

东海条石鲷仔鱼耳石日轮与生长的关系

王菲^{1,2}, 程家骅¹, 罗海忠³

(1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090; 2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 3. 舟山市水产研究所, 浙江 舟山 316100)

摘要: 2009年4月15日-5月5日在浙江省舟山水产研究所条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)人工繁殖期间, 逐日选择胚胎和仔鱼样本, 连续解剖观察发育后期胚胎和前期仔鱼, 光镜观察仔鱼矢耳石和微耳石的形态、日轮数, 测定其直径, 研究条石鲷的耳石日轮和生长。结果表明, 受精后约26 h, 条石鲷胚胎听囊内出现1对矢耳石和1对微耳石; 仔鱼孵出第2天形成第1个轮纹, 之后每天形成1轮, 孵化后天数(N)和矢耳石日轮数(D)的关系为 $N=D+1$; 在第8天左右, 矢耳石上出现第2条明显的标记轮, 为初次摄食轮。仔鱼耳石长径(r_s , μm)与鱼体体长(L , mm)呈线性相关, 其关系式为 $r_s=18.146L-44.436$; 矢耳石长径 r_s 与微耳石长径 r_1 之间存在线性相关, 其关系式为 $r_s=0.6125r_1+1.9882$ 。根据结果确认, 矢耳石轮纹可作为条石鲷仔鱼日龄的判别依据。[中国水产科学, 2010, 17(2): 320-328]

关键词: 条石鲷; 耳石; 日轮; 生长

中图分类号: S931

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2010)02-0320-09

耳石是起平衡和听觉作用的硬组织^[1], 主要由碳酸钙构成, 存在于硬骨鱼类内耳的膜迷路内。从Pannella^[2]首次引入鱼类日龄的概念以及Brothers等1976年首次应用鱼类耳石鉴定幼鱼的日龄以来, 鱼类耳石日轮的观察、日龄的鉴定已经成为鱼类生物、生态研究中越来越重要的方法和手段。有关该领域的研究, 国内学者现阶段仍主要集中在耳石发育、日轮观察与日龄鉴定、耳石形态与鱼体发育关系等方面, 如董双林^[3]对鲤(*Cyprinus carpio*)仔稚鱼耳石日轮有过研究报道, 解玉浩^[4-6]、李城华^[7-9]等分别对鸭绿江香鱼(*Plecoglossus altivelis*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)、池绍公鱼(*Hypomesus olisus*)及日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)、黄海黑鲷(*Sparus macrocephalus*)等鱼类的仔鱼耳石日轮形成与自然种群日龄的鉴定进行过相关研究。而国外学者对仔稚鱼耳石的研究与应用近年来又有了进一步的拓展, 其

研究方向主要聚焦于耳石沉积对环境和生理条件的响应方面, 如Aldanondo^[15]研究了南比斯开湾鳀(*Engraulis encrasicolus*)仔鱼耳石在不同孵化温度下的日轮沉积状态; Campana^[16]发现仔鱼耳石亚日轮的出现频率随着摄食频率的增加而增加; Tanaka K^[17]的实验表明, 当白昼-黑夜循环倒置时, 罗非鱼(*Tilapia nilotica*)耳石明暗带的沉积也随之颠倒; Hislop^[18]分析研究了耳石日轮与产卵时间和地点的关系等, 这些研究较好地揭示了鱼类的早期生态习性和生理反应等基础科学问题。目前, 中国有关海洋水产科研单位正在近岸水域组织开展主要经济鱼类的产卵场调查, 其中准确掌握对象鱼种的产卵盛期和产卵场所是调查的核心所在。如何解决好这一技术难题, 应用调查仔稚鱼样本的日龄界定, 结合鱼类早期发育生长的特性掌握相关规律, 是一种有效推测判定对象鱼种产卵时间和地点的方法。考虑到

收稿日期: 2009-04-28; **修订日期:** 2009-11-12.

基金项目: 农业部专项-东海区渔业资源动态监测(2007-2008); 浙江省重大科技专项重点项目(2006C12005-2); 浙江省海洋与渔业局水产种子种苗项目(200813215); 浙江省舟山市科技局重点攻关项目(07337).

作者简介: 王菲(1983-), 女, 在读硕士, 研究方向为渔业资源与生态. E-mail: feelingphil@foxmail.com

通讯作者: 程家骅, 研究员. E-mail: ziyuan@sh163.net

国内在该方向的研究目前尚未系统开展,为此本研究拟以人工繁殖的东海条石鲷早期发育样本为研究对象,借鉴国内外已有日龄研究经验,开展仔鱼耳石日轮与生长关系的研究,旨在为今后中国近海产卵场实际调查的仔稚鱼样品分析提供方法学支撑,并进一步为准确判别产卵场特征积累相关研究经验。

1 材料与方法

1.1 材料来源

实验样品取自舟山市水产研究所养殖基地的人工繁殖条石鲷幼体,亲鱼为嵊山海域采捕的野生条石鲷。2009年4月15日人工催产获得条石鲷受精卵,于容积4 m×4 m×1.4 m的培养池中孵化。仔鱼孵出后,饲养期间水温(23.5±0.5)℃,pH 8.0~8.5,盐度30~25,仔鱼开口投喂轮虫,13 d左右喂食丰年虫,22 d后喂食桡足类,鱼生长发育正常。本实验选取同一尾产卵亲鱼的后代,从仔鱼孵出后第1天起,每天随机取样10尾,连续取样25 d。样品采集后直接于解剖镜下测量全长,然后经处理保存在95%的酒精溶液中。

1.2 耳石挑取和观测

实验期间,每天将采集的仔鱼置于载玻片上,滴一小滴清水使之不适而死,测量其标准体长(L_s),精度为0.01 mm。在解剖镜下用解剖针挑取出矢耳

石和微耳石,清除耳石周围的组织,分开标记,将矢耳石凹面朝上,烘干后用中性树胶固定,封片。

本实验共采集192尾仔鱼样本,成功挑取耳石的仔鱼为146尾,筛除因光折射或裂纹而难以辨认轮纹的耳石,最终获取71尾从耳石中心到边缘增量连续的有效仔鱼样品,其中3~18 d每天有效样本为4枚,第1~2天有效样本为3枚,第19~22天有效样本为4枚。发育20 d前的仔鱼耳石轮纹清晰,可直接在显微镜下辨认;20 d之后的仔鱼耳石,固定于载玻片上,在1500#的砂纸上,一边用手研磨,一边在镜下检查,使中心核平面与磨面共面,并在双筒解剖镜下将耳石磨片用中性树胶固定于载玻片上^[19]。

2 结果与分析

2.1 条石鲷耳石的形成及发育

条石鲷的受精卵经过26 h的胚胎发育,在其听囊内出现两对圆形的耳石,靠近仔鱼眼睛的耳石为微耳石(Lapillus),更靠后的耳石为矢耳石(Sagitta)。在形成耳石到孵化后约7 d内,两种耳石的大小基本一样(图1),之后两者增长速度有明显差别,矢耳石直径大于微耳石。因此,文中除特别说明外,用于日龄分析的耳石皆指矢耳石。条石鲷耳石与多数鱼种一样^[20-23],在孵化后20 d内不需要做任何处理即可观察其轮纹并计数。

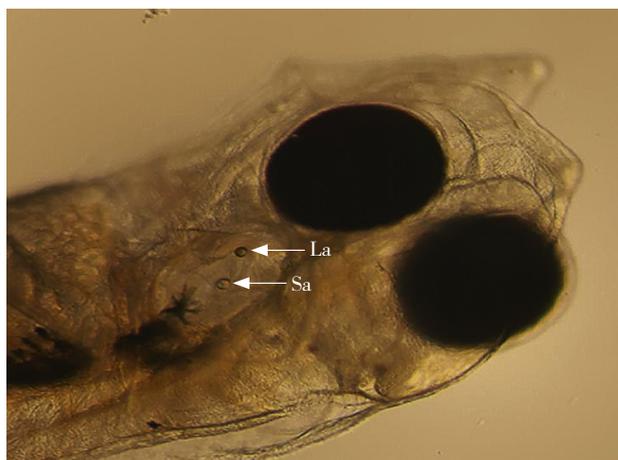


图1 条石鲷仔鱼的两对耳石

Sa、La 分别代表矢耳石和微耳石。

Fig. 1 Position of two pairs of otoliths in larval Japanese parrotfish. Sa and La indicate sagitta and lapillus, respectively.

2.1.1 矢耳石与微耳石

(1) 微耳石: 条石鲷仔鱼刚孵出后的微耳石通常为圆形。大约 10 d 后, 其中心核两边生长速率出现较大差异, 形状发生改变, 中心核靠向一边, 形状上变为椭圆形(图版 I-1)。

(2) 矢耳石: 刚孵化的条石鲷仔鱼矢耳石与微耳石类似, 孵出后为圆形。约 12 d 转变为椭圆形, 20 d 左右变成一端较凸、另一端较圆的梨形(图版 I-2, 3, 4)。一般地, 当微耳石的中心核和形状开始转变时, 也正是矢耳石进入快速生长的时候, 这时就可以较容易地把两种耳石分开。

2.1.2 耳石原基和中心核 条石鲷仔鱼耳石上具有一个生长中心, 为耳石中心核, 圆形, 其内深黑色的圆点为耳石原基(Primordium)(图版 I-1)。

条石鲷仔鱼大部分耳石具有 1 个中心核(Nucleus)和 1 个原基, 但也发现有极少数的耳石存在 1 个中心核和 2 个原基(图版 II-1, 2)。这些耳石仅占耳石总数的约 3.5%。原基分裂的位置是耳石结晶裂纹处。

2.2 条石鲷耳石日轮特征

一个完整的日轮由 1 条较宽的增长带和 1 条较窄的间歇带组成, 其中增长带颜色透明, 间歇带颜色暗淡。本实验从胚胎期开始观察, 以确定耳石轮纹形成的日龄, 并观察耳石增量是否在孵化前形成。实验中以耳石增长带为日轮计数标准。刚孵出的条石鲷仔鱼耳石上没有轮纹, 孵出后第 2 天观察到 1 个轮纹, 孵出后第 3 天, 耳石上已有 2 个轮纹(图版 I-1)。继第 1 个轮纹形成之后, 每天形成 1 轮, 因此仔鱼的日龄 N 可用耳石轮纹数 D 加 1 表示, 其表达式为 $N=D+1$ 。

矢耳石上出现的第 1 个轮纹, 颜色明显深于一般的生长轮, 该轮为孵化标记轮(图版 I-3)。此时条石鲷仔鱼体长 2.01 ~ 2.38 mm, 卵黄囊吸收变小, 约占体长的 1/5, 油球缩小; 消化管前端向食道延伸, 前端变粗; 肠道和背部边缘密集分布点状和雪花状黑色素, 躯干中部呈黄褐色; 胸鳍原基出现, 背鳍膜增厚, 尾部鳍膜中间开始出现放射丝。仔鱼孵出后的第 6 ~ 8 天, 矢耳石上出现第 2 条颜色明显深于一般生长轮的日轮, 该轮为初次摄食轮。此时

仔鱼全长 2.91 ~ 3.47 mm, 卵黄囊和油球均已消失, 鳃明显增大, 鳃的背部有黑色素分布; 脊椎背部边缘色素减少, 腹部边缘色素增多。

2.3 耳石的增长

刚孵出的条石鲷仔鱼, 全长 1.85 ~ 2.12 mm, 耳石长径 3.65 ~ 4.86 μm ; 中间呈星花状, 周围有 3 ~ 4 道较明显向边缘辐射的裂纹。孵出后第 8 天的仔鱼, 卵黄囊接近消失, 仔鱼全长 3.17 ~ 3.75 mm, 耳石长径 13.56 ~ 15.24 μm 。孵出后第 12 ~ 15 天, 仔鱼全长 4.06 ~ 4.97 mm, 耳石长径 15.60 ~ 56.13 μm 。孵出后第 16 ~ 25 天, 仔鱼全长 4.45 ~ 9.11 mm, 耳石长径 41.11 ~ 103.32 μm (图版 I-2, 3, 4)。随着时间的推移, 矢耳石形状逐渐变化为椭圆形, 由于其长半径上的轮纹较短径连续和清晰, 因此本研究在分析其增长时均以长半径为基础。

测定数据分析表明, 耳石长径 r_s 和天数 N 之间的关系式为 $r_s=5.302 6e^{0.1293N}$ ($R^2=0.979 2$, $P<0.001$), 如图 2 所示。耳石长径 r_s 和仔鱼全长 L 成直线关系, 其关系式为 $r_s=18.146L-44.436$ ($R^2=0.9603$, $P<0.001$), 如图 3。耳石长径增量 Δr_s 和体长增量 ΔL 成直线关系, 其关系式为 $\Delta L=0.060 \Delta r_s$ ($R^2=0.947$, $P<0.001$), 如图 4 所示。

2.4 矢耳石与微耳石的关系

随着条石鲷仔鱼体长的增长, 矢耳石和微耳石的增长速度出现明显差异。71 尾仔鱼矢耳石长径 r_s 与微耳石长径 r_l 的测定数据回归分析表明, 两者成直线关系, 其关系式为 $r_s=0.612 5r_l+1.988$ ($R^2=0.979$, $P<0.001$), 如图 5 所示。

3 讨论

3.1 日龄和标记轮的判别

为准确判别幼鱼的日龄, 其耳石日轮的形成和判读至关重要。本研究以人工繁殖的条石鲷样本连续采集为实验示范, 逐日跟踪其耳石日轮的形成规律。研究表明, 孵化期较短的条石鲷在孵出 1 d 后(31 h)耳石开始形成第 1 个日轮, 即以卵黄为营养源时沉积的孵化标记轮, 之后每天形成 1 轮; 大约 8 d 后, 又有第 2 个较为明显的标记轮形成, 即初

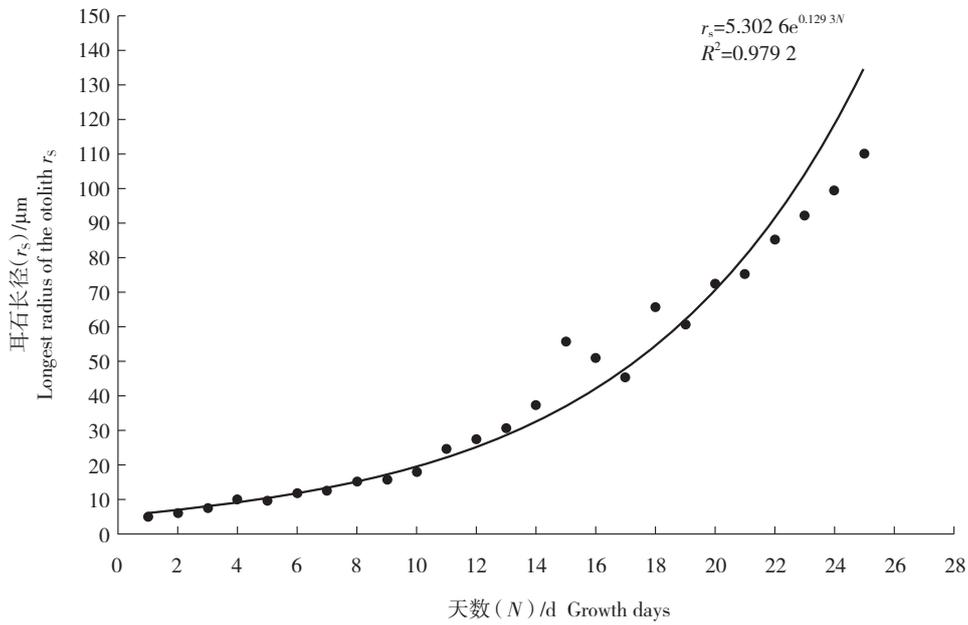


图2 条石鲷仔鱼耳石长径与生长天数之间的关系

Fig. 2 Relationship between longest radius of otolith of larval Japanese parrotfish and growth days

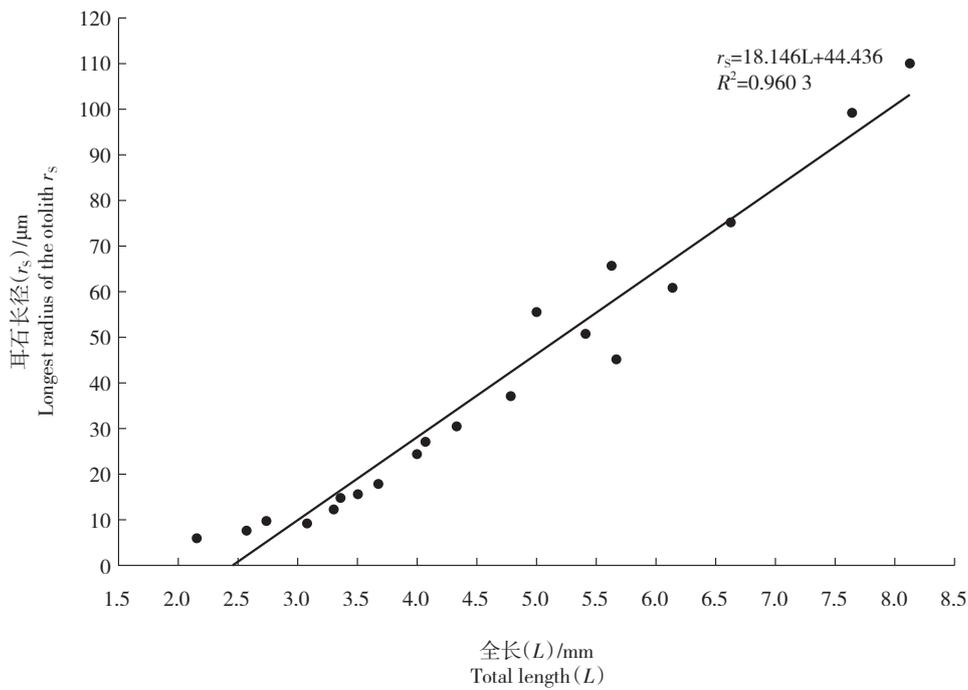


图3 条石鲷仔鱼耳石长径与体长之间的关系

Fig. 3 Relationship between longest radius of otolith and total length of larval Japanese parrotfish

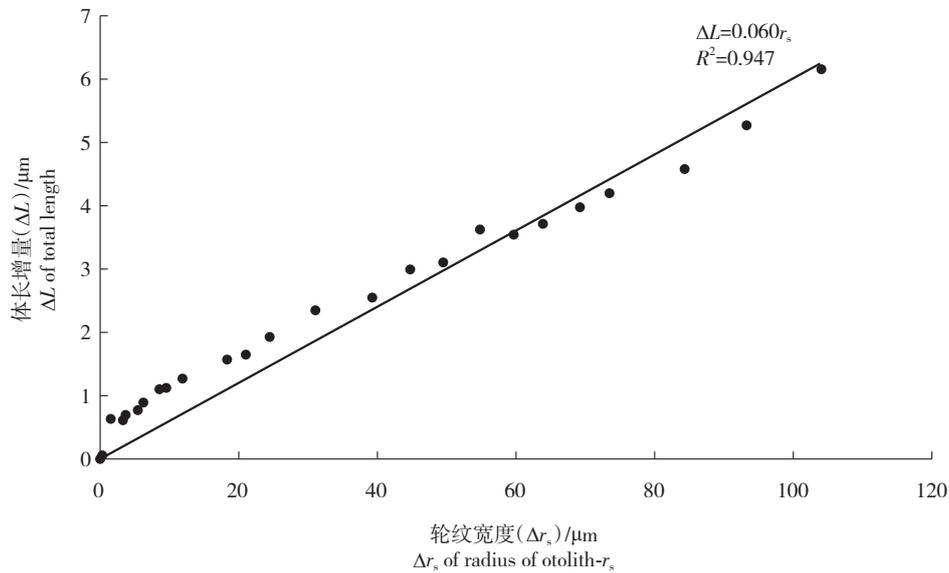


图4 条石鲷耳石长半径增量与体长增量间的关系

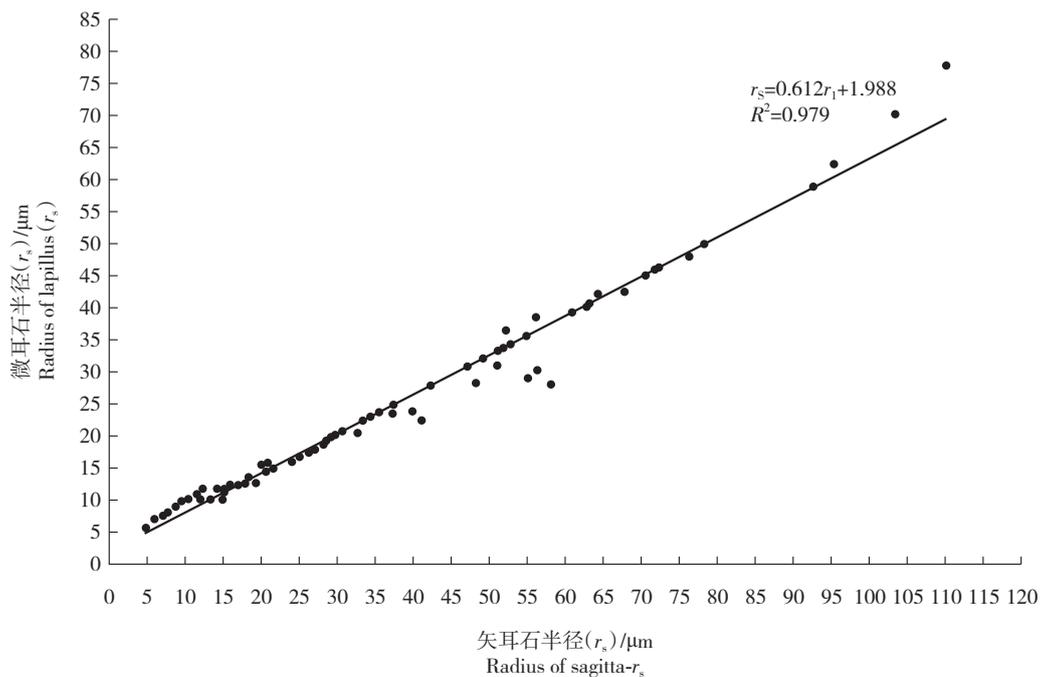
Fig. 4 Relationship between radius of Δr_s of radius of otolith- r_s and ΔL of total length

图5 条石鲷矢耳石与微耳石长径间的关系

Fig. 5 Relationship between radius of sagitta and lapillus of Japanese parrotfish

次摄食轮,此时条石鲷仔鱼处于卵黄囊被完全吸收、开始初次摄食而生长加快、由内源营养为主转化为以外源营养为主阶段,此后仍是每天形成一轮。可见,条石鲷日龄 N 可用日轮数 $D+1$ 表示,这与大多数鱼观察结果一致^[4,22,27]。

值得注意的是,在条石鲷耳石孵化轮内部可观察到1~2条模糊不清的轮纹,但这些轮纹并不是日增量,不能代表日轮。Yamamoto等^[24]对日本鳗鲡仔鱼耳石的研究也发现类似情况,认为这些细纹形成于仔鱼孵化后的13h以内,这种增量可能与生

长过程中的一些事件,如血管、眼睛色素或其他器官的发育生成有关。对于日增量最初形成的时间,Radtke 和 Dean^[32]推测,当鱼类胚胎发育很缓慢时,最初的日增量可能在孵化前就已产生;而当胚胎发育很快时,最初的日增量可能在孵化后或卵黄吸收后才会形成,并产生初始日轮。

在实际进行耳石样本日轮判读时发现,并不是每尾条石鲷耳石上均有明显的日轮,且这种模糊往往会带来对日轮计数的误判。从本实验结果来看,部分样本日轮难以清晰观察的原因主要有两类:一是,耳石自身发育的原因,使得日轮轮纹比较微弱,这类日轮轮纹不清可能与实验样本是在人工控制条件下的繁育方式有关。已有研究表明,昼夜温度波动可促进日轮的形成,并增强其清晰度和对比度;而在温度恒定或昼夜温差不大条件下沉积的日轮通常不清晰,且分界线不明显^[28-30]。二是,显微观察的聚焦原因,造成耳石上的日轮难以在全视野下清晰观察。这种情况在部分稍大耳石的观察中尤为明显,因为焦平面上微小的差异,即可使靠近耳石边缘的增量变得重叠或完全消失;或可使耳石一部分清晰,其他部分模糊;还可使轮纹有明显的移动。因此在耳石样本实验观察前,一定要对耳石进行研磨处理,以避免轮纹观察时的计数误差。

此外,相关耳石微结构研究表明,鱼类耳石上的标记轮形成可能与其早期生活史的相应事件有关,这种标记轮镜下观察时比一般的日轮颜色更深、更为明显。如人工饲养后放流的大鳞大麻哈鱼(*Onchorhynchus tshawytscha*),耳石上除存在孵化标记轮、初次摄食标记轮外,还存在着放流标记轮^[26],其形成机理可能是由于放流前后环境条件较大的差异,这种环境变化信号在耳石上会形成稳定的沉积标记^[2]。一般地,当外界环境发生较大变化,或者鱼体自身性状发生改变时,形成标记轮的概率就非常高。因此,观察和掌握仔稚幼鱼标记轮,对于分析鱼类早期发育过程中各时期发生的事件及其持续时间,将会起到有力的佐证作用。

3.2 耳石发育的形态多样性

3.2.1 耳石的形态变化 条石鲷矢耳石在形态变

化过程中经历了初始的圆形,12 d 后的椭圆形和 20 d 后稳定为梨形的发育过程;微耳石,其形态由初始的圆形发育成 10 d 后的稳定椭圆形。这种耳石发育的形态变化在其他鱼类中也有类似报道,且为鱼类耳石发育过程中普遍存在的现象。例如鳙(*Aristichthys nobilis*)矢耳石经圆形、菱形变成梨形^[5],唐鱼(*Tanichthys albonubes*)矢耳石经历圆盘形、椭圆形、菱形到梨形的形态变化^[11],南极银鳕(*Pleuragamma antarcticum*)、香鱼(*Plecoglossus altivelis*)矢耳石也存在类似的形态变化^[4,27-28]。耳石变成稳定的形态之后,其半径仍会随鱼体的生长而增长,但耳石长径和短径的比例基本保持稳定,从而保证耳石形态的基本稳定。就耳石的增长速度而言,随着鱼体的生长矢耳石要远远快于微耳石,且两者长径间存在着很好的线性关系,斜率大于 1(图 5)。

3.2.2 关于耳石的中心核和原基

一般大多数鱼类的仔鱼耳石具有 1 个中心核和 1 个原基,但也有少数鱼类的仔鱼耳石具有 1 个以上的中心核或原基,其中又以 2 个中心核和 2 个原基的类型居多。本研究发现,条石鲷仔鱼中仅有少数耳石具有 1 个中心核和 2 个原基(图版 II)。目前,有关产生多核多原基的机理及其与仔鱼成活率的关系尚不清楚,仍有待今后进一步加强跟踪研究。

3.3 耳石轮纹信息对鱼类幼体生长发育的指示作用

本研究结果显示,条石鲷早期的生长发育状态在耳石上有较好的信息记载。在仔鱼孵出、耳石形成时,耳石上会出现明显的孵化标记轮;当开始初次摄食而生长加快时,耳石上会出现明显的初次摄食轮;当仔鱼完全转向外源营养时,摄食强度逐渐增大,体长增长速度也随之加快,耳石上的日轮数会随着生长天数的增加而同步增加,且日轮的平均间距也相应逐步增加(图 2),耳石长径增量和体长增量之间存在着显著的线性关系(图 4)。上述结果进一步佐证了 Campana 和 Jones^[31]提出的应用耳石增量信息分析鱼类生长的潜在价值理论,即耳石大小和鱼体长度之间存在着一定的关系,在耳石上选择任一轮纹可推算鱼体的体长,进而结合标记轮信息可相对准确地反演鱼类早期特定阶段的发育生长状

态。但是在这一理论实际应用前,如果条件许可,最好能将野外采集的仔鱼和实验室内培养的仔鱼耳石信息进行比较分析,以校正2种不同环境条件下(如环境波动效应、饥饿效应、初次摄食时间差异等)耳石的日轮偏差^[20],从而进一步提高对野生仔鱼的日龄判读精度。

应用耳石信息,开展鱼类日龄研究,在生物学上不仅使鱼类早期生活史过程中的生长和死亡定量研究成为可能,而且在生态学上,可追溯反演鱼类早期生活史的生态背景。聚焦在渔业上,该理论可为准确掌握鱼类的产卵场和产卵时间,进而为研究特定鱼类资源的发生机制提供方法学支撑。因此,掌握耳石日轮与日龄之间的关系,了解耳石上的轮纹信息指示作用,是渔业资源学研究领域的一项基础而重要的工作。

参考文献:

- [1] 张治国,王卫民. 鱼类耳石研究综述[J]. 湛江海洋大学学报, 2001, 21(4): 77-83.
- [2] Pannella G. Fish otolith: daily growth layers and periodical patterns [J]. Science, 1971, 173: 1124-1127.
- [3] 董双林,王志余,于信勇,等. 鲤鱼仔、稚和幼鱼早期耳石上日轮的初步观察[J]. 大连水产学院学报, 1986, 4(1): 26-31.
- [4] 解玉浩,李勃,富丽静,等. 香鱼耳石日轮与生长的研究[J]. 动物学报, 1995, 41(2): 125-135.
- [5] 解玉浩,李勃. 鳊仔、幼鱼耳石日轮与生长的研究[J]. 中国水产科学, 1995, 2(2): 34-41.
- [6] 解玉浩,李勃. 池绍公鱼耳石日轮的观察研究[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(4): 402-402.
- [7] 李城华,沙学坤. 日本鳊早期阶段耳石日生长轮形成的周期[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(4): 408-413.
- [8] 李城华,尤锋,黄瑞东,等. 黄海黑鲷仔鱼耳石的日轮以及光照对其形成的影响[J]. 海洋与湖沼, 1993, 24(5): 511-515.
- [9] 李城华,沙学坤,尤锋,等. 梭鱼仔鱼耳石日轮形成及自然种群日龄的鉴定[J]. 海洋与湖沼, 1993, 24(4): 345-349.
- [10] 史方,孙军,林小涛,等. 唐鱼仔鱼耳石的形态发育及日轮[J]. 动物学杂志, 2006, 41(4): 10-16.
- [11] Folkvord A, Johannessen A, Moksness E. Temperature-dependent otolith growth in Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus* L.) larvae [J]. Sarsia, 2004, 89: 297-310.
- [12] Neilson J D, Geen G H. Otoliths of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*): daily growth increments and factors influencing their production [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1982, 39: 1340-1347.
- [13] Geffen A J. Otolith ring deposition in relation to growth rate in herring (*Clupea harengus*) and turbot (*Scophthalmus maximus*) larvae [J]. Mar Biol, 1982, 71: 317-326.
- [14] Taubert D B, Coble D W. Daily rings in otoliths of three species of *Lepomis* and *Tilapia mossambica* [J]. J Fish Res Bd Can, 1977, 34: 332-340.
- [15] Aldanondo N, Cotano U, Etxebeste E. Validation of daily increments deposition in the otoliths of European anchovy larvae (*Engraulis encrasicolus* L.) reared under different temperature conditions [J]. Fish Res, 2008, 2589: 1-8.
- [16] Campana S E. Feeding periodicity and the production of daily growth increments in the otoliths of steelhead trout (*Salmo gairdneri*) and starry flounder (*Platichthys stellatus*) [J]. Can J Zool, 1983a, 61: 1591-1597.
- [17] Tanaka K, Mugiya Y, Yamada J. Effects of photoperiod and daily growth patterns in otolith of juvenile *Tilapia nilotica* [J]. Fish Bull US, 1981, 79: 459-466.
- [18] Hislop J R G, Gallego A, Heath M R, et al. A synthesis of the early life history of the anglerfish, *Lophius piscatorius* (Linnaeus, 1758) in northern British waters [J]. ICES J Mar Sci, 2001, 58: 70-86.
- [19] Strelcheck A J, Fitzhugh G R, Coleman F C, et al. Otolith-fish size relationship in juvenile gag (*Mycteroperca microlepis*) of the eastern Gulf of Mexico: a comparison of growth rates between laboratory and field populations [J]. Fish Res, 2003, 60: 255-265.
- [20] Campana S E, Neilson J D. Microstructure of fish otoliths [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1985, 42: 1014-1032.
- [21] Secor D H, Dean J M, Laban E H. Otolith removal and preparation for microstructural examination [J]. Can Spec Publ Fish Aquat Sci, 1992, 117: 19-57.
- [22] Humphrey C, Klumpp D W, Pearson R G. Early development and growth of the eastern rainbowfish, *Melanotaenia splendida splendida* (Peters). I. Morphogenesis and ontogeny [J]. Mar Fresh Res, 2003, 54: 105-111.
- [23] Shiao J C, Tzeng C S, Leu C L, et al. Enhancing the contrast and visibility of daily growth increments in fish otoliths etched by proteinase K buffer [J]. J Fish Biol, 1999, 54: 302-309.
- [24] Yamamoto K, Yamauchi K, Kasuga S. On the development of the Japanese eel, *Anguilla japonica* [J]. Bull Japan Soc Sci Fish, 1975, 41: 21-28.

- [25] Radtke R L, Dean J M. Increment formation in the otoliths of embryos, larvae, and juveniles of the mummichog, *Fundulus heteroclitus* [J]. Fish Bull US, 1982, 80 (2) : 201–215.
- [26] Zhang Z, Beamish R J, Riddell B E. Differences in otolith microstructure between hatchery-reared and wild Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1995, 52: 344–352.
- [27] Radtke R L, Hubold G, Folsom S D, et al. Otolith structural and chemical analyses: the key to resolving age and growth of the Antarctic silverfish, *Pleuragramma antarcticum* [J]. Antarct Sci, 1993, 5: 51–62.
- [28] Alhossaini M, Pitecher T J. The relation between daily ring, body length and environmental factors in plaice, *Pleuronectes platessa*, juvenile otoliths [J]. Fish Biol, 1988, 33 (3) : 409–418.
- [29] Campana S E. Interactive effects of age and environmental modifiers on the production of daily growth increments in otoliths of plainfin midshipman, *Porichthys notatus* [J]. Fish Bull US, 1984, 82: 165–177.
- [30] Neilson J D, Geen G H, Chan B. Variability in dimensions of Salmonid otolith nuclei: implications for stock identification and microstructure interpretation [J]. Fish Bull US, 1985, 83: 81–89.
- [31] Campana S E, Jones M J. Otolith microstructure examination and analysis [J]. Can Spec Publ Fish Aquat Sci, 1992, 117: 73–100.
- [32] Reichert M J M, Dean J M, Feller R J, et al. Somatic growth and otolith growth in juveniles of a small subtropical flatfish, the fringed flounder, *Etropus crossotus* [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2000, 254: 169–188.

Relationship between daily-growth increment of otolith and growth of Japanese parrotfish (*Oplegnathus fasciatus*)

WANG Fei^{1,2}, CHENG Jiahua¹, LUO Haizhong³

(1. Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; 2. College of Marine Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Zhoushan Fisheries Research Institute, Zhoushan 316100, China)

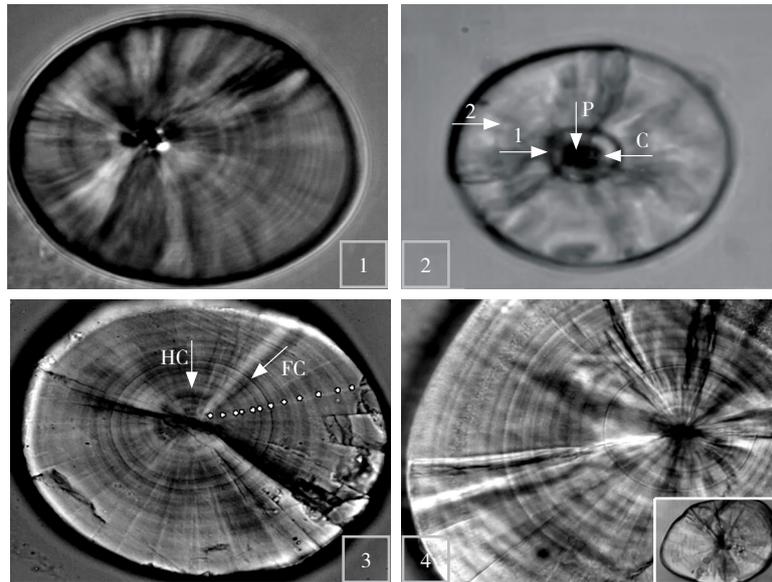
Abstract: Daily-growth increment of otolith and growth of Japanese parrotfish (*Oplegnathus fasciatus*) were studied and research objects were taken from Zhoushan Fisheries Research Institute in April 2009. Microscopic observation was performed on the growth of the otolith during the embryonic development of artificially fertilized eggs and the formation of the first daily growth increment on otolith of larvae. The initial daily growth increment in otolith was formed on the second day after hatching, and continued on a daily schedule under normal conditions. Daily age (N) of otolith were shown by daily growth increments (D) plusing 1, and the equation was $N=D+1$; and on the 8th day, there was a second check, called first feeding check. After biological measurements of the samples, the sagittal otoliths were removed from the fish and sections were made to examine their sizes, morphology, number and widths of daily growth increments by light microscopes. The longest radius r_s (μm) of the otolith was linearly related to the fish length L (mm), the equation is $r_s = 18.146L - 44.436$; the radius (r_s) of sagitta was linearly related to the radius (r_l) of lapillus too, the equation is $r_s = 0.6125 r_l + 1.9882$. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17 (2) : 320–328]

Key words: *Oplegnathus fasciatus*; otolith; daily growth increment; growth

Corresponding author: CHENG Jiahua. E-mail: ziyuan@sh163.net

王菲等：东海条石鲷仔鱼耳石日轮与生长的关系

WANG Fei et al: Relationship between daily-growth increment of otolith and growth of Japanese parrotfish (*Oplegnathus fasciatus*)

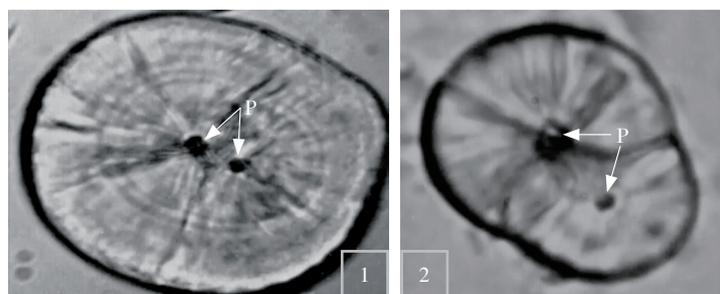


图版 I 条石鲷仔鱼耳石形态及日轮的光镜观察

1. 14 日龄条石鲷仔鱼微耳石(长径 11.71 μm), $\times 100$; 2. 3 日龄仔鱼(全长 2.57 mm)的椭圆形矢耳石,长径 7.67 μm ; P、C 分别代表耳石原基和中心核;“1”、“2”号箭头分别指向孵化标记轮、第二日轮, $\times 100$; 3. 13 日龄仔鱼(全长 4.23 mm)的椭圆形矢耳石,长径 23.34 μm ,白点、HC、FC 分别代表日轮、孵化标记轮与初次摄食轮, $\times 100$; 4. 18 日龄仔鱼(全长 5.62 mm)的矢耳石部分放大图,长径 65.66 μm , $\times 100$; 右下角为全图, $\times 40$ 。

Plate I Morphology and daily growth increment in otolith of larval Japanese parrotfish by LM

1: Lapillus of larval Japanese Parrotfish (longest radius 11.71 μm), $\times 100$; 2: The round sagittal otolith (longest radius 7.67 μm) of a 3-day-old larva (TL=2.57 mm). P and C indicating the primordium and core, respectively; “1” and “2” showing the 1st and the 2nd increment, separately, $\times 100$; 3: oval sagittal otolith (longest radius 23.34 μm) of a 12-day-old larva (TL=4.23 mm). White points, HC, FC indicate daily increments, hatch check (HC) and first feeding check (FC) respectively, $\times 100$; 4: The sagittal otolith (longest radius 65.66 μm) of a 18-day-old larva (TL=5.62 mm), $\times 100$; the lower right corner for the whole map, $\times 40$.



图版 II 分别具有 2 个原基的矢耳石和微耳石

1. 具有 2 个原基(P)的矢耳石; 2. 具有 2 个原基(P)的微耳石

Plate II Sagitta with 2 primordia and lapillus with 2 primordia in Japanese parrotfish

1. Sagitta with 2 primordia (P); 2. Lapillus with 2 primordia (P)