrosomus regius*) 肝体指数和脏体指数影响不显著。本实验中,白甲鱼幼鱼肝体指数和脏体指数均随饲料脂肪水平的升高上升。与王爱民等^[20]对异育银鲫 (*Carassius auratus gibel*)、Tibbetts 等^[21]对黑线鳕 (*Melanogrammus aeglefinus*)、Luo 等^[22]对点带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*) 研究结果基本一致。说明随着饲料中脂肪含量的逐渐升高,白甲鱼从饲料中吸收的脂肪数量逐渐增多,从而使肝脏分解脂肪的代谢负担逐渐加重,导致肝组织增大;肥满度是一个粗略的衡量鱼类的能源储备和鱼类的健康指标^[23]。在养殖过程中,肥满度的变化情况可以反映鱼类的营养状况^[19]。甘晖等^[24]研究认为,奥尼罗非鱼幼鱼的肥满度随饲料脂肪水平升高呈先上升后下降的变化趋势,且在饲料脂肪水平达到 4% 时最高,吉富罗非鱼的肥满度在饲料脂肪水平为 5.69% 时最高,但在饲料脂肪水平为 5.69%~9.64% 时无明显差异。本实验中白甲鱼幼鱼的肥满度随饲料脂肪水平的升高呈先升后降的变化趋势。且在脂肪水平为 9.14% 时最大,与上述研究结果基本一致。说明适当增加饲料脂肪含量能增加白甲鱼的营养贮存。但 Chatzifotis 等^[25]对弓背石首鱼 (*Sciaena umbra*)、崔培等^[26]对红白锦鲤 (*Cyprinus carpio*) 的研究认为饲料脂肪水平对肥满度无明显影响。可能是由于实验鱼的种类不同所致。

鱼体组织中的脂肪含量随着饲料脂肪含量的增加而增加,并且使脂肪在鱼体腹腔、肝脏和肌肉

组织中不断蓄积^[27]。王爱民等^[20]研究发现,饲料脂肪水平在 6.04%~9.88% 时,异育银鲫肌肉及肝胰脏中脂肪沉积量显著增加,高脂饲料可提高虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 鱼体脂肪的含量^[28],马平^[29]认为,饲料中添加 5%~15% 的鱼肝油,赤点石斑鱼 (*Epinephelus akaara*) 均会出现脂肪大量沉积,且添加量大于 10% 时部分鱼肝脏出现脂肪肝症状,冯健等^[5]发现红姑鱼肝胰脏脂肪含量与饲料脂肪水平成正相关关系。本实验中白甲鱼幼鱼肌肉和肝脏脂肪含量均随饲料脂肪水平的升高而逐渐升高。这与 Peres 等^[30]对欧洲鲈鱼 (*Dicentrarchus labrax*)、Chatzifotis 等^[25]对大西洋白姑鱼 (*Argyrosomus regius*) 的报道相一致。其可能原因是由于鱼类从饲料中摄入的脂肪过剩,从而将其转化为体脂,贮存在肝脏、肌肉中,增加能量储备,但过高的饲料脂肪水平将增加尼罗罗非鱼肝脏、内脏及鱼体中的脂肪含量,影响其肉质^[31],同时,脂肪在肝脏的积累会使鱼体肝细胞排列不规则,肝细胞明显增大,且肝细胞胞浆内出现明显的脂肪滴,使肝细胞浆空泡化甚至坏死^[4],影响正常的肝脏功能。因此,过高的脂肪水平将导致鱼体出现营养性脂肪肝,将脂肪水平控制在合理水平是预防鱼类肝脏疾病的关键因素。

适当增加饲料的脂肪水平,能有效提高饲料效率和饲料蛋白利用率^[32]。Martins 等^[33]报道,随着饲料脂肪水平的提高,大西洋比目鱼 (*Hippoglossus hippoglossus*) 对饲料氮、能量和脂肪的沉积效率呈微弱的先升后降的变化趋势,且对饲料氮、能量和脂肪的沉积效率分别为 59%~62%、48%~56% 和 73%~82%;Grisdale-Helland 等^[34]也证明,大西洋比目鱼的蛋白质沉积率为 48%~55%;Peres 等^[30]发现欧洲鲈鱼对饲料氮和能量的沉积效率随饲料脂肪水平的升高而先升后降,且在饲料脂肪水平为 18.4% 时最高,而对饲料脂肪的沉积效率则呈降低的趋势。Wang 等^[18]则认为,饲料脂肪水平的升高不能引起军曹鱼对饲料氮的沉积效率显著增加,而对饲料能量和脂肪的沉积总量随饲料脂肪水平升高而升高。本实验中,随饲料脂肪水平的升高,白甲鱼对饲料氮和能量的沉积效率则随饲料脂肪水平的升高呈先升后降的变化趋势,饲料脂肪的沉积量呈上升趋势,饲料脂肪的沉积率则呈下降趋势,饲料脂肪含

量对白甲鱼肌肉和肝胰脏脂肪含量的影响相吻合。说明一定范围内的饲料中脂肪含量能起到节约饲料蛋白和减少氮的排放量的作用^[1]。但超出一定的含量则会使脂肪过多沉积,影响鱼类肝胆的正常生理功能^[4],反而降低了对饲料蛋白质、脂肪和能量的利用率。

消化酶活性的高低决定了鱼类生长发育的速度^[35]。而所投喂饲料的组成和营养物质的含量可影响鱼类消化酶活性^[36]。Fountoulaki 等^[37]发现投喂脂肪含量高的饲料会增加金头鲷(*Sparus aurata*)脂肪酶的活性;向泉等^[38]也发现翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)肠道脂肪酶活性随饲料脂肪水平的升高呈先升后降的变化趋势;岳彦峰等^[39]研究表明,褐菖鲉肠道脂肪酶活性随着饲料脂肪水平的升高而上升;王重刚等^[40]研究表明真鲷(*Pagrosomus major*)稚鱼的脂肪酶活性随饲料脂肪水平的升高而下降。本实验中,白甲鱼肠道脂肪酶活性随饲料脂肪水平的升高呈先升后降的变化趋势,且在脂肪水平为 9.14% 时活性最强。与汤保贵等^[41]军曹鱼(*Rachycentron canadum*)、涂玮等^[16]对尼罗罗非鱼(*Oreochromis nilotica*)的研究结果相一致,而与韩光明等^[42]对吉富罗非鱼、宋理平等^[43]对厚唇弱棘鲷(*Hephaestus fuliginosus*)的研究结果有差异。可能是由于实验鱼的种类、生长阶段及实验饲料的组成等因素所引起的。

脂蛋白酯酶(LPL)和肝酯酶(HL)是鱼类肝脏参与脂肪分解代谢的两个关键酶,梁旭方等^[44]研究发现,饥饿、高脂食物等营养因素均能诱导真鲷(*Pagrosomus major*)的 LPL mRNA 在肝脏中的表达,当投喂高脂饲料时,诱导产生的大量肝脏 LPL 将为肝脏提供更多的来源于饲料的游离脂肪酸,从而使肝脏有可能出现营养诱导性脂肪蓄积,随着饲料脂肪水平的提高,尼罗罗非鱼脂蛋白酯酶、肝酯酶和总酯酶均呈先升后降的趋势,且饲料脂肪水平达 11.13% 时显著降低^[16],褐菖鲉(*Sebastiscus marmoratus*)脂蛋白酯酶和肝酯酶活性均随着饲料脂肪水平的增加呈微弱的上升趋势^[39]。本实验中白甲鱼幼鱼的脂蛋白酯酶、肝酯酶和总酯酶均随饲料脂肪水平的增加呈先升后降的趋势,且均在饲料脂肪水平为 9.14% 时活性最高。高脂饲料可诱导瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus bleekeri*)肝脏 LPL mRNA 的表达,且饲料脂肪水平

大于 15.4% 时,其肝脏 LPL mRNA 表达水平显著提高^[45]。说明一定范围内的饲料脂肪含量可以提高白甲鱼脂蛋白酯酶、肝酯酶及总酯酶的活性,提高其对饲料脂肪的消化与吸收,但当饲料脂肪含量高于 9.14% 后,导致了白甲鱼幼鱼肝脏中脂肪蓄积过多,使其肝脏发生病变。导致酶的分泌能力减弱。

脂肪酸合成酶(FAS)在动物体脂生成、沉积中发挥重要作用。Choct 等^[46]认为,饲料营养因素是影响 FAS mRNA 表达最主要的因素之一。吉富罗非鱼肝脏中脂肪酸合成酶随饲料脂肪水平升高有降低的趋势^[47],Jantrarotai 等^[48]发现,饲料中脂肪水平越高,杂交鲇(*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*)脂肪合成相关酶的活性越低,尼罗罗非鱼的脂肪酸合成酶活性随饲料脂肪水平的升高而降低^[16],本实验中,白甲鱼的脂肪酸合成酶活性也随饲料脂肪水平的升高而呈减弱的趋势,说明饲料脂肪水平对脂肪酸合成酶的活性有抑制作用。可能是因为鱼类从饲料中吸收了充足的外源性脂肪,可以满足其机体对脂肪酸的需求,则以脂肪为原料合成脂肪酸的需求减弱,最终导致脂肪酸合成酶分泌量减少,活性降低。

4 小结

本实验条件下,饲料脂肪水平能显著影响白甲鱼幼鱼的形体指数、饲料脂肪的沉积及脂肪代谢酶的活性。说明适当的饲料脂肪水平可以提高饲料营养物质的利用率,但饲料脂肪水平达到或超过 11.35% 时将使白甲鱼肝脏脂肪沉积增多并诱发脂肪肝。

参考文献:

- [1] Hillestad M, Johnsen F. High-energy/low-protein diets for Atlantic salmon: effects on growth, nutrient retention and slaughter quality [J]. *Aquaculture*, 1994, 124(1-4): 109-116.
- [2] Borges P, Oliveira B, Casal S, et al. Dietary lipid level affects growth performance and nutrient utilisation of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) juveniles [J]. *The British Journal of Nutrition*, 2009, 102(7): 1007-1014
- [3] Huang S S O. Choline requirements of hatchery-produced juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) [J]. *Aquaculture*, 1989, 78(2): 183-194.

- [4] 李坚明,甘晖,冯广朋,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.
- [5] 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[J]. 海洋科学,2004,28(6):28-31.
- [6] 马晶晶,邵庆均,许梓荣,等. N-3 高不饱和脂肪酸对黑鲷幼鱼生长及脂肪代谢的影响[J]. 水产学报,2009,33(4):639-648.
- [7] Gaylord T G, Gatlin III D M. Dietary lipid level but not l-carnitine affects growth performance of hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂) [J]. Aquaculture,2000,190(3-4):237-246
- [8] 周兴华,郑曙明,吴青,等. 白甲鱼肌肉营养成分与品质的评价[J]. 西南大学学报:自然科学版,2007,29(8):123-128.
- [9] 李勇,张耀光,谢碧文,等. 白甲鱼胚胎和胚后发育的初步观察[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2006,31(5):142-147.
- [10] 陈先均,周剑,李孟均. 白甲鱼生物学特征与繁殖技术初探[J]. 江苏农业科学,2008,26(6):222-223.
- [11] 贺建华. 饲料分析与检测[M]. 北京:中国农业出版社,2003:19-46.
- [12] 田娟,冷向军,李小勤,等. 肉碱对草鱼生长性能、体成分和脂肪代谢酶活性的影响[J]. 水产学报,2009,33(2):295-302.
- [13] 李伟国. 饲料脂肪源对中华绒螯蟹生长、体脂沉积和 FAS 的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2005.
- [14] 中山大学生物系. 生化技术导论[M]. 北京:科学出版社,1979:57-62.
- [15] 田维熙,董妍,权晖,等. 不同生长期蛋鸡的体脂水平和肝脏脂肪酸合成酶活性的关系[J]. 生物化学杂志,1996,12(2):234-236.
- [16] 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.
- [17] Nanton D A, Lall S P, McNiven M A. Effects of dietary lipid level on liver and muscle lipid deposition in juvenile haddock, *Melanog rammus aeglefinus* L. [J]. Aquaculture Research,2001,32 (Suppl. 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] 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.
- [20] 王爱民,吕富,杨文平,等. 饲料脂肪水平对异育银鲫生长性能、体脂沉积、肌肉成分及消化酶活性的影响[J]. 动物营养学报,2010,22(3):625-633.
- [21] 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):67-75
- [22] 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
- [23] Goede R W, Barton B A. Organismic indices and an autopsy-based assessment as indicators of health and condition of fish [J]. American Fisheries Society Symposium,1990,8(1):93-108.
- [24] 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[J]. 上海海洋大学学报,2009,18(1):35-41.
- [25] Chatzifotis S, Martin-Prat A V, Limberis N, et al. First data on growth of cultured brown meagre *Sciaena umbra* using diets with different protein and fat contents [J]. Fisheries Science,2006,72(1):83-88.
- [26] 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.
- [27] Grisdale-Helland B, Shearer K D, Gatlin III D M, et al. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, protein digestibility, feed utilization and body composition of Atlantic cod (*Gadus morhua*) [J]. Aquaculture,2008,283(1-4):156-162.
- [28] Gélinau A, Corraze G, Boujard T, et al. Relation between dietary lipid level and voluntary feed intake, growth, nutrient gain, lipid deposition and hepatic lipogenesis in rainbow trout [J]. Reproduction, Nutrition, Development,2001,41(6):487-503
- [29] 马平. 添加油脂影响石斑鱼幼鱼内脏脂肪蓄积的试验[J]. 台湾海峡,1996,15(suppl.):55-57.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] Torstensen B E, Lie Ø, Hamre K. A factorial experimental design for investigation of effects of dietary lipid content and pro- and antioxidants on lipid composition in Atlantic salmon (*Salmo salar*) tissues and lipoproteins [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2001,7(4):265-276.
- [33] Martins D A, Valente L M P, Lall S P. Effects of dietary lipid level on growth and lipid utilization by juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*, L.) [J]. *Aquaculture*,2007,263(1-4):150-158
- [34] Grisdale-Helland B, Helland S J, Baeverfjord G, *et al.* Full-fat soybean meal in diets for Atlantic halibut: growth, metabolism and intestinal histology [J]. *Aquaculture Nutrition*,2002,8(4):265-270.
- [35] 向泉,周兴华,陈建,等. 饲料蛋白水平及鱼粉蛋白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.
- [36] Kawai S, Ikeda S. Effect of dietary change on the activities of digestive enzymes in carp intestine [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*,1972,38(3):265-270.
- [37] Fountoulaki E, Alexis M N, Nengas I, *et al.* Effect of diet composition on nutrient digestibility and digestive enzyme levels of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) [J]. *Aquaculture Research*, 2005,36(13):1243-1251.
- [38] 向泉,周兴华,陈建,等. 饲料中脂肪含量对翘嘴红鲌幼鱼消化酶活性的影响[J]. *北京水产*,2008(5):35-38.
- [39] 岳彦峰,彭士明,施兆鸿,等. 饲料脂肪水平对褐菖鲉生长、肠道消化酶及主要脂代谢酶活力的影响[J]. *南方水产科学*,2012,8(6):50-56.
- [40] 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:中文版*,1998,20(4):103-106.
- [41] 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.
- [42] 韩光明,王爱民,徐跑,等. 饲料中脂肪水平对吉富罗非鱼幼鱼成活率、肌肉成分及消化酶活性的影响[J]. *上海海洋大学学报*,2010,19(4):469-474.
- [43] 宋理平,韩勃,冒树泉,等. 脂肪水平对厚唇弱棘鲷生长及肠道脂肪酶活性的影响[J]. *广东海洋大学学报*,2010,30(1):13-17.
- [44] 梁旭方,白俊杰,劳海华,等. 真鲷 (*Pagrus major*) 脂蛋白脂肪酶基因表达与内脏脂肪蓄积营养调控定量研究 [J]. *海洋与湖沼*,2003,34(6):625-631.
- [45] 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肪酶基因表达的影响[J]. *水生生物学报*,2010,34(4):815-821.
- [46] Choct M, Annison G. Anti-nutritive activity of wheat pentosans in broiler diets [J]. *British Poultry Science*,1990,31(4):811-821.
- [47] 王爱民,韩光明,韦信键,等. 吉富罗非鱼 FAS 基因的克隆及再投喂和饲料脂肪水平对其表达的影响[J]. *水产学报*,2010,34(7):1113-1120.
- [48] Jantrarat W, Sitasit P, Rajchapakdee S. The optimum carbohydrate to lipid ratio in hybrid *Clarias catfish* (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) diets containing raw broken rice [J]. *Aquaculture*,1994,127(1):61-68.

Effect of dietary lipid level on body index, lipid deposition and lipid metabolic enzyme activities of juvenile *Onychostoma sima*

XIANG Xiao^{1,2}, ZHOU Xinghua¹, CHEN Jian¹, WANG Wenjuan¹,
HUANG Hui¹, LI Daijin¹, WU Qing¹, ZHOU Xiaoqiu^{2*}

(1. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, Department of Fisheries in Rongchang Campus, Southwest University, Chongqing 402460, China;

2. Animal Nutrition Institute, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effect of dietary lipid level on the body index, lipid deposition and lipid metabolic enzyme activities of juvenile *Onychostoma sima*. We randomly assigned fish ($n = 900$) with average initial body weight of (0.78 ± 0.05) g into 6 groups consisting of 3 replicates that each replicate was 50 fish. Six isonitrogenous and isoenergetic diets (40% CP and 16.30 MJ/kg GE) were formulated containing 0 (control group), 2%, 4%, 6%, 8% or 10% soybean oil respectively. Those actual lipid level was 2.83%, 4.52%, 6.68%, 9.14%, 11.35% and 14.07%, respectively. The experiment lasted for 60 days. The results showed that the condition factor (CF) of *Onychostoma sima* initially increased with increasing lipid levels, but then decreased, the CF was highest (2.64%) when the dietary lipid level was 9.14%, but there was no significant differences when lipid level were 6.68% - 14.07%, ($P > 0.05$). The hepatosomatic index (HSI) increased with increasing dietary lipid levels ($P < 0.05$), while viscerosomatic index (VSI) had no significant differences ($P > 0.05$). The crude lipid content of muscle and liver were easily affected by dietary lipid levels, and the crude lipid content of muscle and liver increased with increasing dietary lipid levels. There was no significant effect of dietary lipid level on nitrogen gain ($P > 0.05$), energy gain was highest when the dietary lipid level was 14.07%, at the same time, the nitrogen and energy retention initially increased with increasing lipid levels, but then decreased, those were highest when the dietary lipid level was 11.35% and 9.14% respectively. Lipid gain of *Onychostoma sima* increased with increasing dietary lipid levels, but the lipid retention decreased ($P < 0.05$). The activities of intestinal lipase initially increased with increasing lipid levels, but then decreased, and the activities of lipoprotein lipase, hepatic lipase and total lipase first increased, then decreased as the level of dietary lipid increased, those were all highest (296.03 U/g, 30.59 U/g, 34.28 U/g and 64.87 U/g respectively) when the dietary lipid level was 9.14%. At the same time, fatty acid synthetase (FAS) decreased with the increase of contents. Results of above show that suitable dietary lipid level could improve the utilization rate of feed nutrients and reduce body lipid deposition, but when dietary lipid level reaches or exceeds 11.35%, the lipid deposition in liver would increase, which is bad for health and growth of *Onychostoma sima*.

Key words: *Onychostoma sima*; dietary lipid level; body index; lipid deposition; lipid metabolic enzyme

Corresponding author: ZHOU Xiaoqiu. E-mail: xqzhouqq@tom.com