

日本鬼鲉脊柱和附肢骨骼的早期发育

崔国强, 陈阿琴, 吕为群*
(上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 通过软骨-硬骨双染色的方法对日本鬼鲉从初孵仔鱼到 35 日龄的发育过程中脊柱和附肢骨骼的发育进行系统观察。结果显示, 脊柱的发育以 10 日龄髓弓的出现和 11 日龄脉弓的发育为起点; 其中, 椎体、髓棘、脉棘在 20 日龄形成, 至 35 日龄基本完成骨化并伴随着躯椎的弯曲, 并且发育和骨化顺序均为从前向后。附肢骨骼的发育顺序依次为胸鳍、尾鳍、臀鳍、背鳍和腹鳍。胸鳍的发育以 3 日龄胸鳍的匙骨、支鳍骨原基的出现为起点, 11 日龄软骨质的胸鳍支鳍骨形成, 35 日龄胸鳍下端支鳍骨游离。腰带和腹鳍出现较晚, 在 18 日龄开始发育, 但发育较快。背鳍和臀鳍出现在 20 日龄, 23 日龄时出现完整背鳍和臀鳍形态, 并伴随着鳍棘的发生; 背鳍从身体中部出现, 此后鳍棘由前向后发育, 而臀鳍从身体中部向后发育。尾鳍发育以 8 日龄仔鱼尾下骨的发育为起点, 15 日龄尾鳍基本成型, 尾下骨和尾鳍条分为上下两部分。35 日龄尾鳍支鳍骨形成并初步完成骨化。对日本鬼鲉脊柱和附肢骨骼的早期发育研究, 为早期发育过程中的功能适应性研究提供依据。

关键词: 日本鬼鲉; 脊柱; 附肢骨骼; 早期发育

中图分类号: Q 178.1; S 914.4

文献标志码: A

鱼类骨骼的形态特征是研究鱼类系统分类及其功能适应性的重要依据^[1]。为了适应摄食等生命特征, 鱼类骨骼系统也会发生相应的适应性变化^[2]; 并且不同鱼类为适应相似的生活环境和生活习性, 会呈现出趋同适应, 具体表现在骨骼形态的相似性^[3-4]。骨骼的发育过程与其生态适应和功能需求之间有着密切的联系^[5-6]。探讨鱼类骨骼系统的形成过程及各个不同发育阶段的形态、结构和解剖特点; 了解鱼类生长发育阶段骨骼发育情况和各骨骼随年龄及生长发育的变化规律, 可为研究鱼类生长发育和早期代谢情况提供基础资料。本实验以日本鬼鲉为研究对象, 探讨其早期发育过程中骨骼系统的发育规律。

日本鬼鲉别名鬼鲉, 隶属于鲉形目 (Scorpaeniformes), 鲉亚目 (Scorpaenoidei), 毒鲉科 (Synanceiidae), 鬼鲉属 (*Inimicus*), 为暖温带近海营底栖生活的肉食性小型鱼类, 广泛分布在中

国、朝鲜和日本^[7-9], 是一种具有较高经济价值的食用和药用鱼类^[10]。虽然鬼鲉的自然分布较为广泛, 但是产量并不多。因此发展人工育苗和养殖, 促使其成为水产养殖行业中新的海水养殖品种具有重要意义。目前, 国内外科研工作者对其繁殖生物学进行了初步的研究, 人工繁育技术获得了初步成功, 并且通过人工繁殖的方法可以培育出批量鱼苗^[11-15]。但是, 日本鬼鲉的人工繁育和养殖的研究尚处于初级阶段, 因此对其发育过程的研究具有重要的现实意义。

有关日本鬼鲉骨骼发育虽然已有相关的报道, 但是缺乏骨骼系统发育早期的详细资料^[16]。本实验对日本鬼鲉仔稚鱼发育过程中脊柱和附肢骨骼的形态变化进行连续观察和描述, 初步获得仔稚鱼骨骼系统发育过程中的一些基础资料, 为揭示其早期发育过程提供形态学依据, 也可以为早期发育过程中生物适应性的研究提供参考。

收稿日期: 2012-05-16 修回日期: 2012-12-01

资助项目: 上海市科委项目 (10JC1406200, 11PJ1404500); 上海市教委重点创新项目 (10ZZ102, 12YZ130, 12YZ166)

通信作者: 吕为群, E-mail: wqlv@shou.edu.cn

1 材料与方法

1.1 实验材料

日本鬼鲇仔、稚鱼等早期发育阶段的样本采自于福建省宁德市横屿岛水产有限公司,通过人工繁殖和饲养的方法获得。在市场选购生物学特征明显、健康、活力强、体表无伤、性腺成熟的个体作为亲本,运用在胸鳍基部进行腹腔注射促黄体素释放激素 A3 (LRH-A3) 的方法进行人工催产。经过催产的亲鱼在水温 (20 ± 1) °C 的条件下,在产卵池中自然产卵,获得受精卵,受精卵的孵化和幼苗培育在 1 m^3 的孵化桶中进行,孵化和幼苗培育的水温为 $19 \sim 22$ °C。幼苗饲养参照文献[13-15]的方法。在鱼苗培育过程中饵料的投喂顺序为轮虫→卤虫无节幼体→桡足类,轮虫和卤虫需经过小球藻或强化剂强化之后才能投喂。在鱼苗培育过程中及时吸污,吸除残饵、死亡个体等杂物。在育苗培育期间,每天对仔、稚鱼进行随机取样,并进行形态观察和基础数据测量,同时使用 4% 中性多聚甲醛固定液对样品进行固定保存。

1.2 标本制作

骨骼透明标本的制作和染色方法依据硬骨—软骨双染色的方法对样品的骨骼系统进行染色处理^[17-20]。主要操作步骤如下:①清洗。首先对经过 4% 多聚甲醛固定液固定的仔、稚、幼鱼样品用清水进行滴洗;②软骨染色。依次使用不同浓度的酒精 (50%、70%、85%、95%、无水) 进行梯度脱水。然后将完成脱水的仔、稚鱼样品转移至软骨染色液 (10 mg Alcian blue 8 NG + 80 mL 95% 无水酒精 + 20 mL 冰醋酸) 浸泡 12 ~ 24 h,直至尾部骨骼出现浓青色为止;③中合作用。将经过软骨染色的样品从软骨染色液中取出,置入饱和的硼酸钠溶液中,浸泡 12 h;④消化透明。将经中合作用后的样品用胰蛋白酶溶液 (35 mL 饱和硼酸溶液 + 65 mL 蒸馏水 + 1 mg 胰蛋白酶) 进行消化去组织处理,当溶液呈蓝色时,及时更换胰酶溶液,保证鱼体达到几近透明的程度;⑤硬骨染色。将经过消化处理的样品转移至硬骨染色液 (100 mL 1% KOH 溶液 + 1 mg 茜素红) 浸泡 10 ~ 24 h;⑥脱色。用胰酶溶液和 1% KOH 溶液对样品进行消化脱色处理,在胰酶溶液和 1% KOH 溶液中轮流放置,直至溶液无色并且标本清晰;⑦保存。

将消化脱色后的标本依次移至 KOH-甘油溶液 (3:1、1:1、1:3)、直至纯甘油中,当标本下沉到容器底部时转移到下一溶液中。制作完成的标本用加有百里酚的甘油密封保存。

1.3 标本观察

使用配备有 NIKON DS-Ri1 CCD 拍照系统的 NIKON SMZ800 体视显微镜对日本鬼鲇不同发育时期骨骼系统的发育形态特征进行观察和拍照,记录其不同发育阶段骨骼的形态特征。仔、稚鱼发育阶段的分期标准依据沙学坤等^[11]的研究结果,即以尾索上翘作为仔、稚鱼划分的标准。日本鬼鲇的样本测量以全长 (TL) 表示;图中标尺表示 500 μm 。

2 结果

2.1 脊柱的发育

日本鬼鲇椎骨为 28 ~ 29 节。早期仔鱼的脊索呈线状,未见分节现象 (图版 I-1, 2); 20 日龄 (TL8.5 mm) 脊柱出现分节的硬骨环 (图版 I-6); 23 日龄 (TL8.7 mm) 所有椎体形成 (图版 I-7); 随着发育的进行,脊柱钙化程度增加,并且伴随着躯椎的弯曲 (图版 I-8)。脊柱的发育开始于髓弓的出现,髓弓最早出现在 10 日龄 (TL6.1 mm) 仔鱼脊索的前端,每个髓弓由一对软骨组成,分别位于脊索背部中央两侧 (图版 I-2); 11 日龄 (TL6.1 mm) 脉弓开始发育 (图版 I-3); 髓弓由前向后发育,脉弓从尾的中部向前后两端发育,到 18 日龄 (TL6.5 mm) 靠近头部的髓弓出现闭合现象 (图版 I-5); 20 日龄,髓弓由前向后出现硬骨化,同时髓弓和脉弓闭合,并且在髓弓和脉弓末梢形成软骨质的髓棘和脉棘 (图版 I-6); 在发育过程中,髓弓的硬骨化进程早于脉弓,并且,每一髓弓、脉弓、髓棘和脉棘都是由中部向基部和末端硬骨化。椎体和髓弓、髓棘、脉弓、脉棘的硬骨化的顺序都是由前向后进行发育。

2.2 胸鳍

胸鳍骨骼发育较早。在 3 日龄 (TL4.4 mm) 已有肩带雏形形成,可见匙骨和支鳍骨原基,其中匙骨呈长条状 (图版 II-1)。4 日龄 (TL4.5 mm) 仔鱼就有鳍条出现,鳍条数目存在差异 (图版 II-2)。8 日龄仔鱼鳍条逐渐发育完整并且清晰可见 (图版 II-3)。最早在 11 日龄可见清晰的软骨质的支鳍骨,肩带部分出现骨化

(图版Ⅱ-4);20日龄胸鳍鳍条出现骨化并出现分节(图版Ⅱ-5);23日龄以后胸鳍仅存在钙化程度的差异,在35日龄,胸鳍最下方支鳍骨与其他几枚胸鳍支鳍骨分离,同时游离的还有2支鳍条(图版Ⅱ-6)。

2.3 腹鳍

腹鳍和腰带出现较晚,在18日龄在头部腹侧出现腰带原基(图版Ⅲ-1)。20日龄形成一对月牙状软骨质的腰带、支鳍骨和软骨质腹鳍鳍条(图版Ⅲ-2)。23日龄腰带继续发育,鳍条基部出现骨化现象(图版Ⅲ-3)。腰带继续发育并逐渐钙化,在稚鱼期完成硬骨化。32日龄时,腰带已发育成一对近似三角形的骨板,并且有部分愈合,鳍条骨化(图版Ⅲ-4,5,6)。

2.4 背鳍和臀鳍

20日龄个体的脊索中部出现软骨质的支鳍骨、鳍棘和臀鳍鳍条,同时前端也有支鳍骨出现(图版Ⅰ-6)。23日龄软骨质支鳍骨、背鳍和臀鳍鳍条基本成型;第一臀鳍支鳍软骨顶端分叉,着生三枚鳍条,其余臀鳍鳍条各对应一枚支鳍骨;前端鳍棘和臀鳍鳍条表现出一定硬骨化(图版Ⅰ-7)。在其后的发育过程中,鳍棘从前向后出现硬骨化(图版Ⅰ-8,9)。

2.5 尾鳍

早期仔鱼的脊索呈一直线状(图版Ⅳ-1),尾鳍以8日龄仔鱼脊索末端腹侧软骨质尾下骨的出现为起点开始发育(图版Ⅳ-2)。10日龄出现软骨质的尾下骨增大,并有鳍条出现,尾索出现上翘趋势(图版Ⅳ-3)。15日龄($TL6.4\text{ mm}$)尾鳍骨骼初具雏形,脊索末端上翘,同时尾下骨和鳍条数目增多,四枚尾下骨分为两部分,同时尾鳍鳍条分为上下两部分(图版Ⅳ-4)。18日龄下侧尾下骨愈合,同时出现尾上骨,最后几枚髓棘、脉棘向后延伸(图版Ⅳ-5)。20日龄尾下骨分为上、下两个部分,几块软骨愈合形成上叶和下叶两片支鳍骨,并且尾鳍鳍条出现钙化并呈现分节现象(图版Ⅳ-6);23日龄尾杆骨形成,尾上骨数目增至三枚,并且与尾下骨愈合形成上叶和下叶支鳍骨将尾杆骨包围,同时倒数几节尾椎的髓棘和脉棘向后延伸成为尾鳍的一部分,尾鳍鳍条钙化明显(图版Ⅳ-7);26日龄($TL9.5\text{ mm}$)以后尾鳍仅存在尾杆骨、尾鳍板和鳍条钙化程度的不同,最后几枚脉棘出现形态的改变(图版Ⅳ-8,9)。

3 讨论

3.1 日本鬼鲇骨骼系统发育的适应性意义

鱼类具有发达的内骨骼系统,硬骨鱼类的骨骼系统通常由两种不同发育途径形成的硬骨所组成,即从软骨骨化形成的软骨化骨和在膜质基础上直接骨化而来的膜骨,两者在形态结构和化学组成较难区分。软骨-硬骨双染色的方法可以对海水鱼早期发育阶段软骨和硬骨的发育过程进行显示^[18]。本研究通过对日本鬼鲇仔、稚鱼系统地进行了软骨-硬骨双染色,对早期发育过程中脊柱和附肢骨骼的整体变化进行直观的显示和研究,可以清晰的看到其在早期发育过程中整个内骨骼的变化。胸鳍形成较早,在3日龄已有肩带和胸鳍支鳍骨原基形成,4日龄仔鱼就有胸鳍鳍条的出现,而此时其余各鳍均以鳍褶形式存在。尾鳍是鱼类前进的重要推进器官,因此鱼类尾鳍支鳍骨的组成比较复杂,需要与脊柱末端紧密配合才能有效地提供推动力。日本鬼鲇尾鳍的发育开始于8日龄,尾鳍的发育过程伴随着脊索末端的弯曲;尾鳍支鳍骨出现在20日龄左右。沙学绅等^[11]提出尾索上翘作为进入稚鱼期的标志,但也有研究认为无鳞鱼以腹鳍的形成作为仔鱼和稚鱼的划分标准^[21]。日本鬼鲇20日龄出现软骨质的尾上骨和腹鳍,证明了两种划分标准均可使用于日本鬼鲇,并且具有一致性。从日本鬼鲇骨骼系统早期发育特点的角度证实了以尾索上翘和腹鳍的出现作为进入稚鱼期的标志的可能性,在此期间日本鬼鲇完成了鳍条的形成,髓弓、脉弓的出现时间与尾鳍的发育基本同步。日本鬼鲇腹鳍喉位,其腰带原基在18日龄出现,并且迅速发育,20日龄已形成较为完整的腰带和腹鳍,随后腰带和腹鳍迅速发育并完成硬骨化。由于日本鬼鲇在发育过程中存在一次习性的转变,从水中自由游泳转为底栖爬行,腹鳍的出现骨化的时间与其习性的转变相一致。与腹鳍同时出现并且快速发育的还有鳍棘。许多底栖鱼类在早期发育过程中存在高死亡率的现象^[11,21-22],日本鬼鲇也不例外,在其发育过程中存在两次死亡高峰期^[13],与骨骼发育过程相比较发现,第一次发生在尾鳍的快速发育阶段;第二次发生在骨骼的快速钙化阶段,期间伴随着脊柱的弯曲,与大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)的死亡高峰期骨骼的发育有一定的相

似性^[22]。

生物体的形态结构与其赖以生存的一定环境条件和生态习性相适合。日本鬼鲉的骨骼发育是一个连续的过程,其形态结构与其外部形态的变化和生理功能适应密切相关。在发育过程中,骨骼的发育是整个早期发育过程的重要组成部分,与其早期的生理活动和生态习性密切相关。鱼类早期发育阶段处于内源营养或混合营养期,到稚鱼时,外源性营养为生命代谢的主要能量来源;在此期间,日本鬼鲉运动器官逐步发育,其胸鳍的支鳍骨最先形成;随后,尾鳍的迅速发育,伴随着肩带出现部分骨化。

3.2 日本鬼鲉骨骼系统发育的特殊性

通过以上染色的结果可以清晰地看到日本鬼鲉在早期发育过程中脊柱及附肢骨骼的发育变化,对其发育途径也有一定的了解,其中脊柱、上匙骨等为膜质基础上直接骨化而来的膜骨,而大多数附肢骨骼、髓棘、脉棘、髓弓、脉弓等是由软骨固化而形成的软骨化骨。

不同鱼类脊柱和附肢骨骼早期发育过程有着整体上的一致性,但同时存在一定的差异性^[22-33]。附肢骨骼的出现时间、发育顺序和形态结构也存在种间差异。部分鱼类的附肢骨骼在孵化后开始发育^[22-30],也有的鱼类在胚胎发育过程中已有发育^[31]。日本鬼鲉附肢骨骼中最先出现的是胸鳍(3日龄),其次出现的是尾鳍,然后依次是背鳍、臀鳍和腹鳍。类似的附肢骨骼发育顺序在很多鱼类中都得到了体现,比如大菱鲆^[22]、真鲷(*Pagrosomus major*)^[6]、遮目鱼(*Chanos chanos*)^[23]、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[24]等。日本鬼鲉的附肢骨骼发育发生在胚后发育的过程中,并且其胸鳍、尾下骨、尾上骨发育过程和形态结构与大黄鱼的发育过程和形态结构有着一致性^[28]。

不同鱼类脊柱发育方式并不完全相同,通常以髓弓和脉弓的发育为起点,但是不同鱼类髓弓和脉弓出现的位置存在差异^[24-33]。日本鬼鲉的脊柱发育过程与同属于鲉形目的带纹锯鲂(*Prionotus evolans*)有一定的相似性,其脊柱的发育顺序和发育特征极其相似^[27]。日本鬼鲉脊柱的发育与大黄鱼(*Larimichthys crocea*)也有一定的相似性,都是髓弓、脉弓出现较早,并且脊椎椎体的骨化顺序都是从头部开始由前向后发育^[28]。而有些鱼类椎体的发育方式是以体前中部为发育

起点向前后发育^[28]。鱼类的尾下骨通常也会发生联合,其形式各异,是系统分类的重要特征。日本鬼鲉尾部骨骼系统的结构和发育过程与大黄鱼、白鲈(*Morone americana*)、鲈(*Morone saxatilis*)与红甘鲷(*Seriola dumerili*)有一定的相似^[28,32-33]。日本鬼鲉与带纹锯鲂、大黄鱼、红甘鲷等尾下骨的形态和联合方式基本一致^[27-28,33]。日本鬼鲉和带纹锯鲂等骨骼发生的相似性从某种程度上可以认为,身体的形态结构与其生活习性有着密切的关系。从另一个方面讲,日本鬼鲉与鲈形目、鲉形目鱼类在结构上及发育过程的相似性,可为系统发生和进化研究提供部分依据。

本实验通过对日本鬼鲉脊柱和附肢骨骼的发育过程的初步研究,可为进一步探讨研究其早期生活史的形态变化、生态适应、系统进化等功能需求提供基础材料,为今后研究人工苗种培育提供一定参考依据。

参考文献:

- [1] 孟庆闻,苏锦祥,李婉端. 鱼类比较解剖学[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [2] 陈星玉. 黑斑狗鱼的骨骼系统及其食性适应[J]. 河南师范大学学报,1987(4):95-101.
- [3] 王德寿,罗泉笙,刘少英. 大鳍鲢头骨形态的观察[J]. 西南师范大学学报,1990,15(3):399-404.
- [4] 王德寿. 南方大口鲶颅骨形态的研究[J]. 西南师范大学学报,1987,12(1):130-137.
- [5] 赵俊,陈湘舜. 鲈鱼的头骨发育及其适应意义[J]. 动物学研究,1995,16(4):307-314.
- [6] Kohno H, Taki Y, Ogasawara Y, et al. Development of swimming and feeding functions in larval *Pagrus major*[J]. Japanese Journal of Ichthyology, 1983, 30(1):47-60.
- [7] 李明德,康洁,王迎. 中国鱼类名录Ⅷ—鲉形目[J]. 海洋通报,2003,22(1):57-62.
- [8] 金鑫波. 中国动物志. 硬骨鱼纲. 鲉形目[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [9] 金鑫波. 福建鱼类志(下卷)[M]. 福州:福建科学技术出版社. 1985.
- [10] 伍汉霖,金鑫波,倪勇. 中国有毒鱼类和药用鱼类[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978.
- [11] 沙学绅,阮洪超,何桂芳. 鬼鲉卵子及仔、稚鱼的发育[J]. 海洋与湖沼,1981,12(4):365-374.
- [12] Nozaki R, Takushima M, Mizuno K, et al. Reproductive cycle of devil stinger, *Inimicus japonicus*[J]. Fish Physiology and Biochemistry,

- 2003,28(1-4):217-218.
- [13] 刘振勇,全汉锋. 鬼鲇人工育苗技术研究[J]. 上海水产大学学报,2005,14(1):30-34.
- [14] 方民杰,詹宝华,陈世杰. 鬼鲇人工育苗技术[J]. 水产养殖,1997(5):6-7.
- [15] 覃锐. 日本鬼鲇的种苗生产试验[J]. 河北渔业,2008(12):29-30.
- [16] Imamura H, Yabe M. Osteological development of the lumpfish, *Inimicus japonicus* (Pisces: Synanceiidae) [J]. Ichthyological Research, 1998, 45(1):53-67.
- [17] Dingerkus G, Uhler, L D. Enzyme clearing of alcian blue stained whole small vertebrates for demonstration of cartilage [J]. Stain Technology, 1977, 52(4):229-232.
- [18] Gavaia P J, Sarasquete C, Cancela M L. Detection of mineralized structures in early stages of development of marine teleostei using a modified Alcian Blue - Alizarin Red double staining technique for bone and cartilage [J]. Biotechnic and Histochemistry, 2000, 75(2):79-84.
- [19] Song J, Parenti L R. Clearing and staining whole fish specimens for simultaneous demonstration of bone, cartilage, and nerves [J]. Copeia, 1995, (1):114-118.
- [20] Lewis L M, Lall S P, Witten E P. Morphological descriptions of the early stages of spine and vertebral development in hatchery-reared larval and juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) [J]. Aquaculture, 2004, 241(1-4):47-59.
- [21] 王春芳. 黄颡鱼消化道的发育及其选食性研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2001.
- [22] Kohno H, Moteki M, Yoseda k, *et al.* Development of swimming and feeding function in larval turbot *Psetta maxima*, reared in the laboratory [J]. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2001, 1(1-2):7-15.
- [23] Taki Y, Kohno H, Hara S. Morphological aspects of the development swimming and feeding functions in the milkfish *Chanos chanos* [J]. Japanese Journal of Ichthyology, 1987, 34(2):198-208.
- [24] Hosoya K, Kawamura K. Skeletal formation and abnormalities in the caudal complex of the Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck and Schlegel) [J]. Bulletin of the National Research Institute of Fisheries Science, 1998, (12):97-110.
- [25] Faustino M, Power D M. Development of osteological structures in the sea bream: vertebral column and caudal fin complex [J]. Journal of Fish Biology, 1998, 52(1):11-22.
- [26] Matsuoka M. Development of the skeletal tissues and skeletal muscles in the red sea bream [R]. Bulletin of Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, 1987, 65:1-114.
- [27] Yuschak P. Fecundity, eggs, larvae and osteological development of the striped searobin, (*Prionotus evolans*) (Pisces, Triglidae) [J]. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science, 1985, 6:65-85.
- [28] 王秋荣,倪玥莹,林利民,等. 大黄鱼仔稚鱼脊柱、胸鳍及尾鳍骨骼系统的发育观察[J]. 水生生物学报, 2010, 34(3):467-474.
- [29] 陈渊戈,夏冬,钟俊生,等. 刀鲚仔稚鱼脊柱和附肢骨骼发育[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(2):217-223.
- [30] Koumoundouros G, Gagliardi F, Divanach P, *et al.* Normal and abnormal osteological development of caudal fin in *Sparus aurata* L. fry [J]. Aquaculture, 1997, 149(3-4):215-226.
- [31] Kendall A W, 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.* Eds. Ontogeny and systematics of fishes. American Society of Ichthyologists and Herpetologists, Special Publication. Laurence: Allen Press, 1984:11-22.
- [32] Fritzsche R A, Johnson G D. Early osteological development of white perch and striped bass with emphasis on identification of their larvae [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1980, 109(4):387-406.
- [33] Liu C H. Early osteological development of yellow tail *Seriola dumerili* (Pisces: Carangidae) [J]. Zoological Studies, 2001, 40(4):289-298.

Early development of the vertebral column and the appendicular skeleton in the *Inimicus japonicus*

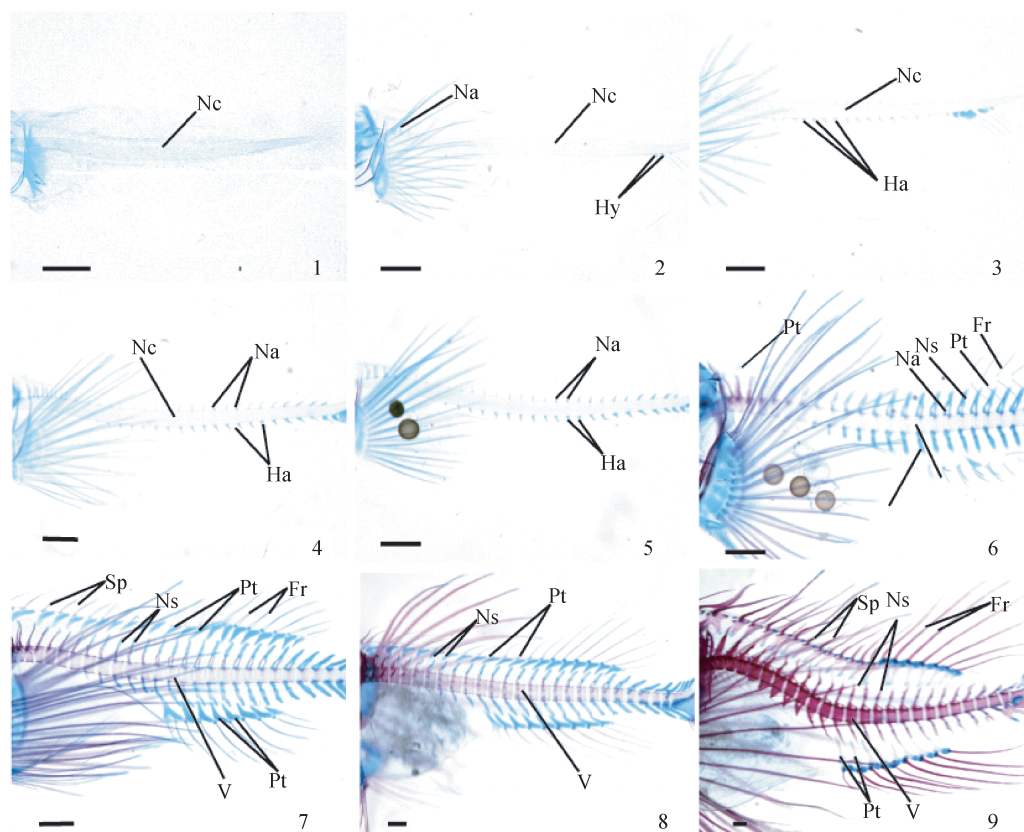
CUI Guoqiang, CHEN Aqin, LV Weiqun *

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

Abstract: *Inimicus japonicus* is one of the most commercially important marine fishes in China and Japan. The embryonic and morphological development of larvae of this species has been studied, but it is incompletely known about its osteological development. In order to obtain the knowledge of the normal onset of skeletal structures throughout development, the developmental sequences of vertebral column and the appendicular skeleton were examined in laboratory-reared larvae of *Inimicus japonicus* from hatching through 35 days after hatching (d. a. h) by the clearing and staining technique of cartilage and bone. According to the observation, the vertebral column started to develop from haemal arches and neural arches at 10 d. a. h and 11 d. a. h respectively. Then, centrum, medullary spines, and pulses spines were formed at 20 d. a. h. and they were completely ossified by 35 d. a. h with trunk vertebrae flexion. The development sequence and ossification of centrum, medullary spines, and pulses spines both started from anterior to posterior. The appendicular skeleton developed in following sequences: the pectoral fin is the first to develop, followed by caudal fins, anal fins, dorsal fins, and then ventral fins. The pectoral fin started to develop from the cleithrum and the fin plate at 3 d. a. h. Cartilages of pterygiophore of pectoral fin were formed at 11 d. a. h and some fin-supports of pectoral fins separated at 35 d. a. h. Pelvic girdle and ventral fin appeared right at 18 d. a. h, later than pectoral fin, but they are rapidly developed. Dorsal and anal fin appeared at 20 d. a. h, and dorsal and anal fin-ray complements completed at 23 d. a. h. However, anal fin developed posterior from the middle section. The development of the caudal fin began with the appearance of the hypural at 8 d. a. h, and then caudal fin rays and fin-supports begin to develop. Caudal fin was basically formed at 15 d. a. h with two leaves a fin bone formation, which divided the caudal fin rays into two parts. The caudal fins bone formed and started preliminary ossification at 35 d. a. h. Previously-recognized critical periods for *Inimicus japonicus*, corresponded to transformation phases from the primitive, basic modes to stable, more functional modes in both swimming functional development and changing in living habits. The study of the development of the vertebral column and the appendicular skeleton of *Inimicus japonicus* will provide the basis for the functional adaptation during early development.

Key words: *Inimicus japonicus*; vertebral column; appendicular skeleton; early development

Corresponding author: LV Weiqun. E-mail: wqlv@shou.edu.cn



图版 I 日本鬼鲇脊柱、背鳍、臀鳍、支鳍骨的发育过程

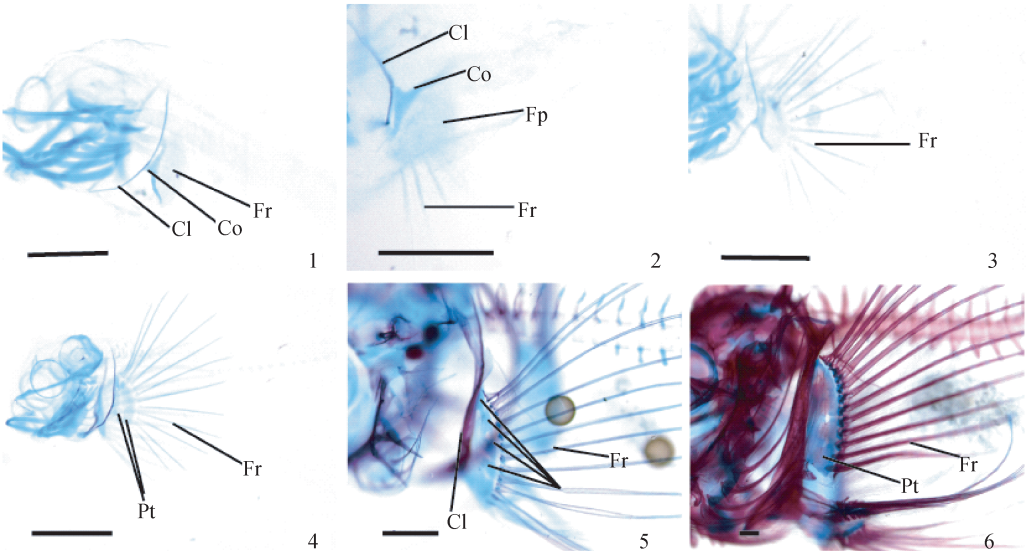
1. 3 日龄仔鱼 (TL4.4 mm); 2. 10 日龄仔鱼 (TL6.1 mm); 3. 11 日龄仔鱼 (TL6.1 mm); 4. 15 日龄仔鱼 (TL5.7 mm); 5. 18 日龄仔鱼 (TL6.5 mm); 6. 20 日龄稚鱼 (TL8.5 mm); 7. 23 日龄稚鱼 (TL8.9 mm); 8. 26 日龄稚鱼 (TL9.5 mm); 9. 35 日龄稚鱼 (TL15.5 mm)。

Fr. 鳍条; Ha. 脉弓; Hs. 脉棘; Hy. 尾下骨; Na. 髓弓; Nc. 脊索; Ns. 髓棘; Pt. 支鳍骨; Sp. 鳍棘; V. 椎骨。

Plate I Development of the vertebral column, dorsal and anal fin, pterygiophore in the *I. japonicus*

1. 3 d. a. h larvae (TL4.4 mm); 2. 10 d. a. h larvae (TL6.1 mm); 3. 11 d. a. h larvae (TL6.1 mm); 4. 15 d. a. h larvae (TL5.7 mm); 5. 18 d. a. h larvae (TL6.5 mm); 6. 20 d. a. h postlarva (TL8.5 mm); 7. 23 d. a. h postlarva (TL8.9 mm); 8. 26 d. a. h postlarva (TL9.5 mm); 9. 35 d. a. h juvenile fish (TL15.5 mm).

Fr. fin ray; Ha. haemal arch; Hs. haemal spine; Hy. hypural; Na. neural arch; Nc. notochord; Ns. neural spine; Pt. pterygiophore; Sp. spinous process; V. vertebra.

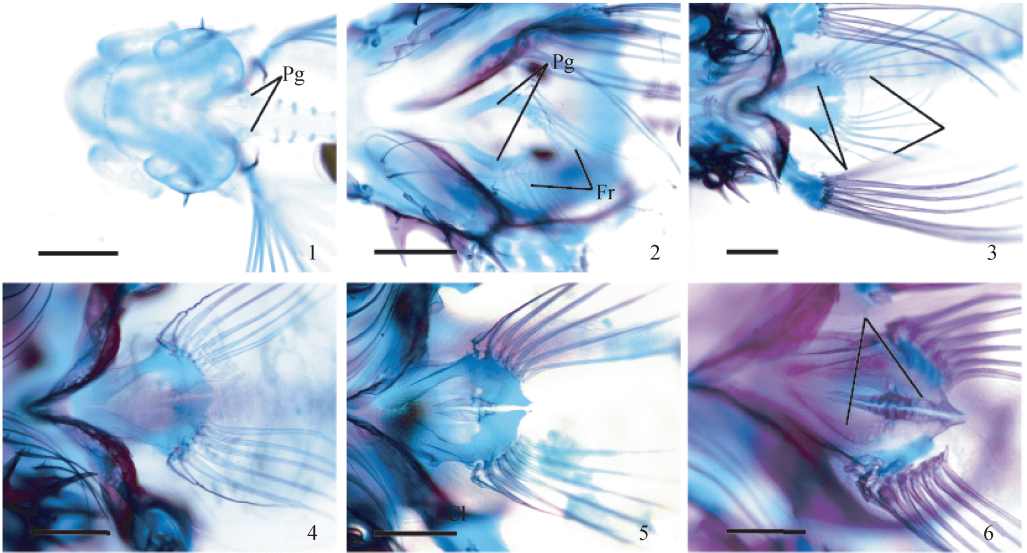


图版 II 日本鬼鲈胸鳍发育

1. 3 日龄仔鱼 (TL4.4 mm); 2. 4 日龄仔鱼 (TL4.5 mm); 3. 8 日龄仔鱼 (TL5.7 mm); 4. 11 日龄仔鱼 (TL6.1 mm); 5. 20 日龄稚鱼 (TL8.5 mm); 6. 35 日龄稚鱼 (TL15.5 mm)。
Cl. 匙骨; Co. 乌喙骨; Fp. 支鳍骨原基; Fr. 鳍条; Pt. 支鳍骨。

Plate II Development of the pectoral fin in the *I. japonicus*

1. 3 d. a. h larvae (TL4.4 mm); 2. 4 d. a. h larvae (TL4.5 mm); 3. 8 d. a. h larvae (TL5.7 mm); 4. 11 d. a. h larvae (TL6.1 mm); 5. 20 d. a. h postlarva (TL8.5 mm); 6. 35 d. a. h juvenile fish (TL15.5 mm).
Cl. cleithrum; Co. coracoids; Fp. fin plate; Fr. fin ray; Pt. pterygiophore.

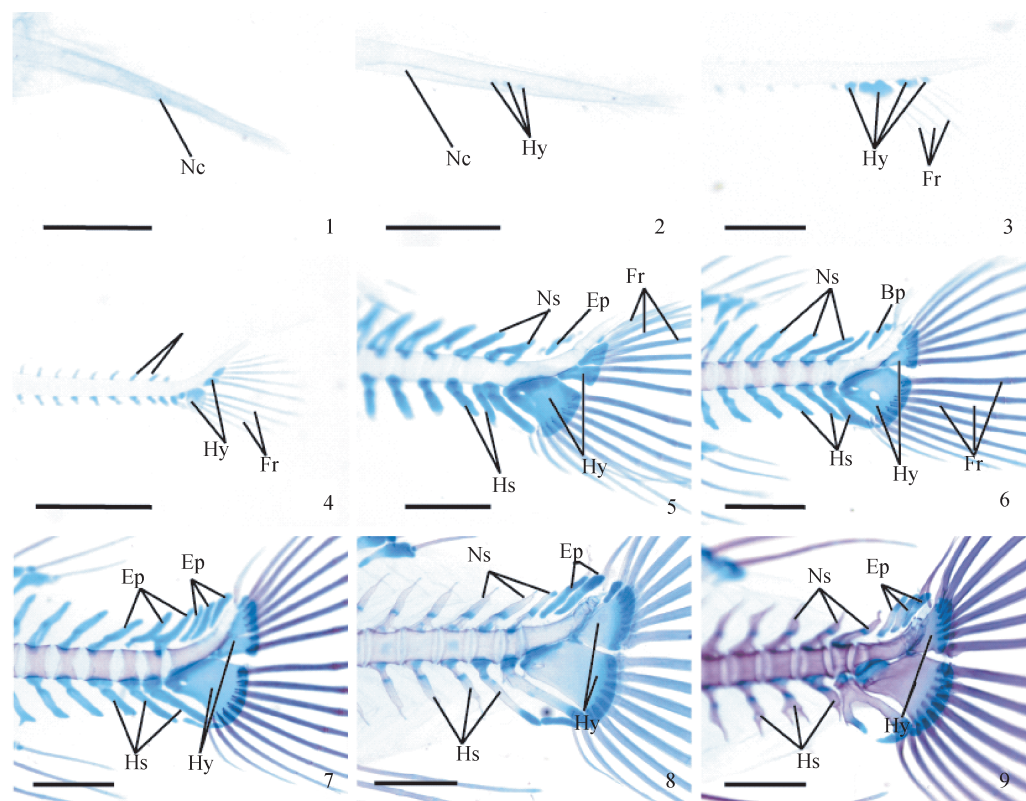


图版 III 日本鬼鲈腹鳍发育

1. 18 日龄仔鱼 (TL6.5 mm); 2. 20 日龄稚鱼 (TL8.5 mm); 3. 23 日龄稚鱼 (TL8.9 mm); 4. 26 日龄稚鱼 (TL9.5 mm); 5. 29 日龄稚鱼 (TL10.5 mm); 6. 32 日龄稚鱼 (TL12.5 mm)。
Pg. 腰带; Pr. 鳍条。

Plate III Development of the pelvic fin in the *I. japonicus*

1. 18 d. a. h larvae (TL6.5 mm); 2. 20 d. a. h postlarva (TL8.5 mm); 3. 23 d. a. h postlarva (TL8.9 mm); 4. 26 d. a. h postlarva (TL9.5 mm); 5. 29 d. a. h postlarva (TL10.5 mm); 6. 32 d. a. h postlarva (TL12.5 mm).
Pg. pelvic girdle; Pr. pelvic ray.



图版 IV 日本鬼鲉尾鳍发育

1. 3 日龄仔鱼 (TL4.4 mm); 2. 8 日龄仔鱼 (TL5.7 mm); 3. 10 日龄仔鱼 (TL6.1 mm); 4. 15 日龄仔鱼 (TL5.7 mm); 5. 18 日龄仔鱼 (TL6.5 mm); 6. 20 日龄稚鱼 (TL8.5 mm); 7. 23 日龄稚鱼 (TL8.9 mm); 8. 26 日龄稚鱼 (TL9.5 mm); 9. 35 日龄稚鱼 (TL15.5 mm)。

Ep. 尾上骨; Fr. 鳍条; Ha. 脉弓; Hs. 脉棘; Hy. 尾下骨; Na. 髓弓; Nc. 脊索; Ns. 髓棘。

Plate IV Development of the caudal fin in the *I. japonicus*

1. 3 d. a. h larvae (TL4.4 mm); 2. 8 d. a. h larvae (TL5.7 mm); 3. 10 d. a. h larvae (TL6.1 mm); 4. 15 d. a. h larvae (TL5.7 mm); 5. 18 d. a. h larvae (TL6.5 mm); 6. 20 d. a. h postlarva (TL8.5 mm); 7. 23 d. a. h postlarva (TL8.9 mm); 8. 26 d. a. h postlarva (TL9.5 mm); 9. 35 d. a. h juvenile fish (TL15.5 mm).

Ep. epurals; Fr. fin ray; Ha. haemal arch; Hs. haemal spine; Hy. hypural; Na. neural arch; Nc. notochord; Ns. neural spine.