

文章编号: 1004-2490(2022)01-0067-11

饲料脂肪水平对血鸚鵡鱼吸收虾青素效果、 生长性能和血清生化指标的影响

邬国强^{1,2}, 汪学杰¹, 牟希东¹, 刘 超¹,
刘 奕¹, 杨叶欣¹, 胡隐昌¹, 宋红梅¹

(1. 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 农业农村部休闲渔业重点实验室, 广东省现代休闲渔业
工程技术研究中心, 广州 510380; 2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘 要: 为了探讨血鸚鵡鱼(*Vieja synspila* ♀ × *Amphilophus citrinellus* ♂)增色期饲料脂肪水平对其生长、免疫力和吸收虾青素的效果, 选取 540 尾血鸚鵡鱼随机分为 6 组, 投喂虾青素为 4 %而脂肪添加水平分别为 2.93% (对照组)、5.90%、8.89%、11.91%、14.94%、17.92% 的饲料 60 d。结果显示: 1) 随着脂肪添加量的增加, 血鸚鵡鱼增重率和特定生长率先升高后降低, 饲料脂肪水平为 11.91 % 时增重率和特定生长率达到最高值, 与对照组差异显著($P < 0.05$)。2) 体色的红值(a^*)、黄值(b^*)和组织中的类胡萝卜素含量均随着脂肪添加量的增加呈先升高后降低的趋势, 体表红值(a^*)和类胡萝卜素含量均在脂肪添加水平为 14.94% 时达到最大值, 且显著高于其他组($P < 0.05$); 黄值(b^*)在 11.91 % 组达到最大值, 与 14.94% 组无显著差异, 但显著高于其他组($P < 0.05$); 色泽亮度值 L 值在各组间无显著差异($P > 0.05$)。3) 游离脂肪酸 (NEFA) 在 14.94% 组达到最低值, 并显著低于其他组($P < 0.05$); 总蛋白 (TP) 在 11.91% 组最高, 显著高于对照组($P < 0.05$); 胆汁酸 (TBA) 和血清总胆固醇 (TCHO) 含量分别在 11.91% 组和 14.94% 组达到最大值, 且显著高于其他组($P < 0.05$)。研究表明, 在一定虾青素含量的饲料中, 适量添加脂肪可提高血鸚鵡鱼的生长性能、有效改善虾青素的吸收效率, 增强机体免疫力, 过高的脂肪水平则对虾青素吸收无益。综合分析各指标, 推荐血鸚鵡鱼着色饲料(4 %虾青素)中适宜的脂肪水平为 11.91% ~ 14.94%。

关键词: 血鸚鵡鱼; 饲料脂肪水平; 体色; 血清生化指标; 生长性能

中图分类号: S 96

文献标志码: A

血鸚鵡鱼(*Vieja synspila* ♀ × *Amphilophus citrinellus* ♂), 俗称发财鱼, 属鲈形目(Perciformes), 慈鲷科(Cichlidae), 是由慈鲷科的父本红魔鬼鱼(*Amphilophus citrinellus*)和母本紫红火口鱼(*Vieja synspila*)杂交获得, 仔鱼期体呈黑色, 成鱼期体通红, 呈椭圆状。因其体色鲜艳, 体态喜人, 深受消费者喜爱, 是观赏鱼市场中主要的销售品种之一。传统的观赏鱼饲料多以鲜活的饵料为主, 如丰年虫(*Eubbranchipus vernalis*)、

黄粉虫(*Tenebrio molitor*)、羽摇蚊幼虫(*Chironomus plumosus*)等, 但相比于配合饲料, 天然饵料有不易保存、容易变质、滋生细菌、造成水体环境污染等问题。给观赏鱼投喂营养全面、存储方便且安全性高的配合饲料是观赏鱼产业发展的必然趋势^[1]。由于观赏鱼的品种繁多, 国内研究观赏鱼的饲料针对性不强, 目前针对特定观赏鱼种类营养需要的研究也不够深入。观赏鱼的培养更加重视体色和形态, 因此围绕特定观赏

收稿日期: 2020-08-26

基金项目: 中国东盟海上合作基金(CAME-2020F); 国家水产种质资源共享服务平台(2020DKA30470); 广东省自然科学基金(2020A1515010304)

作者简介: 邬国强(1997—), 男, 广东兴宁人, 硕士研究生, 研究方向: 鱼类分子营养与功能饲料。E-mail: wgq361731661@163.com

通信作者: 宋红梅, 副研究员。E-mail: shm1227@126.com

鱼品种的营养配比研究要兼顾观赏鱼的体色要求和生长需要。

脂肪作为鱼类必需的营养物质之一,对鱼类的生长繁殖起着至关重要的作用^[2]。据报道,饲料脂肪水平的不同可影响虹鳟(*Sparus aurata*)对类胡萝卜素的吸收利用,从而影响其体色^[3-4]。付旭等^[5]研究发现,饲料脂肪水平对淡黑镊丽鱼(*Labidochromis caeruleus*)的色素蓄积有显著影响。然而饲料脂肪的添加水平并非越高越好,过度的添加可导致脂肪肝的发生和免疫力的下降^[6]。类胡萝卜素是决定鱼类体色的主要物质^[7],但鱼类自身并不能合成类胡萝卜素,必须通过投喂含类胡萝卜素的着色饲料达到增色效果,而类胡萝卜素是通过脂质代谢的途径被鱼体代谢和沉淀^[8]。目前,观赏鱼增色饲料中最常用的增红剂是虾青素(astaxanthin, AST),然而虾青素价格昂贵,在着色饲料投入中占比大,鱼类对虾青素的消化利用率却较低,探索观赏鱼着色饲料中类胡萝卜素与脂肪的适宜添加配比,在节约虾青素用量的情况下达到理想着色效果是解决这一问题的关键。目前,有关血鹦鹉鱼营养相关研究主要集中在着色添加剂投喂量^[9]、抗氧化能力^[10]、非特异性免疫^[11]等方面,但不同脂肪水平与虾青素的适宜配比研究鲜见报道,本研究通过添加不同水平的脂肪和定量的虾青素饲喂血鹦鹉鱼,以确定在不影响血鹦鹉鱼正常的生长条件下,着色饲料中脂肪的最适添加量,为观赏鱼着色饲料研究提供科学依据以节约成本。

1 材料与方法

1.1 实验用鱼及饲养管理

实验对象为 540 尾平均体质量为 (28.84 ± 4.84) g 的血鹦鹉鱼,取自中国水产科学研究院珠江水产研究所观赏鱼基地。将试验鱼适应性驯养 7 d 后随机分为 6 组,每组 3 个重复,每个重复 30 尾鱼,放于规格为 120 cm × 60 cm × 50 cm 的玻璃鱼缸中。实验期间每日投喂 2 次(09:00 和 16:00),投饲率 3%,饲养水温 (27 ± 1) °C,每周换曝气水 3 次,每次换水量为总体水量的 1/3。养殖实验周期 60 d。

1.2 实验饲料

实验饲料为自制配合饲料,以豆油为脂肪源,为排除饲料蛋白和能量的影响,饲料中添加

了等量的鱼粉、豆粕、面粉、菜籽粕和棉籽粕,用纤维素调节脂肪的梯度。6 个组分别为:饲喂含 4 % 虾青素的基础饲料作为对照组(L1 组),饲喂 4 % 虾青素基础饲料并添加 3%、6%、9%、12%、15% 豆油的试验组(分别为 L2、L3、L4、L5、L6 组)。6 个脂肪梯度组(L1、L2、L3、L4、L5、L6)饲料中脂肪的实测含量依次为 2.93%、5.90%、8.89%、11.91%、14.94%、17.92%。添加剂的虾青素购于德国巴斯夫,纯度为 10%。各组饲料原料粉碎机粉碎,并经过 80 目标准分样筛,混合均匀后,用小型颗粒机加工成直径为 2 mm 的沉性颗粒饲料,晾干后密封,−20 °C 保存备用。饲料配方组成见表 1。

1.3 样品采集

实验开始前和结束后,鱼禁食 24 h,每个重复组取 10 尾鱼共计 180 尾进行体质量、体长测定,用于测定增重率和特定生长率指标。用 1 mL 注射器尾静脉采血,静置 1 h 后,用恒温离心机(4 °C, 6 000 r · min^{−1})离心 15 min,分离血清,将血清样品 −80 °C 保存,用于血清生化指标的测定。解剖鱼体,称取肝脏用于测定肝体比。采血后的试验鱼,其中每个重复组随机取 5 尾共计 90 尾血鹦鹉鱼,分别取约 0.05 g 鳞片、皮肤和尾鳍提取类胡萝卜素,鳞片和皮肤取自鱼体中部侧线部分。

1.4 指标测定

1.4.1 生长性能的测定

实验中的增重率、特定生长率和肝体比的计算公式如下:

$$\text{增重率 (WGR, \%)} = [(W_1 - W_0) / W_0] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{特定生长率 (SGR, \% \cdot d^{-1})} = [(\ln W_1 - \ln W_0) / t] \times 100 \quad (2)$$

$$\text{肝体比 (HSI, \%)} = (\text{肝脏质量} / \text{鱼体质量}) \times 100 \quad (3)$$

式(1)、式(2)中, W_0 为试验鱼的初始体质量; W_1 为试验鱼的终末体质量; t 为实验天数。

1.4.2 血鹦鹉鱼背部色度值的测定

采用国际发光照明委员会 CIE 规定的 L^* (luminance, 亮度)、 a^* (redness, $-a^*$ 表示偏绿色, $+a^*$ 表示偏红色)、 b^* (yellowness, $-b^*$ 表示偏蓝色, $+b^*$ 表示偏黄色)值来代表鱼体颜色的状态^[12]。使用 CR-400 型色彩色差计(柯尼卡-美

表 1 实验饲料组成与饲料营养水平(风干基础)
Tab.1 Composition and nutrient level of the experimental daily diet (air-dry basis)

项目 Items	L1	L2	L3	L4	L5	L6
鱼粉/(g·kg ⁻¹) Fish meal	80	80	80	80	80	80
豆粕/(g·kg ⁻¹) Soybean meal	220	220	220	220	220	220
菜籽粕/(g·kg ⁻¹) Rapeseed meal	100	100	100	100	100	100
棉籽粕/(g·kg ⁻¹) Cottonseed meal	100	100	100	100	100	100
面粉/(g·kg ⁻¹) Wheat flour	240	240	240	240	240	240
米糠/(g·kg ⁻¹) Rice bran	80	80	80	80	80	80
纤维素/(g·kg ⁻¹) Cellulose	150	120	90	60	30	0
维生素预混料/(g·kg ⁻¹) Vitamin premix ¹	2	2	2	2	2	2
矿物质预混料/(g·kg ⁻¹) Mineral premix ²	5	5	5	5	5	5
氯化胆碱/(g·kg ⁻¹) Choline chloride	3	3	3	3	3	3
磷酸二氢钙/(g·kg ⁻¹) Ca(H ₂ PO ₄) ₂	16	16	16	16	16	16
虾青素/(g·kg ⁻¹) Astaxanthin	4	4	4	4	4	4
豆油/(g·kg ⁻¹) Soybean oil	0	30	60	90	120	150
合计 Total	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
营养水平 Nutrient levels ³						
粗蛋白质/% CP	26.87	26.82	26.85	26.80	26.80	26.83
粗脂肪/% EE	2.93	5.90	8.89	11.91	14.93	17.91

注:1. 维生素预混料每 500 g 提供:维生素 A ,1 100 000 IU;维生素 D3,320 000 IU;烟酸,7 800 mg;维生素 E,2 500 mg;维生素 B1,1 000 mg;生物素,8 mg;维生素 B2,2 000 mg;维生素 B6,1 000 mg;叶酸,400 mg;维生素 B12,125 mg;维生素 C,18 000 mg;酶,1 000 mg;钾(K) 1.1%;氯化钠,4.5%;蛋氨酸,400 mg;水分,≤10%。2. 矿物质预混每千克提供:磷,40.0 g;铁,7.0 g;铜,200.0 mg;锌,3.0 g;锰,2.0 g;镁,25.0 g;碘,30.0 mg;钴,10.0 g;硒,10.0 mg;载体为沸石粉。3. 营养水平为实测值
Note: 1. The vitamin premix provides the following per 500 g of the diet: vitamin A, 1 100 000 IU; vitamin D3, 320 000 IU; nicotinic acid, 7 800 mg; vitamin E, 2 500 mg; vitamin B1, 1 000 mg; biotin, 8 mg; vitamin B2, 2 000 mg; vitamin B6, 1 000 mg; folic acid, 400 mg; vitamin B12, 125 mg; vitamin C, 18 000 mg; enzyme, 1 000 mg; K, 1.1%; NaCl, 4.5%; methionine, 400 mg; moisture, ≤10%. 2. Mineral premix provides the following per 1 kg of the diet: P, 40.0 g; Fe, 7.0 g; Cu, 200.0 mg; Zn, 3.0 g; Mn, 2.0 g; Mg, 25.0 g; I, 30.0 mg; Co, 10.0 mg; Se, 10.0 mg; the carrier is zeolite powder. 3. Nutrient levels are measured values

能达,日本)测定各组鱼体背鳍下方及侧线上方之间区域体色的 L^* 、 a^* 、 b^* 值,并进行统计分析,检验饲料脂肪水平对虾青素吸收的影响,使用前用白板校准,并将鱼体表面的水分擦干。实验结束后,每缸随机选取 6 尾鱼,每组共 18 尾鱼进行测定,测定位置为鱼身体背鳍下方及侧线鳞上方之间的区域。

1.4.3 类胡萝卜素含量的测定

类胡萝卜素的提取和测定方法参考 BOONYARATPALIN 等^[13]的方法,类胡萝卜素含量的计算公式如下:

$$S = (A \times K \times V) / (E \times G) \tag{4}$$

式(4)中, S 为类胡萝卜素含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); A 为吸光度值; K 为常数(10 000); V 为提取液体积(mL), E 为吸光系数(2 500); G 为样品质量(g)。

1.4.4 血清指标分析

血清生化指标采用购自南京建成生物工程研究所的总胆固醇(T-CHO)测试盒、游离脂肪酸(NEFA)测试盒、总胆汁酸(TBA)测试盒、总蛋白(TP)定量测试盒进行测定。

1.5 数据统计与分析

实验数据用 Excel 2019 处理,均以“means ± SD”表示,结果用 Statistica 6.0 进行相关性检验,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)做显著性检验,用最小显著差异法(least significant difference, LSD)进行组间多重比较,显著差异水平设为 $P < 0.05$,并利用 Origin 9.1 作图。

2 结果与分析

2.1 饲料脂肪水平对血鸬鱼生长性能的影响

由表 2 可知,随着饲料脂肪添加水平的升高,血鸬鱼的末体质量、SGR、WGR 均呈先升高后下降、在 L6 组再上升的趋势。当饲料脂肪水平为 11.91%(L4 组)时,血鸬鱼的末体质量、SGR 和 WGR 达到最大,分别为 40.86 g、 $0.63\% \cdot \text{d}^{-1}$ 和 5.22%,均显著高于其他组($P < 0.05$)。HSI 除 L2 组外,其他组均随着饲料脂肪添加水平升高而升高,各组间均有显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 饲料脂肪水平对血鸚鵡鱼体表色度值 L^* 、 a^* 、 b^* 的影响

由表 3 可知,饲料中脂肪水平对血鸚鵡鱼中表示亮度值的 L^* 值无显著性影响 ($P > 0.05$),但对表示红色值的 a^* 值和表示黄色值的 b^* 值有影响。随着饲料脂肪水平升高,表示体表红色值的 a^* 值呈现先增大后减小的趋势,L4 组 a^* 值最大,且显著高于 L1、L2、L3、L5 和 L6 ($P < 0.05$)。饲料脂肪添加水平对 b^* 值的影响与 a^* 值类似,整体呈先增大后减小的趋势,L3 组 b^* 值最大,显著高于 L1、L2、L5 和 L6 组 ($P < 0.05$),与 L4 组无显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.3 饲料脂肪水平对血鸚鵡鱼组织中类胡萝卜素含量的影响

从图 1 可知,饲料脂肪水平对血鸚鵡鱼鳞片、皮肤和尾鳍中的类胡萝卜素含量都有显著性影响 ($P < 0.05$),随着饲料脂肪水平的升高,鳞片、皮肤和尾鳍中的类胡萝卜素含量均呈现先升高后降低的趋势。其中,L5 组鳞片中的类胡萝卜素含量显著高于 L1、L2、L3、L4 组 ($P < 0.05$),但与 L6 组无显著性差异 ($P > 0.05$);皮肤组织中,L4 组的类胡萝卜素含量最高,且显著高于 L1、L2、L5 和 L6 组 ($P < 0.05$),但与 L3 组无显著性

差异 ($P > 0.05$)。尾鳍中,L4 组的类胡萝卜素含量也最高,且显著高于其他组 ($P < 0.05$)。

2.4 饲料脂肪水平对血鸚鵡鱼血清生化指标的影响

由表 4 可知,总胆固醇 (TCHO) 和总蛋白 (TP) 含量随着饲料脂肪添加量的增加呈先上升后下降的趋势,L5 组的 TCHO 含量最高,显著高于其他各组 ($P < 0.05$),TCHO 和 TP 含量均为试验组 (L2 ~ L6) 显著高于对照组 (L1) ($P < 0.05$)。总胆汁酸 (TBA) 从 L3 组开始随脂肪水平的增加呈现先升高后降低的趋势,L4 组 TBA 含量达到最高值,且显著高于其他组 ($P < 0.05$)。低密度蛋白胆固醇 (LDL-C) 的含量与饲料脂肪水平呈正相关,L5 组的 LDL-C 含量最高,且显著高于 L1 至 L4 各组 ($P < 0.05$),但与 L6 无显著差异 ($P > 0.05$)。不同组的游离脂肪酸 (NEFA) 的含量无明显变化规律,但各试验组 (L2 至 L6) 均显著低于对照组 (L1 组) ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料脂肪水平对血鸚鵡鱼生长性能的影响

脂肪是维持鱼体正常生长和发育的重要营养素之一,也是重要的能量来源。在饲料中提高

表 2 饲料脂肪水平对生长性能的影响

Tab. 2 Influence of dietary lipid level on growth performance

组别 Group	L1 (2.93%)	L2 (5.90%)	L3 (8.89%)	L4 (11.91%)	L5 (14.94%)	L6 (17.92%)
初体质量/g Initial weight	27.97 ± 0.92	27.97 ± 0.92	27.97 ± 0.92	27.97 ± 0.92	27.97 ± 0.92	27.97 ± 0.92
末体质量/g Final weight	31.50 ± 0.91 ^a	34.53 ± 0.61 ^b	39.11 ± 0.77 ^d	40.86 ± 0.99 ^e	36.30 ± 0.60 ^c	39.05 ± 0.68 ^d
特定生长率/(% · d ⁻¹) SGR	0.22 ± 0.02 ^a	0.35 ± 0.02 ^b	0.55 ± 0.01 ^d	0.63 ± 0.04 ^e	0.44 ± 0.03 ^c	0.56 ± 0.03 ^d
增重率/% WGR	4.07 ± 0.06 ^a	4.40 ± 0.06 ^b	4.96 ± 0.05 ^d	5.22 ± 0.13 ^e	4.64 ± 0.07 ^c	4.99 ± 0.08 ^d
肝体比/% HSI	1.61 ± 0.03 ^b	1.40 ± 0.02 ^a	1.75 ± 0.03 ^c	1.81 ± 0.01 ^d	1.86 ± 0.01 ^e	1.97 ± 0.01 ^f

注:表中同一行相同上标字母表示经 LSD 法检验在 0.05 水平差异不显著,不同上标字母表示存在显著性差异

Note: Different superscript letters in the same line indicate that the difference between the treats is significant at the 0.05 probability level through LSD test, and the same superscript letters mean no significant difference

表 3 饲料脂肪水平对体表 L^* 、 a^* 、 b^* 值的影响

Tab. 3 Influence of dietary lipid levels on value of L^* , a^* , and b^* in body surface

组别 Group	L1 (2.93%)	L2 (5.90%)	L3 (8.89%)	L4 (11.91%)	L5 (14.94%)	L6 (17.92%)
亮度值 L^*	59.72 ± 1.34	60.41 ± 1.85	60.55 ± 1.66	60.09 ± 0.95	60.39 ± 1.24	60.30 ± 0.27
红色值 a^*	16.74 ± 1.32 ^a	16.96 ± 1.83 ^a	22.73 ± 1.75 ^b	25.71 ± 1.15 ^c	22.71 ± 1.41 ^b	21.56 ± 0.95 ^b
黄色值 b^*	20.92 ± 1.19 ^a	21.04 ± 3.08 ^a	30.24 ± 1.27 ^c	29.55 ± 1.91 ^c	25.18 ± 1.35 ^b	25.48 ± 1.28 ^b

注:表中同一行相同上标字母表示经 LSD 法检验在 0.05 水平差异不显著,不同上标字母表示存在显著性差异

Note: Different superscript letters in the same line indicate that the difference between the treats is significant at the 0.05 probability level through LSD test, and the same superscript letters mean no significant difference

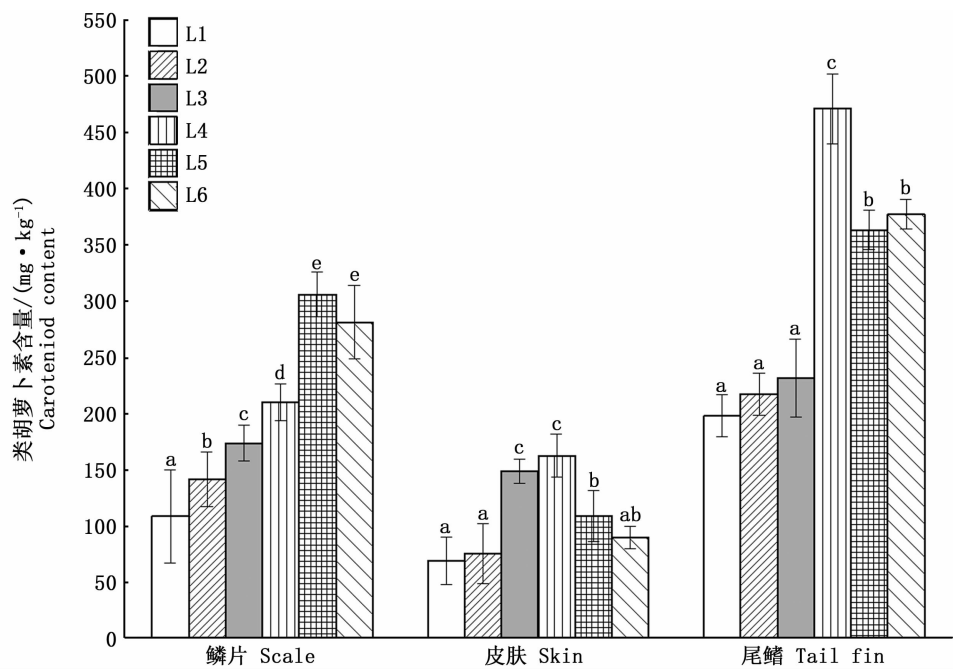


图 1 饲料脂肪水平对血鸚鵡鱼鳞片、皮肤和尾鳍类胡萝卜素含量的影响

Fig.1 Influence of dietary lipid levels on cartenoid content in scale, skin and tail fin of *Vieja synspila* ♀ × *Amphilophus citrinellus* ♂

注:相同字母表示经 LSD 法检验在 0.05 水平上差异不显著,不同字母表示存在显著性差异

Note; Different letters in the same group columns indicate that the difference between the treats is significant at the 0.05 probability level through LSD test, and the same letters mean no significant difference

表 4 饲料脂肪水平对血鸚鵡鱼各项血清生化指标的影响

Tab.4 Influences of dietary lipid levels on biochemical indices of serum of *Vieja synspila* ♀ × *Amphilophus citrinellus*

	L1 (2.93%)	L2 (5.90%)	L3 (8.89%)	L4 (11.91%)	L5 (14.94%)	L6 (17.92%)
总胆固醇/ (mmol·L ⁻¹) TCHO	4.52±0.37 ^a	6.04±0.54 ^b	6.96±0.61 ^c	7.22±0.47 ^c	8.14±0.16 ^d	7.06±0.25 ^c
总蛋白/ (μg·mL ⁻¹) TP	3 206.88±116.46 ^a	4 139.30±179.16 ^c	4 128.76±125.63 ^{bc}	4 272.42±61.04 ^c	4 090.07±181.63 ^{bc}	3 928.52±105.83 ^b
总胆汁酸/ (μmol·L ⁻¹) TBA	22.03±3.18 ^a	21.51±3.19 ^a	63.58±2.01 ^c	76.77±2.98 ^d	43.33±1.88 ^b	44.33±3.75 ^b
低密度脂蛋白胆固醇/ (mmol·L ⁻¹) LDL-C	1.99±0.13 ^a	2.14±0.12 ^b	2.50±0.06 ^c	2.66±0.03 ^d	3.62±0.05 ^c	3.61±0.11 ^c
游离脂肪酸/ (mmol·L ⁻¹) NEFA	0.740±0.042 ^d	0.660±0.035 ^c	0.530±0.028 ^b	0.620±0.019 ^c	0.470±0.024 ^a	0.640±0.041 ^c

注:表中同一行相同上标字母表示经 LSD 法检验在 0.05 水平差异不显著,不同上标字母表示存在显著性差异

Note: Different superscript letters in the same line indicate that the difference between the treats is significant at the 0.05 probability level through LSD test, and the same superscript letters mean no significant difference

脂肪的含量,可以有效的节约蛋白质,促进鱼体生长,还能降低饲料系数^[14]。本实验中,饲料脂肪水平为 11.91 % 时(L4 组),血鸚鵡鱼的特定生长率和增重率均为最高,表明血鸚鵡鱼生长性能最佳。研究发现,饲料脂肪水平为 6.88% 时,胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)的 SGR 和 WGR 最高,推荐的最适脂肪水平为 6.62% ~ 7.02%;饲

料脂肪水平为 9.4 % 时,淡水黑鲷(*Hephaestus fuliginosus*)^[15]的 SGR 最高,生长性能最好;饲料脂肪水平为 10.68 % 时,点篮子鱼(*Siganus guttatus*)幼鱼^[16]的 SGR 和 WGR 最高;参照 SGR 为指标,40 g 左右规格的军曹鱼(*Rachycentron canadum*)的脂肪需求量为 13.97% ~ 14.16%,500 g 左右规格的军曹鱼为 13.18% ~

13.47%^[17]。说明鱼的不同种类、生长阶段对脂肪的需求量也大为不同。本实验中,在 2.93% ~ 11.91% 的脂肪添加水平内,血鸚鵡鱼的 SGR 和 WGR 随着饲料脂肪水平的升高逐渐升高,且存在显著差异,说明在一定饲料脂肪水平范围内,血鸚鵡鱼的生长性能随饲料脂肪水平的升高而升高,这与胭脂鱼^[6]、瓦氏黄颡鱼 (*Pelteobagrus vachelli*)^[18] 和异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*)^[19] 等的研究结果趋势基本一致。肝脏是鱼类脂肪代谢的主要场所和重要的营养储存器官,肝体比可以反映养殖过程中鱼类肝脏的生理状态。但本实验中,随着饲料脂肪水平的升高,血鸚鵡鱼 HSI 呈上升趋势,推测过高的脂肪水平促使肝脏中的脂肪细胞数目增多、体积变大^[20-21],使得肝脏中出现过量脂肪沉积,从而导致肝体比增加,肝组织受损,这与奥尼罗非鱼 (*Oreochromis aureus* × *O. niloticus*) 幼鱼^[22]、白甲鱼 (*Onychostoma sima*) 幼鱼^[14] 和红鳍东方鲀 (*Takifugu rubripes*) 幼鱼^[23] 的研究结果相似。

3.2 饲料脂肪水平对血鸚鵡鱼体表色度值 L^* 、 a^* 、 b^* 的影响

虾青素是水产动物主要的呈色物质^[7], a^* 和 b^* 值的高低反映了鱼体表红色和黄色的量化程度。本实验中,随着饲料脂肪水平的升高, a^* 值、 b^* 值和类胡萝卜素含量呈现相一致的变化趋势,这说明红色和黄色值与血鸚鵡鱼类胡萝卜素含量呈正相关关系,适当提高饲料脂肪水平,在一定范围内对血鸚鵡鱼的体色增红有明显促进作用。本实验还发现,皮肤的 a^* 值和 b^* 值的最高值分别出现在 L4 和 L3 组,之后出现下降,说明过高的脂肪含量无益于类胡萝卜素的吸收,这与付旭等^[5] 对淡黑镊丽鱼 (*Labidochromis caeruleus*) 和崔培等^[24] 对锦鲤 (*Cyprinus carpio*) 的研究结果一致。

3.3 饲料脂肪水平对血鸚鵡鱼组织中类胡萝卜素含量的影响

本实验中,在等量虾青素添加下,适当增高饲料脂肪水平可明显促进血鸚鵡鱼鳞片、皮肤和尾鳍的虾青素沉积。孙向军等^[25] 研究表明,不同饲料脂肪水平对锦鲤体色影响也有相似结果。BARBOSA 等^[26] 报道在加入等量虾青素的饲料中,脂肪水平较高的虹鳟血清中的虾青素含量相应较高,有更多的虾青素沉积。崔培等^[24] 报道当饲料脂肪的添加水平在 5.60% ~ 14.20% 时,锦鲤皮

肤中类胡萝卜素也呈先升高后降低的趋势。TORRISSEN 和 CHRISTIANSEN^[27] 研究表明,随着虹鳟饲料中脂肪水平的升高,虾青素的表观消化率增加,也证明脂肪可以影响鱼类对虾青素的吸收和利用,从而影响鱼类的体色。本实验中,脂肪水平超过 11.91% 时,皮肤中的类胡萝卜素含量显著降低 ($P < 0.05$),说明当饲料脂肪添加超过一定量,反而会影响类胡萝卜素沉积。当虾青素含量为 $400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,添加的饲料脂肪为 11.91% 时,血鸚鵡鱼所能沉积的色素量达到峰值,超过吸收饱和量的类胡萝卜素不能沉积于体内。实验结果可见,相比鳞片和皮肤部位,类胡萝卜素在尾鳍中沉积量最大。张晓红等^[28] 在对血鸚鵡体色的研究中发现,当虾青素添加量在 $30 \sim 900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,尾鳍中类胡萝卜素均高于皮肤,本实验结果与其相似。

3.4 饲料脂肪水平对血清生化水平的影响

血液中的 TP 含量是反映鱼体吸收和代谢蛋白质的重要指标,TP 具有维持血管内渗透压平衡、运输多种代谢物等多种功能,能够反映鱼体的健康状况^[29]。吉富罗非鱼 (*O. niloticus*)^[30]、鳅 (*Elopichthys bambusa*) 幼鱼^[31] 等的研究结果表明,随着饲料脂肪水平的升高,血清中的 TP 的含量呈下降趋势,而本研究中血鸚鵡鱼的 TP 含量呈先上升后下降的趋势,但各试验组鱼的 TP 均高于低脂肪含量的 L1 对照组,当饲料脂肪添加水平大于 11.91% (L4 组) 时,血鸚鵡鱼血液中的 TP 含量出现下降趋势,这可能与蛋白质利用率相关,匙吻鲟 (*Polyodon spathula*) 的 TP 含量也表现为高脂组 (11.64%) 显著高于低脂组 (3.01%)^[32],刘阳洋等^[32] 也认为,在一定范围内提高脂肪添加水平可以促进匙吻鲟对蛋白质的吸收,但饲料脂肪水平过高则无益于提高饲料蛋白的利用率。

血清 TCHO 与鱼类营养状况密切关联,常用于反映生物对脂肪的代谢状况^[33],TCHO 含量升高表明内生脂肪转运状态活跃,是脂肪运转系统对高脂肪饲料的应答^[34]。本实验结果显示,血清 TCHO 与 TP 相似,呈现先升高后下降的变化趋势,低脂对照组 (L1 组) 的 TCHO 含量显著低于其他各高脂肪试验组,这与褐菖鲉 (*Sebastiscus marmoratus*)、额尔齐斯河银鲫 (*Carassius auratus gibelio*)^[35]、白甲鱼幼鱼^[14]、大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*)^[36] 的研究结果基本一致,它们的最适脂肪添加量均在 8% ~ 11%。本实验中,饲料脂肪添

加水平小于 14.94% (L5 组) 时,血鸚鵡鱼血清中 TCHO 持续升高,推测可能是血鸚鵡鱼吸收的脂肪经肝脏合成并转运至血液中的胆固醇,致使其不断升高,而当饲料脂肪添加水平超过 14.94%,TCHO 含量开始下降,此结果可能是脂肪肝发生后肝细胞破损,肝功能受损,进而合成并转运到血液中的胆固醇含量减少造成的^[37]。但在奥尼罗非鱼幼鱼和鳃^[31]幼鱼中,其脂肪建议最适添加浓度是相对较低的 6% 和 8% 左右,TCHO 含量随饲料脂肪水平的升高呈下降趋势。可能饲料脂肪水平对 TCHO 的影响在不同鱼类、不同生长阶段也不同。

低密度脂蛋白胆固醇 (low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C) 是反映脂类在动物体内分解转运的重要反馈指标^[14, 33], LDL-C 将肝脏合成的内源性 CHL 从肝细胞转运到机体组织细胞,临床认为血清 LDL-C 的升高可能预示肝功能异常或其他代谢问题^[39], 本研究中,随着饲料脂肪添加水平的升高,各试验组血清 LDL-C 为上升趋势,这与军曹鱼^[17]、褐菖鲉^[38]、额尔齐斯河银鲫^[35]、匙吻鲟^[32]等的研究结果基本一致。推测血鸚鵡鱼将肝脏转运到血液中的 CHL 降低,饲料脂肪水平对血鸚鵡鱼的肝功能产生了一定影响。

胆汁酸 (TBA) 是肝脏细胞内胆固醇的一种代谢产物,对脂肪的代谢有重要作用,其生成与代谢和肝脏关系密切, TBA 水平是反映肝实质损伤的一项重要指标^[40-41]。一般情况下血清中胆汁酸含量极低,当肝细胞受到损害时,肝细胞对胆汁的摄取功能降低,直接影响胆汁酸及胆固醇的代谢,导致血清中胆汁酸含量升高^[40]。随着饲料脂肪含量的增加,血鸚鵡鱼血清总胆汁酸从 L3 组开始显著升高,到 L5 时又出现降低趋势, L4 组 TBA 含量达到最高值,但高脂肪试验组的 TBA 含量均显著高于低脂肪对照组 ($P < 0.05$), 在鳃^[31]、白甲鱼^[14]、额尔齐斯河银鲫^[35]等上也有类似的先升后降或持续上升但试验组 TBA 值均高于对照组的結果,这说明饲料中过高的脂肪水平使血鸚鵡鱼肝脏细胞组织发生了一定的生理病变。与此相应的是,肝体比 (HIS) 也呈现持续升高的趋势。

4 小结

适量的饲料脂肪添加可提高血鸚鵡鱼对虾青素的吸收效率,增强其免疫力,并促进其生长,过高的脂肪水平却可引起肝损伤。在本实验条件下,结

合对虾青素的利用率、血清生化指标和生长性能,血鸚鵡鱼着色饲料 (4 % 虾青素) 中适宜的脂肪水平为 11.91% ~ 14.94%。本研究可为血鸚鵡鱼着色饲料配置提供参考。

参考文献:

- [1] 张 蓉, 王晓雯, 朱 华. 观赏鱼营养需要研究与饲料配制 [J]. 中国饲料, 2017(17): 5-9.
ZHANG R, WANG X W, ZHU H. Nutrient requirements of ornamental fish and feed formulation [J]. China Feed, 2017, (17): 5-9.
- [2] JOBLING M. National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp [J]. Aquaculture International, 2012, 20(3): 601-602.
- [3] VERGARA J M, LOPEZ-CALERO G, ROBAINA L, et al. Growth, feed utilization and body lipid content of gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed increasing lipid levels and fish meals of different quality [J]. Aquaculture, 1999, 179(1-4): 35-44.
- [4] TORRISSEN O J, HARDY R W, SHEARER K D, et al. Effects of dietary canthaxanthin level and lipid level on apparent digestibility coefficients for canthaxanthin in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1990, 88(3): 351-362.
- [5] 付 旭, 崔前进, 陈 冰, 等. 饲料脂肪水平对淡水黑赭丽鱼生长及色素蓄积的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(1): 56-62.
FU X, CUI Q J, CHEN B, et al. Effects of dietary lipid levels on growth and carotenoid accumulation of freshwater fish cichlid *Labidochromis caeruleus* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2020, 35(1): 56-62.
- [6] 王朝明, 罗 莉, 张桂众, 等. 饲料脂肪水平对胭脂鱼生长性能、肠道消化酶活性和脂肪代谢的影响 [J]. 动物营养学报, 2010, 22(4): 969-976.
WANG C M, LUO L, ZHANG G Z, et al. Effects of dietary lipid levels on growth performance, intestinal digestive enzyme activities and lipid metabolism of Chinese sucker (*Myxocyprinus asiaticus*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2010, 22(4): 969-976.
- [7] 冷向军, 李小勤. 水产动物着色的研究进展 [J]. 水产学报, 2006, 30(1): 140-145.
LENG X J, LI X Q. The recent advance of aquatic animal pigmentation [J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(1): 140-145.
- [8] 韦敏侠, 宋红梅, 蒋燕玲, 等. 苜蓿皂苷促进血鸚鵡鱼对虾青素的吸收及其最适添加水平 [J]. 动物

- 营养学报, 2015, 27(8): 2589–2596.
- WEI M X, SONG H M, JIANG Y L, *et al.* Alfalfa sapoinin promotes astaxanthin absorbtion of blood parrot fish and its optimum supplemental level [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(8): 2589–2596.
- [9] 孙刘娟, 吴李芸, 白东清, 等. 虾青素对血鹦鹉体色、生长和非特异性免疫指标的影响[J]. 北方农业学报, 2016, 44(1): 91–95.
- SUN L J, WU L Y, BAI D Q, *et al.* Effect of staxanthin on parrot blood body color, growth and nonspecific immune indexes [J]. Journal of Northern Agriculture, 2016, 44(1): 91–95.
- [10] 石立冬, 赵 月, 薛晓强, 等. 血鹦鹉鱼饲料中脂肪和虾青素交互作用的研究[J]. 经济动物学报, 2019, 23(4): 191–196.
- SHI L D, ZHAO Y, XUE X Q, *et al.* Interactive effect of dietary lipid and astaxanthin levels on blood parrot fish (*Cichlasoma citrinellum* ♂ × *Cichlasoma synspilum* ♀) [J]. Journal of Economic Animal, 2019, 23(4): 191–196.
- [11] 邢 薇, 姜 娜, 李铁梁, 等. 免疫增强剂对血鹦鹉鱼非特异性免疫的影响[J]. 四川农业大学学报, 2017, 35(1): 99–105.
- XING W, JING N, LI T L, *et al.* Effects of immunostimulants on non-specific immune response in blood parrot fish (*Cichlasoma synspilum* ♀ × *Cichlasoma citrinellum* ♂) [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2017, 35(1): 99–105.
- [12] 孙金辉, 范 泽, 曲 木, 等. 饲料中添加红辣椒粉对锦鲤生长和体色的影响[J]. 水产科技情报, 2016, 43(5): 249–254.
- SUN J H, FAN Z, QU M, *et al.* Effects of dietary red pepper powder on growth and body color of brocade carp [J]. Fisheries Science and Technology Information, 2016, 43(5): 249–254.
- [13] BOONYARATPALIN M, THONGROD S, SUPAMATTAYA K, *et al.* Effects of β -carotene source, *Dunaliella salina*, and astaxanthin on pigmentation, growth, survival and health of *Penaeus monodon* [J]. Aquaculture Research, 2001, 32(1): 189–190.
- [14] 向 泉, 周兴华, 陈 建, 等. 饲料脂肪水平对白甲鱼幼鱼生长性能、体组成和血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2013, 25(8): 1805–1816.
- XIANG X, ZHOU X H, CHEN J, *et al.* Effects of dietary lipid level on growth performance, body composition and serum biochemical indices of juvenile *Onychostoma sima* [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013, 25(8): 1805–1816.
- [15] 宋理平, 韩 勃, 王爱英, 等. 脂肪水平对淡水黑鲟生长及体成分的影响[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2010, 7(1): 27–31.
- SONG L P, HAN B, WANG A Y, *et al.* Effects of lipid levels on growth and body composition of freshwater black bream (*Hephaestus fuliginosus*) [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2010, 7(1): 27–31.
- [16] 朱 卫, 刘鉴毅, 庄 平, 等. 饲料脂肪水平对点篮子鱼生长和体成分的影响[J]. 海洋渔业, 2013, 35(1): 65–71.
- ZHU W, LIU J Y, ZHUANG P, *et al.* Effects of dietary lipid level on growth and body composition of *Siganus guttatus* [J]. Marine Fisheries, 2013, 35(1): 65–71.
- [17] 刘迎隆, 麦康森, 徐 玮, 等. 饲料脂肪含量对两种规格的军曹鱼生长、体组成和血清生化指标的影响[J]. 水生生物学报, 2019, 43(2): 5–14.
- LIU Y L, MAI K S, XU W, *et al.* The effect of different lipid levels on the growth performance, body composition and plasma biochemical indices in cobia (*Rachycentron canadum* L.) at two different sizes [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(2): 5–14.
- [18] 袁立强, 马旭洲, 王 武, 等. 饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼生长和鱼体色的影响[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(5): 577–584.
- YUAN L Q, MA X Z, WANG W, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth and body pigmentation of darkbarbel catfish (*Pelteobagrus vachelli* Richardson) [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(5): 577–584.
- [19] 王爱民, 吕 富, 杨文平, 等. 饲料脂肪水平对异育银鲫生长性能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.
- WANG A M, LYU F, YANG W P, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth performance, body fat deposition, muscle composition and activities of digestive enzymes of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2010, 22(3): 625–633.
- [20] UMINO T, NAKAGAWA H, ARAI K. Development of adipose tissue in the juvenile red sea bream [J]. Fisheries Science, 1996, 62(4): 520–523.
- [21] BELLARDI S, BIANCHINI M L, DOMENIS L, *et al.* Effect of feeding schedule and feeding rate on size and number of adipocytes in rainbow trout

- Oncorhynchus mykiss* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1995, 26(1):80-83.
- [22] 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.
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.
- [23] 孙 阳, 姜志强, 李艳秋, 等. 饲料脂肪水平对红鳍东方鲀幼鱼生长、体组成及血液指标的影响[J]. 天津农学院学报, 2013, 20(3):14-18.
SUN R, JIANG Z Q, LI Y Q, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth, body composition and blood parameters of juvenile *Takifug rubripes* [J]. Journal of Tianjin Agricultural University, 2013, 20(3):14-18.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] BARBOSA M J, MORAIS R, CHOUBERT G. Effect of carotenoid source and dietary lipid content on blood astaxanthin concentration in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1999, 176(3-4):331-341.
- [27] TORRISSEN O J, CHRISTIANSEN R. Requirements for carotenoids in fish diets [J]. Journal of Applied Ichthyology, 1995, 11(3-4):225-230.
- [28] 张晓红, 吴锐全, 王海英, 等. 虾青素与螺旋藻对血鹦鹉体色的影响[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(1):79-82.
ZHANG X H, WU R Q, WANG H Y, *et al.* Effect of dietary astaxanthin and spirulina on pigmentation of blood parrot fish (*Cichlasoma citrinellum* × *C. synspilum*) [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(1):79-82.
- [29] DING L, ZHANG L, WANG J, *et al.* Effect of dietary lipid level on the growth performance, feed utilization, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*) [J]. Aquaculture Research, 2015, 41(10):1470-1478.
- [30] 王爱民, 韩光明, 吕 富, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼幼鱼摄食后血脂血糖的影响[J]. 盐城工学院学报, 2011, 24(3):9-14.
WANG A M, HAN G M, LV F, *et al.* Effects of dietary lipid levels on blood lipid, glucose indexes of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Journal of Yancheng Institute of Technology, 2011, 24(3):9-14.
- [31] 赵巧娥, 朱邦科, 沈 凡, 等. 饲料脂肪水平对鳊幼鱼生长、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.
- [32] 刘阳洋, 于海波, 武文一, 等. 饲料脂肪水平对匙吻鲟生长、体组成、消化酶活性、血清生化及抗氧化性能的影响[J]. 水产学报, 2018, 42(12):1940-1956.
LIU Y Y, YU H B, WU W Y, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth, body composition, digestive enzyme activities, serum biochemical indexes and antioxidant performance of *Polyodon spathula* [J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(12):1940-1956.
- [33] 黄春红, 肖调义, 胡 毅, 等. 基于肝脂的草鱼肝脂过量蓄积评价指标构建[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(4):640-649.
HUANG C H, XIAO T Y, HU Y, *et al.* Indicators construction for excessive lipid accumulation in hepatopancreas of grass carp based on hepatopancreas lipid [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2016, 39(4):640-649.
- [34] DING L, ZHANG L, WANG J, *et al.* Effect of dietary lipid level on the growth performance, feed utilization, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*) [J]. Aquaculture Research, 2010, 41(10):1470-1478.
- [35] 高 攀, 焦 飞, 刘 晶, 等. 饲料脂肪水平对大

- 规格额尔齐斯河银鲫生长性能、饲料利用、体成分及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2021,33(4):2178-2186.
- GAO P, JIAO F, LIU J, *et al.* Effects of dietary lipid level on growth performance, feed utilization, body composition and serum biochemical indices of large size gibel carp (*Carassius auratus gibelio* Block) from Irtysh River[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021,33(4):2178-2186.
- [36] 朱婷婷, 金敏, 孙 蓬, 等. 饲料脂肪水平对大口黑鲈形体指标、组织脂肪酸组成、血清生化指标及肝脏抗氧化性能的影响[J]. 动物营养学报, 2018,30(1):126-137.
- ZHU T T, JIN M, SUN P, *et al.* Effects dietary lipid level on growth performance, feed utilization, body composition and serum biochemical indices of large size gibel carp (*Carassius auratus gibelio* Block) from Irtysh River[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(01):126-137.
- [37] MCCULLOUGH, ARTHUR J. The clinical features, diagnosis and natural history of nonalcoholic fatty liver disease[J]. Clinics in Liver Disease, 2004, 8(3):521-533.
- [38] 李云航, 王建钢, 施兆鸿, 等. 饲料脂肪水平对褐菖鱼由血清生化指标、免疫及抗氧化酶活力的影响[J]. 中国水产科学, 2013,20(1):101-107.
- LI Y H, YUE Y F, PENG S M, *et al.* Effects of dietary lipid levels on serum biochemistry indices, immunity, and antioxidant activity in *Sebastiscus marmoratus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013,20(1):101-107.
- [39] 吴永健, 俞 虹, 秦学文, 等. 不同类型高脂血症小而密低密度脂蛋白的水平及调血脂治疗对其影响[J]. 中国循环杂志, 2002,17(6):430-433.
- WU Y J, YU H, QIN X W, *et al.* Small dense low-density lipoprotein in different type of hyperlipidemia: Effect of lipid-lowering therapy [J]. Chinese Circulation Journal, 2002, 17(6):430-433.
- [40] 曹学民. 血清总胆汁酸测定在肝脏疾病中的临床意义[J]. 中国实验诊断学, 2011, 15(1):151-152.
- CAO X M. Clinical significance of serum total bile acid determination in liver disease [J]. Chinese Laboratory Diagnostics, 2011, 15(1):151-152.
- [41] 林 涛. 血清总胆汁酸与丙氨酸氨基转移酶联合测定对肝胆疾病患者的临床价值分析[J]. 检验医学与临床, 2013, 10(5):534-535.
- LIN T. Clinical value analysis on serum TBA and ALT combined determination for hepatobiliary patients [J]. Laboratory Medicine and Clinical Practice, 2013, 10(5):534-535.

Effects of dietary lipid level on astaxanthin absorption, growth performance and serum biochemical indices of *Vieja synspila* ♀ × *Amphilophus citrinellus* ♂

WU Guoqiang¹, CHEN Xudong², WANG Xuejie¹, MU Xidong¹,
LIU Chao¹, LIU Yi¹, HU Yinchang¹, SONG Hongmei¹

(1. Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Leisure Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Guangdong Modern Leisure Fisheries Engineering Technology Research Center, Guangzhou 510380, China; 2. College of Fisheries and Life Science Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: This study was conducted to study the effects of dietary lipid level on astaxanthin absorption effect, growth performance and serum biochemical indexes of *Vieja synspila* ♀ × *Amphilophus citrinellus* ♂. A total of 540 individuals with the average body weight of (28.84 ± 4.84) g were randomly divided into 6 groups with 3 replicates per group and 30 fish per replicate. Fish in the 6 groups were fed with experimental diets containing 0 (control), 3%, 6%, 9%, 12%, 15% (measured lipid levels were 2.93%, 5.90%, 8.89%, 11.91%, 14.94%, 17.92% respectively) for 60 days, respectively. Results showed that: 1) Adding proper amount of fat to the diet could improve the utilization rate of astaxanthin in blood parrot fish. When the fat level was 11.91%, the content of carotenoid and a^* value of body surface red in the skin of test fish were significantly higher than those of other test groups ($P < 0.05$). 2) Proper fat level could improve the growth performance of blood parrot fish. The weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) of blood parrot fish first increased and then decreased with the increase of fat content in feed, while the hepato-body ratio (HSI) continued to increase. When the fat content was 11.91%, WGR and SGR were significantly higher than those of other groups ($P < 0.05$). With the increase of fat level, free fatty acid (NEFA) gradually decreased, total serum cholesterol (TCHO), total protein (TP) and total bile acid (TBA) content first increased and then decreased, and low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) gradually increased. When the fat level was 14.94%, NEFA and TCHO reached the lowest and highest values respectively, which were significantly different from other groups ($P < 0.05$), and LDL-C reached the highest value and was significantly higher than that of the previous groups ($P < 0.05$). When the fat level was 11.91%, TP and TBA were the highest and significantly higher than those of the other groups ($P < 0.05$). It could be concluded that appropriate amount of feed fat could promote the growth of blood parrot fish, improve its astaxanthin absorption efficiency and fish immunity, but too high level can cause liver damage. Under the conditions of this experiment, combining the utilization rate, serum biochemical indexes and growth performance of astaxanthin, the appropriate fat level *Vieja synspila* ♀ × *Amphilophus citrinellus* ♂ coloring feed (4‰ astaxanthin) was 11.91%-14.94%.

Keywords: *Vieja synspila* ♀ × *Amphilophus citrinellus* ♂; dietary lipid level; body color; serum biochemical indexes; growth performance