

饲料蛋白水平对血鹦鹉幼鱼生长、体组成和肠道蛋白消化酶活性的影响

石 英 冷向军 李小勤 刘满仔 史少奕

(上海海洋大学, 省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306)

摘要:为考察饲料蛋白水平对血鹦鹉 *Cichlasoma* sp. 幼鱼生长、体组成和肠道蛋白消化酶活性的影响, 以鱼粉和豆粕为主要蛋白源配制了蛋白质含量分别为 37%、40%、43%、46%和 49% 五种饲料, 饲养平均体重为 0.66 g 的血鹦鹉 6 周。结果表明: 血鹦鹉幼鱼摄食上述 5 种饲料后, 增重率分别为 868.51%、935.95%、1018.28%、925.16% 和 873.86%, 饲料系数分别为 1.55、1.48、1.41、1.47 和 1.56, 摄食饲料蛋白质水平 43% 饲料的血鹦鹉幼鱼具有最佳生长性能。对全鱼体组成成分的分析表明: 血鹦鹉幼鱼鱼体粗蛋白和粗灰分的含量随着饲料中蛋白含量的增加而增加, 而体脂肪含量则呈下降趋势; 在肠道蛋白酶及肝脏 GOT、GPT 活性方面: 随着饲料中蛋白含量的增加, 血鹦鹉幼鱼前肠组织和内容物蛋白酶活性及肝脏 GOT、GPT 活性也增加, 当蛋白含量达到 43% 时均达到最大值。研究表明血鹦鹉幼鱼对饲料蛋白的最佳需求量为 43%。

关键词:血鹦鹉; 饲料蛋白水平; 生长; 体组成; 蛋白酶活性

中图分类号: S965.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2009)05-0874-07

血鹦鹉 (*Cichlasoma* sp.) 俗称红财神、财神鱼, 是由慈鲷科的雄性红魔鬼鱼 (*Cichlasoma citrinellum*) 和雌性紫红火口鱼 (*Cichlasoma synspilum*) 杂交而来。因其全身鲜艳通红, 拥有惹人喜爱的胖体形和柔软鳍条, 加上食性杂, 易于饲养, 受到广大水族饲养者的喜爱。目前, 有关血鹦鹉对饲料蛋白需求量的研究尚未见有报道, 市售血鹦鹉饲料的粗蛋白含量也没有统一的标准, 常见的血鹦鹉饲料蛋白含量为 33%—45% 不等。本研究通过配制不同蛋白含量的饲料考察其对血鹦鹉幼鱼生长、体组成和肠道蛋白消化酶活性的影响, 以确定血鹦鹉幼鱼对饲料蛋白的适宜需求量, 为观赏鱼饲料开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计与实验饲料 以鱼粉、豆粕为主要饲料蛋白源, 且豆粕含量固定为 28%, 设计了 5 种饲

料, 蛋白含量分别为 37%、40%、43%、46% 和 49%。各组饲料的脂肪含量保持基本一致水平, 各原料粉碎过 60 目筛, 以小型绞肉机加工成直径 2.0 mm 的颗粒, 晾干至水分含量为 $(10.54 \pm 0.29)\%$ 备用。饲料原料组成和营养成分含量 (表 1)。饲料中矿物质预混料和维生素预混料的添加量参照鲤鱼配方^[1]。

1.2 实验用鱼 实验用血鹦鹉取自上海年年有鱼养殖场, 平均质量 0.66 g。实验分为 5 个处理组, 每处理组 3 个重复, 每重复选取体质健壮, 外表无伤的鱼 25 尾, 共 375 尾。

1.3 实验管理 实验用鱼饲养于 15 口自动充气循环的水族箱中 (0.8 m × 0.5 m × 0.5 m); 日投喂 4 次 (8 30, 11 30, 14 30, 17 30), 投饵率 3%—4%; 试验期间水温 $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$, DO > 5 mg/L, pH 值为 6.9—7.8。养殖周期从 2007 年 9 月 4 日至 10 月 17 日, 为期 6 周。

收稿日期: 2008-01-21; 修订日期: 2008-12-01

基金项目: 上海市重点学科建设资助项目 (Y1101); 上海市教育高地建设项目 (673016730114) 资助

作者简介: 石英 (1982—), 女, 汉, 山东临沂人; 硕士研究生; 主要从事水产动物营养与饲料的研究。E-mail: shiyingbluesky@163.com

通讯作者: 冷向军 (1972—), 男, 教授; 主要从事动物营养与饲料的研究。E-mail: xjleng@shou.edu.cn

表 1 实验饲料配方及常规营养组成

Tab. 1 Formulation and chemical composition of experimental diets (%)

原料组成 Material composition (%)	饲料蛋白水平 Dietary protein levels (%)				
	37	40	43	46	49
鱼 粉 Fish meal	28	34.3	40.6	46.9	53.2
豆 粕 Soybean meal	28	28	28	28	28
次粉 Wheat middlings	27.76	23.3	18.89	14.44	10
麦 麸 Wheat bran	10	8.92	7.84	6.77	5.7
矿物质预混料 Mineral premix	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
维生素预混料 Vitamin premix	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
氯化胆碱 Choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
磷酸二氢钙 Calcium phosphate, dibasic	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
鱼 油 Fish oil	2.74	2.05	1.37	0.69	0.0
总计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
化学组成 (干物质) Chemical composition (DM)					
粗蛋白 Crude protein (%)	36.92	40.07	43.09	46.06	49.10
粗脂肪 Crude lipid (%)	7.88	7.83	7.79	7.86	7.80
赖氨酸 Lysine (%)	2.15	2.39	2.64	2.88	3.12
蛋氨酸 Methionine (%)	0.61	0.69	0.77	0.85	0.93
蛋氨酸/赖氨酸 Methionine/Lysine	0.284	0.288	0.292	0.295	0.297
赖氨酸/粗蛋白 Lysine/Crude protein	0.058	0.059	0.060	0.061	0.061
蛋氨酸/粗蛋白 Methionine/Crude protein	0.017	0.017	0.018	0.018	0.019
计算总能 Calculated gross energy (kJ/g) ¹⁾	18.13	18.32	18.51	18.71	18.90
能蛋比 Energy/protein (kJ/g)	49.31	45.73	42.70	40.09	37.83

注: 1)根据蛋白质、脂肪、碳水化合物的能量 (23.6、39.5和 17.2 kJ/g)^[2]计算饲料的能量

Note: 1) Dietary energy was calculated based on the energy of protein, lipid and carbohydrate (23.6, 39.5 and 17.2 kJ/g)

1.4 测定指标与方法

1.4.1 生长指标 于实验第 6 周时称鱼总重,并在实验结束后每缸取鱼 9 尾,分别称鱼个体重、内脏重、肝脏重、肠系膜脂肪重,测量体高、体长,主要测定指标如下:

增重率 (Weight gain, WG, %) = (末均重 - 初均重) (g) / 初均重 (g) × 100%;

饲料系数 (Feed conversion ratio, FCR) = 总投饲量 (g) / (末重 - 初重) (g);

饲料效率 (Feed efficiency, FE, %) = (末重 - 初重) (g) / 总投饲量 (g) × 100%

成活率 (Survival rate, SR, %) = 试验末鱼尾数 / 试验初鱼尾数 × 100%;

肥满度 (Condition factor, CF, g/cm³) = 鱼体重 (g) / 鱼体长³ (cm);

体高体长比 (Body height/body length) = 体高 (cm) / 体长 (cm);

肝体指数 (Hepatosomatic index, HSI, %) = 肝脏重 (g) / 体重 (g) × 100%;

脏体比 (Viscerosomatic index, VI, %) = 内脏重 (g) / 体重 (g) × 100%;

肠脂体比 (Intraperitoneal fat ratio, IFR, %) = 肠系膜脂肪重 (g) / 鱼体重 (g) × 100%。

1.4.2 样品采集 饲喂后 2h,每缸取鱼 9 尾在冰盘上解剖,迅速分离出肝脏、前肠 (肠道全长的前三分之一部分)和前肠内容物,并用冰冻去离子水冲洗肠道内壁,用滤纸吸去组织样品表面水分,三尾并作为一个样品,装袋密封,置 - 20℃ 冰箱中冻存,在 3 天内测定前肠组织及内容物蛋白酶活性和肝脏 GOT、GPT 活性。饲喂后 24h,每缸取鱼 9 尾,三尾并作为一个样于 - 20℃ 下低温冷冻保存,供测定全鱼基本生化成分。

1.4.3 基本生化成分的测定 全鱼基本生化成分的测定包括水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分,测定方

法采用 AOAC (1990)^[3]。

1.4.4 蛋白酶活性测定

酶液制备^[1] 从冰箱中取出前肠和前肠内容物,4 条件下解冻后,前肠用去离子水冲洗干净,用分析天平称重(精确至 0.001 g),并用剪刀剪碎,按前肠样品重的 4 倍(前肠内容物为 9 倍)加入 4 预冷去离子水,在冰浴中高速组织匀浆机匀浆 3min,以 10000 r/min 离心 20min,取上清液置于冰箱(4)中保存备用,进行酶活力测定。

蛋白酶活性测定 蛋白酶活性采用福林 酚法测定^[4]。

蛋白酶活性定义:在 pH7.5 和 40 水浴中保温 10min, 1min 水解酪蛋白产生 1 μg 酪氨酸量定义为一个酶活力单位(U)。

1.4.5 谷草转氨酶(GOT)和谷丙转氨酶(GPT)的活性测定^[5] 谷草转氨酶和谷丙转氨酶的活性测定所用试剂盒均购自南京建成生物技术研究。

谷草转氨酶作用于底物 α 酮戊二酸和天门冬氨酸反应生成丙酮酸,加入 2,4-二硝基苯肼(DNPH)反应生成 2,4-二硝基苯腙,于 505 nm 处测得吸光值并计算酶活力。

谷丙转氨酶作用于底物丙氨酸及 α 酮戊二酸生成丙酮酸及谷氨酸,加入 2,4-二硝基苯肼(DNPH)盐酸溶液生成丙酮酸苯腙,于 505 nm 处测得吸光值并计算酶活力。

1.5 数据统计与分析 实验数据以平均值 ± 标准差表示,采用 SPSS 11.5 统计软件进行单因素方差分析和多鱼比较, $P < 0.05$ 时差异显著。

2 结果

2.1 饲料蛋白水平对血鸚鵡幼鱼生长性能的影响

饲料蛋白水平对血鸚鵡幼鱼生长性能的影响(表 2)。由表 2 可见:第 6 周时,当饲料蛋白水平为 37%—43% 时,随着饲料蛋白水平的增加,血鸚鵡幼鱼增重率和饲料效率呈上升趋势,饲料系数呈下降趋势;当饲料蛋白水平为 43%—49% 时,随饲料蛋白水平的增加,血鸚鵡幼鱼增重率和饲料效率下降,饲料系数上升。当饲料蛋白水平为 43% 时,血鸚鵡幼鱼有最高的增重率,最低的饲料系数和最大的肥满度值。

饲料蛋白水平与增重率的关系符合典型的二次曲线模型(图 1): $Y(\text{增重率} \%) = -3.2772X^2 + 281.84X - 5076.1$ ($R^2 = 0.8328$)。在饲料蛋白水平为 43.00% 时,血鸚鵡幼鱼具有最高的增重率 938.48%。

此外,随饲料蛋白水平的增加和能量蛋白比的下降,血鸚鵡幼鱼的肝体比、脏体比和肠脂体比均呈现下降趋势,摄食 49% 蛋白含量饲料的血鸚鵡幼鱼其肝体比、脏体比和肠脂体比分别比 37% 蛋白组下降 25.11%、17.95% 和 33.41% ($P < 0.05$)。

表 2 饲料蛋白水平对血鸚鵡幼鱼生长性能的影响

Tab. 2 Effect of dietary protein levels on growth performance of *Cichlasoma* sp. juvenile

饲料蛋白水平 Dietary protein levels (%)	37	40	43	46	49
初均重 Initial body weight (g)	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
末均重 Final body Weight (g)	6.39 ±0.07	6.69 ±0.05	7.38 ±0.13	6.77 ±0.25	6.43 ±0.22
增重率 WG (%)	868.51 ±11.22 ^a	935.95 ±38.77 ^a	1018.28 ±20.92 ^b	925.16 ±39.00 ^a	873.86 ±33.73 ^a
饲料系数 FCR	1.55 ±0.03 ^a	1.48 ±0.08 ^{ab}	1.41 ±0.01 ^b	1.47 ±0.02 ^{ab}	1.56 ±0.01 ^a
饲料效率 FE (%)	64.32 ±1.38 ^b	67.51 ±3.69 ^{ab}	70.54 ±0.63 ^a	67.80 ±0.93 ^{ab}	63.92 ±0.14 ^b
成活率 SR (%)	98.14	100	96.08	98.04	100
肥满度 CF (g/cm ³)	1.79 ±0.08 ^a	1.86 ±0.08 ^a	1.96 ±0.09 ^b	1.81 ±0.07 ^a	1.82 ±0.02 ^a
体高体长比 Body height/body length	1.350 ±0.001 ^{ab}	1.359 ±0.003 ^{ab}	1.345 ±0.045 ^a	1.384 ±0.006 ^b	1.385 ±0.006 ^b
肝体指数 HSI (%)	2.35 ±0.25 ^a	2.49 ±0.14 ^a	2.17 ±0.24 ^{ab}	2.16 ±0.21 ^{ab}	1.76 ±0.05 ^b
脏体比 VI (%)	14.71 ±1.37 ^a	13.82 ±0.08 ^a	13.29 ±0.54 ^{ab}	12.72 ±0.88 ^{ab}	12.07 ±0.30 ^b
肠脂体比 IFR (%)	4.25 ±0.47 ^a	3.82 ±1.06 ^{ab}	3.79 ±0.48 ^{ab}	2.79 ±0.61 ^b	2.83 ±0.11 ^b

注:表中同行数据后标注不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$),以下各表同

Notes: With the same row, values with different superscripts in little character are significantly different ($P < 0.05$). It is the same as below

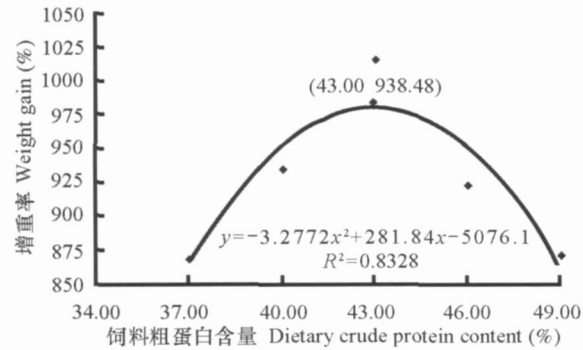


图 1 饲料蛋白水平与血鸚鵡幼鱼增重率的关系图
Fig. 1 The relation figure between growth rate of *Cichlasoma* sp. juvenile and dietary protein levels

2.2 饲料蛋白水平对血鸚鵡幼鱼全鱼组成的影响

饲料蛋白水平对血鸚鵡幼鱼全鱼组成的影响(表 3)。由表 3 可见:随饲料蛋白水平的增加和能蛋比的下降,血鸚鵡幼鱼鱼体粗蛋白和粗灰分含量增加,当饲料中蛋白含量达 49%时,鱼体蛋白和灰分含量分别达最高值 55.59% (干物质)和 17.56% (干物质),比饲料蛋白含量为 37%组提高了 3.67%和 19.62% ($P < 0.05$);鱼体粗脂肪含量则

随饲料蛋白水平的增加和能蛋比的下降而降低,当饲料中蛋白含量为 49%时鱼体粗脂肪含量最低为 23.95% (干物质),较饲料蛋白含量为 37%组下降了 21.29% ($P < 0.05$);而全鱼水分含量在各组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.3 饲料蛋白水平对血鸚鵡幼鱼肠道消化酶和肝脏 GOT、GPT活性的影响

饲料蛋白水平对血鸚鵡幼鱼肠道蛋白消化酶和肝脏 GOT、GPT活性的影响(表 4)。由表 4 可见:随着饲料蛋白水平由 37%增加到 43%,血鸚鵡幼鱼前肠组织和内容物的蛋白酶活性也随之升高;当饲料蛋白含量达 43%时,前肠组织和内容物蛋白酶活力均可达到最大,分别为 732.26 U/g和 1412.43 U/g之后,随饲料蛋白水平提高,前肠内容物蛋白酶活力稳定在较高水平上,而前肠组织蛋白酶活力则呈下降趋势。

在肝脏 GOT和 GPT活性方面,随着饲料蛋白水平由 37%增加到 43%,肝脏中 GOT、GPT的活性随之增加,且当饲料蛋白水平达 43%后,GPT活性则保持基本一致,而 GOT活性则下降。

表 3 饲料蛋白水平对血鸚鵡幼鱼全鱼体组成的影响

Tab. 3 Effect of dietary protein levels on whole body compositions of *Cichlasoma* sp. juvenile

饲料蛋白水平 Dietary protein levels (%)	37	40	43	46	49
水分 Moisture (%)	72.90 ±1.77	71.94 ±0.17	72.41 ±0.41	71.78 ±0.26	72.20 ±0.35
粗蛋白 Crude protein (% DM)	53.62 ±0.38 ^a	54.76 ±0.37 ^{ab}	54.64 ±0.35 ^{ab}	54.85 ±0.56 ^{ab}	55.59 ±0.66 ^b
粗脂肪 Crude lipid (% DM)	29.05 ±1.07 ^b	28.54 ±0.46 ^b	25.79 ±1.72 ^{ab}	25.16 ±1.68 ^{ab}	23.95 ±0.39 ^a
粗灰分 Ash (% DM)	14.68 ±0.59 ^a	15.81 ±0.01 ^{ab}	16.43 ±0.45 ^b	16.91 ±0.37 ^{bc}	17.56 ±0.52 ^c

表 4 饲料蛋白水平对血鸚鵡幼鱼肠道消化酶和肝脏 GOT、GPT活性的影响

Tab. 4 Effect of dietary protein levels on digestive enzyme activities in foregut and GOT, GPT activities in liver of *Cichlasoma* sp. juvenile

饲料蛋白水平 Dietary protein levels (%)	37	40	43	46	49
前肠组织蛋白酶活性 Protease activities in foregut's tissue (U/g)	540.80 ±29.27 ^a	718.03 ±31.99 ^c	732.26 ±21.19 ^c	686.12 ±55.70 ^{bc}	596.51 ±47.56 ^{ab}
前肠内容物蛋白酶活性 Protease activities in foregut's chyme (U/g)	726.26 ±29.84 ^a	948.84 ±3.43 ^b	1412.43 ±60.42 ^c	1304.66 ±62.72 ^c	1406.93 ±49.67 ^c
GPT(赖氏法 GPT单位, Reitman-Frankel GPT)	69.98 ±7.65 ^a	75.75 ±8.44 ^a	89.05 ±6.20 ^b	91.1996 ±6.07 ^b	90.66 ±12.47 ^b
GOT(赖氏法 GOT单位, Reitman-Frankel GOT)	140.63 ±13.90 ^a	163.08 ±5.76 ^a	181.81 ±3.49 ^b	150.65 ±14.68 ^a	150.80 ±2.84 ^a

3 讨论

3.1 饲料蛋白水平和能蛋比对血鸚鵡幼鱼生长性能及体组成的影响

鱼类的生长主要靠鱼类从食物中摄食蛋白质以

构成机体组织器官,蛋白质除了作为建造组织的物质外,也为鱼类的生命活动提供部分能源;过量的饲料蛋白不仅造成了以昂贵的方式提供能源,也增加了氮排放量和对水环境的污染。因此,鱼类蛋白质最适需求量便成了鱼类配合饲料研究的重点。对于

食用鱼类,通常是根 据增重率和饲料利用效率等指标确定其适宜的蛋白质需要量;对于观赏鱼类,由于养殖目的和要求的不同,确定其适宜蛋白质需要量可能具有与食用鱼不完全一致的指标,目前有关观赏鱼蛋白质需要量的研究很少,仅见于金鱼 (*Carassius auratus*)^[6]、七彩神仙 (*Symphysodon aequifasciata*)^[7]、红头丽鱼 (*Cichlasoma synspilum*)^[8]。在这些研究中,也是根据鱼体增重率、饲料利用效率、蛋白质效率等指标确定适宜蛋白质需要量。本实验主要以鱼体增重率、饲料效率为指标来确定血鸚鵡幼鱼对蛋白质的需要量。

目前的研究表明,鱼类生长与饲料蛋白水平之间的关系符合二次曲线模型,即低饲料蛋白水平时,鱼类生长随饲料蛋白水平的上升而加快,而超过鱼类的最适需求量后则随着饲料蛋白水平的增加而降低。用蛋白含量为 23.64%—41.62% 的等能饲料饲喂宝石鲈 (*Scortum barcoo*),蛋白水平为 33.50% 时,宝石鲈的增重率最大为 93.54%,比饲料蛋白水平 23.64% 组增加了 52.97% ($P < 0.05$),通过增重率的折线法得 $y = 339.72x - 24.754$ ($R^2 = 0.8127$) 和 $y = -187.12x + 154.04$ ($R^2 = 0.8315$),两直线相交点为 33.94%,即宝石鲈的饲料蛋白需要量为 33.94%^[9];用蛋白含量为 24%—32% 的饲料投喂鲮鱼 (*Mugil Cephalus*),蛋白水平为 28% 时,鲮鱼具有最大增重率和特定生长率,通过特定生长率与饲料蛋白含量的回归曲线得 $y = -0.0034x^2 + 0.1962x - 1.95$ ($R^2 = 1$),其中蛋白含量为 28.9% 时特定生长率达最高点,即鲮鱼的最适蛋白需求量为 28.9%^[10]。此外,在美洲鳗鲡幼鱼 (*Anguilla rostrata*)^[11]、军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[12]、翘嘴红鲌 (*Erythroculter ilishaeformis*)^[13] 和红姑鱼 (*Sciaenops ocellatus*)^[14] 等鱼上也有类似报道。本实验中,饲料蛋白水平与血鸚鵡幼鱼的增重率呈典型的二次曲线关系,当饲料粗蛋白为 43% 时生长最快,与上述观点一致。饲料蛋白水平的不足限制了鱼类快速生长,但当蛋白水平超过鱼类所需时,蛋白过高增加代谢负担,因而生长性能往往表现出一定程度的下降,在幼鱼中表现更为明显。根据增重率和饲料系数,血鸚鵡幼鱼对蛋白质的需要量可确定为 43%,高于金鱼 (29%)^[6],低于七彩神仙 (44.5%—46.5%)^[7]。观赏鱼对饲料蛋白质的需要量不同,主要与食性和生长阶段有关。

Aziz, et al. 发现,当鱼体饲喂无蛋白饲料时,单位体增重中脂肪沉积水平最高,这时蛋白缺乏限

制了鱼体生长^[15]。用蛋白能量比为 86.2—100.0 mg/Kcal 的饲料喂鲮鱼,随着能蛋比值的降低,全鱼粗蛋白含量增加,脂肪沉积减少,而肌肉蛋白与脂肪含量却没有显著变化 ($P > 0.05$)^[10]。在黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*)^[16, 17]、石斑鱼 (*Epinephelus malabaricus*)^[18] 上也有类似研究。本实验中,随着饲料蛋白水平上升和能量蛋白比下降,血鸚鵡幼鱼鱼体组织中脂肪和肠脂体比均有下降的趋势,当饲料蛋白含量达 49% 时全鱼脂肪含量和肠脂体比均达最低,且随着能量蛋白比的下降,血鸚鵡幼鱼肠脂体比的下降趋势与全鱼脂肪含量下降趋势相一致,与上述报道一致。

3.2 饲料蛋白水平对血鸚鵡幼鱼肠道消化酶活性的影响

鱼类摄食后,饲料的营养成分构成消化酶的作用底物,会影响到消化酶的分泌和活力。对黑鲷 (*Sparus macrocephalus*)^[19]、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)^[20] 和黄鳝 (*Monopterus albus*)^[21] 等的研究表明,饲料蛋白质水平会对鱼类肠道蛋白消化酶活性产生重要影响,通常在一定范围内,蛋白酶活性与饲料蛋白质含量成正相关,说明饲料中的蛋白质可以诱导鱼体内蛋白酶的分泌^[21, 22]。以红鱼粉为饲料蛋白源,配制成蛋白含量分别为 31.04%—50.33% 五种饲料投喂翘嘴红鲌,肠道蛋白酶活性随着饲料蛋白水平提高而显著增强 ($P < 0.05$)^[23];饲料中蛋白水平由 40% 升高到 46%,牙鲆肠道蛋白酶活性显著增强 ($P < 0.05$),之后随饲料蛋白水平上升,肠蛋白酶活性保持基本稳定^[24]。本实验表明,随饲料中蛋白水平由 37% 增加到 43%,血鸚鵡幼鱼肠道消化酶活性升高;当饲料蛋白水平高于 43% 时,随饲料蛋白水平的增加,肠道消化酶活性略有下降,与上述报道基本一致。随着饲料蛋白水平在适当范围内的增加,鱼体肠道蛋白酶的活性增加,提高了对营养物质的消化吸收,从而改善生长性能。而过高的饲料蛋白质,增加了肠道的消化负担,可能会对消化酶的分泌产生负反馈调节,这与蛋白质过剩的程度和鱼的种类有关。

3.3 饲料蛋白水平对血鸚鵡幼鱼肝脏 GOT 和 GPT 的影响

肝脏是氨基酸代谢的主要场所,肝细胞含有丰富的参与氨基酸代谢的酶类,能催化氨基酸的转氨基、脱氨基、脱羧基以及个别氨基酸特异的代谢过程,合成一些非必需氨基酸和含氮化合物。在肝细胞转氨酶中,以 GPT 和 GOT 活性最强,分布最广,在

动物机体蛋白质代谢中起重要作用^[25]。本实验中,随着饲料蛋白水平的增加,肝脏 GOT、GPT 的活性增加,在饲料蛋白含量达 43% 时最高。这表明随着饲料蛋白水平在适当范围内的增加,肝脏 GOT 和 GPT 活性随之增加,促进了氨基酸的代谢,提高了机体内蛋白质和氨基酸利用率。

4 结 论

本实验中,饲料蛋白含量为 43% 时,血鸚鵡幼鱼具有最大增重率和最低饲料系数,肠道蛋白消化酶活性、肝脏 GOT 和 GPT 活性也最高。本实验中,血鸚鵡幼鱼的最适饲料蛋白需求量建议为 43%。

参考文献:

- [1] Liu D Y, Leng X J, Lu Y H, *et al* Effects of adding protease (Aquagrow) in diet on growth and digestive protease activities of common carp [J]. *Freshwater Fisheries*, 2007, 35 (9): 50—52 [刘鼎云,冷向军,卢永红,等. 饲料中添加蛋白酶 Aquagrow 对鲤生长和蛋白质消化酶活性的影响. 淡水渔业, 2007, 35 (9): 50—52]
- [2] Li A J. Nutrition and feed of aquatic animal [M]. Beijing: China Agricultural Press 1996, 67—68 [李爱杰. 水产动物营养与饲料学. 北京:中国农业出版社. 1996, 67—68]
- [3] AOAC (Association of official analytical chemists) official methods of analysis, 15th. AOAC, Washington DC. 1990
- [4] Biochemical microorganism teaching and researching group, Biology College, Zhongshan University. Introduction of Biochemical Technology [M]. Beijing: Peoples Education Press 1979, 46—56 [中山大学生物系生化微生物教研室. 生化技术导论. 北京:人民教育出版社. 1979, 46—56]
- [5] Qi S Z. Experimental introduction of animal biochemical [M]. Beijing: Beijing Agricultural Press 1986, 62—671 [齐顺章. 动物生化实验指导. 北京:北京农业出版社. 1986, 62—671]
- [6] Lochmann R I, Phillips H. Dietary protein requirement of juvenile golden shiners (*Notemigonus crysoleucas*) and goldfish (*Carassius auratus*) in aquaria [J]. *Aquaculture*, 1994, 128: 277—285
- [7] Chong A S C, Hashim R, Ali A B. Dietary protein requirements for discus (*Symphysodon aequifasciata*) [J]. *Aquaculture*, 2000, 6: 275—278
- [8] Olivera-Novoa M A, Gasca-Leyva E, Martinez-Palacios C A. The dietary protein requirements of *Cichlasoma synpylum* Hubbs 1935 (Pisces: Cichlidae) fry [J]. *Aquaculture*, 1996, 27: 167—173
- [9] Shao Q J, Su X F, Xu Z R, *et al* Effect of dietary protein levels on growth performance and body composition of Jade perch *Scorpaenopsis barcoo* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, 28 (4): 367—373 [邵庆均,苏小凤,许梓荣,等. 饲料蛋白水平对宝石鲈生长和体组成影响研究. 水生生物学报, 2004, 28 (4): 367—373]
- [10] Lin H Z, Jiang Q, Huang J N, *et al* A preliminary study on the optimum protein level and protein to energy ratio of the diet for *Mugil cephalus* [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1998, 7 (3): 187—192 [林黑着,江琦,黄剑南,等. 鳊鱼配合饲料适宜蛋白含量及蛋白能量比的初步研究. 上海水产大学学报, 1998, 7 (3): 187—192]
- [11] Tibbetts S M, Lall S P, Anderson D M. Dietary protein requirement of juvenile American eel (*Anguilla rostrata*) fed practical diets [J]. *Aquaculture*, 2000, 186: 145—155
- [12] Chou R L, Su M S, Chen H Y. Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2001, 193: 81—89
- [13] Wang G Q, Zhou H Q, Zhao C Y, *et al* The effect of dietary protein on protein turnover of *Erythroculter ilishaeformis* juveniles [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30 (2): 246—253 [王桂芹,周洪琪,赵朝阳,等. 饲料蛋白对翘嘴红鲌蛋白质周转代谢的影响. 水产学报, 2006, 30 (2): 246—253]
- [14] Liu Y J, Liu D H, Tian L X, *et al* Effect of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of juvenile *Sciaenops ocellatus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2002, 26 (3): 242—246 [刘永坚,刘栋辉,田丽霞,等. 饲料蛋白质和能量水平对红姑鱼生长和鱼体组成的影响. 水产学报, 2002, 26 (3): 242—246]
- [15] Arzel J, Metailler R, Kerleguer C, *et al* The protein requirement of brown trout (*Salmo trutta*) fry [J]. *Aquaculture*, 1995, 130: 67—68
- [16] Li G H, Zou S X. Effect of protein levels on body composition and feed utilization of *Peletobagnus fulvidraco* [J]. *Animals Breeding and Feed*, 2006, 9: 12—13 [李光辉,邹社校. 蛋白水平对黄颡鱼体成分及饲料利用的影响. 养殖与饲料, 2006, 9: 12—13]
- [17] Zou S X. Studies on the protein requirement of fingerling of *Pelteobagnus fulvidraco* [J]. *Journal of Hubei Agriculture College*, 1999, 19 (2): 143—145 [邹社校. 黄颡鱼幼鱼蛋白质需要量的研究. 湖北农学院学报, 1999, 19 (2): 143—145]
- [18] Chen H Y, Tsai J C, Su M S, *et al* Optimal dietary protein level for the growth of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*, fed semi-purified diets [J]. *Aquaculture*, 1994, 119: 265—271
- [19] Zhuo L Y. Effect of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile black seabream *Sparus macrocephalus* [D]. Zhejiang University, 2006 [卓立应. 饲料蛋白能量比对黑鲷幼鱼生长和体组成的影响. 浙江大学, 2006]
- [20] Huang Y T, Liu Y J. Study on protease activities in the intestine and hepatopancreas of grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* (C. ET V.) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1988, 12 (4): 328—333 [黄耀桐,刘永坚. 草鱼肠道、肝胆脏蛋白酶活性初步研究. 水生生物学报, 1988, 12 (4): 328—333]
- [21] Yang D Q, Yan A S, Chen F, *et al* Effects of different diets on activities of digestive enzymes of *Monopterus albus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27 (6): 558—563 [杨代勤,严安生,陈芳,等. 不同饲料对黄鳝消化酶活性的影响. 水产学报, 2003, 27 (6): 558—563]

- [22] Uys W, Hccht T. Changes in digestive enzyme activities of *Clarias gariepinus* (Pisces: clariidae) [J]. *Aquaculture*, 1987, **63**: 243—250
- [23] Qian X, Wang G Q, Zhou H Q, *et al* Effect of dietary protein on the activities of digestive enzymes of Topmouth Culter (*Erythroculter Ilishaef om is Bleeker*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2007, **19** (2): 182—187 [钱曦,王桂芹,周洪琪,等. 饲料蛋白水平及豆粕替代鱼粉比例对翘嘴红鲌消化酶活性的影响. 动物营养学报, 2007, **19** (2): 182—187]
- [24] Li J Q, Lin J B, Zhu Q G, *et al* Effects of different energy protein ratio in the diet on the activities of digestive enzymes for flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Journal of Jimei University* (Natural Science), 2005, **10** (4): 296—299 [李金秋,林建斌,朱庆国,等. 不同能量蛋白比饲料对牙鲆体内消化酶活性的影响. 集美大学学报 (自然科学版), 2005, **10** (4): 296—299]
- [25] Pan L Q, Wu Z W, Zhang H X. Effects of heavy metal ions on transaminases activities of *Litopenaeus vannamei* [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2005, **35** (2): 195—198 [潘鲁青,吴众望,张红霞. 重金属离子对凡纳滨对虾组织转氨酶活性的影响. 中国海洋大学学报, 2005, **35** (2): 195—198]

EFFECT OF DIETARY PROTEIN LEVELS ON GROWTH PERFORMANCE, WHOLE BODY COMPOSITION AND INTESTINAL DIGESTIVE ENZYME ACTIVITIES OF *CICHLASOMA* SP. JUVENILE

SHI Ying, LENG Xiang-Jun, LI Xiao-Qin, LIU Man-Zai and SHI Shao-Yi

(Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306)

Abstract: To investigate the effect of dietary protein levels on growth performance, body composition, intestinal digestive enzyme activities of *Cichlasoma* sp. juvenile, fish meal and soybean meal were chosen as the main dietary protein source, and five diets containing protein content of 37%, 40%, 43%, 46% and 49% were prepared and fed to *Cichlasoma* sp. juvenile for 6 weeks. Group of 25 fish with initial body weight of 0.66 g was fed in recycling aquarium (0.8 m × 0.5 m × 0.5 m, 200 L of water volume) with aerated water. Each group was triplicate. Fish were fed 4 times (8:30, 11:30, 14:30 and 17:30) per day with a feeding rate of 3%—4% of body weight. The temperature was (27 ± 1) °C, and dissolved oxygen (DO) content was more than 5 mg/L during the growth study. The results showed that the weight gain (WG) of the five groups were 868.51%, 935.95%, 1018.28%, 925.16%, 873.86%, and feed conversion rate (FCR) were 1.55%, 1.48%, 1.41%, 1.47% and 1.56%, respectively. Fish fed with 43% dietary protein had the highest WG and lowest FCR. The relationship of WG and dietary protein level could be expressed with regression equation: Y (weight gain, %) = $-3.2772X^2 + 281.84X$ (dietary crude protein content, %) - 5076.1 ($R^2 = 0.8328$). In the respect of body composition, with the increase of dietary protein, the content of crude protein and ash of whole body increased, but the crude fat decreased. Fish fed with diet of 49% protein content had significant higher whole body crude protein and ash content but lower whole body crude fat content than that fed with diet of 37% protein content. There was no significant difference in whole body moisture content among all groups. Protease activities of foregut's tissue of the five groups were 540.80 U/g, 718.03 U/g, 732.26 U/g, 686.12 U/g, 596.51 U/g, and protease activities of foregut's chyme were 726.26 U/g, 948.84 U/g, 1412.43 U/g, 1304.66 U/g and 1406.93 U/g, respectively. Liver's GPT and GOT activities (Reiman-Frankel) were 69.89 U/g, 75.75 U/g, 89.05 U/g, 91.20 U/g, 90.66 U/g, and 140.63 U/g, 163.08 U/g, 181.80 U/g, 150.65 U/g, 150.80 U/g, respectively. Results above showed that *Cichlasoma* sp. juvenile had the best growth performance and the highest intestinal protease activities, the highest liver's GOT and GPT activities, when they fed with diet of 43% dietary protein content, which showed that the optimal dietary protein requirement for *Cichlasoma* sp. juvenile was 43%.

Key words: *Cichlasoma* sp.; Dietary protein levels; Growth; Body composition; Intestinal protease activities