

饲料色素对黄颡鱼皮肤类胡萝卜素、叶黄素含量和酪氨酸酶活力的影响

丁小峰^{1,2}, 叶元土^{1*}, 蒋蓉¹, 蔡春芳¹, 诸葛燕¹, 汪军涛¹

(1. 苏州大学生命科学学院, 江苏 苏州 215006;

2. 东方希望饲料集团有限公司, 上海 200120)

摘要:以平均体重45.25 g的1冬龄黄颡鱼为试验对象,在饲料中分别添加0.4%的加丽素红、0.5%的金黄素、0.5%的金菊黄、6%的玉米蛋白粉作为色素源,以不含色素源的饲料为对照,在室内循环养殖系统中养殖56 d,观察各试验组黄颡鱼的体色,分别测定其背部和腹部皮肤、血清中的酪氨酸酶活力、总类胡萝卜素和叶黄素含量。结果为金菊黄组黄颡鱼血清酪氨酸酶活力显著提高,而其他各试验组之间无显著性的差异;对照组黄颡鱼总类胡萝卜素含量在背部皮肤下降11.2%、腹部皮肤下降57.5%,叶黄素含量变化与此类似;玉米蛋白粉组类胡萝卜素含量在腹部皮肤降低了38.5%、背部皮肤无显著性变化,背部和腹部皮肤中叶黄素含量有一定程度的增加;加丽素红组黄颡鱼总类胡萝卜素含量在腹部皮肤中降低了45%、背部皮肤无显著性变化,背部和腹部皮肤中叶黄素含量显著降低;金黄素组鱼体背部、腹部皮肤中总类胡萝卜素的含量分别升高了1.8倍和1.5倍,金菊黄组鱼体背部和腹部皮肤中总类胡萝卜素的含量分别升高了1倍和0.49倍;叶黄素含量也显著增加。试验结果表明,黄颡鱼能够选择性地沉积来源于饲料色素物质,饲料色素对黄颡鱼体色具有较大的影响。

关键词:黄颡鱼;类胡萝卜素;叶黄素;酪氨酸酶

中图分类号: S 963

文献标识码: A

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)隶属鲶形目(Siluriformes)、鲿科(Bagridae)、黄颡鱼属(*Pelteobagrus*),是一种优质名贵经济鱼类,目前已经成为人工养殖种类之一。在人工养殖条件下,黄颡鱼易出现显著的体色变化,并影响其商品价值。影响养殖鱼类体色变化的因素很多,国内外也有较多的研究^[1-2],饲料中色素物质供给不足是影响养殖鱼类体色变化的主要因素之一^[1,3-4]。养殖鱼类体色变化包括黑色体色的退化和黄色、红色等鲜艳体色的退化两个方面^[3];鱼类黑色体色的形成主要依赖于皮肤、鳞片成熟的黑色素细胞数量、分布、密度,以及黑色素颗粒在黑色素细胞中的分布状态^[2];黄色、红色等体色的形成则依赖于类胡萝卜、叶黄素等色素在皮肤、鳞片的含量和分布^[4],鱼类和其他脊椎动物一样,不能合成这些色素,必须依赖于从饲料、食物中吸收并沉

积^[1,5]。因此,在人工养殖条件下,如何选择适宜的色素源并通过饲料保障鱼体对色素的需要,从而保护养殖鱼类正常体色就是一个值得研究的问题。饲料色素与养殖鱼类体色的关系在观赏鱼类研究较多^[5],在食用鱼类如胡子鲶(*Clarias fuscus*)^[4]也有研究,而在黄颡鱼还没有研究。本试验选择常用的3种商品色素和由含叶黄素量较大的饲料原料如玉米蛋白粉组成的饲料同时进行养殖试验,希望筛选适宜的饲料色素产品,或直接由含色素量高的饲料原料组成的饲料来保障养殖的黄颡鱼对色素的需求,为实际生产中如何有效地、更经济地解决黄颡鱼体色变化等提供理论基础和应用技术。

1 材料与amp;方法

1.1 试验鱼

选用平均体重45.25 g的黄颡鱼255尾,经

一周暂养、驯化后随机分养于 15 个体积 0.33 m³ 的室内循环养殖桶,每桶放养 17 尾。黄颡鱼为苏州市水产研究所池塘培育的 1 冬龄鱼种。

1.2 试验饲料

饲料色素 参考冷向军等^[4]、向泉等^[6]关于饲料色素的使用量,本试验在饲料补充 0.4% 的含 10% 角黄素的商品加丽素红,折算角黄素添加量为 400 mg/kg;在饲料补充 0.5% 的来自于万寿菊、色素含量均为 2% 的金黄素 - Y 和金菊黄两种商品色素添加剂,折算色素添加量为 100 mg/kg; 在

饲料中补充 6% 的玉米蛋白粉作为内源性色素;以不补充色素源的饲料为对照组。各试验饲料粗蛋白质含量(40.8% ± 0.56%)、粗脂肪含量(8.35% ± 0.14%)、总磷含量(1.81% ± 0.06%)(表 1)。

试验饲料 选用鱼粉、豆粕、菜粕、棉粕、次粉等常用饲料原料,试验饲料配方及常规成分分析见表 1。所有饲料原料经粉碎后过 60 目筛,用小型混合机混合均匀后加工成直径 1.5 mm 的颗粒,制粒温度 60 °C,饲料置于 4 °C 冰箱中保存备用。

表 1 饲料原料组成和成分
Tab.1 Formulation and composition of experimental diet

原料 ingredient	对照组 control group	加丽素红 carophyll red	金黄素 - Y auroxanthin	金菊黄 goldenrod	玉米蛋白粉 corn gluten meal	%
鱼粉 fish meal	27	27	27	27	27	
豆粕 soybean meal	18	18	18	18	11	
菜粕 rape seed meal	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
棉粕 cotton seed meal	5	5	5	5	5	
麦麸 wheat bran	17	17	17	17	17	
次粉 wheat meal	19.5	19.1	19	19	5.5	
血粉 blood meal	3	3	3	3		
虾壳粉 shrimp shell meal					9	
玉米蛋白粉 corn gluten meal					6	
玉米 corn					9	
豆油 soybean oil	1	1	1	1	1	
菜油 rape oil	1	1	1	1	1	
磷酸二氢钙 CaH ₂ PO ₄	2	2	2	2	2	
添加剂 premix ¹	1	1	1	1	1	
色素 pigment		0.4	0.5	0.5		
试验饲料营养水平 ² nutrient levels						
粗蛋白(%) crude protein	41.25	41.58	40.25	40.51	40.52	
粗脂肪(%) crude lipid	8.54	8.40	8.18	8.39	8.24	
水分(%) moisture	6.06	7.67	7.63	7.46	7.00	
粗灰分(%) crude ash	10.85	10.68	10.89	10.81	13.98	
钙(%) calcium content	2.43	2.78	2.62	2.06	3.13	
磷(%) phosphor content	1.72	1.87	1.85	1.78	1.86	
叶黄素(mg/kg) lutein content	1.49	15.72	47.91	37.26	5.57	
总类胡萝卜素含量(mg/kg) total carotenoids content	489.72	24 803.38	8 502.91	5 316.03	1 638.07	
总能(kJ/g) gross energy	18.81	18.81	18.80	18.80	18.54	

注:1. 预混料为每千克日粮提供 Cu 5 mg; Fe 180 mg; Mn 35 mg; Zn 120 mg; I 0.65 mg; Se 0.5 mg; Co 0.07 mg; Mg 300 mg; K 80 mg; VA 10 mg; VB₁ 8 mg; VB₂ 8 mg; VB₆ 20 mg; VB₁₂ 0.1 mg; VC 250 mg; 泛酸钙 calcium pantothenate 20 mg/kg、烟酸 niacin 25 mg; VD₃ 4 mg; VK₃ 6 mg; 叶酸 folic acid 5 mg; 肌醇 inositol 100 mg。2. 实测值。

Notes:1. The premix provided following for per kg of feed. Cu 5 mg; Fe 180 mg; Mn 35 mg; Zn 120 mg; I 0.65 mg; Se 0.5 mg; Co 0.07 mg; Mg 300 mg; K 80 mg; VA 10 mg; VB₁ 8 mg; VB₂ 8 mg; VB₆ 20 mg; VB₁₂ 0.1 mg; VC 250 mg; calcium pantothenate 20 mg/kg; niacin 25 mg; VD₃ 4 mg; VK₃ 6 mg; folic acid 5 mg; inositol 100 mg. 2. Measured values.

1.3 饲养管理

试验在室内循环养殖系统中进行,养殖水体经过沉淀、过滤后除去残余饲料和粪便,经过增氧后由水泵抽回到各养殖桶内。试验于5月下旬开始,7月初结束,正式养殖试验共56 d。每天8:30、13:00、17:30定时进行投喂,日投饲率为其体重的3%~4%。每天补充总水量5%~10%的自来水,水温控制在28~30℃范围内,溶解氧保持在6.0 mg/L以上,pH 6.5~7.5。

1.4 样品分析

饲养试验结束(56 d)时每桶随机取黄颡鱼3~4尾,尾静(动)脉取血,4℃、1 500 r/min冷冻离心收集血清,参照丁玉庭等^[7]的方法测血清中酪氨酸酶的活力;参照郭吉余等^[8]方法测定饲料、血清和黄颡鱼皮肤中类胡萝卜的总量和叶黄素的含量。饲料中水分、灰份、粗蛋白、粗脂肪采用常规方法测定。

1.5 数据分析

用EXCEL软件计算平均值和标准差,试验数据以平均值±标准差(mean±SD)表示。用方差分析来进行试验组间显著性检验,若差异显著($P < 0.05$),则作Duncan氏多重比较分析。

2 结果

2.1 试验前后各组黄颡鱼体色观察

试验开始时,各试验组黄颡鱼背部均为灰色或灰褐色,腹部为土白色或微黄色。饲养15 d,各组黄颡鱼背部和腹部色泽出现差异,但不明显。饲养56 d时,对照组鱼体色泽较试验开始时变浅,背部为灰色或灰褐色,腹部仍为土白色或微黄色;加丽素红组鱼种背部为灰褐色,略带微红,多数鱼体腹部显微黄色;玉米蛋白粉组鱼体背部均为灰褐色和黑褐色,但腹部呈微黄色或浅黄色,侧面色斑明显,整个鱼体颜色较试验前加深;金黄素和金菊黄组鱼种体色均有显著改观,发出金黄色光泽,鱼体背部均为灰褐色和黑褐色,腹部呈较深的黄色,侧面色斑明显。

如果根据黄颡鱼在自然水体的体表色泽、色斑作为标准,本试验中的玉米蛋白粉组、金黄素组和金菊黄组的黄颡鱼符合要求,而对照组、加丽素红组的黄颡鱼达不到要求,主要是黄色色度明显不足,黑色色度基本合格。

2.2 黄颡鱼血清、皮肤中酪氨酸酶活力的变化

血清中酪氨酸酶活力 酪氨酸酶是黑色素

形成的关键酶,其酶活性大小影响着黑色素生成的速度和数量。在目前还没有很有效的方法鉴定鱼体黑色素含量和黑色体色指标的情况下,酪氨酸酶活力大小成为反映鱼体黑色素形成能力的一个间接指标。在养殖第15天和第56天时,测定各试验组黄颡鱼血清中酪氨酸酶活力(图1)。由图1可知,第15天时,对照组、加丽素红组、金黄素组、金菊黄组以及玉米蛋白粉组黄颡鱼血清中酪氨酸酶活力分别为(2.16±0.528)、(1.20±0.466)、(1.69±0.347)、(2.87±0.231)、(1.44±0.436)U/mL,其中金菊黄组血清中酪氨酸酶活力最高,与加丽素红组、金黄素组以及玉米蛋白粉组有显著差异($P < 0.05$),其余各组间差异均不显著($P > 0.05$);第56天时上述各组黄颡鱼血清中酪氨酸酶活力分别为(2.07±0.343)、(1.15±0.585)、(1.70±0.194)、(2.00±0.342)、(1.40±0.466)U/mL,各组间差异不显著($P > 0.05$)。由图1可以发现,随着养殖时间从15 d到56 d的变化,各组黄颡鱼血清样品的酪氨酸酶活力除金菊黄组(降低了30.24%)外,其余各组时间差异均不显著($P > 0.05$)。

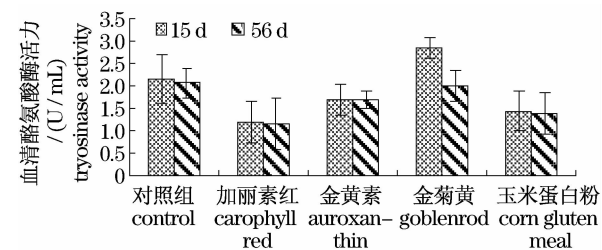


图1 第15天和第56天时黄颡鱼血清中酪氨酸酶的活力
Fig. 1 Tyrosinase activity in serum of *P. fulvidraco* on the 15th and 56th days

上述结果表明,在15 d或56 d时,金菊黄组饲料可以显著提高黄颡鱼血清酪氨酸酶活力,而其他各试验组之间无显著性差异。

皮肤中酪氨酸酶活力 试验结束时,各组黄颡鱼腹部皮肤中酪氨酸酶活力极低,难以有效测定其含量。而背部皮肤中则可以有效测定其酪氨酸酶活力(表2),各试验组间差异不显著($P > 0.05$)。

上述结果与血清中酪氨酸酶活力(各组平均值为1.66 U/g)相比,各试验组皮肤中酪氨酸酶活力(各组平均值为0.65 U/g)显著偏低,表明酪氨酸酶主要存在于血清中,即使在皮肤中,酪氨酸酶活力也是主要集中在背部,而腹部非常低,这与

黄颡鱼体色为背部黑色、腹部黄色也基本适应。

表 2 试验结束时黄颡鱼背部皮肤中酪氨酸酶的活力
Tab. 2 Trypsinase activity in backside skin of *P. fulvidraco* on the 56 d

饲料组 diet group	对照组 control group	加丽素红 carophyll red	金黄素 auroxanthin	金菊黄 goldenrod	玉米蛋白粉 corn gluten meal
酪氨酸酶活力 trypsinase activity	0.929 ± 0.687	0.700 ± 0.337	0.500 ± 0.359	0.583 ± 0.265	0.542 ± 0.242

2.3 皮肤、血清中总类胡萝卜素含量的变化

类胡萝卜素可使鱼体呈现黄色、橙色和红色等鲜艳色彩,在试验开始、15 d、56 d 时分别测定各试验组黄颡鱼背部、腹部皮肤和 56 d 时血清中总类胡萝卜素含量(表 3)。

背部皮肤中总类胡萝卜素含量的变化 在养殖过程中,对照组黄颡鱼背部皮肤总类胡萝卜素含量有明显的下降;加丽素红组鱼体背部皮肤

中总类胡萝卜素含量有所降低,但变化不大。玉米蛋白粉组鱼体背部皮肤中总类胡萝卜素含量略有增加。金菊黄组总类胡萝卜素含量养殖 15 d 后升高了 43.16%,到 56 d 其含量又升高了 40.13%,差异显著($P < 0.05$)。金黄素组在 15 d 时升高了 110.8%,56 d 其含量又在此基数升高了 33.32%,约为试验开始时含量的 2.8 倍,差异显著($P < 0.05$)。

表 3 试验过程中黄颡鱼皮肤及血清中总类胡萝卜素含量
Tab. 3 Total carotenoids content in skins and serum of *P. fulvidraco*

组别 group	血清 serum 56 d	背部皮肤 back skin			腹部皮肤 abdominal skin		
		0 d	15 d	56 d	0 d	15 d	56 d
对照组 control group	168.3 ± 60.1 ^d		1 988.1 ± 421.2 ^c	1 789.9 ± 525.2 ^c		1452.7 ± 573.3	849.5 ± 14.4 ^c
加丽素红 carophyll red	306.6 ± 46.4 ^c		2 033.3 ± 619.8 ^{bc}	2 006.0 ± 523.8 ^c		1 802.7 ± 286.2	1 101.0 ± 17.9 ^c
金黄素 auroxanthin	1 611.6 ± 200.7 ^a	2 015.7 ± 23.1	4 249.0 ± 431.8 ^a	5 664.9 ± 711.5 ^a	2 001.1 ± 23.5	2 505.6 ± 494.6	4 921.4 ± 69.7 ^a
金菊黄 goldenrod	730.0 ± 49.2 ^b		2 885.7 ± 224.6 ^b	4 043.7 ± 171.1 ^b		2 495.1 ± 417.2	2 977.1 ± 780.9 ^b
玉米蛋白粉 corn gluten meal	437.5 ± 31.8 ^c		2 015.6 ± 58.1 ^c	2 042.1 ± 224.0 ^c		2 409.6 ± 516.6	1 231.4 ± 155.1 ^c

注:饲料组各指标均值上标字母的不同表明组间差异显著($P < 0.05$)。

Notes: Mean with different superscripts in five groups of meals are significantly different ($P < 0.05$).

上述结果表明,金菊黄组、金黄素组黄颡鱼背部皮肤积累了较多的来自于饲料的总类胡萝卜素,对增加体色有很好的促进作用,而玉米蛋白粉组、加丽素红组、对照组效果不显著。

腹部皮肤中总类胡萝卜素含量 在试验进行中,对照组、加丽素红组黄颡鱼腹部皮肤中总类胡萝卜素含量有明显下降。玉米蛋白粉组在 15 d 时升高了 20.4%,但 56 d 比 0 d 时降低了 38.5%。金菊黄组、金黄素组均有显著升高($P < 0.05$)。在 15 d 时,各试验组黄颡鱼腹部皮肤中总类胡萝卜素含量有所差异,但差异均不显著($P > 0.05$)。在 56 d 时,对照组显著低于加丽素红组、玉米蛋白粉组、金菊黄组($P > 0.05$),显著低于金黄素组($P < 0.01$)。

上述结果表明,金菊黄、金黄素能够显著增加

黄颡鱼腹部皮肤总类胡萝卜素含量,对增加腹部体色有很好的促进作用,而对照组、玉米蛋白粉组、加丽素红组黄颡鱼腹部皮肤总类胡萝卜素含量有下降的趋势。

血清总类胡萝卜素含量 在养殖 56 d 时,对照组黄颡鱼血清中总类胡萝卜素含量显著低于加丽素红组和玉米蛋白粉组($P < 0.05$),显著低于金菊黄组和金黄素组($P < 0.01$);此外,加丽素红组和玉米蛋白粉组鱼体血清中总类胡萝卜素含量也极显著低于金菊黄组和金黄素组($P < 0.01$),但加丽素红组和玉米蛋白粉组组间差异不显著($P > 0.05$)。

2.4 对黄颡鱼皮肤、血清中叶黄素含量的影响

叶黄素是黄颡鱼体内主要起呈色作用的色素,所以其含量的高低能更科学地评价黄颡鱼的

黄色体色。分别测定各试验组黄颡鱼背部、腹部皮肤和56 d时血清中叶黄素含量(表4)。

表4 试验过程中黄颡鱼皮肤及血清中叶黄素含量
Tab.4 Lutein content in skins and serum of *P. fulvidraco*

样品 sample 组别 group	血清 serum 56 d	背部皮肤 back skin			腹部皮肤 abdominal skin		
		0 d	15 d	56 d	0 d	15 d	56 d
对照组 control group	0.3 ± 0.1 ^d		11.2 ± 3.4 ^{cd}	10.7 ± 0.2 ^d		7.6 ± 2.2 ^b	5.4 ± 1.0 ^d
加丽素红 carophyll red	0.5 ± 0.1 ^d		6.3 ± 1.7 ^d	5.9 ± 1.4 ^c		5.3 ± 0.6 ^b	5.7 ± 1.2 ^d
金黄素 auroxanthin	10.3 ± 1.4 ^a	11.3 ± 0.3	25.7 ± 3.9 ^a	37.8 ± 2.8 ^a	7.8 ± 0.3	14.1 ± 1.2 ^a	35.2 ± 0.5 ^a
金菊黄 goldenrod	4.3 ± 0.4 ^b		18.3 ± 1.7 ^b	28.7 ± 0.4 ^b		12.3 ± 1.7 ^a	23.0 ± 0.9 ^b
玉米蛋白粉 corn gluten meal	1.4 ± 0.3 ^c		10.5 ± 1.1 ^c	13.6 ± 0.1 ^c		13.6 ± 1.3 ^a	8.6 ± 0.7 ^c

注:饲料组各指标均值上标字母的不同表明组间差异显著($P < 0.05$)。

Notes: Mean with different superscripts in 5 groups of meals are significantly different ($P < 0.05$)

背部皮肤中叶黄素含量的变化 在养殖过程中,对照组黄颡鱼背部皮肤中叶黄素含量随着养殖时间的延长有所降低,但不显著。加丽素红组在养殖15 d时下降了44.23%,56 d时又下降了6.73%,有显著性变化($P < 0.05$)。玉米蛋白粉组在养殖15 d时降低了6.95%,但56 d其含量却在第15天的基数上升高了29.41%,比试验开始时升高了20.41%。金菊黄组在这两个时间段鱼体背部皮肤中叶黄素含量均有显著性变化($P < 0.05$),15 d时升高了61.84%,到56 d其含量又升高了56.93%,达到(28.744 ± 0.376) mg/kg。金黄素组鱼体背部皮肤中叶黄素含量变化更为显著,仅在15 d时其含量就达到(25.701 ± 3.881) mg/kg,升高了127.1%,56 d其含量又在此基数上升高了47.19%,达到(37.829 ± 2.857) mg/kg,约为开始时含量的3.34倍。

腹部皮肤中叶黄素含量的变化 在养殖过程中,对照组黄颡鱼腹部皮肤中叶黄素含量显著降低。加丽素红组鱼在15 d时也有显著降低,下降了31.79%,但到56 d时变化不大,仅降低了5.97%。玉米蛋白粉组在15 d时升高了74.19%,但56 d是反而降低了36.56%。金菊黄组在15 d后升高了56.86%,到56 d其含量又上升了87.19%,达到开始时含量的2.94倍。金黄素组鱼体腹部皮肤中叶黄素含量在养殖15 d时达到(14.099 ± 1.215) mg/kg,比试验开始时升高了80%,56 d其含量又在此基数上升高了149.88%,是开始时含量的4.5倍。

上述结果表明,对照组和加丽素红组黄颡鱼背部、腹部皮肤中的叶黄素含量在养殖过程中显著下降,且显著低于其他试验组的结果;而玉米蛋白粉组的结果不稳定,在养殖过程前期增加明显,后期不显著;金黄素组和金菊黄组在养殖过程中的叶黄素含量稳定增加,且在不同时期均显著高于其他各组。

血清中叶黄素含量 试验结束时黄颡鱼血清中叶黄素含量也有很大差异,对照组血清中叶黄素含量最低,仅(0.3 ± 0.1) mg/kg,与玉米蛋白粉组、金黄素组和金菊黄组均有显著差异($P < 0.05$),但与加丽素红组差异不显著($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 黄颡鱼体色变化的生物学基础

黄颡鱼的体色特征为背部黑褐色,至腹部渐浅黄色,体侧有2纵及2横黄色细带纹,间隔成暗色纵斑块。在自然水域如湖泊、水库放养的黄颡鱼,主要食物包括水生昆虫及其幼体、小虾、软体动物及小鱼等,其体色较为鲜艳,成为标准性体色。但是在养殖条件下,养殖水域环境条件、疾病,以及饲料物质等对养殖黄颡鱼的体色会产生重大的影响。就目前的养殖现状看,养殖条件下黄颡鱼体色变化主要有以下几种情况:①体色白化,黑色体色较为正常,但缺少黄色体色;有较为明显的黑色斑块,但皮肤颜色较浅,没有黄色体色出现;②黄色体色,鱼体黑斑基本消失,但黄色体色较为明显,出现类似“香蕉”、“油菜花”的体色;

③ 既白化又黄色化体色,完全失去黄颡鱼应有的体色特征。

黄颡鱼与其他鱼类一样,其体色产生的生物学基础是色素细胞及色素细胞中的色素体、皮下脂肪细胞中沉积的色素物质^[2,9-10]。鱼体色素细胞有黑色素细胞(melanophores)、红色素细胞(erythrophores)、黄色素细胞(xanthophores)、白色素细胞(leucophores)和虹彩细胞(iridophores)。不同种类的色素细胞在鱼体表分布构成不同的鱼体体色,而色素细胞在体表的数量或密度、色素体在色素细胞中的分布状态等的差异将引起鱼体体色的变化^[2,11-12];同时,沉积于皮下脂肪层中色素(主要是叶黄素、类胡萝卜素等)含量也会引起鱼体体色的变化。

色素细胞与其他细胞重要的不同之处在于,新的色素不是来源于细胞分裂增殖^[2,9],而是由神经嵴细胞(neural crest,一种多能干细胞)迁移到皮肤、眼睛等处,分化成前色素细胞,再由前色素细胞分化形成黑色素细胞、黄色素细胞等色素细胞。因此,一个成熟的色素细胞的产生需要经历很多的生理环节,而在每一个生理环节出现不正常的情况就会影响新的色素的细胞分化、成熟,进而对鱼体体色产生较大的影响。另外,对于鱼体体色形成需要的色素物质,除了黑色素可以根据生理需要由鱼体自己合成外,其他的色素如叶黄素、类胡萝卜素等鱼体缺乏自身合成的能力,必须依赖从食物中获取^[1,5,9]。在人工养殖条件下,养殖的水域环境、鱼体忍受的应激因素,以及食物等与自然水域环境条件有显著性的差异,从而影响到鱼体的正常体色。

在本试验中,对照组饲料为常用的饲料原料组成,没有补充色素物质,经过56 d的养殖试验可以发现黄颡鱼黑色体色正常,鱼体血清、皮肤中的酪氨酸酶活力也基本正常。但是与试验前期比较,黄颡鱼背部、腹部皮肤中的叶黄素、类胡萝卜素含量显著下降,导致鱼体黄色体色退化。这一结果表明,在保持养殖黄颡鱼正常生理机能时,鱼体血清、皮肤中的酪氨酸酶活力保持正常,表明黑色素能够正常合成;而黄颡鱼黄色体色形成需要的色素鱼体不能合成,必须依赖于饲料补充,在饲料供给不足时其体色会发生变化。

在其他4组补充了色素物质的试验中,试验检测的鱼体血清、皮肤中的酪氨酸酶活力与对照

组、试验前期相比没有显著的差异,间接表明鱼体黑色素合成能力没有出现显著性的差异,而试验结束时各组试验鱼的黑色体色、体侧黑斑均处于正常也证明了这一点。在饲料中补充了加丽素红、金黄素、金菊黄和玉米蛋白粉等色素来源后,试验组鱼体的黄色色度均较对照组有所改善,但不同色素组有显著的差异。这一结果表明,在饲料中补充色素物质可以改善黄颡鱼的体色,但不同色素种类对于黄颡鱼鱼体色素沉积量、体色形成有差异,鱼体可能存在色素沉积的选择性机制。

3.2 黄颡鱼的体色变化与饲料色素的关系

动物自身不能合成类胡萝卜素,只能从食物中吸收、沉积和代谢转化这些色素。不同动物吸收、转运和积累类胡萝卜素的能力不同^[1,13]。在本试验中,我们主要测定了各组黄颡鱼背部、腹部皮肤和血清中的总类胡萝卜素和叶黄素的含量,结合各组试验数据和试验结束时黄颡鱼体色的观察结果,可以认为黄颡鱼对饲料中色素的沉积具有选择性,表现出不同的饲料色素具有显著不同的着色效果;同时也显示出,鱼体的体色可以通过饲料色素的选择和利用来加以控制。试验中,对照组饲料中色素量不足,导致黄颡鱼黄色体色显著不足;加丽素红对黄颡鱼的着色效果较差,表现在皮肤中沉积的类胡萝卜素、叶黄素数量不足,不适合作为黄颡鱼的着色色素源;玉米蛋白粉、玉米、虾壳粉组成的玉米蛋白粉组饲料对黄颡鱼有较好的着色效果,但着色不稳定;以来源于万寿菊、以叶黄素为主的金黄素和金菊黄对黄颡鱼着色效果非常显著,且着色稳定,是黄颡鱼适宜的着色物质。

各试验组黄颡鱼色素测定结果对上述结论提供了有效的支持。对照组(饲料中总类胡萝卜素的含量489.72 mg/kg)黄颡鱼背部皮肤中总类胡萝卜素的含量在养殖试验期内背部皮肤降低了11.2%、腹部皮肤降低了57.5%,叶黄素含量变化与此类似。玉米蛋白粉组背部皮肤中类胡萝卜素的含量几乎没有变化,但腹部皮肤降低了38.5%;背部和腹部皮肤中叶黄素的含量出现不稳定变化,但较养殖前有明显增加,对维持黄颡鱼的正常体色有一定的效果。魏万权等^[14]使用加丽素红作为着色的色素来源,探讨了色素对塘虱着色的影响,结果表明饲料中加入加丽素红能够对塘虱进行有效着色。加丽素红组黄颡鱼背部皮

肤中总类胡萝卜素的含量基本稳定,但腹部皮肤中降低了45%;背部和腹部皮肤中叶黄素含量显著降低。这可能是因为养殖品种的不同,加丽素红在鱼体中的吸收、转运、沉积和代谢过程也不同,所以黄颡鱼对加丽素红的吸收利用效率差,从而使得其着色效果不理想。金黄素组鱼体背部、腹部皮肤中总类胡萝卜素的含量分别升高了1.8倍和1.5倍,金菊黄组鱼体背部和腹部皮肤中总类胡萝卜素的含量分别升高了1倍和0.49倍;叶黄素含量也显著增加。这说明金黄素和金菊黄是一种对黄颡鱼有很理想着色效果的饲料色素。但金黄素组鱼体皮肤中总类胡萝卜素的含量升高较金菊黄组显著,这可能是由于饲料中主要起呈色作用的叶黄素含量的不同而引起的,金黄素饲料中叶黄素的含量为47.91 mg/kg,而金菊黄饲料中叶黄素的含量仅为37.26 mg/kg。冷向军等^[4]研究表明,养殖与野生胡子鲶体色的差异主要来源于食物中叶黄素含量的不同,在饲料中添加叶黄素类产品可有效改善养殖胡子鲶体色。所以高叶黄素含量的金黄素饲料色素着色效果比金菊黄更理想。

另外,比较各试验组黄颡鱼背部和腹部皮肤中总类胡萝卜素的含量可以看出,当饲料中色素含量不足,或添加的色素种类不同时,鱼体背部皮肤中总类胡萝卜素的含量几乎没有变化,而腹部皮肤中总类胡萝卜素的含量显著降低,这有可能是鱼体的一种生理现象,它会选择性的将其中某个组织或某个部位中的类胡萝卜素用于自身的一些生理和代谢活动,以此来保护其它部位的类胡萝卜素发挥其正常的功能。

本文研究结果表明,反映黑色素合成能力的酪氨酸酶活力在各试验组中没有显著性的差异。饲料中补充400 mg/kg角黄素的加丽素红对黄颡鱼皮肤中类胡萝卜素、叶黄素含量没有显著性的影响,而补充100 mg/kg色素的金黄素-Y和金菊黄使黄颡鱼皮肤中类胡萝卜素、叶黄素含量显著性增加;玉米蛋白粉等饲料原料中的类胡萝卜素、叶黄素在黄颡鱼腹部皮肤中有一定的沉积量。

参考文献:

- [1] Bjerkeng B. Carotenoids in aquaculture; fish and crustaceans [M] // Carotenoids Volume 4: Natural functions. Birkhäuser Verlag Basel, 2008; 237-254.
- [2] Maszumi S. Morphological color changes in fish: regulation of pigment cell density and morphology [J]. Microscopy Research and Technique, 2002, 58(6): 496-503.
- [3] 叶元土. 养殖斑点叉尾鲴体色变化生物学机制及其与饲料的关系分析 [J]. 饲料工业, 2009, 30(6): 52-55.
- [4] 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.
- [5] 韩学哲. 饵料中不同添加物对观赏鱼着色的影响 [D]. 石家庄: 河北大学, 2001.
- [6] 向泉, 曾学润. 类胡萝卜素对花玛丽鱼体色影响的最适量研究 [J]. 北京水产, 2000(1): 52-53.
- [7] 丁玉庭, 杨更生. 外加因子对黑豚皮酪氨酸酶活性的影响 [J]. 食品科学, 1999(4): 12-14.
- [8] 郭吉余, 苏基双, 刘汉林. 饲料原料及配合饲料中叶黄素的测定 [J]. 中国饲料, 1996(13): 31-32.
- [9] 王晓玲, 王信军. 脊椎动物体色的研究 [J]. 吉林农业科技学院学报, 2006, 15(1): 11-13.
- [10] Oettingl W S, King R A. Molecular basis of albinism: mutations and polymorphisms of pigmentation genes associated with albinism [J]. Human Mutation, 1999, 13(2): 99-115.
- [11] 朱杰, 张秀梅, 高天翔. 体色异常褐牙鲈皮肤色素及鳞片发育的形态学研究 [J]. 水生生物学报, 2004, 28(6): 653-658.
- [12] 朱杰, 张秀梅, 高天翔, 等. 大菱鲆早期变态发育和体表黑色素细胞形态学观察 [J]. 水产学报, 2002, 26(3): 193-200.
- [13] Kimler V A, Taylor J D. Morphological studies on the mechanisms of pigmentary organelle transport in fish xanthophores and melanophores [J]. Microscopy Research and Technique, 2002, 58(6): 470-480.
- [14] 魏万权, 姚冰, 肖英, 等. 加丽素对塘虱的着色效果研究 [J]. 饲料广角, 2003(24): 36-38.

Effects of feed pigments on carotenoids, lutein content and tyrosinase activity in the skin and serum of *Pelteobagrus fulvidraco*

DING Xiao-feng^{1,2}, YE Yuan-tu^{1*}, JIANG Rong¹, CAI Chun-fang¹, ZHU Ge-yan¹, WANG Jun-tao¹

(1. College of Life Science, Soochow University, Suzhou 215006, China;

2. Easthope Feed Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: 255 ind. with average weight 45.25 g of *Pelteobagrus fulvidraco* were fed respectively five experimental diets for 56 days in indoor recirculating aquaculture system, the diets containing respectively 0.5% goldenrod, 0.4% carophyll red, 0.5% auroxanthin, 6% corn gluten meal and the control group. The tyrosinase activity and the concentration of carotenoids and luteins in blood serum and skin were detected respectively. The following results are obtained. The tyrosinase activity in the serum with goldenrod group was significantly increased, while the other experimental groups had not significant difference. The total carotenoid content in the back skin with control group had decreased 11.2%, and 57.5% in abdominal skin, and lutein content was similar to these. The carotenoid content in the abdominal skin with corn gluten meal group, skin had decreased by 38.5%, and that in back skin had no significant change. The lutein content in back and abdominal skin increased to some extent. The total carotenoid content with carophyll red group decreased in the abdominal skin by 45%, and back had no significant changes in the skin. The lutein content in the abdominal skin was significantly reduced. The total carotenoid content in the back, abdominal skin of the auroxanthin group increased by 1.8 times and 1.5 times, the lutein content also increased significantly. The total carotenoid content in the back, abdominal skin of the goldenrod group increased by 1.0-fold and 0.49-fold, the lutein content also increased significantly. The results show that pigment derived from the feed may be selectively deposited by *P. fulvidraco*. The *P. fulvidraco* body color was greatly affected by the pigment material from the feed.

Key words: *Pelteobagrus fulvidraco*; carotenoids; lutein; tyrosinase

Corresponding author: YE Yuan-tu. E-mail: yeyuant@pub.sz.jsinfo.net