

文章编号: 1000-0615(2019)04-0917-11

DOI: 10.11964/jfc.20171111048

利用鳍条研究北太平洋长鳍金枪鱼的年龄与生长

江建军^{1,2}, 许柳雄^{2,3,4*}, 朱国平^{2,3,4}, 郭志勋¹, 朱伟俊²

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部水产品加工重点实验室, 广东广州 510300;

2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

3. 上海海洋大学, 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;

4. 上海海洋大学, 上海市高校大洋生物资源开发和利用重点实验室, 上海 201306)

摘要: 根据2013—2014年在大连远洋渔业金枪鱼钓有限公司的超低温金枪鱼渔船“天祥”16号船上采集的258个鳍条样品为基础(从845尾长鳍金枪鱼样本中随机选取了258个鳍条样本), 研究了北太平洋长鳍金枪鱼的年龄和生长情况。研究首次采用了3个不同的切割位置(鳍条全长的10%、20%、50%标记段)对鳍条截面进行处理, 利用线性函数、指数函数和幂函数分别拟合长鳍金枪鱼叉长和鳍条截面半径之间的关系, 采用赤池信息准则(AIC)来获得最优化的函数, 并计算其逆算叉长, 最后得到北太平洋长鳍金枪鱼的生长方程、生长拐点以及生长率和生长指标。研究表明, 北太平洋长鳍金枪鱼的主要年龄段集中在4~6龄, 不分雌雄的生长方程为 $L_t=112.231 \times [1 - e^{-0.277 \cdot 132 \times (t+1.435)}]$, 拐点年龄为2.53, 生长率和生长指标随着年龄的增长呈递减的趋势, 且年龄越大变化越小。本研究可为北太平洋长鳍金枪鱼的资源状况评估及渔业可持续发展提供生物学信息。

关键词: 长鳍金枪鱼; 鳍条; 年龄与生长; 北太平洋

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

北太平洋长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)是金枪鱼延绳钓渔业的主要目标物种之一, 该物种的养护和管理越来越受到金枪鱼区域管理组织的关注。鱼类年龄和生长的信息对于该物种资源量的评估是一个十分重要的参数。长鳍金枪鱼是一种高度洄游性的鱼类, 主要分布在大西洋、印度洋和太平洋等海域。在北太平洋地区的长鳍金枪鱼一般于春季和初夏在热带和亚热带海域的太平洋西部和中部产卵^[1]。在幼鱼阶段, 一定数量的长鳍金枪鱼会从北太平洋地区迁移到东太平洋的温带水域, 性成熟的长鳍金枪鱼会迁移到太平洋西部的热带和亚热带地区进行产卵^[2], 研究长鳍金枪鱼的洄游特性, 可以为其可持续性发展和经济管理提供重要的依据^[3]。

关于长鳍金枪鱼年龄与生长的研究已经有很多报道, 目前比较常用的有耳石^[4]、脊椎骨^[5]、

鳍条和鳞片4种方法。本研究主要是利用鳍条对北太平洋长鳍金枪鱼进行年龄鉴定和生长分析, 首次采用3种不同的切割位置来探求最佳的切割方式, 并且与国内外专家和学者的方法进行比较, 以求得出符合长鳍金枪鱼年龄鉴定的最适方法。

本研究通过分析2013—2014年北太平洋长鳍金枪鱼渔场资源的调查数据, 对长鳍金枪鱼进行了年龄与生长的研究。研究结果可为长鳍金枪鱼在北太平洋地区的可持续发展和资源的养护管理提供最前沿的数据^[6-8]。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本次调查船是由大连远洋渔业金枪鱼钓有

收稿日期: 2017-11-13 修回日期: 2018-03-20

资助项目: 国家自然科学基金(U1609202); 农业农村部太平洋长鳍金枪鱼资源探捕专项(D-8006-13-8012)

通信作者: 许柳雄, E-mail: lxxu@shou.edu.cn

限公司所提供的超低温金枪鱼延绳钓渔船“天祥16号”，长47.3 m、宽8.6 m、型深3.7 m，总吨573 t，净吨199 t，总功率882 kW，调查时间为2013年10月19日—2014年4月5日。调查海域：30°~42°N，143°~164°W，调查海域为探捕海域。原则上，在不影响调查船正常作业的情况下，对该海域进行探捕作业。实验数据是观察员记录调查船所捕获的长鳍金枪鱼(主要包括叉长、体质量等)，并取下其第一背鳍，做冷冻(-52 °C)处理后保存，之后由公司运回上海海洋大学实验室，站点如图1所示。

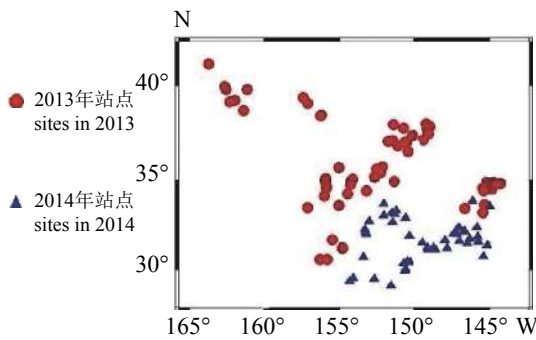


图1 样本站点图
Fig. 1 Sample site map

1.2 样本的研磨

利用鳍条进行年龄鉴定时，许多学者都将鳍条的基座宽度C作为切割位置的一个比较重要的参数^[5]。本次研究放弃了C/2作为切割位置(该方法要求明确基座的宽度，对采样本身增加了一定的难度)，而是首次采用鳍条全长L的10%、20%、50%作为切割的标准，且分别称为L10%法、L20%法、L50%法(图2)。

利用型号为DTQ-5的低速精密切割机对鳍条进行切割，要求将其切成厚度约2 mm的薄片，标号后放入专用样品袋保存。然后利用LABOPOL-25型研磨机对保存的薄片进行研磨处理。研磨过程中需要视情况调整磨砂纸的规格，直到将薄片研磨成可以透光为止。如果鳍条的切割截面过小，研磨处理前需对薄片进行包埋处理，做成切片，然后进行研磨。完成研磨处理的切片，再利用TegraPol-1抛光机进行抛光处理，直到切片在显微镜下可以清楚看见轮纹为止。抛光处理后的切片最后装入指定的样品袋内保存，并进行编号^[9]。

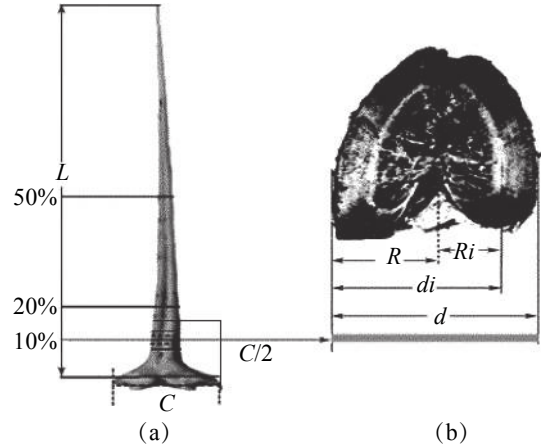


图2 鳍条切割位置(a)和横截面(b)示意图

C. 鳍条基座宽度; L. 鳍条从基座到末端的垂直长度; 10%、20%、50%为不同高度的截面中心线; R. 鳍条截面半径; Ri. 年轮i的半径; d. 鳍条截面直径; di. 年轮i从一侧到年轮标志线的距离

Fig. 2 Diagram of cutting position (a) and its cross section (b) of ray

C. the base width of the fin ray; L. the vertical length of the fin from the base to the end; 10%, 20%, 50%. the cross section of the central line of different heights; R. fin slice surface radius; Ri. radius of ring i; d. fin section diameter; di. the distance of i from one side to the ring line

1.3 样本拍照

对切片的观察是在带有CCD镜头的Olympus-SZX-ZB7光学显微镜下进行的。调节显微镜的物镜与目镜，直到显示屏上可以得到清楚的切片图像。在显微镜下，鳍条切片呈现出一个个明暗相间的条纹，代表着金枪鱼的年轮，鳍条切片的中心会出现一些脉管化现象。对于脉管化区域年轮的判别，一般是通过低龄鱼的轮纹来进行推断。

鳍条切面经过研磨和抛光处理以后，在电子显微镜下进行拍照。如果因物镜倍数原因不能得到完整清晰的截面图像，需要考虑利用Photoshop软件进行合成处理，以便完整地呈现出整个鳍条截面的信息。一张照片往往无法实现这一目标，一般要通过十几张照片合成，才能呈现整个鳍条截面的信息，合成图像如图3所示，图内数字代表年龄。

鳍条轮纹读取由2人完成。A为主要读者，通常需要具有一定轮纹读取经验的研究者担任，B为辅助读者，A读取2次，B读取1次。为了确保轮纹数据的客观性和准确性，读取轮纹前，不能为A、B二人提供被读取长鳍金枪鱼的叉长(fork length, FL)及其他相关信息。同时，为了避

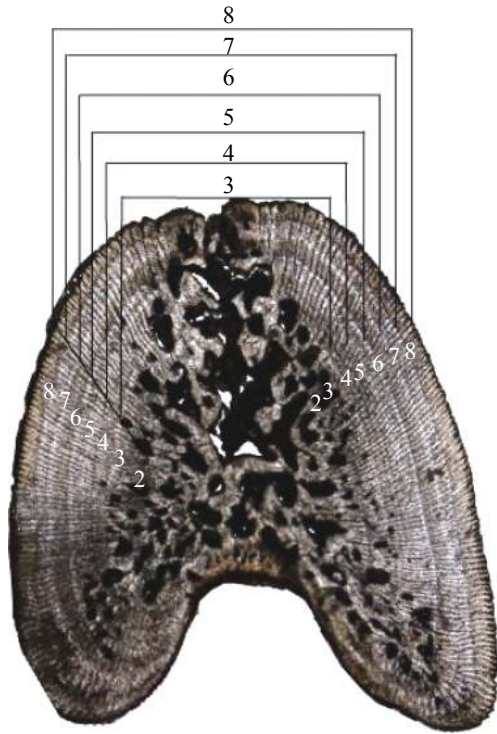


图3 鳍条年龄鉴定示意图

Fig. 3 Schematic diagram of fin ray age identification

免前一次轮纹读取的记忆对本次读取产生影响, 要求A读者在间隔一段时间后第2次重新读取轮纹数据, 第1和第2次读取轮纹的时间间隔至少2周以上。如果某个样本的3次年龄读数都不一样, 或者2次读数相同, 而另一次的读数误差超过1龄, 则舍弃; 如果2次读数相同, 另1次读数的误差在1龄以内, 则样本读数有效, 年龄以2次相同的读数为准^[9]。

1.4 数据分析

叉长频次分析 对于长鳍金枪鱼叉长频次分析, 是以叉长间距为5 cm进行表示, 按照雌性、雄性分别进行分析, 利用柱状图表示最后结果, 并采用*t*检验分析其差异性。应用协方差分析(analysis of covariance, ANCOVA)检验雌、雄长鳍金枪鱼的叉长与鳍条半径(vertebral radius, VR)之间是否呈现显著性差异($P < 0.05$)。

年龄鉴定和每组平均百分比误差指数的差异与对比 在对长鳍金枪鱼鳍条进行年龄鉴定时, 由于研磨和鳍条本身脉管化等原因会导致对鳍条在年龄的鉴定上出现一定的误差。因此在完成年龄鉴定以后, 要对鉴定结果进行平均百分比误差指数分析。平均百分比误差指数^[10]是用来对比不同鉴定者之间年龄鉴定的重复性

指标, 当该指标指数小于10%时, 表明年轮鉴定精确度较高, 也就是说其结果的可信度比较高, 否则就需要对样本进行重新鉴定, 如果再不达到指标就按照作废处理。计算公式:

$$APE_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{|x_{ij} - x_j|}{x_j} \times 100\% \quad (1)$$

式中, N 为第*j*样本重复计算的次数; x_{ij} 为第*j*样本第*i*次计数的轮纹数目; x_j 为第*j*样本重复计数的平均轮纹数。

叉长和鳍条半径之间的关系 在分析长鳍金枪鱼叉长和鳍条半径的关系之前, 首先利用ANCOVA检验叉长和鳍条半径的关系是否和其性别有关。然后根据检验结果, 确定在利用指数方程、线性方程及幂函数方程拟合叉长和鳍条半径之间的关系时是否需要考虑性别的影响^[11], 几种模型的方程:

$$\text{指数方程: } FL = a_1 e^{b_1 R} \quad (2)$$

$$\text{线性方程: } FL = a_2 R + b_2 \quad (3)$$

$$\text{幂函数方程: } FL = a_3 R^{b_3} \quad (4)$$

式中, FL 表示长鳍金枪鱼的叉长(cm), R 表示鳍条半径(cm), a_1 、 a_2 、 a_3 、 b_1 和 b_3 分别表示回归系数, b_2 表示线性函数的截距。

得到上述3种函数模型的参数以后, 通过比较这3种模型的精度, 确定表达长鳍金枪鱼叉长和鳍条半径关系的最优模型。本研究采用赤池信息准则(Akaike information criterion, AIC)^[12]对3种模型结果进行检验, AIC值最小模型即是最优模型, AIC的表达式:

$$AIC = n \times \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2k \quad (5)$$

式中, RSS 为样本的残差平方和^[13], 即规划求解后的最小值, n 代表样本数量, k 表示模型参数个数。

叉长的逆运算 选取3种方法中所得到的AIC值最小的模型进行长鳍金枪鱼逆算叉长计算。如果指数模型最适合, 可以直接通过指数回归关系计算, 而线性模型和幂函数模型则需要运用Fraser-Lee's法和Monastyrsky法计算^[14]:

Fraser-Lee's法:

$$L_n = \left(\frac{R_n}{R} \right) (FL - b) + b_1 \quad (6)$$

Monastyrsky法:

$$L_n = FL \left(\frac{R_n}{R} \right)^{b_2} \quad (7)$$

式中, FL 为长鳍金枪鱼被钓获时测定的叉长(cm), L_n 为第 n 轮年轮形成时的逆算叉长(cm), R 为脊柱骨半径(cm), R_n 为各年龄所对应的半径(cm), b_1 为鳍条半径与叉长线性回归关系式中的截距, b_2 为鳍条半径-叉长的幂函数回归系数。

长鳍金枪鱼生长方程 将以上过程中所得最佳模型的逆算叉长值代入Von Bertalanffy生长方程, 并利用Excel 2016中的规划求解功能来估算生长参数的各个值^[7]。Von Bertalanffy生长方程:

$$L_t = L_\infty \left[1 - e^{-K(t-t_0)} \right] \quad (8)$$

式中, L_t 为 t 龄时的叉长, L_∞ 为极限体长, K 为瞬时相对生长速率, t 为年龄, t_0 为叉长为0时对应的理论年龄。

通过Von Bertalanffy生长方程中的生长参数来计算其拐点年龄(t_{tp}):

$$t_{tp} = \frac{\ln 3}{k} + t_0 \quad (9)$$

生长率和生长指标的估算 长鳍金枪鱼生长率常通过相对生长率^[15]RGR (relative growth rate)和瞬时生长率IGR (instantaneous growth rate)来体现。此外, 还可用生长指标GI (growth index)来分析长鳍金枪鱼的生长。其计算方程:

$$RGR = \frac{L_{i+1} - L_i}{L_i(t_{i+1} - t_i)} \quad (10)$$

$$IGR = \frac{\ln(L_{i+1}) - \ln(L_i)}{t_{i+1} - t_i} \quad (11)$$

$$GI = \frac{\ln(L_{i+1}) - \ln(L_i)}{t_{i+1} - t_i} L_i \quad (12)$$

式中, t 表示年龄(a); L_i 表示 t_i 龄时的叉长(cm), 本研究采用的时间间隔为1年(a)。

2 结果

2.1 叉长频次

实验采集的鳍条有效样本为258个, 样本的叉长范围为57~109 cm, 平均叉长为(88.79±4.87) cm, 优势叉长组为81~100 cm, 占总数的76.74%。其中雌性叉长范围为63~109 cm, 平均叉长为(87.93±4.33) cm, 优势叉长为81~90 cm, 占雌性总数的71.82%; 雄性叉长范围为57~108 cm, 平均叉长为(89.65±5.41) cm, 优势叉长为81~90 cm, 占雄性总数的74.47%(图4)。

2.2 年龄组成和平均百分比误差指数分析

258个鳍条样本, 共计切片个数为774个, 其

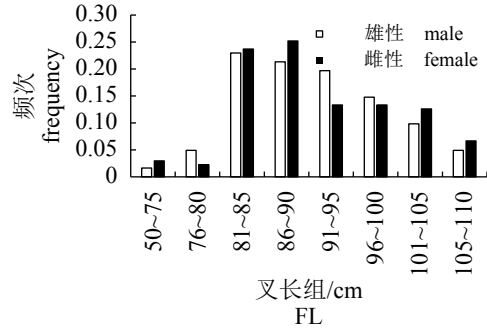


图4 鳍条样本叉长频次分布

Fig. 4 Frequency distribution of fork length of fin ray samples

中达到鉴定要求的717个, 有57个切片未达到鉴定要求。实验中L10%法达标切片246个, L20%法达标切片240个, L50%法达标切片231个。表1为各年龄组成, 3~6龄的切片较多, 共534个, 占总切片74.47%, 充分说明样本的年龄分布(图5)。表2所示是不同切割位置的百分比误差指数: $APE_2 < APE_1 < APE_3$, 通过对比分析, L20%法的鉴定结果要优于其他2组, 即L20%法鉴定的结果明显优于其他2组。

2.3 年龄鉴定

在对长鳍金枪鱼的年龄鉴定时, 由于存在脉管化这一不可避免的问题而导致有的轮纹无法正常读取, 因此在其鉴定的过程中可以根据各年轮的平均值与标准差来预判和确定其年轮丢失的位置。其中低龄鱼的脉管化现象较为严重, 随着年龄的增长, 脉管化面积也会增加。长

表1 各实验组年龄组成

年龄/a age	L10%法 L10% method	L20%法 L20% method	L50%法 L50% method	总计 total
1	6	6	3	15
2	15	21	18	54
3	36	30	24	90
4	54	45	45	144
5	66	60	54	180
6	36	39	45	120
7	21	24	30	75
8	9	9	9	27
9	3	6	3	12
总计 total	246	240	231	717

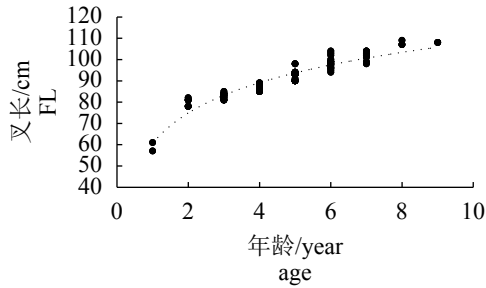


图 5 长鳍金枪鱼叉长与年龄的关系

Fig. 5 Relationship between fork length and age of *T. alalunga*

表 2 各实验组平均百分比误差指数

Tab. 2 The average percentage error index

实验组别 the experimental groups	平均百分比误差指数 the average percentage error index
L10%法 L10% method	$APE_1=2.343\% < 10\%$
L20%法 L20% method	$APE_2=1.631\% < 10\%$
L50%法 L50% method	$APE_3=3.461\% < 10\%$

鳍条金枪鱼年龄样本组成以及各年龄的平均半径之间的关系如图6所示。

2.4 叉长和鳍条半径之间的关系

经过 ANCOVA 分析表明, 雌雄长鳍金枪鱼叉长与鳍条半径的关系不存在显著性差异 ($P > 0.05$), 因此在拟合二者关系时可进行合并处理。表3为3个组别的有效样本数和鳍条半径值, 运用3种函数所得的关系如表4所示, 长鳍金枪鱼鳍条半径与叉长以及逆算叉长的关系如图7所示。

表 3 三个组别的有效样本数和鳍条半径

Tab. 3 Effective number of samples and fin ray radius for three groups

组别 group	L10%法 L10% method	L20%法 L20% method	L50%法 L50% method	总计 total
有效样本数/尾 the effective sample	246	240	231	717
叉长范围/cm fork length range	57~108	61~109	61~107	57~109
鳍条半径范围/cm ray radius range	0.161 1~0.294 6	0.211 1~0.351 2	0.231 1~0.388 2	0.161 1~0.388 2

表 4 三种函数模型关系结果

Tab. 4 Three kinds of function model results

组别 group	L10%法 L10% method	L20%法 L20% method	L50%法 L50% method	总计 total
叉长和鳍条半径之间的关系 the relationship between fork length and radius of fin ray	指数模型 Index model $FL=45.402e^{0.29769R}$ (AIC=298)	指数模型 Index model $FL=48.578e^{0.23970R}$ (AIC=271)	指数模型 Index model $FL=54.072e^{0.18539R}$ (AIC=313)	指数模型 Index model $FL=56.933e^{0.18083R}$ (AIC=986)
	线性模型 Linear model $FL=259.00R+31.01$ (AIC=301)	线性模型 Linear model $FL=215.45R+35.10$ (AIC=272)	线性模型 Linear model $FL=167.97R+44.36$ (AIC=315)	线性模型 Linear model $FL=161.45R+49.64$ (AIC=983)
	幂函数模型 Power function model $FL=232.19R^{0.6401}$ (AIC=270)	幂函数模型 Power function model $FL=221.76R^{0.6601}$ (AIC=262)	幂函数模型 Power function model $FL=186.56R^{0.5599}$ (AIC=308)	幂函数模型 Power function model $FL=175.7R^{0.4828}$ (AIC=973)

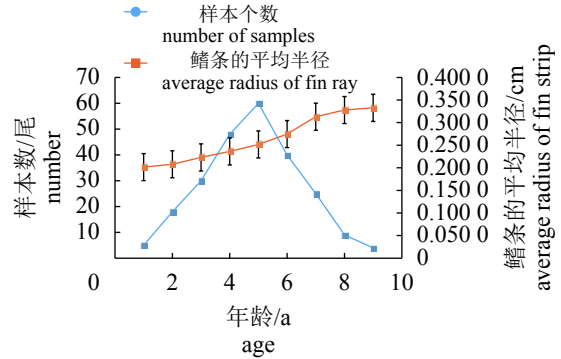


图 6 长鳍金枪鱼年龄样本组成以及各年龄的平均半径之间的关系

Fig. 6 The age composition of *T. alalunga* samples and the relationship with the average radius of all ages

2.5 叉长的逆运算

利用3种函数对长鳍金枪鱼年龄与鳍条半径的关系进行拟合, 幂函数AIC值最小, 即幂函数是最优模型。逆运算叉长分析时, 选用Monastyrsky法来进行逆运算叉长推算。L20%法的AIC值最小, 最终采用L20%法所得的数据来进行叉长的逆运算。具体数据如表5所示(罗马数字表示年轮数)。

2.6 生长方程

根据长鳍金枪鱼的逆运算叉长数据, 进行生长方程拟合。根据L20%法所得长鳍金枪鱼的1~9龄的逆运算叉长, 结合Von Bertalanffy生长模型, 利用规划求解功能最终得出生长方程:

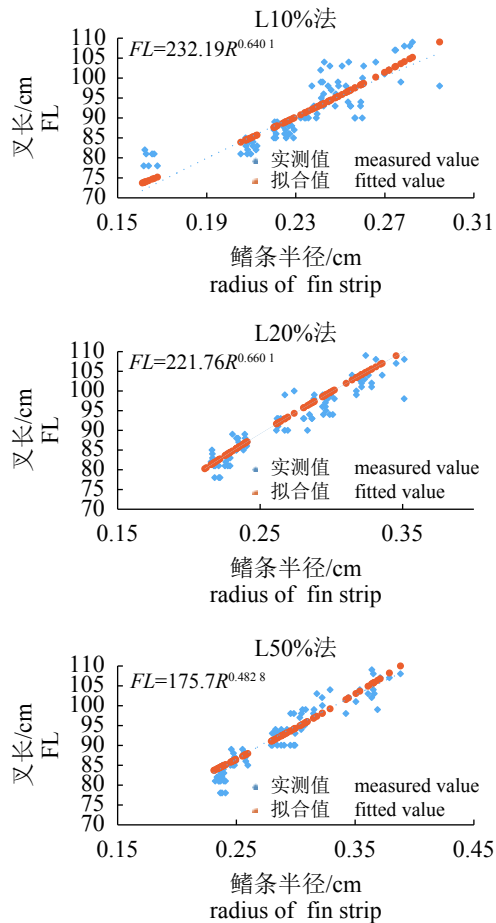


图 7 长鳍金枪鱼叉长和鳍条半径之间的关系
Fig. 7 Relationship between the fork length and fin ray radius of *T. alalunga*

$$\text{雌性 + 雄性: } L_t = 112.231 \times \left[1 - e^{-0.277132 \times (t+1.435)} \right] \quad (13)$$

$$\text{雌性: } L_t = 113.156 \times \left[1 - e^{-0.286375 \times (t+1.458)} \right] \quad (14)$$

$$\text{雄性: } L_t = 111.332 \times \left[1 - e^{-0.276842 \times (t+1.423)} \right] \quad (15)$$

ARSS检验结果表明，雌性和雄性个体生长差异不显著($P>0.05$)，其Von Bertalanffy生长方程的拐点年龄 t_{tp} 为2.53。

2.7 生长率和生长指标

北太平洋长鳍金枪鱼生长率的研究，主要是相对生长率和瞬时生长率的研究。首先根据3种模型得到每个年龄段最适的平均逆算叉长，然后通过公式10、11、12计算得到长鳍金枪鱼的相对生长率和瞬时生长率，以及生长指标(表6)。长鳍金枪鱼相对生长率和瞬时生长率分别为0.043、0.044，差距不大。生长指标为3.639，由图8可知，

不论是生长率还是生长指标都是随着年龄的增大而减小，且减小的频率变缓，在3龄和6龄时，出现了生长拐点。经过 t 检验2~3龄和5~6龄的生长指标存在显著性的差异($P<0.05$)。因此，在利用鳍条逆推出生长指标时，可以将北太平洋长鳍金枪鱼的生长分为3个阶段：1~2龄、3~5龄、6~9龄，第1阶段的平均生长指标为 6.689 ± 1.275 ，第2阶段的平均生长指标为 3.593 ± 0.554 ，第3阶段的平均生长指标为 1.652 ± 0.569 。

3 讨论

3.1 鳍条与其他鉴定材料的优缺点

长鳍金枪鱼的年龄鉴定一般都是利用其生长轮纹的组织钙化来进行的，通常鉴定年龄的方法有脊椎骨、鳍条和耳石，但各自都有优缺点(表7)。

3.2 鳍条切割位置的合理性

鳍条是由基座和鳍棘两部分组成，在对鳍条进行切割的时候，由于切割位置的不同，所形成的截面不同，导致不同切割位置百分比误差指数也会不同。有些学者以基座宽度C的一半，即以C/2作为切割的位置(表8)，但按此方法切割缺陷较大。测量发现，很多叉长不同的长鳍金枪鱼的基座宽度C的尺寸差距较小，而叉长相同的长鳍金枪鱼C值有时却相差较大。因此，以C/2作为切割位置不稳定。其次，鳍条样本一般是在海上采集的，由于船上工作环境比较差，采集的鳍条样本往往出现基座断裂的现象，以致没有办法来确定其基座宽度C值。由于上述原因，该研究没有采用C/2作为鳍条切割位置。此外，当切割位置超过鳍条长度20%的时候，鳍条半径就过于偏小，也不利于年龄的鉴定。因此，本研究通过比较不同切割位置平均百分比误差指数[L20%法(1.631%)<L10%法(2.343%)<L30%法(3.461%)]，不同切割位置指数模型AIC值[L20%法(271)<L10%法(298)<L30%法(313)]，不同切割位置线性模型AIC值[L20%法(272)<L10%法(301)<L30%法(315)]，不同切割位置幂函数模型AIC值[L20%法(262)<L10%法(270)<L30%法(308)]，得出在20%的位置进行切割，AIC值明显小，年龄鉴别的成功率最高，表明在该位置进行切割的结果最理想，据此鉴定的年龄更加准确。因此建议今后利用鳍条鉴定北太平洋长鳍金枪鱼年

表 5 各轮纹所对应的逆运算叉长

Tab. 5 The corresponding inverse fork length of annulus

方法 methods	年龄/a age	样本数/尾 number	各轮纹所对应的半径逆运算叉长/cm the corresponding inverse fork length of annulus									
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Monastyrsky法 Monastyrsky method	1	15	77.25									
	2	54	79.48	77.50								
	3	90	76.95	83.47	82.82							
	4	144	74.38	74.63	76.09	84.58						
	5	180	-	77.28	80.00	87.78	87.80					
	6	120	-	80.00	82.14	84.32	90.33	94.67				
	7	75	-	-	90.28	84.85	90.63	92.94	104.74			
	8	27	-	-	-	86.16	86.12	95.32	105.50	102.97		
	9	12	-	-	-	-	91.12	95.10	98.73	109.39	107.25	
平均值/cm average value			77.03	78.61	82.33	85.54	89.21	94.51	103.01	106.20	107.25	

注: 表格中“-”表示由于鳍条脉管化而未取得数据

Notes: “-” indicates the data that is not obtained due to the vasodetion of fin rays

表 6 生长率和生长指标

Tab. 6 Growth rate and indicators

年龄/a age	平均逆运算叉长/cm the average inverse calculated fork length	相对生长率 RGR	瞬时生长率 IGR	生长指标 GI
1	73	0.104	0.110	7.591
2	81	0.071	0.074	5.788
3	87	0.045	0.046	3.911
4	91	0.043	0.044	3.915
5	95	0.031	0.032	2.954
6	98	0.020	0.020	1.980
7	100	0.020	0.020	1.980
8	102	0.010	0.010	0.995
9	103	-	-	-
平均值 average value		0.043	0.044	3.639

注: 表格中“-”表示由于没有后续的数据无法得到该阶段的生长参数

Notes: “-” indicates that the growth parameters of this stage can not be obtained because there is no subsequent data

龄时, 采取从骨突处开始测量占全长20%标记段为切割位置。

3.3 鳍条鉴定的年龄范围

用3种切割方法鉴定了258个鳍条样本, 共计774个切片, 能够准确鉴定的有717个, 鉴定的成功率达到92.63%。3种方法样本的平均百分比误差指数为 $APE_2 < APE_1 < APE_3$, 即第2实验组是最

准确的。样本总体年龄范围为1~9龄, 其中1、2龄的低龄鱼和7~9龄的高龄鱼只占样本总数的25.52%, 低龄鱼和高龄鱼的样本较少, 也可能对最后的生长方程造成一定程度的影响。金枪鱼延绳钓的选择性和局限性, 导致样本会有年龄分布不均的问题, 从样本的叉长组成和体质量组成也能反映出这方面的特征。Otsu^[20]、Clemens^[21]和Bell^[22]对北太平洋金枪鱼进行研究时也遇到了

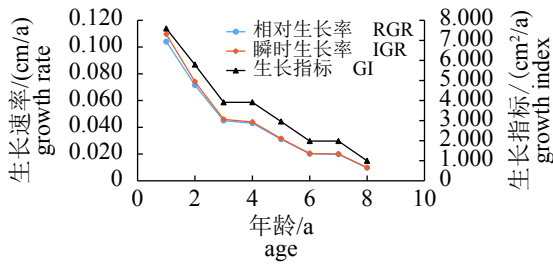


图8 生长速率和生长指标

Fig. 8 Growth rate and growth indicators

同样的问题。为了更好地解决这方面的问题，可以通过专业的科考船取得该海域的各年龄段样本进行研究，尤其是针对低龄鱼和高龄鱼的研究。

3.4 生长方程的对比

生长模型作为判别鱼类生长的方法，生长拐点的判别，以及生长率和生长指标都十分重要。国内外有许多学者利用Von Bertalanffy模型、Logistic模型、Gompertz模型来拟合长鳍金枪鱼的生长。通过3种模型的对比，Von Bertalanffy生长方程在以往对于渔业年龄生长研究中比较常见，因此该方程得到了业内高度重视和广泛应用，

本研究最终采用Von Bertalanffy生长方程进行年龄与生长研究，国内外很多专家对长鳍金枪鱼的生长进行过研究(图9)。由图可知本研究的结果比较符合大部分学者的研究结果，其结果的可靠性和参考性较高。

3.5 生长率和生长指标

生长率和生长指标作为长鳍金枪鱼生长比较重要的两个参数，对于拟合长鳍金枪鱼的生长具有十分重要的作用。无论是基于脊椎骨或鳍条，生长率和生长指标都是随着年龄的增大而减小，减小的频率变缓，且在3龄和6龄的时候出现了生长拐点。通过F检验，两种方法对应的生长率和生长指标不存在显著性差异($P>0.05$)。因此在利用鳍条逆推出生长指标的时候，可以将北太平洋长鳍金枪鱼的生长分为3个阶段：1~2龄、3~5龄、6~9龄，第1阶段的平均生长指标为 6.689 ± 1.275 ，第2阶段的平均生长指标为 3.593 ± 0.554 ，第3阶段的平均生长指标为 1.652 ± 0.569 。在3龄的时候出现生长拐点，可能是长鳍金枪鱼趋于性成熟，导致生长逐渐变缓；在6龄的时候生长变缓，可能是长鳍金枪鱼已经接近极限体

表7 不同材料在年龄鉴定方面的优缺点

Tab. 7 The advantages and disadvantages of age determination based on different materials

材料 material	不同角度 different point of view	优点 advantages	缺点 disadvantages
脊椎骨 vertebra	取材方面	取材方便，由于是采用的第35节脊椎骨作为鉴别年龄的材料，将不会破坏金枪鱼本身的经济价值	脊椎骨的染色方法很多，但每种方法都需要耗费大量的时间，且在预处理过程中样本容易混淆
	鉴龄方面	经过染色以后可以得到清晰明显的轮纹，且轮纹十分完整	高龄鱼容易出现副轮，影响鉴定
鳍条 fin	取材方面	样本的经济价值和采样时对鱼体不会产生很大影响	在显微镜下不能显示鳍条的完整图像，需要多张图片进行合成
	鉴龄方面	经过研磨后可在显微镜下呈现出清楚轮纹	对于鳍条来说，脉管化现象是一个不容忽视的因素，且在极大的程度上影响着年龄的鉴定
耳石 otoliths	取材方面	耳石相对于其他两种材料来说结构是最稳定的，受到外界的影响最少	长鳍金枪鱼的耳石生长在鱼体的头部，提取十分困难，且容易破坏金枪鱼本身的经济价值
	鉴龄方面	通过前期处理后可以得到清晰完整的轮纹	如果不对耳石进行打点处理，很难完成鉴龄工作

表8 年龄鉴定的切割位置对比

Tab. 8 Age identification of cutting position

海域 seas	种类 species	切割位置 the cutting position	文献 reference
印度洋 Indian Ocean	大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	10%	[16]
印度洋南部 Southern Indian Ocean	大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	10%	[17]
印度洋中南部 Central and Southern Indian Ocean	大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	C/2	[5]
中西太平洋 Central and Western Pacific	鲣 <i>Katsuwonus pelamis</i>	C/2	[18]
印度洋中西部 Mid-western Indian Ocean	大眼金枪鱼 <i>Thunnus obesus</i>	C/2	[19]

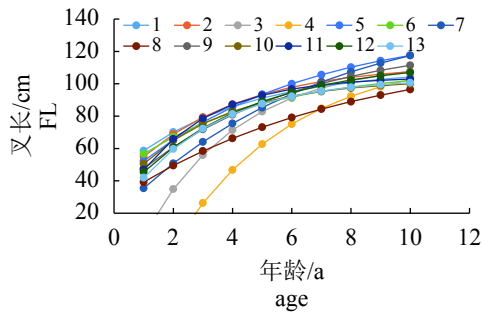


图9 不同学者所研究的长鳍金枪鱼叉长与年龄的关系

1.本研究-鳍条; 2.[23]-脊椎骨; 3.[24]-鳞片; 4.[20]-标记; 5.[21]-标记; 6.[22]-鳞片; 7.[25]-鳞片; 8.[26]-脊椎骨; 9.[27]-鳍条; 10.[28]-耳石; 11.[29]-耳石; 12.[30]-耳石(雄性); 13.[30]-耳石(雌性)

Fig. 9 Different authors of *T. alalunga* fork length relationship with age

1. this study-fin strip; 2. [23]-vertebrae; 3. [24]-scales; 4. [20]-tagging; 5. [21]-tagging; 6. [22]-scales; 7. [25]-scales; 8. [26]-vertebrae; 9. [27]-fin strip; 10. [28]-otoliths; 11. [29]-otoliths; 12. [30]-otoliths(males); 13. [30]-otoliths(females)

长, 因此生长速率变缓, 说明北太平洋长鳍金枪鱼的生长规律符合一般鱼类的生长规律。

4 结论

本研究是根据2013—2014年北太平洋长鳍金枪鱼的渔场资源调查所得脊椎骨和鳍条数据进行年龄与生长研究。由于样本的原因, 数据缺乏, 且样本的跨度时间较短, 可能会对最终的生长参数产生一定的影响。金枪鱼延绳钓这种生产模式本身就存在高度选择性, 用其渔获物作为年龄生长分析会存在一定的局限性^[18], 本身就有一定的误差, 将来可以利用科考船或者标记放流的方法进行研究, 可以获得大量的低龄鱼和高龄鱼样本, 最终更好地确认北太平洋长鳍金枪鱼的年龄规律。

总之, 北太平洋长鳍金枪鱼作为中国远洋渔业资源的重要组成部分, 对其资源的养护和开发, 都需要建立在对其生物学基础和资源量的准确评估之上, 本研究结果可为北太平洋长鳍金枪鱼资源评估提供基础生物学数据, 对于其资源的管理和可持续利用具有现实意义。

参考文献:

[1] Landa J, Rodriguez-Marin E, Luque P L, et al. Growth

of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the North-eastern Atlantic and Mediterranean based on back-calculation of dorsal fin spine annuli[J]. Fisheries Research, 2015, 170: 190-198.

[2] Sigeyuki K. On the stomach contents of tuna in the west Indian Ocean[R]. Nagasaki: Nagasaki University's Academic Output SITE, 1958, 6: 85-91.

[3] Yeh Y M, Wang C H. Stock assessment of the South Pacific albacore by using the generalized production model, 1967-1991[J]. Acta Oceanographica Taiwanica, 1996, 35(2): 125-139.

[4] Wells R J D, Kohin S, Teo S L H, et al. Age and growth of North Pacific albacore (*Thunnus alalunga*): implications for stock assessment[J]. Fisheries Research, 2013, 147: 55-62.

[5] 李凤莹. 印度洋中南部大眼金枪鱼年龄与生长研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.

Li F Y. The age and growth of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the South-central Indian Ocean[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014(in Chinese).

[6] 张鹏, 陈森, 李杰, 等. 灯光罩网渔船兼作金枪鱼延绳钓捕捞试验[J]. 南方水产科学, 2016, 12(4): 110-116.

Zhang P, Chen S, Li J, et al. An experiment of tuna longline conducted by light falling-net fishing vessel[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(4): 110-116(in Chinese).

[7] 翟天晨, 戴小杰, 朱江峰, 等. 南太平洋雌性大眼金枪鱼性腺成熟等级研究[J]. 南方水产科学, 2016, 12(1): 102-110.

Zhai T C, Dai X J, Zhu J F, et al. Gonad maturity stage of female bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the southern Pacific Ocean[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(1): 102-110(in Chinese).

[8] 郭刚刚, 张胜茂, 樊伟, 等. 南太平洋长鳍金枪鱼垂直活动水层空间分析[J]. 南方水产科学, 2016, 12(5): 123-130.

Guo G G, Zhang S M, Fan W, et al. Spatial analysis of vertical active layer of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) in the South Pacific Ocean[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(5): 123-130(in Chinese).

[9] Ueyanagi S. Observation on the distribution of tuna larvae in Indo-Pacific Ocean with emphasis of the delineation of the spawning areas of albacore, *Thunnus alalunga*[J]. Bulletin of the Far Seas Fisheries Research Labo-

- ratory, 1969, 2: 177-256.
- [10] Beamish R J, Fournier D A. A method for comparing the precision of a set of age determinations[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1981, 38(8): 982-983.
- [11] Sund P N, Blackburn M, Williams F. Tunas and their environment in the Pacific Ocean: a review[J]. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 1981, 19: 443-512.
- [12] Akaike H. Information measures and model selection[J]. Bulletin of the International Statistical Institute, 1983, 50(1): 277-290.
- [13] 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.
- [14] Sun C L. Age and growth of the swordfish (*Xiphias gladius* L.) in the waters around Taiwan determined from anal-fin Rays[J]. Fishery Bulletin, 2002, 100(4): 822-835.
- [15] Rybczynski S M, Walters D M, Fritz K M, *et al.* Comparing trophic Position of stream fishes using stable isotope and gut contents analyses[J]. Ecology of Freshwater Fish, 2008, 17(2): 199-206.
- [16] 李攀. 印度洋大眼金枪鱼年龄与生长的研究[D]. 上海海洋大学, 2010.
- Li P. Study on age and growth of bigeye tuna in the Indian Ocean[D]. Shanghai Ocean University, 2010 (in Chinese).
- [17] 周成, 朱国平, 陈锦淘, 等. 印度洋南部大眼金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.
- Zhou C, Zhu G P, *et al.* Age identification of bigeye tuna in the southern Indian Ocean and its relationship with growth[J]. Chinese Fisheries Science, 2012, 19(3): 536-544(in Chinese).
- [18] 王学昉, 许柳雄, 朱国平, 等. 中西太平洋鳀鱼的年龄鉴定和生长特性[J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 756-762.
- Wang X F, Xu L X, Zhu G P, *et al.* Age identification and growth characteristics of the squid in the Western and Central Pacific Ocean[J]. Journal of Applied Ecology, 2010, 21(3): 756-762(in Chinese).
- [19] 李冬静. 利用鳍棘和脊椎骨研究印度洋中西部大眼金枪鱼的年龄与生长[D]. 上海海洋大学, 2014.
- Li D J, Study on the age and growth of bigeye tuna in the Mid-western Indian Ocean using fin spines and vertebrae[D]. Shanghai Ocean University, 2014.(in Chinese).
- [20] Otsu T. Albacore migration and growth in the North Pacific Ocean as estimated from tag recoveries[J]. Pacific Science, 1960, 14(3): 257-266(in Chinese).
- [21] Clemens H B. The migration, age, and growth of Pacific albacore (*Thunnus germon*), 1951-1958[R]. Fish Bulletin No. 115, State of California Department of Fish and Game, 1961: 115-128.
- [22] Bell R R. Age determination of the Pacific albacore of the California coast[J]. California Fish and Game, 1962, 48(1): 39-48.
- [23] 江建军, 许柳雄, 朱国平, 等. 北太平洋长鳍金枪鱼年龄与生长初步研究[J]. 海洋渔业, 2016, 38(1): 1-8.
- Jiang J J, Xu L X, Zhu G P, *et al.* Preliminary study on age and growth of north Pacific albacore *Thunnus alalunga*[J]. Marine Fisheries, 2016, 38(1): 1-8(in Chinese).
- [24] NOSE Y *et al.* Age and growth of Pacific tunas by scale reading[J]. Tokyo University Press, Japan, 701-716.
- [25] Yabuta Y, Yukinawa M. Growth and age of albacore[M]. Rep. Nankai Reg. Fish. Res. Lab, 1963(17): 111-120.
- [26] Labelle M J, Hampton J, Bailey K, *et al.* Determination of age and growth of South Pacific albacore (*Thunnus alalunga*) using three methodologies[J]. Fishery Bulletin, 1993, 91(4): 649-663.
- [27] Santiago J, Arrizabalaga H. An integrated growth study for North Atlantic albacore (*Thunnus alalunga* Bonn.1788)[J]. ICES Journal of Marine Science, 2005, 62(4): 740-749.
- [28] Farley J, Clear N. Preliminary study of age, growth, and spawning activity of albacore in Australia's Eastern Tuna & Billfish Fishery[R]. WCPFC-SC4-2008/BI-IP-1, Western and Central Pacific Fisheries Commission, 2008.
- [29] Williams A J, Farley J H, Hoyle S D, *et al.* Spatial and sex-specific variation in growth of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) across the South Pacific Ocean[J]. PLoS One, 2012, 7(6): e39318.
- [30] Chen K S, Shimose T, Tanabe T, *et al.* Age and growth of albacore *Thunnus alalunga* in the North Pacific Ocean[J]. Journal of Fish Biology, 2012, 80(6): 2328-2344.

Age and growth of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) in the North Pacific Ocean based on sectioned fin ray

JIANG Jianjun^{1,2}, XU Liuxiong^{2,3,4*}, ZHU Guoping^{2,3,4}, GUO Zhixun¹, ZHU Weijun²

(1. Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

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

3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Key Laboratory of Shanghai Education Commission for Oceanic Fisheries Resources Exploitation, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The North Pacific albacore tuna (*Thunnus alalunga*) is one of the main target species of tuna longline fisheries, and the conservation and management of this species have been increasingly concerned by tuna regional management organizations, such as WCPFC. *T. alalunga* is a kind of highly migratory species mainly living in the tropical and subtropical waters. This species which lives in the North Pacific Ocean generally spawns at the western and central part of the tropics and subtropics in spring and early summer. In the juvenile period of *T. alalunga*, a number of albacores migrate from the North Pacific to the temperate waters of the eastern Pacific. The spawns will migrate to the western tropical and subtropical regions of the Pacific to spawn. This set of patterns of movement will be juvenile fish recorded. The migratory characteristics of this species can provide an important basis for its sustainable utilization and management. Since the difficulty of sample collection, studies for the age identification of the North Pacific *T. alalunga* were few. Therefore, we studied the age and growth of *T. alalunga* in the North Pacific by the species' spines data from the survey of the long-spines tuna fishery in the North Pacific during the years of 2013 and 2014. The fin rays are the newest manifestation of the biological information of *T. alalunga* in the North Pacific, providing useful information for the sustainable utilization and management of *T. alalunga* in the North Pacific. Information on the age and growth is very important for conducting stock assessment of this species. Based on 258 fin ray samples collected on the Chinese tuna longliner "Tianxiang 16" operated in the North Pacific between October 19, 2013 and April 5, 2014, the age and growth of the North Pacific *T. alalunga* were studied. Three different cutting positions were involved in the processing of section selection, and three functions, the linear function, exponential function and exponential function respectively, were also used to fit the relationships between the fork length and fin ray radius. The Von Bertalanffy growth function of the North Pacific albacore was $L_t = 112.231 \times [1 - e^{-0.277(t+1.435)}]$.

Key words: *Thunnus alalunga*; fin ray; age and growth; North Pacific Ocean

Corresponding author: XU Liuxiong. E-mail: lxxu@shou.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (U1609202); Pacific Albacore Resource Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China(D-8006-13-8012)