

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.17002

长江口凤鲚仔稚鱼不同发育阶段矢耳石生长

张涛¹, 王焕焕^{1,2}, 毕学娟^{1,2}, 宋超¹, 赵峰¹, 庄平^{1,2}

1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090;

2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306

摘要: 2014 年 4—8 月于凤鲚(*Coilia mystus*)的主要繁殖期在长江口采集仔稚鱼 103 尾。分析凤鲚仔稚鱼样本得出日龄范围为 5~48 d, 体长为 4.20~26.21 mm。为研究长江口凤鲚早期发育不同阶段生长, 测定了凤鲚仔稚鱼(5~48 日龄)体长随日龄的生长变化, 其变化分为 3 个阶段(5~11 日龄、12~30 日龄、31~48 日龄)。不同日龄阶段, 体长的生长速率差异性显著($P<0.05$)。耳石早期发育研究发现耳石长、耳石宽随鱼体的生长而增长, 在 17~19 日龄之后其生长速率增大约 2 倍。采用分段回归方法分析耳石长、耳石宽与日龄的关系, 发现二者异速生长的拐点均出现在 19~20 日龄, 拐点前为慢速生长, 之后为快速生长。研究发现凤鲚早期生长发育阶段的耳石形态有较为显著的改变: 卵黄囊期、前弯曲期为圆形, 弯曲期耳石长的生长大于耳石宽的生长, 耳石逐渐变成椭圆形; 耳石变成稳定形态后, 长宽比基本保持稳定。

关键词: 凤鲚; 仔稚鱼; 日龄; 早期发育; 耳石形态

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)06-1315-08

凤鲚(*Coilia mystus*)俗称凤尾鱼、烤籽鱼, 属鲱形目(Clupeiformes), 鳀科(Engraulidae), 鲈属, 主要栖息于河口及邻近水域, 中国黄渤海、东海和南海均有分布, 是长江口重要的经济鱼类^[1]。凤鲚具有洄游习性, 平时分散栖息于近海, 繁殖期间集群洄游至河口咸淡水水域产卵^[2]。由于凤鲚应激性较强, 人工繁殖较难成功, 研究其早期发育情况一般采用自然繁殖的个体。随着技术的发展成熟, 传统形态学和分子生物学相结合应用于鱼类早期个体鉴定, 不失为一种较为准确的方法^[1-7]。

耳石是鱼类早期发育中最先出现的钙化结构, 其日轮可以作为研究鱼类早期生活史的有效材料, 进而利用日轮推算日龄用以描述鱼类早期生长阶段的生长发育情况^[8-10]。学者研究认为, 耳石增长在某种程度上可能依赖于鱼体的生长, 两者之间或许存在某种相应的函数关系, 进而可以依据耳

石的增长反演鱼类生长轨迹^[10]。另外, 仔稚鱼不同发育阶段的耳石形态研究, 可以为了解其在自然条件下的耳石发育情况以及早期生活史特点提供一种方法。本研究旨在通过耳石显微结构, 了解长江口凤鲚仔稚鱼早期生长特性, 探讨耳石生长发育是否可以反映其早期不同阶段的生长发育情况, 为凤鲚早期仔稚鱼发育研究以及人工繁殖提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本实验采集时间为 2014 年 4—8 月, 在长江口水域设置 23 个调查站点(图 1)。依据《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007), 使用浮游 I 型生物网进行水平拖网, 样品于现场初步处理后用 95% 酒精保存。

收稿日期: 2017-01-04; 修订日期: 2017-03-28.

基金项目: 农业部财政专项(CJDC-2017-23); 上海市科技兴农重点攻关项目(2017-02-08-00-07-F00075); 农业部财政专项“2017 年长江口重要水生生物产卵场、索饵场调查”项目。

作者简介: 张涛(1980-), 男, 研究员, 从事鱼类生殖生理及发育生物学研究. E-mail: zhangt@ecsf.ac.cn

通信作者: 庄平, 男, 研究员. E-mail: pzhuang@ecsf.ac.cn

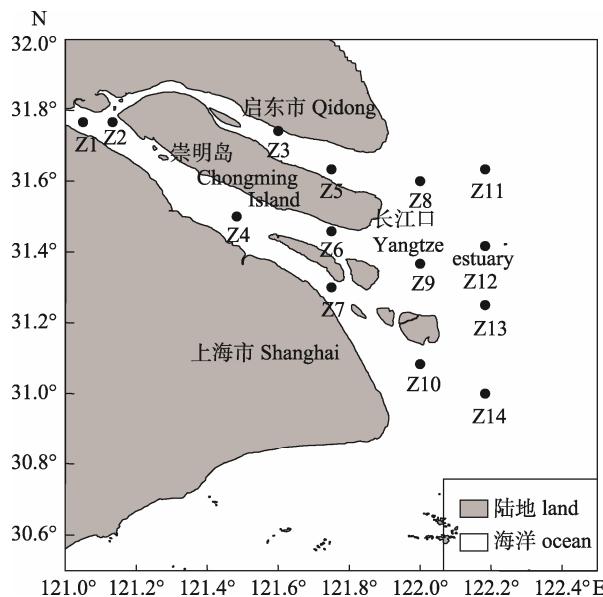


图 1 长江口凤鲚仔稚鱼采样位点(●)

Fig. 1 Sampling station (●) of *Coilia mystus* larvae and juvenile in the Yangtze estuary

1.2 形态观察和分子鉴定

用体式显微镜(OLYMPUS SZ61)对采集的仔稚鱼样品进行形态观察,拍照并初步鉴定,然后采用线粒体 16S rRNA 序列的 DNA 条形码技术对仔稚鱼进行分子学鉴定^[11-14]。

参照 Kendall^[15]分类标准将凤鲚仔稚鱼划分成 5 个阶段:卵黄囊期仔鱼(yolk-sac stage):卵黄囊吸收不完全;前弯曲仔鱼(preflexion stage):卵黄囊被彻底吸收,脊索末端未向上弯曲;弯曲期仔鱼(flexion stage):脊索末端向上弯曲,但未出现与体轴垂直的情况;后弯曲期仔鱼(postflexion stage):尾下骨后缘与体轴垂直;稚鱼期(juvenile stage):鳍条已经形成完全且出现鳞片。

1.3 耳石处理

在显微镜下取出 1 对矢耳石(之后统一称之为耳石),耳石清洗干净后备用。使用 Toup view 软件测量耳石长、耳石宽。图像形态测量数据是以像素为单位的,进行换算求得矢耳石形态度量指标的真实测量结果,本文换算后使用微米为单位。实验中使用以下参数:

耳石长(otolith length):耳石从前侧到后侧的长度(μm);

耳石宽(otolith width):耳石从背侧到腹侧的高度(μm);

耳石前侧、后侧、背侧和腹侧依据耳石在鱼体的方向命名。

耳石轮纹计数和日龄计数按毕雪娟^[16]的方法确定。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 和 SPSS 18.0 进行数据分析。对左右耳石重量进行显著性差异检验,结果表明左右耳石差异性并不显著($P>0.05$),所以统一选取左耳石进行研究。

采用非线性回归(nonlinear regression)分析体长与日龄的关系,以 R^2 为函数关系选择标准,选取 R^2 为最大值时的函数关系式作为最佳曲线模型。对体长生长速率的不同阶段进行分段拟合: $y=kx+c$,式中, x 为日龄, y 为体长, c 为截距, k 为斜率(表示该阶段的生长速率)^[13-14]。

异速生长模型(allometric growth model)以幂函数方程 $y=ax^b$ 计算,式中, a 为截距, b 为异速生长指数。如果 $b<1$,表明其生长缓慢,为慢速生长(negative allometric growth); $b=1$,表明其为等速生长模式(isometric growth); $b>1$,表明为快速生长模式(positive allometric growth)^[15]。

采用 Origin 9.0 中的分段回归拟合模型,选取相关指数 R^2 最大及残差平方和最小作为曲线拟合标准。用 SPSS 18.0 软件进行显著性检验,以 $P<0.05$ 为差异性显著。用 Origin 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 凤鲚仔稚鱼日龄以及体长

本研究采集凤鲚仔稚鱼 103 尾,体长范围为 4.20~26.21 mm,日龄范围为 5~48 d。卵黄囊期仔鱼 40 尾,体长为 4.20~7.77 mm,日龄为 5~18 d;前弯曲期仔鱼 29 尾,体长为 7.91~12.99 mm,日龄为 10~25 d;弯曲期仔鱼 15 尾,体长为 11.52~17.53 mm,日龄为 21~32 d;后弯曲期仔鱼 14 尾,体长为 18.91~24.42 mm,日龄为 30~43 d;稚鱼期 5 尾,体长为 23.14~26.21 mm,日龄为 41~48 d。不同发育阶段情况见表 1。

表1 凤鲚仔稚鱼各发育阶段的日龄和体长

Tab. 1 The daily age and body length of *Coilia mystus* larvae and juvenile at different development stages

发育阶段 development stage	样本数 sample number	日龄 daily age	体长/mm body length	
			范围 range	$\bar{x} \pm SD$
卵黄囊期仔鱼 yolk-sac stage	40	5~18	4.20~7.77	6.23 ± 0.97^a
前弯曲期仔鱼 preflexion stage	29	10~25	7.91~12.99	9.65 ± 1.48^b
弯曲期仔鱼 flexion stage	15	21~32	11.52~17.53	15.23 ± 1.57^c
后弯曲仔鱼 postflexion stage	14	30~43	18.91~24.42	21.58 ± 1.69^d
稚鱼期 juvenile stage	5	41~48	23.14~26.21	24.55 ± 1.32^e

注: 不同小写字母表示组间差异性显著($P<0.05$)。

Note: Means with different lowercase letters are significantly different at 0.05 probability level.

2.2 体长与日龄的关系

凤鲚早期发育阶段体长(L)与日龄(D)的关系可用三次函数曲线表示(图2), 关系式为 $L=-0.0001D^3+0.01D^2+0.279D+3.081$ ($R^2=0.98$)。分析可得卵黄囊期向前弯曲期转化的日龄为11日龄; 前弯曲期向弯曲期转化的日龄为19日龄; 弯曲期向后弯曲期转化的日龄为30日龄; 后弯曲期向稚鱼期转化的日龄为41日龄。采用分段回归模型拟合凤鲚仔稚鱼生长, 发现体长的生长分为3个阶段: (1)5~11日龄, 生长速率为0.55 mm/d, $L_1=0.55D+1.41$ ($R^2=0.92$), 为卵黄囊期; (2)12~30日龄, 生长速率为0.45 mm/d, $L_2=0.45D+2.80$ ($R^2=0.96$), 为前弯曲期和弯曲期; (3)31~48日龄, 生长速率为0.50 mm/d, $L_3=0.50D+2.81$ ($R^2=0.96$), 为后弯曲期和稚鱼期。

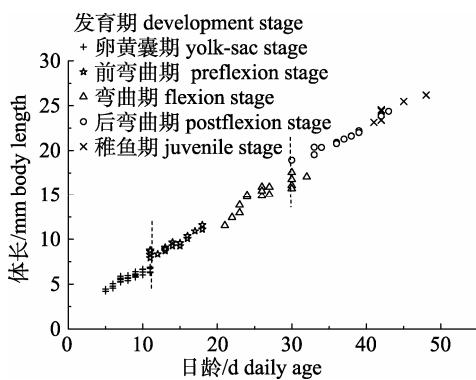


图2 凤鲚仔稚鱼体长与日龄的关系

Fig. 2 The relationship of body length and daily age of *Coilia mystus* larvae and juvenile

2.3 耳石早期生长模型

凤鲚早期仔稚鱼耳石长、宽与体长呈幂指数回归关系, 如图3所示。

耳石长从5日龄开始, 到19日龄, 表现为快速生长, $b_1=1.37$ ($P<0.05$); 相应拐点之后 $b_2=2.65$ ($P<0.05$), 亦为快速生长, 耳石长随体长的增长比例增加。

耳石宽与体长的回归关系与耳石长较为相似, 从5日龄开始, 到17日龄处, 表现为快速生长, $b_1=1.36$ ($P<0.05$); 相应拐点之后 $b_2=2.66$ ($P<0.05$), 亦为快速生长, 耳石长随体长的增长比例增加。

2.4 耳石早期生长轨迹

凤鲚早期仔稚鱼的生长轨迹可用耳石长、宽与日龄的回归关系表示, 如图4所示。

耳石长与日龄回归方程为 $y=3.01x^{1.27}$ ($R^2=0.95$)。分段拟合发现在20日龄的时候出现拐点, 5~20日龄时耳石长与日龄的拟合关系为 $y_1=7.88x^{0.92}$ ($R^2=0.88$), 生长速率为0.92 $\mu\text{m}/\text{d}$, 此时为慢速生长; 第二阶段拟合关系为 $y_2=1.37x^{1.48}$ ($R^2=0.86$), 生长速率为1.48 $\mu\text{m}/\text{d}$, 为快速生长。

耳石宽与日龄回归方程为 $y=3.87x^{1.15}$ ($R^2=0.94$)。分段拟合发现在19日龄出现拐点, 5~19日龄耳石宽与日龄的拟合关系为 $y_1=8.68x^{0.84}$ ($R^2=0.87$), 生长速率为0.84 $\mu\text{m}/\text{d}$, 为慢速生长; 第二阶段拟合关系为 $y_2=2.39x^{1.29}$ ($R^2=0.84$), 生长速率为1.29 $\mu\text{m}/\text{d}$, 为快速生长。

2.5 耳石形态发育

长江口凤鲚耳石有一个中心核和一个耳石原基。中心核外明暗相间的环形轮纹为一个生长轮, 即日轮。在不同生长时期, 耳石形态不尽相同, 卵黄囊期仔鱼耳石形态呈圆形, 随着鱼体生长耳石向椭圆形转变。

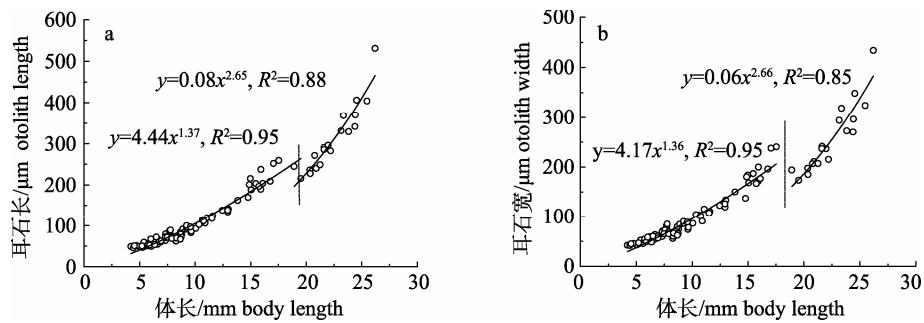


图 3 凤鲚耳石长(a)、宽(b)与体长的关系

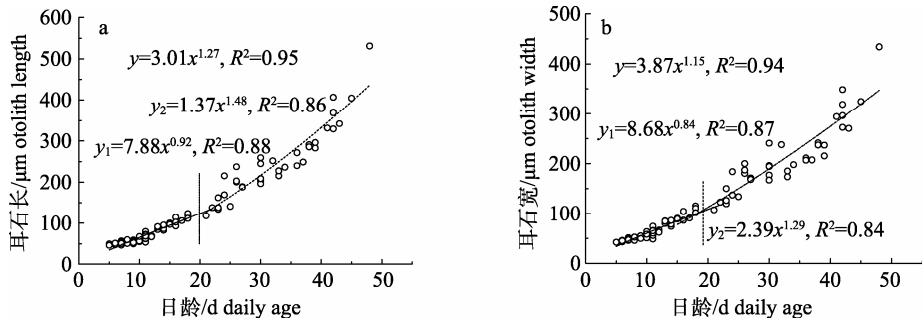
Fig. 3 The relationship of otolith length (a), width (b) and body length of *Coilia mystus* larvae and juvenile

图 4 凤鲚耳石长(a)、宽(b)与日龄的关系

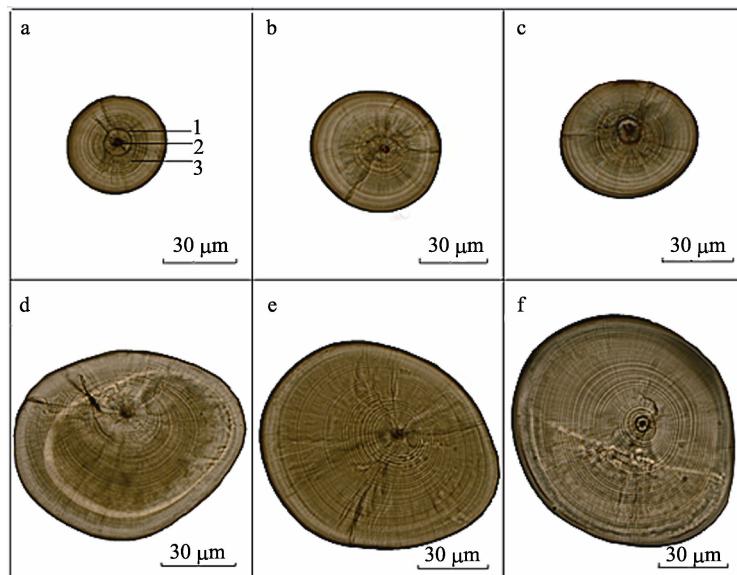
Fig. 4 The relationship of otolith length (a), width (b) and daily age of *Coilia mystus* larvae and juvenile

图 5 凤鲚仔稚鱼各发育阶段耳石形态情况

- a. 卵黄囊期(9 日龄); b. 前弯曲期(12 日龄); c. 弯曲期(21 日龄); d. 弯曲期(28 日龄); e. 后弯曲期(36 日龄);
f. 稚鱼期(41 日龄). 1: 耳石中心核; 2: 耳石原基; 3: 日轮.

Fig. 5 Shape in otolith of *Coilia mystus* larval and juvenile at different development stages

- a. yolk-sac stage (9 day post hatch); b. prefexion stage (12 days); c. flexion stage (21 days); d. flexion stage (28 days);
e. postflexion stage (36 days); f. juvenile stage (41 days). 1: otolith core; 2: otolith primodium; 3: daily growth increment.

表 2 为凤鲚仔稚鱼各发育阶段的日龄和耳石长宽比。卵黄囊期仔鱼耳石形态约为圆形，长宽

比平均值为 1.07；前弯曲期耳石长宽比平均值为 1.08，平均增长率为 0.0093，此时耳石形态发生

表2 凤鲚仔稚鱼各发育阶段的日龄和耳石长宽比

Tab. 2 The daily growth, body length and ration of sagittal length to width at each developmental stage of *Coilia mystus* larval and juvenile

发育阶段 development stage	样本数 sample number	日龄 daily age	耳石长宽比 ration of sagittal length to width	
			范围 range	$\bar{x} \pm SD$
卵黄囊期仔鱼 yolk-sac stage	75	5~18	0.93~1.19	1.07±0.05 ^a
前弯曲期仔鱼 preflexion stage	50	10~25	0.98~1.22	1.08±0.04 ^b
弯曲期仔鱼 flexion stage	33	19~37	1.04~1.27	1.12±0.52 ^c
后弯曲仔鱼 postflexion stage	17	26~42	1.10~1.26	1.19±0.04 ^d
稚鱼期 juvenile stage	5	41~48	1.13~1.27	1.21±0.06 ^e

注: 不同小写字母者表示组间差异性显著($P<0.05$)。

Note: Means with different lowercase letters are significantly different at 0.05 probability level.

变化; 弯曲期仔稚鱼耳石长宽比增加为 1.12, 平均增长率为 0.0370, 表明了凤鲚仔稚鱼耳石长轴相对短轴而言, 生长速度较快; 后弯曲期耳石长宽比继续增加为 1.19, 平均增长率为 0.0625; 进入稚鱼期, 耳石长宽比虽继续增长但是较为缓慢为 1.21, 平均增长率为 0.0168, 耳石形态大约呈椭圆形。

3 讨论

3.1 凤鲚体长与日龄的关系

本研究发现凤鲚仔稚鱼耳石有一个中心核和原基, 与何文平等^[20]、郭弘艺等^[21]的研究结果一致。通过耳石估算日龄要依据第一日轮的形成时间和耳石日周期性, 一般是通过实验条件培养孵化或轮纹标志法等来确定一日轮的形成时间^[18]。由于凤鲚应激性强, 出水即死, 很难通过人工饲养进行轮纹标记, 凤鲚第一日轮形成时间和耳石日周期性尚未确定。本研究参考一般仔鱼孵出后第 2 天形成第一日轮来估算日龄^[19~23]。后期研究中, 可以考虑采集凤鲚受精卵人工孵化和培育凤鲚仔鱼以确定其第一日轮形成时间。

采用分段回归法分析研究了长江口凤鲚早期仔稚鱼不同发育阶段的体长与日龄的关系。5~48 日龄的凤鲚体长生长可分为 3 个阶段(5~11 日龄、12~30 日龄、31~48 日龄), 生长速率分别为 0.55 mm/d、0.45 mm/d、0.50 mm/d, 结果表明凤鲚仔稚鱼体长在卵黄囊期生长较快。Farris^[27]研究了海洋鱼类卵黄囊期仔鱼的体长生长, 认为卵黄囊期的快速发育和体长增长, 是为外源摄食作准

备。有学者研究发现凤鲚仔稚鱼初孵仔鱼口裂较大, 开口摄食较早, 在其孵化期长江口水域有较为丰富的开口饵料, 其早期生长是由内源摄食和外源摄食共同作用^[1~3]。本研究发现凤鲚仔稚鱼卵黄囊期体长生长较快, 这可能和早期摄食的外源营养和卵黄囊提供丰富营养物质有关。在卵黄囊期之后进入前弯曲期这一阶段生长速率较为缓慢, 这可能是由于作为主要营养物质的卵黄囊已完全吸收, 或者是外源营养物质用于主要器官的发育, 进而影响了体长的生长。进入弯曲期, 仔稚鱼可能由于器官发育较为成熟开始加快摄食, 体长生长速率呈增加趋势。这种不同阶段生长速率的变化, 是仔稚鱼发育和生长的一种适应机制。

3.2 凤鲚早期仔稚鱼耳石生长

学者研究发现耳石的形态发育和个体发育具有一定的对应关系^[25~27]。本研究采用分段回归拟合法, 研究了不同发育阶段长江口凤鲚耳石长、宽与体长的关系, 发现耳石长、宽随鱼体的生长而增长, 但生长速率有差别。在拐点年龄 17 日龄、19 日龄之后, 凤鲚耳石长、宽继续增长, 较拐点之前生长速率增大 2 倍。采用同样方法分析了凤鲚早期仔稚鱼耳石生长轨迹, 发现耳石长、宽与日龄的关系符合异速生长模型。耳石长、宽与日龄的关系为 19 日龄、20 日龄之前, 耳石长、宽呈慢速生长, 之后呈快速生长。上述结果进一步佐证了 Campana^[28]的耳石大小和鱼体存在一定关系的理论, 即通过耳石轮纹可以推算体长, 进而结合耳石标记轮反演鱼类早期生长发育情况。

另外, 在不同生长期, 耳石形态不尽相同。

耳石形态在卵黄囊期、前弯曲期均呈圆形, 耳石长宽比平均值为 1.07、1.08; 耳石形态在进入弯曲期时, 开始随着鱼体生长向椭圆形转变, 耳石长宽比开始增加, 这表明耳石长的生长速度大于宽的生长速度; 耳石形态稚鱼期时耳石长宽比增长相对较缓慢, 此时其趋向于椭圆形。总体来说, 凤鲚仔稚鱼耳石长宽比在早期呈上升趋势, 进入弯曲期时耳石形状的转变可能有助于鱼体的平衡能力, 这种耳石形态变化在鱼类耳石发育全过程较为普遍^[29-34]。在后期凤鲚成鱼耳石研究中发现, 耳石变成稳定形态后, 耳石长宽比基本保持稳定, 但是其半径仍然会随着鱼体的生长而增长。本研究探索了凤鲚早期仔稚鱼不同发育阶段耳石生长和形态发育情况, 为凤鲚仔稚鱼关键阶段探索提供了思路, 其不同阶段的变化原因还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] Zhuang P. Fishes of the Yangtze River Estuary[M]. Shanghai: Science and Technology Press, 2006: 157–159. [庄平. 长江口鱼类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 157–159.]
- [2] Zhang S Y. Fauna Sinica (Acipenseriformes Elopiformes Clupeiformes Gomphichthyes)[M]. Beijing: Science Press, 2001: 151–154. [张世义. 硬骨鱼纲(鲟形目 海鲢目 鲈形目 鼠𬶮目)[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 151–154.]
- [3] Zhang R Z. Fish Eggs and Larvae of Chinese Offshore[M]. Shanghai: Science and Technology Press, 1985. [张仁斋. 中国近海鱼卵与仔鱼[M]. 1985: 上海: 上海科学技术出版社, 1985.]
- [4] Yin M C. Advances and studies on early life history of fish[J]. Journal of Fisheries of China, 1991, (4): 348–358. [殷名称. 鱼类早期生活史研究与其进展[J]. 水产学报, 1991, (4): 348–358.]
- [5] He W P, Xie S G, Zheng S M. Molecular identification of *Coilia ectenes* and *Coilia mystus* and its application on larval species[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2011, 35(4): 566–571. [何文平, 谢松光, 郑曙明. 刀鲚和凤鲚的分子鉴定及其在仔鱼种类鉴定中的应用[J]. 水生生物学报, 2011, 35(4): 566–571.]
- [6] Zhou X D, Yang J Q, Tang W Q, et al. Species validities analyses of Chinese *Coilia* fishes based on Mitochondrial DNA COI barcoding[J]. Acta Zootaxonomica Sinica, 2010, 35(4): 819–826. [周晓祺, 杨金权, 唐文乔, 等. 基于线粒体 COI 基因 DNA 条形码的中国鲚属物种有效性分析[J]. 动物分类学报, 2010, 35(4): 819–826.]
- [7] Cheng Q Q. Genetic diversity in two wild populations of tapetail anchovy *Coilia mystus* via 12S ribosomal segment sequences of mitochondrial DNA[J]. Journal of dalian Ocean University, 2007, 22(5): 387–391. [程起群. 基于线粒体 12S rRNA 序列研究凤鲚两个野生群体的遗传多样性[J]. 大连海洋大学学报, 2007, 22(5): 387–391.]
- [8] Xie S. Growth and morphological development of sagittal otoliths of larval and early juvenile *Trachurus japonicus*[J]. J Fish Biol, 2005, 66(6): 1704–1719.
- [9] Campana S E, Thorrold S R. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations?[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2001, 58(58): 30–38.
- [10] Campana S E. How Reliable are growth back-calculations based on otoliths?[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2011, 47(11): 2219–2227.
- [11] Ge K K, Zhong J S, Wu M Q, et al. Distribution and abundance of larval Japanese grenadier an chovy *Coilia nasus* in the surf zone of the Yangtze River estuary[J]. Journal of Fishery Sciences, 2009, 16(6): 923–930. [葛珂珂, 钟俊生, 吴美琴, 等. 长江口沿岸碎波带刀鲚仔稚鱼的数量分布[J]. 中国水产科学, 2009, 16(6): 923–930.]
- [12] Jiang M, Shen X Q, Chen F L. Relationship between with abundance distribution of fish eggs, larvae and environmental factors in the Yangtze Estuary and vicinity waters in spring[J]. Marine Environmental Science, 2006, 26(2): 37–44. [蒋政, 沈新强, 陈莲芳. 长江口及邻近水域春季鱼卵仔鱼分布与环境因子的关系[J]. 海洋环境科学, 2006, 26(2): 37–44.]
- [13] Zhong D L, Li L, Zhong J S, et al. Morphological study on larvae and juveniles of *Coilia nasus* in the surf zone of Yangtze River estuary[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(2): 150–154. [张冬良, 李黎, 钟俊生, 等. 长江口碎波带刀鲚仔稚鱼的形态学研究[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(2): 150–154.]
- [14] Lü Y, Song C, Liu Y Y, et al. Phylogenetic analysis of *Gobiidae* in the Yangtze Estuary based on partial sequence of Mitochondrial 16S rRNA[J]. Marine Fisheries, 2016, 38(1): 17–25. [吕杨, 宋超, 刘媛媛, 等. 基于 16S rRNA 基因部分序列的长江口虾虎鱼科鱼类系统分类[J]. 海洋渔业, 2016, 38(1): 17–25.]
- [15] Kendall A W. Early life history stages of fishes and their characters[J]. Ontog System Fish, 1984: 11–22.
- [16] Bi X J. The reproductive biology and preliminary assessment of habit suitability of *Coilia mystus* in the Yangtze Estuary[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015. [毕雪

- 娟. 长江口凤鲚繁殖生物学及HSI评估[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.]
- [17] Choo C K, Liew H C. Morphological development and allometric growth patterns in the juvenile seahorse *Hippocampus kuda* Bleeker[J]. J Fish Biol, 2006, 69(2): 426–445.
- [18] He Y F. Allometric growth pattern of *Percocypris pingi pingi* larvae[J]. Chinese Journal of Zoology, 2013, 48(1): 8–15. [何勇凤. 鲈鲤仔鱼的异速生长模式[J]. 动物学杂志, 2013, 48(1): 8–15.]
- [19] Fuiman L A. Growth gradients in fish larvae[J]. J Fish Biol, 1983, 23(1): 117–123.
- [20] He W P, Li Y X, Li Z J, et al. Sagittal otolith microstructure, daily age and early growth of *Coilia mystus* juveniles in the Yangtze Estuary[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(4): 496–501. [何文平, 黎雨轩, 李忠杰, 等. 长江口凤鲚幼鱼的耳石微结构、日龄与生长[J]. 水产学报, 2013, 37(4): 496–501.]
- [21] Guo H Y, Tang W Q. Morphologic characters of the sagittal otoliths of the fishes of the genus *Coilia* from China[J]. Chinese Journal of Zoology, 2007, 42(1): 39–47. [郭弘艺, 唐文乔. 中国鲚属鱼类的矢耳石形态特征[J]. 动物学杂志, 2007, 42(1): 39–47.]
- [22] Wild A, Foreman T J. The relationship between otolith increments and time for yellowfin and skipjack tuna marked with tetracycline[J]. Fisheries, 1980.
- [23] Wang F, Cheng J H, Luo H Z. Relationship between daily-growth increment of otolith and growth of Japanese parrotfish (*Oplegnathus fasciatus*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(2): 320–328. [王菲, 程家骅, 罗海忠. 东海条石鲷仔鱼耳石日轮与生长的关系[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 320–328.]
- [24] Wang B Z. Review on studies on daily growth increments in otoliths of fish and their application[J]. Fisheries Science and Technology information, 1995, (3): 132–135. [王宝璋. 国内外对鱼类耳石日轮的研究和应用[J]. 水产科技情报, 1995, (3): 132–135.]
- [25] He T, XIAO Z Z, LIU Q H, et al. Allometric growth in rock bream larvae (*Oplegnathus fasciatus* temminck et schlegel 1844)[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(8): 1242–1248. [何滔, 肖志忠, 刘清华, 等. 条石鲷早期发育阶段的生长模式[J]. 水产学报, 2012, 36(8): 1242–1248.]
- [26] Xie Y H. Daily increment in otolith of fish[J]. Bulletin of Biology, 1995(11): 22–23. [解玉浩. 鱼类耳石日轮[J]. 生物学通报, 1995(11): 22–23.]
- [27] Farris D A. A Change in the early growth rates of four larval marine fishes[J]. Limnol Oceanogr, 1959, 4(1): 29–36.
- [28] Campana S E. Otolith microstructure of three larval gadids in the Gulf of Maine, with inferences on early life history[J]. Can J Zool, 1989, 67(6): 1401–1410.
- [29] Dickey C L, Isely J J, Tomasso J R. Slow growth did not decouple the otolith size–fish size relationship in striped bass[J]. T Am Fish Soc, 1997, 126(6): 1027–1029.
- [30] Campana S E. Otolith science entering the 21st century[J]. Mar Freshwater Res, 2005, 56(5): 485–495.
- [31] Ralston S, Stevenson D K, Campana S E. Otolith microstructure examination and analysis[J]. Copeia, 1993(4): 1197–1199.
- [32] Folkvord A, Johannessen A, Moksness E. Temperature-dependent otolith growth in Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus* L.) larvae[J]. Sarsia: North Atlantic Marine Science, 2004(5): 297–310.
- [33] Alhossaini M, Pitcher T J. The relation between daily rings, body growth and environmental factors in plaice, *Pleuronectes platessa* L., juvenile otoliths[J]. J Fish Biol, 1988, 33(3): 409–418.
- [34] Xie Y H, Li B. Daily growth increment in otolith and growth for fry-yong fish of bighead (*Aristichthys nobilis*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1995, 2(2): 34–42. [解玉浩, 李勃. 鲢仔—幼鱼耳石日轮与生长的研究[J]. 中国水产科学, 1995, 2(2): 34–42.]

Sagittal otolith growth and development at different development stages in larval and juvenile *Coilia mystus* in the Yangtze estuary

ZHANG Tao¹, WANG Huanhuan^{1,2}, BI Xuejuan¹, SONG Chao^{1,2}, ZHAO Feng¹, ZHUANG Ping^{1,2}

1. Key Laboratory of East China Sea and Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture; East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 20009, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: *Coilia mystus* is a very important commercial fish distributed widely in the Yangtze estuary. It is a migratory species which grows and matures in the coastal waters and then naturally migrates into the Yangtze estuary for spawning. Otolith growth and development at different stages in larval and juvenile *C. mystus* can help to understand their characteristics under natural conditions. An understanding of otolith early growth and development is essential not only for wild population conservation but also for artificial seeding production. In this study, a total of 103 larval and juvenile *C. mystus* were collected in the Yangtze estuary, from April to August in 2014. Otolith analysis revealed that the age of specimens ranged from 5 to 48 days. To study the early growth and development of different stages, the body length of 103 individual *C. mystus* was measured. Statistics showed that the cubic function best described the increase of body length with age. The increase of body length can be divided into three stages, 5–11 d, 12–30 d, and 31–48 d. The growth rate was significantly different among these stages ($P<0.05$). To study the morphological development, the otolith length and otolith width were measured, and the analysis showed that the increase of otolith length and width increased with body length. After 17 to 19 days, the growth rate increased by about 2-fold. Piecewise regression analysis between otolith length, width, and otolith age was carried out in order to determine the allometric growth pattern, and the inflection point of otolith length and otolith width both occurred at 19–20 days. The growth rate before the knot was slow, while it was rapid after the knot. The otolith morphology of *C. mystus* changed significantly at different stages in the early life history. The otolith is circular in the yolk-sac and preflexion stages. Otolith length growth is greater than that of otolith width in the flexion stage, and the otolith becomes oval. After the form becomes stable, the ratio of otolith length and width also remains stable.

Key words: *Coilia mystus*; larval and juvenile; daily age; early development; otolith shape

Corresponding author: ZHUANG Ping. E-mail: pzhuang@ecsf.ac.cn