

文章编号: 1000-0615(2006)01-0138-06

·综述·

水产动物着色的研究进展

冷向军, 李小勤

(上海水产大学生命科学与技术学院, 上海高校水产养殖学 E-研究院, 上海 200090)

关键词: 水产动物; 着色; 类胡萝卜素

中图分类号: S963 文献标识码: A

The recent advance of aquatic animal pigmentation

LENG Xiang-jun, LI Xiao-qin

(College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University,
E-Institute of Shanghai Municipal Education Commission, Shanghai 200090, China)

Abstract: This article reviewed the advance in aquatic animal pigmentation, including theory and practice of pigmentation. Color plays a very important role in determining quality and price of cultured fish, shrimp and other aquatic animals. The beautiful color of red, orange, yellow is due to a group of pigments named carotenoids, which could not be obtained from de novo synthesis by these animals, but directly from diets. Astaxanthin and lutein are main pigments existing in aquatic animals, so adding such carotenoids in artificial diets is an important way to improve the color of skin and flesh. On the basis of where astaxanthin is biosynthesized, aquatic animals could be divided into 3 types, red carp type, sea bream type and prawn type. For prawn type, including prawn, crab, lobster and other crustaceans in which astaxanthin is the main carotenoid, color could be improved by feeding β -carotene, astaxanthin, canthaxanthin, zeaxanthin and lutein, but astaxanthin and canthaxanthin are more effective. For red carp type, including red carp, goldfish, fancy red carp and most freshwater fishes, astaxanthin, canthaxanthin, zeaxanthin and lutein could be fed, but only astaxanthin, canthaxanthin could be fed to the third type including sea bream and salmonids, and the adding level of these pigments is about 50-100 mg·kg⁻¹. There are 2 kinds of pigments could be used in aquatic feeds, carotenoids additives and natural feedstuffs rich in carotenoids, such as green alga, yeast *Phaffia rhodozyma*, and shrimp waste. Many factors affect the pigmentation of aquatic animals, which includes the species, size and physiological situation of animals, diets composition, source and kinds of pigments. Other factors such as feeding rate, water temperature, and brightness also play some roles in color formation of aquatic animals. So, attention must be paid to satisfy pigmentation for aquatic animals. Compared with Western countries, the research and use of aquatic animals pigmentation in China are late and superficial, but develop rapidly in recent years. In the future, more attention should be paid to metabolism, regulation and affecting factors of pigmentation based on characteristics of cultured conditions, species and feedstuffs, to promote pigmentation theory and practice of aquatic animals in China.

Key words: aquatic animal; pigmentation; carotenoids

随着我国水产养殖产量的迅速增加,人们越来越关注养殖鱼虾的品质问题,其中色泽是影响养殖鱼虾商品价格和观赏价值的重要因素。水产动物呈现出的斑斓色彩,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,因而必需从食物中摄取类胡萝卜素。在现代集约化养殖条件下,水产

收稿日期: 2005-03-16

资助项目: 上海市教育委员会 E-研究院建设项目(E03009); 上海市重点学科建设项目资助(Y1101); 上海水产大学校长基金(03-21)

作者简介: 冷向军(1972-),男,四川眉山人,博士,副教授,从事水产动物营养及饲料安全研究。E-mail: xjleng@shfu.edu.cn

动物摄食天然饵料(富含类胡萝卜素)的机会越来越少,而配合饲料本身类胡萝卜素含量低,造成养殖鱼虾体表或肌肉色泽变差。本文就水产动物着色的研究进展作一综述,以利于提高我国水产动物着色剂研究的理论水平和生产实践。

1 类胡萝卜素的性质与功能

类胡萝卜素(carotenoids)是胡萝卜素(carotenes)和叶黄素(xanthophyll)两大类色素的总称,为一类脂溶性化合物。胡萝卜素是以胡萝卜的色素为代表的一类色素,仅由C、H组成,包括 α -、 β -、 γ -胡萝卜素,可作为维生素A原,但着色效果较差;叶黄素则是氧化了的胡萝卜素,分子中含有一个或多个氧原子,形成羟基、羰基、甲氧基等结构,包括玉米黄质(zeaxanthin, 3,3'-二羟基- β -胡萝卜素)、黄体素(lutein, 3,3'-二羟基- α -胡萝卜素)、角黄素(canthaxanthin, 4,4'-二酮基 β -胡萝卜素)、虾青素(astaxanthin, 3,3'-二羟基-4,4'-二酮基 β -胡萝卜素)等,是水产动物呈色的主要物质。目前国内一些研究者将lutein译为叶黄素,这不准确,易与xanthophylls(叶黄素)相混淆,应注意区别。类胡萝卜素在水产动物中的主要生理功能包括:(1)着色;(2)抗紫外辐射的光保护作用;(3)作为维生素A的前体物质;(4)增强对高氨和低氧的耐受性;(5)促进生长和成熟,改善卵质;(6)抗氧化剂和脂质过氧化的抑制剂。

2 类胡萝卜素在水产动物中分布与代谢

2.1 分布

目前,已知结构的类胡萝卜素约有600余种,在自然界以岩藻黄素、紫黄素、黄体素、新黄质最为丰富,但在水产动物界则以虾青素、黄体素等为主。在甲壳类动物,虾青素最为普遍,其他含量较多的类胡萝卜素还有黄体素、玉米黄质、角黄素等;在有鳍鱼类中,虾青素也是分布最为广泛的色素,其次为黄体素和金枪鱼黄素;在淡水鱼类中,黄体素具有较重要的着色意义,而海水鱼类则具有独特的金枪鱼黄素^[1]。这些色素在动物体内以游离、酯化或与蛋白质结合态存在。

2.2 代谢

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;对于未成熟鲑鳟鱼类,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^[2]。鱼虾具有将类胡萝卜素作为维生素A原的能力,如虹鳟可将虾青素还原成玉米黄质,将角黄素还原为 β -胡萝卜素,进而合成维生素A^[3],而哺乳动物只能将 β -胡萝卜素作为维生素A原,而不能转化虾青素,角黄素等。

水产动物,包括鱼、虾、蟹等,均不能从头合成类胡萝卜素。在天然状态下其红、橙、黄、蓝等色泽,均起始于藻

类,以及由此经食物链传至浮游动物,最终至鱼虾蟹。虾青素是水产动物中普遍存在的一种类胡萝卜素,根据水产动物对虾青素的代谢转变途径,可将水产动物分为3大类^[1]:

(1)红鲤型(red carp type):包括大部分淡水鱼类,如金鱼、红鲤和锦鲤等,可将黄体素、玉米黄质转变成虾青素,也可将食物中的虾青素直接贮于体内;虽然具有转化 β -胡萝卜素为虾青素的能力,但极弱, β -胡萝卜素不是形成虾青素的主要前体物质。该类动物可将 β -紫罗酮环的4,4' $^{\circ}$ C氧化,而难以将3,3' $^{\circ}$ C氧化,故难以形成虾青素。

(2)鲷鱼型(sea bream type):包括大部分具有经济价值的海水鱼类,如鲷、大麻哈鱼和鲑鳟鱼类等。以 14 C标记的 β -胡萝卜素、黄体素、玉米黄质直接导入虹鳟胃中,24 h后,可在皮肤、肝、肌肉等处相对应的色素中找到 14 C的分布,但在虾青素中则检测不到 14 C的活性^[1]。以虹鳟为代表的该类鱼不能将 β -胡萝卜素、黄体素、玉米黄质转变成虾青素,但可将上述色素直接吸收而贮存于体内。

(3)大虾型(prawn type):几乎所有甲壳类动物均属此类,可将 β -胡萝卜素、黄体素、玉米黄质转变成虾青素。

因此,要使养殖鱼虾达到理想的着色效果,必须根据鱼虾的代谢类型以及类胡萝卜素在其体内的分布特点选用适当的种类。

3 类胡萝卜素着色剂

目前使用的类胡萝卜素着色剂可分为富含类胡萝卜素的天然动植物原料和类胡萝卜素添加剂。

3.1 类胡萝卜素添加剂

在我国,已批准使用的类胡萝卜素着色剂共6种: β -阿朴-8-胡萝卜素醛, β -阿朴-8-胡萝卜素酸乙酯, β -胡萝卜素-4,4'-二酮(斑螯黄),辣椒红,虾青素,叶黄素(万寿菊花提取物)。其中虾青素、斑螯黄和叶黄素可用于水产动物着色。

虾青素化学名为3,3'-二羟基- β , β -胡萝卜素-4,4'-二酮,分子式 $C_{40}H_{53}O_4$ 。目前生产虾青素的方法主要有:(1)从虾蟹废弃物中提取虾青素;(2)利用藻类,如雨生红球藻等生产虾青素;(3)利用酵母菌,如红法夫酵母等生产虾青素;(4)用化学合成法生产虾青素。现市售的虾青素产品主要由化学合成法生产,为灰紫或紫红色粉末。

斑螯黄,又名角黄素,为橙红色色素,均采用化学合成法;叶黄素为万寿菊花提取物,主要成分为黄体素、玉米黄素,市售产品有金闪闪、金黄素等,为粉末状或油脂状。

3.2 富含类胡萝卜素的天然动植物原料

藻类植物中含有丰富的类胡萝卜素,绿藻门中以黄体素居优势,兰藻门主要含玉米黄素、角黄素、海胆酮等。苜蓿中也含有丰富的类胡萝卜素,以黄体素为主;万寿菊花是自然界类胡萝卜素含量最丰富的植物,主要成分为黄体素和玉米黄质,目前市售的天然叶黄素类产品主要由万寿

菊花中提取。表1列出了一些植物性原料中的叶黄素含量^[4]。

表1 植物性原料中的叶黄素含量

Tab.1 Xanthophyll contents of some plant materials

| 原料 materials | mg·kg ⁻¹ 叶黄素 xanthophyll |
|--|---|
| 苜蓿粉 alfalfa meal(17% protein) | 260 |
| 黄玉米 yellow corn | 17 |
| 苜蓿粉 alfalfa meal(20% protein) | 280 |
| 玉米蛋白粉 corn gluten meal(41% protein) | 175 |
| 苜蓿粉 alfalfa meal(22% protein) | 330 |
| 玉米蛋白粉 corn gluten meal(60% protein) | 290 |
| 墨角藻(干粉) <i>Fucus serratus</i> (dried) | 350 |
| 万寿菊花瓣粉 marigold petal meal | 7000 |
| 小球藻(干粉) <i>Ahlorella pyrenoidosa</i> (dried) | 2000 |
| 苜蓿汁蛋白 alfalfa juice protein(17% protein) | 800 |

动物性原料,主要是一些鱼虾加工废弃物或提取物,含有丰富的虾青素(表2)^[4],可用于养殖虾蟹和鲑鳟鱼类的着色。值得注意的是由于来源、加工方式和贮存时间的不同,同一产品的虾青素含量表现出很大差异。如虾粉中的虾青素酯和游离虾青素的含量为66.1、7.19 mg·kg⁻¹,经过干燥加工,虾青素酯含量降为10.3 mg·kg⁻¹,而游离虾青素则难以检出^[1]。

表2 动物性原料中的虾青素含量

Tab.2 Astaxanthin content of some animal materials

| 原料 materials | mg·kg ⁻¹ 虾青素 astaxanthin |
|---------------------------------|---|
| 桡足类 copepod | 39~84 |
| 毛鳞鱼油 capelin oil | 6~94 |
| 桡足类油 copepod oil | 520 |
| 鲭鱼油 mackerel oil | 6~11 |
| 红蟹 red crab | 100~160 |
| 克氏原螯虾,油提取物 crawfish oil extract | 750 |
| 红蟹油提取物 crab, red, oil extract | 1550 |
| 克氏原螯虾粉 crawfish meal | 137 |
| 磷虾 krill | 100~130 |
| 长额虾(脱壳) shrimp, shelled | 20~128 |
| 磷虾油 krill oil | 727 |
| 长额虾油 shrimp oil | 1095 |

4 类胡萝卜素着色剂的应用

4.1 养殖鱼虾与天然鱼虾体色的差别

鱼虾不能从头合成类胡萝卜素,因而食物中必需含有相应的类胡萝卜素或其前体物质,但在养殖条件下,人工饲料中类胡萝卜素含量很少,造成养殖鱼虾体色不如野生

个体艳丽,甚至失去了原有的色泽,这在鲑鳟鱼类养殖中尤为明显。野生鲑鳟鱼类肌肉呈现出诱人的粉红色或红色,但人工养殖个体其红色变淡显苍白,严重影响商品价值。同样的情况也存在于虾类、观赏鱼类及其他一些经济鱼类。如养殖日本对虾游离类胡萝卜素含量为160 mg·kg⁻¹体重,而野生个体则高达351 mg·kg⁻¹^[5];野生本地胡子鲶的体色为金黄色、土黄色、褐黄色不等,皮肤和肌肉中的叶黄素含量达8.01 mg·kg⁻¹、2.06 mg·kg⁻¹,而人工养殖个体通常呈灰色,叶黄素含量仅为1.61 mg·kg⁻¹(皮肤)、0.96 mg·kg⁻¹(肌肉)^[6]。

4.2 类胡萝卜素着色剂的应用

要使养殖鱼虾达到理想的着色,必需根据其野生个体的色素组成和鱼虾对色素的代谢能力选用适宜色素种类。

红鲤型 对于包括大部分淡水鱼类的红鲤型鱼类,黄体素、玉米黄质、角黄素和虾青素均可达到理想着色效果。目前,有关着色的研究主要集中在观赏价值方面,一般可添加富含虾青素的酵母、藻类或类胡萝卜素添加剂。添加5%、10%、15%、20%钝顶螺旋藻饲喂锦鲤,其鳞片丙酮抽提液的红色素光密度值由0.059增加为0.109、0.132和0.177^[7];以小球藻和节旋藻分别饲喂红鲤、金鱼,显著提高了皮肤中类胡萝卜素的含量^[8];法夫酵母(向饲料提供的虾青素含量为60 mg·kg⁻¹)对罗氏沼虾^[9]、金鱼^[10]的体色改善也有显著效果;本地胡子鲶在人工养殖条件下体色变灰变暗,严重影响其商品,在饲料中添加叶黄素100~200 mg·kg⁻¹(万寿菊花提取物),可达到与野生个体基本一致的色泽效果^[11]。

鲷鱼型 对于海鲷型鱼类,虾青素、角黄素的着色效果较好。在目前的鲑鳟鱼类养殖中,已较多地使用了虾青素、角黄素等着色剂,其成本占饲料成本的15%以上。其中研究最多的是虹鳟。以100 mg·kg⁻¹虾青素饲养体重为0.13 g的虹鳟61周,以57 mg·kg⁻¹虾青素饲养体重为0.5 kg的虹鳟18周,可分别使其肌肉中虾青素含量达到7.0 mg·kg⁻¹^[12]和6.8 mg·kg⁻¹^[13];采用角黄素100 mg·kg⁻¹饲养体重为0.73 kg的虹鳟12周,可达到与50 mg·kg⁻¹虾青素基本一致的肌肉着色效果(肌肉虾青素含量分别为6.4、6.2 mg·kg⁻¹)^[14];也有采用角黄素和虾青素混合添加的报道,如角黄素和虾青素分别以30 mg·kg⁻¹的剂量添加到饲料中,饲养虹鳟10周后,其肌肉中角黄素和虾青素的含量可6.1 mg·kg⁻¹^[15]。综合研究报告和生产实践,虾青素或角黄素添加量达到50~100 mg·kg⁻¹,可使虹鳟肌肉中类胡萝卜素含量达6 mg·kg⁻¹以上,满足市场消费要求^[16, 17]。其他鲑鳟鱼类和鲷科鱼类养殖也存在对着色的要求。Blake等认为,要使银大马哈鱼肌肉达到理想的着色效果,可从体重50 g开始,在整个养殖周期中添加较低浓度虾青素(15 mg·kg⁻¹)^[18];在北极红点鲑^[19]和赤鲷饲料^[20]中分别添加63 mg·kg⁻¹合成虾青素、40 mg·kg⁻¹虾壳粉来源虾青素均可使其肌肉、皮肤有效着色。

大虾型 对于大虾型甲壳类,除黄体素、玉米黄质、角黄素和虾青素外, β -胡萝卜素也具有一定着色效果,但需经过转化,效率低。分别添加 20 mg β -胡萝卜素、20 mg 玉米黄质饲喂日本对虾 21 d,发现 β -胡萝卜素转化为虾青素的能力不及玉米黄质 40%^[21];在另一项研究中,添加同等剂量 β -胡萝卜素和虾青素饲喂日本对虾,前者肌肉、甲壳中的虾青素含量仅为后者的 1/6~1/7^[22]。由于 β -胡萝卜素、玉米黄质等转化成虾青素需要经过不同的代谢步骤,降低了利用率,因而应用于生产是不经济的。

目前,在虾蟹养殖生产中,添加虾蟹壳粉已成为一项普遍实践,也可添加虾青素、角黄素等合成色素。Chien 等建议,在日本对虾的养殖中,可于收获前 1 个月在饲料中添加高浓度虾青素 [$100 \text{ mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$] 强化着色^[22];Genevieve 等比较了不同色素源的着色效果:对表皮着色, $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 虾青素 + $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 角黄素 > $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 虾青素 > $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 角黄素;对头胸甲,则以 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 虾青素效果为好^[23]。鱼虾体内类胡萝卜素的沉积是一个渐进过程,因此可以考虑两种饲喂方式以达到理想的着色:一是鱼虾的幼小阶段即添加低剂量类胡萝卜素,长期饲养(至上市)以达着色要求,即长期低剂量模式;另一种方式是在收获前 1-2 月,添加高剂量类胡萝卜素强化着色,即短期高剂量模式。具体采用何种方式,需根据添加类胡萝卜素的成本和养殖鱼虾应达到的着色要求确定,并在养殖过程中间隔采样以调整着色方案。

目前,有关类胡萝卜素着色剂应用研究的重点,已从早期的添加剂种类、剂量研究转入到两个新的领域,其一是代谢与营养、免疫功能等的研究;其二是影响着色效果的因素研究。本文从着色的角度出发,仅对影响着色效果因素的研究作总结。

5 影响着色效果的因素

5.1 鱼虾种类、大小和生理状态

不同种类鱼虾沉积类胡萝卜素的能力不同。在鲑鳟鱼类中,虹鳟比大西洋鲑和鳟鱼能更有效地积累食物中的类胡萝卜素,但积累能力相对弱于红大马哈鱼^[24]。通常个体较大者沉积类胡萝卜素的能力较强,如虹鳟鱼种(5 g)肌肉的最大类胡萝卜素蓄积量为 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $0.5 \sim 1.0 \text{ kg}$ 个体可达 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而体重大于 1 kg 者则高达 $20 \sim 25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[2];以 $63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 虾青素饲喂北极红点鲑 3 个月,1 龄、2 龄、3 龄鱼的肌肉类胡萝卜素含量(虾青素及其代谢产物文杜黄素)分别为 2.5 、 3.69 、 $6.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[25]。

不同生理和生长阶段,鱼虾沉积色素的能力和部位也不同。对于鲑鳟鱼类,鱼苗和鱼种阶段主要沉积于皮肤;对于快速生长的后期稚鱼,则主要沉积于肌肉;在性成熟过程中,鲑鳟鱼动员肌肉中的色素沉积于皮肤(形成婚姻色)和卵巢。

遗传特性也会影响色素沉积。即便在同一虹鳟群体

中,不同个体间沉积色素的能力也有差异,因而有必要在育种工作中选择那些体质健壮、生长迅速、沉积色素能力较强的个体作为亲本。

5.2 饲料组成

饲料脂肪水平增加,虾青素和角黄素消化率提高,肌肉中可沉积更多的类胡萝卜素^[26]。不同的脂肪来源影响类胡萝卜素的沉积效果。Hardy 分别以牛油和大西洋鲱鱼油为脂肪源饲喂大西洋鲑,发现后者沉积的类胡萝卜素量高于前者,这可能与脂肪的饱和程度和熔点有关(影响脂肪消化率)^[27]。

由于鱼虾具有将虾青素、角黄素、玉米黄质等转变为维生素 A 的能力,故饲料中维生素 A 不足会影响色素沉积。但高剂量维生素 A 会降低禽类对类胡萝卜素的沉积,而 V_E 则促进色素沉积^[28];在饲料 V_E $800 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 条件下,大西洋鲑肌肉的虾青素含量较 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 水平下提高了 $8\% \sim 14\%$ ^[29];在虹鳟也有类似现象^[30, 31]。由于类胡萝卜素化学性质不稳定,易被氧化,因此饲料中一定量的抗氧化剂如 V_E 、BHT 等可保护类胡萝卜素,提高其利用率。

植物蛋白源如豆饼(粕)、菜籽饼(粕)等含有诸多抗营养因子,可影响鱼虾对营养物质的消化利用;脂肪抗氧化酶也会破坏饲料中的类胡萝卜素,从而影响着色效果。

5.3 色素来源

不同来源、不同种类色素,其利用率和呈色效果不同,均影响着色效果。分别以藻类(折算成虾青素添加量为 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 虾青素、 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 角黄素饲喂虹鳟,肌肉类胡萝卜素含量分别为 6.2 、 12.7 、 $11.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,表明合成色素的利用率优于天然植物原料^[32];在日本对虾^[21]和金鱼^[33]的研究均表明合成虾青素的着色效果优于藻类虾青素;但对金赤鲷,酯化与未酯化虾青素均具有同等的皮肤着色效果^[34]。可见,不同的鱼类对不同来源和不同状态的色素也具有不同的利用率。

在鲑鳟鱼类,虾青素和角黄素的吸收率是黄体素和玉米黄素的 $10 \sim 20$ 倍^[3],比较虾青素和角黄素这两种常用的红色素,一般认为虾青素比角黄素更有效。根据 Choubert 的研究,虹鳟对虾青素的存留率比角黄素高 1.3 倍,可能是虾青素的消化率高于角黄素的缘故^[35, 36];来源于虾壳粉的酯化状态虾青素对赤鲷皮肤的着色效果也显著优于合成角黄素^[20]。值得注意的是,两种红色素的着色效果存在种属差异性,如大西洋鲑对角黄素的利用率、沉积率均高于虾青素^[37]。

饲料中类胡萝卜素浓度也影响其利用率和着色效果。当饲料中虾青素含量超过 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 后,虹鳟^[12, 35]、北极红点鲑^[38]肌肉中类胡萝卜素含量并不随饲料色素含量增加而增加。这可能存在肌肉最大沉积力的问题,也可能在较高浓度下类胡萝卜素利用率下降。

5.4 其他影响因素

投饲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。分别以投饲率 0.5% (限饲)、1.0% (饱食)饲喂 0.1 kg 体重虹鳟,前者肌肉类胡萝卜素含量远低于后者^[39],这可能是在限食条件下类胡萝卜素摄入较少的原故;因为在这两种饲喂方式下,类胡萝卜素的消化率和存留率并无差异^[36,39]。

水温是影响鱼虾摄食、生长和代谢的重要因素,也影响类胡萝卜素的沉积。对金鱼投喂虾青素、小球藻的试验表明,水温 26~30℃时的着色效果优于 22℃或 24℃^[33];而在北极红点鲑,添加同等剂量虾青素(0~192 mg·kg⁻¹),达到同样的体重规格(320 g),8℃水温饲养条件下肌肉的虾青素含量显著高于 12℃水温饲养条件下的个体^[38]。

光线影响养殖鱼虾的体色,养殖鱼虾通常具有与环境相适应的体色;咸水和淡水中养殖的虹鳟其体色并无差异,表明盐度并不影响其着色效果^[14]。

6 结语

总的来看,国外对水产动物着色的研究历史较早,内容也较为深入,主要集中在鲑鳟鱼类和经济虾类方面,近年来也在向观赏水族方向发展;国内研究起步虽晚,但由于生产的需求和推动,近年来发展迅速,已从早期的观赏鱼类着色向经济水产动物方向发展,不过研究内容较为肤浅,仅仅是通过投喂含色素的饵料来改变水产动物的体色和肉色,检测指标也局限于目视感官和对某种色素含量的测定,对于影响着色的因素,色素在体内的代谢与调控等方面尚未涉及,而这些方面恰是生产上经常面临的问题和生产无公害绿色水产品所必须解决的问题。因此,今后应当结合我国养殖水产动物和饲料原料的特点,加强上述方面的研究,使我国水产动物着色的理论研究和生产实践再上一个新台阶。

参考文献:

- [1] Simpson K L. Carotenoids in fish feeds[A]. In: Carotenoids as colorants and vitamin A precursors[M]. Academic Press, New York, 1981. 463-537.
- [2] Storebakken T, Hong K N. Pigmentation of rainbow trout[J]. Aquac, 1992, 100:209-229.
- [3] Schiedt K. Absorption, retention and metabolic transformation of carotenoids in rainbow trout, salmon and chicke[J]. Pure Appl Chem, 1985, 57:685-692.
- [4] N. R. C. Nutrient requirements of fish[M]. National Academy Press, Washington, D. C., 1993. 35-36.
- [5] Katayama T. Carotenoids metabolism in aquatic animal-marine animals[A]. In: Jan Soc Sci Fish (Editor). Carotenoids of aquatic animals. Kosesha Kosekaku, Tokyo, 1978. 41-59.
- [6] 冷向军,李小勤,吴世林,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.
- [7] 何培民,张饮江,何文辉.螺旋藻对锦鲤生长和体色的影响[J].水产学报,1999,23(2):162-168.
- [8] Gouveia L, Rema P, Pereira O, et al. Colouring ornamental fish (*Cyprinus carpio* and *Carassius auratus*) with microalgal biomass[J]. Aquaculture Nutrition, 2003, 9(2): 123-130.
- [9] 金征宇,过世东,吕玉华.饲料中添加富含虾青素的法夫酵母对罗氏沼虾的体色及生长状况的影响[J].饲料工业, 1999,20(10):29-31.
- [10] 陈晓明,徐学明,金征宇.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.
- [11] 冷向军,韦友传,李小勤,等.添加金黄素 Y 改善本地胡子鲶体色的试验[J].广东饲料,2002, (5):23-24.
- [12] Bjerkeng B. Aquaculture related carotenoids chemistry[D]. Dr. Ing. Thesis, University of Trondheim, Institute of Technology, 1990, 250.
- [13] No H K, and Storebakken T. Pigmentation of rainbow trout with astaxanthin at different water temperatures[J]. Aquac, 1991. 97: 203-216.
- [14] No H K, Storebakken T. Pigmentation of rainbow trout with astaxanthin and canthaxanthin in freshwater and saltwater[J]. Aquac, 1992, 101:123-134.
- [15] Foss P. Carotenoids in diets for salmonids[J]. Aquac, 1987,65: 293-305.
- [16] Sinnott R. Keep them in the pink to stay competitive[J]. Fish Farm, 1989, 12(5): 23, 26.
- [17] Skrede G, Storebakken T. Instrumental colour analysis of salmonids[A]. In: Rapid analysis in food processing and food control. Proc. 4 th Eur. Conf. Food Chemistry [C]. Loen, Norway, 1987, 2:470-474.
- [18] Blake E Smith, Ronald W. and Ole J. Torrissen. Synthetic astaxanthin in deposition in pane-size coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*)[J]. Aquac, 1992, 104:105-119.
- [19] Bjarne Hatler, Grete H Aas. Pigmentation of 1, 2 and 3 year old Arctic Charr (*Salvelinus alpinus*) fed two different dietary astaxanthin concentration[J]. Aquac, 1995, 138:30-312.
- [20] Kalinowski C T, Rabaina L E. Effect of different carotenoid sources and their dietary levels on red porgy *Pagrus pagrus* growth and skin colour[J]. Aquac, 2005, 244:223-231.
- [21] Tanaka. The biosynthesis of astaxanthin. XV III. The metabolism of the carotenoids in the prawn, *Penaeus japonicus* Bate[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1976, 42:197-202.
- [22] Chien Y W, Shching J. Pigmentation of kuruma prawn, *Penaeus japonicus* Bate, by various pigment sources and levels and feeding regimes[J]. Aquac, 1992, 102:333-346.
- [23] Genevieve Negre-Sadargues. Utilization of synthetic carotenoids by the prawn *Penaeus japonicus*, reared under laboratory conditions[J]. Aquac, 1993, 110:151-159.
- [24] Schiedt K. Natural occurrence of enantiomeric and meso-astaxanthin[R]. Ex wild salmon Helv Chim Acta, 1981, 64:449-457.

- [25] Aas G H, Bjerkeng B, Hatlen B, *et al.* Idoxanthin, a major carotenoid in the flesh of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) fed diets containing astaxanthin [J]. *Aquac*, 1997, 150:135-142.
- [26] Torrissen O J. Effects of dietary canthaxanthin level and lipid level on apparent digestibility coefficients for canthaxanthin in rainbow trout[J]. *Aquac*, 1990, 88:351-362.
- [27] Hardy R W. Replacement of herring oil with menhaden oil, soybean oil, or tallow in the diets of Atlantic salmon raised in marine net-pens[J]. *Aquac*, 1987, 65: 267-277.
- [28] Marusich S P. Oxycarotenoids in poultry feeds. In: J. C. Bauernfeind (Editor), *Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors*[M]. Academic Press, New York, 1979. 319-462.
- [29] Bjerkeng B K, Hamre B H, Wathne E. Astaxanthin deposition in fillets of Atlantic salmon *Salmo salar* L. fed two dietary levels of astaxanthin in combination with three levels of α -tocopheryl acetate[J]. *Aquaculture Nutrition*, 1999, 30(9):637-631.
- [30] Abdul-Malak N. Influence de certains facteurs nutritionnels sur la pigmentation de la truite arc-en-ciel par la canthaxanthine[J]. *Ann Nutr Alim*, 1975, 29:459-475.
- [31] Pozo R. The role of dietary VE in stabilizing the canthaxanthin and lipids of rainbow trout muscle[J]. *Aquac*, 1988, 73:165-175.
- [32] Georges C, Olivier H. Carotenoid pigments of the green alga: assay on rainbow trout pigmentation in comparison with synthetic astaxanthin and canthaxanthin[J]. *Aquac*, 1993, 112:217-226.
- [33] Gouveia L, Rema P. Effect of microalgal biomass concentration and temperature on ornamental goldfish (*Carassius auratus*) skin pigmentation[J]. *Aquac Nutrition*, 2005, 11(1):19-25.
- [34] Booth M, Warner-Smith R, Allan G, *et al.* Effect of dietary astaxanthin source and light manipulation on the skin colour of Australian snapper *Pagrus auratus* [J]. *Aquaculture Research*, 2004, 35:458-464.
- [35] Choubert G. Dose response to astaxanthin and canthaxanthin pigmentation of rainbow trout fed various dietary carotenoids concentrations[J]. *Aquac*, 1989, 81:69-77.
- [36] Choubert G. Carotenoids digestibility in fish: effect of pigment, dose, salinity, feeding rate [R]. *Abstr. 9 th. Int. Symp. Carotenoids*, Kyoto, Japan, 20-25 May 1990.
- [37] Buttle L G, Crampton V O, Williams P D. The effect of feed pigment type on flesh pigment deposition and colour in farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L[J]. *Aquac Research*, 2001, 32(2): 103-110.
- [38] Olsen R E, Mortensen A. The influence of dietary astaxanthin and temperature on flesh colour in Arctic charr *Salvelinus alpinus* L[J]. *Aquac Research*, 1997, 28(1): 51-58.
- [39] Storebakken T. Flesh pigmentation of rainbow trout fed astaxanthin and canthaxanthin at different feeding rates in freshwater and saltwater[J]. *Aquac*, 1991, 95: 289-296.