

文章编号: 1000-0615(2017)10-1638-10

DOI: 10.11964/jfc.20161210626

· 综述 ·

南极鱼类年龄与生长研究进展

朱国平^{1,2,3*}, 魏 联¹

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海海洋大学, 上海 210306;

3. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室,
极地海洋生态系统研究室, 上海海洋大学, 上海 201306)

摘要: 南极鱼类生长相对缓慢, 独特的生物学特性使其年龄鉴定较其他海区鱼类更为困难。但考虑到鱼类年龄鉴定是开展渔业资源评估的基础, 因此过去一些年来, 硬质部位, 如鳞片、鳍条(棘)、脊椎骨以及耳石等仍成为南极鱼类的主要鉴龄材料。本文对南极鱼类年龄鉴定的方法和材料进行了总结回顾, 将年龄鉴定的方法和材料进行比较, 分析各自优缺点。结果显示: ①对于具鳞的南极鱼类, 因鳞片在鱼类生长过程中存在重吸收现象, 因而利用鳞片及鳍条(棘)单独鉴龄所得出的结果通常小于耳石的鉴龄结果, 缺乏精确性; ②南极鱼类生活跨度较大, 高龄鱼体长频次分布严重重叠, 以致无法准确判断其年龄结构; ③耳石重量法易受到特殊个体影响而误判年龄; ④因鳍条易损坏, 脊椎骨采集较为困难, 且许多南极鱼类无鳞, 目前大多数南极鱼类使用耳石鉴定年龄, 其也成为目前最为精准南极鱼类鉴龄方法, 但同时利用鳞片和耳石重量等对鉴定结果进行验证; ⑤南极鱼类尚存在无统一的鉴龄标准、人为主观性较强以及缺乏早期生活史研究等不足之处; ⑥为了研究南极鱼类早期生活史, 耳石微化学及微结构等方法将被广泛利用。

关键词: 南极鱼类; 年龄与生长; 年龄鉴定; 耳石

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

世界大洋生物种类繁多且生物量丰富, 但与其他大洋相比, 南大洋鱼类种群非常有限, 迄今为止发现的南极鱼类有322种^[1], 并且大部分为特有种^[2]。尽管南极鱼类个体小, 数量有限, 但因其具有重要的商业价值和科学研究意义仍受到全球关注^[3]。随着南极海域鱼类资源商业开发的进行, 需要对南极鱼类种群进行有效的管理, 其中南极鱼类年龄的鉴定是合理管理南极鱼类资源的必要依据^[4]。因此, 南极海洋系统与种群生物学调查计划(BIOMASS)等项目已进行了一系列的调查研究, 从而确定南极鱼类鉴定的可靠方法。

年龄的鉴定是理解鱼类生活史的必要部分, 同时也为评价种群动力学提供了有效保

证。随着对南极海洋生物资源的不断研究, 南极鱼类作为南极生态系统的重要环节和商业开发的主要对象, 兼有研究和经济双重意义。近年来, 我国不断加快推进推进南极海洋生物资源的调查与开发, 多次对南极生物资源展开探索性捕捞, 针对南极主要海洋生物, 如南极磷虾(*Euphausia superba*)^[5-6]、冰鱼(*Channichthys*)^[7-9]和南极电灯鱼(*Electrona antarctica*)^[10-12]等均有了一定的研究进展。其中, 刘子俊等^[8]对南极冰鱼的年龄与生长进行了系统的研究, 但仍有大量非商业性南极鱼类尚无系统性研究; 如南极电灯鱼等中上层鱼类, 其资源量十分丰富, 但缺乏系统研究。因此, 本文着眼于整个南大洋海域, 从总体上分析并归纳了南极鱼类年龄鉴定的方

收稿日期: 2016-12-01 修回日期: 2017-03-10

资助项目: 国家科技支撑计划(2013BAD13B03); 国家自然科学基金(41776185, 41606210)

通信作者: 朱国平, E-mail: gpzhu@shou.edu.cn

法, 对各种年龄鉴定的方法及材料进行了比较, 以期为开展南极鱼类年龄与生长的研究提供基础。

1 年龄鉴定的方法

鱼类年龄的鉴定方法主要有直接观察法、体长频率分布法以及钙化组织分析法^[13]。但考虑到南极海域环境以及南极鱼类的特殊性, 直接观察法一般不适用于南极鱼类的年龄鉴定, 在此不做概述。

1.1 体长频率分布法

体长频率分布法可以用于区分同一种类不同年龄组的鱼类。由于极地海洋环境具有高度季节性, 导致南大洋鱼类群体生长缓慢, 表现出明显的季节生长和年际生殖循环。因此, 体长频率分布通常以年为单位进行描述^[4]。利用这种方法可以估计一些鱼类的年龄与体长之间的关系^[4]。但体长频率分布法并不适用早期生活史阶段的南极鱼类年龄。因为样品中处于早期, 特别是处于“0”和“1”年龄段的鱼类未被充分代表, 而南大洋许多鱼类均处于此阶段^[15-16], 从而限制了此方法的使用。另外, 鱼类体长随着年龄增长渐至体长最大值之后, 不再随着年龄的增加而增长。因此, 此方法对高龄成鱼的年龄鉴定也存在缺陷, 容易低估成鱼年龄。总的来讲, 体长频率分布法鉴龄通常适用于快速生长的物种或生长缓慢种类, 如花纹南极鱼(*Notothenia rossii*)^[17]前4~5年的生长。

1.2 钙化组织分析法

利用直接观察法和体长频率分布法可以对鱼类的年龄进行初步评估, 得到与真实年龄相近的近似值。但如更为精确地确定鱼类年龄及生长量, 特别是研究鱼类早期生活史, 则需要利用鱼类钙化组织, 主要是鳞片、鳍条(棘)、脊椎骨和耳石进行分析。钙化组织分析法是鉴定鱼类年龄最广泛的方法, 即利用鱼类钙化组织上随着季节变化而产生的生长轮纹判别鱼类的年龄与生长^[13]。

钙化组织分析法的具体原理^[18]: 由于季节等环境因素的影响, 夏季鱼类大量摄取营养物质, 生长十分迅速; 而冬季鱼类缺少食物, 其生长速率缓慢甚至停滞。鱼类的这种生长规

律, 具体反映在骨片、鳞片、耳石等钙化组织的生长上, 即春、夏季鱼类生长较快, 在钙化组织上形成同心圈, 而且呈宽松状, 称为“疏带”, 也称“夏轮”; 而秋冬季节, 鱼类生长缓慢甚至停滞, 这时在钙化组织上形成的同心圈纹较窄, 称为“密带”, 也称“冬轮”(图1)。疏带和密带结合起来构成生长轮带, 这样每年就形成一个生长轮带, 也就是一个年龄带或一个年轮。鉴定年轮时, 以秋冬季形成的密带和翌年春季夏季形成的疏带之间的分界线为年龄标志。

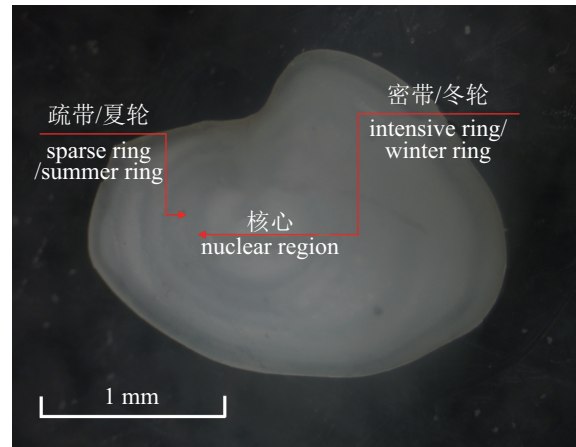


图1 南极鱼类耳石轮纹示意图
样品为南极电灯鱼, 标准体长为67 mm, 体质量为4 g

Fig. 1 Schematic diagram about otolith ring of Antarctic fish species

E. antarctica, standard length is 67 mm, body weight is 4 g

鳞片 鳞片的表面由中心向外呈环形生长的轮纹所组成, 轮纹随季节的周期性变化而变化, 可将鳞片表面轮纹的周期性变化看作为年轮标志^[19]。鱼类鳞片上的轮纹通常分为疏密型、切割型、碎裂型和间隙型等4种类型。自利用鳞片鉴定鲤(*Cyprinus carpio*)的年龄之后^[20], 该方法也得到了较为广泛的应用。

虽然南大洋海域中存在较多鱼类, 但也存在如冰鱼^[8-9]等并无鳞片的鱼类, 因而无法利用鳞片鉴定其年龄, 不过仍有许多学者^[21-23]利用鳞片对其他南极鱼类进行年龄鉴定(图2, 来源: Coggan等^[23], 箭头所指为年轮)。一般采用取自胸鳍后方相对较大且不易损坏的鳞片, 在鉴定年龄前要对鳞片进行简单的处理, 将与鳞片粘在一起的肌肉组织洗净, 干燥, 用纸质信封保存。使用透射光的显微投影器, 在低倍率下读取较为稀疏的鳞片; 较为致密的鳞片则需要

在纤维素醋酸薄膜上按压鳞片制作印拓，而后将印拓好的薄膜在低倍率显微投影器下读取^[24]。在利用鳞片进行年龄鉴定时，按照标准一龄鱼鳞片的日轮或年轮为标准进行参照，估算年龄。

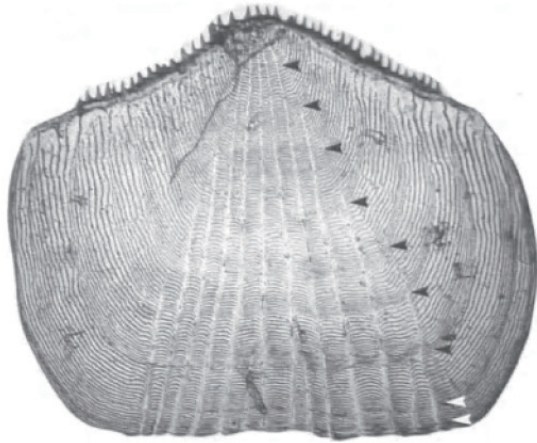


图2 隆头南极鱼鳞片

Fig. 2 Scale of *Notothenia gibberifrons*

南极鱼类中，Cassia^[21]对南乔治亚岛小鳞犬牙南极鱼(*Dissostichus eleginoides*)和Brickle等^[22]对智利油南极鱼(*Eleginops maclovinus*)进行的鳞片鉴定年龄比较符合真实年龄，其他种类的南极鱼类由于地处极地极端气候，生长较为缓慢，年龄时间跨度大，利用鳞片鉴定年龄通常会低估真实年龄。目前，利用南极鱼类鳞片进行年龄鉴定主要集中在3个方面：①通过对比耳石年龄鉴定结果简化年龄鉴定的过程；②将鳞片读取的数据运用于统计学拟合生长曲线；③通过平均百分误差(IPAE)对比其他材料年龄鉴定的准确性^[10]。

鳍条(棘) 鳍条(棘)是一种应用广泛的鱼类年龄鉴定的材料，需要经过处理之后才能观察到年轮，对鳍条(棘)主要的处理方法有锯片法、磨片法和脱钙切片法^[25]。20世纪90年代以来，因鳍条(棘)可能严重低估实际年龄，故较少有研究单独使用鳍条(棘)对南极鱼类进行年龄鉴定。La Mesa等^[7]研究发现，运用第一条背鳍的鳍条和耳石分别鉴定短腹头带冰鱼(*Chionocephalus aceratus*)的年龄，雄性个体年龄分布在1~11龄，而对于雌性，运用鳍条鉴定年龄范围在1~12龄，而运用耳石鉴定年龄范围则在1~18龄。因此，鳍条(棘)更多地用于对其他鉴龄材料，如耳石、鳞片等鉴定出的结果进行验证。

脊椎骨 脊椎骨是一种应用广泛的鱼类

年龄鉴定材料(图3)，也是无耳石或鳞片的鱼类开展鉴龄工作比较常用的材料。自1977年Frolkina^[26]证明鱼类的鱼鳞和脊椎骨同步增长后，脊椎骨被广泛的应用到鱼类的年龄鉴定中。通常利用脊椎骨进行年龄鉴定，首先利用KOH浸泡脊椎骨，而后利用酒精脱脂后直接观察。一般脊椎骨鉴定年龄主要应用于热带地区板鳃鱼类^[27]。

虽然南极鱼类生活环境具有特殊性，且具有耳石较小等特点，也存在无鳞片的鱼类(如南极冰鱼)，但较少有研究利用脊椎骨鉴定年龄。这主要是因为脊椎骨的采集和处理较耳石更加复杂且困难。因此，南极鱼类多用耳石鉴定年龄。一般利用脊椎骨鉴定鱼类种类^[28]以及作为验证年龄鉴定结果的辅助手段^[29]。

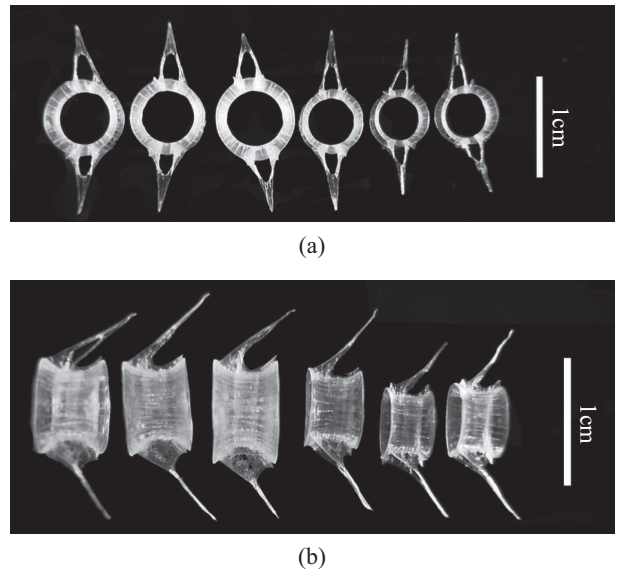


图3 侧纹南极鱼脊椎骨^[30]

(a)脊椎骨俯视图，(b)脊椎骨平面图

Fig. 3 Vertebrae of *Pleuragramma antarcticum*

(a) vertical view of vertebrae, (b) plan of vertebrae

耳石 耳石为存在于硬骨鱼内耳的膜迷路内，主要由碳酸钙构成，起平衡和听觉作用的硬组织，内耳的椭圆囊、球囊和听壶中分别具有微耳石、矢耳石和星耳石各一对^[31]。鱼类耳石的特点为其形态、大小、功能和微结构特征均随种类而存在差异。目前，利用耳石轮廓形态对鱼类种群的研究主要集中在传统形态学方法上^[32]以及基于椭圆傅里叶分析的方法^[33]。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^[34](图4)。

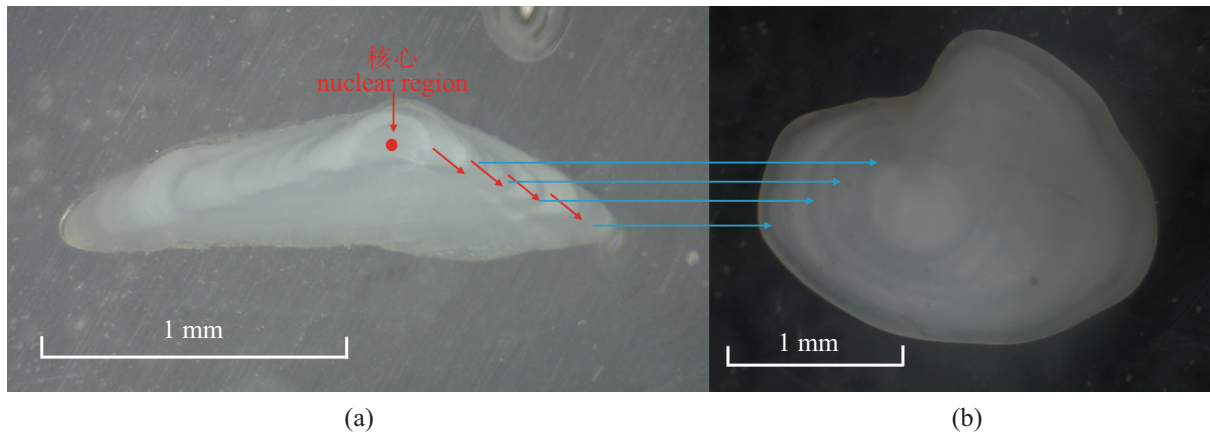


图4 南极电灯鱼耳石

(a)横截面, (b)矢平面; 箭头所指为年轮, 标准体长为67 mm, 体质量为4 g

Fig. 4 Otolith sections of *E. antarctica*

通常, 利用耳石鉴定年龄的方法有两种, 即通过观察耳石轮纹鉴定年龄^[35]和利用耳石重量鉴定年龄^[36]。

目前, 针对南极鱼类年龄与生长的研究, 多数学者利用耳石对其进行年龄鉴定。Ashford等^[37]通过观察凯尔盖朗群岛捕获的小鳞犬牙南极鱼耳石横截面, 评估了其年龄; 并通过年龄—体长关系评估凯尔盖朗群岛拖网和延绳钓小鳞犬牙南极鱼的渔获量。Horn^[38]利用冬夏季节变化在耳石上表现出的明暗区域分别对罗斯海小鳞犬牙南极鱼和鳞头犬牙南极鱼(*D. mawsoni*)的年龄进行了判读, 并估算了其生长。结果表明, 小鳞犬牙南极鱼生长较为迅速, 可达到50龄。雌性生长速率大于雄性, 且尺寸也大于雄性, 但二者可达到的最大年龄相当。鳞头犬牙南极鱼与小鳞犬牙南极鱼生长类似, 但小鳞犬牙南极鱼所用的耳石年龄鉴定方法对其并不适用, 且鳞头犬牙南极鱼生长可达35龄, 其体长要大于小鳞犬牙南极鱼。Radtke等^[39]利用扫描电镜观察了侧纹南极鱼耳石内外增量及孵化标志, 从耳石的增量反算出其孵化时间, 结果表明侧纹南极鱼孵化时期为9—11月, 3~5龄左右达到成熟期, 且其生长与von Bertalanffy生长曲线拟合度较高。Brickle等^[40]利用拉式南美南极鱼(*Patagonotothen ramsayi*)的耳石和鳞片推断其孵化期、验证耳石中首轮以及年生长率。由于周期性 with 评估日增量具有密切的关系, Radtke等^[41]从研究耳石的结构规律和微化学出发, 通过锶钙比在耳石切面上沿着边缘到核心表现出的周期性, 从而

确定鱼类年龄和增长率。

耳石与鳞片的不同之处在于, 耳石的形成开始于胚胎时期, 由矿物质基原结合而形成一个独立的核心, 而后由蛋白质纤维组成的有机质覆盖核心的全部表面^[42-43], 从核心产生碳酸钙晶体向外嵌入蛋白质基质当中形成环形结构。碳酸钙晶体形成的环带较为狭窄, 对应耳石生长的缓慢时期, 且在显微镜入射光下表现为透明带; 蛋白质基质形成较为宽的环带, 与耳石迅速生长时期相对应, 在显微镜入射光下表现为无光泽的白色不透明带。宽阔不透明的蛋白质基质与狭窄透明的碳酸钙晶体一起构成一年耳石生长的增长量。

目前, 对南极鱼类年龄和生长的评估多利用耳石或鳞片的宏观结构, 但南极鱼类生活史跨度长, 对于鱼类早期生活史, 特别是孵化期的生活史信息提取需要利用微结构进行研究。对于非南极鱼类^[44]及部分南极鱼类^[45-46], 通常利用耳石的日轮分析其微结构的形成, 以此提供更加精确的早期生活史信息。

耳石微增量的读取方法^[47]: 观察穿过核心后背或后腹部切面, 在光学显微镜下放大400倍并辅以绿光和偏光滤光镜来改善耳石微增量的可读性。每个增量均有两个结构计算, 在透射光下分别表现为黑色的不连续区域和亮色的增加区域。增量从耳石核心到边缘被同一个读取者记录两次。

另一种耳石年龄鉴定的方法是利用耳石重量鉴定年龄。由于鱼类耳石的重量在其整个生

活史过程中是持续不断增长的,利用耳石的重量鉴定年龄,其依据是耳石重量和个体年龄之间的相关性,即耳石的平均重量随着年龄的增大而呈线性增加这一关系^[35]。因而,利用鱼类耳石重量对其年龄进行鉴定是一种可行的方法。

2 各类年龄鉴定材料的比较

不同的鱼类所采用鉴龄方法及材料有所差异,同一种鱼在其生活史的不同阶段,或者同一种类,同一生活史阶段,不同海域的鱼类,其年龄鉴定的方法和材料也有所不同。比较不同材料与方法的优缺点,可以更加精确便捷地鉴定南极鱼类的年龄。

南极鱼类用于年龄鉴定的材料绝大多数为鱼类的钙化组织,主要有鳞片、鳍条(棘)、脊椎骨和耳石。但鳍条(棘)和脊椎骨在南极鱼类的年龄鉴定中鲜有使用。单独用鳍条(棘)鉴定年龄会极大地低估真实年龄,缺乏精确性,因此利用鳍条(棘)得到的数据不能作为统计学数据使用,目前南极鱼类鳍条(棘)的利用多用于年龄鉴定结果的验证。虽然脊椎骨是广泛的年龄鉴定材料,但由于其提取难度高于耳石,且利用耳石已经可以十分精确地鉴定年龄,因此较少运用在南极鱼类的年龄鉴定中。

鳞片作为年龄鉴定的材料具有采样便捷、处理难度小等优点。但鱼体对鳞片具有重吸收现象,且由于鳞片生长在鱼体表层会受到来自外界如压力等的机械性破坏,因此在鉴定年龄时一般会低估实际年龄。

需要指出的是,南极鱼类由于处于极地严寒气候,从幼体至成体的生长均存在延迟现象,从而导致鱼类开始孵化时,鳞片不能与之同步,会延迟几个月发育。另外,鳞片会随鱼体体长增加而增长,但针对高龄鱼类,其生活史前期时,体长随着年龄的增加而增长,而当体长临近最大值后,尽管年龄仍在增加,但体长却基本保持不变。鳞片可能在整个生活史阶段中遭受损坏,环状结构也可能因高龄鱼鳞片上的环形被压缩而混合。因此,通常情况下,南极鱼类生活时间跨度较长且生长缓慢,若单独利用鳞片对南极鱼类进行年龄的鉴定,得出的结果一般会低于实际年龄。

虽然低估1~2龄对于生活时间跨度长达20年

以上的南极鱼类来说可能影响并不是非常显著,但这些低估的数据被应用于鱼类统计或资源评估中则会产生严重的评估错误。Coggan等^[23]在单位补充渔获量曲线中使用鳞片数据,使得其结果可能会高估20%~30%的潜在渔获量。

近20年来,耳石作为应用最多的南极鱼类年龄鉴定材料,其优点显而易见。首先,耳石生长于鱼体内部较生长在鱼体表面的鳞片和鳍条(棘)更加不易受到外界的影响。其次,与鳞片相比,耳石从未经历过重吸收及外界压力的影响^[48-49]。利用南极鱼类的鳞片和耳石比较年龄鉴定,显示以前利用鳞片的研究低估了年龄。针对高龄南极鱼类,鳞片的主要不足在于其所记录的生长量低于实际生长量。鳞片的生长与鱼类体长的生长具相关性,但针对生长缓慢的物种,其鳞片的生长速率也较为缓慢,且有时较难辨别。与鳞片不同,耳石生长更加稳定;甚至在鱼类临近最大体长之后,耳石的这些结构仍保持增长。不过,少数研究也认为,利用鳞片鉴定鱼类年龄比耳石更为准确,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^[50]。

沈建忠等^[51]利用鳞片和耳石对洞庭湖和洪湖两个水域的鲫(*Carassius auratus*)进行了年龄鉴定,结果表明耳石鉴定的两个水域鲫样本年龄均比较精确,但鳞片鉴定结果要低于耳石鉴定结果。因此,其认为鳞片适合用于生长较快且年龄较低的个体年龄鉴定;生长缓慢或年龄较大的鱼类适合利用耳石鉴龄。南极鱼类生活史长而生长缓慢,利用鳞片和鳍条鉴定年龄有较大的可能性会低估实际年龄;而脊椎骨采样收集的难度又要大于耳石的采集,因此南极鱼类一般采用耳石作为年龄鉴定的材料。

3 年龄与生长的研究现状

由于南极鱼类分布于南大洋这一特殊的海洋环境中,其生物学特性与其他鱼类有着较大的区别,主要表现为生命周期较长,一般可达20~40年甚至更长时间;加之极端气候等因素,较其他海域鱼类,南极鱼类生长十分缓慢,且在生活史特征较为复杂。基于南极鱼类以上特征,目前许多学者采用不同的材料及方法对其进行年龄鉴定(表1)。

耳石作为南极鱼类年龄鉴定的主要材料,

表 1 部分南极鱼类年龄鉴定的材料及方法

Tab. 1 Materials and methods of some Antarctic fish age determination			
材料结构 material structures	方法 methods	文献来源 source	
耳石 otolith	年轮 annual ring	(1)[21], [36], [37]	
		(2)[37]	
		(3)[22]	
		(5)[7]	
		(6) [38], [52]	
		(7)[39]	
		(9) [53]	
		(11)[54]	
		(12)[46]	
		(13)[55]	
日轮 daily ring	微增量 microincrement	(1)[45]	
		(5)[46]	
		(8)[40]	
		(9)[11]	
		(13)[55]	
		(4)[56]	
		(5)[57]	
		(10)[58]	
		(8)[40]	
		鳞片 scale	年轮 annual ring
(3)[22]			
(7)[39]			
(14)[59]			
体长法 body length	(4)[60]		
日轮 daily ring	(8)[40]		
鳍条 fin ray	年轮 annual ring	(5)[7]	

注: (1)小鳞犬牙南极鱼; (2)鳞头犬牙南极; (3)智利油南极鱼; (4)花纹南极鱼; (5)短腹头带冰鱼; (6)侧纹南极鱼; (7)拉氏南美南极鱼; (8)拉氏雅南极鱼; (9)南极电灯鱼; (10)裘氏鳄头冰鱼; (11)伯氏肩孔南极鱼; (12)眼斑雪冰鱼; (13)南极深海龙鱼; (14)多鳍南极鱼

Notes: (1) *D. eleginoides*; (2) *D. mawsoni*; (3) *E. maclovinus*; (4) *Notothenia rossii*; (5) *C. aceratus*; (6) *P. antarcticum*; (7) *P. ramsayi*; (8) *N. larseni*; (9) *E. Antarctica*; (10) *Champscephalus gunnari*; (11) *Trematomus bemaacchii*; (12) *Chionodraco rastrospinosus*; (13) *Parachaenichthys charcoti*; (14) *Notothenia neglecta*

而鳞片一般则是用来比对耳石鉴定结果, 鳍条和脊椎骨则较少使用(表1)。这是由于鳍条易损坏, 脊椎骨的采集较为困难, 且南极鱼类中存在许多无鳞鱼, 加之南极鱼类生长缓慢以及生活时间跨度大, 利用鳞片对南极鱼类进行年龄鉴定其结果一般会低于实际年龄。

南极鱼类年龄鉴定手段多以研究年轮为主, 这主要是由于南极鱼类生活时间跨度较大, 日轮在耳石等钙化组织中被挤压混合不易辨识。近年来, 为了了解南极鱼类早期生活史特别是确定首轮形成的时间, 微结构(如日轮)及微化学等方面的研究也日益增多。

南极鱼类在生物学特性及生活环境等方面与其他鱼类均有较大差异, 但目前对于南极鱼

类的研究多集中于具有商业价值的经济鱼类, 如小鳞犬牙南极鱼^[21, 26, 36-37, 45]等, 对于其他非经济鱼类则并无太多研究, 对于南极鱼类年龄鉴定的方法也不尽相同, 这给南极鱼类的研究及管理带来困难。

4 总结与展望

迄今为止, 尚未确定何种方法为最有效独立鉴定南极鱼类年龄的方法, 相关工作主要通过钙化组织分析完成, 但对于不同鱼种或同一鱼种不同年龄阶段, 最优鉴定年龄的材料并不一致, 要对比多种鉴定年龄材料才能予以确定。耳石是目前用来鉴定南极鱼类年龄的主要材料, 具有较多其他材料所不具备的优势。利用耳石鉴定年龄对于鱼类早期生活史, 尤其是首轮的形成时间尚不能准确的确定。近年来, 关于利用耳石微结构确认首轮位置以及研究幼鱼的生长日益增加。

对于同一种鱼类进行年龄鉴定时, 可采取多种年龄鉴定材料和多种年龄鉴定方法相结合, 相互交叉比较。这样既可以比较得出该鱼种各年龄段最适合的年龄鉴定材料, 也能通过多种方法相互验证, 比较出该鱼种各年龄段最适宜的年龄鉴定方法, 最终精确鉴定出其年龄。

针对目前南极鱼类年龄鉴定的研究, 仍存在一些不足之处。一是南极鱼类年龄鉴定尚无统一的参考标准; 导致不同的实验者在读取轮纹时并非按照统一的标准, 产生误差。对此, 建议针对不同类型的南极鱼类分别建立统一的参考标准, 在日后的年龄鉴定过程中, 按照规定的标准读取鱼类生长信息, 这样可以减少因参考标准不统一而造成的误差。二是南极鱼类耳石轮纹的读取存在较大的主观性; 在读取耳石轮纹的时候, 有可能将耳石上因其他因素产生的副轮、假轮等误认为是鉴定年龄需要读取的正确轮纹, 因而产生人为误差, 导致错误估计年龄。由于存在较大的主观性, 因而需要实验者利用其他材料对鉴定结果进行交叉验证。此外, 各研究者之间应加强交流, 建立以南极鱼类年龄与生长为基础的数据库, 包括体长和年龄范围的数据参考标准, 利用数据库为南极鱼类年龄鉴定提供参考。三是对于高龄鱼的早期生活史过程研究较少; 高龄鱼早期生活史的

研究需要依靠日轮的研究, 加强日轮研究, 将早期生活史与中后期结合, 推演出南极鱼类完整的生活史过程, 更好地了解南极鱼类的动态变化。

参考文献:

- [1] Eastman J T. The nature of the diversity of Antarctic fishes[J]. *Polar Biology*, 2005, 28(2): 93-107.
- [2] Arntz W, Gutt J, Klages M. Antarctic marine biodiversity: An overview[M]//Battaglia B, Valencia J, Walton D W H. *Antarctic Communities: Species, Structure and Survival*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997: 3-14.
- [3] 朱国平. 南极鱼类耳石研究的文献计量分析[J]. *海洋渔业*, 2013, 35(3): 289-295.
Zhu G P. Bibliometric study on Antarctic fish otolith in the Southern Ocean[J]. *Marine Fisheries*, 2013, 35(3): 289-295(in Chinese).
- [4] di Prisco G, Maresca B, Tota B. *Biology of Antarctic Fish*[M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1991: 87-96.
- [5] 朱国平, 王芮. 南极磷虾渔业CPUE及其丰度估算适用性[J]. *水产学报*, 2016, 40(7): 1072-1079.
Zhu G P, Wang R. Catch per unit effort of Antarctic krill (*Euphausia superba*) fishery and its suitability to abundance estimation[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(7): 1072-1079(in Chinese).
- [6] 朱国平, 王芮, 朱小艳, 等. 2013年冬季南乔治亚岛南极磷虾群昼夜垂直移动研究[J]. *水产学报*, 2015, 39(8): 1242-1249.
Zhu G P, Wang R, Zhu X Y, *et al.* Diel vertical migration of Antarctic krill aggregation in South Georgia Island in the austral winter season of 2013[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(8): 1242-1249 (in Chinese).
- [7] La Mesa M, Ashford J, Larson E, *et al.* Age and growth of Scotia Sea icefish, *Chaenocephalus aceratus*, from the South Shetland Islands[J]. *Antarctic Science*, 2004, 16(3): 253-262.
- [8] 刘子俊, 朱国平. 南极冰鱼年龄与生长的研究进展[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(6): 1755-1761.
Liu Z J, Zhu G P. Age and growth of Antarctic icefish species: a review[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(6): 1755-1761(in Chinese).
- [9] Feller G, Gerday C. Adaptations of the hemoglobinless Antarctic icefish (*Channichthyidae*) to hypoxia tolerance[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 1997, 118(4): 981-987.
- [10] 李史民. 南极南设得兰群岛南极电灯鱼耳石结构及其年龄鉴定的初步研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
Li S M. The preliminary study of otolith structure and age determination of *Electrona antarctica*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015(in Chinese).
- [11] Greely T M, Gartner Jr J V, Torres J J. Age and growth of *Electrona antarctica* (Pisces: Myctophidae), the dominant mesopelagic fish of the Southern Ocean[J]. *Marine Biology*, 1999, 133(1): 145-158.
- [12] Saunders R A, Collins M A, Foster E, *et al.* The trophodynamics of Southern Ocean *Electrona* (Myctophidae) in the Scotia Sea[J]. *Polar Biology*, 2014, 37(6): 789-807.
- [13] 李强, 胡继飞, 蓝昭军, 等. 利用鱼类钙化组织鉴定年龄的方法[J]. *生物学教学*, 2010, 35(6): 51-52.
Li Q, Hu J F, Lan Z J, *et al.* Fish age identification by means of calcific tissues[J]. *Biology Teaching*, 2010, 35(6): 51-52(in Chinese).
- [14] Koch K H. Graphical analysis of length-frequency distribution of *Champocephalus gunnari* Lonnberg (*Channichthyidae*) from South Georgia[J]. *Cybiurn*, 1980, 8: 33-42.
- [15] Burchett M S. Age and growth of the Antarctic fish *Notothenia rossii* from South Georgia[J]. *British Antarctic Survey Bulletin*, 1983, 60: 45-61.
- [16] Freytag G. Length, age, and growth of *Notothenia marmorata* Fischer 1885 in the West Antarctic waters[J]. *Archiv Fur Fischereiwissenschaft*, 1980, 30(1): 39-66.
- [17] Burchett M S. The life cycle of *Notothenia rossii* from South Georgia[J]. *British Antarctic Survey Bulletin*, 1983, 61: 71-73.
- [18] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 40.
Chen X J. *Fishery resources and fisheries hydrography*[M]. Beijing: China Ocean Press, 2004: 40(in Chinese).
- [19] 邓景耀, 赵传网. 海洋渔业生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
Deng J Y, Zhao C Y. *Marine fisheries biology*[M]. Beijing: Agriculture Press, 1991(in Chinese).

- [20] 张学健, 程家骅. 鱼类年龄鉴定研究概况[J]. 海洋渔业, 2009, 31(1): 92-99.
Zhang X J, Cheng J H. Survey on study of the fish age determination[J]. Marine Fisheries, 2009, 31(1): 92-99(in Chinese).
- [21] Cassia M C. Comparison of age readings from scales and otoliths of the Patagonian toothfish (*Dissostichus Eleginoides*) from South Georgia[J]. CCAMLR Science, 1998, 5: 191-203.
- [22] Brickle P, Arkhipkin A, Shcherbich Z. Age and growth in a temperate euryhaline notothenioid, *Eleginops maclovinus* from the Falkland Islands[J]. Journal of the Marine Biological Association of the UK, 2005, 85(5): 1217-1221.
- [23] Coggan R A, Skora K, Murray A, et al. A comparison between age determination of the Antarctic fish *Notothenia gibberifrons* Lönneberg using scales and otoliths[J]. Cybium, 1990, 14: 43-55.
- [24] Matlock G C, Colura R L, McEachron L W. Direct validation of black drum (*Pogonias cromis*) ages determined from scales[J]. Fishery Bulletin, 1993, 91(3): 558-563.
- [25] 陈康贵, 王德寿, 王瑞兰. 对胸鳍棘鉴定鱼类年龄方法的技术改进——简易脱钙切片法[J]. 动物学杂志, 2002, 37(5): 46-48.
Chen K G, Wang D S, Wang R L. A new method for aging of fish using simplified histological sections of the pectoral fin after decalcification[J]. Chinese Journal of Zoology, 2002, 37(5): 46-48(in Chinese).
- [26] Frolkina Z A. A method for age determination in Patagonian toothfish[J]. Trudy AtlantNIRO, 1977, 73: 86-93.
- [27] Moltschaniwskyj N, Cappo M. Alternatives to sectioned otoliths: The use of other structures and chemical techniques to estimate age and growth for marine vertebrates and invertebrates[M]//Bridget S G, Bruce D M, Gary C G A B. Tropical Fish Otoliths: Information for Assessment, Management and Ecology. Netherlands: Springer-Verlag, 2009, 81: 133-173.
- [28] 王永梅, 唐文乔. 中国鲤形目鱼类的脊椎骨数及其生态适应性[J]. 动物学杂志, 2014, 49(1): 1-12.
Wang Y M, Tang W Q. The number of vertebrae from Chinese species of the Cypriniformes and its ecological adaptation[J]. Chinese Journal of Zoology, 2014, 49(1): 1-12(in Chinese).
- [29] 程方圆, 程庆庆, 程乐华, 等. 黄山九龙峰尖头鲮的年龄鉴定[J]. 生态学杂志, 2014, 33(8): 2108-2114.
Cheng F Y, Cheng Q Q, Cheng L H, et al. Age determination of *Phoxinus oxycephalus* from the Jiulong-Peak of the Huangshan Mountain[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(8): 2108-2114(in Chinese).
- [30] Von Busekist J, Vacchi M, Albertelli G. "ANFIBO Base", a computer-based system for identification of fish bones from Antarctic waters. Version 1.0 for MS-Windows CD-ROM[Z]. Italy: University of Genoa, 2007.
- [31] 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.
Zhang Z G, Wang W M. Study of fish otolith: a review[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2001, 21(4): 77-83(in Chinese).
- [32] 李史民, 朱国平. 南极南设得兰群岛南极电灯鱼耳石形态学研究[J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(6): 674-680.
Li S M, Zhu G P. Otolith morphology of Antarctic lanternfish *Electron antarctic* in the South Shetland Islands, Antarctic[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2015, 30(6): 674-680(in Chinese).
- [33] 魏联, 朱国平, 刘子俊. 基于形态学及傅里叶分析对两种南极冰鱼耳石外型的研究[J]. 极地研究, 2017, 29(2): 218-227.
Wei L, Zhu G P, Liu Z J. Otolith shape of two icefish species based on morphology and Fourier analysis[J]. Chinese Journal of Polar Research, 2017, 29(2): 218-227(in Chinese).
- [34] 廖锐, 区又君. 鱼类耳石研究和应用进展[J]. 南方水产, 2008, 4(1): 69-75.
Liao R, Ou Y J. Present status of studies and applications on otolith of fishes[J]. South China Fisheries Science, 2008, 4(1): 69-75(in Chinese).
- [35] 刘子俊. 裘氏鳕头冰鱼耳石外型、微化学及其鉴龄研究[D]. 上海: 上海海洋科学, 2016.
Liu Z J. Otolith shape, microchemistry and ageing in Mackerel icefish (*Champsocephalus gunnari*)[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016(in Chinese).
- [36] 郭弘艺, 唐文乔. 长江口刀鲚耳石重量与年龄的关系及其在年龄鉴定中的作用[J]. 水产学报, 2006, 30(3): 347-352.

- Guo H Y, Tang W Q. The relationship between sagittal otolith weight-age and its use in age determination in *Coilia nasus* from the estuary of Yangtze River[J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(3): 347-352(in Chinese).
- [37] Ashford J, Duhamel G, Jones C, *et al.* Age, growth and mortality of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) caught off Kerguelen[J]. CCAMLR Science, 2005, 12(1): 29-41.
- [38] Horn P L. Age and growth of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) and Antarctic toothfish (*D. mawsoni*) in waters from the New Zealand subantarctic to the Ross Sea, Antarctica[J]. Fisheries Research, 2002, 56(3): 275-287.
- [39] 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]. Antarctic Science, 1993, 5(1): 51-62.
- [40] Brickle P, Arkhipkin A, Shcherbich Z. Age and growth of a sub-Antarctic notothenioid, *Patagonotothen ramsayi* (Regan 1913), from the Falkland Islands[J]. Polar Biology, 2006, 29(8): 633-639.
- [41] Radtke R L, Targett T E. Rhythmic structural and chemical patterns in otoliths of the Antarctic fish *Notothenia larseni*: their application to age determination[J]. Polar Biology, 1984, 3(4): 203-210.
- [42] Dale T. Embryogenesis and growth of otoliths in the cod (*Gadus morhua* L.). In: The propagation of cod *Gadus morhua* L.: an international symposium, Arendal, 14-17 June 1983[J]. Indian Journal of Genetics & Plant Breeding, 1987, 85(3): 135-142.
- [43] Radtke R L. Cod fish otoliths: Information storage structures[C]//Dahl E, Danielssen D S, Moksness E, *et al.* The Propagation of Cod *Gadus morhua* L.: An International Symposium. Arendal: Havforskning-sinstituttet, 1984: 273-298.
- [44] Campana S E. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods[J]. Journal of Fish Biology, 2001, 59(2): 197-242.
- [45] La Mesa M. The utility of otolith microstructure in determining the timing and position of the first annulus in juvenile Antarctic toothfish (*Dissostichus mawsoni*) from the South Shetland Islands[J]. Polar Biology, 2007, 30(10): 1219-1226.
- [46] La Mesa M, Ashford J. Age and early life history of juvenile Scotia sea icefish, *Chaenocephalus aceratus*, from Elephant and the South Shetland Islands[J]. Polar Biology, 2008, 31(2): 221-228.
- [47] Campana S E, Secor D H, Dean J M. Recent developments in fish otolith research[M]. University of South Carolina Press, 1995: 89-99.
- [48] 郭弘艺, 张亚, 唐文乔, 等. 日本鳗鲡幼体的耳石微化学分析及其环境指示元素筛选[J]. 水产学报, 2015, 39(10): 1467-1478.
- Guo H Y, Zhang Y, Tand W Q, *et al.* Analysis of otolith microchemistry and screening of environmental indicator elements in early life history of Japanese eels(*Anguilla japonica*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(10): 1467-1478(in Chinese).
- [49] Stevenson D K, Campana S E. Otolith Microstructure Examination and Analysis[M]. Ottawa: Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 1992: 126.
- [50] Machias A, Maraveyia E, Pavlidis M, *et al.* Validation of annuli on scales and otoliths of common dentex (*Dentex dentex*)[J]. Fisheries Research, 2002, 54(2): 287-294.
- [51] 沈建忠, 曹文宣, 崔奕波. 用鳞片 and 耳石鉴定鲫鱼年龄的比较研究[J]. 水生生物学报, 2001, 25(5): 462-466.
- Shen J Z, Cao W X, Cui Y B. Comparison of scale and otolith for estimating age of *Carassius auratus* L.[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2001, 25(5): 462-466(in Chinese).
- [52] Hubold G, Tomo A P. Age and growth of Antarctic Silverfish *Pleuragramma antarcticum* Boulenger, 1902, from the southern Weddell Sea and Antarctic Peninsula [J]. Polar Biology, 1989, 9(4): 205-212.
- [53] Linkowski T B. Age and growth of four species of *Electrona* (Teleostei, Myctophidae)[C]//Kullander S O, Fernholm B. Proceedings of the 5th Congress of European Ichthyologists. Stockholm: Swedish Museum of National History, 1987: 435-442.
- [54] La Mesa M, Vacchi M, Arneri E, *et al.* Age and growth of the nototheniid fish *Trematomus bernacchii* Boulenger from Terra Nova Bay, Antarctica[J]. Polar Biology, 1996, 16(2): 139-145.
- [55] La Mesa M, Catalano B, Kock K H, *et al.* Age and

- growth of the Antarctic dragonfish *Parachaenichthys charcoti* (Pisces, Bathydraconidae) from the southern Scotia Arc[J]. *Polar Biology*, 2012, 35(10): 1545-1553.
- [56] Barrera-Oro E, La Mesa M, Moreira E. Early life history timings in marbled rockcod (*Notothenia rossii*) fingerlings from the South Shetland Islands as revealed by otolith microincrement[J]. *Polar Biology*, 2014, 37(8): 1099-1109.
- [57] Ryszard J T. Age, growth and distribution of the Antarctic fish *Chaenocephalus aceratus* based on otoliths[J]. *Journal of Environmental Science and Engineering A*, 2015, 4(8): 401-419.
- [58] Radtke R L. Age determination of the Antarctic fishes *Champscephalus gunnari* and *Notothenia rossii marmorata* from South Georgia[J]. *Polar Biology*, 1990, 10(5): 321-327.
- [59] Linkowski T B, Żukowski C. Observation on the growth of *Notothenia coriiceps neglecta* Nybelin and *Notothenia rossii marmorata* Fischer in Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands)[J]. *Polish Polar Research*, 1980, 1(2-3): 155-162.
- [60] Crisp D T, Carrick S M. Some observations on the growth and length: weight relationship of the South Georgia cod *Notothenia rossii marmorata* Fischer during the first four years of life[J]. *Journal of Fish Biology*, 1975, 7(3): 407-409.

Age and growth of Antarctic fish species: a review

ZHU Guoping^{1,2,3*}, WEI Lian¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Polar Marine Ecosystem Lab, the Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Antarctic fish species have a very long life history and are slow-growing. Age determination of Antarctic fish is more difficult than fish species outside the Antarctic area because of unique biological characteristics. However, age determination of Antarctic fish is the basis of fishery stock assessment. Recently, some calcified structures, such as scales, fin rays, vertebrae and otoliths became the main materials for age determination of Antarctic fish. This review compares different methods and materials of Antarctic fish age determination, as well as analyzes their merits and deficiencies to provide the references for further studying Antarctic fish species. The results showed that, compared to otolith, scales and fin rays were seldom used to age determination of Antarctic fish. Length frequency distribution could not be suitable to age older Antarctic fishes because of the long life history. Otolith weight could erroneously estimate the age of Antarctic fishes because of typical individuals occurring. Because fin rays are easily damaged, vertebrae are difficult to collect, the age of some Antarctic fish species without scales were frequently estimated based on otolith sections and verified by scales as well. Meanwhile, some disadvantages, such as no unified age determination protocol, strong subjectivity and lack of background knowledge of early life history, etc. limit the accuracy and precision of ageing Antarctic fish species. Otolith microchemistry and microstructure will be used extensively for studying early life history of Antarctic fish.

Key words: Antarctic fish; age and growth; age determination; otolith

Corresponding author: ZHU Guoping. E-mail: gpzhu@shou.edu.cn

Funding projects: National Key Technology R&D Program (2013BAD13B03); National Natural Science Foundation of China (41776185, 41606210)