

文章编号: 1674-5566(2018)06-0930-08

DOI:10.12024/jsou.20180402281

杭州湾北部有明银鱼仔稚鱼脊柱和附肢骨骼发育研究

王晓东, 何鸣笛, 曾 娇, 李联飞, 钟俊生

(上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘 要: 2014 年 6 月至 2015 年 5 月, 在杭州湾北部水域设置 10 个采样点。于每月大潮期间使用大型仔稚鱼网进行仔稚鱼采集, 共拖网 120 次, 采集有明银鱼 (*Salanx ariakensis*) 仔稚鱼 1 972 尾。本研究使用硬骨-软骨双染色技术, 观察了有明银鱼仔稚鱼 (体长范围为 9.7 ~ 34.2 mm) 脊柱及附肢骨骼的形态发育特征。有明银鱼背鳍、臀鳍、胸鳍、腹鳍的支鳍骨, 髓弓、脉弓维持为软骨。匙骨、上匙骨、后颞骨、尾下骨、尾杆骨与尾椎髓体为硬骨。骨骼形成的顺序依次为肩带, 臀鳍支鳍骨和尾下骨, 背鳍支鳍骨, 脉弓和髓弓, 腹鳍支鳍骨和尾上骨。胸鳍支鳍骨无后匙骨。髓弓数目为 73, 脉弓数目为 22, 尾下骨 (包括侧尾下骨) 数目为 7, 臀鳍支鳍骨数目为 27, 背鳍支鳍骨数目为 13。本研究结果表明有明银鱼具有其他银鱼类似的骨骼系统骨化程度弱的“幼态持续”现象。

关键词: 有明银鱼; 杭州湾北部; 脊柱; 附肢骨骼; 骨骼发育

中图分类号: S 917 **文献标志码:** A

有明银鱼 (*Salanx ariakensis*) 隶属胡瓜鱼目 (Osmeriformes), 胡瓜鱼科 (Osmeridae), 银鱼属 (*Salanx*)。为沿海港湾及河口半咸淡水域的小型鱼类, 栖息于沿海河口附近的中上层水域, 分布于中国沿海、也见于朝鲜半岛和日本九州西部沿岸^[1]。现阶段, 国内已有的研究主要集中在有明银鱼的基础生物学特征^[2-3]、耳石结构^[4]、遗传分析^[5]、仔鱼资源分布^[6]等方面, 国外则多见遗传检测^[7]、基础形态学^[8-9]等报道。国内外关于有明银鱼骨骼系统发育的研究, 仅 MIZUTAN^[10]描述了仔稚鱼的附肢骨骼的发育出现时间及其完成时间与支鳍骨数目, 缺乏有明银鱼骨骼系统在仔稚鱼阶段的形态学研究。本研究在探明杭州湾北部有明银鱼时空分布的基础上, 利用硬骨-软骨双染色技术, 对有明银鱼早期发育过程中脊柱与附肢骨骼的发育及其变化进行了观察和描述, 旨在为有明银鱼仔稚鱼的分类与鉴定提供基础的科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查方法

2014 年 6 月至 2015 年 5 月, 在杭州湾北部水域设置 10 个采样点 (St. 1-St. 10, 图 1)。每月大潮前后使用大型仔稚鱼网 (口径 1.3 m, 网目 0.5 mm) 进行表层水平拖网。拖速为 2 海里/h。使用网口流量计 (KC Denmark A/S Model 23.090) 记录拖网流量值。采集到的标本用 5% 甲醛溶液固定。在所有样本中筛选出有明银鱼, 参照 KENDALL^[11]的仔稚鱼发育分期标准划分发育阶段, 计数并计算密度 (尾/m³)。前弯曲期和弯曲期仔鱼测量脊索长 (notochord length, NL), 后弯曲期仔鱼测量标准体长 (standard length, SL)。

$$\text{仔稚鱼密度依据公式: } T_a = N_a / (S \cdot L \cdot C) \quad (1)$$

式中: T_a 为单位体积海水中仔稚鱼个体数 (尾/m³); N_a 为每网采集到的仔稚鱼个体数 (尾); S 为网口面积 (m²); L 为流量计转数; C 为流量计

收稿日期: 2018-04-16 修回日期: 2018-05-29

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2012BAC07B03); 上海市海洋局项目 (沪海科 2015-02)

作者简介: 王晓东 (1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为鱼类分类学。E-mail: 398690846@qq.com

通信作者: 钟俊生, E-mail: jszhong@shou.edu.cn

校正值($C = 0.3$)^[12]。

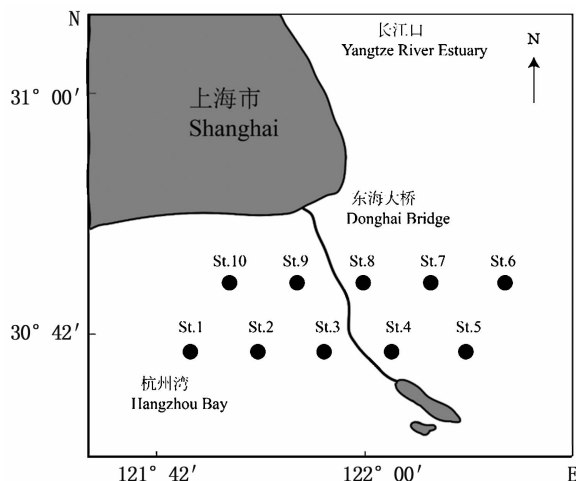


图 1 调查站位图

Fig. 1 Location of sampling stations

1.2 双染色透明样本处理

参考 DINGERKUS 和 UHLER^[13] 的软骨-硬骨双染色透明技术进行研究, (1) 清洗: 使用蒸馏水清洗用 5% 甲醛溶液固定的有明银鱼仔稚鱼标本, 浸泡 2~3 d, 中间多次更换蒸馏水; (2) 软骨染色: 将仔稚鱼标本浸泡于软骨染色液中 24~36 h, 直至标本鳍条基部出现明显的蓝色; (3) 梯度漂洗: 先将标本取出并移入 95% 乙醇溶液中浸泡 2~3 h, 随后依次移入呈递减浓度 (75%、40%、15%) 的乙醇中直至标本完全沉底后再换入下一浓度梯度; (4) 组织的消化与透明: 将标本浸于 0.5% 胰蛋白酶消化液中, 直至标本在消化液中完全软化且透明; (5) 硬骨染色: 将消化透明后的标本移入硬骨染色液中 24~48 h, 直至硬骨染成红紫色为止; (6) 脱色: 经过染色处理的样品放入清水中, 并加入 1~2 滴 H_2O_2 , 放置于阳光下褪色; (7) 保存: 将标本依次移入体积比为 3:1、1:1、1:3 的 0.5% KOH-甘油混合试剂中, 每一梯度至标本完全沉底转移入下一梯度, 最终将标本转移入纯甘油中密封保存, 并加入几粒百里酚密封保存。在 Olympus SZX7 解剖镜下, 对有明银鱼的骨骼形态进行连续观察并绘制发育图。并使用 Photoshop 和 Adobe Illustrator 软件对骨骼发育图进行编辑处理。

2 结果

2.1 时空分布

2014 年 6 月至 2015 年 5 月共采集到鱼类仔稚鱼 96 118 尾, 其中有明银鱼仔稚鱼 1 972 尾, 占总渔获量的 2.04%。有明银鱼仔稚鱼仅出现于 2014 年 10 月至 2015 年 1 月, 平均密度呈先增加后下降的趋势, 11 月有明银鱼数量最多, 平均密度为 6.06 尾/100 m^3 (表 1)。各站位点均有有明银鱼分布, St. 3 平均密度最高 (2.59 尾/100 m^3), St. 7 平均密度最低 (0.52 尾/100 m^3)。前弯曲期仔鱼主要分布在靠近岸边的 St. 9 和 St. 10, 弯曲期仔鱼主要分布在靠近岸边的 St. 8 和 St. 9, 后弯曲期仔鱼主要分布在远离岸边的 St. 6, 稚鱼主要集中于东海大桥两侧的 St. 3 和 St. 4 (图 2)。从仔稚鱼的发育阶段来看, 10 月以前弯曲期仔鱼为主 (63.42%), 11 月以弯曲期仔鱼为主 (47.07%)、后弯曲期仔鱼和稚鱼所占比例上升。12 月和 1 月以稚鱼为主 (图 3)。

表 1 有明银鱼仔稚鱼个体数与平均密度

Tab. 1 Quantity and mean density of *S. ariakensis* larvae and juveniles

航次 Cruises	时间 Date	仔稚鱼个体数 /尾 No. of larvae and juveniles	平均密度 /(尾/100 m^3) Mean density
I	2014.6.21	0	0
II	2014.7.2	0	0
III	2014.8.21	0	0
IV	2014.9.18	0	0
V	2014.10.18	473	3.27
VI	2014.11.15	905	6.06
VII	2014.12.18	588	5.49
VIII	2015.1.15	6	0.05
IX	2015.2.12	0	0
X	2015.3.13	0	0
XI	2015.4.15	0	0
XII	2015.5.12	0	0

2.2 体长分布

有明银鱼前弯曲期仔鱼体长范围为 4.55~12.56 mm。弯曲期仔鱼体长范围为 11.47~19.28 mm, 后弯曲期仔鱼体长范围为 18.20~24.14 mm, 稚鱼体长范围为 24.13~49.70 mm。优势体长组是 10~20 mm, 占有明银鱼总捕获数的 47.76%。

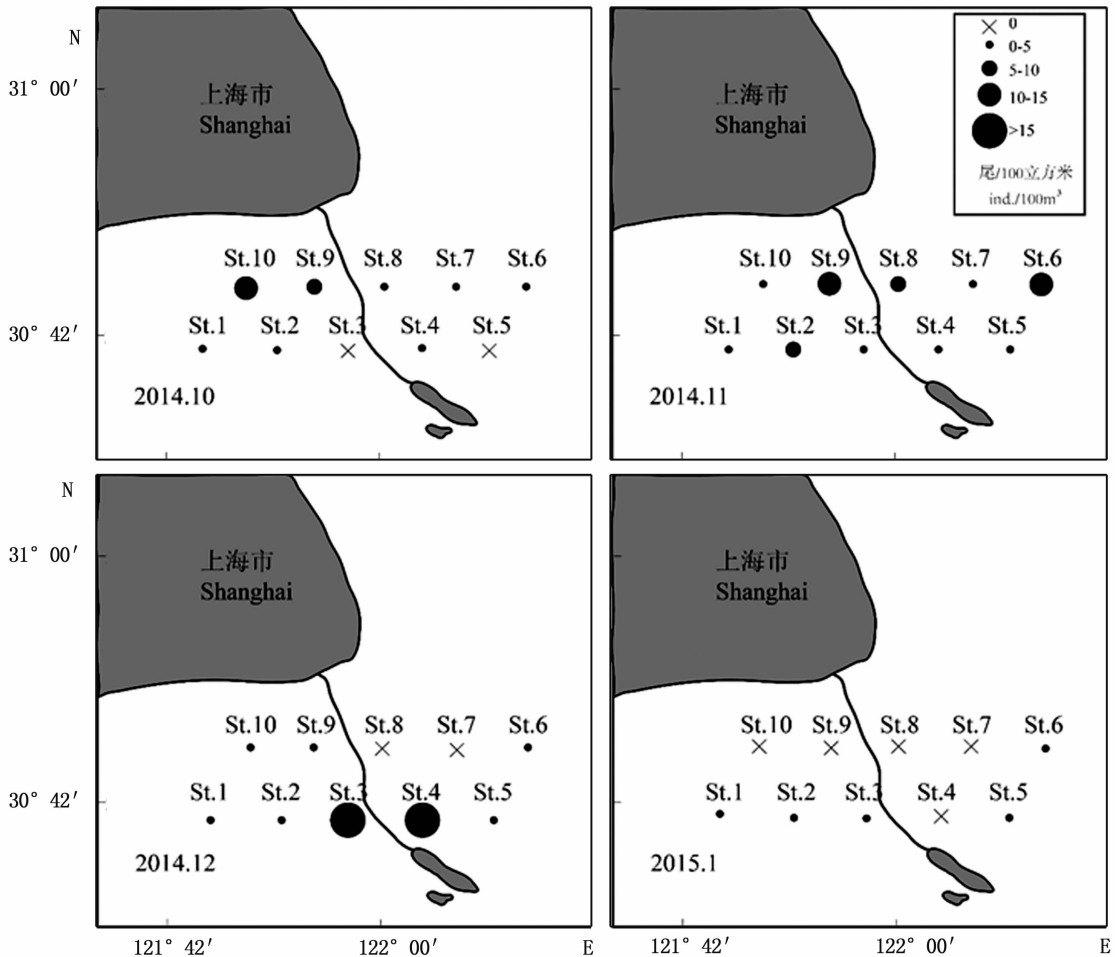


图 2 杭州湾北部水域有明银鱼仔稚鱼的密度分布

Fig. 2 Density distribution of *S. ariakensis* larvae and juveniles in the north of Hangzhou Bay

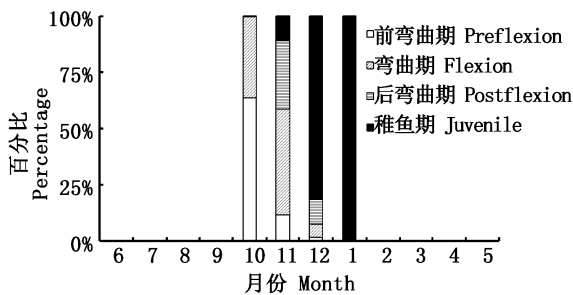


图 3 各月有明银鱼仔稚鱼发育阶段组成

Fig. 3 Development stages composition of *S. ariakensis* larvae and juveniles in different months

2.3 脊柱发育

体长(下略)9.7 mm 个体的脊索粗大呈管状(图 4a)。13.77 mm 个体脊索末端已开始向上弯曲,脊索仍呈管状(图 4b)。13.94 mm, 16.08 mm, 15.99 mm, 14.88 mm 个体脊索无明显变化(图 4c-f)。22.81 mm 个体出现 18 个脉弓与 19

个髓弓(图 4g)。脉弓起点位于臀鳍的第 3~4 枚支鳍骨间上方,后至脊索末端。髓弓与脉弓的位置相对,尾杆骨的上边缘开始骨化。28.93 mm 个体出现扁平的脉棘和髓棘,尤其是前者几近薄片状,髓弓 71 个贯穿整个主轴骨骼,脉弓 21 个,脉弓起点已超过臀鳍前缘。整个尾杆骨呈红色,已骨化完全。除尾杆骨之外的脊柱部分即脊索仍未钙化,在髓弓和脉弓的基础上,髓棘和脉棘以软骨形式开始出现,但未见到背肋、腹肋(图 4h)。34.2 mm 个体椎体仍不明显,髓弓和脉弓、髓棘和脉棘完全形成,髓弓 73 个,脉弓 22 个(图 4i)。髓弓、脉弓首先以软骨组织形式出现,并整体由脊椎尾端向头部发生,整个发生过程中髓弓与脉弓几乎同时出现,生长速度相对平行。脊柱从头至尾、从先至后也均未出现分节的硬骨环,椎弓不明显。

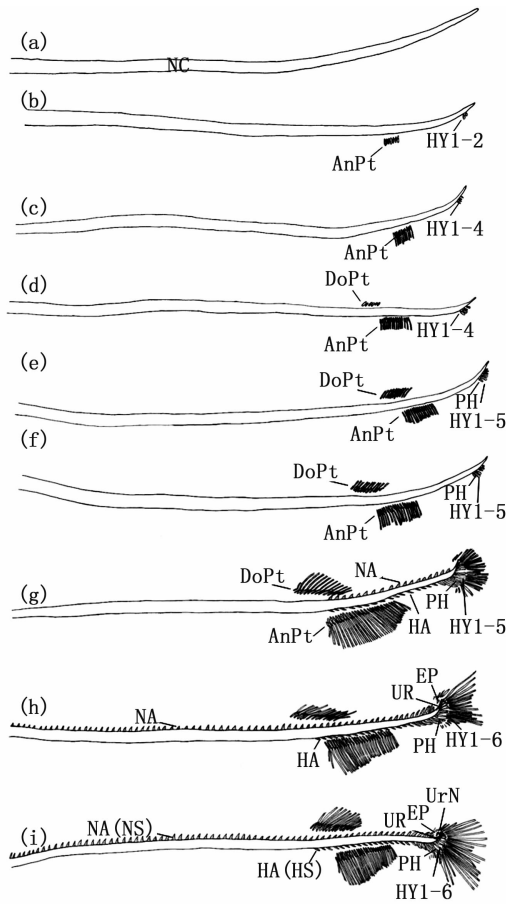


图 4 有明银鱼主轴和附肢骨骼发育示意图

Fig. 4 Development of the vertebral column and the appendicular skeleton of *S. ariakensis*

(a) 体长 9.7 mm; (b) 体长 13.77 mm; (c) 体长 13.94 mm; (d) 体长 16.08 mm; (e) 体长 15.99 mm; (f) 体长 14.88 mm; (g) 体长 22.81 mm; (h) 体长 28.93 mm; (i) 体长 34.2 mm; AnPt. 臀鳍支鳍骨; DoPt. 背鳍支鳍骨; EP. 尾上骨; HA. 脉弓; HS. 脉棘; HY. 尾下骨; NA. 髓弓; NC. 脊索; NS. 髓棘; PH. 侧尾下骨; UR. 尾杆骨; UrN. 尾椎髓体; 粗点区域表示软骨; 细点区域表示硬骨(尾杆骨); 空白区域表示膜质骨(脊索)、硬骨(支鳍骨、尾鳍鳍条)

(a) 9.7 mm NL; (b) 13.77 mm NL; (c) 13.94 mm NL; (d) 16.08 mm NL; (e) 15.99 mm NL; (f) 14.88 mm NL; (g) 22.81 mm SL; (h) 28.93 mm SL; (i) 34.2 mm SL; AnPt. pterygiophore of anal; DoPt. pterygiophore of dorsal; EP. epural; HA. haemal arch; HS. haemal spine; HY. hypural; NA. neural arch; NC. notochord; NS. neural spine; PH. parhypural; UR. urostyle; UrN. uroneural; big point areas were cartilage; small point areas were bone in urostyle; blank areas were notochord, bone in pterygiophore

2.4 附肢骨骼发育

2.4.1 尾鳍

9.7 mm 个体尾鳍以鳍褶形式出现,未见软

骨组织(图 5a)。13.77 mm 个体最早出现 2 枚尾下骨,即尾下骨 2-3(图 5b)。13.94 mm 个体有 4 枚尾下骨,即尾下骨 1-4(图 5c)。16.08 mm 个体有 4 枚尾下骨,同时尾索下部鳍皱演变成放射丝,着生在尾下骨上,尾索上部仍然是鳍褶(图 5d)。14.88 mm 和 15.99 mm 个体出现侧尾下骨 1 枚、尾下骨 5 枚(图 5e-f)。22.81 mm 个体尾杆骨上边缘变红开始钙化,仍保持 1 枚侧尾下骨、5 枚尾下骨,尾下骨 1 的中部轻微钙化。出现较为明显的上、下叶之分。其中,下叶由侧尾下骨和尾下骨 1-2 组成,上叶由 3-5 组成(图 5g)。28.93 mm 个体的尾杆骨基本与脊索垂直且除基部外均已钙化完全。出现 6 枚尾下骨,侧尾下骨、第 1 尾下骨与第 2 尾下骨三者末端呈现愈合趋势,第 1 尾下骨与第 2 尾下骨的基部完全愈合。6 枚尾下骨的中间大部分硬骨化,尾杆骨上方出现 1 枚软骨质的尾上骨(图 5h)。34.2 mm 个体尾鳍骨骼基本成型,第 3 尾下骨与第 4 尾下骨的末端也呈现愈合趋势。第 5 和 6 尾下骨游离。尾上骨仍为 1 枚。尾杆骨完全硬化,其上方出现 1 枚尾椎髓体(uroneural)。下叶的侧尾下骨和尾下骨 1-2 基部与末端还未骨化,中间大部分已骨化;上叶的尾下骨 3-5 除末端外都已骨化。尾下骨 6 已骨化完全(图 5i)。

2.4.2 背鳍

9.7 mm 个体背鳍以鳍褶形式出现(图 4a)。16.08 mm 个体脊索中部出现 6 枚的背鳍支鳍骨(图 4d)。随着时间的推移,背鳍支鳍骨向前移动、数量增多、形态加粗,15.99 mm 个体出现 11 枚支鳍骨,此时背鳍仍是鳍褶状(图 4e)。14.88 mm 个体支鳍骨为 11 枚,但鳍褶已演变成放射丝(图 4f)。22.81 mm SL 个体开始出现担鳍骨,此时背鳍支鳍骨、担鳍骨数增至 13 枚;并形成软骨质鳍条(图 4g)。28.93 mm 个体背鳍支鳍骨、担鳍骨数增至 13 枚,仍为软骨质(图 4h)。34.2 mm 个体时背鳍支鳍骨、担鳍骨数稳定在 13 枚(图 4i)。

2.4.3 臀鳍

13.77 mm 个体在肛门后端出现 7 枚软骨质的臀鳍支鳍骨(图 4b)。13.94 mm 个体出现 11 枚臀鳍支鳍骨(图 4c),16.08 mm 个体具 15 枚(图 4d),15.99 mm 个体 16 枚(图 4e),14.88 mm 个体 19 枚(图 4f)。支鳍骨均为软骨,其末端发

育出放射性的鳍丝。22.81 mm 个体出现担鳍骨,此时臀鳍的支鳍骨和担鳍骨均为软骨,数目为 26 枚,支鳍骨末端发育出 1 节鳍条,其前缘部分开始硬骨骨化。臀鳍支鳍骨的第一枚与最后一枚,其上均生发有 2 枚鳍条。共有 26 枚支鳍骨,28 枚鳍条(图 4g)。28.93 mm 个体臀鳍担鳍

骨开始硬骨化,支鳍骨没有变化。臀鳍的支鳍骨和担鳍骨数仍为 26 枚(图 4h)。34.2 mm 个体臀鳍担鳍骨与鳍条已完全硬骨化,支鳍骨仍保持软骨。支鳍骨和担鳍骨数保持稳定为 27 枚(图 4i)。

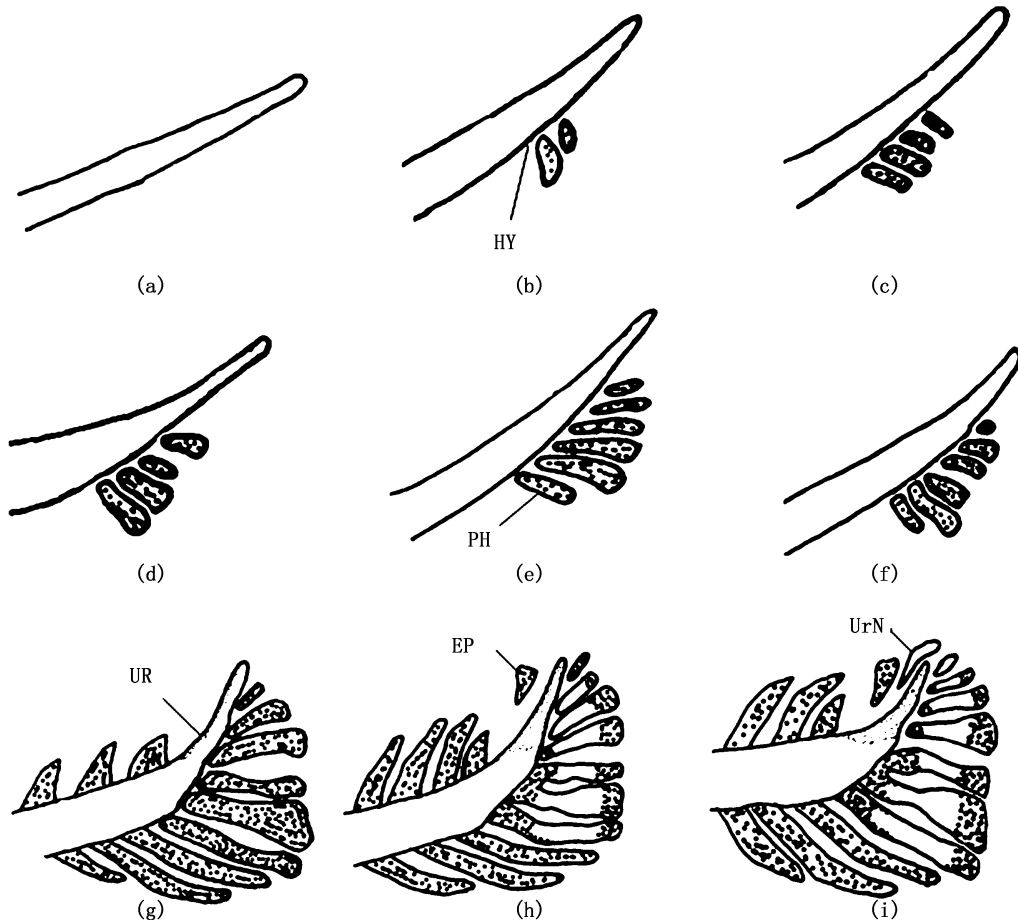


图 5 有明银鱼尾鳍支鳍骨发育

Fig. 5 Development of caudal fin in *S. ariakensis*

(a) 体长 9.7 mm; (b) 体长 13.77 mm; (c) 体长 13.94 mm; (d) 体长 16.08 mm; (e) 体长 15.99 mm; (f) 体长 14.88 mm; (g) 体长 22.81 mm; (h) 体长 28.93 mm; (i) 体长 34.2 mm; EP. 尾上骨; HY. 尾下骨; PH. 侧尾下骨; UR. 尾杆骨; UrN. 尾椎髓体; 粗点区域表示软骨; 细点区域表示硬骨(尾杆骨); 空白区域表示膜质骨(脊索)、硬骨(支鳍骨)

(a) 9.7 mm NL; (b) 13.77 mm NL; (c) 13.94 mm NL; (d) 16.08 mm NL; (e) 15.99 mm NL; (f) 14.88 mm NL; (g) 22.81 mm SL; (h) 28.93 mm SL; (i) 34.2 mm SL; EP. epural; HY. hypural; PH. parhypural; UR. urostyle; UrN. uroneural; big point areas were cartilage; small point areas were bone in urostyle; blank areas were notochord, bone in pterygiophore

2.4.4 胸鳍

胸鳍是有明银鱼最早出现的鳍。9.7 mm 个体胸鳍有软骨质的匙骨、乌喙骨和支鳍骨原基,匙骨呈长条状(图 6a)。16.08 mm 个体匙骨上下两端延长,从中部开始骨化,出现上匙骨和后颞骨(图 6b)。22.81 mm 个体匙骨与上匙骨已经骨

化。支鳍骨原基出现 3 个裂缝,形成两个分支,无后匙骨(图 6c)。28.93 mm 个体乌喙骨上出现一个孔,后颞骨开始骨化(图 6d)。34.2 mm 个体乌喙骨上出现第二个孔,后颞骨已经骨化,支鳍骨原基出现 5 个裂缝,形成 3 个分支,胸鳍鳍条尚未开始分化(图 6e)。36.77 mm 个体胸鳍鳍条开

始分化。

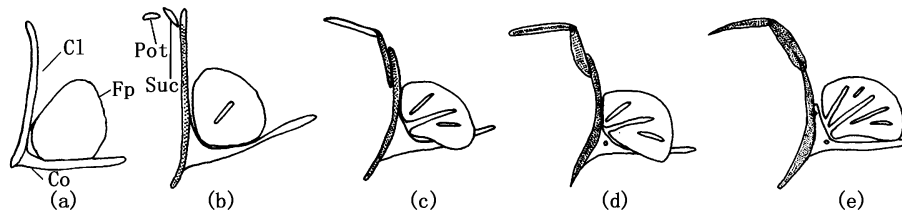


图 6 有明银鱼肩带发育

Fig. 6 Development of pectoral girdle in *S. ariakensis*

(a)体长 9.7 mm; (b)体长 16.08 mm; (c)体长 22.81 mm; (d)体长 28.93 mm; (e)体长 34.2 mm; Cl. 匙骨; Fp. 支鳍骨原基; Co. 乌喙骨; Suc. 上匙骨; Pot. 后颞骨. 细点区域表示硬骨; 空白区域表示软骨

(a)9.7 mm NL; (b)16.08 mm NL; (c)22.81 mm SL; (d)28.93 mm SL; (e)34.2 mm SL; Cl. cleithrum; Co. coracoid; Fp. fin plate; Pot. posttemporal; Suc. supracleithrum; small point areas were bone; blank areas were cartilage

2.4.5 腹鳍

22.81 mm 个体未发现腹鳍原基。28.93 mm 个体在肛门前方可见软骨质腹鳍支鳍骨,呈棒状,末端具 5 枚软骨质鳍条。34.2 mm 个体腹鳍支鳍骨仍为软骨,软骨质鳍条数目增加为 6。

杭州湾有明银鱼各鳍发育顺序依次为:胸鳍最早出现,尾鳍与臀鳍几乎同时出现,背鳍随后出现,腹鳍出现较晚,49.7 mm 个体出现脂鳍。

3 讨论

3.1 与日本有明海产有明银鱼比较

杭州湾北部 13.77 mm 个体出现 2 枚尾下骨;而日本有明海^[10]产 12.8 mm 个体未出现尾下骨,15.2 mm 个体出现尾下骨。杭州湾北部的有明银鱼尾下骨可能比有明海产的有明银鱼发育更早。杭州湾北部有明银鱼尾鳍条组成为上叶 10 枚鳍条、下叶 9 枚鳍条,与有明海产有明银鱼相同。杭州湾北部的 13.77 mm 个体在肛门后端出现 7 枚软骨质的臀鳍支鳍骨,34.2 mm 个体臀鳍发育完全,鳍条数量达到恒定的 27。有明海产 12.8 mm 个体臀鳍支鳍骨出现;23.5 mm 个体臀鳍发育完全,鳍条数量为 29。鳍条数目的不同可能受鳍条统计方法不同有关。杭州湾产 16.08 mm 个体出现 6 枚软骨质的背鳍支鳍骨,22.81 mm 个体开始出现担鳍骨,此时背鳍支鳍骨、担鳍骨数增至 13 枚。有明海产 14.5 mm 个体形成背鳍原基,23.5 mm 个体鳍条数成为恒定的 13 枚。本研究所用的杭州湾有明银鱼的胸鳍和腹鳍鳍条未发育完全。而有明海产 38.9 mm 个体可明

显观察到胸鳍鳍条,44.1 mm 个体胸鳍鳍条数量达到 9 枚。腹鳍在后弯曲期(23.5 mm)的第 28 至 29 个肌节间出现原基,38.9 mm 个体可以明显观察到,44.1 mm 个体腹鳍鳍条数目达到恒定的 7 枚,出现脂鳍。

3.2 与其他种的比较

据 ROBERTS^[14]报道,大银鱼(*Protosalanx chinensis*)、居氏银鱼(*Salanx cuvieri*)、石川日本新银鱼(*Neosalangichthys ishikawae*)、乔氏新银鱼(*Neosalanx jordani*)第 1-2 髓弓末端愈合,脉弓和髓弓尤其是前者几近薄片状。有明银鱼的第 1 与第 2 髓弓间距相较于其他髓弓则较近,末端并未愈合(图 4i),脉弓和髓弓呈薄片状,尤其是脉弓十分平薄(图 4g~i)。林信伟和熊全沫^[15]通过组织学方法发现寡齿新银鱼(*Neosalanx oligodontis*)也是在椎体位置仅存在一条脊索,呈节状。每节脊椎通过其外包围有 3 块软骨的脊索构成。本实验过程中的有明银鱼脊索位置并未观察到 3 块软骨的存在。但是考虑到 ROBERTS、林信伟等所用样本都为成鱼,关于有明银鱼脊椎之后是否会发生变化需要进一步研究阐明。

ROBERTS^[14]还指出银鱼的尾杆骨复合体由 3 个椎体、尾椎髓体 1 或 2 枚组成。但在有明银鱼中未见到 3 个已分化的椎体,仅在尾杆骨上方见到 1 枚已骨化的尾椎髓体(图 5i)。此外有明银鱼尾鳍的侧尾下骨、第 1 尾下骨与第 2 尾下骨三者的末端呈现愈合趋势,第 1 尾下骨与第 2 尾下骨的基部完全愈合。此外,第 3 尾下骨与第 4

尾下骨的末端也呈现出愈合趋势。第5和6尾下骨游离。然而,同一科中的小齿日本银鱼(*Salangichthys microdon*)尾鳍的6枚尾下骨则相互分离。杭州湾银鱼类除有明银鱼外,还有大银鱼^[16]。大银鱼尾下骨1-2、尾下骨5-6游离,但是尾下骨3-4的末端愈合。在新银鱼属、银鱼属中,其尾下骨的愈合现象更多。其中,银鱼属的侧尾下骨与尾下骨1-2末端靠近呈愈合趋势;尾下骨1-2和3-4基本完全愈合,只在基部剩下一个椭圆形的空洞表明还未全部愈合。可见银鱼科鱼类的尾下骨愈合现象比较复杂,可能与其复杂、多样的生存环境有关。但是,从大多数已描述的银鱼类的尾下骨数目上来看,基本上都保持在6个尾下骨,这加强了这一事实:尾下骨数目在该物种中可能是高度保守的。

3.3 有明银鱼骨骼发育的特殊性

在许多鱼类仔稚鱼骨骼系统的发育中,其形态结构都会出现显著的变化。其中脊椎的躯椎部分分化出圆柱形椎体,以椎体两端的关节顺次衔接。椎体两端向中部凹入,椎体两侧向上发出二片髓弓,其间形成髓管,上端合并为髓棘。髓弓前缘有前髓关节突,后方有后髓关节突;椎体两侧出现倾斜的长突起即椎体横突,与肋骨上端相关节^[17]。然而,本研究通过硬骨-软骨双染色技术,观察有明银鱼仔稚鱼脊柱的形态结构始终呈现粗细相同的棒状结构;其染色效果则既非显著的红色,也非深蓝色,几乎透明无色略泛蓝。说明有明银鱼的脊柱在本研究个体中并未分化出椎体,而是本应完全退化或者部分残余但仍完全保留下来的脊索。推测由于外围的脊索鞘由纤维组织和弹性组织所构成,故对阿辛蓝和茜苏红都不呈显色反应。而且臀鳍、背鳍和尾鳍已基本发育完全时,脊柱上的脉弓与髓弓表现出蓝色的半月牙形,此后不再变化。说明同源性的脊柱以及其上的脉弓与髓弓在后弯曲期出现了差异:脊柱停滞在膜质期,形成仅具有膜质结构的脊索;脉弓与髓弓的发育则先后经历了膜质期与软骨期,至此具有明显的软骨结构。本研究结果与1925年,JORDAN在发现银鱼科鱼类的骨骼几乎没有骨化;1940年,BERG指出的银鱼类似乎是幼态持续鱼类;以及1965年,伍献文在实际观察中发现的银鱼科鱼类在性成熟时期尚滞留在个体发育较前期或幼龄的形态,即“幼态持续”的

结果相同^[18]。

参考文献:

- [1] 赵盛龙,徐汉祥,钟俊生,等. 浙江海洋鱼类志[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,2016:255-256.
ZHAO S L, XU H X, ZHONG J S, et al. Fauna of Marine Fishes in Zhejiang [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2016:255-256.
- [2] 孙帼英. 长江口及其邻近海域有明银鱼的生物学[J]. 海洋湖沼通报, 1990(1):41-46.
SUN G Y. *Salanx ariakensis* in Yangtze River Estuary and the Neighbouring Marine Water [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1990(1):41-46.
- [3] 唐作鹏,解涵,李勃,等. 鸭绿江有明银鱼的生物学研究[J]. 大连海洋大学学报, 2000, 15(2):113-118.
TANG Z P, XIE H, LI B, et al. The biological aspects of Ariake icefish (*Salanx ariakensis* Kishinouye) in Yalujiang River [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2000, 15(2):113-118.
- [4] 解玉浩,唐作鹏,解涵,等. 有明银鱼耳石显微结构和微化学研究[J]. 动物学报(Current Zoology), 2001, 47(2):215-220.
XIE Y H, TANG ZP, XIE H, et al. Microstructure And Microchemistry In Otolith Of Ariake Icefish (*Salanx ariakensis*) [J]. Acta Zoologica Sinica, 2001, 47(2):215-220.
- [5] 张际峰,郝培应,聂刘旺,等. 2种银鱼线粒体CO II及侧翼tRNA基因的测定分析及其亲缘关系研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2008, 38(3):424-428.
ZHANG J F, HAO P Y, NIE L W, et al. Studies on the Analysis of Sequences of CO II and its Connected tRNA Genes of Mitochondrial Genome from 2 Species of Salangidae and Their Phylogenetic Relationship[J]. Periodical of Ocean University of China, 2008, 38(3):424-428.
- [6] 宋超,刘媛媛,吕杨,等. 长江口有明银鱼仔鱼的分布及其与环境因子的关系[J]. 海洋渔业, 2015, 37(4):318-324.
SONG C, LIU Y Y, LV Y et al. Distribution of *Salanx ariakensis* larvae in the Yangtze Estuary and its relationship with environmental factors[J]. Marine Fisheries, 2015, 37(4):318-324.
- [7] JIN K K, KAI Y, NAKABO T. Genetic diversity of *Salanx ariakensis*, (Salangidae) from Korea and Japan inferred from AFLP[J]. Ichthyological Research, 2007, 54(4):416-419.
- [8] HIBINO M, KINOSHITA I, OHTA T, et al. Morphology of Ariake icefish *Salanx ariakensis* larvae in the Chikugo estuary. [J]. Jpn J Ichthyol, 2002, 49:103-108.
- [9] JIN K K, DOIUCHI R, NAKABO T. Molecular and morphological differences between two geographic populations of *Salanx ariakensis*, (Salangidae) from Korea and Japan [J].

- Ichthyological Research, 2006, 53(1):52-62.
- [10] MIZUTANI H, MATSUI S, TAKESHITA N. Embryonic, larval and juvenile development of *Salanx ariakensis* (Pisces: Salangidae) [J]. Suisanzoshoku, 2010, 48:497-502.
- [11] KENDALL JR A W. Early life history stages of fishes and their characters [M]// MOSER H G, RICHARDS W J, COHEN D M, et al. Ontogeny & Systematics of Fishes. The American Society of Ichthyologists Herpetologists. Lawrence: Allen Press Inc, 1984: 11-22
- [12] 侯世挺,钟俊生,王晓东,等. 长江口南支仔稚鱼数量随潮汐变化的研究[J]. 上海海洋大学学报,2018,27(2):250-258.
- HOU S T, ZHONG J S, WANG X D, et al. The study on the amount changes of fish larvae during flood and ebb in the south branch of Yangtze River Estuary [J]. Journal of Shanghai Ocean University,2018,27(2):250-258.
- [13] DINGERKUS G, UHLER I D. Enzyme clearing of alcian blue stained whole small vertebrates for demonstration of cartilage [J]. Stain Technology, 1977, 52(4): 229-232.
- [14] ROBERTS T R. Skeletal anatomy and classification of the neotenic Asian salmoniform superfamily Salangoidea (icefishes or noodlefishes) [J]. Proceedings of the California Academy of Sciences, 1984, 43(13):179-220.
- [15] 林信伟,熊全沫. 寡齿新银鱼骨骼系统的形态和组织学特征[J]. 动物学报(Current Zoology), 1994(2):198-199.
- LIN X W, XIONG Q M. Morphological and Histological Characteristics of Skeletal System of *Neosalanx oligodontis* Chen [J]. Acta zoologica Sinica, 1994(2):198-199.
- [16] 胡敏,钟俊生,唐子涵,等. 杭州湾北部水域仔稚鱼组成的月度及年间比较[J]. 上海海洋大学学报,2017,26(1):103-112.
- HU M, ZHONG J S, TANG Z H, et al. Monthly and annual comparison of fish larvae and juveniles composition in the north of Hangzhou Bay [J]. Journal of Shanghai Ocean University,2017,26(1):103-112.
- [17] 孟庆闻,苏锦祥,李婉端. 鱼类比较解剖[M]. 科学出版社,1987:99-102.
- MENG Q W, SU J X, LI W R. Comparative anatomy of fishes [M]. Science Press, 1987:99-102.
- [18] 胡传林,刘家寿,彭建华,等. 我国银鱼研究概况及其移植的生态管理准则[J]. 湖泊科学,2001,13(3):204-210.
- HU C L, LIU J S, PENG J H, et al. Salangids in China and Their Ecological Management Principles for Transplantation [J]. Journal of Lake Sciences, 2001, 13(3):204-210.

Development of the vertebral column and the appendicular skeleton in the larvae and juveniles of *Salanx ariakensis* in the north of Hangzhou Bay

WANG Xiaodong, HE Mingdi, ZENG Jiao, LI Lianfei, ZHONG Junsheng

(College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: From June 2014 to May 2015, 10 sampling stations were set up in the north of Hangzhou Bay. Monthly collections were held by a larvae net. 120 trawls were carried out and 1 972 ind. of *Salanx ariakensis* were collected. The development of the vertebral column and the appendicular skeleton of the larvae and juveniles of *S. ariakensis* was described. A series of wild specimens of 9.7–34.2 mm in body length were cleared and stained for both cartilage and bone. The dorsal, anal, pectoral and pelvic fins supports, neural arches and haemal arches were cartilage. The cleithrum, supracleithrum, posttemporal, hypurals, urostyle and uroneural were bone. All the skeletons developed in the following sequence: pectoral girdle, anal fin supports and hypurals, dorsal fin supports, haemal arches and neural arches, pelvic fin supports and epurals. According to the observation, the postcleithrum was absent in *S. ariakensis*. The number of neural arches was 73, haemal arches was 22, hypurals (including parhypural) was 7, pterygiophore of anal fins was 27 and dorsal fins was 13. This showed that *S. ariakensis* had the phenomenon of neoteny that the ossification of the skeletal system was not all bone, which was similar to other salangid fishes.

Key words: *Salanx ariakensis*; Hangzhou Bay; vertebral column; appendicular skeleton; osteological development