

叶黄素对七彩神仙鱼生长和体色的影响

宋雪璐¹, 李小勤^{1,2}, 陈再忠¹, 王磊¹, 还殿宇¹, 冷向军^{1,2,3,4*}

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306;

3. 上海市水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306;

4. 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 为研究叶黄素对七彩神仙鱼体色和生长的影响, 在“牛心汉堡”饲料中分别添加0、50、100、200、300和400 mg/kg叶黄素, 饲喂初始平均体质量(10.3±0.3) g的七彩神仙鱼8周。结果显示, 添加叶黄素50~200 mg/kg, 对鱼体增重率无显著影响, 但添加量达200 mg/kg后, 饲料系数显著增大, 添加量达300 mg/kg后, 增重率显著降低。在养殖4周、8周时, 鱼体皮肤亮度(L^*)无显著变化, 皮肤黄度(b^*)和叶黄素含量随叶黄素添加量增加而显著升高; 8周时, 各叶黄素添加组的皮肤 b^* 值和叶黄素含量显著高于4周时, 当叶黄素添加量达300 mg/kg后, 皮肤 b^* 值(4周、8周)和全鱼叶黄素含量(8周)趋于稳定; 4周时, 各处理组间的皮肤红度(a^*)无显著差异; 8周时, 当叶黄素添加量达100 mg/kg后, 皮肤 a^* 值显著降低; 饲料中添加300 mg/kg叶黄素显著提高了七彩神仙鱼肝脏总抗氧化能力。研究表明, 在饲料中添加叶黄素可有效改善七彩神仙鱼体表黄色, 提高肝脏总抗氧化能力, 但高添加量的叶黄素会降低鱼体生长性能, 七彩神仙鱼饲料中的叶黄素添加量建议为200~300 mg/kg。

关键词: 七彩神仙鱼; 叶黄素; 体色; 生长

中图分类号: S 963.73

文献标志码: A

七彩神仙鱼(*Symphysodon aequifasciata*)属于慈鲷科(Cichidae)盘丽鱼属(*Symphysodon*), 原产于南美洲亚马逊河流域, 是观赏鱼市场中的名贵品种。七彩神仙鱼的养殖品种主要包括红、蓝、黑格尔等系列。蓝七彩和黑格尔为七彩神仙鱼原种, 红七彩则是人工育种而来, 但杂交后代体色不稳定, 导致观赏价值降低; 同其他鱼类一样, 七彩神仙鱼本身不能合成类胡萝卜素, 故可通过在“牛心汉堡”饲料中补充类胡萝卜素着色剂或富含类胡萝卜素的天然原料, 将色素沉积在皮肤、鳞片的色素细胞中而使体表显现不同颜色。叶黄素是构成黄色素细胞的主要色素, 对维持鱼类肌肉、皮肤、鳍条、性腺等组织的颜色起重要作用^[1]。目前, 天然叶黄素[万寿菊

(*Tagetes erecta*)提取物]运用于观赏鱼的报道已见于锦鲤(*Cyprinus carpio*)^[2-3]、剑尾鱼(*Xiphophorus hellri*)^[4-5]和金鱼(*Carassius auratus*)^[6]。以叶黄素饲喂七彩神仙鱼, 是否可培育出黄色七彩神仙鱼, 叶黄素对七彩神仙鱼生长、体色的影响等目前均未见报道。故本实验以七彩神仙鱼为研究对象, 在饲料中添加不同水平叶黄素(万寿菊提取物), 考察其对七彩神仙鱼生长、体色的影响, 为天然叶黄素在观赏鱼饲料中的合理应用提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

将牛心、鸭心和虾仁分别剁碎, 以绞肉机

收稿日期: 2016-07-16 修回日期: 2016-10-27

资助项目: 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科种字[2015]第19号)

通信作者: 冷向军, E-mail: xjleng@shou.edu.cn

分别制成肉糜,按5:4:1比例混匀,加入多维和磷酸二氢钙制成“牛心汉堡”基础饲料,其组成见表1。在基础饲料中分别添加0(对照组)、50、100、200、300和400 mg/kg叶黄素(均为有效含量,分别记为L0、L50、L100、L200、L300和L400)。所制饲料于-20℃冷冻保存备用。各组

饲料的叶黄素实测含量分别为0、48.96、93.62、194.25、294.56和393.63 mg/kg。叶黄素来源于万寿菊提取物,有效含量为2%。

1.2 饲养条件与管理

实验用七彩神仙鱼属于尚未着色的红色系列,

表1 基础饲料配方
Tab. 1 Ingredients and composition of the basal diet

组成 ingredients	含量 content	常规成分 proximate composition	含量 content
牛心 beef heart	48.00	水分 moisture	78.94
鸭心 duck heart	38.40	粗蛋白 crude protein**	17.12
虾仁 shrimp meat	9.60	粗脂肪 crude fat**	2.41
多维 vitamin premix*	2.00	灰分 ash**	1.23
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	2.00		

注: * 多维预混料每千克含VA 7 500 000 IU; VD 15 000 IU; VE 3000 IU; VK 0.25 g; VB₁ 0.75 g; VB₂ 1.5 g; VB₆ 0.75 g; 烟酸8.75 g; VC 25 g, 叶酸0.25 g; VB₁₂ 0.025 g; 肌醇50 g; VH 0.12 g; 泛酸钙2.5 g; ** 饲料粗蛋白、粗脂肪和灰分以鲜样测定

Notes: *. vitamin premix contained the followings: VA 7 500 000 IU; VD 15 000 IU; VE 3000 IU; VK 0.25 g; VB₁ 0.75 g; VB₂ 1.5 g; VB₆ 0.75 g; niacin 8.75 g; VC 25 g, folic acid 0.25 g; VB₁₂ 0.025 g; inositol 50 g; VH 0.12 g; calcium pantothenate 2.5 g; **. the contents of the crude protein, crude fat and ash are from fresh samples

由上海海洋大学观赏水族繁殖实验室提供,初始平均体质量(10.3±0.3) g,初始平均体长(5±0.5) cm。实验用鱼运回后,投喂基础饲料,暂养4 d以适应环境。取体格健康、规格相近的360尾七彩神仙鱼随机分配到18口自动充气、循环、控温的玻璃缸(50 cm×40 cm×40 cm)内,每缸20尾。实验期间每天投喂4次(8:00, 12:00, 14:00, 20:00),日投饵量为鱼体质量的3%~4%,并根据摄食情况和鱼体生长作适当调整,以投饵后15 min内无残饵为宜。养殖期间,每天14:30换水1次(换水量约为1/3),每天监测水质,水温(29±1)℃,pH 6.2~6.8,溶解氧≥6 mg/kg,亚硝酸盐≤0.1 mg/kg(上午9:00和下午5:00各测1次)。养殖实验共进行8周。

1.3 测定指标与方法

生长指标 在养殖实验结束(8周)时,鱼体饥饿24 h后称总重,计数,计算增重率、饲料系数和存活率。

增重率(WGR, %)=(末重-初重)/初重×100

饲料系数(FCR)=鲜重/(末重-初重+死鱼重量)

存活率(SR, %)=(实验末鱼尾数/实验初鱼尾数)×100

背部皮肤色差值的测定 养殖第4周和第8周时,每缸取3尾鱼,将WSC-S测色色差计(上海精密科学仪器有限公司)探头紧贴在鱼体背鳍基部与侧线间的部位,测定L*(luminance,亮度),a*(redness,红度),b*(yellowness,黄度)。WSC-S测色色差计的工作白板初始校正值为亮度:L*=(91.92±0.05),红度a*=(−0.52±0.20),黄度b*=(3.00±0.42)。

叶黄素测定 在第4周、第8周测定鱼体表色差值后,取3尾鱼的背鳍基部和侧线之间的皮肤冻存于−80℃待测;在第8周时取3尾全鱼冻存于−80℃待测。取皮肤(1 g)、全鱼冻干样(0.2 g)和饲料(0.5 g),参照Quackenbush等^[7]的方法测定叶黄素的含量:将样品剪碎,装入25 mL棕色容量瓶中,加入7.5 mL提取液(正己烷:丙酮:无水乙醇:甲苯=10:7:6:7)。塞上塞子旋转振摇1 min,加入1 mL 40%氢氧化钾—甲醇溶液,旋转振摇1 min,于55.5℃水浴加热20 min。在容量瓶颈部接上空气冷凝装置,以防溶剂损失。冷却样品,暗处放置1 h,加入7.5 mL正己烷,旋转振摇1 min,以10% Na₂SO₄溶液定容至25 mL,猛烈振摇1 min,暗处放置1 h,取上清液于474 nm波长下测定吸光值(紫外—可见分光光度计,上海精密科学仪器有限公司,UV759),

根据标准曲线计算总叶黄素含量。

肝脏总抗氧化能力和丙二醛含量的测定

在第8周测定鱼体体表色差值后,取鱼体肝脏冻存于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$,测定时取肝脏 0.2 g ,将肝脏以 0.85% 冰生理盐水按 $1:4(M:V)$ 制成 20% 的组织匀浆, 2500 r/min 离心 10 min ,取上清液冷藏备用。分别按照南京建成生物研究所总抗氧化能力(T-AOC)和丙二醛(MDA)试剂盒的说明操作,根据紫外—分光光度计测定的OD值计算肝脏T-AOC和MDA含量。单位分别以 U/mg prot , nmol/mg prot 表示。

1.4 数据分析

实验数据用平均值 \pm 标准差表示,采用SPSS 17.0统计软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),若处理组间差异显著,再用Duncan氏法进行多重比较分析,显著水平设为 $P<0.05$ 。

2 结果

2.1 叶黄素对七彩神仙鱼生长的影响

饲养8周后,L50组和L100组的鱼体生长性能与对照组间无显著差异,当叶黄素添加量达 200 mg/kg 时,饲料系数显著升高($P<0.05$),当叶黄素添加量达 300 mg/kg 时,鱼体增重率显著降低($P<0.05$);各处理组在存活率上无显著差异($P>0.05$)(表2)。

2.2 叶黄素对七彩神仙鱼体色的影响

4周、8周时,各处理组皮肤 L^* 值无显著差异($P>0.05$);各叶黄素添加组皮肤 b^* 值显著高于对照组($P<0.05$),当天然叶黄素添加量达 300 mg/kg 时, b^* 值趋于稳定;各处理组皮肤 a^* 值在4周时无显著差异,在8周时,叶黄素的添加量达 100 mg/kg 时, a^* 值显著下降($P<0.05$)(表3)。与4周时相比,8周时的 L^* 值变化不大, b^* 值有较大

表2 叶黄素对七彩神仙鱼生长的影响

Tab. 2 Effects of dietary xanthophylls on growth of *S. aequifasciata*

	L0	L50	L100	L200	L300	L400
初重/g initial fish weight	10.46 \pm 0.24	10.28 \pm 0.13	10.19 \pm 0.38	10.50 \pm 0.34	10.08 \pm 0.21	10.25 \pm 0.19
末重/g final fish weight	20.87 \pm 1.24 ^b	19.87 \pm 1.39 ^{ab}	20.14 \pm 1.65 ^b	19.87 \pm 1.38 ^{ab}	18.30 \pm 1.03 ^a	17.89 \pm 0.82 ^a
增重率/% weight gain rate	101.60 \pm 8.93 ^b	92.25 \pm 5.8 ^b	95.60 \pm 6.58 ^b	89.50 \pm 3.27 ^b	81.24 \pm 4.99 ^a	74.50 \pm 6.35 ^a
饲料系数 feed conversion ratio	2.90 \pm 0.10 ^a	3.01 \pm 0.10 ^a	2.90 \pm 0.21 ^a	3.40 \pm 0.20 ^b	3.60 \pm 0.20 ^b	3.50 \pm 0.30 ^b
存活率/% survival rate	98.33 \pm 2.89	100.00 \pm 0.00	100.00 \pm 0.00	98.33 \pm 2.89	96.67 \pm 2.89	100.00 \pm 0.00

注:同一行的平均值中具不同上标字母者表示差异显著($P<0.05$)

Notes: values with different superscripts in the same row are significantly different ($P<0.05$)

表3 叶黄素对七彩神仙鱼体色的影响

Tab. 3 Effects of dietary xanthophylls on body color of *S. aequifasciata*

组别 groups	皮肤色差值 skin color chromatism values					
	第4周			第8周		
	亮度 L^*	红度 a^*	黄度 b^*	亮度 L^*	红度 a^*	黄度 b^*
L0	53.28 \pm 1.64	11.49 \pm 1.04	11.76 \pm 0.76 ^a	51.19 \pm 2.06	12.11 \pm 0.89 ^b	16.18 \pm 1.34 ^{ab}
L50	52.73 \pm 2.71	11.53 \pm 1.00	19.02 \pm 0.98 ^b	50.71 \pm 1.82	12.06 \pm 1.18 ^b	29.09 \pm 2.10 ^{ab}
L100	52.50 \pm 1.86	11.50 \pm 0.61	27.71 \pm 1.76 ^c	50.96 \pm 1.40	9.00 \pm 0.73 ^{ab}	36.30 \pm 3.18 ^{cd}
L200	52.57 \pm 2.36	12.13 \pm 0.60	31.36 \pm 2.08 ^d	50.62 \pm 1.11	8.42 \pm 0.69 ^{ab}	44.24 \pm 1.27 ^{de}
L300	51.56 \pm 1.22	11.70 \pm 0.94	34.24 \pm 3.29 ^c	49.56 \pm 1.30	8.65 \pm 0.82 ^{ab}	46.73 \pm 2.50 ^{de}
L400	51.94 \pm 1.37	12.26 \pm 0.64	34.85 \pm 1.88 ^c	50.42 \pm 1.54	9.15 \pm 0.76 ^{ab}	48.82 \pm 2.34 ^{de}

注:同一列的平均值中具不同上标字母者表示差异显著($P<0.05$);#同一指标在8周时与4周有显著性差异($P<0.05$)。下同

Notes: values with different superscripts in the same column are significantly different ($P<0.05$); # the significant differences in the same indicators between the fourth and eighth week ($P<0.05$). The same below

幅度增加, α^* 值除L0、L50组外, L100、L200、L300、L400组均减少($P<0.05$)。

2.3 叶黄素对七彩神仙鱼组织中叶黄素含量和叶黄素沉积率的影响

养殖8周后, 全鱼叶黄素含量随饲料叶黄素添加量的增加而升高, 而全鱼叶黄素沉积率则

随叶黄素添加量的增加而降低($P<0.05$), 当叶黄素添加量达300 mg/kg时, 全鱼叶黄素含量和叶黄素沉积率达到基本稳定(表4)。4周、8周时的皮肤叶黄素含量均随叶黄素添加量的增加而升高($P<0.05$), 并呈显著线性相关(图1)。各叶黄素添加组在8周时的皮肤叶黄素含量较4周时显著增加($P<0.05$)。

表4 叶黄素对七彩神仙鱼组织中叶黄素含量和叶黄素沉积率的影响

Tab. 4 Effects of dietary xanthophylls on xanthophylls content in tissues and xanthophylls retention rate of *S. acuífasciata*

组别 groups	叶黄素含量/(mg/kg) xanthophylls content			叶黄素沉积率/% xanthophylls retention rate
	皮肤 skin		全鱼 whole fish	
	第4周	第8周	第8周	第8周
L0	9.87±0.97 ^a	11.15±0.55 ^a	2.52±0.25 ^a	—
L50	45.89±4.02 ^b	55.52±3.59 ^{bc}	24.96±1.86 ^b	34.21±1.01 ^d
L100	53.10±5.19 ^b	70.70±5.52 ^{cd}	26.44±2.23 ^b	29.40±2.63 ^c
L200	70.58±4.79 ^c	94.77±6.30 ^{de}	55.93±3.35 ^c	24.71±1.87 ^b
L300	70.58±4.79 ^c	120.91±7.35 ^{de}	106.99±4.73 ^d	17.63±0.69 ^a
L400	115.38±9.51 ^c	141.89±9.41 ^{ef}	112.63±8.03 ^d	16.87±0.99 ^a

注: —, 未检测出

Notes: —, no measurement

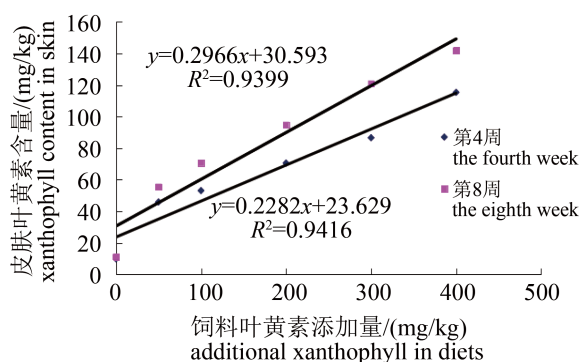


图1 皮肤叶黄素含量与饲料叶黄素添加量之间的回归直线图

Fig. 1 Regress line of supplemental xanthophyll in diets and xanthophyll contents in skin of *S. acuífasciata*

2.4 叶黄素对七彩神仙鱼肝脏T-AOC和MDA含量的影响

当叶黄素添加量达300 mg/kg时, 七彩神仙鱼肝脏T-AOC含量显著增加($P<0.05$)(表5)。饲料中添加叶黄素对肝脏MDA含量无显著影响($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 叶黄素对七彩神仙鱼生长的影响

在配合饲料中添加50~300 mg/kg叶黄素, 对金鱼的增重率无显著影响, 但添加量为300 mg/kg时, 饲料系数显著升高^[6]。饲料中苜蓿粉添加量达25%(总类胡萝卜素100 mg/kg)时, 即对金鱼的

表5 叶黄素对七彩神仙鱼肝脏T-AOC和MDA含量的影响

Tab. 5 Effects of dietary xanthophylls on T-AOC and MDA content in liver of *S. acuífasciata*

指标 index	L0	L50	L100	L200	L300	L400
T-AOC/(U/mg prot)	18.13±0.44 ^a	16.38±0.90 ^a	17.68±0.62 ^a	17.95±1.04 ^a	23.48±2.14 ^b	31.54±2.93 ^c
MDA/(nmol/mg prot)	0.62±0.11	0.69±0.14	0.96±0.20	0.95±0.12	0.90±0.14	0.85±0.07

注: 同一行的平均值中具不同上标字母者表示差异显著($P<0.05$)

Notes: values with different superscripts in the same row are significantly different ($P<0.05$)

生长产生不利影响, 增重显著降低; 当添加量达40%(总类胡萝卜素160 mg/kg)时, 饲料系数显著升高^[8], 这是因为苜蓿粉中粗纤维含量较高, 减弱了肠道对饲料成分的消化吸收能力。金鱼摄食含量为600 mg/kg天然胭脂树橙(从胭脂种子中提取)饲料60 d后, 特定增长率显著降低, 饲料系数显著增大, 这可能是由于高含量胭脂树橙提取物减弱了金鱼肠道菌群的正常活性^[9]。本研究中, 当叶黄素添加量达300 mg/kg以上时, 七彩神仙鱼增重率显著降低, 饲料系数显著增大(表2), 表明高添加量的叶黄素降低了鱼体生长性能, 是否与万寿菊提取物中的其他成分相关或由于肠道微生态系统平衡被打破所致, 有待于进一步研究。

3.2 叶黄素对七彩神仙鱼体色及组织中叶黄素含量的影响

在有鳍鱼类中, 虾青素和叶黄素是分布最为广泛的类胡萝卜素^[10], 类胡萝卜素在体内沉积使体表呈现不同颜色。用含300 mg/kg叶黄素饲料饲喂金鱼10周, 金鱼体表 b^* 值显著增加^[6]; 红白锦鲤摄食含50 mg/kg叶黄素饲料4周后, 体表红色鳞片的 b^* 值也显著升高^[2]。本研究所用实验鱼为红色系列七彩神仙鱼幼鱼, 尚未开始明显着色, 仅呈现出淡淡的粉红色。饲喂4周时, 各叶黄素添加组的体表皮肤 b^* 值和皮肤叶黄素含量均较对照组显著升高(表3, 表4), 随叶黄素添加量增加, 皮肤 b^* 值和叶黄素含量也显著增加, 当添加量达300 mg/kg时, 皮肤 b^* 值趋于稳定, 而皮肤叶黄素含量仍呈上升趋势。表明红色系列七彩神仙鱼幼鱼可沉积叶黄素而使体表呈现黄色, 这为生产黄色七彩神仙鱼和丰富观赏鱼市场中七彩神仙鱼品种提供了依据和可行性措施。

金鱼^[10]和锦鲤^[11]均能将叶黄素转换为虾青素。饲料中添加300 mg/kg叶黄素, 10周后可显著增加金鱼体表 a^* 值^[6]; 红白锦鲤摄食含50 mg/kg叶黄素饲料4周后, 体表白色鳞片的 a^* 值显著升高^[2]。大西洋鲑(*Salmo salar*)^[12]摄食低浓度叶黄素饲料后, 肌肉 a^* 值不受影响。但黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)摄食含24.2 mg/kg的叶黄素饲料90 d后, 体侧皮肤 a^* 值显著降低^[13]; 随着饲料中叶黄素与角黄素之比增加, 大黄鱼腹部和背部皮肤 a^* 值显著降低^[14], 这可能和鱼类体表皮素细胞的种类与生长相关。本实验中, 4周时

七彩神仙鱼皮肤 a^* 值无显著变化, 但养殖8周时, 当叶黄素添加量达100 mg/kg后, 皮肤 a^* 值显著降低。表明七彩神仙鱼不能将叶黄素转换为红色素, 长时间摄入高浓度叶黄素添加量的饲料, 可能会掩盖体表红度的表达, 导致 a^* 值下降。至于红色素的含量是否会减少, 有待于进一步研究。

本实验中, 随饲料中叶黄素添加量增加, 全鱼叶黄素沉积率显著降低, 这在黄颡鱼中也有类似报道^[13], 其原因可能是在高添加量(300和400 mg/kg)下, 七彩神仙鱼降低了对叶黄素的消化和吸收利用率, 也与高叶黄素添加量使鱼体生长性能下降而使体内沉积降低有关。

3.3 叶黄素对七彩神仙鱼肝脏T-AOC和MDA含量变化的影响

叶黄素的分子结构中含有易被氧化的羟基(-OH)和大量共轭双键, 研究表明, 天然叶黄素的主要成分黄体素(lutein)对超氧阴离子自由基、羟基自由基、过氧化氢、脂质过氧化作用均表现出很强的抗氧化作用^[15]; 在蛋鸡饲料中添加240 mg/kg的叶黄素可显著提高血清超氧化物歧化酶(SOD)活性, 降低MDA含量^[16]; 万寿菊中的叶黄素酯可抑制由四氧嘧啶诱导的小鼠氧化损伤所致的肝细胞中SOD和MDA含量的异常升高^[17]; 由D-半乳糖导致小鼠氧化应激后, 叶黄素可提高其体内SOD活性, 从而缓解氧化应激损伤^[18]。本研究中, 当叶黄素添加量达300 mg/kg时, 肝脏T-AOC显著增强, 表明叶黄素增强了七彩神仙鱼肝脏的抗氧化能力。但叶黄素对七彩神仙鱼肝脏MDA含量无显著影响, Hininger等^[19]的研究表明叶黄素对氧化应激的生物标志物无影响, 说明高浓度叶黄素对七彩神仙鱼肝细胞代谢功能不会产生负面影响。

4 结论

在本实验条件下, 饲料中添加叶黄素可提高七彩神仙鱼体表黄度值和皮肤中叶黄素含量, 增强肝脏总抗氧化能力, 但高添加量的叶黄素会降低鱼体生长性能, 七彩神仙鱼饲料中的叶黄素添加量建议为200~300 mg/kg。

参考文献:

- [1] 丁小峰, 叶元土, 蒋蓉, 等. 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[J]. 水产学报, 2010, 34(11): 1728-1735.
- Ding X F, Ye Y T, Jiang R, *et al.* Effects of feed pigments on carotenoids, lutein content and tyrosinase activity in the skin and serum of *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(11): 1728-1735 (in Chinese).
- [2] Yuangsoi B, Jintasatoporn O, Areechon N, *et al.* The pigmenting effect of different carotenoids on fancy carp (*Cyprinus carpio*)[J]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(2): 306-316.
- [3] Swian H S, Senapati S R, Meshram S J, *et al.* Effect of dietary supplementation of marigold oleoresin on growth, survival and total muscle carotenoid of Koi carp, *Cyprinus carpio* L.[J]. Journal of Applied and Natural Science, 2014, 6(2): 430-435.
- [4] Ezhil J, Jeyanthi C, Narayanan M. Marigold as a carotenoid source on pigmentation and growth of red swordtail, *Xiphophorus helleri*[J]. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2008, 8(1): 99-102.
- [5] Pailan G H, Sardar P, Mahapatra B K. Marigold petal meal: A natural carotenoid source for pigmentation in swordtail (*Xiphophorus helleri*)[J]. Animal Nutrition and Feed Technology, 2015, 15(3): 417-425.
- [6] 冷向军, 石英, 李小勤, 等. 饲料中添加叶黄素对金鱼体色的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2010, 36(2): 168-174.
- Leng X J, Shi Y, Li X Q, *et al.* Effect of dietary xanthophyll level on body colour of goldfish (*Carassius auratus*)[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences), 2010, 36(2): 168-174 (in Chinese).
- [7] Quackenbush F W, Miller S L. Composition and analysis of the carotenoids in marigold petals[J]. Journal Association of Official Analytical Chemists, 1972, 55(3): 617-621.
- [8] Yanar M, Erçen Z, Hunt A O, *et al.* The use of alfalfa, *Medicago sativa* as a natural carotenoid source in diets of goldfish, *Carassius auratus*[J]. Aquaculture, 2008, 284(1-4): 196-200.
- [9] Dananjaya S H S, Munasinghe D M S, Ariyaratne H B S, *et al.* Natural bixin as a potential carotenoid for enhancing pigmentation and colour in goldfish (*Carassius auratus*)[J]. Aquaculture Nutrition, 2015, doi: 10.1111/anu.12387.
- [10] Simpson K L, Katayama T, Chichester C O. Carotenoids in fish feeds[M]//Bauernfeind J C. Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors. New York: Academic Press, 1981: 463-538.
- [11] Yuangsoi B, Jintasatoporn O, Tabthipwon P, *et al.* Utilization of carotenoids in fancy carp (*Cyprinus carpio*): astaxanthin, lutein and β -carotene[J]. World Applied Sciences Journal, 2010, 11(5): 590-598.
- [12] Olsen R E, Baker R T M. Lutein does not influence flesh astaxanthin pigmentation in the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. Aquaculture, 2006, 258(1-4): 558-564.
- [13] 王鲁波, 薛敏, 王嘉, 等. 天然叶黄素对黄颡鱼生长性能和皮肤着色的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(7): 1102-1110.
- Wang L B, Xue M, Wang J, *et al.* Effect of natural xanthophylls on growth performance and body pigmentation of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(7): 1102-1110 (in Chinese).
- [14] Yi X, Li J, Xu W, *et al.* Effects of dietary lutein/canthaxanthin ratio on the growth and pigmentation of large yellow croaker *Larimichthys croceus*[J]. Aquaculture Nutrition, 2016, 22(3): 683-690.
- [15] Kumar R, Yu W L, Jiang C L, *et al.* Improvement of the isolation and purification of lutein from marigold flower (*Tagetes erecta* L.) and its antioxidant activity[J]. Journal of Food Process Engineering, 2010, 33(6): 1065-1078.
- [16] 元娜. 万寿菊提取物和维生素E对鸡蛋品质、抗氧化能力及免疫应答影响的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2009.
- Yuan N. Effect of marigold extract and vitamin E on egg quality, antioxidant ability and immune response of laying hens[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2009 (in Chinese).
- [17] 张秀娟, 安鹏, 季宇彬. 叶黄素酯对四氧嘧啶所致小鼠氧化损伤的保护性研究[J]. 中国微生态学杂志, 2008, 20(1): 25-27.
- Zhang X J, An P, Ji Y B. The protective study of xangold on mice of oxidative damage by alloxan[J]. Chinese Journal of Microecology, 2008, 20(1): 25-27 (in Chinese).
- [18] 麦嘉仪, 沈新南, 魏延, 等. 叶黄素对D-半乳糖致小鼠氧化损伤的保护作用[J]. 中国预防医学杂志, 2010,

- 11(4): 346-349.
- Mai J Y, Shen X N, Wei Y, *et al.* Protective effect of lutein on oxidative mice induced by D-galactose[J]. Chinese Preventive Medicine, 2010, 11(4): 346-349 (in Chinese).
- [19] Hininger I A, Meyer W A, Moser U, *et al.* No significant effects of lutein, lycopene or beta-carotene supplementation on biological markers of oxidative stress and LDL oxidizability in healthy adult subjects[J]. Journal of the American College of Nutrition, 2001, 20(3): 232-238.

Effect of dietary xanthophyll on the growth and body color of discus fish (*Symphysodon aequifasciata*)

SONG Xuelu¹, LI Xiaoqin^{1,2}, CHEN Zaizhong¹, WANG Lei¹,
HUAN Dianyu¹, LENG Xiangjun^{1,2,3,4*}

(1. College of Fisheries and Life Science of Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Key Laboratory of Freshwater Fishery Germplasm Resources, Ministry of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306, China;

4. Shanghai Collaborative Innovation Center for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai 201306, China)

Abstract: To assess the effects of dietary xanthophyll on the growth and body color of discus fish (*Symphysodon* sp.), xanthophyll was added into the basal diet (beef heart hamburger) with the levels of 0, 50, 100, 200, 300 and 400 mg/kg, respectively. The six experimental diets were fed to discus fish with an initial body weight of (10.3±0.3) g for 8 weeks. The results showed that the supplementation of 50–200 mg/kg xanthophyll had no significant effects on the weight gain rate, but the feed coefficient ratio significantly increased and the weight gain rate significantly decreased when the xanthophyll supplementation reached 200 or 300 mg/kg respectively. After 4 or 8 weeks' feeding, the skin lightness (L^*) showed no significant differences among groups, but the skin yellowness (b^*) increased with the increase of dietary xanthophyll. The b^* value and xanthophyll content in skin of all xanthophyll-supplemented groups in the 8th week were higher than those in the 4th week. The b^* values in the 4th week and 8th week, and the xanthophyll content in whole fish in the 8th week remained relatively stable when the xanthophyll supplementation reached 300 mg/kg. In the 4th week, the skin redness (a^*) showed no significant difference among groups, but in the 8th week, the a^* values significantly decreased when the xanthophyll supplementation reached 100 mg/kg. The hepatic total antioxidant capacity was significantly strengthened by the supplementation of 300 or 400 mg/kg xanthophyll. The above results showed that dietary xanthophyll could effectively improve the yellowness of the skin and strengthen the hepatic total antioxidant capacity of discus fish, but the high inclusion of xanthophyll reduced the growth of the fish. The supplementation level of xanthophyll was suggested to be 200–300 mg/kg.

Key words: *Symphysodon aequifasciata*; xanthophyll; body color; growth

Corresponding author: LENG Xiangjun. E-mail: xjleng@shou.edu.cn

Funding projects: Shanghai Municipal Agricultural Commission (2015-19)