

豹纹鳃棘鲈(*Plectropomus leopardus*)早期形态 与色素变化及添加剂对其体色的影响*

陈 超¹ 吴雷明² 李炎璐¹ 宋振鑫¹ 梁 友¹
翟介明³ 王 鲁¹ 庞尊方³

(1. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;
2. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 3. 莱州明波水产有限公司 烟台 261418)

摘要 为研究豹纹鳃棘鲈色素变化过程以及添加剂对其产生的影响,本研究在室内工厂化养殖条件下,对豹纹鳃棘鲈的早期色素积累、转变过程进行描述,并采用螺旋藻粉和虾青素两种添加剂对其仔、稚、幼鱼的生长及体色变化的影响进行观察。结果显示,从 2 d 仔鱼开始,眼点色素增多,并由透明转为黑色,摄食明显;3 d 仔鱼其背部鳍褶上的树枝状黑色素扩大,脊椎下方出现 1 列黑色素细胞丛;22 d 的鱼体脊椎上方出现 1 排黑色素斑点,下方黑色素斑点数量减少,此时口、各鳍基部及沿脊椎两侧黄色素增加;28 d 的稚鱼体表黄色素与红色素进一步增多,各鳍沿鳍条均有红色素斑点分布,鱼体呈橘红色,颜色鲜艳;30–33 d 的幼鱼体表两侧布满黑色与橘红色斑点,脊椎下方斑点消失,仅在尾椎下方存有 1 块黑色素斑点。增色剂实验结果显示,实验 15 d 时,螺旋藻粉组与虾青素组全长、体重差异不显著,但均显著高于对照组($P < 0.05$),各实验组内梯度之间差异不显著($P > 0.05$)。30 d 时,3%和 6%螺旋藻粉组较对照组的体重值高,但差异不显著($P > 0.05$),9%螺旋藻粉组显著低于对照组($P < 0.05$);虾青素组均高于对照组,除与 0.6%组差异不显著($P > 0.05$)外,其他组均差异显著($P < 0.05$)。0.1%实验组体重高于对照组和螺旋藻粉组,并高于组内其他梯度组。经过 15 d 添加虾青素的幼鱼体色红色素有明显增加,与对照组差异显著;30 d 时,螺旋藻组没有达到增色效果。结果表明,螺旋藻粉对幼鱼生长初期有促进作用,随着添加浓度与养殖时间的增加其效果不明显,出现负效应;添加浓度为 0.1%的虾青素可使全长、体重增长率最高并具有明显增色效果。

关键词 豹纹鳃棘鲈;色素;体色;螺旋藻粉;虾青素

中图分类号 S963 文献标识码 A 文章编号 1000-7075(2014)05-0083-08

豹纹鳃棘鲈(*Plectropomus leopardus*),俗称东星斑,属鲈形目(Perciformes)、鲷科(Serranidae)、石斑鱼亚科(Epinephelinae)、鳃棘鲈属,是石斑鱼的近亲(日本栽培渔业协会,1989)¹⁾,属暖水性礁栖鱼类,主要分布于澳大利亚东西两岸与印度洋热带海域

(Frisch *et al.*, 2005),菲律宾部分海域及南海,但数量稀少,是名贵高档的食用鱼类与观赏鱼类。在自然海域中豹纹鳃棘鲈体色呈红色或鲜橘红色,全身布满蓝色或蓝白色的圆形或椭圆形斑点,其体色随环境会有所改变。由于豹纹鳃棘鲈体色寓意着喜庆吉祥之意,

* 科技部国际合作(2012DFA30360)项目和国家“863”(2012AA10A414)项目共同资助

通讯作者: 陈 超, 研究员, E-mail: ysfriechencao@126.com

收稿日期: 2013-02-08, 收修改稿日期: 2014-04-14

1) 日本栽培渔业协会. 东京: 平成元年度事业年报, 1989

在国际市场,特别是东南亚市场上深受欢迎,具有广阔的市场前景。豹纹鳃棘鲈的体色变化与其产生的经济价值、观赏价值有着直接关系,因此在人工养殖和苗种培育过程中,保持体色或增加其艳丽程度具有实际意义。

国外对豹纹鳃棘鲈的研究,多集中在生态学领域(Leis *et al*, 1999; Kenzo *et al*, 2008),近年来国内学者对该鱼的胚胎发育及仔、稚、幼鱼的形态学变化进行了观察(符书源等, 2010),并对该鱼的盐度、温度等生态因子对受精卵孵化与仔鱼成活率的影响(张友标等, 2011)进行了研究,但对其色素细胞的发生以及增色添加剂对体色的影响未见报道。本文叙述了在大规模苗种培育的条件下豹纹鳃棘鲈仔、稚、幼鱼的形态特征,观察其色素细胞发生和变化过程,并探讨了螺旋藻粉与虾青素两种增色添加剂对豹纹鳃棘鲈生长、体色变化的影响,以期螺旋藻粉与虾青素在水产饲料中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验于 2012 年 6 月进行,将海南省三亚收集的豹纹鳃棘鲈受精卵,经分离、充氧、包装,空运到山东莱州明波水产有限公司育苗基地。经过 15 h 的运输,运抵时温度为 22℃,盐度为 29, pH 为 7.9,胚体大幅度扭动,尾部游离,拨动卵膜,受精卵即将孵化。将受精卵倒入 2000 ml 的量筒中,筛选上浮卵,平均好卵率为 86%。育苗池水温调至与运输抵达时水温相同。

1.2 方法

1.2.1 仔、稚、幼鱼培育方法和管理 仔鱼开口后使用牡蛎(*Crassostrea gigas*)卵作为开口饵料,投喂 1 d 后,改投 S 型轮虫(*Brachionus* sp.),投喂 10 d 左右,开始投喂 L 型轮虫。随着其生长发育逐步过渡到卤虫(*Artemia* sp.)幼体、成体,接着转食颗粒饲料,并搭配小银鱼(*Neosalanx taihuensis*)进行驯化,待幼鱼能够对颗粒饲料进行抢食后,停止投喂小银鱼,完全转为投喂颗粒饲料,育苗期间水温逐渐升至 28℃,盐度 29±1, pH 8.0±0.5。按常规方法吸污、换水、投喂等管理。

1.2.2 早期发育的色素变化观察 从初孵仔鱼开始,仔鱼阶段每天从育苗池中定时取样,进入稚幼鱼期,隔 2-5 d 取样 1 次。样品经 MS-222 麻醉后,利用 Nikon-200 显微镜、Olympus 解剖镜(SZX7)、数码相机拍摄观察,描述记录各发育时期的形态学特征、

色素的发生、变化过程。仔鱼期使用显微镜测量全长、体长、肛前距等生长指标,稚鱼期、幼鱼期使用游标卡尺进行测量。

1.2.3 添加剂对幼鱼体色和生长的影响 实验选用体长(5.42±0.39) cm (120 d)的幼鱼,实验周期为 30 d。将幼鱼分为三组:第 1 组为对照组,饲料中不添加任何添加剂;第 2 组为螺旋藻粉组,参照王方雨等(2005)的方法,饲料中添加螺旋藻粉,含量分别为 3%、6%、9%;第 3 组为虾青素组,饲料中添加虾青素,含量分别为 0.1%、0.3%、0.6%、0.9%。每一梯度设两个平行,每一平行放入 300 尾幼鱼,实验在 1 m³的网箱中进行,网箱置于 40 m³方形抹角水泥池中,利用循环水进行饲养。

增色添加剂的处理方法:选用商品颗粒饲料为基础饲料,用蛋清作为粘合剂,将各梯度的螺旋藻粉或虾青素与蛋清充分混合后,包裹在颗粒饲料表面风干后投喂。每天投喂 4 次,投喂时间为 07:00、10:00、13:00、16:00。第一次与最后一次投喂后吸除残饵、粪便与死鱼。

1.3 检测指标与数据统计

1.3.1 红色素测定 在实验开始前、中期 15 d 和实验结束后各取样一次,每次每组各取样品鱼 6 尾,进行生物学测量后,在实验鱼同一部位的皮肤(含鳞片)约 0.6 g,加 Na₂SO₄ 0.2 g 研磨,再加适量(能够将鱼表皮完全浸没)丙酮溶解、抽提,离心 5 min(2000 r/min),分离色素后,100 ml 容量瓶定容,使用 721 型分光光度计在 480 nm 波长下测定其吸光度 *A*。

1.3.2 生长测量 根据下列公式计算日瞬时增长率、增重率:

$$SGRFL(\%)=(\ln L_2 - \ln L_1)/(t_2 - t_1);$$

$$SGRW(\%)=(\ln W_2 - \ln W_1)/(t_2 - t_1)$$

式中,SGRFL 为瞬时全长增长率,SGRW 为瞬时体重增长率,*L*₁、*L*₂ 分别为时间 *t*₁、*t*₂ 时的平均全长,*W*₁、*W*₂ 分别为时间 *t*₁、*t*₂ 时的平均体重。

1.3.3 数据统计 运用 SPSS 17.0 统计软件,分别对全长、体长及体重进行单因子方差分析,采用 Duncan's 多重比较法检验组间差异,*P*<0.05 表明差异显著。

2 结果

2.1 早期发育阶段色素细胞的发生与变化

2.1.1 仔鱼期 初孵仔鱼(图版 I-1)(1.68±0.07) mm。

头部和卵黄囊前部色素细胞分布较多,其余部位无色素细胞分布。此时形态学主要特征是卵黄囊呈椭圆形,初孵仔鱼头悬浮于水体上层,尾部在水中偶有颤动,游动无明确的方向性。

1 日龄(图版 I-2),全长为(2.33±0.07) mm。镜检发现头部及卵黄囊上方出现零星黑色素细胞,头部后方与消化道正上方的鳍褶边缘位置,黑色素比较明显。眼部区域界限清晰可见。

2 日龄,全长 2.480 mm。仅剩下残存的卵黄囊,油球减小近一半,直径为 0.0755 mm。眼点色素变深(图版 I-3),摄食迹象明显,转为混合营养期。

3 日龄,仔鱼全长(2.56±0.08) mm,肛前距(1.12±0.07) mm。仔鱼头部斑点消失,背部鳍褶黑色素面积增大,脊椎下方出现 1 列黑色素斑点(图版 I-4)。胃部上方黑色素开始积聚,下半部透明,消化道呈淡黄色。形态学主要特征为可以观察到两个扇形的胸鳍。

4 日龄,仔鱼全长(2.50±0.09) mm,肛前距(1.07±0.09) mm。镜检可见仔鱼肠胃上方黑色素丛与腹部的连成一片,颜色加深。臀鳍和尾鳍之间脊椎下方出现连续排列的 12–14 个黑色小点(图版 I-5)。仔鱼游泳能力增强,开始集群游动。

5–12 日龄,12 日龄时仔鱼全长(6.32±0.22) mm。脊椎下方的黑色素斑点面积扩大,大部分消化道被黑色素覆盖,颜色加深(图版 I-6)。头部后方边缘位置出现少量黑色素斑点(图版 I-7)。

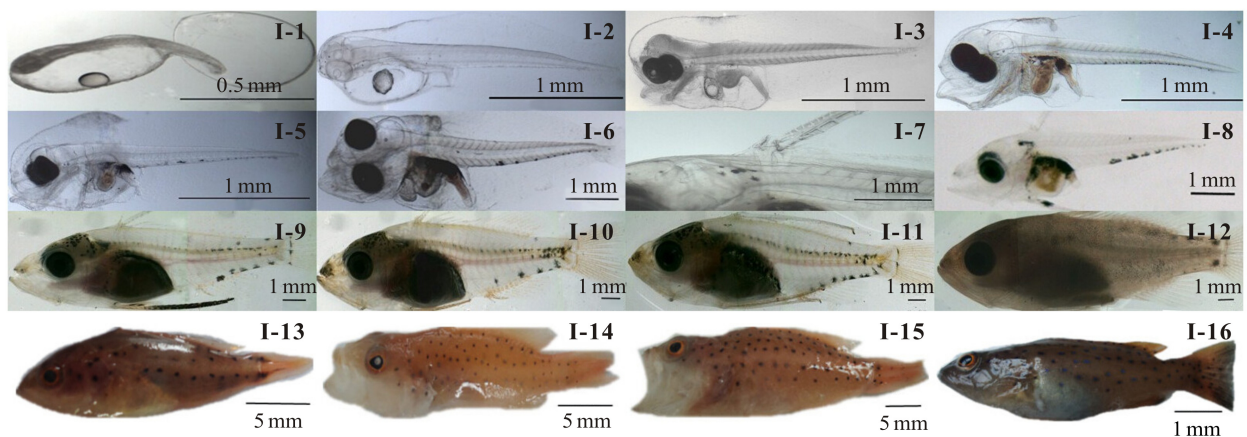
14–18 日龄,14 日龄时仔鱼全长(6.45±0.25) mm。脊椎下方黑色素斑点聚集到一起,数量减少,面积增大(图版 I-8)。至 17 日龄,第二背鳍呈半圆形,各鳍基本形成。

2.1.2 稚鱼期 22 日龄(图版 I-9),稚鱼全长(14.64±0.32) mm。眼睛后上方出现黑色素斑点、头部颜色加深,脊椎上方出现 1 排断断续续的黑色素斑点,口、各鳍基部和沿脊椎两侧的皮肤以及尾柄处呈淡黄色,胃和消化管部分面积增大、颜色加深。

26 日龄(图版 I-10),稚鱼全长(16.58±0.72) mm。头部黑色素斑点增加、颜色逐渐加深,尾柄处黑色素斑点增多,且更加清晰,收鳍即将结束。至 28 日龄时,身体仍为透明,鱼体对黄色素与红色素积累量逐渐增加,颜色进一步加深(图版 I-11)。

2.1.3 幼鱼期 30–33 日龄,33 日龄时幼鱼全长(20.21±0.42) mm。此时幼鱼体表布满黑色与橘红色斑点,各鳍沿鳍条也有红色素斑点分布,鱼体呈橘红色。脊椎上方黑色素斑点增多,下方大块斑点消失,仅在尾椎下方存有一块较大的黑色素丛(图版 I-12)。形态特征与成鱼基本一致,出现残食现象。

40 日龄幼鱼体色呈淡灰色,各鳍颜色鲜艳,呈橘红色(图版 I-13),50 日龄后体表斑点增多(图版 I-14),颜色无明显变化。60–73 日龄时,体表逐渐变为橘红色,色素加深,颜色更加鲜艳(图版 I-15)。90 日龄时,幼鱼体色与之前相比变化较大,只有各鳍颜



图版 I 豹纹鳃棘鲈仔、稚、幼鱼体表色素

Plate I Variation of body color of larva, juvenile and young *Plectropomus leopardus*

I-1、初孵仔鱼 Newly hatched larva; I-2. 1 d; I-3. 2 d; I-4. 3 d; I-5. 4 d; I-6. 5 d; I-7. 12 d; I-8. 14 d; I-9. 22 d; I-10. 26 d; I-11. 28 d; I-12. 33 d; I-13. 40 d; I-14. 50 d; I-15. 70 d; I-16. 90 d

色呈深黄色，体表暗淡呈暗灰色(图版 I-16)。

2.2 添加螺旋藻粉与虾青素对幼鱼生长的影响

2.2.1 对幼鱼全长、体重的影响 经过 15 d 的饲养后，对于添加螺旋藻粉与虾青素的两个实验组，全长、体长与体重都有明显增长，显著高于对照组($P < 0.05$)，螺旋藻粉组与虾青素组之间差异不显著($P > 0.05$)。螺旋藻粉添加量为 3%与 6%时，体重增长幅度持平，添加量 9%时有下降趋势(图 1)。虾青素各梯度组全长、体重变化无显著差异($P > 0.05$)，明显高于对照组(图 2)。

30 d 时进行取样，螺旋藻粉、虾青素组与对照组全长差异不显著($P > 0.05$)。3%螺旋藻粉组幼鱼全长(10.30 cm)大于其他两组(10.13 cm、9.42 cm)(图 3)，仅与 9%组差异显著($P < 0.05$)，6%与 9%两组差异不显著($P > 0.05$)，全长生长随螺旋藻粉浓度的增加呈下降趋势；螺旋藻粉组体重呈先升后降的趋势(图 1)，9%组显著低于对照组、3%和 6%螺旋藻粉组($P < 0.05$)，对照组、3%和 6%螺旋藻粉组之间差异不显著

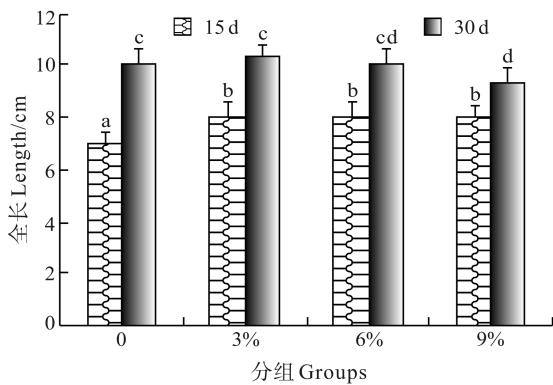


图 1 螺旋藻对豹纹鳃棘鲈幼鱼体重的影响

Fig.1 Effects of the spirulina feed on the body weight of *P. leopardus* juveniles

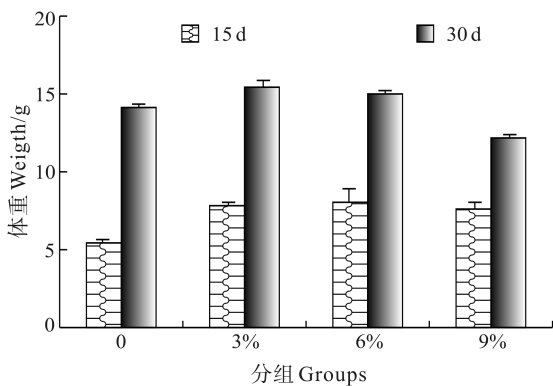


图 2 虾青素对豹纹鳃棘鲈幼鱼全长的影响

Fig.2 Effects of the astaxanthin feed on the total length of *P. leopardus* juveniles

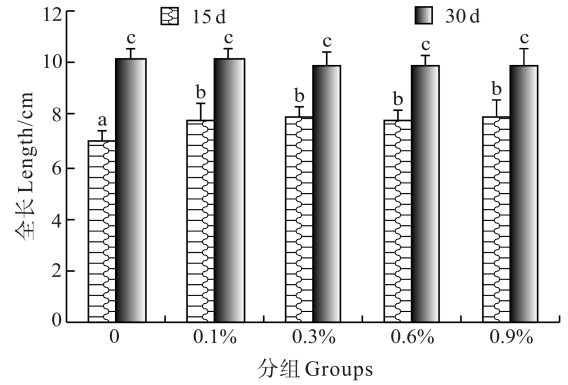


图 3 螺旋藻对豹纹鳃棘鲈幼鱼全长的影响

Fig.3 Effects of the spirulina feed on the total length of *P. leopardus* juveniles

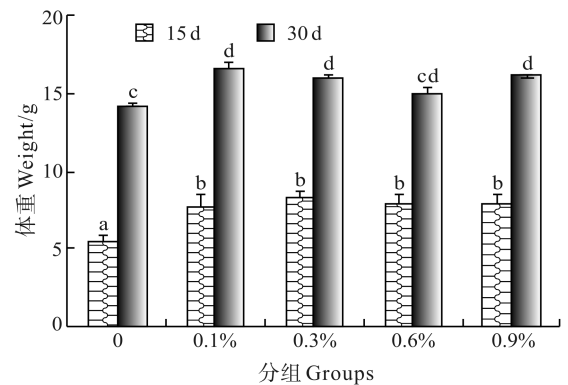


图 4 虾青素对豹纹鳃棘鲈幼鱼体重的影响

Fig.4 Effects of the astaxanthin feed on the body weight of *P. leopardus* juveniles

($P > 0.05$)。虾青素组内各梯度间全长差异不显著($P > 0.05$)；虾青素组体重均高于对照组(图 4)，除与 0.6%组差异不显著($P > 0.05$)外，与其他组均差异显著($P < 0.05$)，0.1%组高于 0.3%、0.6%、0.9%组，差异不显著($P > 0.05$)。

结果显示，添加螺旋藻粉 15 d 时对幼鱼生长有促进作用，随着添加浓度与养殖时间增加其效果不明显，并出现负效应；30 d 时，虾青素组 0.1%组体重高于对照组和螺旋藻粉组，并高于组内其他梯度组。**2.2.2 全长、体重瞬时增长率的变化** 30 d 时，对照组全长、体重瞬时增长率有较大的提高，缩小了与各实验组之间的差距(表 1)。螺旋藻粉组全长瞬时增长率、体重瞬时增长率，随着螺旋藻粉添加量的增加而降低。各组全长、体重瞬时增长率，除对照组外，整体全长、体重增长幅度较第一阶段有所减弱，呈下降趋势。

2.3 不同增色添加剂对幼鱼体色的影响

豹纹鳃棘鲈幼鱼经过 15 d 室内工厂化养殖池的饲养，添加虾青素幼鱼体色发生了明显的变化，与对

表 1 各实验组全长、体重瞬时增长率变化
Tab. 1 The full length and body weight changes in instantaneous growth rate of each experimental group

分组 Groups	15 d		30 d		全长瞬时增长率(%) SGRFL	体重瞬时增长率(%) SGRW
	全长(cm) Length	体重(g) Weight	全长(cm) Length	体重(g) Weight		
对照组 0% Control	7.00±0.42 ^a	5.37±0.14 ^a	10.11±0.51 ^a	14.17±0.16 ^a	2.45	6.46
3%螺旋藻组 3% spirulina powder experimental groups	8.07±0.59 ^b	7.81±0.14 ^b	10.30±0.54 ^a	15.45±0.49 ^a	1.63	4.55
6%螺旋藻组 6% spirulina powder experimental groups	8.07±0.60 ^b	8.15±0.69 ^b	10.13±0.52 ^{ab}	14.89±0.32 ^a	1.52	4.01
9%螺旋藻组 9% spirulina powder experimental groups	8.02±0.51 ^b	7.59±0.37 ^b	9.42±0.56 ^b	12.19±0.14 ^b	1.07	3.16
0.1%虾青素组 0.1 % astaxanthin experimental groups	7.85±0.59 ^b	7.75±0.08 ^b	10.16±0.41 ^a	16.67±0.45 ^c	1.72	5.11
0.3%虾青素组 0.3 % astaxanthin experimental groups	7.91±0.39 ^b	8.32±0.08 ^b	9.99±0.50 ^a	15.88±0.41 ^c	1.56	4.31
0.6%虾青素组 0.6 % astaxanthin experimental groups	7.87±0.40 ^b	7.93±0.15 ^b	9.89±0.62 ^a	14.94±0.41 ^{ac}	1.52	4.22
0.9%虾青素组 0.9 % astaxanthin experimental groups	7.92±0.63 ^b	7.86±0.21 ^b	9.91±0.80 ^a	16.14±0.05 ^c	1.49	4.79

注：数值右上角不同字母表示具有显著差异($P < 0.05$)

Note: Data within the same row with different superscript are significantly different ($P < 0.05$) =

照组相比,体表红色素含量增加,鱼体色彩更加艳丽;添加螺旋藻粉组体表颜色与对照组相比无明显变化,并出现淡化现象(图版 5-图版 8)。30 d 时,虾青素组,鱼体表红颜色进一步加深;而螺旋藻粉组没有明显变化。分光光度计的检测结果:螺旋藻粉组与虾青素组测得数值均大于初试样品值,两实验组中除个别组数据较接近外,多数组效果截然不同(图 5、图 6)。

在饲养网箱中,肉眼难以分辨出螺旋藻粉组与对照组的区别。实验开始 15 d 后,虾青素 0.1%实验组幼鱼色素积累较快,效果较其他各组变化明显(图版 13-图版 16)。虾青素组鱼鳍色素积累强度大于体表,初期更明显。结果表明:添加含量为 0.1%的虾青素增色效果明显,螺旋藻粉组没有达到增色效果,并随添加浓度和养殖时间的增加出现淡化现象。

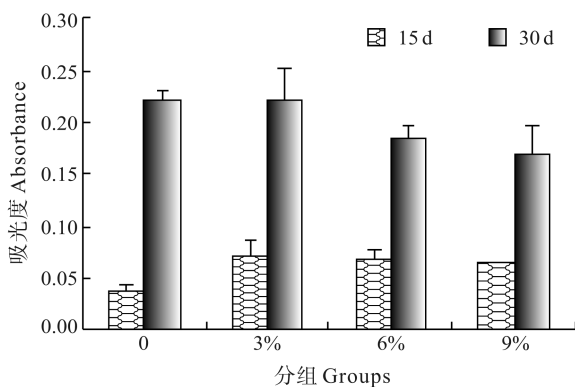


图 5 螺旋藻对豹纹鳃棘鲈幼鱼体色的影响

Fig.5 Effects of the spirulina feed on the body color of *P. leopardus* juveniles

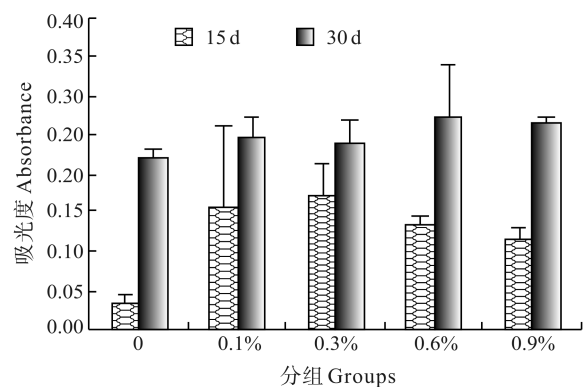
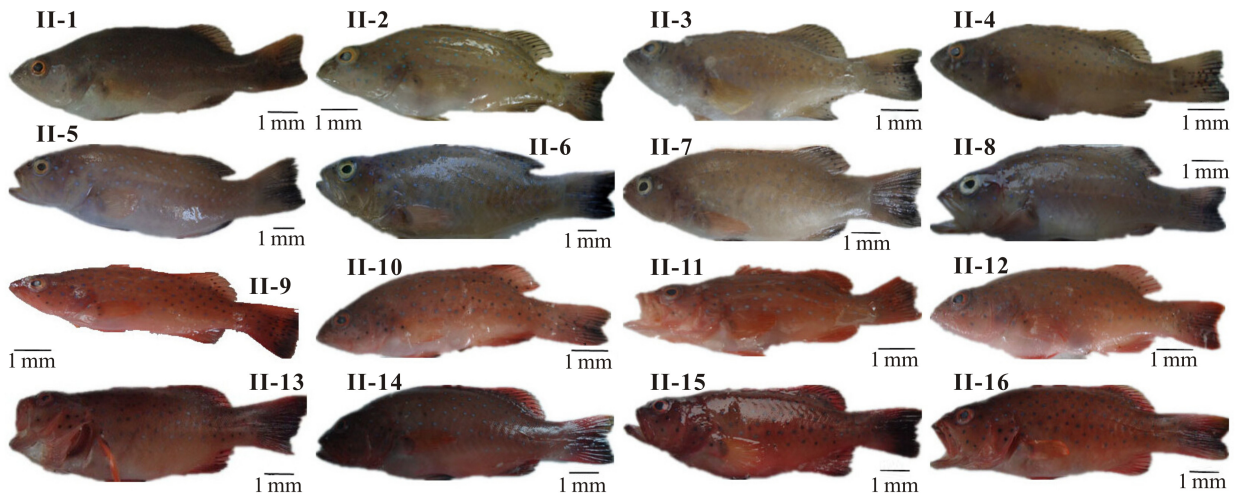


图 6 虾青素对豹纹鳃棘鲈幼鱼体色的影响

Fig.6 Effects of the astaxanthin feed on the body color of *P. leopardus* juveniles



图版 虾青素与螺旋藻对豹纹棘鲈幼鱼体色的影响

Plate Effects of the astaxanthin and spirulina feed on the body color of *P. leopardus* juveniles

- 1. 15 d 对照组； -2. 15 d 3%螺旋藻粉组； -3. 15 d 6%螺旋藻粉组； -4. 15 d 9%螺旋藻粉组； -5. 30 d 对照组；
 -6. 30 d 3%螺旋藻粉组； -7. 30 d 6%螺旋藻粉组； -8. 30 d 9%螺旋藻粉组； -9. 15 d 0.1%虾青素组； -10. 15 d 0.3%虾青素组；
 -11. 15 d 0.6%虾青素组； -12. 15 d 0.9%虾青素组； -13. 30 d 0.1%虾青素组； -14. 30 d 0.3%虾青素组；
 -15. 30 d 0.6%虾青素组； -16. 30 d 0.9%虾青素组
- 1. 15 days control group; -2. 3% spirulina powder treatment for 15 days; -3. 6% spirulina powder treatment for 15 days;
 -4. 9% spirulina powder treatment for 15 days; -5. Control for 30 days; -6. 3% spirulina powder treatment for 30 days;
 -7. 6% spirulina powder treatment for 30 days; -8. 9% spirulina powder treatment for 30 days. -9. 0.1% astaxanthin
 treatment for 15 days; -10. 0.3% astaxanthin treatment for 15 days; -11. 0.6% astaxanthin treatment for 15 days;
 -12. 0.9% astaxanthin treatment for 15 days; -13. 0.1% astaxanthin treatment for 30 days; -14. 0.3% astaxanthin
 treatment for 30 days; -15. 0.6% astaxanthin treatment for 30 days; -16. 0.9% astaxanthin treatment for 30 days

3 讨论

3.1 不同鱼类仔鱼期色素的形成与转变

豹纹棘鲈从 2 d 仔鱼开始,眼点色素变深,胃部膨大,肛门开通,摄食迹象明显。据报道,七带石斑鱼(*Epinephelus septemfasciatus*)仔鱼眼球色素深而明显,晶体呈黑色,游泳能力增强,并能够摄食生物饵料(陈超等, 2011);鱼类眼睛色素的形成直接影响卵形鲳鲆仔、稚、幼鱼的视觉功能,并影响其摄食、巡游、躲避敌害的能力(区又君等, 2012),可见,眼球色素的形成对于整个发育期及摄食极为重要。30–33 d 的豹纹棘鲈幼鱼体色呈现橘红色,体表两侧密布黑色与橘红色斑点,脊椎下方多处斑点消失,尾椎下方仅存的黑色素斑点及身体色素的形成与变化,明显表现出了暖温性礁栖种类体色鲜艳的特征。据报道,在半滑舌鲷发育过程中,脊椎下方的树枝状色素会经历大量出现、数目减少、逐渐消失几个过程,幼体树枝状和菊花状色素也会逐渐消失,而成体色素不会出现大量的变化(马学坤等, 2006);大菱鲆仔鱼真皮层黑色素胞中色素颗粒的密度及分布,随仔鱼的

发育及皮肤的增色状况而发生变化(Zhu *et al*, 2003)。鱼类的体色变化一类为色素细胞和色素颗粒量的变化及色素细胞在表皮层中的迁移,称作为形态学体色变化;另一类为色素颗粒的聚集或扩散以及受神经调节和激素调节的机理,称作生理学体色变化(贺国龙等, 2010)。在神经和激素的调控下,色素细胞可迅速转运其中的色素颗粒,使色素颗粒分散和集结(赵守城, 1996)。鱼体内色素细胞的多或少、区域分布状况、色素细胞内色素颗粒状态、虹彩细胞中反光体的反光能力强弱等决定着鱼类的体色和斑纹状况(黄永政, 2008)。

3.2 螺旋藻和虾青素对豹纹棘鲈体色的影响

影响鱼类体色表达的因素有很多,主要受环境因子与遗传因素影响,并通过不同的调节方式,对鱼类体色进行调控(冷向军等, 2006)。具有鲜艳色彩、红色彩的鱼类在人工养殖环境条件下往往会降低其色彩,但同时其又具有调整、补偿的特性。在饵料中添加增色剂是改善鱼类体色的一种方法,而不同的色素种类、来源,均会影响鱼体对类胡萝卜素的积累,引

起呈色效果差异(刘晓东等, 2008)。在工厂化养殖过程中, 豹纹鳃棘鲈幼鱼体色会出现逐渐变黑或呈现浅粉色, 与天然池塘和网箱养殖的幼鱼体色相差甚远, 本研究尝试使用螺旋藻粉与虾青素对其进行调节, 结果显示, 虾青素组对其体色有明显改善, 从节约成本的角度分析, 0.1%的虾青素足以达到明显的增色效果, 螺旋藻粉组不仅没有效果, 反而存在“淡化”现象, 与对照组相比体色稍有不同。

3.3 添加剂对豹纹鳃棘鲈幼鱼生长的影响

本研究在普通饲料基础上, 添加不同浓度的螺旋藻粉投喂 15 d 后, 实验组全长、体重显著高于对照组($P < 0.05$), 实验组内部各梯度之间差异不显著($P > 0.05$)。随着螺旋藻浓度的增加, 体重呈现先升高后下降的趋势, 30 d 时, 此变化趋势表现的更加突出。在 30 d 时, 对照组体重低于 3%、6% 两组, 差异不显著, 但明显高于 9% 组, 差异显著($P < 0.05$)。有研究证实在建鲤的基础日粮中添加 2% 或 4% 螺旋藻粉, 能显著提高其生长性能($P < 0.01$), 相对增重率明显高于对照组(罗萍, 2006); 螺旋藻粉对幼蟹的生长也有促进作用, 并能够提高幼蟹的成活率(张饮江等, 2001)。但本研究结果说明, 在短期内投喂添加有螺旋藻粉对豹纹鳃棘鲈幼鱼具有诱导摄食、促进生长的作用, 随着添加量与养殖时间的增加, 添加作用下降, 并存在负面影响。

本研究前期投喂 15 d 时, 虾青素组全长、体长与体重明显增长, 与对照组差异显著($P < 0.05$); 30 d 时虾青素组体重均高于对照组, 除 0.6% 组差异不显著($P > 0.05$)外, 其他实验组差异显著($P < 0.05$), 0.1% 组体重高于对照组和螺旋藻粉组, 并高于组内其他梯度组。相关研究表明, 虾青素对七彩神仙鱼的增重率和特定生长率存在显著影响($P < 0.05$), 虾青素各组之间的增重率、特定生长率均不存在显著差异($P > 0.05$)(黄璞玮等, 2011), 其对斑节对虾的增重率和特定生长率影响差异显著($P < 0.05$), 实验组之间无显著差异($P > 0.05$)(温为庚等, 2011)。本研究结果进一步说明, 降低虾青素的添加浓度, 按照短期高剂量、长期低剂量的添加方法, 可以达到理想效果。

另有研究证实, 天然的虾青素作为添加剂, 对水产动物没有致病和毒副作用(李兆华等, 2005), 螺旋藻粉更是获得了 21 世纪最理想的食物、明天最理想的营养源、人类 21 世纪的最佳保健品等多项荣誉称号(沈蓓英等, 1999; 曾文炉等, 2001)。虾青素与螺旋藻的多种重要生理功能, 将在水产养殖中具有广阔

的应用前景。

参 考 文 献

- 马学坤, 柳学周, 温海深, 等. 半滑舌鳎早期发育过程中体色素变化的研究. 海洋水产研究, 2006, 27(2): 62-68
- 区又君, 何永亮, 李加儿, 等. 卵形鲳鲹胚后发育阶段的体色变化和鳍的分化. 热带海洋学报, 2012, 31(1): 62-66
- 王方雨, 张世萍. 螺旋藻在水产养殖中的应用. 水产科学, 2005, 24(1): 45-46
- 刘晓东, 陈再忠. 鱼类色素细胞及体色调控. 水产科技情报, 2008, 35(1): 13-18
- 李兆华, 刘鹏. 虾青素的功能及应用进展. 食品与药品, 2005, 7(9): 17-20
- 冷向军, 李小勤. 水产动物着色的研究进展. 水产学报, 2006, 30(1): 138-143
- 沈蓓英, 贺玉衡. 二十一世纪最理想的营养源—螺旋藻. 粮食与油脂, 1999, (1): 29-30
- 张友标, 喻达辉, 黄桂菊. 生态因子对豹纹鳃棘鲈受精卵孵化和仔鱼成活的影响. 广东农业科学, 2011, 38(10): 102-105
- 张饮江, 何培民, 何文辉. 螺旋藻对中华绒螯蟹生长和体色的影响. 中国水产科学, 2001, 8(2): 59-62
- 陈超, 赵明, 柳学周, 等. 七带石斑鱼胚胎及仔稚鱼形态观察. 渔业科学进展, 2011, 32(5): 24-31
- 罗萍. 螺旋藻对建鲤生长发育的影响. 水利渔业, 2006, 26(4): 41-42
- 贺国龙, 刘立鹤. 鱼类体色成因及其调控技术研究进展(下). 水产科技情报, 2010, 37(3): 115-120, 124
- 赵守城. 鱼类改变体色的机制. 河北渔业, 1996, (5): 17-18
- 黄永政. 鱼类体色研究进展. 水产学杂志, 2008, 21(1): 89-94
- 黄璞, 贾铭宇, 刘涛, 等. 虾青素对七彩神仙鱼生长和形体的影响. 吉林农业, 2011, (3): 93-94
- 符书源, 王永波, 郑飞, 等. 豹纹鳃棘鲈仔、稚、幼鱼的形态观察. 热带生物学报, 2010, 1(2): 170-174
- 温为庚, 林黑着, 吴开畅, 等. 饲料中添加虾青素对斑节对虾生长和免疫指标的影响. 中山大学学报, 2011, 50(3): 144-146
- 曾文炉, 蔡昭铃, 欧阳藩. 二十一世纪的理想食品—螺旋藻. 生物工程进展, 2001, 21(5): 29-35
- Frisch A, Anderson T. Physiological stress responses of two species of coral trout (*Plectropomus leopardus* and *Plectropomus maculatus*). Comp Biochem Physiol A : Mol Integr Physiol, 2005, 140(3): 317-327
- Kenzo Y, Kazuhisa Y, Kimio A, et al. Influence of light intensity on feeding, growth, and early survival of leopard local grouper (*Plectropomus leopardus*) larvae under mass-scale rearing conditions. Aquaculture, 2008, 279(1-4): 55-62
- Leis JM, Carson-Ewart BM. In situ swimming and settlement behaviors of larvae of an Indo-Pacific coral-reef fish, the coral trout *Plectropomus leopardus* (Pisces: Serranidae).

- Mar Biol, 1999, 134(1): 51–64
- Zhu ZY, Yue GH. The complete mitochondrial genome of red grouper *Plectropomus leopardus* and its applications in identification of grouper species. *Aquaculture*, 2008, 276(1–4): 44–49
- Zhu J, Zhang XM, Gao TX, *et al.* Development and ultra-structure of larval skin in *Scophthalmus maximus*. *水产学报*, 2003, 27(2): 97–104

(编辑 江润林)

Morphology of the Early Age and the Pigment Occurrence and the Effects of Different Feed Additives on the Body Color of *Plectropomus leopardus*

CHEN Chao¹, WU Leiming², LI Yanlu¹, SONG Zhenxin¹, LIANG You¹, ZHAI Jieming³
WANG Lu¹, PANG Zunfang³

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 2. College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 3. Laizhou Mingbo Fisheries Ltd Corp, Yantai 261418)

Abstract The current study investigated the early pigment accumulation and transformation process of *Plectropomus leopardus* and evaluated the effects of two feeding additives on growth and body color traits. The results indicated that larval eyespot pigment granules gradually increased at day 2, the white eyes became black, and the feeding behaviors appeared. The arborization melanin area extended on the back fin at day 3, and a melanocytes plexus appeared at the bottom of the spine. At 22 d, the row intermittent melanin spots appeared above the fish spine and the number of melanin spots reduced. The mouth, the base of the fins and both sides of the spine became pale yellow. At 28 d, the accumulation of yellow and red pigment of the juvenile was further increased, which were surrounded by lots of red pigment spots. The fish had vivid orange color. At 30–33 d, the surface of both sides was covered with dense black and orange spots. The chunks of the spots were disappeared under the spine except a large melanin spot at the bottom of the caudal. The spirulina powder and astaxanthin had similar and significant effects on the full length and body weight of *Plectropomus leopardus* ($P < 0.05$) at day 15. At day 30, 9% but not 3% and 6% of spirulina powder had significant effects on the body weight ($P < 0.05$). Compared to the control, all astaxanthin treatments (except the 0.6% group) significantly increased the body weight with the best treatment of 0.1% experimental group. At day 15, astaxanthin markedly improved the body color. At day 30, the spirulina powder did not improve the body color. These results demonstrated that the spirulina powder may contribute to the early development of the juveniles but negatively affected the growth with the increase of feeding concentrations and the breeding time; however, and that 0.1% astaxanthin treatment was effectively enhance fish growth and body color development.

Key words *Plectropomus leopardus*; Pigment; Body color; Spirulina powder; Astaxanthin