

· 综述 ·

## 鱼类耳石研究和应用进展

廖锐<sup>1,2</sup>, 区又君<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东广州 510300; 2. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090)

**摘要:** 鱼类耳石研究是鱼类生长和早期生活史研究的基础。文章阐述了鱼类耳石形态的研究方法及其在鱼类种类识别中的应用、耳石微结构在鱼类年龄鉴定、早期生长研究、产卵期、孵化期和产卵场的推算以及早期生活史中特殊事件的研究等方面的进展, 探讨了耳石研究的存在问题并提出了进一步研究的建议。

**关键词:** 鱼类; 耳石; 微结构; 日轮

中图分类号: Q958.8

文献标识码: A

文章编号: 1673-2227-(2008)01-0069-07

## Present status of studies and applications on otolith of fishes

LIAO Rui<sup>1,2</sup>, OU Youjun<sup>1</sup>

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** Studies of otolith are the basic of research on growth and early life history of fishes. The present status on the methods of studying otolith morpha and its application on species discrimination are expatiated in this paper, as well as back-calculations on age determination, early development research, spawning period, hatchery phase, spawning area and special circumstance in early stage by otolith microstructure. The existent problems on research of otolith are discussed and proposals are suggested.

**Key words:** fishes; otolith; microstructure; daily growth increments

耳石存在于鱼类内囊迷路内, 倾斜或者平置, 对鱼类的听觉和身体平衡有重要作用。在膜迷路内的椭圆囊、球囊和听壶中各具微耳石、矢耳石和星耳石一对, 其中微耳石侧扁, 矢耳石一般较大, 外形有亚圆形、长圆形、盾形等几种, 可分为背面、腹面、前缘、后缘、外缘、内缘等几部分, 星耳石一般较小。

鱼类耳石的特点是其形态、大小、功能和微结构特征随种类而存在差异, 因此, 鱼类耳石不仅可作为分类鉴别的特征之一, 而且可作为鉴定年龄和分析生长的材料。耳石微结构是研究鱼类早期生活史阶段的生长、发育、死亡、生存环境条件等众多方面的有力途径, 在日龄鉴定、孵化

期和产卵期调查以及早期生长研究中具有其它研究方法无法比拟的优势。

文章就国内外关于鱼类耳石形态的研究方法以及在种类识别中应用、耳石微结构在鱼类年龄鉴定、早期生长、产卵期和孵化期的推算、早期生活史中特殊事件的研究中的应用等方面作一综述。

### 1 鱼类耳石形态及其应用的研究进展

#### 1.1 耳石形态的研究方法

基于耳石形态差异的研究方法可以分为2类: (1) 传统的耳石形态测量方法或称简单耳石形态测量方法;

收稿日期: 2007-09-24; 修回日期: 2007-10-24

资助项目: 国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD09A14); 中国水产科学研究院水产种质资源与养殖技术重点开放实验室项目

作者简介: 廖锐(1978-), 男, 硕士, 从事水产动物繁殖与发育生物学。E-mail: rliaoo8@126.com

通讯作者: 区又君, E-mail: ouyoujun@126.com

(2) 傅立叶形态分析方法。两者最大的区别在于研究的侧重点不同,前者对耳石体轴进行研究,后者则研究耳石的轮廓。

研究表明,任何一对耳石都有生长中心,其内具原基,简单耳石形态方法一般是以该中心为测量基点,对耳石背腹、前后长轴进行测量,通常使用经过标准化(除以体长或耳石长)的数据来分析所研究对象的差异,并加以区分。

傅立叶形态分析方法用于客观、快速地描述一个形态的轮廓,其优势在于:(1)当形态可以用数值表达时,在理论上就可能复制与原来一模一样的轮廓;(2)当一个分类单元的形态变异可以用数值确定时,就可以与不同的分类单元进行数值比较<sup>[1]</sup>。

## 1.2 耳石形态在鱼类种类识别中的应用

耳石形态在鱼类种类研究中的应用,主要集中在2方面:(1)耳石传统形态分析方法在种类识别上的应用,(2)傅立叶形态分析方法在种类识别上的应用。

研究表明,鱼类矢耳石外部形态特征比较稳定,可作为科、亚科和属的鉴别特征之一<sup>[2]</sup>。GAEMERS<sup>[3]</sup>利用矢耳石的形态对丽鱼科(Cichlidae)的种类进行了分类地位的探讨,结果表明,丽鱼科与隆头鱼科(Labridae)内的唇鱼亚科Cheilinae和伸口鱼亚科Epibulinae 2亚科的种类亲缘关系最近,丽鱼科耳石同样是揭示科内各级分类水平之间关系的一个有效的手段。张国华等<sup>[4]</sup>通过对6种鲤科鱼类的研究,得到了类似的结论,耳石在亚科、属和种水平上是可区分的,亲缘关系越接近的分类单元,耳石的形态可能越相似。另外,鉴于耳石形态这种物种的特征性,耳石形态还可应用于鱼类生态形态学研究<sup>[5-6]</sup>、考古学和化石样品中的鱼类种类的鉴别<sup>[7]</sup>以及食鱼动物胃含物的食性分析<sup>[8]</sup>等方面。

耳石形态差异的定量测量是鱼类种类辨别的重要指标之一,这种形态差异具有重要的生态学意义。

传统形态分析方法在鱼类种类识别上应用的研究很少。张国华等<sup>[4]</sup>用传统形态分析方法测量了长江6种鲤科(Cyprinidae)鱼类的星耳石和微耳石并建立了判别方程,无论微耳石或星耳石的性状,还是两者的联合性状对6种鱼类都有很高的判别成功率;L'ABEE-LUND<sup>[9]</sup>用传统耳石形态分析方法测量了4条河流的2种鱼类的耳石并建立了判别方程,大西洋鲑(*Salmo salar*)的判别成功率达96.0%,鳟(*S. trutta*)为92.2%,他将第5条河流的大西洋鲑和鳟耳石数据代入,得到大西洋鲑100%和鳟91%的判别效果。区又君和廖锐<sup>①</sup>用传统形态分析方法研究了4种石首鱼种类识别效果并建立了判别方程,研究表明耳石

形态存在不同程度的体长效应,无论矢耳石或星耳石的性状,还是两者的联合性状对4种鱼类都有很高的判别成功率。由此可看出,传统形态方法可以有效地识别鱼类的种类。

LU<sup>[10]</sup>通过对儿童头骨轮廓的研究,认为傅立叶方法可以应用于人类分类和亲缘关系的研究中。张国华<sup>[11]</sup>用传统测量方法及傅立叶方法对耳石形态的种类鉴别效果进行了对比性研究,认为在条件许可的情况下,应优先采用傅立叶分析方法。曾祥波<sup>[12]</sup>研究表明,采用基于耳石形态的傅立叶分析方法来鉴别鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳊(*Aristichthys nobilis*)以及草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)仔幼鱼的种类是可行的。由此可见,傅立叶形态分析方法同样可以用于鱼类种类识别研究中。

## 2 耳石微结构及其应用的研究进展

耳石微结构的研究内容主要包括2方面,耳石生长轮和耳石微量化学元素的检测与分析。当今,耳石日轮技术已成为鱼类生态学及渔业生物学研究中一项重要的技术,为准确研究鱼类的繁殖和种群生态学特征等提供了新途径,不仅具有一定的理论意义,而且有较广泛的应用前景。若因环境因子或生理的变化打破鱼类生长节奏时,就可能在耳石上形成“标记”(check),这些标记可能在轮纹的颜色深浅、清晰度、宽度等方面与一般的生长轮不同,有可能记忆着鱼类在生长和发育中所经历的某些重要阶段,如孵化、初次摄食、变态、定居、栖息地的改变以及生存环境的突然变化等的发生时间。因此,标记轮的检测和分析是耳石微结构研究中至关重要的部分之一。

### 2.1 年龄鉴定

目前,在鱼类研究上常用来进行年龄鉴定的钙化组织有鳞片、耳石、鳍条、鳃盖骨、脊椎骨和匙骨等,其中最常用的是鳞片和耳石。CAMPANA和THORROLD<sup>[13]</sup>估计1999年全世界鉴定了超过100万尾鱼的年龄,其中大部分是通过鳞片和耳石鉴定的。由于鳞片具有取材方便,对鱼体的损伤小,处理过程和年龄读取简单而得到广泛应用。但鳞片容易脱落而形成次生鳞,且易受营养条件的影响,当鱼体长到一定大小时,鳞片可能会停止生长,从而给年龄的鉴别带来了误差;另外,对高龄鱼进行年龄鉴定时常常出现低估的情况。而硬骨鱼类中最先钙化的结构通常是耳石,其特殊性在于生长的连续性,受外界环境影响相对小且在野外采集所得的鱼类从未未发现耳石被重新吸收现象,只有在实验中的金鱼(*Carassius auratus*)在刻意制造的极度缺氧情况下,才出现耳石分解再吸收现象,并且一

① 区又君,廖锐. 4种石首鱼耳石形态、微结构及其在种类识别中的应用(待刊).

且形成便保持不变,因而成为生活史事件的永久记录形式<sup>[14]</sup>,所以被认为是鉴定鱼类年龄的可靠材料。但也有少数研究者认为,用鳞片鉴定鱼类年龄要比耳石准确,因为在成鱼耳石上有透明带丢失或者次生透明带出现的现象<sup>[15]</sup>。

研究表明,大多数鱼类的耳石生长轮纹表现为每日沉积一轮<sup>[16]</sup>,即耳石生长轮的形具有日周期性。耳石日轮技术的运用,打破了采用鳞片等材料无法对低龄鱼进行年龄鉴定的限制,日龄研究已经成为幼鱼研究的一个趋势。通过统计耳石上的日轮数,结合第一轮的出现时间,就可鉴定鱼类的日龄。JONES<sup>[16]</sup>认为,依靠日轮鉴定日龄必须满足2个基本假设:(1)所有生存(或取样)的仔鱼必须生活在适度条件下;(2)在遭遇到亚适度条件时,一部分仔鱼能够成活,并且生长轮的沉积不受影响。日轮可用于确证年轮的位置,提高年龄鉴定水平的精度。然而,利用日轮确证年轮的位置具有一定的局限性,BROTHERS等<sup>[17]</sup>研究指出,超过一定天数后,生长轮的分辨率会下降或日沉积规律不再存在。CAMPANA和NEILSON<sup>[18]</sup>认为,当鱼类年龄超过一年后,特别是一些温带鱼类,用耳石微结构分析鉴定年轮的精度值得怀疑,冬季生长缓慢期间形成的生长轮通常挤在一起而难于分辨。

研究表明,不同耳石其日轮轮纹清晰度有所差异。大多数鱼类的矢耳石日轮轮纹较清晰,如日本鳀鱼(*Engraulis japonicus*)<sup>[19]</sup>,鲷(*Mugil so-iuy*)<sup>[20]</sup>,香鱼(*Plecoglossus altivelis*)<sup>[21]</sup>,公鱼(*Hypomesus olidus*)<sup>[22]</sup>,康吉鳗(*Conger conger*)<sup>[23]</sup>,秋刀鱼(*Cololabis saira*)<sup>[24]</sup>,沙丁鱼(*Sardinops caeruleus*)<sup>[25]</sup>,黑线鳕(*Melanogrammus aeglefinus*),绿青鳕(*Pollachius virens*),大西洋鳕(*Gadus morhua*),白齿海鲷(*Pleuronectes platessa*)<sup>[26]</sup>,竹筴鱼(*Trachurus japonicus*)<sup>[27]</sup>等等,矢耳石适用于这些鱼类的年龄鉴定;然而,小眼须雅罗鱼(*Semotilus corporalis*)<sup>[28]</sup>、草鱼、唐鱼(*Tanichthys albonubes*)<sup>[29]</sup>等鲤科鱼类的矢耳石轮纹不清且通常存在亚日轮,而星耳石比微耳石和矢耳石晚形成,所以,矢耳石和星耳石一般不适于鉴定鲤科鱼类的年龄,微耳石是比较适合日轮的研究。因此,用鱼类耳石鉴定年龄时,应根据不同的种类、不同的生活环境等选择不同的耳石。此外,标记轮以及第一轮出现时间的变异也给年龄鉴定带来误差,实际应用中应引起注意。

## 2.2 早期生长研究

目前,研究鱼类生长率较为常用的方法有长度频率分析法、标志回捕法和检测记录在骨骼等硬组织上的生长信息的方法,但这些方法对研究鱼类早期生长可能存在某些

缺陷。耳石微结构分析的应用,为研究鱼类早期生长(特别是日生长)提供了方法。部分鱼类的鱼体长度与耳石大小及鱼类年龄间的相关性可用于估计鱼体生长率。用耳石研究鱼类日生长时,常采用2种关系:(1)耳石大小和鱼体大小间的异速生长关系(线性和非线性关系);(2)个体或种群的长度或重量的日生长率。

日轮技术的应用,解决了鱼类早期生长阶段的年龄鉴定难题。当已知个体的年龄和体长时,就可采用相应的生长模型来描述鱼类的生长特性。与成鱼中常采用的 von Bertalanffy 生长曲线不同的是,鱼类早期生活阶段的生长数据可拟合不同的曲线,种群早期生长阶段的生长率可以采用指数模型<sup>[30-33]</sup>, Logistic 或 Gompertz 模型<sup>[17,25,34]</sup>, 线性模型<sup>[16,19,29,35-38]</sup>, 年龄-温度调节生长模型<sup>[30]</sup>或者最大概拟生长模型<sup>[39]</sup>来描述。其中,在拟合鱼类早期生长时, Gompertz 模型使用最多,尤其是在仔鱼的生长研究中,取得较好的效果,其与 von Bertalanffy 及 Logistic 模型一样,能较好地描述 S 型生长,但不适用于包括成鱼期的整个生活史阶段的生长描述。年龄-温度调节生长模型是研究鱼类早期生长时较为复杂的方法,只要得到温度资料,就可用该模型预测早期鱼苗在不同环境条件下的生长情况。CAMPANA 和 HURLEY<sup>[30]</sup>用年龄-温度调节生长模型拟合了大西洋鳕和黑线鳕仔鱼的生长曲线。最大概拟生长模型是后来发展起来的研究鱼类早期生长的综合型方法,就是把长度频率分析法、标志回捕法以及直接年龄体长法有机结合起来模拟鱼类生长特性,这弥补了3种方法的不足以及为生长参数提供更为全面的估算。PAIGE等<sup>[39]</sup>用最大概拟生长模型拟合了澳大利亚金枪鱼(*Thunnus maccoyii*)的生长曲线,取得较好的效果。区又君和廖锐<sup>①</sup>分别以线性模型、幂函数模型和指数模型分析了黄唇鱼(*Bahaba flavolabiata*)和棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)的生长,发现矢耳石大小与鱼体大小均呈显著的相关关系,指数模型符合程度优于线性模型。

鱼类体长生长推算在鱼类生态学中起到至关重要的作用,常用的体长推算法有回归推算法和 FRASER-LEE 推算法(FRASER-LEE back-calculation),这2种方法都假设耳石生长与体长生长始终成比例,然而,研究表明,鱼体大小与耳石大小的相关性很弱或者无相关性<sup>[40-46]</sup>。其原因可能为:(1)“生长效应”即同种同规格的鱼,生长速度慢的个体,其耳石相对大<sup>[47]</sup>;(2)“年龄效应”即尽管鱼体停止生长,其耳石同样继续生长<sup>[46]</sup>。因此,回归推算法和 FRASER-LEE 推算法容易给推算带来偏差。

由此可见,生长推算便显得更加复杂。(1)必须选择

① 区又君,廖锐.利用耳石日轮技术研究黄唇鱼和棘头梅童鱼幼鱼的孵化期及生长(待刊).

正确的模型,以保证推算的鱼体大小的可靠性;(2)鱼体在负生长期,耳石生长和鱼体生长可能不存在对应关系,因而依据耳石的推算在负生长期不可进行。如 SECOR 等<sup>[46]</sup>发现,摄食水平对条纹石鲈 (*Morone saxatilis*) 仔鱼耳石生长的影响比鱼体生长的影响小,当饥饿后鱼体出现负生长时,耳石仍保持正生长;(3)测量标准的统一性,如沿相同的生长轴测量。CAMPANA<sup>[48]</sup>对不同推算方法的比较后发现,应该从生物学意义上消除生长推算的偏差,而不是依据统计学方法定义鱼体-耳石曲线的截距。生物截距法 (biological intercept procedure) 就是遵循这一原则,不仅使推算更准确,而且可以减少或消除 LEE 氏现象。和 FRASER-LEE 推算法一样,该方法也假定每一个体在整个生活史阶段,鱼体和耳石生长成比例,但与前者不同的是,生物截距值是孵化时鱼体和耳石大小的均值,此时两者是成比例的。实际上,该方法的优点在于样品较少时,能推算单个体的生长。

然而,以上3种方法都未考虑个体生长率的变化以及年龄效应对鱼体-耳石大小关系的影响。

为了消除年龄效应, KENTARO 等<sup>[49]</sup>提出结合年龄效应的生长推算新模型。运用该模型,年龄效应的生长推算新模型可以很好地估算亮斑红点鲑 (*Salvelinus leucomaenis*) 种群个体生长率,其推算生长率与实测生长率相近,而其它生长推算模型的推算生长率与实测生长率不相符。CAMPANA<sup>[48]</sup>认为,引入时间系列对生物截距模型修正后,即使存在随机误差和随时间变化的生长率的影响,也能较为准确地推算体长。SECOR 和 DEAN<sup>[46]</sup>发现,用年龄作为另一变量的二次回归方法 (a quadratic regression method) 能较准确推算不同饲养条件下仔鱼某一日龄对应的鱼体大小。可见,年龄效应的生长推算新模型能在一定程度上提高生长推算的精度,但至今为止,还没有哪一种方法能在任何条件下准确推算生长。

### 2.3 产卵期、孵化期和产卵场的推算

在过去鱼类繁殖生物学的研究中,产卵期通常是通过长期野外调查来完成的,而目前由于耳石日轮技术应用,大大减轻工作量或缩短工作时间,同时采样时间也不必局限于鱼类繁殖季节,可以根据日轮计数准确度的不同在鱼类生活史的不同阶段进行采样研究,这也可以克服由于特殊原因在鱼类繁殖季节无法完成野外采样造成的数据缺失。对仔、稚、幼鱼耳石的显微检测分析可以鉴定出日龄,结合其日轮的初次出现时间以及胚胎发育持续时间,就能推导出鱼类的孵化时间和产卵时间,经相应的统计分析可得到该种鱼的繁殖期及其繁殖高峰期。

越来越多的研究者采用日轮成功估算出鱼类的孵化时间和产卵时间。在国外, CAMPANA<sup>[50]</sup>用耳石微结构分析了大西洋鳕、黑线鳕、绿青鳕的孵化期和孵化高峰期。PAULA 和 UNAI<sup>[51]</sup>根据日龄及捕捞时间推算出了比斯开湾的欧洲无须鳕 (*Merluccius merluccius*) 主要繁殖时间为每年3月份。SUN 和 TAE<sup>[52]</sup>利用日轮分析技术推算日本鲭 (*Scomber japonicus*) 的产卵期。XIE 和 WATANABE<sup>[27]</sup>采用耳石微结构分析了竹筴鱼的孵化期和孵化高峰。在国内,李勃等<sup>[53]</sup>用日轮推测了我国沿海主要河口日本鳗鲡 (*Anguilla japonicus*) 的产卵期为每年6~12月。解玉浩等<sup>[54]</sup>根据耳石日轮推算了有明银鱼 (*Salanx ariakensis*) 的孵化期、孵化盛期和产卵期。管兴华和曹文宣<sup>[31]</sup>利用耳石日轮技术推算出长江中游草鱼幼鱼的孵化期主要集中在5月下旬和6月份。区又君和廖锐<sup>①</sup>根据耳石日轮推算出黄唇鱼的孵化期主要集中在3、4和5月份,棘头梅童鱼的产卵期主要在4月和5月份。产卵期和孵化期的推算结论可以用于调查鱼类的产卵持续时间和产卵类型。宋昭彬<sup>[55]</sup>对采自长江中游的四大家鱼仔鱼的耳石日龄进行了研究并与采用发育期推算出的生长时间做了比较,发现依据仔鱼发育期无法区分的年龄差异,用耳石生长轮却可以较准确的加以区别。

另外,耳石微结构的检测分析亦可用来确定鱼类产卵场的位置。在一个特定区域采集某种鱼类的仔鱼,通过耳石鉴定年龄,结合仔鱼的漂流方式、孵化时间、水流速度以及胚胎发育时间,便可以推算出产卵场的位置。但是,胚胎及仔鱼的漂流方式、水流速度等的变化相当复杂,给产卵场的推算带来极大的难度<sup>[18]</sup>。因此,该方法只对于那些胚胎发育时间短,且存在稳定产卵场的种类才能收到较好的效果。

### 2.4 早期生活史中特殊事件的研究

耳石微结构的研究表明,与早期生活史事件相对应,耳石上往往形成一些标记轮,这可能是由于生理或生态的胁迫,鱼类生长节奏被打破所形成的,如大鳞大麻哈鱼 (*Oncorhynchus tshawytscha*) 耳石上存在孵化标记 (hatching check)、初次摄食标记 (first feeding check) 和放流标记 (stocking check)<sup>[56]</sup>,草鱼仔鱼微耳石上存在初次摄食标记轮<sup>[55]</sup>,唐鱼仔鱼耳石上存在孵化标记轮和营养转换标记轮<sup>[29]</sup>,银无须鳕 (*M. bilinearis*) 的耳石上记录有产卵带 (spawning zone)<sup>[57]</sup>,南极银鳕 (*Champscephalus gunnari*) 存在孵化标记轮<sup>[58]</sup>。另外,耳石生长轮宽度的改变可能显示鱼类生活史的改变,鱼类由一个栖息地进入另一地迁移生活的变化可能会在耳石上体现出来。鮫鱈 (*Lophius litulon*) 微耳石上存在由深海中层进入深海底层生活的标记

① 区又君,廖锐. 利用耳石日轮技术研究黄唇鱼和棘头梅童鱼幼鱼的孵化期及生长 (待刊).

轮<sup>[59]</sup>, TABETA 等<sup>[60]</sup>根据耳石生长轮宽度的变化, 推测了日本鳎开始变态和变态完成, 以及进入河口的时间。

### 3 存在问题和展望

传统耳石形态分析方法的研究对象是耳石的各个测量性状, 这些性状本身受环境的影响较小, 但操作不方便和工作量较大。

耳石微结构检测与分析是鱼类早期生活史阶段生长、发育、死亡、生存环境条件等众多方面研究的有力途径, 在日龄鉴定、孵化期和产卵期调查以及早期生长研究中具有其它研究手段无法比拟的优势。今后, 可从以下方面深入开展工作。

(1) 加强仔鱼耳石日轮的研究, 通过耳石鉴定日龄, 结合仔鱼的漂流方式、孵化时间、水流速度以及胚胎发育时间, 推算出产卵场的位置。

(2) 依据耳石日轮鉴定日龄, 确定年轮的位置, 推算孵化期、产卵期, 以较详尽地掌握天然仔、幼鱼的动态变化特征。

(3) 研究传统耳石分析方法在种间上的判别运用效果, 寻找建立种类的判别方程, 为鱼类的种类鉴别寻找一条新的途径。

#### 参考文献:

- [1] CHRISTOPHER R A, WATERS J A. Fourier series as a quantitative descriptor of miospore shape [J]. *J Paleontol*, 1974, 48 (4): 497-709.
- [2] 郑文莲. 我国鲈科等鱼类耳石形态的比较研究 [M] // 中国鱼类学会. 鱼类学论文集 (第二辑). 北京: 科学出版社, 1981: 39-46.
- [3] GAEMER P A M. Taxonomic position of Cichlidae (Pisces, Perciforms) as demonstrated by the morphology of their otoliths [J]. *Neth J Zool*, 1984, 34 (4): 556-595.
- [4] 张国华, 但胜国, 苗志国, 等. 6 种鲤科鱼类耳石形态以及在种类和种群识别中的应用 [J]. *水生生物学报*, 1999, 23 (6): 683-688.
- [5] TORRES G J, LOMBARTE A, MORALES-NIN B. Variability of the *Sulcus acusticus* in the sagitta otolith of the genus *Merluccius* (Merlucciidae) [J]. *Fish Res*, 2000, 46 (1/3): 5-13.
- [6] VOLPEDO A, ECHEVERRIA D D. Ecomorphological patterns of the sagitta in fish on the continental shelf off Argentina [J]. *Fish Res*, 2003, 60 (2/3): 551-560.
- [7] CARPENTER S J, ERICKSON J M, HOLLAND J F D. Migration of late cretaceous fish [J]. *Nature*, 2003, 423: 70-74.
- [8] COTTRELL P E, T RITES A W, MILLER E H. Assessing the use of hard parts in faeces to identify harbour seal prey: results of captive-feeding trials [J]. *Can J Zool*, 1996, 74: 875-880.
- [9] L'ABEE-LUND J H. Otolith shape discriminates between juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*, and brown trout, *Salmo trutta* L. [J]. *J Fish Biol*, 1988, 33 (6): 889-903.
- [10] LU K H. Harmonic analysis of the human face [J]. *Biometrics*, 1965, 21 (2): 491-505.
- [11] 张国华. 耳石形态和元素组成及其与鱼类群体识别的研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2000.
- [12] 曾祥波. 鲢鳙和草鱼仔鱼耳石形态及种类鉴别中的应用 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2001.
- [13] 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 (1): 30-38.
- [14] MUGIYA Y, UCHIMURA T. Otolith resorption induced by anaerobic stress in the goldfish, *Carassius auratus* [J]. *J Fish Biol*, 1989, 35 (6): 813-818.
- [15] MACHIAS A E, MARAVEYIA, PAVLIDIS M. Validation of annuli on scales and otoliths of common dentex (*Dentex dentex*) [J]. *Fish Res*, 2002, 54 (2): 287-294.
- [16] JONES C. Determining age of larval fish with the otolith increment technique [J]. *Fish Bull U. S*, 1986, 84 (1): 91-103.
- [17] BROTHERS E B, MATHEWS C P, LASKER R. Daily growth increments in otoliths from larval and adult fishes [J]. *Fish Bull U. S*, 1976, 74 (1): 1-8.
- [18] CAMPANA S E, NEILSON J D. Microstructure of fish otoliths [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1985, 42 (5): 1 014-1 032.
- [19] 孟田湘. 山东半岛南部产卵场鳀鱼幼体日龄组成与生长 [J]. *海洋水产研究*, 2004, 25 (2): 1-5.
- [20] 李城华, 沙学绅, 尤锋梭, 等. 梭鱼仔鱼耳石日轮形成及种群日龄的鉴定 [J]. *海洋与湖沼*, 1993, 24 (4): 345-349.
- [21] 解玉浩, 李勃, 富丽静. 鸭绿江香鱼耳石日轮与生长的研究 [J]. *动物学报*, 1995, 41 (2): 125-133.
- [22] 解玉浩, 李勃. 池沼公鱼耳石日轮的观察研究 [J]. *海洋与湖沼*, 1995, 26 (4): 402-407.
- [23] CORREIA A T, ANTUNES C, COIMBRA. Aspects of the early life history of the European conger eel (*Conger conger*) inferred from the otolith microstructure of metamorphic larvae [J]. *Mar Biol*, 2004, 140 (1): 165-173.
- [24] OOEZKI Y, WATANABE Y. Comparison of somatic growth and otolith increment growth in laboratory-reared larvae of Pacific saury, *Cololabis saira*, under different temperature conditions [J]. *Mar Biol*, 2000, 136 (2): 349-359.
- [25] CASIMIRO Q V, MANUEL O N M, MARÓÁÓÁÁ G G M. Growth and hatching dates of juvenile Pacific sardine *Sardinops caeruleus* in the Gulf of California [J]. *Fish Res*, 2000, 48 (2): 99-106.
- [26] LOES J B, ADRIAN D R, WIM V N. Growth changes in plaice, cod, haddock and saithe in the North Sea: a comparison of (post-) medieval and present-day growth rates based on otolith

- measurements [J]. *J Sea Res*, 2004, 51 (3/4): 313–328.
- [27] XIE S, WATANABE Y. Hatch date-dependent differences in early growth and development recorded in the otolith microstructure of *Trachurus japonicus* [J]. *J Fish Biol*, 2005, 66 (6): 1 720–1 734.
- [28] VICTOR B C, BROTHERS E B. Age and growth of the fallfish *Seomotilus corporalis* with daily otolith increments as a method of annual verification [J]. *Can J Zool*, 1982, 60: 2 543–2 550.
- [29] 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.
- [30] CAMPANA S E, HURLEY P C F. An age and temperature-mediated growth model for cod (*Cadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) larvae in the Gulf of Maine [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1989, 46 (4): 603–613.
- [31] 管兴华, 曹文宣. 利用耳石日轮技术研究长江中游草鱼幼鱼的孵化期及生长 [J]. *水生生物学报*, 2007, 31 (1): 18–23.
- [32] 区又君, 李加儿. 人工培育条件下鲮鱼早期发育的生理生态研究 [J]. *热带海洋*, 1998, 17 (4): 29–38.
- [33] 区又君, 李加儿, 丁彦文. 人工培育条件下真鲷仔稚鱼的生物学特性 [M] // 全国首届青年水产学术研讨会论文集. 上海: 同济大学出版社, 1995: 107–121.
- [34] 梁银铨, 胡小建, 虞功亮, 等. 长薄鳅仔稚鱼发育和生长的研究 [J]. *水生生物学报*, 2004, 28 (1): 96–100.
- [35] PENNEY R W, EVANS G T. Growth histories of larval redfish (*Sebastes* spp.) on an offshore Atlantic fishing bank determined by otolith increment analysis [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1985, 42 (9): 1 452–1 464.
- [36] 张雅芝, 胡家财, 谢仰杰, 等. 斜带髯鲷仔、稚鱼的摄食与生长特性 [J]. *海洋学报*, 2003, 25 (增刊2): 128–134.
- [37] 邓国成, 谢刚, 胡隐昌. 池养倒刺鲃仔幼鱼生长特性的初步研究 [J]. *大连水产学院学报*, 2005, 20 (3): 254–256.
- [38] 唐良华, 苏敏, 尤永隆. 黑脊倒刺鲃仔、稚、幼鱼的生长发育研究 [J]. *淡水渔业*, 2006, 36 (1): 46–49.
- [39] J PAIGE E, GEOFF M L, TOM P. An integrated model for growth incorporating tag-recapture, length-frequency, and direct aging data [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 2004, 61 (2): 292–308.
- [40] PASCAL S, FREDERIC L, JULIAN J D. An otolith-based back-calculation method to account for time-varying growth rate in rainbow smelt (*Osmerus mordax*) larvae [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1998, 55 (12): 2 662–2 671.
- [41] MARSHALL S L, PARKER S S. Pattern identification in the microstructure of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) otoliths [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1982, 39: 542–547.
- [42] MOSEGAARD H, SVEDÅNG H, TABERMAN K. Uncoupling of somatic and otolith growth rates in Arctic char (*Salvelinus alpinus*) as an effect of differences in temperature response [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1988, 45 (9): 1 514–1 524.
- [43] MOLONY B W, CHOAT J H. Otolith increment widths and somatic growth rate: the presence of a time-lag [J]. *J Fish Biol*, 1990, 37 (4): 541–551.
- [44] WRIGHT P J, METCALFE N B, THORPE J E. Otolith and somatic growth rates in Atlantic salmon parr, *Salmo salar* L., evidence against coupling [J]. *J Fish Biol*, 1990, 36 (2): 241–249.
- [45] BRADFORD M J, GEEN G H. Growth estimates from otolith increment width of juvenile chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha* reared in changing environments [J]. *J Fish Biol*, 1992, 41 (5): 825–832.
- [46] SECOR D H, DEAN J M. Comparison of otolith-based back-calculation methods to determine individual growth histories of larval striped bass, *Morone saxatilis* [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1992, 49 (7): 1 439–1 454.
- [47] REZNICK D E, LINDBECK, BRYGA H. Slower growth results in larger otoliths: an experimental test with guppies (*Poecilia reticulata*) [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1989, 46 (1): 108–112.
- [48] CAMPANA S E. How reliable are growth back-calculations based on otolith [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1990, 47 (11): 2 219–2 227.
- [49] KENTARO Morita, TAKASHI Matsuishi. A new model of growth back-calculation incorporating age effect based on otoliths [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 2001, 58 (9): 1 805–1 813.
- [50] 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): 1 401–1 410.
- [51] PAULA A, UNAI C. Growth, mortality and hatch-date distributions of European hake larvae, *Merluccius merluccius* (L.), in the Bay of Biscay [J]. *Fish Res*, 2005, 76 (3): 379–391.
- [52] SUN D H, TAE W L. Spawning dates and early growth of chub mackerel *Scomber japonicus* as indicated by otolith microstructure of juveniles in the inshore nursery ground [J]. *Fish Sci*, 2005, 71 (5): 1 185–1 187.
- [53] 李勃, 解玉浩, 刘义新. 鳊鱼幼鱼耳石日轮的研究 [J]. *动物学研究*, 1992, 13 (3): 201–207.
- [54] 解玉浩, 唐作鹏, 解涵. 有明银鱼耳石显微结构和微化学研究 [J]. *动物学报*, 2001, 47 (2): 215–220.
- [55] 宋昭彬. 四大家鱼仔幼鱼耳石微结构的特征及其应用研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2000.
- [56] ZHANG Z R, BEAMISH 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 (2): 344–352.
- [57] PANNELLA G. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns [J]. *Sci*, 1971, 173: 1 124–1 127.
- [58] SIMON A M, MARK B J D. Daily otolith increment validation in larval mackerel icefish, *Champscephalus gunnari* [J]. *Fish Res*, 2005, 75 (1/3): 200–203.

- [59] WRIGHT P J, WOODROFFE D A, GIBB F M, et al. Verification of first annulus formation in the illicia and otoliths of white anglerfish, *Lophius piscatorius* using otolith microstructure [J]. ICES J Mar Sci, 2002, 59 (6): 587 - 593.
- [60] TABETA O K, TANAKA J, YAMADA W, et al. Aspects of the early life history of the Japanese eel *Anguilla japonica* determined from otolith microstructure [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1987, 53 (10): 1 727 - 1 734.

---

## 《中国人工鱼礁的理论与实践》征订启事

该书作者以亲身的经历和体会为主线,并借鉴国外人工鱼礁建设的成功经验,系统地介绍了我国人工鱼礁建设的基本理论及实践经验。全书共分 9 章,第 1 章介绍了人工鱼礁的历史和发展概况;第 2~7 章叙述了开展人工鱼礁建设工作所涉及的一些基本知识和做法,包括人工鱼礁的类型、机能、设计、选址、投放、调查评估和经营管理等;第 8 章总结了我国早期人工鱼礁建设的一些经验教训,并提出一些参考性建议;第 9 章基于人工鱼礁的作用和发展趋势,对我国人工鱼礁建设的前景作了展望,并提出今后的一些研究课题。

该书由广东科技出版社出版,16 开精装本,共 210 页,单价 78.00 元。欲购买者,请与中国水产科学研究院南海水产研究所杨吝联系。

地址:广州市新港西路 231 号南海水产研究所渔业工程研究室

邮编:510300

联系电话:020-89108330;13660799898

电子邮箱:scsfish@21cn.com