

文章编号: 1674-5566(2012)03-0382-07

不同蛋白水平的虾青素饲料对锦鲤体色、生长及免疫的影响

崔培, 姜志强, 王雪, 张源真, 高小强, 田青杰

(大连海洋大学 农业部海洋水产增养殖学重点开放实验室, 辽宁 大连 116023)

摘要:以初始体重为(5.85 ± 0.19)g的红白锦鲤幼鱼为实验对象, 研究虾青素有效添加量为130 mg/kg时, 饲料蛋白水平(25.49%、30.84%、35.04%、40.68%、45.88%)对锦鲤体色、生长及免疫的影响。每组设3个平行, 每个平行饲养20尾鱼, 表观饱食投喂60 d后, 实验结果显示: 饲料蛋白水平为35.04%时, 实验鱼体表红质 a^* 值最高, 与蛋白水平40.68%组间无显著差异($P > 0.05$), 但显著高于其他实验组($P < 0.05$), 与此同时, 皮肤中类胡萝卜素含量显著升高($P < 0.05$), 最大值出现在蛋白水平45.88%组。蛋白水平为35.04%时, 实验鱼的增重率(R_{WC})、特殊增长率(R_{SC})以及蛋白质效率(R_{PE})最高。蛋白水平对实验鱼溶菌酶(LZM)以及实验鱼肝胰脏(CAT)、乳酸脱氢酶(LDH)无显著影响($P > 0.05$), 蛋白水平为45.88%时, SOD活力显著降低($P < 0.05$)。上述研究说明, 虾青素添加量为130 mg/kg时, 使锦鲤生长、着色达到最好效果的适宜饲料蛋白水平为35.04%。同时本研究的结果表明, 在配合饲料中, 提高饲料蛋白水平不会持续提高锦鲤对虾青素的利用效率。

研究亮点:虾青素的价格昂贵, 因此, 如何提高其利用率成为研究重点, 本实验在饲料中添加一定量的虾青素, 设计5个不同蛋白水平, 研究饲料蛋白水平对锦鲤体色、生长及免疫的影响, 旨在获得不影响锦鲤健康条件下, 使锦鲤体色更加艳丽的饲料蛋白质水平。

关键词:红白锦鲤; 蛋白水平; 体色; 生长; 免疫指标

中图分类号:S 963.1; S 965.1

文献标志码:A

鱼类的体色主要是由基因决定的, 先后有研究证明了类胡萝卜素(carotenoid)、黑色素(melanin)、嘌呤(pterine)和鸟嘌呤(guanine)等物质与水生动物的体色具有极为复杂、密切的关系^[1]。而其中最为重要的是类胡萝卜素。但是水产动物体内无法合成类胡萝卜素, 所以需要从饲料中获得这种色素^[2], 否则水产动物的体色就会淡化, 从而影响其经济价值。

虾青素(astaxanthin)是脂溶性艳丽红色素——类胡萝卜素着色剂, 对多种水产动物都有着色作用^[3-5], 但虾青素价格昂贵, 因此, 提高虾青素利用率对降低饲料成本、提高观赏鱼养殖经济效益有重要意义。饲料中蛋白质是鱼类的主要营养成分, 在鱼体组织的构成和生理代谢活动中起着重要的作用, 研究发现, 饲料蛋白水平对红草金鱼皮肤中类胡萝卜素含量有一定影响^[6], 但

有关蛋白水平对锦鲤着色方面的影响尚未见报道, 因此本实验选用虾青素做色素源, 探讨不同梯度水平的蛋白质人工配合饲料对锦鲤体色、生长及免疫影响, 以确定较好增色效果的蛋白质水平, 为观赏鱼配合饲料的配制提供一些参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

实验原材料如下: 褐鱼粉(80~100目)、玉米蛋白粉、小麦麸、豆粕、面粉、小麦蛋白粉、 α -淀粉粉、豆油、混合维生素、混合矿物质、虾青素。其中混合维生素与混合矿物质均购于北京桑普有限责任公司, 虾青素购于德国巴斯夫公司, 有效含量为10%; 饲料原料经混合后用制粒机挤压成颗粒料, 每组饲料两种规格($\Phi = 1.5$ mm和3.2 mm), 在烘箱(DK400, YAMATO)中, 40℃烘干

收稿日期: 2011-05-22 修回日期: 2012-02-20

基金项目: 北京市重大科技计划项目(D09060500430901)

作者简介: 崔培(1985—), 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生物学。E-mail: icp7410@tom.com

通讯作者: 姜志强, E-mail: zhqjiang@dlou.edu.cn

2 h,至水分 12% 左右,保存于 -20 ℃ 冰箱中,饲料 配方、生化组成及类胡萝卜素含量见表 1。

表 1 实验饲料组成(干物质基础)
Tab. 1 Ingredient composition of the experimental diets %

| 原料 | DX1 | DX2 | DX3 | DX4 | DX5 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 褐鱼粉 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 玉米蛋白粉 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 小麦麸 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 豆粕 | 12 | 12 | 12 | 12 | 21 |
| 面粉 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 小麦蛋白粉 | 5 | 12 | 20 | 26 | 27 |
| α-淀粉 | 29.37 | 22.77 | 15.27 | 9.67 | 0.07 |
| 豆油 | 4.5 | 4.1 | 3.6 | 3.2 | 2.8 |
| 混合维生素 ¹ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 混合矿物质 ² | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 虾青素 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 |
| 营养成分 | | | | | |
| 粗蛋白 | 25.49 | 30.84 | 35.04 | 40.68 | 45.88 |
| 粗脂肪 | 8.75 | 8.99 | 8.91 | 8.59 | 8.52 |
| 灰分 | 7.22 | 7.05 | 6.84 | 6.44 | 6.85 |
| 水分 | 7.10 | 8.02 | 9.95 | 9.08 | 8.87 |
| 类胡萝卜素含量/(mg/kg) | | | | | |
| 类胡萝卜素 | 64.94 | 46.32 | 59.69 | 64.12 | 52.06 |

注:混合维生素¹(mg/kg 预混料):维生素 E 4 100,维生素 K₃ 330,维生素 B₁ 830,维生素 B₂ 1 600,维生素 B₆ 830,维生素 A 25 万 IU,维生素 D₃ 8.3 万 IU,胆碱 42 000,烟酸 2 000,泛酸 2 000,叶酸 80,肌醇 8 300,高稳定 VC 6 600,其余用玉米蛋白粉补充至 1 kg;混合矿物质²(mg/kg 预混料):镁 13 000,铁 25 000,锰 2 500,锌 8 000,铜 290,碘 50,硒 40,其余用沸石粉补充至 1 kg。

1.2 饲养管理

实验用鱼由北京市水产科学研究所小汤山良种繁育中心提供,选用红白锦鲤幼鱼,体重(5.85 ± 0.19) g。暂养期间用基础饲料投喂,经 2 周驯化后,挑选体格健壮的个体分别放于 15 个 200 L 的蓝色水槽中,每槽放置 20 尾,实验共分 5 个组,每组设立 3 个平行,实验用水采用曝气 24 h 以上的自来水,每天投喂两次(早 7:00,晚 4:00),表观饱食投喂。每天换水一次,吸底并收取粪便,换水量为总量的 1/3,采用当季自来水水温为 15 ~ 25 ℃,24 h 充气。实验周期为 60 d。

1.3 鱼类色素的提取和测定

1.3.1 锦鲤体表红质 L*、a*、b* 值的测定

AGATSUMA^[7]以 L* 值(明度)、a* 值(+ a* 代表偏红, - a* 代表偏绿)、b* 值(+ b* 代表偏黄, - b* 代表偏蓝)来代表颜色的状态。本实验采用色差计(GEB-104 Pantone Color-Cue)测出各组实验鱼体色的体表 L*、a*、b* 值并进行统计分析。

测定各组实验鱼体表 L*、a*、b* 值时,先用吸水纸将鱼体表面的水分吸干,再将色差计的探

头紧贴于实验鱼体表红斑处,记录结果^[8]。

1.3.2 总类胡萝卜素含量的测定

参考陈晓明等^[9]的方法并略作修改,用电子分析天平(Sartorius BS210,德国)准确称取鲜样品 0.1 g,剪碎后,用丙酮定容至 5 mL,放入超声波清洗机低温超声波震荡 40 min 后取出,4 000 r/min 离心 10 min,放入 4 ℃ 冰箱里静置 24 h。将所得的鱼皮、血清、肝胰脏的色素萃取液分别置于 1 cm 比色皿中,以丙酮为空白对照管(比色皿加盖防止丙酮挥发),在紫外-可见分光光度计(上海光谱仪器有限公司)200 ~ 800 nm 波长范围内进行扫描,找出最大吸收峰所处的波长,在该波长下测定各组色素萃取液的吸光度值。

$$X = (A \times K \times V) / (E \times G) \quad [10] \quad (1)$$

式中: X 为总类胡萝卜素含量(mg/kg); A 为吸光度值; K 为常数(10⁴); V 为提取液体积(mL); E 为摩尔消光系数(2 500); G 为样品重量(g)。

1.4 生长和饲料利用效果计算

生长和饲料利用效果计算采用以下公式:

$$R_{WC}(\%) = [(W_t - W_0) / W_0] \times 100 \quad (2)$$

$$R_{FC} = C / (W_t - W_0) \quad (3)$$

$$R_{SG}(\%/d) = [(\ln W_t - \ln W_0) / t] \times 100 \quad (4)$$

$$I_F(g/\text{尾}) = C/20 \quad (5)$$

$$F_C(\%) = (W/L^3) \times 100 \quad (6)$$

$$I_{HS}(\%) = (W_1/W_t) \times 100 \quad (7)$$

$$R_{PE} = (W_t - W_0)/C_p \quad (8)$$

$$R_s(\%) = Q_T/Q_0 \times 100 \quad (9)$$

式中: R_{WC} 为增重率; W_0 为实验鱼的初始体重; W_t 为实验鱼的终末体重; R_{FC} 为饲料转化率; C 为摄饵量(干重, g); R_{SG} 为特殊增长率; t 为实验天数; I_F 为摄食率; F_C 为肥满度; W 为实验鱼体重; L 为鱼体长度; I_{HS} 为肝指数; W_1 为肝胰脏重; R_{PE} 为蛋白质效率; C_p 为蛋白质摄入量(干重, g); R_s 为成活率; Q_T 为终末尾数; Q_0 为初始尾数。

1.5 饲料成分的测定

饲料水分含量按照国标 GB/T 6435—1986 测定,饲料粗蛋白含量按照国标 GB/T 6432—1994 测定,饲料粗脂肪含量按照国标 GB/T 6433—1994 测定,饲料粗灰分含量按照国标 GB/T 6438—1992 测定。

1.6 免疫指标的测定

1.6.1 实验样品的采集

饲养实验结束后,每槽随机取 3 尾实验鱼,尾静脉取血,4 °C 下低温 4 000 r/min 离心 10 min 收集血清,用于测定血清溶菌酶(LZM)活力,解剖鱼体取其肠和肝胰脏,剪碎,按质量体积比1:9 加入预冷纯水,玻璃匀浆器匀浆,制成 10% 匀浆液,经 5 000 r/min,4 °C 低温离心 10 min,取上清液以备测定碱性磷酸酶(AKP)、过氧化氢酶(CAT)使用。再以去离子水 10 倍稀释制成 1% 的匀浆液以备测定考马斯亮蓝蛋白、乳酸脱氢酶(LDH)、超氧化物歧化酶(SOD)使用。

1.6.2 免疫指标的测定

CAT 活力测定采用可见光法;AKP 活力测定采用磷酸苯二钠法;SOD 活力测定采用黄嘌呤氧化酶法;LZM 血清溶菌酶的测定采用空白对照检测法;LDH 活力定义为每克组织蛋白 37 °C 与基质作用 15 min,反应体系中产生 1 μ mol 丙酮为 1 单位(U/g);组织匀浆蛋白质含量用蛋白质测定试剂盒(考马斯亮兰法)测定。AKP、LDH、SOD、CAT 活力使用 754 型紫外分光光度计测定,血清溶菌酶 LZM 活力使用酶标仪测定。均选用南京建成科技有限公司试剂盒进行测定。

1.7 数据分析

所有数据用 Excel 软件计算平均值和标准差,实验数据以平均值 \pm 标准差表示。采用 SPSS 16.0 进行相关性检验,单因素方差分析来进行试验组间显著性检验,若组间差异显著($P < 0.05$),则作 Duncan 氏多重比较分析。

2 结果

2.1 饲料蛋白水平对锦鲤体色影响

2.1.1 饲料蛋白水平对锦鲤体表红质 L^* 、 a^* 、 b^* 值的影响

从锦鲤的外表体色来看,蛋白水平为 25.49% ~ 35.04%,实验鱼体表红质 a^* 值随蛋白质水平的升高而显著递增($P < 0.05$),蛋白水平为 35.04% 时,锦鲤体表红质 a^* 值最高,但与蛋白水平 40% 组相比,无显著差异($P > 0.05$)。蛋白水平 35% 组的 L^* 值显著高于蛋白水平 30% 组($P < 0.05$),但其他各组间无显著差异($P > 0.05$)。而蛋白水平 35% 组锦鲤体表红质 b^* 值显著低于蛋白水平 30% 和蛋白水平 40% 组($P < 0.05$)。

表 2 饲料蛋白水平对锦鲤体表 L^* 、 a^* 、 b^* 值的影响

Tab. 2 Influence of different protein levels on values of L^* , a^* , b^* of ornamental carp body surface

| 处理 | DX1 | DX2 | DX3 | DX4 | DX5 |
|------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| L^* (亮度) | 70.46 \pm 3.65 ^{ab} | 64.62 \pm 3.76 ^a | 73.24 \pm 8.28 ^b | 69.51 \pm 0.81 ^{ab} | 67.42 \pm 2.44 ^{ab} |
| a^* (红度) | 31.69 \pm 1.03 ^a | 33.79 \pm 0.29 ^b | 36.39 \pm 0.58 ^c | 36.38 \pm 1.47 ^c | 33.07 \pm 0.68 ^{ab} |
| b^* (黄度) | 32.16 \pm 2.11 ^{ab} | 37.55 \pm 2.69 ^b | 27.74 \pm 2.08 ^a | 38.49 \pm 1.78 ^b | 27.20 \pm 3.41 ^a |

注:不同字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。

2.1.2 饲料蛋白水平对锦鲤各组织中类胡萝卜素含量的影响

从表 3 中可以看出,蛋白水平为 35.04% 时,

类胡萝卜素含量显著升高($P < 0.05$),最大值出现在蛋白水平 45.88% 组,显著高于其他实验组($P < 0.05$)。

在对实验鱼肝脏中类胡萝卜素的分析中发现:随蛋白质水平的升高类胡萝卜素含量呈现先升高后降低的趋势,蛋白水平为 35.04% 时,类胡

萝卜素含量显著高于其他实验组($P < 0.05$)。而饲料蛋白水平没有对血清中类胡萝卜素含量产生显著影响($P > 0.05$)。

表 3 饲料蛋白水平对锦鲤皮肤、肝胰脏和血清中类胡萝卜素含量的影响

Tab. 3 Influence of different protein levels on total carotenoids contents of skin, hepatopancreas and serum of ornamental carp mg/kg

| 处理 | DX1 | DX2 | DX3 | DX4 | DX5 |
|-----|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 皮肤 | 62.35 ± 3.64 ^a | 68.35 ± 2.20 ^a | 82.97 ± 0.33 ^b | 65.89 ± 4.70 ^a | 126.91 ± 7.70 ^c |
| 肝胰脏 | 5.38 ± 1.96 ^a | 18.06 ± 2.69 ^b | 24.55 ± 3.14 ^c | 17.92 ± 3.37 ^b | 10.88 ± 0.45 ^a |
| 血清 | 11.42 ± 1.02 | 11.42 ± 1.16 | 12.56 ± 1.70 | 13.14 ± 0.27 | 10.97 ± 0.38 |

注:不同字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。

2.2 饲料蛋白水平对锦鲤生长的影响

饲喂不同实验饲料 60 d 后,锦鲤的生长指标见表 4。从表中可以看出,蛋白水平 25.49%、蛋白水平 35.04% 组实验鱼的增重率、蛋白质效率显著高于其他实验组($P < 0.05$),蛋白水平 35.04% 组特殊生长率显著高于蛋白水平 30.84%、蛋白水平 40.68% 组($P < 0.05$)。在对

摄食率的分析中发现,随蛋白水平的升高实验鱼的摄食率呈现逐渐下降的趋势,当蛋白质水平超过 35.04% 后,实验鱼的摄食率下降,并且显著低于蛋白水平 25.49%、蛋白水平 35.04% 组($P < 0.05$)。而饲料蛋白水平的变化也没有对实验鱼的肥满度和肝指数产生显著影响($P > 0.05$)。各处理的实验鱼的存活率均为 100%。

表 4 锦鲤的生长指标及饲料利用效率

Tab. 4 Growth performance and feed utilization in juvenile ornamental carp

| 处理 | DX1 | DX2 | DX3 | DX4 | DX5 |
|-------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 初始体重/g | 5.81 ± 0.24 | 5.71 ± 0.88 | 5.83 ± 0.42 | 6.23 ± 0.87 | 5.45 ± 0.81 |
| 终末体重/g | 13.80 ± 1.65 | 12.32 ± 0.74 | 14.31 ± 0.95 | 12.62 ± 0.69 | 12.28 ± 0.99 |
| 增重率/% | 126.20 ± 11.80 ^{ab} | 113.20 ± 14.59 ^a | 151.40 ± 0.07 ^b | 121.00 ± 1.13 ^a | 118.20 ± 14.84 ^a |
| 特定生长率/(%/d) | 1.34 ± 0.18 ^{ab} | 1.22 ± 0.06 ^a | 1.54 ± 0.00 ^b | 1.18 ± 0.03 ^a | 1.30 ± 0.11 ^{ab} |
| 饲料转化率/% | 1.29 ± 0.11 | 1.35 ± 0.08 | 1.20 ± 0.08 | 1.32 ± 0.04 | 1.29 ± 0.11 |
| 蛋白质效率/% | 2.13 ± 0.09 ^{bc} | 1.79 ± 0.14 ^b | 2.21 ± 0.17 ^c | 1.44 ± 0.12 ^a | 1.44 ± 0.14 ^a |
| 摄食量/(g/尾) | 10.90 ± 0.47 ^b | 9.81 ± 0.64 ^{abc} | 10.45 ± 0.24 ^{bc} | 9.44 ± 0.40 ^a | 9.27 ± 0.85 ^a |
| 肥满度/% | 1.47 ± 0.01 | 1.37 ± 0.14 | 1.48 ± 0.04 | 1.46 ± 0.06 | 1.40 ± 0.05 |
| 肝指数/% | 4.12 ± 0.07 | 3.92 ± 0.83 | 3.37 ± 0.35 | 3.73 ± 0.44 | 4.04 ± 0.29 |

注:不同字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。

2.3 饲料蛋白水平对锦鲤免疫指标的影响

不同实验饲料对锦鲤免疫指标的影响见表 5。由表中可以看出,随饲料蛋白质水平的升高,实验鱼 AKP 活力呈现递增趋势,蛋白水平为 45.88% 时,AKP 活力显著高于蛋白水平 25.49% 组($P < 0.05$),但与其他实验组间无显著差异($P > 0.05$)。在对实验鱼 SOD 活力的分析结果中发现,蛋白水平为 45.88% 时,SOD 显著降低($P < 0.05$),而饲料蛋白水平没有对 CAT、LDH 以及 LZM 活力产生显著影响($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料蛋白水平对锦鲤体色的影响

虾青素又叫虾黄素、虾黄质或龙虾壳色素,是一种类胡萝卜素。虾青素是鱼虾类体色中红色系中的主要色素,也是类胡萝卜素合成的终点,它进入动物体后可以不经修饰或生化转化而直接贮存沉积在组织中,并可与肌红蛋白非特异性结合,因而,鱼类和甲壳类对虾青素的吸收和积累要比其他类胡萝卜素如角黄质(canthaxanthin)、

叶黄素 (lucin) 和玉米黄素 (zeaxanthin) 有效得多^[11]。已经有大量实验表明虾青素可以有效地改善水产品的体色。张晓红等^[12]用添加不同含量虾青素的饲料饲喂锦鲤,结果发现,添加 300 ~

900 mg/kg 虾青素可以显著改善锦鲤体色。陈晓明等^[9]研究表明,虾青素能显著改善金鱼体色,且金鱼吸收的虾青素在体内以酯化形式存在。

表 5 饲料蛋白水平对锦鲤免疫指标特性的影响

Tab. 5 Effects of dietary protein levels on the characteristics of immune parameters in ornamental carp

| 处理 | DX1 | DX2 | DX3 | DX4 | DX5 |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| AKP/(U/g) | 3.44 ± 0.71 ^a | 5.50 ± 0.42 ^{ab} | 3.70 ± 0.58 ^{ab} | 6.07 ± 0.49 ^{ab} | 6.52 ± 0.75 ^b |
| LDH/(U/g) | 253.30 ± 76.82 | 177.10 ± 13.76 | 192.10 ± 72.12 | 209.10 ± 64.28 | 255.60 ± 65.50 |
| CAT/(U/mg) | 5.84 ± 0.94 | 5.43 ± 0.09 | 3.12 ± 1.82 | 4.56 ± 0.39 | 5.28 ± 0.25 |
| SOD/(U/mg) | 136.80 ± 11.32 ^b | 142.80 ± 27.73 ^b | 121.40 ± 17.50 ^b | 136.10 ± 6.28 ^b | 63.52 ± 7.17 ^a |
| LZM/(U/mL) | 107.10 ± 12.36 | 108.90 ± 11.64 | 125.20 ± 26.75 | 116.00 ± 12.50 | 117.40 ± 16.02 |

注:不同字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。

鱼体摄入的类胡萝卜素一部分转化为维生素 A,另一部分则在分解代谢中随分泌物或排泄物流失,其余部分则沉积于鱼体性腺、肌肉及体表等处,改变鱼体肌质及体色,促进鱼体性腺发育^[13]。饲料中类胡萝卜素主要以蛋白复合物即胡萝卜素蛋白的形式存在,其在动物胃肠道中消化酶的作用下,从蛋白结合物中分离出来,在十二指肠与其他脂类物质一起经胆汁乳化后形成乳糜微粒,然后由小肠黏膜细胞吸收。在小肠黏膜细胞内,一部分类胡萝卜素转化为维生素 A (V_A),满足机体本身的需要,剩下的部分随乳糜微粒经门静脉或经淋巴入血后进入肝脏,在肝脏内转化为 V_A 或被贮存,与低密度脂蛋白 (LDL) 一同释放入血^[14]。由此可以推测类胡萝卜素在鱼体内的转化与饲料中的蛋白水平有一定关系。

在本实验测色色差计指标中, a^* 值越大,说明红色斑块越红, L^* 值越大,说明亮度越高,颜色越鲜亮。实验结果表明:随蛋白质水平的升高,实验鱼体表红质 a^* 值呈现出先递增的趋势,且当蛋白水平为 35.04% 时,实验鱼体表 a^* 值显著升高 ($P < 0.05$),与蛋白水平 40.68%、45.88% 组间均无显著差异 ($P < 0.05$)。蛋白水平对实验鱼皮肤中类胡萝卜素含量的变化有一定影响,蛋白水平为 35.04% 时,实验鱼皮肤中类胡萝卜素含量显著高于蛋白水平 25.49%、30.84%、40.68% 组 ($P < 0.05$),最大值出现在蛋白水平 45.88% 组,显著高于其他实验组 ($P < 0.05$)。

此外,随饲料蛋白水平的提高,锦鲤肝胰脏中的类胡萝卜素含量呈现先升高后降低的趋势,在蛋白水平 35.04% 时达到最高值,之后随蛋白

水平的提高显著下降 ($P < 0.05$),表明饲料蛋白水平也影响类胡萝卜素在肝脏中的积累。肝脏和皮肤均为鱼体中色素积累的部位^[15],通过不同组别皮肤和肝脏中类胡萝卜素含量的比较发现,饲料蛋白水平高于 35.04%,越来越多的类胡萝卜素积累在皮肤,而肝胰脏中的含量开始下降。说明饲料蛋白水平的提高可以有效提高类胡萝卜素在皮肤中的积累效率,从而使鱼体表现出更加艳丽的色彩。但是从经济角度来说,更高的饲料蛋白水平无疑会增加饲料的制作成本,进而增加养殖的资金投入。因此选择一个比较合适的饲料蛋白水平是有经济价值的。

3.2 饲料蛋白水平对锦鲤生长的影响

目前,很多养殖品种对蛋白质的最适需求都有报道^[16-18]。但对观赏鱼蛋白营养需求方面的研究较少,仅见于七彩神仙^[19]、金鱼^[20]、红头丽鱼^[21]等。此外,石英^[22]以增重率和饲料利用效率为指标研究血鸚鵡和金鱼的最适蛋白需求量,结果显示饲料蛋白水平为 43.00% 时,血鸚鵡幼鱼生长最快,而金鱼在蛋白水平为 38.00% 时,表现出最好的生长性能,并且超过最适蛋白需求量,血鸚鵡和金鱼的增重率都会下降。SAMANTARAY 和 MOHANTY^[23]等的研究也发现了类似的情况,即在适宜的能量蛋白比范围内,鱼类最大的生长并没有发生在最高的蛋白质水平组,而是在较低的蛋白质水平组。本实验中,蛋白水平超过 35.04%,实验鱼的增重率、特殊生长率、蛋白质效率以及摄食率都会呈现下降趋势。说明当蛋白水平超过鱼类所需时,会增加鱼类代谢负担,从而导致生长性能表现出一定程度

的下降。与上述研究结果相类似。

3.3 饲料蛋白水平对锦鲤血液和免疫指标的影响

血清溶菌酶(LZM)活力是一种体液免疫指标,它是机体受到外界刺激的一项基本防御机制^[24]。蔡春芳等^[25]研究发现:蛋白水平没有对异育银鲫的 LZM 活性产生显著影响。本研究与上述结果类似。超氧化物歧化酶(SOD)是鱼体内氧化和抗氧化反应的关键酶,其活性高低可以反映抗氧化系统氧自由基清除机制的高低和体内氧自由基水平的高低。本实验中,饲料蛋白水平为 45.88% 时,SOD 活力显著下降。分析其原因可能是因为蛋白质水平的升高促进了虾青素的积累,而虾青素作为一种特异性消除超氧自由基的循环酶,它的强抗氧化性使自由基减少,而 SOD 的主要作用就是消除自由基,这样就导致了 SOD 底物量的降低,从而导致酶活力降低。

参考文献:

- [1] 陈超然,陈昌福. 日本利用类胡萝卜素对水产动物增色的研究进展 [J]. 养殖与饲料,2003 (1):43-44.
- [2] 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):138-143.
- [3] INGLE G, ARREDONDO J L, PONCE J T, et al. Comparison of red chilli (*Capsicum annum*) oleoresin and astaxanthin on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet pigmentation [J]. Aquaculture, 2006,258(1/4):487-495.
- [4] CHATXIFOTIS S, PAVLIDIS M, JIMENO C, et al. The effect of different carotenoid sources on skin coloration of cultured red porgy (*Pagrus pagrus*) [J]. Aquaculture Research, 2005,36(15):1517-1525.
- [5] GOMES E, DIAS J, SILVA P. Utilization of natural and synthetic sources of carotenoids in the skin pigmentation of gilthead seabream (*Sparus aurata*) [J]. European Food Research And Technology, 2002,214(4):287-293.
- [6] 黄辨非,徐志维,罗静波,等. 蛋白质水平对辣椒色素在红草金鱼体内沉积及鱼生长的影响 [J]. 淡水渔业,2008,38(4):49-52.
- [7] AGATSUMA Y. Aquaculture of the sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*) transplanted from coralline flats in Hokkaido Japan [J]. Shellfish Resource, 1998,17(1/4):1541-1547.
- [8] 陈林,符秋娟. 四种食用色素对金鱼体色的影响 [J]. 上海水产大学学报,2007,16(1):79-82.
- [9] 陈晓明,徐学明,金征宇,等. 富含虾青素的法夫酵母对金
- 鱼体色的影响 [J]. 中国水产科学,2004,11(1):70-73.
- [10] 惠伯棣. 类胡萝卜素化学及生物化学 [M]. 北京:中国轻工业出版社,2005:158-210.
- [11] 周凡,邵庆均. 类胡萝卜素在水产饲料中的应用 [J]. 饲料工业,2007,28(8):55-56.
- [12] 张晓红,吴锐全,王海英,等. 饲料中添加虾青素对血鸚鵡皮肤类胡萝卜素含量和体色三刺激值的影响 [J]. 广东海洋大学学报,2010,30(4):77-80.
- [13] 侯艳君,谢骏,周群兰,等. 鱼虾体色研究概述 [J]. 安徽农学通报,2007,13(14):158-160.
- [14] 孙德文,詹勇,许梓荣. 类胡萝卜素在动物体内的吸收代谢及其生理功能研究 [J]. 江西饲料,2003 (3):6-9.
- [15] 李业国,周光宏,高峰,等. 类胡萝卜素在动物体内的生理功能及其吸收代谢研究进展 [J]. 畜牧与兽医,2005,37(9):58-61.
- [16] 张文兵,谢小军,付世建,等. 南方鲇的营养学研究:饲料的最适蛋白质含量 [J]. 水生生物学报,2000,24(6):603-609.
- [17] NG W K, SOON S C, HAGHIM R. The dietary protein requirement of a bagrid, *Mystus nemurus*, determined using semipurified diets of rearing protein level [J]. Aquaculture Nutrition, 2001,7:45-51.
- [18] TIBBETTS S M, LALL S P, ANDERSON D M. Dietary protein requirement of juvenile American (*Anguilla rostrata*) fed practical diets [J]. Aquaculture, 2000,186:145-15.
- [19] CHONG A S C, HASHIM R, ALI A B. Dietary protein requirements for discus (*Symphysodon aequifaciata*) [J]. Aquaculture, 2000,6(4):275-278.
- [20] LOCHMANN R I, PHILLIPS H. Dietary protein requirement of juvenile golden shiners (*Notemigonus crysoleucas*) and goldfish (*Carassius auratus*) in aquaria [J]. Aquaculture, 1994,128(3/4):277-285.
- [21] OLVERA-NOVOA M A, GASCA-LEYVA E, MARTINEZ-PALACIOS C A. The dietary protein requirements of *Cichlasoma synspilum* Hubbs 1935 (Pisces: Cichlidae) fry [J]. Aquaculture, 1996,27:167-173.
- [22] 石英. 金鱼和血鸚鵡的饲料蛋白质需求量及着色的研究 [D]. 上海:上海海洋大学,2008:1-25.
- [23] SAMANTARAY K, MOHANTY S S. Interactions of dietary levels of protein and energy on fingerling snakehead, *Channa striata* [J]. Aquaculture, 1997,156(3/4):245/253.
- [24] REN T, KOSHIO S, ISHIKAWA M, et al. Influence of dietary vitamin C and bovine lactoferrin on blood chemistry and non-specific immune responses of Japanese eel, *Anguilla japonica* [J]. Aquaculture, 2007,267(3/4):31/37.
- [25] 蔡春芳,吴康,潘新法,等. 蛋白质营养对异育银鲫生长和免疫力的影响 [J]. 水生生物学报,2001,25(6):590-596.

Effects of dietary protein levels on body pigmentation, growth and immunology of ornamental carp(*Cyprinus carpio* L.)

CUI Pei, JIANG Zhi-qiang, WANG Xue, ZHANG Yuan-zhen, GAO Xiao-qiang, TIAN Qing-jie
(Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Agriculture, Dalian Ocean University, Dalian 116023, Liaoning, China)

Abstract: A feeding trial was conducted to investigate the effects of dietary protein levels on body pigmentation, growth and immunology of ornamental carp(*Cyprinus carpio* L.) (initial mean body weight: 5.85 ± 0.19 g). The diet contained 130 mg/kg astaxanthins; Fish were fed with different protein levels (25.49%, 30.84%, 35.04%, 40.68%, 45.88%) and fed to apparent satiety to these groups of 20 fish for 60 days. The results showed that: The value of a^* was highest in the protein level of 35.04%, no significant differences compared with protein level 40.68% ($P < 0.05$), but obviously higher than other experimental groups ($P > 0.05$). The concentration of carotenoid in the skin of fish had significant differences from other experimental groups ($P < 0.05$) at the same level while the highest value in the group protein level 45.88%. The highest body weight gain and feed conversion ratio occurred in the protein level 35.04%. There were no significant effects on LZM, CAT and LDH ($P > 0.05$). While the activity of SOD decreased obviously at the protein level of 45.88% ($P < 0.05$). The results of this study also illustrated that the utilization of astaxanthin of ornamental carp(*Cyprinus carpio* L.) did not improve constantly with the increase of protein level in diet.

Key words: red-white ornamental carp(*Cyprinus carpio* L.); protein level; body color; growth; immunity