

文章编号: 1004 - 7271 (2008) 05 - 0577 - 08

饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼生长和鱼体色的影响

袁立强, 马旭洲, 王武, 叶蕾

(上海海洋大学水产与生命学院, 上海 200090)

摘要:研究了饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼生长和鱼体着色的影响。实验共设5个脂肪梯度: 4.17%、7.02%、9.99%、13.00%、15.76%, 含添加60 mg/kg和0 mg/kg叶黄素的两类饲料, 0 mg/kg叶黄素和8.92%脂肪饲料作为对照。每组25尾, 3个平行, 表观饱食投喂13周。结果表明: (1) 脂肪水平为4.17%~9.99%, 6周和10周时瓦氏黄颡鱼种的特定生长率和饲料效率随脂肪水平的升高而升高, 脏体比、腹脂率随脂肪水平升高而升高。(2) 饲喂叶黄素饲料5周后, 瓦氏黄颡鱼皮肤叶黄素水平不再升高, 达到稳定。(3) 适量脂肪的添加能够提高叶黄素的利用率。7.02%可以满足瓦氏黄颡鱼体着色的需要, 过高脂肪水平影响鱼体着色。(4) 着色好的瓦氏黄颡鱼体色至少能保持7周, 不褪色。(5) 饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼皮肤酪氨酸酶活力和黑色素无影响。

关键词: 瓦氏黄颡鱼; 脂肪; 生长; 体色; 黑色素; 酪氨酸酶

中图分类号: S 963.1

文献标识码: A

Effects of dietary lipid levels on growth and body pigmentation of darkbarbel catfish (*Pelteobagrus vachelli* Richardson)

YUAN Li-qiang, MA Xu-zhou, WANG Wu, YE Lei

(College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China)

Abstract: An experiment was conducted to investigate the effects of dietary lipid levels on growth and body pigmentation of Darkbarbel catfish. Five experimental diets containing different lipid levels (4.17%, 7.02%, 9.99%, 13.00%, 15.76%) were formulated and fed to apparent satiety to five groups of 25 fish for 13 weeks, each lipid level contained 60 mg/kg or 0 mg/kg xanthophylls. 0 mg/kg xanthophylls and 8.92% lipid diet served as control. The results showed that: (1) At the end of 6th and 10th week, the special growth rate and feed efficiency increased as the dietary lipid increased from 4.17% - 9.99%, the viscerosomatic index (VSI) and intraperitoneal fat ratio (IPF) also increased as the dietary lipid level increased. (2) The concentration of xanthophylls in the skin of fish fed xanthophylls diets increased to a stage of stability after 5 weeks feeding. (3) The concentration of xanthophylls in skin of Darkbarbel catfish was higher when fed with soybean oil containing diets, 7.02% crude fat was enough for the body pigmentation of Darkbarbel catfish. (4) The concentration of xanthophylls in the skin of well pigmented Darkbarbel catfish would keep steady at least for 7 weeks rather than depigmented. (5) Melanin content in skin and tyrosinase activities of dorsal skin, subjacent lateral line skin and blood serum seemed no difference among all groups ($P > 0.05$).

收稿日期: 2007-12-27

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2004)8-8号]; 上海市重点学科建设项目(Y1101)

作者简介: 袁立强(1982-), 男, 硕士研究生, 专业方向为水产动物增养殖。E-mail: lqyan@stmail.shou.edu.cn

通讯作者: 王武, E-mail: wwang@shou.edu.cn

Key words: *Pelteobagrus vachelli*; fat; growth; pigmentatim; melanin; tyrosinase

瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*) Richardson, 又名江黄颡鱼, 广泛分布于长江和淮河等流域, 因其无肌间刺、肉味鲜嫩、肌肉含脂量高而深受消费者喜爱。早在汉朝, 淮南王刘安称其为“肥王鱼”而倍受推崇。瓦氏黄颡鱼在自然条件下体色呈黄褐色, 在现代集约化养殖条件下, 鱼类摄食天然饵料(富含类胡萝卜素)的机会越来越少, 鱼类体色通常发生变化, 而配合饲料本身类胡萝卜素含量低, 造成养殖鱼类体表或肌肉色泽变差^[1]。在养殖条件下, 瓦氏黄颡鱼呈青灰色, 但消费者青睐黄褐色的黄颡鱼属鱼类, 其价格较青灰色高。

脂肪是饲料重要组成部分, 不仅作为能量和必需脂肪酸的来源, 而且能够节省蛋白质^[2-3], 另外饲料中脂肪含量过高会降低饲料消耗(减少蛋白的摄入)和其他营养物质的利用, 从而影响生长^[4-6]。饲料脂肪水平影响虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)对虾青素的消化率, 从而影响其体色^[7-9]。饲料中添加叶黄素能够使养殖瓦氏黄颡鱼呈黄褐色^[10], 但有关脂肪营养对瓦氏黄颡鱼生长与体色的影响未见报道。本试验研究了饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼生长和着色的影响, 以获得瓦氏黄颡鱼配合饲料的适宜添加量, 在体色转变后, 不饲喂含叶黄素饲料, 获得褪色时间数据, 可以为瓦氏黄颡鱼的养殖提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 瓦氏黄颡鱼

试验鱼为上海松江区水产良种场人工繁殖获得的鱼苗, 将鱼苗培育为体长(13.9 ± 0.90) cm, 体重(47.5 ± 5.95) g 的幼鱼。挑选规格基本一致, 体格健壮的幼鱼 450 尾, 分到 18 个缸中(5 个处理组, 1 个对照组, 每组设 3 个重复), 每缸 25 尾、组间体长、体重差异不显著($P > 0.05$)。另外取 30 尾瓦氏黄颡鱼于一缸中(第 7 组)。

1.1.2 饲 料

鱼粉来源于宁波天邦有限公司, 肉骨粉、菜粕、豆粕、鱼用多维、多矿等来源于上海飞帆饲料厂, 豆油和面粉购于易初莲花超市, 豆油购回后用活性炭脱色 2 d 后, 过滤备用, 添加 0.3% 的金黄素 Y(广州智特奇公司, 含叶黄素 2%) 作为叶黄素源, 饲料叶黄素水平 60 mg/kg。对照组添加 5% 的豆油, 不添加色素。同时制备不含色素, 脂肪含量相对应的 5 组饲料。各组饲料粗蛋白、粗脂肪、水份和叶黄素见表 1。

表 1 饲料营养成分
Tab.1 Proximate composition of diets

原 料	组 别						%
	对照	1	2	3	4	5	
鱼 粉	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00
肉骨粉	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
菜 粕	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
豆 粕	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26
面包酵母	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
多 维	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
多 矿	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
EQ	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
BHT	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
氯化胆碱	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
面 粉	26.50	31.50	28.50	25.50	22.50	19.50	19.50
豆 油	5.00	0.00	3.00	6.00	9.00	12.00	12.00
饲料营养(%)							
粗脂肪	8.92	4.17	7.02	9.99	13.00	15.76	15.76
水 分	11.56	11.93	11.16	11.50	10.69	10.61	10.61
实测叶黄素(mg/kg)	0.00	49.86	49.59	50.53	49.31	47.35	47.35

1.2 实验设计

试验前 6 周投喂含叶黄素饲料,6 周后将所有鱼分别称重,随机取样,对照组和色素组每缸取 6 尾鱼,称重后,3 尾用于测定皮肤和肌肉叶黄素含量,3 尾用于测定酪氨酸酶活力和黑色素的含量;再投喂不含叶黄素、脂肪含量不等的饲料 4 周,每缸鱼称重后随机取 6 尾,其中 3 尾用于测定皮肤叶黄素的含量,所取 6 尾鱼均称体重、内脏重、内脏表面脂肪块重、肝脏重,并计算相关指标;第 10 周后饥饿处理 3 周后,每缸取 3 尾测定皮肤叶黄素的含量。第 7 组投喂含脂肪为 9.99% 的叶黄素饲料分别在第 1、2、3、5、6、7 周分别取 3 尾测定皮肤叶黄素的含量。

1.3 实验方法

1.3.1 生长和摄食

用规格相同的水族缸(直径 40 cm,容积 0.27 m³)饲养,试验用水为循环水,每两天用曝气 3 d 的自来水换水 1/3,水中 DO > 5.0 mg/L,水温控制在(27.0 ± 1.0) °C。每天投喂 2 次,分别为 8:30 和 18:30。用肉眼观察试验鱼摄食,缓慢饲喂,以 2 min 内没有再摄食为表观饱食标准,每次投喂后水族缸内剩余饲料不超过 10 粒,5 min 后,虹吸取出多余残饵,每天 14:00 定期清理粪便。

1.3.2 皮肤和肌肉叶黄素含量的测定

取背部皮肤 1 g,依据冷向军等^[11]方法测定 OD₄₇₄,并进行定量。

1.3.3 血清、背皮和腹皮酪氨酸酶活力

尾静脉采血,放置冰箱内一昼夜后,获得血清,4 °C 保存。分别取同侧背皮和腹皮约 0.5 g,(背皮为侧线到鱼体纵断面背缘皮肤,腹皮为侧线到鱼体纵断面腹缘皮肤),剪碎后加入 8 mL 0.2 mol/L 预冷磷酸缓冲液(pH 8.0)匀浆,于冰箱内提取 30 min,8 000 g 离心 15 min。上清液为粗酶提取物。依据 Pomerantz 等^[12]和叶小利等^[13]方法进行测定背皮、腹皮、血清酪氨酸酶活力,以 ΔA 每 15 min 变化 0.01 作为一个活性单位(U)。

1.3.4 背部、侧线下方黑色素含量

参考叶小利等^[13]的方法并加以改进,分别取背皮和腹皮约 0.2 g 加入 2 mL 丙酮,猛烈震荡,30 °C 水浴 1 h,然后 3 500 r/min 离心 15 min。弃上清,取残渣加入 5 mL 5% HCl-甲醇溶液,60 °C 恒温水浴 1 h,离心,取残渣按上述方法分别用丙酮和 HCl-甲醇水浴提取,离心,再取残渣加入 8 mL 2% NaOH,70 °C 水浴,直至提取液均质,用混匀器摇匀,1 000 r/min 离心 5 min(若离心后下层仍有黑色块状物,得继续水浴再离心)取离心好的黑色素溶液于 290 nm 比色,测得 OD 值。以 A_{290 nm}/g 湿重表示黑色素含量。

1.4 计算方法

按照以下公式测定摄食率(FR)、特定生长率(SGR)、饲料转化率(FE)、肝体比(HIS)、脏体比(VIS)、脂肪率(IPF)。

$$\begin{aligned} \text{FR}(\%) &= \frac{2C}{t \times (W_0 + W_t)} \times 100 & \text{SGR}(\%/d) &= \frac{\text{Ln}(W_0 + W_t)}{t} \times 100 \\ \text{FE}(\%) &= \frac{\sum W_t + \sum W_0}{t \times C} \times 100 & \text{HIS}(\%) &= \frac{W_h}{W_t} \times 100 \\ \text{VIS}(\%) &= \frac{W_v}{W_t} \times 100 & \text{IPF}(\%) &= \frac{W_i}{W_t} \times 100 \end{aligned}$$

其中, W₀ 为初始体重(g), W_t 为终末体重(g), W_h 为肝脏重(g), W_v 为内脏重(g), W_i 为内脏表面脂肪块重(g), t 为饲喂时间(d), C 为摄入饲料的总量(g)。

1.5 数据处理

实验数据用 SPSS 10.0 进行方差分析, Duncan 法进行多重比较。

2 结果

2.1 不同饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼摄食率、特定生长率和饲料转化率的影响

在试验过程中,没有鱼死亡,摄食率、特定生长率和饲料转化率测定结果如表2所示。

表2 脂肪水平对瓦氏黄颡鱼生长的影响

Tab.2 Effect of dietary lipid levels on the growth of *Pelteobagrus vachelli*

时间(周)		脂肪水平(%)				
		4.17	7.02	9.99	13.00	15.76
W_0	0	47.56 ± 2.78	49.00 ± 4.27	46.24 ± 0.57	44.01 ± 3.29	46.02 ± 2.27
W_t	6	75.59 ± 4.37	78.38 ± 5.90	79.86 ± 1.45	74.74 ± 5.01	71.69 ± 3.73
	10	98.52 ± 3.27 ^a	102.43 ± 2.25 ^b	107.41 ± 2.51 ^c	100.86 ± 8.93 ^{abc}	101.76 ± 7.13 ^{abc}
FR	6	2.48 ± 0.07 ^a	2.44 ± 0.13 ^a	2.43 ± 0.07 ^a	2.41 ± 0.16 ^a	2.06 ± 0.20 ^b
	10	2.14 ± 0.16	2.12 ± 0.03	2.09 ± 0.15	2.18 ± 0.10	2.08 ± 0.17
SGR(%/d)	6	1.29 ± 0.05 ^a	1.31 ± 0.03 ^a	1.52 ± 0.17 ^b	1.47 ± 0.12 ^b	1.23 ± 0.07 ^a
	10	1.15 ± 0.07 ^a	1.23 ± 0.05 ^b	1.32 ± 0.04 ^c	1.29 ± 0.01 ^c	1.24 ± 0.07 ^{bc}
FE(%)	6	48.77 ± 5.31 ^a	54.06 ± 1.60 ^a	62.67 ± 1.43 ^b	61.45 ± 0.99 ^b	54.61 ± 5.43 ^a
	10	48.50 ± 2.66 ^a	51.91 ± 1.13 ^{ab}	57.28 ± 2.88 ^c	57.26 ± 3.71 ^c	53.39 ± 4.00 ^{bc}
HIS	10	1.37 ± 0.33	1.29 ± 0.25	1.03 ± 0.17	1.02 ± 0.16	1.20 ± 0.38
VIS	10	9.15 ± 0.28 ^a	9.16 ± 0.16 ^a	9.24 ± 0.36 ^{ab}	9.64 ± 0.22 ^b	10.19 ± 0.24 ^c
IPF	10	2.15 ± 1.10 ^a	2.59 ± 0.25 ^a	3.47 ± 0.71 ^b	4.20 ± 0.72 ^{bc}	4.75 ± 1.20 ^c

注:同行中不同上标小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同

第6周,FR随脂肪水平的升高有下降趋势,15.76%组最低,较其他各组具显著性差异($P < 0.05$);第10周FR较第6周降低,但组间无显著性差异($P > 0.05$)。

第6周,脂肪为9.99%和13%组SGR显著高于其他组($P < 0.05$);第10周,9.99%组(1.32)最高,较4.17%、7.02%组高($P < 0.05$);4.17%组(1.15)最低,与其他组具有显著性差异($P < 0.05$)。

第6周,FE为48.77%~62.67%,脂肪为9.99%和13.00%组利用率最高,与其他组具显著性差异($P < 0.05$)。未添加豆油组最低,与第10周具相似规律。

第10周,HIS各组无显著差异($P > 0.05$),VSI和IPF随饲料脂肪水平的升高而升高,13.00%和15.76%组与4.17%和7.02%组具有显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼体色的影响

不同时间第7组皮肤叶黄素含量如表3所示,各试验阶段瓦氏黄颡鱼见图版。

表3 第7组不同时间叶黄素的含量

Tab.3 The xanthophylls content in skin of *Pelteobagrus vachelli* of the 7th group at different experiment time

时间	mg/kg						
	0周	1周	2周	3周	5周	6周	7周
皮肤	3.42 ± 0.55 ^a	6.13 ± 0.24 ^b	7.41 ± 1.60 ^c	9.97 ± 2.02 ^d	16.66 ± 4.22 ^e	15.77 ± 2.26 ^e	16.84 ± 1.05 ^e

饲喂叶黄素饲料,瓦氏黄颡鱼皮肤叶黄素含量不断升高。试验开始时,瓦氏黄颡鱼为青灰色,从第3周开始可以逐渐看到黄褐色,第5周叶黄素水平(16.66 mg/kg)稳定,与第6、7周无显著性差异($P > 0.05$)。肌肉中叶黄素含量的测定结果极低,所以未列出。

其他各组皮肤和肌肉叶黄素含量如表4所示。

试验6周,对照组为青灰色,而各处理组为黄褐色,叶黄素含量显著高于对照组($P < 0.05$)。饲料脂肪水平对皮肤叶黄素含量有显著影响($P < 0.05$);处理组中未添加豆油组皮肤叶黄素(12.90 mg/kg)

最低,分别比 7.02%、9.99%、13.00% 和 15.76% 组低 3.42、2.87、3.15 和 2.58 mg/kg ($P < 0.05$); 肌肉叶黄素含量较皮肤低,且各组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。皮肤叶黄素的含量较肌肉高得多,说明皮肤是叶黄素沉积的主要部位之一。

表 4 不同时间各组皮肤、肌肉叶黄素的含量

Tab. 4 The xanthophylls content in skin and muscle of *Pelteobagrus vachelli* at different experiment time

组别	对照组	脂肪水平 (%)					
		4.17	7.02	9.99	13.00	15.76	
6 周	皮肤	3.70 ± 0.38 ^a	12.90 ± 1.39 ^b	16.32 ± 1.40 ^c	15.77 ± 2.26 ^c	16.05 ± 1.28 ^c	15.48 ± 1.31 ^c
	肌肉	0.59 ± 0.12	0.52 ± 0.02	0.71 ± 0.12	0.59 ± 0.19	0.57 ± 0.05	0.55 ± 0.08
10 周	皮肤	3.95 ± 0.44 ^a	11.41 ± 3.69 ^b	13.68 ± 1.72 ^c	13.82 ± 1.35 ^c	15.44 ± 2.06 ^c	12.60 ± 3.20 ^{bc}
13 周	皮肤	3.78 ± 0.59 ^a	11.34 ± 1.15 ^b	13.51 ± 1.65 ^b	13.65 ± 1.42 ^b	13.69 ± 1.64 ^b	13.74 ± 2.34 ^b

第 10 周,对照组为青灰色,各处理组仍为黄褐色,各处理组极显著高于对照组 ($P < 0.01$)。脂肪 13.00% 组皮肤叶黄素含量最高 (15.09 mg/kg),较未加豆油组和 15.76% 组分别高 3.04 和 2.84 mg/kg ($P < 0.01$),其他组与未加豆油组存在显著差异 ($P < 0.05$)。与第 6 周进行比较,各组皮肤叶黄素分别为第 6 周的 89.39% ± 7.01%、84.60% ± 3.16%、87.63% ± 3.52%、86.65% ± 9.94% 和 81.28% ± 4.15%,各组间无显著差异 ($P > 0.05$),平均值为 86.01% ± 5.96%,具有较高的保留。

第 13 周,各处理组皮肤仍为黄褐色,皮肤叶黄素含量较第 10 周相近,但黄褐色逐渐变得模糊,逐渐出现一些斑点,可以认为是褪色表现。

2.3 酪氨酸酶活力大小及黑色素含量

试验 6 周后,测定了对照组和含色素组背皮、腹皮酪氨酸酶活力和黑色素含量,血清酪氨酸酶活力 (表 5)。

表 5 投喂色素饲料第 6 周各组背皮、腹皮、血清酪氨酸酶活力和黑色素含量

Tab. 5 The tyrosinase activity and melanin content of dorsal skin, belly skin and blood serum tyrosinase

组别	对照	脂肪水平 (%)				
		4.17	7.02	9.99	13.00	15.76
腹皮酪氨酸酶 (U/g)	44.13 ± 4.83	45.64 ± 14.65	40.50 ± 12.52	51.90 ± 2.99	39.13 ± 6.34	47.05 ± 13.93
背皮酪氨酸酶 (U/g)	36.93 ± 15.75	38.19 ± 1.91	28.99 ± 6.15	35.11 ± 13.07	35.85 ± 15.38	25.97 ± 0.30
血清酪氨酸酶 (U/mL)	4.97 ± 1.50	2.28 ± 1.11	2.92 ± 1.66	3.33 ± 1.04	3.14 ± 1.46	3.92 ± 1.42
背皮黑色素 ($A_{290/g}$)	54.98 ± 4.92 ^a	47.87 ± 1.96 ^{ab}	41.00 ± 5.62 ^b	44.00 ± 0.78 ^b	44.04 ± 2.54 ^b	44.99 ± 9.64 ^b
腹皮黑色素 ($A_{290/g}$)	44.19 ± 2.47	41.16 ± 7.57	38.19 ± 7.01	39.63 ± 6.88	40.21 ± 1.95	38.80 ± 3.35

结果表明:背皮、腹皮及血清中酪氨酸酶活力,各组之间无显著差异 ($P > 0.05$);酪氨酸酶的活力大小为:背皮 > 腹皮 > 血清。背皮和腹皮黑色素含量的测定结果表明:背皮黑色素含量为 41.00 ~ 54.98 $A_{290/g}$,腹皮为 38.19 ~ 44.19 $A_{290/g}$,即背皮黑色素含量较腹皮高,这与酪氨酸酶具有类似的规律。对照组背皮黑色素较各处理组高 ($P < 0.05$),各处理组间背皮、腹皮黑色素含量无显著差异 ($P > 0.05$),各组之间腹皮黑色素无显著差异 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料脂肪水平与瓦氏黄颡鱼生长的关系。

对于黄颡鱼属黄颡鱼 (*Pseudobagrus fulvidraco*),大豆油是其最适的脂肪源^[14]。本试验饲料用大豆油,应视为可靠。实验用叶黄素为万寿菊提取物,是天然的植物色素,已广泛用于食品行业^[15],用于饲

料中也应视作安全。

王道尊等^[16]认为,用马面鲈鱼油作为脂肪源研究青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)鱼种饲料中脂肪的适宜含量为3~8%,最佳为6.5%。斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)一般需要量为5%~6%^[17];黄颡鱼幼鱼的研究结果表明,饲料蛋白水平为42%,脂肪含量19%较10%好^[18]。长吻鲇(*Leiocassis longirostris*)鱼种饲料中适宜的脂肪含量为6%~12%,最佳值是9.95%^[19]。从SGR和FE方面考虑,瓦氏黄颡鱼饲料的蛋白水平为38%,适宜脂肪含量为9.99%~13.00%,与长吻鲇脂肪最适需要量相近,可能是因为瓦氏黄颡鱼与长吻鲇均为食性和栖息习性相似的鲇形目鱼类,生态位相近的缘故;低于黄颡鱼^[18],可能是由于试验鱼规格的不同,本实验鱼是二龄鱼,对脂肪的适应可能较幼鱼差。军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[20]、斑点叉尾鲷^[21]、眼斑拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)^[22]、莒鲈(*Sebastes schlegeli*)^[23]的研究结果表明,饲料脂肪含量升高引起鱼类摄食率下降,本试验中摄食率有随脂肪水平升高而下降的趋势,但趋势不明显($P > 0.05$),仅在15.76%组下降,这可能是15.76%的脂肪含量超过了瓦氏黄颡鱼需要量的结果。

据Wilson等^[17]和Wang等^[20]报道,随着脂肪水平的升高,VSI和IPF均有升高的趋势,饲料脂肪水平高会导致脂肪在腹腔大量贮积。本试验饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼VSI、IPF产生了显著影响,与斑点叉尾鲷^[17]和军曹鱼^[20]有相似的结论。通常认为,脂肪水平升高会引起HIS升高,如长吻鲇^[19],军曹鱼^[20]等,但本试验饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼HIS的影响并不显著,可能是由于种类的不同所致。

3.2 皮肤叶黄素含量与饲料脂肪水平的关系

Storebakken等^[7]认为血清中虾青素含量的高低直接反映出鱼类对虾青素吸收利用程度。Barbosa等^[8]的试验结果表明,饲喂较高脂肪含量的虾青素饲料后,虹鳟血清中有较高的虾青素浓度。Torrissen等^[9]提出虹鳟饲料虾青素的表观消化率随饲料脂肪含量的升高而增加。说明饲料脂肪通过影响虾青素的消化率,而影响鱼类皮肤色素水平,而对鱼体色产生影响。马旭洲^[24]的研究结果表明,瓦氏黄颡鱼肌肉中的含脂量(湿重)高达8.5%,较一般鱼类高,配合饲料中脂肪的添加尤为重要。本试验结果表明,叶黄素显著地改变了瓦氏黄颡鱼体色,饲料脂肪对瓦氏黄颡鱼黄褐色体色的形成具有促进作用。但这种促进作用并不随脂肪含量增加而不断增强。对虹鳟的研究结果表明,饲料脂肪水平增加能促进鱼体虾青素含量的升高^[23],本实验结果表明瓦氏黄颡鱼对叶黄素的利用有相似的结果。摄食率影响鱼虾生长和营养物质的分配,因而影响类胡萝卜素的沉积^[1],当饲料脂肪含量超过7.02%时,瓦氏黄颡鱼皮肤叶黄素含量不进一步上升,而是处于相对稳定的含量,可能与饲料脂肪含量升高,瓦氏黄颡鱼日摄食率下降趋势有关。

Storebakken等^[26]认为,性成熟的虹鳟类胡萝卜素由肌肉转移到和性腺。由于本实验鱼为二龄鱼,实验结束时,有些试验鱼的性腺已经成熟,且颜色较对照组黄,这说明此时性腺中也可能有较高的叶黄素和类胡萝卜素;肌肉中叶黄素含量无显著性差异,可能是类胡萝卜素向和性腺转移的结果,确定结果有待于进一步研究。

3.3 不同饲料组酪氨酸酶活力、黑色素含量

酪氨酸酶又称单酚单加氧酶和多酚氧化酶,是黑色素合成的限速酶^[27]。本试验结果表明,酪氨酸酶在背皮、腹皮和血清中均有分布。各处理组和对照组均有较高的酶活力,背皮较腹皮高,黑色素也具有相同的现象,证明了酪氨酸酶活力与黑色素的含量成正相关;各组间相同部位酪氨酸酶活力并无显著差异,说明饲料中叶黄素含量、不同脂肪含量并不影响酪氨酸酶活力,酪氨酸酶活力可能与不同鱼类的遗传机制相关。一些研究结果表明,酪氨酸酶与酪氨酸酶基因相关,将正常的酪氨酸酶基因转移到白化鱼体内,转基因鱼的体色得到了不同程度的恢复^[28-30]。

3.4 关于瓦氏黄颡鱼体色变色技术在养殖上应用问题

目前水产动物着色生产上一般采用两种模式:长期低剂量模式和短期高剂量模式^[1]。在瓦氏黄颡鱼生产上,可以采用在养殖后期,即收获前3个月饲喂含60 mg/kg叶黄素,脂肪水平大于7%的配合饲

料的方式,养殖 5 周,瓦氏黄颡鱼即可得到满意的体色,使之变成黄褐色。

停止投喂色素饲料,虽然瓦氏黄颡鱼皮肤叶黄素含量下降,但保留率为 $86.01\% \pm 5.96\%$,仍保留有较高的叶黄素水平。饥饿 3 周后,各组背部仍然有较高的叶黄素含量。因此对于着色好的瓦氏黄颡鱼,可以投喂不含叶黄素的饲料 7 周,以节省饲料叶黄素成本。对于着色过度的鱼,可以不饲喂叶黄素饲料,养殖一定时间,变成令人满意的体色。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Bromley P J. Effect of dietary protein, lipid and energy content on the growth of turbot *Scophthalmus maximus*[J]. Aquaculture,1980,19: 359-369.
- [3] Vergara J M, López-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, 35-44.
- [4] Watanabe T. Lipid nutrition in fish[J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1982,73: 3-15.
- [5] Daniels W H, Robinson E H. Protein and energy requirements of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*)[J]. Aquaculture, 1986,53:243-252.
- [6] Ellis S C, Reigh R C. Effects of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*)[J]. Aquaculture, 1991,97:383-394.
- [7] Storebakken T, Goswami U C. Plasma carotenoid concentration indicates the availability of dietary astaxanthin for Atlantic salmon, *Salmo salar*[J]. Aquaculture,1996,146:147-153.
- [8] Barbosa M J, Morais R, Choubert G. Effect of carotenoid source and dietary lipid content on blood astaxanthin in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1999, 176:331-341.
- [9] Torrissen O J, Wardy R W, Shearer, 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: 351-362.
- [10] 石张东. 江黄颡鱼饲料蛋白的研究[D]. 上海水产大学. 2003.
- [11] 冷向军,李小勤,韦友传,等. 饲料中添加叶黄素对胡子鲶体色的影响[J]. 水产学报,2003,27(1):38-42.
- [12] Pomerantz S H. Separation, purification, and properties of two tyrosinases from hamster melanoma [J]. The Journal Of Biological Chemistry,1963, 238:2351-2356.
- [13] 叶小利,李加纳,唐章林,等. 甘蓝型黑籽和黄籽油菜种子发育过程中的种皮色泽差异研究[J]. 中国油料作物学报,2001,23(3): 38-41.
- [14] 刘飞. 不同油脂、不同磷脂水平对黄颡鱼生长及其脂肪酸组成的影响[D]. 华中农业大学,2004.
- [15] 张春红. 食品着色剂手册[M]. 北京:中国计量出版社,2006.
- [16] 王道尊,龚希章,刘玉芳. 饲料中脂肪的含量对青鱼鱼种生长的影响[J]. 水产学报,1987,11(1):23-28
- [17] Wilson R P, Moreau Y. Nutrient requirements of catfishes (Siluroidei)[J]. Aquatic Living Resources, 1996,9,103-111.
- [18] Lee Oh Kim, Sang-Min Lee. Effects of the dietary protein and lipid levels on growth and body composition of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco*[J]. Aquaculture, 2005,243:323-329.
- [19] 张泽芸,张季涛,陈先均. 饲料中的脂肪含量对长吻鮠鱼种生长的影响[J]. 西南农业学报,1991,4(4):110-114.
- [20] 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, 2005,249:439-447.
- [21] Page J W, Andrews J W. Interaction of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. Journal of Nutrition. 1973, 103: 1339-1346.
- [22] Ellis S C, Reigh R C. Effects of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus*[J]. Aquaculture,1991,97: 383-394.
- [23] Lee S M, Jeon, I G, Lee J Y. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*) [J]. Aquaculture, 2002, 211: 227-239.
- [24] 马旭洲. 瓦氏黄颡鱼稚幼鱼生长特性的研究[D]. 上海水产大学,2006.
- [25] Nickell D C, Bromage N R. The effect of dietary lipid level on variation of flesh pigmentation in rainbow trout[J]. Aquaculture, 1998, 161:237-251.
- [26] Storebakken T, Kyoon H. Pigmentation of rainbow trout[J]. Aquaculture,1992,100:209-229.
- [27] Koga A, Wakamatsu Y, Kurosawa J, et al. Oculocutaneous albinism in the 16 Mutant of the medaka fish is associated with a deletion in the tyrosinase gene. Pigment[J]. Cell Research, 1999,12(4):250-258.

- [28] Koga A, Inagaki H, Bessho Y, *et al.* Insertion of a novel transposable element in the tyrosinase gene is responsible for an albino mutation in the medaka fish, *Oryzias latipes*[J]. *Mol Gen Genet*,1995,249(4):400-405.
- [29] Koga A, Hori H. Albinism due to transposable element insertion in fish[J]. *Pigment Cell Research*,2000,13(5):320-325.
- [30] Hori H, Suzuki M, Inagaki H, *et al.* An active Ac-like transposable element in teleost fish[J]. *Journal of Marine Biotechnology*,1998,6(4):206-207.



图版 Plate

1. 试验初始时体色情况; 2. 试验3周后色素组体色情况; 3. 试验5周后色素组体色情况; 4. 试验6周后对照组体色情况;
5. 试验6周后色素组体色情况; 6. 试验10周后色素组体色情况; 7. 试验13周后色素组体色情况