

研究论文

南设得兰群岛次南极电灯鱼(*Electrona carlsbergi*) 鉴龄校验研究

刘子俊¹ 魏联¹ 朱国平^{1,2,3} 张海亭¹

(¹上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

²国家远洋渔业工程研究中心, 上海 201306;

³大洋渔业资源可持续开发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 次南极电灯鱼 *Electrona carlsbergi* 为栖息于次南极及南大洋水域并具重要生态作用的中上层鱼类, 但目前鲜有关于该鱼种年龄的报道。为了鉴定次南极电灯鱼 *Electrona carlsbergi* 的年龄, 并确定该鱼种最优鉴龄方法, 本研究利用 2010 年 1 月 27 日于南设得兰群岛北部水域采集的 59 尾次南极电灯鱼, 共计 73 个矢耳石样本, 对矢耳石年轮进行了计数, 鉴定其年龄, 并分别对耳石矢平面、横切面及纵切面进行年轮读取。结果表明, 矢平面及纵切面年轮在直射光下不易辨识, 副轮及假轮较多, 影响年轮鉴定, 而横切面年轮较为清晰, 因此将直射光下横切面年轮的暗带作为年龄鉴定的依据。年龄鉴定结果显示, 3、4 龄为优势年龄, 占总体的 67.80%, 其余所占比例较小。利用总吻合率(total concordance, TC)、变异系数(coefficient of variation, CV)及平均百分比误差(average percentage error, APE)三个数据量化两名读者三次年龄判读结果的精确性, TC 平均值为 50.23%, CV 平均值为 3.67%, APE 平均值为 8.60%。对各年龄组利用 TC、CV 及 APE 量化其精确性, 其结果显示 CV 与 TC 呈现出相反的变化趋势, APE 则呈先上升而后下降的趋势。利用 von Bertalanffy 生长模型拟合生长方程, 其结果为 $L_t = 7.7154(1 - e^{-0.5373(t+2.7807)})$ 。

关键词 次南极电灯鱼 耳石 年龄鉴定 年龄校验 生长

doi: 10.13679/j.jdyj.2017.4.477

0 引言

南大洋地处南极大陆周围海域, 受极地气候影响, 形成较其他海域更为特殊的海洋环境。南大洋海域生物因其独特的生存环境, 具有高度特有而多样性较低的特征^[1]。目前探明的南大洋鱼类种类数量十分有限, 仅为 322 种^[2], 且多数为南极特有种^[3]。除了具有经济价值的商业性鱼种外, 一些具有重要科学研究价值和生态作用的极地鱼类也逐渐为极地生物学家所关注^[4,5], 其

中包括属于南大洋鱼类资源丰度最高的灯笼鱼科次南极电灯鱼(*Electrona carlsbergi*)^[6]。

次南极电灯鱼隶属于辐鳍鱼纲(Actinopterygii)、灯笼鱼目(Myctophiformes)、灯笼鱼科(Myctophidae)、电灯鱼属(*Electrona*), 主要分布在太平洋、大西洋和印度洋南部临近南极大陆部分所形成的连续海域, 即亚热带辐合区及南大洋附近海域^[7]。次南极电灯鱼是一种海洋中层洄游性鱼类^[8], 其栖息深度为夏季(12 月—2 月)50—100 m, 冬季(6 月)200 m 及以深水域^[9]。现有信息表明, 次南极电灯鱼体长雄性最大可达 9.0 cm, 雌性可达 9.6 cm^[7];

[收稿日期] 2016 年 9 月收到来稿, 2016 年 12 月收到修改稿

[基金项目] 国家科技支撑计划项目(2013BAD13B03)和公益性行业(农业)科研专项(201203018)资助

[作者简介] 刘子俊, 男, 1990 年生。硕士, 主要从事极地生物学研究。E-mail: zijunliu1990@foxmail.com

[通信作者] 朱国平, E-mail: gpzhu@shou.edu.cn

通常 2—3 龄发育成熟, 最大年龄为 6 龄^[10]。该鱼种资源量巨大^[9], 作为次南极地区食物网中的关键环节^[11], 其资源量的变动对次南极地区海洋生态系统的影响较大^[12]。然而, 目前关于该鱼种的基础研究非常有限, 现有研究也多为时空分布^[9,13]、繁殖^[14]及营养动力学^[11,15]等, 对于其年龄与生长的研究极少, 仅 Linkowski^[10]曾在会议上报道了次南极电灯鱼的年龄与生长, 而该研究并未对年龄鉴定的精确性进行校验。为此, 本研究利用矢耳石对其年龄鉴定进行了研究, 并评估了该方法的可靠性, 以期为今后进一步研究次南极电灯鱼年龄、生长及生活史过程提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 样本来源及生物学数据测定

次南极电灯鱼样本采集时间为 2010 年 1 月 27 日, 采集地点为南设得兰群岛北部水域 (60°55'S, 59°50'W)。共收集 59 尾次南极电灯鱼样本, 冷冻保存后带回实验室分析。次南极电灯鱼于实验室内解冻, 对样本的体长(SL)、体重(WW)及纯重(DW)进行测量, 体长利用 111N-101 数显

卡尺测量, 精确到 0.01 cm, 体重利用 HZ-A6002 电子天平测量, 精确到 0.01 g。次南极电灯鱼体长范围为 6.00—8.80 cm, 平均体长为(7.46±0.45)cm; 体重范围为 4.08—8.71 g, 平均体重为(5.86±0.94) g; 纯重范围为 3.61—7.60 g, 平均纯重为(5.18±0.87)g。

1.2 耳石处理

在实验室中对矢耳石进行采集, 利用镊子摘取矢耳石, 将摘取的矢耳石浸入超纯水清洗, 干燥后放入离心管中常温保存。随机选取样本左/右耳石中的一枚, 对次南极电灯鱼矢耳石进行图像采集, 质量测量, 耳石打磨、抛光以及轮纹的读取。

将耳石核心部位稍突起的面朝上, 放置于 30 倍率下的解剖镜进行图像的采集。耳石质量采用微量天平 CPA225D(分度值 0.01 mg)测量。分别选取矢耳石的矢平面(图 1a)、横切面(图 1b)及纵切面(图 1c)进行打磨、抛光, 而后利用解剖镜辅以冷光源对处理后的 3 种截面进行轮纹的读取和轮纹图像的采集。

1.3 数据处理

(1)利用 CV、TC 和 APE 三种数据指标量化不同读者对耳石年轮鉴定出的年龄。TC 为总吻合率,

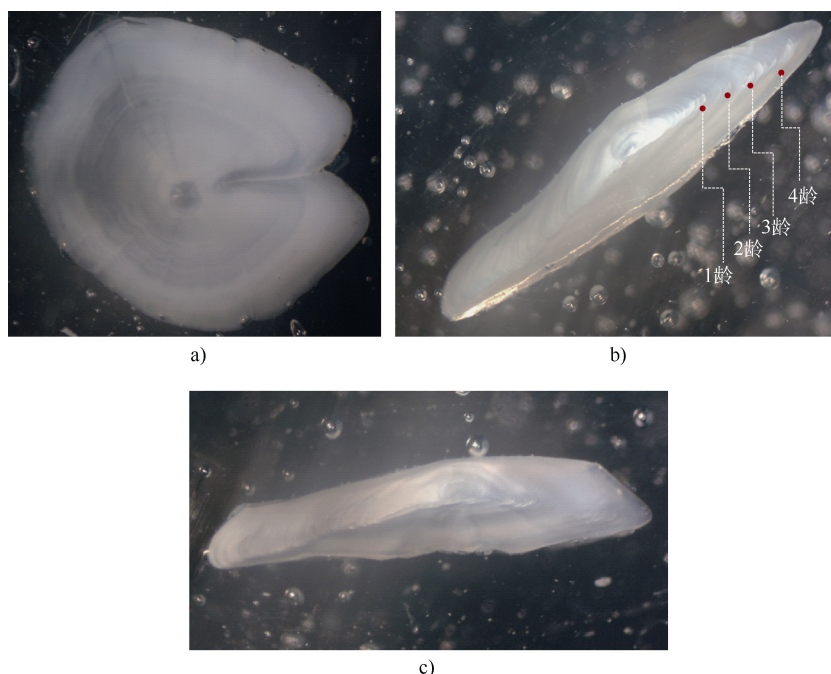


图 1 次南极电灯鱼矢耳石打磨截面. a)矢平面(体长=7.70cm); b)横切面(体长=7.10cm); c)纵切面(体长=7.70cm)

Fig.1. Grinding sections on sagittal otolith of *E.carlsbergi*. a) sagittal plane (SL=7.70cm); b) longitudinal section(SL=7.10cm); c) transverse section (SL=7.70cm)

表示两名读者年龄鉴定的相同个体占总体的百分比。CV 为变异系数, 其计算公式为: $CV_j = 100\% \times$

$$\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - \bar{X}_j)^2}{R-1}}}{\bar{X}_j}, \text{ APE 为平均百分比误差其计}$$

算公式为: $APE_j = 100\% \times \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - \bar{X}_j|}{\bar{X}_j}$ 。其中,

R 表示读者人数, X_{ij} 表示第 j 个样本第 i 次读数, $\bar{X}_j$ 表示第 j 个样本的平均年龄。

(2) 对鉴定年龄的样本, 以年龄为依据分组, 分别计算各组 CV、TC 及 APE。

(3) 利用 von Bertalanffy 生长模型拟合得出体长生长方程 $L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})$ 。其中 L_t 为次南极电灯鱼在 t 龄时的体长, 单位为 cm; L_∞ 为次南极电灯鱼的极限体长, 单位为 cm; k 为生长参数, 单位为 a^{-1} ; t_0 为 $L=0$ 时的理论年龄, 单位为 a。

本研究数据使用 SPSS 19.0 和 Excel 2007 软件对所得数据进行统计分析。

2 结果分析

2.1 年龄鉴定及其精确性

2.1.1 年龄鉴定

将耳石矢平面、纵切面及横切面 3 种打磨出的截面置于解剖镜下, 辅以冷光源观察 3 种截面上的轮纹。结果显示, 矢平面和纵切面的副轮及假轮较多, 年轮不易辨识, 而横切面核心明显, 年轮暗带在直射光下更为清晰, 与其他两种截面相比, 横切面副轮及假轮较少, 年轮更易辨别。因此, 以横切面在直射光下的暗带作为年龄鉴定的依据。

随机选取左/右耳石中一枚, 打磨其横切面并读取轮纹。结果表明, 次南极电灯鱼年龄分布为 2—6 龄(图 2), 其中 3 龄和 4 龄为优势年龄组, 分别占总体比例为 32.20% 和 35.60%。2 龄、5 龄及 6 龄所占比例较小, 占比均不足 20%。

次南极电灯鱼矢耳石重量范围为 0.0067—0.0102 g, 平均重量为 (0.008 ± 0.0007) g, 优势重量为 0.007—0.009 g(81.36%)。随着年龄的增长, 矢耳石重量也随之增长, 两者之间呈较为明显的线性函数关系(图 3), 其公式为: $OW = 0.0006T + 0.0059$ ($R^2 = 0.6253$, $P < 0.01$)。

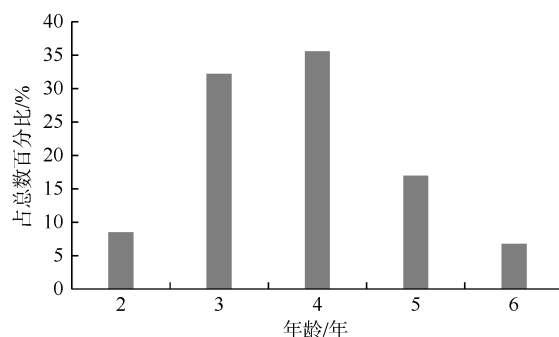


图2 次南极电灯鱼年龄分布

Fig.2. Age distribution of *E. carlsbergi* based on otolith

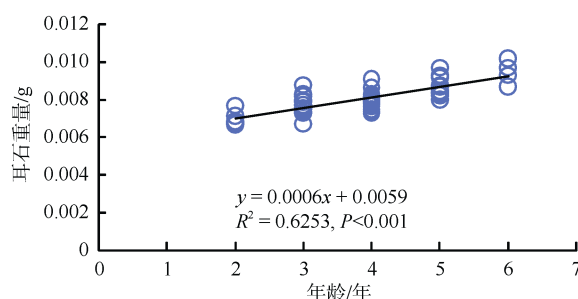


图3 次南极电灯鱼耳石重量与年龄的关系

Fig.3. The relationship between age and otolith weight of *E. carlsbergi*

2.1.2 年龄鉴定的精确性

两名读者分别对来自 59 尾次南极电灯鱼的 73 个矢耳石横切面暗带进行 3 次计数鉴定年龄(表 1), 图 4 显示了两名读者三次对耳石轮纹判读年龄的差异, 直线为两名读者读数相同的部分, 由图可知, 随着年龄组的增大, 年龄低估的可能性也随着增加。对每个年龄阶段进行精确性判断(表 2, 图 5), 结果显示, CV 曲线与 TC 曲线二者之间呈完全相反的趋势, 即在 CV 曲线上升时, TC 曲线则下降, 二者变现为负相关关系; APE 曲线总体上随着年龄的增大而降低, 除 3 龄之外, APE 曲线呈逐步下降的趋势。

表1 两名读者年龄判读精确性参数
Table 1. The value of age precision parameters of *E. carlsbergi* by two readers

读数次数	TC/%	CV/%	APE/%
1	47.95	6.57	8.93
2	52.05	2.33	9.02
3	50.68	2.12	7.84
平均值	50.23	3.67	8.60

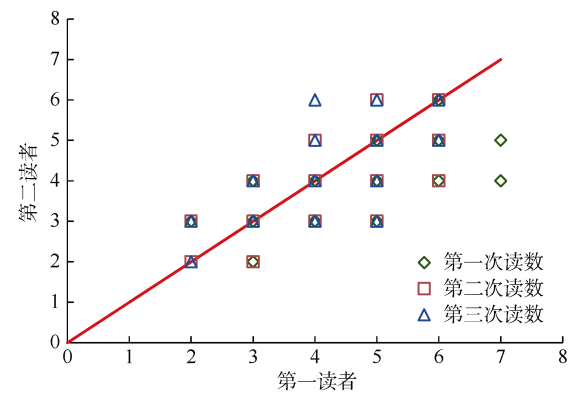


图 4 两名读者年龄鉴定结果

Fig.4. Age estimates of *E. carlsbergi* between two readers

表 2 各年龄组年龄判读精确性参数

Table 2. The value of age precision parameters on different age groups of *E. carlsbergi*

年龄组	TC/%	CV/%	APE/%
2	53.33	4.11	8.81
3	60.26	1.72	9.80
4	41.33	7.07	8.70
5	51.28	3.67	6.78
6	33.33	8.18	5.76

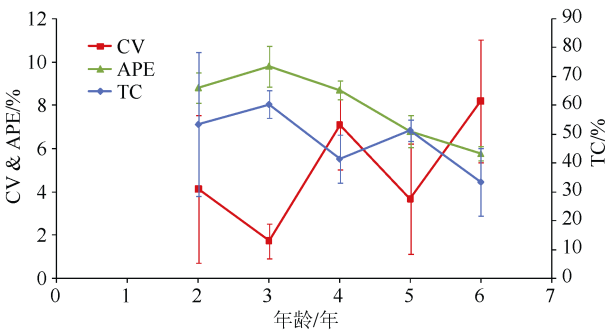


图 5 各年龄组 CV, APE 和 TC 的变化趋势

Fig.5. The trend of CV, APE and TC on different age groups of *E. carlsbergi*

2.2 生长方程

次南极电灯鱼优势体长为 7.00—7.60 cm (62.71%), 优势体重为 5.00—7.00 g(74.58%), 优势纯重为 4.00—6.00 g(81.36%)。对其体长与体重、体重与纯重利用单因素方差分析, 并利用幂函数拟合次南极电灯鱼体长与体重, 公式为: $WW = 0.1805 SL^{1.7278}$ ($R^2 = 0.4510$, $n=59$, $P<0.01$); 利用

线性函数拟合体重与纯重, 公式为: $WW= 0.9038 DW-0.1188$ ($R^2 = 0.9635$, $P<0.01$)。次南极电灯鱼 von Bertalanffy 生长方程为 $L_t=7.7154 (1-e^{-0.5373(t+2.7807)})$ (图 6)。

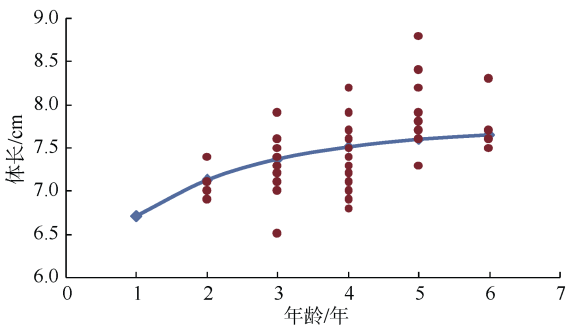


图 6 次南极电灯鱼生长曲线

Fig.6. The growth curve of *E. carlsbergi*

3 讨论

次南极电灯鱼是环南极大陆前缘连续水域中资源量十分丰富的鱼种之一, 是灯笼鱼科除南极电灯鱼 (*Electrona antarctica*)外资源量最为丰富的鱼种^[15]。巨大的资源量使其在南大洋生态系统中具有十分重要的作用。本研究对次南极电灯鱼从年龄鉴定及其鉴定的精确性等方面做了初步分析。

3.1 年龄鉴定

耳石是鱼类最常用来鉴定年龄的钙化组织, 目前进行年龄鉴定的鱼类, 大部分是利用耳石或者鳞片作为鉴定材料^[16], 尤其是在高龄鱼类的年龄鉴定中, 耳石比鳞片、鳍条更加准确^[17]。用耳石年轮鉴定年龄是目前南极海域鱼类鉴定年龄的主要方法(表 3), 主要原因在于南极环境特殊, 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, 因此利用年轮鉴定其年龄具有现实可行性。

本研究中对次南极电灯鱼矢耳石的矢平面(图 1a)、横切面(图 1b)及纵切面(图 1c)均进行了打磨。结果显示, 纵切面和横切面的核心均为靠近背部区域, 而矢平面的核心较前两者更接近耳石中心位置, 且三种切面的核心均较为明显。在轮纹的结构方面, 矢平面较另外两者具有更多的副轮, 读取难度较大, 年轮难以辨识, 易将副轮等误读成年轮, 使得鉴龄结果偏大。纵切面虽然

表 3 利用耳石年轮鉴定年龄的部分南极鱼类
Table 3. Age determination of some Antarctic fish species by annual rings of otolith sections

南极鱼类种类	来源
小鳞犬牙南极鱼 <i>Dissostichus eleginoides</i>	Cassia ^[18] , Ashford et al ^[19] , Horn ^[20]
鳞头犬牙南极鱼 <i>Dissostichus mawsoni</i>	Horn ^[20]
智利油南极鱼 <i>Eleginops maclovinus</i>	Brickle et al ^[21]
短腹头带冰鱼 <i>Chaenocephalus aceratus</i>	La Mesa et al ^[22]
侧纹南极鱼 <i>Pleuragramma antarcticum</i>	Radtke ^[23] , Hubold and Torno ^[24]
拉式南美南极鱼 <i>Patagonotothen ramsayi</i>	Brickle et al ^[25]
南极电灯鱼 <i>Electrona antarctica</i>	Greely et al ^[11]
伯氏肩孔南极鱼 <i>Trematomus bernacchii</i>	La Mesa et al ^[26]
眼斑雪冰鱼 <i>Chionodraco rastrospinosus</i>	La Mesa et al ^[27]
多鳍南极鱼 <i>Notothenia neglecta</i>	Linkowski and Zukowski ^[28]

背部轮纹较为清晰, 但过于密集, 难以分辨; 腹部区域则沉积不明显, 轮纹只在边缘区域可辨别, 腹部接近核心的区域则无法识别轮纹; 两侧区域分化出较多副轮, 虽较矢平面副轮少, 但仍影响年轮的读取。当以横切面为截面观察轮纹时, 发现其核心清晰, 且两侧区域的副轮也较矢平面和纵切面少, 腹部沉积较纵切面更加清晰, 腹部区域的年轮也更为清晰易读。因此, 横切面较为适合用于次南极电灯鱼年龄的鉴定。在轮纹读取时, 多利用腹部轮纹, 辅以两侧及背部轮纹进行年龄鉴定, 且在直射光下暗带比明带更加容易辨别。因此本研究认为在鉴定次南极电灯鱼的年龄时, 在直射光下利用矢耳石横切面计数其暗带更加适合。

耳石重量也是鉴定年龄的可行方法之一, 耳石重量在鱼体的生长过程中持续增长, 其沉积和生长都与时间相关^[29], 因此, 耳石重量可以作为鱼类年龄的良好指标^[30]。目前已有许多学者利用鱼类耳石重量对其年龄进行鉴定^[30-32], 但仍存在年龄鉴定的精确性不高等问题, 因此目前多将耳石重量作为一种辅助手段, 验证钙化组织所鉴定的年龄。本研究中, 利用耳石重量对已鉴定的年龄进行验证, 两者呈显著的线性关系, 表明次南极电灯鱼耳石重量与年龄显著相关。

3.2 年龄鉴定精确性

本研究中, 两名读者分别对耳石横切面上的年轮读数三次, 每次均在直射光下辅以冷光源显示的暗带作为计数标准。结果显示, 总体样本的 TC 的平均值为 50.23%, CV 的平均值为 3.67%,

APE 的平均值为 8.60%。通常情况下, 硬骨鱼鉴龄结果 CV 与 APE 小于 10%^[33-34], 且南极海域鱼类的年龄鉴定 CV 也通常小于 10%, 如 Brooks 等^[35]对鳞头犬牙南极鱼(*Dissostichus mawsoni*) 鉴龄结果的 CV 为 6.5%, APE 为 4.6%, La Mesa 等^[22]对眼斑雪冰鱼(*Chionodraco rastrospinosus*) 和头带冰鱼(*Chaenocephalus aceratus*) 鉴龄结果的 CV 分别为 13.2% 和 9.6%, APE 分别为 9.3% 和 6.8%。通常情况下, 灯笼鱼科的鱼类鉴龄结果 CV 为 5%^[36], 故而本研究中 CV 及 APE 仍为可接受范围, 因此读取的年龄可用作次南极电灯鱼年龄与生长研究。由表 1 可知三次读数中, 第一次 CV 和 APE 值偏高, 可能是开始读取年龄时, 对轮纹识别不明确以及将副轮误读为年龄所造成(图 7)。图 7 显示了两名读者三次年龄读数的误差分布频率, 由图可知两名读者年龄读数结果之间的误差分布。相比较第一次, 第二、三次年龄读数之间误差为 0 或 1 的频率变大, 而误差为 2 或 3 的频率变小。表明第二、三次读数时两名读者已经逐渐掌握该耳石轮纹的基本结构, 由于轮纹结构而导致的读数误差正在减小。并且之后读数中 CV 值明显下降, TC 值也有所上升, 均表明读者熟悉了耳石轮纹结构以后, 可以减少轮纹读取时的误差。

图 4 中显示了两名读者三次读取年龄的差异, 图中直线表明两名读者读数相同的部分。可知, 低龄鱼容易被高估年龄, 而高龄鱼则容易被低估年龄。造成此现象的原因可能为: 低龄鱼耳石打磨的边缘区域轮纹较为模糊, 读者可能将边缘部分也看

作年轮, 故而高估了低龄鱼年龄; 高龄鱼耳石边缘区域轮纹较为集中, 读者可能将两条或多条密集的年轮看作一条, 从而低估了高龄鱼的年龄。因此, 以后读取轮纹时应剔除不熟悉轮纹结构的读取次数, 从而可以较大地提高轮纹读取的精确性。

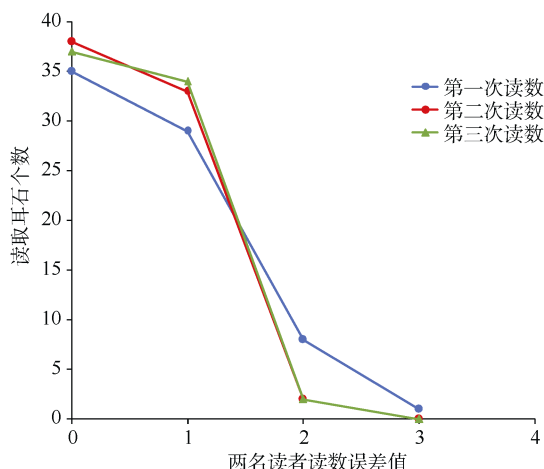


图 7 两名读者读数的误差分布频率

Fig. 7. The error distribution frequency of age determination for *E. carlsbergi* between two readers

本研究对次南极电灯鱼各年龄组也进行了年龄鉴定的精确性校验, 图 5 显示了 TC、CV 及 APE 随年龄的变化趋势。由图可知, CV 与 TC 呈完全相反的变化趋势, APE 总体表现为随年龄的增大而减小。其中 3 龄的 CV 最小, 而 4 龄 CV 较大, 可能是因为 4 龄鱼其耳石轮纹中的 3 龄与 4 龄之间相距较小, 又加之在边缘区域, 使得读者在读取轮纹的时候误将两条年轮看成一条所导致(图 8)。由此可知, 次南极电灯鱼在 3、4 龄时期, 其年龄的鉴定具有一定的难度。6 龄 CV 也较大, 则可能是由于 6 龄鱼数量太少, 仅 4 尾, 读取误差在 6 龄组中所占比例较大。



图 8 次南极电灯鱼矢耳石年轮示意图

Fig. 8. Annual rings of sagittal otolith for *E. carlsbergi*

3.3 生长方程

von Bertalanffy 生长方程是描述鱼类生长最常用的方程^[37], 本研究中体长的生长方程为 $L_t = 7.7154(1 - e^{-0.5373(t+2.7807)})$ 。von Bertalanffy 方程参数的估计与样本年龄有关, 若样本缺少年龄较小或较大的鱼时, von Bertalanffy 参数估算存在很大的不确定性^[38-39]。鱼类生长参数 K 值与温度相关, 会随着温度的上升而上升^[40-41], 因此不同海域的样本也会影响生长参数的确定。受条件限制, 本研究中采集的样本数量较少, 高龄鱼和低龄鱼数量十分有限, 可能导致 L_{∞} 无法确定, t_0 值偏小则可能是因缺少低龄鱼样本所致。

Linkowski^[10]分析了电灯鱼属 4 种电灯鱼的年龄与生长, 得出各自的生长参数, 进行比较, 其中 *E. carlsbergi* 的 K 值为 0.55 ± 0.02 , 与本研究的 K 值 0.5373 ± 0.0266 相近, 本研究的 K 值在其误差范围内, 因此本研究与 Linkowski^[10]针对 *E. carlsbergi* 年龄与生长的研究结果相符。Linkowski^[10]的研究中 *E. carlsbergi* 不同的体长组的样本来自不同的海区, 体长为 5.2—6.7 cm 的样本来自西南太平洋, 体长为 6.7—8.9 cm 的样本来自东南太平洋及西南大西洋, 体长为 8.0—9.8 cm 的样本来自南大西洋, 而本研究为对南设得兰群岛北部水域 *E. carlsbergi* 年龄生长的研究, 与以上采样地点均有所区别, 但其 K 值仍与 Linkowski^[10]相符, 因此可认为 *E. carlsbergi* 生长参数 K 值应为 0.55 ± 0.02 左右。

本研究中次南极电灯鱼体长-体重方程系数为 1.7278, 与通常情况下的鱼类生长方程中的系数 b(范围为 2.5—3.5)差异较大, 导致该结果的原因可能是有以下几个方面。一是该鱼种为异速生长的类型, 次南极电灯鱼由于生长周期各阶段处于不同的生活环境, 因此生长速度并非匀速生长而是呈现逐渐下降的趋势^[10]。二是次南极电灯鱼主要以桡足类为食, 浮游生物则是桡足类的主要食物来源^[11], 而南设得兰群岛北部水域浮游生物分布较少^[42], 导致该区域桡足类食物较少, 难以大量富集, 从而使得次南极电灯鱼的主要摄食对象减少, 最终导致该区域的次南极电灯鱼饵料缺乏, 体长-体重方程系数较通常情况小。三是本研究样本的采样时间为 2010 年 1 月, 而实验的时间为 2010 年 8 月, 样本的冷冻保存时间过长, 这对

样本的体长、体重等均具有一定的影响,因此产生测量误差。四是次南极电灯鱼是一种区域性、季节性以及个体发育变化十分明显的鱼种^[15],对环境变化的反应十分灵敏。南设得兰群岛近百年来气温变化十分显著,特别是80年代后气温整体呈上升的趋势,且后期的气温要比前期明显变暖,可能是气温的上升导致次南极电灯鱼生长的异常,从而反应在体长-体重方程系数上^[43]。

Linkowski^[10]在研究中提出 *E. carlsbergi* 不同地理群体各年龄段其最适宜的水温有所区别, *E. carlsbergi* 出生后第一年生活在温度较高的南极水域外,因此生长速度是其生命周期中最快的时期,而后在达到性成熟之前洄游到较冷的南极水域,受较冷水温抑制,生长速度逐渐减小。在 Linkowski^[10]的研究中,最小的体长组耳石中只含有一个透明带,第二体长组耳石中含有2或3个透明带,但2个透明带的占优势,最大体长组耳石中含有3—5个透明带,但其中4个透明带占优势。本研究中体长集中在第二体长组的范围内,由图可知其优势年龄在3或4龄,与 Linkowski^[10]的研究结果相符。此外,虽然体长较为集中,但

由于其中大部分已经达到成熟期,生长速度较为缓慢,因此虽然3、4龄占优势但还是存在年龄区分的,从另一侧面也表明本研究所鉴定得出的年龄具有一定的可靠性。Linkowski^[10]还指出利用计数耳石打磨切面在光学显微镜下的透明带鉴定年龄,光学显微镜下的透明带即解剖镜直射光下的暗带,因此与本文年龄鉴定的依据一致。

根据图6,判断为4龄的样本年龄有可能被高估,而判断为5龄的样本年龄有可能被低估。本研究中样本的体长较为集中,导致年龄多集中在3、4龄。年龄集中的原因可能是本次样本的采集为一个网次,该网次所捕获的鱼群为3、4龄鱼的集群。

目前,对于南极鱼类年龄鉴定多利用矢耳石年轮判断,但由于南极季节更替不显著,耳石明暗带的沉淀也较为模糊,如次南极电灯鱼耳石腹部沉积模糊,只有背部及两侧沉积较为明显。南极鱼类年龄若不进行年龄鉴定精确性的验证,误读的可能性较大,从而导致年龄鉴定产生误差。因此,鉴定季节更替不显著地区的高龄鱼年龄时,年龄判读精确性的验证十分必要。

参考文献

- 1 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, 1998, 133(1): 145—158.
- 2 Eastman J T. The nature of the diversity of Antarctic fishes[J]. Polar Biology, 2005, 28(2): 93—107.
- 3 Arntz W, Gutt J, Klages M. Antarctic marine biodiversity: an overview[M]//Battaglia B, Valencia J, Walton D. Antarctic Communities: Species, Structure, Survival. Cambridge: Cambridge University Press, 1994: 3—14.
- 4 朱国平. 南大洋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.
- 5 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.
- 6 Andriashev A P. A General review of the Antarctic fish fauna[M]//Van Mieghem J, Van Oye P. Biogeography and Ecology in Antarctica. Netherlands: Springer, 1965: 491—550.
- 7 Hulley P A. Myctophidae[M]// Smith M M, Heemstra P C. Smiths' Sea Fishes. Berlin: Springer-Verlag, 1986: 282—321.
- 8 Riede K. Global register of migratory species-from global to regional scales[R]. Final Report of the R&D Project 808 05 081. Bonn, Germany: Federal Agency for Nature Conservation, 2004: 329.
- 9 Kozlov A N, Shust K V, Zemsky A V. Seasonal and inter-annual variability in the distribution of *Electrona carlsbergi* in southern polar front area (The area to the north of south Georgia is used as an example)[R]. WG-FSA-90/35: 337—367.
- 10 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 Natural History Stockholm, 1985, 435—442.
- 11 Gerasimova O V. Feeding and food intake of *Electrona carlsbergi* (Tåning, 1932) Myctophidae[R]. WG-FSA-90/18: 411—416.
- 12 Zaselsky V S, Kudrin V D, Poletaev V A, et al. Some biological features of *Electrona carlsbergi*(Tåning) (Myctophidae) in the Antarctic Atlantic[J]. Voprosykhitiologii, 1985, 25(2): 352—354.

- 13 Linkowski T B. *Electrona carlsbergi* (Tåning, 1932), the principal component of a deep scattering layer in the Pacific sector of the Antarctic Ocean[J]. Polish Polar Research & Polskie Badania Polarne, 1983, 4(1-4): 71—78.
- 14 Mazhirina G P. On reproduction of *Electrona carlsbergi* (Tåning)[R]. WG-FSA-90/20: 397—409.
- 15 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.
- 16 Campana S E, Thorrold S R. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations?[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2001, 58(58): 30—38.
- 17 Erickson C M. Age determination of Manitoban walleyes using otoliths, dorsal spines, and scales[J]. North American Journal of Fisheries Management, 1983, 3(2): 176—181.
- 18 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(1): 191—203.
- 19 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.
- 20 Horn P L. Age and growth of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) and Antarctic toothfish (*D. mawsoni*) in waters from the New Zealand Sub-Antarctic to the Ross Sea, Antarctica[J]. Fisheries Research, 2002, 56(3): 275—287.
- 21 Brickle P, Arkhipkin A I, Shcherbich Z N. 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.
- 22 La Mesa M, Ashford J R, 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.
- 23 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.
- 24 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.
- 25 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.
- 26 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.
- 27 La Mesa M, Ashford J. Age and growth of ocellated icefish, *Chionodraco rastrospinosus* DeWitt and Hureau, 1979, from the South Shetland Islands[J]. Polar Biology, 2008, 31(11): 1333—1342.
- 28 Linkowski T B, Zukowski C. Observation on the growth of *Notothenia coriiceps neglecta* Nybelin and *Notothenia rossi marmorata* Fischer in Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands)[J]. Polish Polar Research, 1980, 1(2): 155—162.
- 29 Fowler A J, Doherty P J. Validation of annual growth increments in the otoliths of two species of Damselfish from the Southern Great Barrier Reef[J]. Marine and Freshwater Research, 1992, 43(5): 1057—1068.
- 30 沈建忠, 曹文宣, 崔奕波, 等. 鲷耳石重量与年龄的关系及其在年龄鉴定中的作用[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 662—668.
- 31 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.
- 32 颜云榕, 侯刚, 贺雄军, 等. 基于耳石重量与年龄关系对北部湾二长棘犁齿鲷年龄鉴定的研究[J]. 应用海洋学学报, 2011, 30(1): 63—70.
- 33 Campana S E, Annand M C, McMillan J I. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 2011, 124(1): 131—138.
- 34 Francis M P, Maolagáin C Ó. Age and growth of the Antarctic skate (*Amblyraja georgiana*) in the Ross sea[J]. CCAMLR Science, 2005, 12: 183—194.
- 35 Brooks C M, Andrews A H, Ashford J R, et al. Age estimation and lead-radium dating of Antarctic toothfish (*Dissostichus mawsoni*) in the Ross Sea[J]. Polar Biology, 2011, 34(3): 329—338.
- 36 Young J W, Bulman C M, Blaber S J M, et al. Age and growth of the lantern fish *Lampanyctodes hectoris*(Myctophidae) from eastern

- Tasmania, Australia[J]. Marine Biology, 1988, 99: 569—576.
- 37 Chen Y, Jackson D A, Harvey H H. A Comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modelling fish growth data[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1992, 49(6): 1228—1235.
- 38 Chen Y, Mello L G S. Growth and maturation of cod (*Gadus morhua*) of different year classes in the Northwest Atlantic, NAFO sub-dvision 3Ps[J]. Fisheries Research, 1999, 42(1-2): 87—101.
- 39 周成, 朱国平, 陈锦海, 等. 印度洋南部大眼枪鱼年龄鉴定及其与生长的关系[J]. 中国水产科学, 2012, 19(3): 536—544.
- 40 Pauly D. Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy's growth formula[J]. Berichte aus dem Institut für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität Kiel, 1979, 63: 1—156.
- 41 Taylor C C. Cod growth and temperature[J]. ICES Journal of Marine Science, 1958, 23(3): 366—370.
- 42 朱根海, 王春生. 南极南设得兰群岛邻近水域表层微小型浮游藻类的分布特征[J]. 生态学报, 1993, 13(4): 383—386.
- 43 韩建康, 金会军, 许晨海, 等. 南极南设得兰群岛近百年年平均气温变化趋势[J]. 冰川冻土, 1995, 17(3): 268—273.

VALIDATION OF AGEING *ELECTRONA CARLSBERGI* IN THE SOUTH SHETLAND ISLANDS

Liu Zijun¹, Wei Lian¹, Zhu Guoping^{1, 2, 3}, Zhang Haiting¹

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

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

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

Abstract

Electrona carlsbergi is a species of pelagic fish that inhabits the Southern Ocean and has important ecological function. However, to date there have been only a few reports regarding the age of such fish. To determine the age of *E. carlsbergi* and confirm the method of age determination, the diazone numbers obtained under direct light of 73 sagittal otolith samples from 59 fish samples collected from the South Shetland Islands on January, 2010 are used as evidence of age identification. Because of the accessory and false rings of the sagittal plane, a longitudinal section is more suitable than a transverse one for determining the age of *E. carlsbergi*. Of the fish whose ages are identified, 67.80% are three or four years old. The Total Concordance (TC), Coefficient of Variation (CV) and Average Percentage Error (APE) are calculated to quantify the accuracy of the age determination. The average of each index is 50.23%, 3.67% and 8.60%, respectively. These three indexes are also used to test the accuracy of different age groups. The results show a negative relationship between CV and TC, whereas APE increases firstly and then decreases. The von Bertalanffy growth function for *E. carlsbergi* is $L_t = 7.7154(1 - e^{-0.5373(t+2.7807)})$.

Key words *Electrona carlsbergi*, otolith, age determination, age validation, growth