

虾青素在虹鳟体内的沉积与降解研究

张娟娟¹, 李小勤¹, 冷向军^{1*}, 韩志英¹, 张飞鸽¹, 吴世林²

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 农业部淡水水产种质资源重点试验室, 上海 201306;

2. 广州智特奇生物科技有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: 为研究着色虹鳟在摄食状态和饥饿状态下的虾青素降解规律, 实验选用平均体质量为(101.9±1.3) g的未着色虹鳟和已着色虹鳟, 对未着色虹鳟饲喂含虾青素(100 mg/kg)饲料以研究虾青素在机体的沉积规律(虾青素沉积组); 对着色虹鳟, 饲喂含虾青素(100 mg/kg)饲料(正对照)、不含虾青素饲料(摄食降解组)或予以饥饿处理(饥饿降解组), 实验共设4个处理组, 每个处理组3个重复。实验共持续4周, 每周采样一次, 测定肌肉、肝脏和全鱼虾青素含量, 血清类胡萝卜素含量, 肌肉色差值(L*, a*, b*)和肌肉罗氏比色卡得分。结果表明, 虾青素沉积组的虹鳟肌肉、肝脏虾青素含量、肌肉红度值和罗氏比色卡得分随饲养时间延长而增加($P<0.05$), 在第3周时达到基本稳定, 与第4周测定值无显著差异($P>0.05$); 在4周养殖期内, 全鱼虾青素含量呈增加趋势, 而全鱼虾青素沉积率则呈下降趋势, 第1周、第4周时的全鱼虾青素含量和全鱼虾青素沉积率分别为3.71 mg/kg、8.59 mg/kg和21.31%、15.26%; 饥饿降解组和摄食降解组虹鳟的全鱼、肌肉、肝脏虾青素含量、肌肉红度值和罗氏比色卡得分随饲养时间延长逐渐降低($P<0.05$), 其中饥饿降解组的下降趋势更为明显, 第3周后, 这种降低趋势减缓。上述研究表明, 在虹鳟饲料中添加100 mg/kg虾青素, 经过3周饲养即可使肌肉达到着色要求, 虾青素的沉积率随时间延长而下降; 饥饿和投喂不含虾青素的饲料均可使已着色虹鳟肌肉虾青素含量和红色度显著下降, 饥饿使虾青素的减少更加迅速, 虾青素在鱼体内的减少量随时间的延长而降低。

关键词: 虹鳟; 虾青素; 沉积; 降解

中图分类号: S 963.73⁺5

文献标志码: A

虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)是世界范围内重要的冷水性养殖鱼类。为满足市场对虹鳟肌肉颜色的需求, 通过添加虾青素来改善肌肉色泽已成为养殖生产中的普遍实践。目前市场上的商品虾青素, 多为人工合成, 价格昂贵, 在虹鳟鱼饲料中添加虾青素, 其成本占饲料总成本的比例约为10%~20%^[1]。然而, 虹鳟鱼类对虾青素的有效利用率并不高, 通常不超过10%~15%^[2-3]。崔惟东等^[4]用含100 mg/kg虾青素的饲料饲喂虹鳟60 d, 肌肉虾青素沉积率为6.53%。虹鳟摄食虾青素含量

为9.7 mg/kg(脂肪8.2%)、48.1 mg/kg(脂肪17.7%)和43.8 mg/kg(脂肪26.7%)的饲料25周, 其肌肉虾青素沉积率为11.6%、12.1%和14.9%^[5]。因此, 研究虾青素在虹鳟体内的沉积和降解规律, 对于提高虾青素利用率, 降低饲料成本具有重要意义。

实验以虹鳟为对象, 饲喂含虾青素的饲料以研究虾青素在虹鳟体内的沉积规律, 对已达到着色要求的虹鳟, 分别饲喂不含虾青素的饲料, 或予以饥饿处理, 以研究虾青素在虹鳟体内的降解规律, 为虾青素在水产养殖中的合理应用提供依据。

收稿日期: 2012-03-03

修回日期: 2012-09-04

资助项目: 上海市重点学科建设项目(Y1101); 上海市科技兴农重点攻关计划(2009-06-06)

通讯作者: 冷向军, E-mail: xjleng@shou.edu.cn

1 材料与方法

1.1 实验饲料

基础饲料配方组成和主要营养指标见表 1。各组原料均粉碎并过 40 目, 逐级混合后, 由颗粒饲料机(浙江省新昌县陈氏机械厂生产, KL 系列)制粒成直径为 2.5 mm 的硬颗粒沉性饲料, 晾干备用。在基础饲料添加 100 mg/kg 虾青素(有效含量), 得虾青素饲料。虾青素由广州智特奇生物科技有限公司提供, 产品中虾青素有效含量为 10%。

1.2 实验用鱼和实验设计

实验用虹鳟购于中国黑龙江水产研究所渤海冷水性鱼类试验站, 并在实验室饲养 60 d, 分别投喂基础饲料(不含虾青素)、虾青素饲料(含 100 mg/kg 虾青素), 以获得不含虾青素的虹鳟(未着色虹鳟)和肌肉颜色达到市场要求的虹鳟(着色虹鳟, 肌肉虾青素含量 8.03 mg/kg)。对于未着色虹鳟, 饲喂虾青素饲料以研究虾青素在体内的沉积规律(沉积组); 对于着色虹鳟, 饲喂基础饲料(摄食降解

组)或予以饥饿处理(饥饿降解组), 以研究着色虹鳟在摄食、饥饿状态下虾青素的降解; 对于已着色虹鳟, 继续投喂虾青素饲料, 以作为正对照, 共 4 个处理组, 每个处理组 3 个重复, 见表 2。所用虹鳟初始体质量为(101.9±1.3) g, 取体质健壮, 规格一致个体 120 尾, 随机分配于 12 个自动充气循环养殖缸内(0.60 m×0.60 m×0.50 m), 每缸 10 尾鱼。

1.3 饲养管理

养殖实验开始时, 每天投喂 2 次(8:30, 15:30), 日投饲量为体质量的 1.5%~2.5%, 并根据温度、摄食情况和鱼体生长适当调整, 各组保持基本一致的摄食水平, 以每次投饲后无残饵为宜; 饥饿组虹鳟则不投喂饲料。实验期间水温 12~18 °C, 溶氧 6~7 mg/L, pH 7.24~7.78。养殖实验于上海海洋大学鱼类营养实验室进行, 养殖时间为 2011 年 3—4 月, 共 4 周。

1.4 测定指标与方法

分别在养殖实验开始及每周末采样一次, 共

表 1 基础饲料配方组成及营养成分含量
Tab. 1 Ingredient and nutritional composition of basal diet

成分 ingredients	含量/% content	营养成分 nutritional composition	含量/% content
鱼粉 fish meal	35	水分 moisture	7.26
豆粕 soybean meal	18	粗蛋白 crude protein	42.92
肉骨粉 meat and bone meal	9	粗脂肪 crude fat	10.50
啤酒酵母 brewers yeast	4	粗灰分 crude ash	12.51
次粉 wheat middling	19.4	赖氨酸 lys	2.64
麸皮 wheat bran	6		
鱼油 fish oil	3		
豆油 soybean oil	3		
磷酸二氢钙 monocalcium phosphate	1		
氯化胆碱 choline chloride	0.5		
矿物质预混料 mineral premix	0.5		
维生素预混料 vitamin premix	0.6		
合计 total	100		

Notes: To contain vitamin and mineral in diet added as premix(mg/kg diet):V_A, 2500 IU; V_D, 2400 IU; V_C, 150; V_E, 30; V_K, 10; V_{B1}, 10; V_{B2}, 20; V_{B5}, 40; V_{B6}, 10; V_{B7}, 1; V_{B11}, 5; V_{B12}, 0.02; Inositol, 400; Zn, 100; Fe, 150; Cu, 3; Mn, 20; I, 0.8; Co, 0.12; Se, 0.1; Mg, 100.

表 2 实验设计
Tab. 2 Experiment design

虹鳟来源 source of rainbow trout	未着色虹鳟 un-colored rainbow trout	着色虹鳟 colored rainbow trout
饲料 diet	虾青素饲料 astaxanthin diet	基础饲料(无虾青素) basal diet (astaxanthin free)
组别 group	虾青素沉积组 astaxanthin deposition group	饥饿 starving
	饥饿降解组 starving degradation group	摄食降解组 feeding degradation group
		虾青素饲料 astaxanthin diet
		正对照组 positive control group

5次,每次采样前,鱼体均饥饿24 h,采样测定以下指标(均为现场采样测定)。

血清总类胡萝卜素 每缸分别取2尾鱼尾静脉抽血,8 000 r/min离心10 min,取血清用于测总类胡萝卜素含量。取0.2 mL血清加入0.4 mL 95%乙醇斡旋混合30 s,加入1 mL正己烷斡旋混合1 min,取上清液在470 nm下测定吸光度值^[6]。血清总类胡萝卜素含量($\mu\text{g}/\text{mL}$) = 吸光度值 \times 10000/消旋系数E,虾青素(E1%, 1 cm = 2100)^[7]。

肌肉颜色比色卡得分和色差值 每缸分别取2尾鱼,采血剥皮后,取侧线与背鳍之间肌肉,用纸吸干,用罗氏比色卡(Salmo FanTM Lineal)和WSC-S测色色差计(WSC-S colorimeter)测量肌肉朝向脊椎的一面,每尾鱼两侧各测两次,测定红度(a*)、黄度(b*)、亮度(L*)。

罗氏比色卡由DSM公司提供,颜色由浅橙至深红共分15个颜色梯度,分值为20~34。WSC-S测色色差计(o/d光源,带光泽,稳定性 $\Delta Y \leq 0.6$,上海精密科学仪器有限公司物理光学仪器厂生产)。色差计的测量原理:所有颜色可用L*, a*, b*三个轴的坐标来定义。L*代表亮度,其值从0(黑)到100(白); a*代表红绿轴的颜色饱和度,其中-a*为绿, +a*为红; b*代表蓝黄轴的颜色饱和度,其中-b*为蓝, +b*为黄^[8]。

组织虾青素 参考崔惟东等^[4]的方法,并作修改如下,每缸取鱼2尾,称重,每尾鱼分取2个0.4 g左右肌肉、肝脏,剩余部分剁碎并搅拌均匀,取样0.4 g,按质量体积比1:10加入氯仿-乙醇(1:1)混合试剂,剪碎匀浆至悬浊液状,转移至7

mL离心管50 °C水浴,45 min后取出,冰水浴3 min,8 000 r/min离心10 min,取上清液在487 nm下测定吸光度值。根据虾青素的标准曲线计算出虾青素含量(虾青素标准品购于Sigma公司,编号A3236)。

全鱼虾青素沉积率、降解量 全鱼虾青素沉积率(RR)^[9]、降解量按以下公式计算:

全鱼虾青素的沉积率(RR, %) = [(末全鱼虾青素浓度(mg/kg) \times 末重(kg) - 初始全鱼虾青素浓度(mg/kg) \times 初重(kg)] / [投饲量(kg) \times 饲料虾青素含量(mg/kg)] \times 100

全鱼虾青素的降解量(mg) = |初始全鱼虾青素浓度(mg/kg) \times 初重(kg) - 末全鱼虾青素浓度(mg/kg) \times 末重(kg)|。

1.5 数据统计与分析

实验数据采用(平均数 \pm 标准差)表示,用SPSS 17.0进行单因素方差分析,结合Duncan氏法进行多重比较,差异显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 虾青素在虹鳟体内的沉积变化

由表3可见,随养殖时间延长,虾青素沉积组虹鳟肌肉红度a*、黄度b*、肌肉和肝脏虾青素含量、肌肉比色卡得分和血清总类胡萝卜素含量均不断增加,在第1周时达到基本稳定,与第4周测定值无显著差异($P > 0.05$);全鱼虾青素含量在4周养殖期内呈现一直增加的趋势,全鱼虾青素沉积率则随时间延长而降低,其中第3周沉积率显著

表3 未着色虹鳟摄食含虾青素饲料后组织虾青素、肌肉色差值和血清类胡萝卜素的变化

Tab.3 Changes of tissue astaxanthin, flesh chromatism and serum carotenoids of un-colored rainbow trout fed astaxanthin diet

	初始值 initial	第一周 first week	第二周 second week	第三周 third week	第四周 fourth week
亮度 L* luminance	58.21 \pm 1.06 ^d	57.91 \pm 0.64 ^d	52.05 \pm 0.17 ^c	49.59 \pm 0.86 ^b	48.11 \pm 0.45 ^a
红度 a* redness	-0.33 \pm 0.54 ^a	4.17 \pm 0.23 ^b	12.57 \pm 0.79 ^c	16.48 \pm 0.89 ^d	16.57 \pm 0.53 ^d
黄度 b* yellowness	10.36 \pm 0.16 ^a	13.83 \pm 0.84 ^b	16.35 \pm 0.27 ^c	20.74 \pm 1.32 ^d	21.23 \pm 0.39 ^d
肌肉虾青素含量(mg/kg) muscle astaxanthin	n.d. ^a	2.43 \pm 0.07 ^b	5.35 \pm 0.39 ^c	6.37 \pm 0.57 ^d	6.72 \pm 0.63 ^d
肝脏虾青素含量(mg/kg) liver astaxanthin	n.d. ^a	4.48 \pm 0.30 ^b	6.03 \pm 0.17 ^c	6.83 \pm 0.17 ^d	6.90 \pm 0.82 ^d
全鱼虾青素含量(mg/kg) whole fish astaxanthin	n.d. ^a	3.71 \pm 0.56 ^b	6.01 \pm 0.96 ^c	7.61 \pm 0.29 ^d	8.59 \pm 0.66 ^c
比色卡的得分 Salmo fan score	n.d. ^a	21.00 \pm 0.50 ^b	23.67 \pm 0.76 ^c	26.71 \pm 0.59 ^d	26.83 \pm 0.38 ^d
血清总类胡萝卜素含量($\mu\text{g}/\text{mL}$) serum carotenoids	n.d. ^a	0.65 \pm 0.12 ^b	1.27 \pm 0.18 ^c	1.69 \pm 0.03 ^d	1.72 \pm 0.07 ^d
全鱼虾青素沉积率/% astaxanthin retention rate of whole fish		21.31 \pm 3.11 ^b	17.28 \pm 3.34 ^{ab}	16.61 \pm 2.71 ^a	15.26 \pm 1.76 ^a

注: n.d. = Not detected; 同行上标小写字母不同表示二者之间有显著差异($P < 0.05$), 以下表同。

Notes: n.d. is the mean of not detected; Values in the same row with different letters are significant difference ($P < 0.05$), the same as the following tables.

低于第 1 周($P<0.05$), 第 4 周沉积率较第 3 周进一步降低, 但未达显著水平($P>0.05$); 在整个 4 周养殖期内的全鱼虾青素沉积率为 16.91%。

2.2 虾青素在虹鳟体内的降解变化

饥饿降解组虹鳟体内虾青素的变化 随饥饿时间延长, 虹鳟肌肉红度 a*、黄度 b*、肌肉、肝脏和全鱼虾青素含量、肌肉比色卡得分和血清总类胡萝卜素含量均呈降低趋势, 下降幅度以第 1 周内为最大, 均显著低于初始值($P<0.05$); 肌肉、肝脏和全鱼虾青素含量、肌肉比色卡得分的下降趋势在第 3 周基本达到稳定, 即第 4 周与第 3 周相比无显著差异($P>0.05$); 血清总类胡萝卜素在第 3 周、第 4 周呈继续下降趋势; 每尾鱼体内虾青素的减少量以第 1 周内最为明显, 第 2, 3, 4 周内, 尽管总体上呈下降趋势, 但其间并无显著差异($P>0.05$) (表 4)。

摄食无虾青素饲料组虹鳟体内虾青素的变化 由表 5 可见, 随饲养时间延长, 虹鳟肌肉

红度 a*、黄度 b*、肌肉、肝脏和全鱼虾青素含量、肌肉比色卡得分和血清总类胡萝卜素含量均呈降低趋势, 第 3 周后, 这种下降趋势减缓; 与初始值相比, 肌肉红度 a*、黄度 b*、全鱼虾青素含量、肌肉比色卡得分和血清总类胡萝卜素含量在第 1 周内即表现出了显著降低($P<0.05$), 而肌肉、肝脏虾青素含量的显著降低分别发生在第 3 周、第 2 周; 每尾鱼体内虾青素的减少量以第 1 周内最为明显, 第 2, 3, 4 周内, 尽管总体上呈下降趋势, 但其间并无显著差异($P>0.05$)。

摄食含虾青素饲料的已着色虹鳟体内虾青素的变化 由表 6 可见, 在整个养殖过程中, 已着色虹鳟肌肉色差值、肌肉和全鱼虾青素含量、比色卡得分保持基本稳定, 均无显著差异; 肝脏虾青素含量则呈增加趋势, 第 2 周较第 1 周显著增加($P<0.05$); 血清类胡萝卜素含量前两周呈降低趋势, 后两周趋于稳定。

表 4 饥饿降解组虹鳟组织虾青素、肌肉色差值、血清类胡萝卜素的变化

Tab. 4 Changes of tissue astaxanthin, flesh chromatism and serum carotenoids of rainbow trout deprived of diet

	初始值 initial value	第一周 first week	第二周 second week	第三周 third week	第四周 fourth week
亮度 L* luminance	49.03±0.83 ^a	55.87±0.28 ^b	56.49±0.34 ^{bc}	57.85±1.55 ^{cd}	59.16±0.45 ^d
红度 a* redness	20.70±0.72 ^d	14.17±0.88 ^c	13.61±0.26 ^c	8.68±0.57 ^b	5.75±0.44 ^a
黄度 b* yellowness	24.06±1.24 ^c	19.51±0.63 ^b	17.69±0.45 ^b	15.48±0.88 ^a	15.15±1.73 ^a
肌肉虾青素含量/(mg/kg) muscle astaxanthin	8.03±0.64 ^c	5.46±0.47 ^b	5.24±0.51 ^{ab}	4.44±0.67 ^{ab}	4.16±0.46 ^a
肝脏虾青素含量/(mg/kg) liver astaxanthin	7.94±0.32 ^c	6.60±0.89 ^b	6.32±0.16 ^{ab}	6.06±0.16 ^{ab}	5.48±0.71 ^a
全鱼虾青素含量/(mg/kg) whole fish astaxanthin	10.18±0.67 ^b	6.79±0.27 ^a	6.58±0.70 ^a	6.09±0.28 ^a	5.92±0.21 ^a
比色卡得分 <i>Salmo</i> fan score	28.00±0.46 ^c	25.42±1.77 ^b	24.50±0.50 ^{ab}	24.33±1.04 ^{ab}	23.33±0.29 ^a
血清总类胡萝卜素含量/(µg/mL) serum carotenoids	3.80±0.21 ^d	1.23±0.06 ^c	1.06±0.15 ^c	0.78±0.05 ^b	0.41±0.08 ^a
全鱼虾青降解量/mg astaxanthin degradation of whole fish		0.39±0.06 ^b	0.14±0.04 ^a	0.12±0.05 ^a	0.11±0.01 ^a

表 5 着色虹鳟摄食不含虾青素饲料后组织虾青素、肌肉色差值和血清类胡萝卜素的变化

Tab.5 Changes of tissue astaxanthin, flesh chromatism and serum carotenoids of colored rainbow trout fed astaxanthin free diet

	初始值 initial value	第一周 first week	第二周 second week	第三周 third week	第四周 fourth week
亮度 L* luminance	49.03±0.83 ^a	52.56±1.36 ^b	52.69±0.34 ^b	53.95±0.70 ^b	56.54±1.02 ^c
红度 a* redness	20.70±0.72 ^c	17.77±0.88 ^d	13.61±0.26 ^c	11.38±0.39 ^b	6.82±0.27 ^a
黄度 b* yellowness	24.06±1.24 ^c	19.55±1.01 ^b	17.73±0.63 ^a	16.36±0.95 ^a	17.13±0.46 ^a
肌肉虾青素含量/(mg/kg) muscle astaxanthin	8.03±0.64 ^b	7.26±0.47 ^b	6.49±1.13 ^{ab}	5.65±1.12 ^a	5.23±0.51 ^a
肝脏虾青素含量/(mg/kg) liver astaxanthin	7.94±0.32 ^b	6.92±0.79 ^b	6.44±0.31 ^a	6.26±0.89 ^a	6.34±0.11 ^a
全鱼虾青素含量/(mg/kg) whole fish astaxanthin	10.18±0.67 ^c	7.32±0.27 ^b	7.08±0.60 ^b	6.57±0.59 ^{ab}	5.92±0.21 ^a
比色卡得分 <i>Salmo</i> fan score	28.00±0.46 ^b	26.33±1.04 ^a	25.80±0.58 ^a	25.17±1.04 ^a	25.29±0.59 ^a
血清总类胡萝卜素含量/(µg/mL) serum carotenoids	3.80±0.21 ^d	1.13±0.10 ^c	1.00±0.14 ^{bc}	0.77±0.15 ^b	0.25±0.01 ^a
全鱼虾青降解量/mg astaxanthin degradation of whole fish		0.31±0.04 ^c	0.13±0.04 ^a	0.11±0.02 ^a	0.10±0.01 ^a

各组虹鳟体内虾青素变化的比较 对饥饿降解组和摄食降解组每周测定的色差值、组织虾青素含量、比色卡得分、血清总类胡萝卜素含量和全鱼虾青素降解量进行配对样品 T 检验, 结果见表 7。在第 1 周时, 饥饿降解组的肌肉虾青素含量和比色卡得分显著低于摄食降解组 ($P<0.05$); 第 3 周时, 两组仅在肌肉 a* 之间存在差异 ($P<$

0.05); 第 4 周时, 饥饿降解组的 a*、b*、肌肉虾青素含量及比色卡得分均显著低于摄食降解组 ($P<0.05$)。

各处理组虹鳟全鱼虾青素含量和肌肉比色卡得分随时间的变化如图 1 和图 2。在养殖周期内, 沉积组全鱼虾青素含量和肌肉比色卡得分呈上升趋势, 饥饿降解组和摄食降解组的全鱼虾青素含

表 6 着色虹鳟摄食含虾青素饲料后组织虾青素、肌肉色差值和血清类胡萝卜素的变化
Tab.6 Changes of tissue astaxanthin, flesh chromatism and serum carotenoids of colored rainbow trout fed astaxanthin diet

	初始值 initial value	第一周 first week	第二周 second week	第三周 third week	第四周 fourth week
亮度 L* luminance	49.03±0.83	49.52±1.02	48.71±0.95	48.72±0.20	49.00±1.20
红度 a* redness	20.70±0.72	19.96±1.00	19.55±0.26	19.78±0.61	19.39±0.83
黄度 b* yellowness	24.06±1.24	22.34±0.71	22.90±0.27	22.54±0.28	22.31±1.76
肌肉虾青素含量/(mg/kg) muscle astaxanthin	8.03±0.64	8.65±0.10	8.77±0.79	8.46±0.73	8.25±0.24
肝脏虾青素含量/(mg/kg) liver astaxanthin	7.94±0.32 ^a	7.20±0.50 ^a	9.41±0.66 ^b	10.35±0.72 ^b	9.57±0.11 ^b
全鱼虾青素含量/(mg/kg) whole fish astaxanthin	10.18±0.67	10.01±1.07	10.21±0.95	10.25±0.15	9.75±0.37
比色卡得分 <i>Salmo</i> fan score	28.00±0.46	28.00±1.00	28.00±0.87	28.83±1.26	28.91±1.24
血清总类胡萝卜素含量/(µg/mL) serum carotenoids	3.80±0.21 ^c	2.52±0.05 ^b	1.85±0.04 ^a	1.98±0.22 ^a	1.83±0.23 ^a

表 7 饥饿降解组和摄食降解组各指标对比
Tab.7 Comparison between rainbow trouts of starving degradation group and feeding degradation group

指标 index	第一周 first week	第二周 second week	第三周 third week	第四周 fourth week
亮度 L* luminance	NS	NS	NS	NS
红度 a* redness	NS	NS	$P<0.05$	$P<0.05$
黄度 b* yellowness	NS	NS	NS	$P<0.05$
肌肉虾青素含量/(mg/kg) muscle astaxanthin	$P<0.05$	NS	NS	$P<0.05$
肝脏虾青素含量/(mg/kg) liver astaxanthin	NS	NS	NS	NS
全鱼虾青素含量/(mg/kg) whole fish astaxanthin	NS	NS	NS	NS
比色卡的得分 <i>Salmo</i> fan score	$P<0.05$	NS	NS	$P<0.05$
血清总类胡萝卜素含量/(µg/mL) serum carotenoids	NS	NS	NS	NS
全鱼虾青素降解量/mg astaxanthin degradation of whole fish	NS	NS	NS	NS

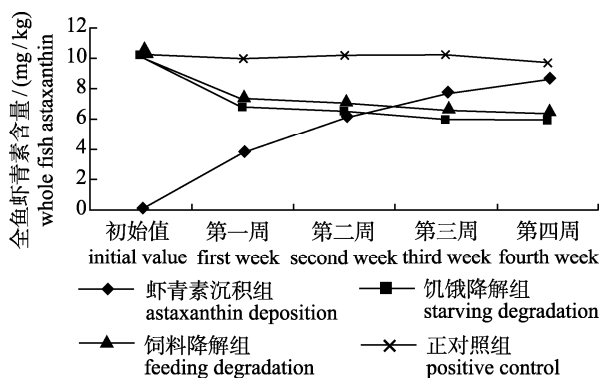


图 1 各处理组全鱼虾青素含量变化
Fig.1 Astaxanthin content in whole fish of four groups

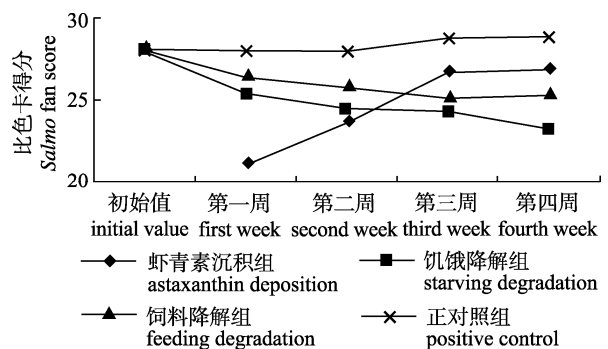


图 2 各处理组虾青素肌肉比色卡得分变化
Fig.2 *Salmo* fan score of muscle of four groups

量和肌肉比色卡得分呈下降趋势, 其中饥饿降解组的下降趋势更为明显; 已着色虹鳟摄食含虾青素饲料, 其全鱼虾青素含量和肌肉比色卡得分均保持基本稳定状态。

3 讨论

3.1 虾青素的沉积

虾青素在鲑鳟鱼类体内沉积受到很多因素影响, 如遗传特性、生理状况和生长阶段^[10]、养殖环境^[11]、饲料组成(脂肪、维生素 E 或类胡萝卜素)^[5,12-13]、饲喂频率和模式^[14-15]、虾青素的生物来源^[16]和结构^[17](虾青素的几何异构体在肠道有不同的吸收率, 全 E 型>13Z>9Z)等。不同种类动物、同一动物不同组织中, 虾青素的储存形式也不完全相同, 如鲑鱼皮肤中的虾青素以单酯或双酯形式存在, 在肌肉中以游离形式存在^[18]。对于未成熟鲑鳟鱼类, 虾青素主要以游离形式存在肌肉中, 在性成熟过程中, 则从肌肉转移到皮肤和卵巢中^[3]。

虹鳟对饲料虾青素的利用率并不高, 很少超过 18%^[3], 其原因在于肠道对虾青素的吸收能力低, 已吸收虾青素的保留率也不高(低于 50%); 肠道对虾青素的吸收属被动运输过程, 相当缓慢^[19], 血浆虾青素吸收峰值通常出现在摄食后 18~30 h^[20]。Choubert 等^[15]以含 100 mg/kg 虾青素的饲料饲喂虹鳟, 在 14、28 和 42 天时肌肉虾青素保留率为 16.5%、14.8%、12.84%; 虹鳟摄食含 24 mg/kg 虾青素的饲料, 在两种脂肪水平(15% 或 20%)下 6 周时的肌肉虾青素保留率为 7.7%、8.7%^[21]; 在饲料中添加 60 mg/kg 虾青素饲喂虹鳟 8 周, 肌肉虾青素沉积率为 17.4%^[22]; 崔惟东等^[4]用含 100 mg/kg 虾青素饲料饲喂虹鳟 60 d, 肌肉虾青素沉积率为 6.53%。本次实验测定的虾青素沉积率为 16.91%, 高于大多数前人的报道值, 这是因为本次实验所测定的是全鱼虾青素沉积率, 前人测定的多是肌肉虾青素沉积率, 鱼体内沉积虾青素的部位除肌肉外, 还有皮肤、肝脏等, 而这些部位的虾青素含量比肌肉高; 此外, 随饲养时间延长, 虾青素沉积率呈降低趋势^[15], 本次试验也表明了类似规律(表 3), 本次试验的饲养时间只有 4 周, 故虾青素沉积率较高。

以往的研究中关于虹鳟肌肉着色时间的报道

多为 6 周、8 周或更长时间^[4,21-22]。本实验中, 肌肉、肝脏虾青素含量以及肌肉红度值随养殖时间延长呈增加趋势, 第 3 周时肌肉虾青素含量达到 6.37 mg/kg, 可满足市场对虹鳟肌肉颜色的要求(虾青素含量 6~7 mg/kg), 之后这种增加趋势变缓。这种规律提示我们, 只需 3 周即可使虹鳟肌肉达到着色要求, 而不是以前认为的 6 周或 8 周以上。

3.2 虾青素的降解

虾青素在体内沉积的同时也在不断的降解, 最终的沉积量是降解与沉积的动态平衡。目前, 有关饥饿和投喂不含虾青素饲料对虾青素在鱼体降解的研究尚未见报道。显然, 肌肉已着色的虹鳟, 在饥饿或摄食不含虾青素饲料的状态下, 体内虾青素会因降解而减少, 并导致外观红色度的下降。本次试验中, 虹鳟肌肉、肝脏虾青素含量、肌肉 a*和肌肉比色卡得分均随时间延长而降低, 特别是在第 1 周, 虾青素的降解尤为明显, 之后降解速度变缓。在实验第 1 周, 饥饿降解组虹鳟的肌肉虾青素降解快于摄食降解组, 但二者肝脏和全鱼虾青素含量无显著差异(表 7), 表明在饥饿条件下, 机体首先动用的是肌肉的营养贮备(包括虾青素), 而肝脏则因具有重要生理功能, 保持着相对稳定。在鲈(*Lateolabrax japonicus*)的研究表明, 饥饿时的主要供能物质来源于肌肉和肠系膜, 而不是肝脏^[23]; 斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)在饥饿期间内以肌肉脂肪和糖原为主要供能物质, 在饥饿后期也动员肌肉蛋白质作为供能物质^[24]。这可能是饥饿组虹鳟的肌肉虾青素含量下降更快的原因。

摄食不含虾青素饲料的已着色虹鳟, 在第 1 周内, 其体内虾青素含量减少了 0.31 mg, 而摄食含虾青素饲料的已着色虹鳟, 在第 1 周内, 每尾鱼大约摄入了 1.15 mg 虾青素, 而其体内虾青素含量保持基本不变, 这说明, 对于已达到着色要求的虹鳟, 所摄入的虾青素主要用于补偿降解量了, 虾青素的摄入、消化和吸收, 与降解达到了动态平衡, 净沉积率几乎为零; 这也从另一个角度说明, 在虹鳟体内虾青素含量较高的情况下, 继续摄入高饲料水平的虾青素, 其利用率非常低, 在这种情况下, 是否可以改投一种虾青素含量较低的饲料, 维持体内的虾青素水平即可, 这有待

于今后进一步研究。

4 结论

本试验条件下,在虹鳟饲料中添加 100 mg/kg 虾青素,经过 3 周饲养即可使肌肉达到着色要求;虾青素沉积率随时间延长而下降;饥饿和投喂不含虾青素的饲料均可使已着色虹鳟肌肉虾青素含量和红色度显著下降,虾青素在鱼体内的减少量也随时间的延长而降低,饥饿使虾青素的减少更加迅速。

广州智特奇生物科技有限公司为本次研究提供了虾青素样品和部分研究经费,特此致谢!

参考文献:

- [1] Baker R T M, Pfeiffer A M, Schöner F J, *et al.* Pigmenting efficacy of astaxanthin and canthaxanthin in fresh-water reared Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2002, 99: 97-106.
- [2] Torrissen O J. Pigmentation of salmonids: interactions of astaxanthin and cathaxanthin on pigment deposition in rainbow trout [J]. *Aquaculture*, 1989, 79: 363-374.
- [3] Storebakken T, No H K. Pigmentation of rainbow trout [J]. *Aquaculture*, 1992, 100: 209-229.
- [4] 崔惟东,冷向军,李小勤,等. 虾青素和角黄素对虹鳟肌肉着色和肝脏总抗氧化能力的影响 [J]. *水产学报*, 2009, 23(6): 987-993.
- [5] Nichell D C, Bromage N R. The effect of dietary lipid level on variation of flesh pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1998, 161: 237-251.
- [6] Weber S. Determination of stabilized, added canthaxanthin in complete feeds and premixes with HPLC [C]. *Analytical Methods for Vitamins and Carotenoids in Feed*, 1988: 99.
- [7] Tolasa S, Cakli S, Ostermeyer U. Determination of astaxanthin and canthaxanthin in salmonid [J]. *Eurpou Food Research Technology*, 2005, 221: 787-788.
- [8] Pavlidis M, Papandroulakis N, Divanach P. A method for the comparison of chromaticity parameters in fish skin: Preliminary results for coloration pattern of red skin Sparidae [J]. *Aquaculture*, 2006, 258: 211-219.
- [9] Choubert G, Luquet P. Fixation et rétention musculaire de la canthaxanthine par la truite arc-en-ciel [J]. *Annales de Zootechnie*, 1982, 31: 1-10.
- [10] Aas G H, Bjerkeng B, Hatlen B, *et al.* Idoxanthin, a major carotenoid in the flesh of Arctic char (*Salvelinus alpinus*) fed diet containing astaxanthin [J]. *Aquaculture*, 1997, 150: 135-142.
- [11] Ytrestøyl T, Struksnæs G, Koppe W, *et al.* Effects of temperature and feed intake on astaxanthin digestibility and metabolism in Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2005, 142: 445-455.
- [12] 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.
- [13] 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: 558-564.
- [14] Wathne E, Bjerkeng B, Storebakken T. Pigmentation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed astaxanthin in all meals or in alternating meals [J]. *Aquaculture*, 1998, 159(3-4): 217-231.
- [15] Choubert G, Cravedi J P, Laurentie M. Effect of alternate distribution of astaxanthin on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) muscle pigmentation [J]. *Aquaculture*, 2009, 286: 100-104.
- [16] Georges C, Olivier H. Carotenoid pigments of the green alga: assay on rainbow trout pigmentation in comparison with synthetic astaxanthin and canthaxanthin [J]. *Aquaculture*, 1993, 112: 217-226.
- [17] Bjerkeng B, Følling M, Lagocki S, *et al.* Different bioavailability of all-E-astaxanthin and Z-astaxanthin isomers in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture*, 1997, 157: 63-82.
- [18] Martin R E, Flick G J, Ward D R. *Chemistry and Bio-chemistry of Marine Food Products* [C]. Westport, CT: AVI Publishing Company, 1982: 115-136.
- [19] Furr H C, Clark R M. Intestinal absorption and tissue distribution of carotenoids [J]. *Nutrition Biochemistry*, 1997, 8: 364-377.
- [20] Maltby J B, Albright L J, Kennedy C J, *et al.* Effect of route of administration and carrier on bioavailability and kinetics of astaxanthin in Atlantic salmon *Salmo salar* L [J]. *Aquaculture Research*, 2003, 34: 829-838.
- [21] Gouveia L, Choubert G, Gomes E, *et al.* Use of *Chlorella vulgaris* as a carotenoid source for rainbow trout: effect of dietary lipid content on pigmentation, digestibility and retention in the muscle tissue [J]. *Aquaculture International*, 1998, 6: 269-279.
- [22] Ytrestøyl T, Bjerkeng B. Intraperitoneal and dietary administration of astaxanthin in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) — Plasma uptake and tissue distribution of geometrical E/Z isomers [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B*, 2007, 147: 250-259.
- [23] 杜震宇,刘永坚,田丽霞,等. 饥饿对于鲈肌肉、肝脏和血清主要生化组成的影响 [J]. *动物学报*, 2003, 49(4): 458-465.
- [24] 谭肖英,罗智,王为民,等. 饥饿对小规格斑点叉尾鲷体重及鱼体生化组成的影响 [J]. *水生生物学报*, 2009, 33(1): 39-45.

The study of deposition and degradation of astaxanthin on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

ZHANG Juan-juan¹, LI Xiao-qin¹, LENG Xiang-jun^{1*}, HAN Zhi-ying¹, ZHANG Fei-ge¹, WU Shi-lin²

(1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture, College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Guangzhou Wisdom Bio-Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: In the present study, four treatments with triplicates were designed with colored or un-colored rainbow trouts with average initial weight of (101.9±1.3) g. Un-colored rainbow trout was fed with diet containing 100 mg/kg astaxanthin to study the deposition of astaxanthin in body (astaxanthin deposition group). Colored rainbow trout was fed with basal diet with 100 mg/kg astaxanthin addition (positive control) or without astaxanthin addition (feeding degradation group), or deprived of diet during the whole feeding period (starving degradation group) to study the degradation of astaxanthin in body. The feeding trial lasted for four weeks. Samples, including muscle, liver and serum, were collected once a week, and measured for astaxanthin contents of flesh, liver and whole fish, serum carotenoids, flesh chromatism(L*, a*, b*), and flesh Salmo Fan score. Results showed that in astaxanthin deposition group, astaxanthin contents of flesh and liver, flesh a* value, Salmo Fan score of rainbow trout increased with feeding time prolonging ($P<0.05$), and kept stable in the 3rd week. There were no significant difference in these indexes between 3rd week and 4th week($P>0.05$). In the whole feeding period, astaxanthin content of whole fish tended to rise, but astaxanthin retention rate of whole fish tended to decrease. In the first week and in the fourth week, astaxanthin content and astaxanthin retention rate of whole fish were 3.71 mg/kg, 8.59 mg/kg and 21.31% 15.26%, respectively. In both starving and feeding degradation groups, astaxanthin content of tissue, flesh a* and Salmo Fan score of rainbow trouts decreased with feeding time prolonging($P<0.05$), but the decreasing trend of these indexes slowed down in the 3rd week. The decreasing speed of these indexes in starving degradation group was faster than those in feeding degradation group. Results above showed that an addition of 100 mg/kg astaxanthin in diet could make the flesh of rainbow trout present ideal red colour after three weeks feeding, but astaxanthin retention rate decreased with feeding time prolonging. For rainbow trout fed diet without astaxanthin or deprived of diet, flesh astaxanthin and a* value significantly decreased during feeding period, and starving makes astaxanthin reduce more quickly than feeding diet without astaxanthin. The degradation speed of astaxanthin in body of rainbow trout tended to slow down with time prolonging.

Key words: *Oncorhynchus mykiss*; astaxanthin; deposition; degradation

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