

海水青鲮仔稚幼鱼发育的研究*

Study on the Development of Larval, Juvenile and Young Fish of *Oryzias melastigma*

于道德^{1,3}, 王友红², 刘莹^{1,3}, 官曙光^{1,3}, 于超勇^{1,3}, 宋静静^{1,3}, 刘洪军^{1,3**}
YU Daode^{1,3}, WANG Youhong², LIU Ying^{1,3}, GUAN Shuguang^{1,3},
YU Chaoyong^{1,3}, SONG Jingjing^{1,3}, LIU Hongjun^{1,3}

(1. 山东省海洋生物研究院, 山东青岛 266104; 2. 青岛农业大学, 山东青岛 266109; 3. 山东省海水健康养殖工程技术研究中心, 山东青岛 266104)

(1. Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao, Shandong, 266104, China; 2. Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong, 266109, China; 3. Healthy Mariculture Engineering Research Center of Shandong Province, Qingdao, Shandong, 266104, China)

摘要:【目的】系统掌握海水青鲮 *Oryzias melastigma* 早期发育各个阶段的形态特征。【方法】对海水青鲮仔稚幼鱼的生长发育进行连续观察和研究。【结果】在水温 26~28℃, 盐度 27‰, 14 h 光照: 10 h 黑暗的条件下, 海水青鲮 0 日龄胸鳍发达、眼球浓黑、脊索末端向上弯曲、尾鳍条出现; 1 日龄鳔充气, 并开口摄食; 3 日龄卵黄吸收完毕; 4 日龄油球消失, 进入后期仔鱼阶段; 8 日龄胸鳍、臀鳍条出现; 10 日龄背鳍出现; 25 日龄各鳍发育, 进入稚鱼期; 35 日龄各个鳍条发育完善, 身体布满鳞片, 形态与成鱼相似, 进入幼鱼期。【结论】根据卵黄囊、油球的吸收, 鳍的发育以及鳞片等发育特征将海水青鲮早期发育阶段划分为仔鱼期、稚鱼期、幼鱼期。海水青鲮各鳍的发育时序为胸鳍、尾鳍、臀鳍、背鳍、腹鳍。

关键词: 海水青鲮 仔稚幼鱼 发育

中图分类号: S917.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2017)04-0250-11

Abstract:【Objective】To systematically master the morphological characteristics of *Oryzias melastigma* at various stages of early development.【Methods】The growth and development of the larval and juvenile fish of *Oryzias melastigma* were continuously observed and studied.【Results】Under the condition of water temperature of 26—28℃, salinity of 27‰, light of 14 h and darkness of 10 h, 0 d old *Oryzias melastigma* had complete pectoral fin, the eyeballs were dark, the end of tail bent upward, and the ray of caudal fin appeared. On the 1 d after hatch (DAH), the swim bladder inflated and opened mouth to eat food. The yolk sac was absorbed on the 3 DAH and oil globule disappeared on the 4 DAH. The fin ray of pectoral and anal and the bud of pectoral appeared at 8 DAH; the ventral fin completely appeared, it meant the beginning of juvenile stage on the 25 DAH. With all the fin rays completely developed, the body was covered with scales, the fish turned into young fish in the 35 DAH and the shape was similar to that of the adult fish.

【Conclusion】According to the absorption of yolk sac, oil globule, the growth of the fins and scales to the developmental characteristics of *Oryzias melastigma*, early development phase is divided into larval stage, juvenile stage and young stage. The development sequence of each is fin pectoral fin, caudal fin, anal fin, dorsal and ventral fin.

Key words: *Oryzias melastigma*, larval and juvenile fish, development

收稿日期: 2017-04-14

作者简介: 于道德(1978—), 男, 副研究员, 主要从事海洋生物学研究。

* 山东省农业良种工程“优质抗病速生鱼类新品种选良-速生耐温工厂化适养品种-大菱鲆选育”和山东省现代农业产业技术体系鱼类产业创新团队项目(SDAIT-12-02)资助。

** 通信作者: 刘洪军(1964—), 男, 研究员, 主要从事海洋生物学研究, E-mail: hongjunl@126.com。

0 引言

【研究意义】海水青鲷 *Oryzias melastigma* 隶属辐鳍亚纲 Actinopterygii 颌针鱼目 Beloniformes 怪颌鲷科 Adrianichthyidae 青鲷属 *Oryzias*, 是一种小型的热带鱼种。海水青鲷作为代表性的海洋模式生物鱼种,具有性别易区分、世代周期短、产卵率高、盐度适应范围广、易于大规模繁殖等特点,现被广泛应用于生态和毒理方面的研究^[1-4]。充分了解海水青鲷早期发育过程,可为生态毒理研究提供生物学基础。**【前人研究进展】**关于鱼类的早期发育,国内外学者已经对不同鱼类的早期形态学作了相关报道。方家仲等^[5]、洪孝友等^[6]结合仔稚鱼自身规律的特点,分别对大黄鱼 *Larimichthys crocea* 和美洲鲷 *Alosa sapidissima* 提出了早期划分规律。李艳华等^[7]对达氏鳢 *Huso dauricus* 胚后发育的报道,单秀娟等^[8]对鳊鱼 *Miichthys miiuy* 仔稚鱼发育的研究,都以不同的观点阐述了形态发育对早期环境适应的意义。雷霖霖等^[9]通过研究大菱鲆 *Scophthalmus maximus*, 马爱军等^[10]通过研究半滑舌鳎 *Cynoglossus semilaevis*, 分别阐述了鲆鲽类早期发育及其变态过程。于道德等^[11]研究了黑棘鲷 *Acanthopagrus schlegelii* 等色素细胞发育及体色变化。Mendiola 等^[12]研究发现大西洋鲷 *Scomber scombrus* 早期发育过程中,无论是内源营养时期还是外源营养时期,其发育和生长均受温度影响显著。Kupren 等^[13]报道了江鲈 *Lota lota* 的早期发育以及外部形态学参数的异速生长,还依据外部形态学特征对早期仔稚鱼进行划分。**【本研究切入点】**关于海水青鲷早期发育的报道极为鲜见,仅有陈漪等^[14]对海水青鲷早期胚胎发育的研究报道,以及作者先前对海水青鲷胚胎发育进行的研究。**【拟解决的关键问题】**详细研究海水青鲷从孵化期到幼鱼期外部形态特征发育,为海水青鲷能够被广泛应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 亲鱼来源及培养

2016年1月9日,于山东省海洋生物研究院人工气候室玻璃水缸,培育30日龄海水青鲷亲鱼70条。水温26~28℃,盐度27‰,14h:10h

的光照:黑暗。早晚2次投喂卤虫无节幼体,每天吸底换水一次,排除粪便残饵,换水量1/2,以此条件培育至产卵期。

1.1.2 仔稚鱼来源及培养

收集自然受精卵,在水温26~28℃,盐度27‰,14h:10h的光照:黑暗,经过13~14d孵化,收集孵化的仔鱼,于500mL的烧杯进行培养。每个烧杯仔鱼数不超过15条,微充氧前期投喂经小球藻强化的褶皱臂尾轮虫,轮虫密度不低于10个/mL,从第10天投喂褶皱臂尾轮虫+卤虫无节幼体,5d后停止投喂轮虫。每天吸底换水,保证水质清洁。

1.2 观察方法

为了能够详细地观察,实验设定从0~4d每天取样一次,5~12d每2d取样一次,15~40d每5d取样一次,每次从同一批仔鱼不同烧杯中平均取样10尾。使用Ms222(0.05mg/mL)将仔鱼麻醉,于奥林巴斯SZ61解剖镜观察仔鱼外部形态,并进行生物学测量(全长、体长、体高、吻长、眼径),求其平均值,记录仔鱼发育各个时期的形态特征。使用CCD图像传感器和SONYH-50相机拍照,DN-2软件处理显微图像,并通过Excel 2003进行数据统计。

2 结果与分析

2.1 发育分期

根据卵黄囊、油球的吸收,鳍的发育,以及鳞片等发育特征将海水青鲷早期发育阶段划分为仔鱼期、稚鱼期、幼鱼期。仔鱼期又分为早期仔鱼(卵黄囊仔鱼)和后期仔鱼两个阶段。各发育阶段的形态学参数见表1。

2.2 发育特征

2.2.1 前期仔鱼

0日龄(初孵仔鱼):卵黄囊长径0.78mm,短径0.64mm,油球直径0.23mm。刚孵化的仔鱼具有两种形态:一种鱼体透明,侧卧水底;另一种破膜孵化的瞬间,便旋转式地快速游动到水面,间歇性地运动。仔鱼眼球浓黑,卵黄囊椭圆形,油球位于卵黄囊底部中间部位,卵黄表面血液循环清晰。心脏位于头部下方,清晰可见,血液微红色。仔鱼头部紧贴卵黄囊。此时仔鱼上下颌紧闭,但也有部分仔鱼已开口,上下颌微微颤动;肠道直线型,紧贴腹腔顶部,肛门未开通。鳃弓明显,共3对;耳石清晰,左右对称,

表1 海水青鲮仔、稚、幼鱼形态学参数

Table 1 Morphological parameters on larval, juvenile and young fish of *Oryzias melastigma*

发育阶段 Stage of development	日龄 Day (d)	全长 Total length (mm)	体长 Body length (mm)	体高 Body height (mm)	吻长 Snout length (mm)	眼径 Diameter of eye (mm)	尾鳍长度 Length of tail fin (mm)
前期仔鱼 Prelarval fish	0	3.29	2.97	0.28	0.12	0.33	0.38
	1	3.78	3.32	0.36	0.18	0.33	0.46
	2	4.26	3.70	0.48	0.24	0.38	0.56
	3	4.41	3.81	0.54	0.24	0.38	0.60
后期仔鱼 Postlarval fish	4	4.72	4.11	0.74	0.30	0.38	0.61
	6	4.70	3.98	0.65	0.30	0.38	0.62
	8	5.84	4.96	1.00	0.32	0.48	0.94
	10	6.94	5.64	1.20	0.42	0.52	1.16
	12	7.06	5.74	1.22	0.42	0.56	1.32
	15	7.52	6.20	1.28	0.48	0.56	1.44
	20	8.65	6.75	1.55	0.58	0.65	1.71
稚鱼 Juvenile fish	25	10.8	8.52	2.11	0.74	0.82	2.28
	30	12.8	10.1	2.55	0.80	0.93	2.55
幼鱼 Young fish	35	13.25	10.30	2.70	0.95	1.00	3.18

每侧2个;体节26对。胸鳍发达,呈扇形,没有明显的鳍条,呈透明的薄膜状,不断地摆动。在16~17体节处,背鳍膜连接尾部延伸至肛门处,鳍膜上有放射线丝;尾鳍呈圆弧形,鳍条明显,约4~6条,透明且有少许的黑色素点分布在鳍条处,鳍膜边缘平滑。脊索直线型,在尾部向上弯曲。在头顶部、腹腔底部以及顶部分布有少量的黑褐色色素斑点,脊索两侧线以及背线、腹线分布有黑色素点,呈线型,其中腹线有两条黑色素线,呈“虚线”状。(图1-1A~B)。

1日龄:油球直径0.16 mm。胸鳍增大,不断颤动,仔鱼在水中或是停留在水层或是紧贴烧杯壁,偶尔间歇运动,或是巡游搜索饵料。头部略微抬起,已开口,上下颌不住颤动张合,鳃丝红色,卵黄囊透明,肠道隆起弯曲,开始蠕动,个别仔鱼开始摄食,进入混合营养阶段,肛门未开通,内脏团清晰,鳔已充气。背线、侧线明显,呈微黄色。尾部弯曲的脊索处,两块尾下骨出现,尾鳍条明显,4~6条分别附着在尾下骨上,中间2~3条鳍条开始分为2~3节;腹部的鳍褶变厚,肛门前鳍褶增大;腹部、头顶部黑色素增多,肌节数没有变化(图1-2A~B)。

2日龄:油球直径0.14 mm。仔鱼头部抬起,上下颌不停地闭合,肠道横向右侧弯曲,缓慢蠕动,肠道充满食物,肛门开通。由于肠道充满食物,以及腹部黄色素的扩散,腹部开始浑浊,不透明。腹部的星

芒状黑色素细胞继续扩散,头顶部的色素点变大,成“菊花”状。黑褐色色素在腹腔顶部、眼球后部出现,在光亮处,透明的仔鱼的躯干部呈现荧光蓝色。仔鱼尾下骨明显,尾鳍条数变为6~7条,中间部位的4~5条分为2~4节;腹部鳍褶射线消失(图1-3)。

3日龄:卵黄囊消失殆尽,部分仔鱼还残留很小的油球。由于黄色素的扩散以及肠胃中的食物,已经无法清楚地观察腹腔内部,肛门开通,腹部上侧黑褐色色素斑点进一步增多变大。仔鱼游动迅速,并停留在不同的水层寻找食物。瞳孔颜色加深明显,鳃盖处有黑色素点出现。臀鳍膜进一步加厚,仔鱼尾鳍条数增加至7~8条,中间4~6条分为2~4节;肛门前鳍褶变大,趋于完善。

2.2.2 后期仔鱼

4日龄:卵黄囊油球全部消耗,仔鱼从混合营养转向外源营养。仔鱼肌节数27节,没有变化;头顶部、眼球后方色素斑变大,腹腔两侧黑色素点增多。仔鱼游动迅速,在不同的水层寻找饵料。尾鳍条数为7~8条,中间5条分为2~4节(图1-4)。

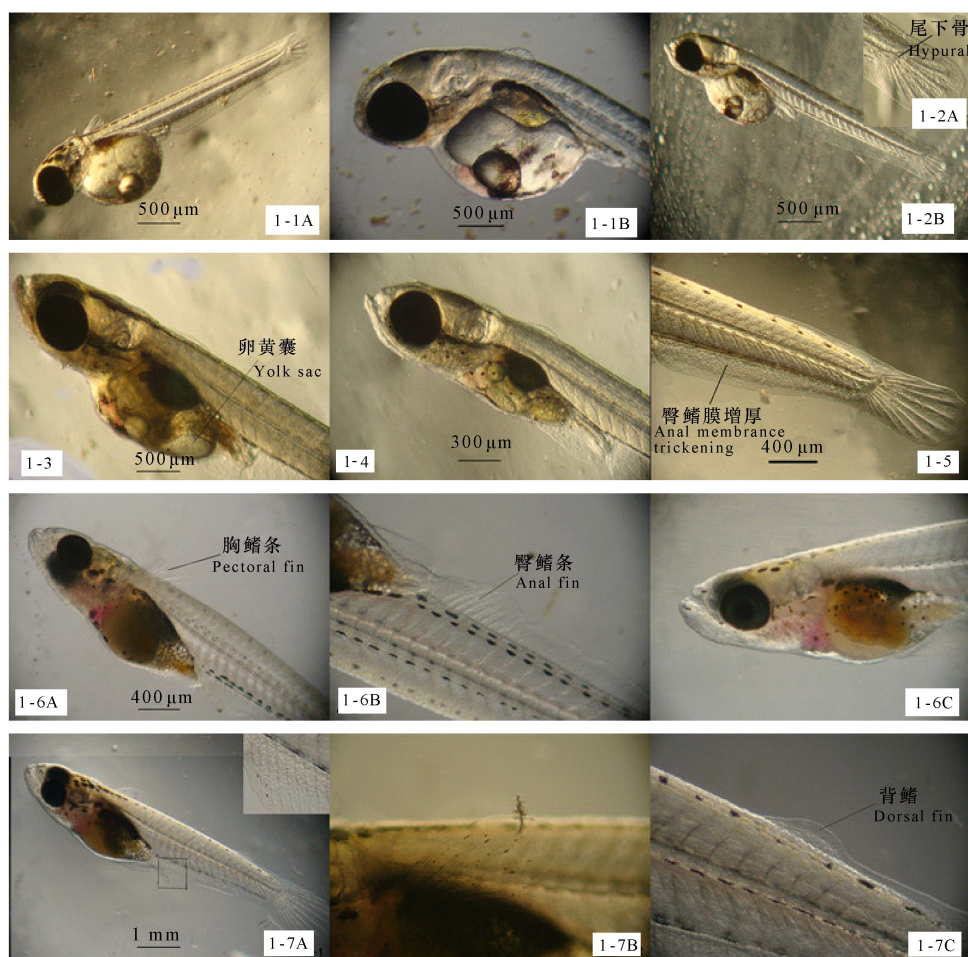
6日龄:体长有所减小,背部的黑褐色色素斑点增大,腹腔两侧黑色素点不断地增多。仔鱼的躯干部透明,光亮处呈现“荧光蓝绿色”,部分仔鱼个体的前9肌节处,呈现“荧光黄”色。仔鱼尾鳍条数增至9~10条,中间6~7条分为2~5节;背部的鳍膜逐渐

消退,腹部鳍褶增厚,靠近肛门处的鳍褶逐渐加宽(图 1-5)。

8 日龄:体长增加,体节不变。鳃盖处有黑色素点出现,耳腔与鳃弓之间的两片黑褐色色素斑颜色加深;头顶部的黑褐色斑点变大,将要连成一片;腹腔底部的色素斑点有所减少,腹线、背线处的色素点变大,侧线处的斑点变小。在眼球后下方围眶骨出现 5~6 个小泡。胸鳍长度没有太大变化,鳍条出现,不明显;尾鳍不断地延长,鳍条增至 10~12 条,中间 6~8 条分为 3~6 节。背部鳍膜逐渐消退,在 21~22 肌节处,背鳍褶略有凸起,背鳍原基形成。腹部的鳍褶不断地增厚,靠近肛门处鳍褶基部,出现了 6~7 条臀鳍条。此时仔鱼游动能力变强,能够在水

中上下巡游,搜索食物。(图 1-6A~C)。

10 日龄:胸鳍条明显且增多,约 4~5 条,支鳍骨处有黑色素点出现;尾鳍进一步拉长,鳍条增至 12~15 条,中间 9 条分节,最多分为 8 节。臀鳍条出现约 9~13 条;在 20~22 肌节处,背鳍原基出现,只有 1 个。腹腔两侧的黑色素继续增加;头顶部、腹腔底部的色素斑点逐渐消退;头顶部、腹腔底部的色素斑点逐渐消退;头部和腹部的黄色素细胞不断增加;上下颌边缘出现黑色素点,上下对称。眼球后下方围眶骨处的小泡数量增多,并且向着眼球的前缘生长。臀鳍与尾鳍之间的鳍膜未消退。背鳍芽明显,背鳍与尾鳍之间的鳍褶也未消退(图 1-7A~C)。



1-1A、1-1B:初孵仔鱼;1-2A、1-2B:1 日龄仔鱼及尾部;1-3、2 日龄仔鱼;1-4、4 日龄仔鱼;1-5:6 日龄仔鱼;1-6A、1-6B、1-6C:8 日龄仔鱼的胸鳍、臀鳍、头部;1-7A、1-7B、1-7C:10 日龄仔鱼、胸鳍、背鳍

1-1A、1-1B: Newly hatched larval; 1-2A、1-2B: 1 d hatched larval and caudal fin; 1-3: 2 d hatched larval; 1-4: 4 d hatched larval; 1-5: 6 d hatched larval; 1-6A、1-6B、1-6C: Pectoral fin, anal fin and head of 8 d after hatched; 1-7A、1-7B、1-7C: Pectoral fin, dorsal fin and body of 10 d hatched larval

图 1 0~10 日龄仔、稚、幼鱼发育过程

Fig. 1 The development process of larval, juvenile, and young fish of 0 to 10 d after hatched

12日龄:胸鳍长度没有增加,但是胸鳍条增至8条,中间5~6条分为2~4节;臀鳍的宽度不断增加,臀鳍增至14~17条;尾鳍拉长,鳍条增至12~15条,中间鳍条最多分为8节;背鳍变大,背鳍膜消退至尾柄处。头、腹部的黄色素细胞增加;上下颌左右两侧的黑色素点增大,形成“雪花”状;腹腔底部仅剩心脏处的两片黑色素斑;眼球后下方的小泡变大,此时期鳃丝微红色,明显可见(图2-1)。

15日龄:胸鳍的长度以及鳍条数没有明显的变化,臀鳍条数增至15~17条,尾鳍的长度进一步增加,鳍条数、节数并未增加;黑色素在臀鳍与尾鳍膜出现。背鳍增长不明显,鱼尾鳍间的鳍褶逐渐消失。眼球下侧的围眶骨日渐凸起,眼球周围的小泡变多;上下颌黑色素点变大;向上弯曲的尾椎分节融合成为尾下骨,此时尾下骨垂直于脊索。胸鳍长度相对于12日龄时无变化;尾下骨垂直于脊索,背鳍与尾鳍之间的鳍膜变低(图2-2A~E)。

20日龄:仔鱼适应了卤虫无节幼体,生长迅速,长度、宽度增加明显。胸鳍长度增加明显,分化的胸鳍条数增加至10条,最多分节为8节;仔鱼背鳍与尾鳍之间的鳍褶消退,背鳍完全分化出来,尾鳍条数增加至14~17条,最多的分节数为10节,尾鳍基部和边缘出现黑色素,并不断地扩大;臀鳍条增至17~19条,臀鳍与尾鳍中间残留部分鳍褶,臀鳍的黑色素点不断扩散增大,黄色素在靠近肛门的臀鳍条上不断地增多;在腹腔的后部,靠近肛门处,腹鳍已出现。腹部的黑色素逐渐密集增加,彩虹色素在黑色素区的下部也逐渐变多;头部的黑色素逐渐消退,取而代之的黄色素逐渐增加。耳石清晰,直径变大为0.07 mm。至此时期除了臀鳍与尾鳍间的鳍褶未完全退化,仔鱼所有的鳍均已发育、分化,标志仔鱼期已结束,接下来将进入稚鱼期(图2-3)。

2.2.3 稚鱼期

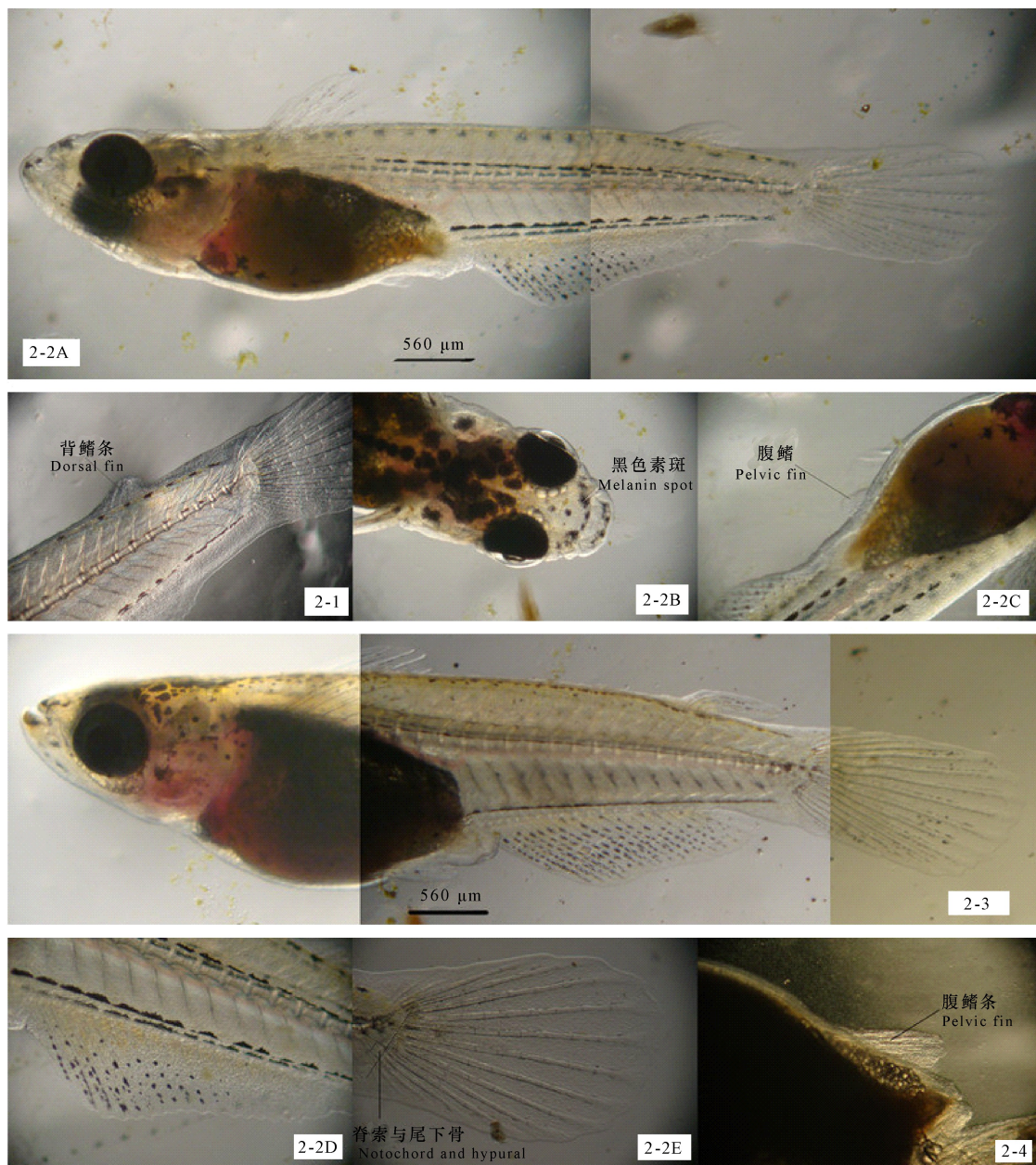
25日龄:仔鱼各个鳍逐渐发育完善,稚鱼快速游泳,能够更快地寻找食物。胸鳍条数增至9条,基部肩带处有黑色素点分布;尾鳍条数为18~19条,分为11节,尾鳍膜透明,在尾鳍膜之间的黑色素点逐渐向尾下骨处变为黑色素斑,面积逐渐变大,臀鳍条数为19条,分2~7节,黑色素点由臀鳍的边缘向基部增多且变大,红黄色素在“锯齿状”的边缘处出现,靠近肛门的臀鳍条中黄色素分布鳍条不断增加;背鳍条数为5条,有黑色素丝分布于鳍条两侧;腹鳍

变化明显,出现鳍条5条。腹部两侧的黑色素继续增加,头顶部黑色素也在生长;靠近肛门处的臀鳍条出现黄色素点,上下颌出现红褐色色素,并且色素点不断扩大。仔鱼躯体两侧有圆鳞出现,鳞片花纹螺旋,规律排布(图2-4,3-1)。

30日龄:胸鳍条数为11条,中间9条分节,每个鳍条处、鳍基部有少量的黑色素丝;尾鳍条18~20条,分14节,此时最重要的特征即尾鳍中间6条鳍条开始分枝,鳍条间有鳍膜连接,有大量的黑色素分布,由鳍的边缘到基部,黑色素由“雪花”状到黑色素点模式分布;背鳍、臀鳍的支鳍骨较明显,臀鳍条数为19~21条,靠近肛门的几条黄色素、黑色素分布模式与尾鳍色素分布相似,靠近尾鳍的两鳍条开始分枝,前7条鳍条出现黄色素;背鳍7条,第1条与其他分离,较短,鳍条上分布黑色素点;腹鳍条数为5条,分5节,同样有少量的黑色素丝分布于鳍条之上。头顶部的黑色素与背侧线连接,成“三角形”色素斑;上下颌有红色色素斑出现,原有的黑色素扩散,形成雪花状;整个尾部依旧透明,强光处,整体呈现荧光蓝色,背部两侧有黑色素点出现,脊索两侧黄色素分布明显。仔鱼外形已接近成鱼,各个鳍已发育完善,仔鱼游动迅速,摄食、躲避敌害强(图3-2A~C)。

2.2.4 幼鱼期

35日龄:仔鱼各个鳍条发育完善,鱼体披鳞,雌雄分化明显。胸鳍条数为9~10条,中间8~9条分节,最多分为8~9节;臀鳍条数为18~19条,1~2条分枝,最多分为9节;尾鳍薄而透明,分布黑黄色素点,鳍条有18~20条;背鳍鳍条7条;腹鳍较小,有5~6条鳍条。尾鳍、臀鳍黑色素似“雪花”状,在鳍膜之间分布范围较广;臀鳍的前6~7鳍条处以及边缘处,黑色素分布明显,且在背鳍、臀鳍边缘有红色色素出现。背鳍和腹鳍主要分布黄色素和黑色素丝,胸鳍主要是鳍条处有黑色素丝分布。鱼体的头部以黄色素和红色素为主,躯干部以黄色素为主,体表荧光蓝色,依然为透明状态。腹部表面完全黑色,鳃透明隐约可见;头盖骨凸起,分布有几十个大小不一的黑色素点;上下颌呈黄色,边缘分布25~30个大小不一的黑色素点;背侧线的黑色素点不再呈直线,而是零星分布于背面,鱼体形态近似于成鱼(图3-3A~E)。

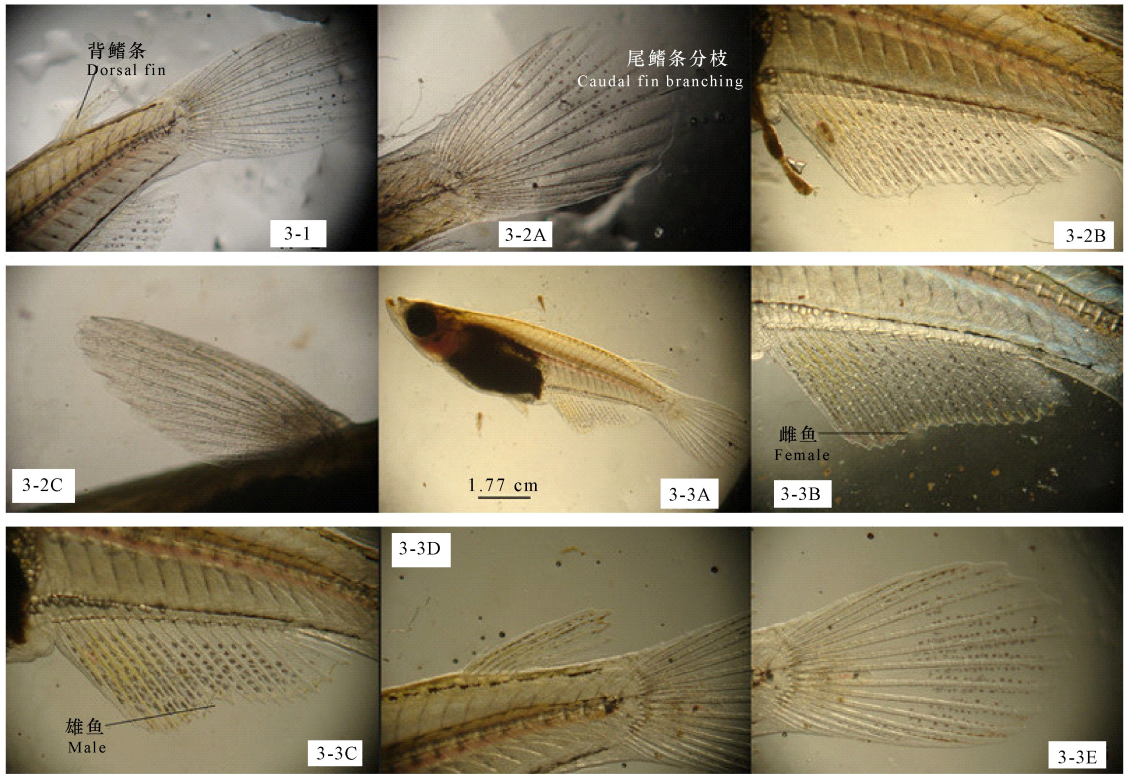


2-1;12 日龄仔鱼;2-2A,2-2B,2-2C,2-2D,2-2E:15 日龄仔鱼、头部、腹鳍、臀鳍和尾鳍;2-3:20 日龄仔鱼;2-4:25 日龄仔鱼的腹鳍、背鳍和尾鳍

2-1;12 d hatched larval;2-2A,2-2B,2-2C,2-2D,2-2E:The head,pelvic fin,anal fin and caudal fin of 15 d hatched larval;2-3;20 d hatched larval;2-4: Pelvic fin,dorsal fin and caudal fin of 25 d hatched larval

图 2 12~25 日龄仔、稚、幼鱼发育过程

Fig. 2 The development process of larval,juvenile,and young fish of 12 to 25 d after hatching



3-1: 25日龄仔鱼背鳍、臀鳍; 3-2A、3-2B、3-2C: 30日龄仔鱼尾鳍、臀鳍、背鳍; 3-3A、3-3B、3-3C、3-3D、3-3E: 35日龄仔鱼以及雌鱼臀鳍、雄鱼臀鳍、背鳍、尾鳍

3-1: Dorsal fin and anal fin of 25 d hatched; 3-2A, 3-2B, 3-2C: Caudal fin, anal fin and dorsal fin of 30 d hatched larval; 3-3A, 3-3B, 3-3C, 3-3D, 3-3E: 35 d hatched larval, the anal fin of ♀ and ♂, dorsal fin, caudal fin

图3 25~35日龄仔、稚、幼鱼发育过程

Fig. 3 The development process of larval, juvenile, and young fish of 25 to 35 d after hatched

3 讨论

3.1 海水青鲮早期发育阶段的划分

为了能更好地了解不同鱼类早期仔稚发育的过程,何永亮等^[15]根据卵黄囊、油球有无,尾椎弯曲、鳍和鳞片等发育特征将卵形鲳鲹 *Trachinotus ovatus* 早期发育阶段划分为仔鱼期(卵黄囊仔鱼、前弯曲仔鱼、弯曲仔鱼、后弯曲仔鱼)、稚鱼期、幼鱼期。施兆鸿等^[16]把消化器官的发生发育也作为仔稚鱼划分的标志,根据消化系统对内、外营养的吸收,将银鲳 *Pampus argenteus* 划分为前期仔鱼期、后期仔鱼期、稚鱼期和幼鱼期。周庆杰等^[17]依据卵黄囊的变化、长鳍棘的生长与收缩、鳞片的出现,将七带石斑 *Epinephelus septemfasciatus* 划分为仔鱼期(前期仔鱼、后期仔鱼)、稚鱼期、幼鱼期,并且将仔鱼长鳍棘绝对长度最大作为后期仔鱼结束的标志。秦志清等^[18]根据右眼的移位、冠状幼鳍的消长以及卵黄囊和体色的变化,将漠斑牙鲆 *Paralichthys lethostigma* 的胚后发育划分为仔鱼期(前期仔鱼和

后期仔鱼)、稚鱼期和幼鱼期。Neira等^[19]根据脊索的弯曲、头棘的顺序、鳍的形成来划分谐鱼 *Emmelichthys nitidus* 卵黄囊后期的仔鱼。本研究参考 Kendall等^[20]、殷名称^[21]以及上述研究,根据卵黄囊、油球的吸收,鳍的发育,以及鳞片等发育特征将海水青鲮早期发育阶段划分为仔鱼期、稚鱼期、幼鱼期。仔鱼期又以卵黄囊的吸收为界线,分为早期仔鱼(卵黄囊仔鱼)和后期仔鱼两个阶段。以各鳍发育完成,鳞片出现,作为进入稚鱼期的标志。鱼体全身覆盖鳞片,体型体色接近成鱼作为幼鱼期的标志。

3.2 鳍的发育顺序

鳍是幼鱼发育到一定阶段,按照一定的次序,通过鳍褶和鳍基分化,逐渐发育而成。鳍的发育是鱼类生活史的一部分,它与栖息条件、活动、食性和生活习性等有密切的关系^[22]。海水青鲮的胸鳍、尾鳍形成于胚胎发育时期,至仔鱼孵化时期尾鳍条数为4~6条,有黑色素点分布。臀部鳍褶伴随着尾鳍膜的增长,逐渐出现变大,孵化后8日龄臀鳍条出现,

并且逐渐变宽。背鳍的发育起始于8日龄,紧随着腹鳍原基15日龄开始发育,20日龄观察明显。海水青鲷各鳍开始发育和分化的顺序是胸鳍、尾鳍、臀鳍、背鳍、腹鳍。

胸鳍的主要功能是运动、转向和维持身体平衡,大多数鱼类的胸鳍都最先发育:青龙斑 *Epinephelus coioides* ♀ × *E. lanceolatus* ♂^[23]、梭鱼 *Liza haematocheila*^[24] 鳍的发育顺序为胸鳍、尾鳍、腹鳍、背鳍、臀鳍;日本鬼鲉 *Inimicus japonicus*^[25] 鳍的发育顺次为胸鳍、尾鳍、背鳍、腹鳍、臀鳍;大黄鱼^[5]、鲷鱼^[26] 鳍的发育顺序为胸鳍、尾鳍、臀鳍、背鳍、腹鳍,与海水青鲷鳍发育顺序相同;卵形鲳鲹 *Trachinotus ovatus*^[27]、条石鲷^[22] 鳍的发育顺序为胸鳍、尾鳍、背鳍、臀鳍、腹鳍;但是不同种属的鱼类,背鳍、臀鳍、腹鳍的发育顺序各不相同。有的种类尾鳍首先发育,如乌鳢 *Canna argus*^[28] 各鳍的发育顺序为尾鳍、胸鳍、背鳍、臀鳍、腹鳍。无论各鳍的发育顺序如何,鱼类鳍的发育与营养的转换有密不可分的关系,海水青鲷孵化后就开口摄食,初孵仔鱼的胸鳍和尾鳍相对比较完善,为内源营养向外源营养的转化提供了基础的保证。

臀鳍位于鱼体后下方的肛门与尾鳍之间,是维持鱼体直立和平衡的器官^[29]。而海水青鲷的臀鳍不仅具有一般鱼类的功能,对于雄性海水青鲷,臀鳍还是独特的交配器:达到性成熟的海水青鲷,雄鱼不断地用臀鳍包围雌鱼的泄殖腔,给雌鱼一定的刺激,雌鱼会产不同数量的卵,悬挂于泄殖腔处,雄鱼迅速用臀鳍包围泄殖腔以及悬挂的卵,排出精液,供卵子受精,受精过程大约会持续5 min左右,之后,雌鱼不再让雄鱼靠近。在没有外界干扰的情况下,这种以臀鳍作为交接器的方式,可提高受精率。海水青鲷8日龄臀鳍条出现,不断增多,靠近肛门处的臀鳍不断加宽;35日龄,臀鳍的形状分化明显,可以根据臀鳍辨别雌雄:雌鱼的臀鳍边缘呈“锯齿状”,靠近肛门处较宽,规则的依次向尾部倾斜;雄鱼的臀鳍由于特化为雄性交接器,边缘也呈现“锯齿状”,但是靠近肛门处的部分鳍条发育相对较长,不规格的依次向尾部倾斜(图3-3B~C),这也是鲷形目鱼类独有的特征^[29]。

3.3 海水青鲷仔稚鱼发育的特征

海水青鲷初孵仔鱼的眼球浓黑,胸鳍成“扇形”,尾鳍鳍条已经出现,部分仔鱼具有游动能力;尾椎也已经向上弯曲,尾下骨已形成。与其他鱼类相比较,达氏鳉^[7]孵化后胸鳍原基出现,1日龄脊索末端才

开始上翘,4日龄尾鳍条出现;鲷鱼^[8]仔鱼孵化后2日龄胸鳍芽出现,10日龄尾鳍的下半部分出现鳍条,14日龄尾下骨出现。不同鱼类的器官发育时间顺序可能由遗传机制决定,同时还受外界环境如:水温、盐度、光照等影响。各个器官的发育程度是鱼体对环境适应性的一种体现,海水青鲷具有较高的成活率,也正是各个器官发育成熟的原因。

海水青鲷初孵仔鱼孵化后有部分仔鱼已经开口,1日龄开始摄食,进入了混合营养阶段,3日龄卵黄囊消耗完毕,4日龄油球耗尽。在Farris^[30]报道的4种海洋仔鱼的早期生长率的变化中,将仔鱼的生长划分为3个阶段:初孵时的快速生长期,卵黄囊消失前后的慢速生长期及外源摄食后的稳定生长期(不能建立外源摄食的负生长期)。大龙六线鱼 *Hexagrammos otakii*^[31]、军曹鱼 *Rachycentron canadum*^[32]、北海鲱 *Clupea harengus*^[33]、泥鳅 *Misgurnus anguillicaudatus*^[34] 等多数种类的仔鱼生长均与之符合。海水青鲷初孵时生长较缓慢,卵黄囊消失前后生长较慢速,甚至出现负生长,外源营养摄食后,进入快速生长期。殷名称^[35]在研究北海鲱的报道中指出,进入摄食期后,体内存贮的营养物质和能量主要用于提高活动水平,搜索并摄取饵料,建立外源性营养关系,而暂缓生长耗能。海水青鲷过早进入摄食期,以至0~4日龄的仔鱼生长缓慢,而之后出现负增长的现象。先前学者研究也表明不能建立外源营养会出现负增长,对于本实验,由于每日孵化仔鱼数量较少,实验的仔鱼分批饲养,尽管养殖方法相同,但是产卵亲鱼不同,可能会导致孵化后仔鱼有微小差异。

外源营养的建立与仔鱼巡游模式的建立相关^[35]。海水青鲷1日龄仔鱼巡游摄食明显,在整个营养转换的过程中,几乎无个体死亡。外源营养建立后,仔鱼以摄食褶皱臂尾轮虫为主,仔鱼的生长进入增长期。发育至10日龄起,仔鱼饵料由褶皱臂尾轮虫逐渐向轮虫无节幼体转变。5日之后,仔鱼已全部摄食卤虫无节幼体,然后仔鱼再次进入快速生长期。因此,较好地了解海水青鲷仔鱼的生长规律,及时投喂仔鱼及进行饵料转换,可以保证仔鱼快速生长。

4 结论

本实验对海水青鲷卵黄囊、油球的吸收情况,鳍的发育时序,以及鳞片的发育特征等进行了系统的观察与综合分析,将海水青鲷早期发育阶段划分为

仔鱼期、稚鱼期、幼鱼期。海水青鲮各个鳍的发育时序为胸鳍、尾鳍、臀鳍、背鳍、腹鳍。本研究详细阐述了海水青鲮从孵化期到幼鱼期外部形态特征发育,为丰富海水青鲮的早期发育史奠定了基础。

参考文献:

- [1] 王晓杰,肖潇,李超,等.海洋酸化对海水青鲮胚胎骨骼发育的影响[J].海洋学报,2015,37(12):116-122.
WANG X J, XIAO X, LI C, et al. Impact of ocean acidification on skeletal development in embryonic marine medaka[J]. Haiyang Xuebao, 2015, 37(12): 116-122.
- [2] 穆景利,王莹,王新红,等. Cd^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Cr^{6+} 和 Pb^{2+} 对黑点青鲮(*Oryzias melastigma*)早期生活阶段的毒性效应研究[J].生态毒理学报,2011,6(4):252-360.
MU J L, WANG Y, WANG X H, et al. Toxic effects of cadmium, mercury, chromium and lead on the early life stage of marine medaka (*Oryzias melastigma*) [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2011, 6(4): 252-360.
- [3] 王赛男,刘春艳,穆景利,等.不同分散剂对海水青鲮早期发育毒性影响的比较研究[J].海洋环境科学,2013,32(6):801-805.
WANG S N, LIU C Y, MU J L, et al. Comparative study on the toxicity of different dispersants to the early development of marine medaka (*Oryzias melastigma*) [J]. Marine Environmental Science, 2013, 32(6): 801-805.
- [4] 张灵.鱼类毒理蛋白质组学研究进展:以海洋青鲮鱼和斑马鱼为例[J].海洋环境科学,2015,34(4):616-621.
ZHANG L. Research progress on toxicoproteomics in fish: Using marine medaka and zebrafish as models[J]. Marine Environmental Science, 2015, 34(4): 616-621.
- [5] 方家仲,褚茂兵,肖勤,等.大黄鱼早期发育的形态学研究[J].海洋科学,2003,27(6):1-6.
FANG J Z, CHU M B, XIAO Q, et al. Morphological studies on the early development of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* (Richardson)[J]. Marine Sciences, 2003, 27(6): 1-6.
- [6] 洪孝友,朱新平,陈昆慈,等.美洲鲟胚胎及仔稚鱼的发育[J].水生生物学报,2011,35(1):153-160.
HONG X Y, ZHU X P, CHEN K C, et al. Study on the development of the embryo and larva of American shad, *Alosa sapidissima* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2011, 35(1): 153-160.
- [7] 李艳华,危起伟,王成友,等.达氏鳇胚后发育的形态观察[J].中国水产科学,2013,20(3):585-591.
LI Y H, WEI Q W, WANG C Y, et al. Morphological observation of postembryonic development in Kaluga, *Huso dauricus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(3): 585-591.
- [8] 单秀娟,窦硕增.鳊鱼(*Miichthys miiuy*)仔、稚鱼发育生长方式及其生态学意义[J].海洋与湖沼,2009,40(6):714-719.
SHAN X J, DOU S Z. Allometric growth of croaker *Miichthys miiuy* larvae and juveniles and its ecological implication [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2009, 40(6): 714-719.
- [9] 雷霖霖,马爱军,刘新富,等.大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)胚胎及仔稚幼鱼发育研究[J].海洋与湖沼,2003,34(1):9-18.
LEI J L, MA A J, LIU X F, et al. Study on the development of embryo, larval and juvenile of turbot *Scophthalmus maximus* L. [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2003, 34(1): 9-18.
- [10] 马爱军,柳学周,徐永江,等.半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)早期发育阶段的摄食特性及生长研究[J].海洋与湖沼,2005,36(2):130-138.
MA A J, LIU X Z, XU Y J, et al. Study on feeding behavior and growth of tongue sole *Cynoglossus semilaevis* in early development stage [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2005, 36(2): 130-138.
- [11] 于道德,刘洪军,关键,等.黑棘鲷早期色素细胞发育与体色变化[J].渔业科学进展,2012,33(5):1-7.
YU D D, LIU H J, GUAN J, et al. Early ontogeny of chromatophores and body color changes of *Acanthopagrus schlegelii* [J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(5): 1-7.
- [12] MENDIOLA D, ALVAREZ P, COTANO U, et al. Early development and growth of the laboratory reared north - east Atlantic mackerel *Scomber scombrus* L. [J]. Journal of Fish Biology, 2007, 70(3):911-933.
- [13] KUPREN K, TRĄBSKA I, ŻARSKI D, et al. Early development and allometric growth patterns in burbot *Lota lota* L. [J]. Aquaculture International, 2014, 22(1):29-39.
- [14] 陈漪,王晓杰,冉浩宇,等.海水模式种青鲮鱼(*Oryzias melastigma*)的胚胎发育观察[J].海洋与湖沼,2016,47(1):71-82.
CHEN Y, WANG X J, RAN H Y, et al. Developmental stages of a marine model fish - medaka *Oryzias melastigma* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(1): 71-82.
- [15] 何永亮,区又君,李加儿.卵形鲳鲹早期发育的研究[J].上海海洋大学学报,2009,18(4):428-434.
HE Y L, OU Y J, LI J E. Early development of *Trachinotus ovatus* [J]. Journal of Shanghai Ocean

- University, 2009, 18(4): 428-434.
- [16] 施兆鸿, 彭士明, 王建钢, 等. 人工养殖银鲷子代胚胎发育及仔稚幼鱼形态观察[J]. 中国水产科学, 2011, 18(2): 267-274.
- SHI Z H, PENG S M, WANG J G, et al. Observation of embryonic, larval and juvenile development in *Pampus argenteus* offspring [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(2): 267-274.
- [17] 周庆杰, 于道德, 高天翔, 等. 七带石斑鱼早期形态发育与仔稚幼鱼培育的观察研究[J]. 海洋科学, 2014, 38(12): 58-68.
- ZHOU Q J, YU D D, GAO T X, et al. Studies on the early morphological development and breeding of larval, juvenile and young fish of *Epinephelus septemfasciatus* [J]. Marine Sciences, 2014, 38(12): 58-68.
- [18] 秦志清, 林越赳, 张雅芝, 等. 漠斑牙鲆仔、稚、幼鱼的形态发育研究[J]. 台湾海峡, 2008, 27(4): 472-481.
- QIN Z Q, LIN Y J, ZHANG Y Z, et al. Study on the early development of southern flounder *Paralichthys lethostigma* [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2008, 27(4): 472-481.
- [19] NEIRA F J, KEANE J P, LYLE J M, et al. Development of eggs and larvae of *Emmelichthys nitidus* (Percoidei; Emmelichthyidae) in south-eastern Australia, including a temperature-dependent egg incubation model [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008, 79(1): 35-44.
- [20] KENDALL A W JR, AHLSTROM E H, MOSER H G. Early life history stages of fishes and their characters [M] // MOSER H G, RICHARDS W J, COHEN D M, et al. Ontogeny and systematics of fishes. Lawrence; Allen Press, 1984: 11-22.
- [21] 殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展[J]. 水产学报, 1991, 15(4): 348-358.
- YIN M C. Advances and studies on early life history of fish [J]. Journal of Fisheries of China, 1991, 15(4): 348-358.
- [22] 艾丽, 区又君, 李加儿, 等. 条石鲷早期发育阶段鳍的分化[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2010, 39(5): 517-522.
- AI L, OU Y J, LI J E, et al. Differentiation of fin during early developmental stages of the rock bream *Oplegnathus fasciatus* [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2010, 39(5): 517-522.
- [23] 吕国敏, 吴水清, 区又君, 等. 青龙斑鳍的早期胚后发育观察[J]. 南方农业学报, 2015, 46(7): 1297-1302.
- LV G M, WU S Q, OU Y J, et al. Observation on fins development of Qinglong grouper (*Epinephelus coioides* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) at postembryonic development stage [J]. Journal of Southern Agriculture, 2015, 46(7): 1297-1302.
- [24] 聂广锋, 李加儿, 区又君, 等. 梭鱼早期发育阶段体色形成与鳍的分化[J]. 动物学杂志, 2016, 51(3): 395-403.
- NIE G F, LI J E, OU Y J, et al. Body color variation and fins differentiation during early development of Mullet (*Liza haematocheila*) [J]. Chinese Journal of Zoology, 2016, 51(3): 395-403.
- [25] 崔国强, 陈阿琴, 吕为群. 日本鬼鲉脊柱和附肢骨骼的早期发育[J]. 水产学报, 2013, 37(2): 230-238.
- CUI G Q, CHEN A Q, LV W Q. Early development of the vertebral column and the appendicular skeleton in the *Inimicus japonicus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(2): 230-238.
- [26] 区又君, 李加儿, 谢菁. 鲷胚后发育过程中体表色素与鳍的变化特征[J]. 南方农业学报, 2014, 45(11): 2058-2064.
- OU Y J, LI J E, XIE J. Variation characteristics of body surface pigment and fin during postembryonic development stage of *Mugil cephalus* [J]. Journal of Southern Agriculture, 2014, 45(11): 2058-2064.
- [27] 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[J]. 热带海洋学报, 2012, 31(1): 62-66.
- OU Y J, HE Y L, LI J E, et al. Color variation and fins development during postembryonic development stage of *Trachinotus ovatus* [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2012, 31(1): 62-66.
- [28] 谢从新, 周洁, 熊传喜, 等. 乌鳢鳍的发育[J]. 华中农业大学学报, 1997, 16(4): 386-390.
- XIE C X, ZHOU J, XIONG C X, et al. Development of fins of Chinese snake-head fish *Canna argus* [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 1997, 16(4): 386-390.
- [29] 苏锦祥. 鱼类学与海水鱼类养殖[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 8.
- SU J X. Ichthyology and marine fish farming [M]. Beijing: Chinese Agriculture Publishing House, 2000: 8.
- [30] FARRIS D A. A change in the early growth rates of four larval marine fishes [J]. Limnology and Oceanography, 1959, 4(1): 29-36.
- [31] 邱丽华, 姜志强, 秦克静. 大泷六线鱼仔鱼摄食及生长的研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(3): 1-4.
- QIU L H, JIANG Z Q, QIN K J. Studies on feeding

- and growth of fat greenling during early development [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(3): 1-4.
- [32] 初庆柱, 叶富良, 宋波澜, 等. 军曹鱼仔鱼期的摄食与生长[J]. 湛江海洋大学学报, 2005, 25(3): 8-12.
CHU Q Z, YE F L, SONG B L, et al. Feeding and growth of *Rachycentron canadum* during early development[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2005, 25(3): 8-12.
- [33] 殷名称, 北海鲱卵黄囊期仔鱼的摄食能力和生长[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(6): 554-560.
YIN M C. Feeding ability and growth of the yolk - sac larvae of North Sea Herring[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1991, 22(6): 554-560.
- [34] 王有基, 陆望明, 胡梦红, 等. 人工育苗条件下泥鳅仔鱼的摄食与生长[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(5): 665-669.
WANG Y J, LU W M, HU M H, et al. Feeding and growth of *misgurnus anguillicaudatus* during early development under artificial rearing conditions[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2007, 26(5): 665-669.
- [35] 殷名称, BLAXTER J H S. 海洋鱼类仔鱼在早期发育和饥饿期的巡游速度[J]. 海洋与湖沼, 1989, 20(1): 1-9.
YIN M C, BLAXTER J H S. Cruising speeds during early development and starvation of marine fish larvae [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1989, 20(1): 1-9.

(责任编辑: 陆 雁)

(上接第 249 页 Continue from page 249)

- [13] 叶里, 黄礼琳, 孔令一, 等. 晶体弹性行为的晶体相场模拟[J]. 广西科学, 2016, 23(5): 474-477.
YE L, HUANG L L, KONG L Y, et al. Phase-field-crystal simulation for elastic behavior of crystals[J]. Guangxi Sciences, 2016, 23(5): 474-477.
- [14] WU K A, VOORHEES P W. Phase field crystal simulations of nanocrystalline grain growth in two dimensions[J]. Acta Materialia, 2012, 60(1): 407-419.
- [15] 高英俊, 罗志荣, 邓芊芊, 等. 韧性材料的微裂纹扩展与分叉的晶体相场模拟[J]. 计算物理, 2014, 31(4): 471-478.
GAO Y J, LUO Z R, DENG Q Q, et al. Phase-field-crystal modeling of microcrack propagation and branching in ductile materials[J]. Chinese Journal of Computational Physics, 2014, 31(4): 471-478.
- [16] 黄礼琳, 叶里, 胡绪志, 等. 不同晶向取向的裂纹扩展演化模拟[J]. 广西科学, 2016, 23(5): 454-458, 469.
HUANG L L, YE L, HU X Z, et al. Simulation study of crack propagation and evolution in different crystal orientations[J]. Guangxi Sciences, 2016, 23(5): 454-458, 469.
- [17] 刘瑶, 袁龙乐, 卢强华, 等. 晶体相场模拟取向角对晶界湮没过程的影响[J]. 广西科学, 2016, 23(5): 437-442.
LIU Y, YUAN L L, LU Q H, et al. Phase-field-crystal simulation of effect of different orientation angle on annihilation of grain boundary[J]. Guangxi Sciences, 2016, 23(5): 437-442.

(责任编辑: 陆 雁)