

Besides, the depth of blackness also has a direct connection with the tryosinase activity.

Key words: tryosinase; carotenoid; lutein ; freshwater fish

养殖鱼类体色变化目前还是一个有待解决的难题,如养殖的斑点叉尾鱼回(*Ictalurus punctatus*)、黄鳊(*Monopterus albus*)经常出现体色变白或发红、鲫(*Carassius auratus auratus*)体色变浅等情况。养殖鱼类体色变化既是一个有待研究的专业性课题,其体色变化的结果又严重影响养殖鱼类的商品价值。淡水鱼类体表皮素主要包括黑色素(黑色)、类胡萝卜素(红、黄等鲜艳颜色)及嘌呤类物质(银白色),在饲料中添加色素可以改善鱼体体表和肌肉的颜色,这些研究报告多集中在观赏鱼类、冷水鱼类(鲑鳟鱼类)和部分海水鱼类,对我国淡水主要养殖鱼类体色形成的基础、影响因素等的研究不多。淡水鱼类的体色主要为黑色、黄色类型,黑色素是由酪氨酸在酪氨酸酶的作用下合成的,黄色、红色等鲜艳体色主要由类胡萝卜素、叶黄素在皮肤、鳞片色素细胞中的数量和分布状态所决定。本试验选取养殖量较大的七种淡水经济鱼类草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲫、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)、黄鳊、泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)、斑点叉尾鱼回为试验对象,测定其皮肤、鳞片、血清中的酪氨酸酶活力和皮肤中的类胡萝卜素、叶黄素含量,为淡水鱼类体色的研究工作提供基础数据,其研究结果对进一步研究养殖鱼类体色控制技术也有一定作用和意义。

1 材料和方法

1.1 试验鱼

试验所用草鱼、鲫、团头鲂、黄颡鱼、黄鳊、泥鳅、斑点叉尾鱼回均购买于市场,选取体格健壮,体色正常的鱼体。试验鱼基本情况见表1。

表1 试验所用的七种淡水鱼
Tab.1 The seven species of freshwater fishes

鱼种	数量(尾)	平均体重(g)	分类地位
斑点叉尾鱼回(<i>Ictalurus punctatus</i>)	10	500 ± 3.5	鲇形目、鲇科、
黄颡鱼(<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)	10	80 ± 2.3	鲇形目、鲇科、黄颡鱼属
泥鳅(<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>)	15	100 ± 4.2	鲤形目、鳅科、花鳅亚科、鳅属
黄鳊(<i>Monopterus albus</i>)	15	300 ± 5.6	合鳃鱼目、合鳃鱼科、黄鳊属
鲫(<i>Carassius auratus auratus</i>)	3	725 ± 6.4	鲤形目、鲤亚目、鲤科、鲤亚科
团头鲂(<i>Megalobrama amblycephala</i>)	3	725 ± 7.4	鲤形目、鲤亚目、鲤科、鲂亚科
草鱼(<i>Ctenopharyngodon idellus</i>)	3	2500 ± 10.8	鲤形目、鲤亚目、鲤科、雅罗鱼亚科

1.2 样品处理方法

试验鱼购回后及时进行处理,进行尾动(静)脉取血,以3 000 r/min,冷冻离心15 min,收集血清,立即用于测定血清中的酪氨酸酶活力。同时取鱼体同一侧面的鳞片、背部皮肤(简称背皮)和腹部皮肤(简称腹皮)。称取1 g左右样品,按1:5比例用67 mmol/L、pH 6.8磷酸缓冲液冷冻匀浆,匀浆液在冷冻离心机上8 000 r/min离心25 min,取上清液作为粗酶液,用于测定其中酪氨酸酶活力。另取一部分鳞片、背皮和腹皮-20℃保存,用于测定其总类胡萝卜素、叶黄素的含量。

1.3 类胡萝卜素的测定

类胡萝卜素的测定参照张嫦等^[1]方法修改进行。称取1 g样品于25 mL棕色容量瓶中,加入7.5 mL浸提液,塞上塞子并旋转振摇1 min。用移液管加入1 mL 40% KOH 甲醇溶液到容量瓶中进行皂化处理,旋转振摇1 min,将容量瓶于55.5℃水浴上加热20 min,在容量瓶颈接上空气冷凝装置以防止溶剂损失。冷却样品,让其于暗处放置1 h。加入7.5 mL正己烷,旋转振摇1 min,以10%硫酸钠溶液定容,猛烈振摇1 min。于暗处放置1 h后将上层液转移至0.5 cm比色皿中,以正己烷、丙酮混合液为空

白对照(加盖防止丙酮挥发),在紫外-可见分光光度计下 300 ~ 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提取液的吸光值。

$$\text{总类胡萝卜素含量(mg/kg)} = (A \cdot K \cdot V) / (E \cdot G)$$

式中, A 为吸光度; K 为稀释倍数; V 为提取液体积; E 为摩尔消光系数; G 为样品重量。

1.4 叶黄素的测定

叶黄素的测定参照郭吉余等^[2]方法修改进行。将上述静置后的上层液进行 200 目硅胶色谱分离(将吸附剂装入色层柱,装至 7 cm 高即可,再在吸附剂上面装入无水硫酸钠,2 cm 高即可)。吸取 5 mL(若色素含量低则取 10 mL)皂化后的上层液注入色层柱,在色层柱上部的待分析液快要流完之前,徐徐加入胡萝卜素洗脱溶剂(正己烷:丙酮/96:4),直至胡萝卜素带全部洗接收抽滤瓶,胡萝卜素被洗脱后,叶黄素类色素仍保留在色层柱中,重新安装好试验装置,并加入叶黄素洗脱溶剂(正己烷:丙酮:甲醇/80:10:10),持续洗脱直至收集到全部叶黄素为止。整个操作始终应使液面高于吸附剂表面,将叶黄素溶液置于暗处,当其达到室温后转入 25 mL 棕色容量瓶,用洗脱溶剂稀释至刻度,混合均匀后立即检测其光密度值 A_{474} 。

$$\text{总叶黄素浓度(mg/kg)} = \frac{A_{474} \times 1\,000 \times f}{236 \times b \times d}$$

式中, b = 比色池的长度(cm); f = 仪器误差 = 0.561/被观察的 A_{474} ;

$$d = \text{稀释系数} = \frac{\text{样品重 g} \times \text{柱上的皂化液 mL}}{50 \text{ ml 上相液} \times \text{最后的稀释液}}$$

1.5 酪氨酸酶活力的测定

皮肤中酪氨酸酶活力的测定参照丁玉庭等^[3]方法修改,取 3 mg/mL L-多巴 0.5 mL,再加入 28 °C 预热的 2 mL 酪氨酸酶粗酶液,总反应体积为 2.5 mL,混合后立即室温下于 721 分光光度计 475 nm 处测定光密度值,10 min 后再测吸光度值,计算 $\Delta OD_{475} = \Delta OD_{10} - \Delta OD_0$ 。

血清中酪氨酸酶活力的测定方法。取 3 mg/mL L-多巴 0.5 mL,加入 1 mL 28 °C 预热的 67 mmol/L、pH6.8 磷酸缓冲液,再加入 0.5 mL 血清,总反应体积为 2 mL,混合后立即室温下测 475 nm 处测定光密度值,10 min 后再测吸光度值,计算 $\Delta OD_{475} = \Delta OD_{10} - \Delta OD_0$ 。

酪氨酸酶活力按照下述公式计算:

$$\text{酶活力(U)} = \frac{\Delta OD_{475}}{0.001 \times V \times T} \quad (\text{其中 } V \text{ 样品体积, } T \text{ 为时间})$$

1.6 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 \pm 标准差 (Mean \pm SD) 表示。用方差分析来进行各试验鱼间显著性检验。

2 结果

2.1 七种淡水鱼的总类胡萝卜素含量

本试验测定了试验鱼背部皮肤、腹部皮肤和鳞片中总类胡萝卜素含量,结果见表 2。由表 2 可以得到以下结果。

2.1.1 不同种类同一组织中总类胡萝卜素含量比较

不同种类同一组织中总类胡萝卜素含量的比较结果表明,在背部皮肤,黄鳝背部皮肤中类胡萝卜素含量最高,可以使黄鳝皮肤保持较深的色泽,与泥鳅和黄颡鱼背皮中类胡萝卜素含量具有显著差异 ($P < 0.05$);草鱼背部皮肤中类胡萝卜素含量达到 $(2\,332.10 \pm 279.20)$ mg/kg,在本试验的三种有鳞鱼中是最高的,与鲫鱼、团头鲂的结果有显著差异 ($P < 0.05$);鲫鱼、团头鲂背部皮肤中类胡萝卜素含量差异不显著 ($P > 0.05$);斑点叉尾鮰背部皮肤中类胡萝卜素含量最低,显著低于其他试验鱼 ($P < 0.05$)。在

腹部皮肤,类胡萝卜素含量黄鳢最高,显著高于其他试验鱼($P < 0.05$);黄颡鱼、泥鳅次之;草鱼、鲫、团头鲂腹部皮肤类胡萝卜素含量差异不显著($P > 0.05$);同样,斑点叉尾鱼回腹部皮肤类胡萝卜素含量显著低于其他六种淡水鱼($P < 0.05$)。鳞片中的类胡萝卜素含量,草鱼、鲫、团头鲂彼此间有显著性差异($P < 0.05$)。

表2 七种淡水鱼类背部皮肤,腹部皮肤,鳞片中总类胡萝卜素含量

Tab.2 The concentration of total carotenoids of seven species in backside skin, belly skin and squama (mg/kg)

种类	总类胡萝卜素含量		
	背皮	腹皮	鳞片
草鱼 (<i>Ctenopharyngodon idellus</i>)	2332.10 ± 279.20 ^c	533.56 ± 34.23 ^{de}	551.82 ± 8.05 ^a
鲫 (<i>Carassius auratus auratus</i>)	1607.67 ± 82.21 ^d	527.10 ± 3.95 ^e	450.56 ± 30.82 ^b
团头鲂 (<i>Megalobrama amblycephala</i>)	1507.82 ± 341.60 ^d	614.85 ± 52.33 ^d	193.96 ± 16.74 ^c
黄鳢 (<i>Monopterus albus</i>)	7045.13 ± 317.04 ^a	6058.43 ± 366.12 ^a	—
泥鳅 (<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>)	3588.14 ± 369.64 ^b	2012.99 ± 262.45 ^c	—
黄颡鱼 (<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)	3779.70 ± 198.24 ^b	3294.62 ± 64.98 ^b	—
斑点叉尾鱼回 (<i>Ictalurus punctatus</i>)	634.79 ± 58.76 ^e	125.68 ± 13.44 ^f	—

注:表中同一列数据上标英文字母不同者表示差异显著($P < 0.05$);—表示没有取样、测定。

2.1.2 同一种类不同部位总类胡萝卜素含量比较

关于同一种类不同部位中总类胡萝卜素含量的比较结果表明,七种鱼的背部皮肤中总类胡萝卜素含量较高,显著高于腹部皮肤、鳞片中的含量($P < 0.05$),这与鱼体背部色泽较腹部深有关系;在三种有鳞鱼中,关于皮肤与鳞片总类胡萝卜素含量的比较结果表明,鳞片总类胡萝卜素含量均低于背部、腹部皮肤中的含量($P < 0.05$),其中草鱼腹部皮肤中类胡萝卜素的含量稍低于鳞片中的含量,但差异不显著($P > 0.05$)。

上述结果表明,鱼体背部皮肤中总类胡萝卜素含量较高,而腹部皮肤也保持着一定量的总类胡萝卜素;对于有鳞鱼而言,虽然我们只能观察到鱼体鳞片的色泽,但皮肤中的总类胡萝卜素含量却高于鳞片的含量,大量的总类胡萝卜素还是储存于皮肤而不是在鳞片中。

2.2 七种淡水鱼的叶黄素含量

七种鱼皮肤、鳞片中叶黄素的含量,结果见表3,由表3可以得到以下结果。

2.2.1 不同种类同一组织中叶黄素含量比较

关于不同种类同一组织中叶黄素含量的比较结果表明,①在背部皮肤,叶黄素含量在七种鱼之间差异显著($P < 0.05$),其中黄鳢背皮中叶黄素含量最高,显著高于其他六种鱼($P < 0.05$);泥鳅和黄颡鱼背皮中也具有较高的叶黄素含量;草鱼在三种有鳞鱼中,背部皮肤叶黄素含量是最高的;团头鲂、斑点叉尾鱼回背部皮肤叶黄素含量差异不显著($P > 0.05$),但显著低于其他鱼的结果。②在腹皮中,黄鳢叶黄素含量最高,显著高于其他试验鱼($P < 0.05$);其次为泥鳅和黄颡鱼,两者腹皮叶黄素含量差异不显著($P > 0.05$);草鱼、鲫、团头鲂、斑点叉尾鱼回腹皮中叶黄素含量差异不显著。③在鳞片中,叶黄素含量差异也较显著($P < 0.05$),其中草鱼鳞片叶黄素含量最高,鲫鱼次之,团头鲂最低。

表3 七种淡水鱼类背部皮肤,腹部皮肤,鳞片中叶黄素含量

Tab.3 The concentration of luteins of seven species in backside skin, belly skin and squama (mg/kg)

种类	叶黄素含量		
	背皮	腹皮	鳞片
草鱼 (<i>Ctenopharyngodon idellus</i>)	8.576 ± 1.793 ^d	1.659 ± 0.282 ^c	5.831 ± 1.596 ^a
鲫 (<i>Carassius auratus auratus</i>)	5.280 ± 0.738 ^e	1.824 ± 0.385 ^c	3.860 ± 0.135 ^b
团头鲂 (<i>Megalobrama amblycephala</i>)	3.689 ± 0.552 ^f	1.214 ± 0.823 ^{cd}	1.209 ± 0.586 ^c
黄鳢 (<i>Monopterus albus</i>)	70.857 ± 5.279 ^a	35.113 ± 2.494 ^a	—
泥鳅 (<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>)	30.204 ± 0.071 ^b	11.704 ± 0.376 ^b	—
黄颡鱼 (<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)	15.804 ± 1.564 ^c	11.038 ± 2.515 ^b	—
斑点叉尾鱼回 (<i>Ictalurus punctatus</i>)	2.951 ± 0.693 ^f	0.641 ± 0.171 ^d	—

注:表中同一列数据上标英文字母不同者表示差异显著($P < 0.05$);—表示没有取样、测定。

2.2.2 同一种类不同部位中叶黄素含量比较

同一种类不同部位中叶黄素含量的比较结果表明,无论是鳞的草鱼、鲫鱼、团头鲂,还是无鳞鱼黄鳢、泥鳅、黄颡鱼和斑点叉尾鮰,背部皮肤叶黄素含量均显著高于腹部皮肤中的叶黄素含量($P < 0.05$);在三种有鳞鱼中,叶黄素在皮肤和鳞片中的分布不一致。其中草鱼和鲫鱼鳞片中叶黄素含量显著高于腹部皮肤中的叶黄素含量($P < 0.05$),且与背部皮肤叶黄素含量无显著差异($P > 0.05$)。团头鲂鳞片中叶黄素含量稍低于腹部皮肤中的叶黄素含量,且差异不显著($P > 0.05$),但显著低于背部皮肤中的叶黄素含量($P < 0.05$)。

2.3 七种淡水鱼的酪氨酸酶活力

七种淡水鱼皮肤、鳞片、血清中酪氨酸酶活力见表4。

表4 七种淡水鱼类背部皮肤,腹部皮肤,鳞片,血清中酪氨酸酶活力

Tab.4 Trypsinase activity of seven species in backside skin, belly skin, squama and serum (U/g)

鱼种	酪氨酸酶活力(U/g)			
	背皮	腹皮	鳞片	血清
草鱼(<i>Ctenopharyngodon idellus</i>)	2.875 ± 0.629 ^a	—	1.500 ± 0.010 ^b	0.133 ± 0.031 ^e
鲫(<i>Carassius auratus auratus</i>)	1.500 ± 0.291 ^b	—	1.000 ± 0.010 ^c	0.650 ± 0.079 ^c
团头鲂(<i>Megalobrama amblycephala</i>)	2.000 ± 0.354 ^{ab}	—	2.447 ± 0.387 ^a	0.933 ± 0.617 ^{bc}
黄鳢(<i>Monopterus albus</i>)	未检出	未检出	—	1.600 ± 0.567 ^b
泥鳅(<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>)	0.167 ± 0.029 ^c	未检出	—	2.000 ± 0.020 ^a
黄颡鱼(<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)	1.750 ± 0.645 ^{ab}	0.500 ± 0.017 ^b	—	0.200 ± 0.004 ^d
斑点叉尾鮰(<i>Ictalurus punctatus</i>)	2.250 ± 1.061 ^{ab}	2.400 ± 0.283 ^a	—	0.200 ± 0.028 ^d

注:表中同一列数据上标英文字母不同者表示差异显著($P < 0.05$);—表示没有取样。

2.3.1 不同种类同一组织中酪氨酸酶活力比较

不同种类同一组织中酪氨酸酶活力的比较结果表明,酪氨酸酶活力在不同种类间的相同组织中差异较大。

在背部皮肤,草鱼背部皮肤中酪氨酸酶活力最高,鲫、斑点叉尾鮰、团头鲂、黄颡鱼背部皮肤中酪氨酸酶活力差异不显著($P > 0.05$);泥鳅背部皮肤中酪氨酸酶活力与前面4种鱼的结果有显著差异($P < 0.05$)。在腹部皮肤,斑点叉尾鮰腹部皮肤中酪氨酸酶活力最高,显著高于其他试验鱼($P < 0.05$);黄颡鱼腹部皮肤酪氨酸酶活力次之。在鳞片,草鱼、鲫、团头鲂三种有鳞试验鱼鳞片中的酪氨酸酶活力差异显著($P < 0.05$)。

在血清中,泥鳅酪氨酸酶活力最高,显著高于其他试验鱼($P < 0.05$);鲫、团头鲂、黄鳢血清中酪氨酸酶活力差异不显著($P > 0.05$),草鱼血清中酪氨酸酶活力最低。

2.3.2 同一种类不同部位中酪氨酸酶活力比较

关于同一种类不同部位中酪氨酸酶活力的比较结果表明,草鱼、鲫鱼背皮中的酪氨酸酶活力显著高于腹皮、血清中的酪氨酸酶活力($P < 0.05$),而团头鲂鳞片中的酪氨酸酶活力比皮肤中的高,显示出在鳞片中黑色素的合成能力强于皮肤;黄鳢,泥鳅血清中酪氨酸酶活力较高;黄颡鱼、斑点叉尾鮰皮肤中酪氨酸酶活力显著高于血清中的酶活($P < 0.05$),表明黑色素的合成主要在皮肤中进行。

3 讨论

3.1 鱼体体色形成及影响体色变化的主要因素

鱼体体色形成的基础是皮肤、鳞片中色素细胞的种类、数量和分布,以及色素颗粒在色素细胞中的分布情况。鱼体色素细胞主要分为四种类型:(1)黑色素细胞,内含黑色颗粒;(2)虹彩细胞,也称反光体,内含鸟粪素;(3)黄色素细胞;(4)红色素细胞。色素细胞主要分布在鱼类的真皮层和鳞片表层^[4]。鱼类体表颜色主要受这些色素细胞的数量、色素颗粒在色素细胞中的积聚状态、色素量的多少等的影

响。色素细胞中的色素从化学结构来分,大致可分为黑色素、类胡萝卜素群、 α -萘醌系色素群、蝶啶系色素群和其它色素^[5],叶黄素是氧化了的胡萝卜素。水产动物呈现的斑斓体色,主要由类胡萝卜素决定,也与黑色素、鸟嘌呤等色素基团有关。水产动物本身不能从头合成类胡萝卜素,因而必须从食物中摄取^[6]。

类胡萝卜素、叶黄素可使鱼体呈现黄色、橙色和红色等,鱼类能将碳氢类胡萝卜素代谢转化为虾青素,角黄素等含氧类胡萝卜素^[7]。不同种类鱼虾对类胡萝卜素、叶黄素的代谢能力也存在差异。类胡萝卜素以游离形式在中肠被吸收,在血液中以与脂蛋白结合的方式转运;肝脏是类胡萝卜素代谢的主要器官;对未成熟的鲑鳟鱼类,类胡萝卜素主要以游离形式存在于肌肉中,在性成熟过程中,从肌肉转移到皮肤和卵巢中^[8]。

本试验表明,类胡萝卜素、叶黄素含量的多少与鱼体体表的颜色、不同部位颜色的深浅有直接的关系。黄鳢、泥鳅、黄颡鱼三种无鳞鱼无论背部皮肤还是腹部皮肤,类胡萝卜素、叶黄素含量都较高,显著高于草鱼、鲫、团头鲂三种有鳞鱼($P < 0.05$),而这些鱼体体表均有较深的黄色色泽;对于同一鱼类,类胡萝卜素、叶黄素多集中于背部皮肤,鳞片中类胡萝卜素、叶黄素含量也较少。

值得注意的是,即使体色为黑色、白色的鱼如草鱼、鲫、团头鲂血清、皮肤和鳞片中也含有大量的类胡萝卜素、叶黄素,只是数量较体色为黄色的几种鱼少而已。因此,鱼体体色应该是多种色素积累的综合表现,这也为养殖鱼体体色控制增加了很大的难度。

3.2 黑色素、酪氨酸酶与体色的关系

酪氨酸酶又称多酚氧化酶,广泛存在于微生物,动植物及人体中,是黑色素合成的限速酶,直接影响黑色素的合成^[9]。在鱼体内,酪氨酸在酪氨酸酶的作用下生成多巴,再经过一系列的步骤最终生成黑色素。黑色素使动物呈现较暗颜色,特别是黑色和棕色,有时出现黄色。酪氨酸酶对鱼类皮肤中色素合成起重大作用,是黑色素形成的关键酶,其表达和活性决定着黑色素生成的速度和产量。酪氨酸酶活力越高,皮肤中黑色素形成的量就越高^[10]。

本试验表明,酪氨酸酶在皮肤,鳞片,血清中均有分布,且酪氨酸酶活力大小与鱼体体表黑色颜色的深浅直接正相关关系、在不同部位酪氨酸酶活力大小与鱼体黑色素合成部位有关。如背部皮肤中草鱼、斑点叉尾鱼回、团头鲂的酪氨酸酶活力很高,表明黑色素合成能力较强,与这些鱼体背部主要为黑色体色有直接关系。如果由于饲料、疾病或水环境因素引起体色变浅时,酪氨酸酶活力可能会下降。泥鳅与黄鳢背部皮肤中酪氨酸酶活力较低,应该与它们的体色主要为黄色、部分黑色有直接的关系。鲫和黄颡鱼酪氨酸酶活力差异不大,有一定的酶活力,也有一定的黑色素沉积。血清中,泥鳅,黄鳢的酪氨酸酶活力反而较高,显著高于其它五种鱼类,这可能与它们种质特异性和生存环境差异有关。七种淡水鱼类背部皮肤的酪氨酸酶活力高于腹部皮肤和血清中的酪氨酸酶活,团头鲂鳞片酪氨酸酶活力最高,泥鳅,黄鳢血清中酪氨酸酶活力也较高,这可能与黑色素主要合成部位有直接关系。

参考文献:

- [1] 张 婧,宋 航,何泽超,等. 万寿菊中叶黄素的分析方法研究[J]. 四川大学学报,2001,33(6):114-116.
- [2] 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.
- [3] 丁玉庭,杨更生. 外加因子对黑豚皮酪氨酸酶活性的影响[J]. Food Science,1999(4):12-14.
- [4] 苏锦祥. 鱼类学与海水鱼类养殖[M]. 北京:中国农业出版社,1995(2):32-33.
- [5] 刘金海,王安利,王维娜,等. 水产动物体色素组分及着色剂研究进展[J]. 动物学杂志,2002,37(3):92.
- [6] 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):138-139.
- [7] 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):59.
- [8] Storebakken T, Hong k N. Pigmentation of rainbow trout[J]. Aquaculture,1992,100:209-229.
- [9] 黄 冰,郭世华,张士瑾. 鱼类白化病的研究进展[J]. 海洋科学,2003,27(5):12.
- [10] Chen Y M, Chavin W. Comparative biochemical aspects of integumental and tumor tyrosinase activity in vertebrate melanogenesis[M]// Montagna W, Hu F. The Pigmentary System. Oxford: Pergamon, 1967:253-268.