

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2012.00536

印度洋南部大眼金枪鱼年龄鉴定及其与生长的关系

周成¹, 朱国平^{1,2,3}, 陈锦淘^{1,2,3}, 许柳雄^{1,2,3}

1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306;

2. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海海洋大学, 上海 201306;

3. 上海市高校大洋生物资源开发和利用重点实验室, 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306

摘要: 为了对大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)种群结构和年龄生长做出判断, 从而进行有效的资源评估和管理, 需要一种简便、可行、精确的年龄鉴定方法。根据 2008 年 9 月至 2009 年 5 月在印度洋中南部执行专项调查时采集的 275 枚第一背鳍鳍条样本, 确立了最适的切割位置和年龄鉴定方法, 并通过年龄鉴定估算大眼金枪鱼的 von Bertalanffy 生长方程。研究结果表明, 大眼金枪鱼的叉长范围为 570~1 820 mm, 优势叉长组为 910~1 500 mm, 占总体的 83.9%; 年龄组成以 3、4 和 5 龄居多; 第 1、2 条年轮轮径的平均值分别为(4.23±0.71) mm 和(5.72±0.48) mm。根据鳍条的切割位置分为 3 个组别, 线性回归关系为拟合大眼金枪鱼鳍条半径与叉长关系的最佳回归方程, 3 个组别在鉴定大眼金枪鱼年龄时不存在显著差异($P>0.05$), 但赤井信息量标准(AIC)分析结果表明, 自骨突处起, 全长(L)的 10%处为最佳切割位置。大眼金枪鱼 von Bertalanffy 生长方程为 $L_t=250.5 \times [1-e^{-1.05(t+1.85)}]$ 。

关键词: 大眼金枪鱼; 印度洋南部; 鳍条; 年龄鉴定; 生长

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2012)03-0536-09

大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)是一种栖息在热带和亚热带海域的高度洄游性中上层鱼类, 主要由延绳钓捕获^[1], 是中国远洋金枪鱼船队的主要捕捞对象。随着 20 世纪 90 年代人工集鱼装置(FAD)的发展, 大眼金枪鱼的捕捞量逐步增加^[2], 1999 年印度洋区域大眼金枪鱼捕捞量达到顶峰(15.7 万 t), 2000–2008 年捕捞量均超过 10 万 t, 1950–2008 年总捕捞量为 350 万 t, 仅次于鲣(976 万 t)和黄鳍金枪鱼(923 万 t)。

鱼类年龄信息是进行渔业资源评估的基础资料, 利用鱼体硬组织上的轮纹鉴定鱼类年龄是最常用的传统方法^[3]。国内外学者曾尝试利用耳石^[4–5]、鳍条^[6–9]和脊椎骨^[10]等对大眼金枪鱼的年龄和生长进行研究, 包括通过耳石^[4]和鳍条^[11]对印度洋西部水域大眼金枪鱼年龄与生长进行的研究, 但

有关印度洋南部大眼金枪鱼的年龄鉴定研究至今未见报道^[12]。就鳍条而言, 到目前为止, 对于鳍条的切割位置至今尚无定论, 大多数学者在样品处理过程中对鳍条切割标准线位置存在较大的分歧^[13]。

本研究根据 2008 年 9 月至 2009 年 5 月在印度洋南部执行农业部“远洋渔业专项调查”期间采集的大眼金枪鱼第一背鳍样本作为材料, 比较分析鳍条各位置截面做出年龄鉴定, 建立合适的位置标准和年龄鉴定方法, 从而为评估印度洋大眼金枪鱼的资源状况提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 调查船、调查海域及调查时间

调查船为大连远洋金枪鱼钓有限公司所属的“隆兴 602 号”超低温金枪鱼延绳钓渔船, 国际

收稿日期: 2011–08–11; 修订日期: 2011–12–03.

基金项目: 国家 863 计划项目(2012AA092302); 国家自然科学基金项目(41006016); 上海市青年科技启明星计划项目(11QA1403000); 上海市重点学科建设项目(S30702); 海洋渔业科学与技术浙江省重中之重学科开放课题(20100124).

作者简介: 周成(1987–), 男, 硕士研究生, 主要从事于远洋渔业资源开发. E-mail: zhoucheng286@126.com

通信作者: 许柳雄, 教授. E-mail: lxxu@shou.edu.cn

总吨位 400 t, 总长 50 m, 主机功率为 735 kW。样本采集海域为印度洋中南部公海, 海域范围为 $4^{\circ}57'S-32^{\circ}15'S$ 、 $59^{\circ}10'E-84^{\circ}10'E$ (图 1)。调查时间为 2008 年 9 月 15 日至 2009 年 4 月 12 日。

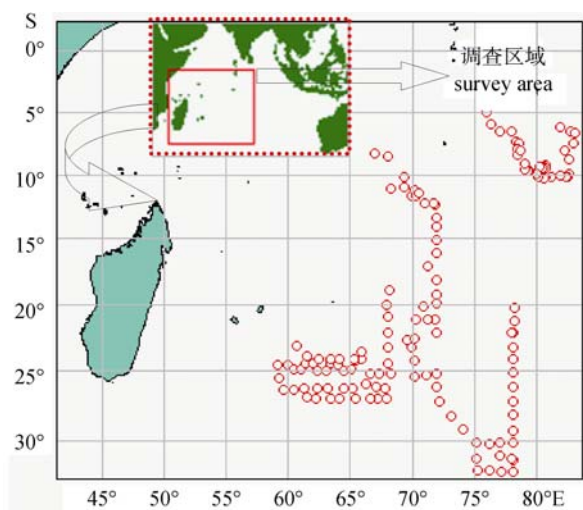


图 1 样本采集站点图

Fig. 1 Map of ampling stations

1.2 调查方法

1.2.1 样本的采集 采样人员随船对各调查站点的渔获物进行随机抽样, 共采集样本 461 尾, 其中雌性 204 尾、雄性 257 尾。采集其中 275 尾大眼金枪鱼第一背鳍鳍条, 清理鳍条的表皮和肌肉, 晾晒至脱干水分后装入采样袋保存并做标记。

1.2.2 鳍条的切割和研磨 鳍条支鳍骨骨突处到末端为鳍条的全长(L), 支鳍骨的宽度称为基座宽(C), 每根鳍条分别在 3 个位置“双”切割成 3 段, 分为 3 组位置截面: I 组为自骨突处测量全长(L)的 10%标记段; II 组为自骨突处测量全长(L)的 12%标记段; III 组为自鳍条支鳍骨起测量支鳍骨宽度的 50%标记段(图 2A)。利用金刚石切割刀片在标记处将鳍条切割成若干段厚度约 2 mm 的截面薄片, 分别装入纸质样品袋保存并标记。在金相研磨机 TegraPol-11 上安装 600 grits 防水耐磨砂纸, 将薄片两面分别打磨至切割线附近, 厚度约为 1 mm, 然后再先后以 1 200 grits 和 2 000 grits 防水耐磨砂纸进行细磨, 边研磨边在显微镜下检查, 直至轮纹较清晰, 将鳍条薄片装入纸质样品

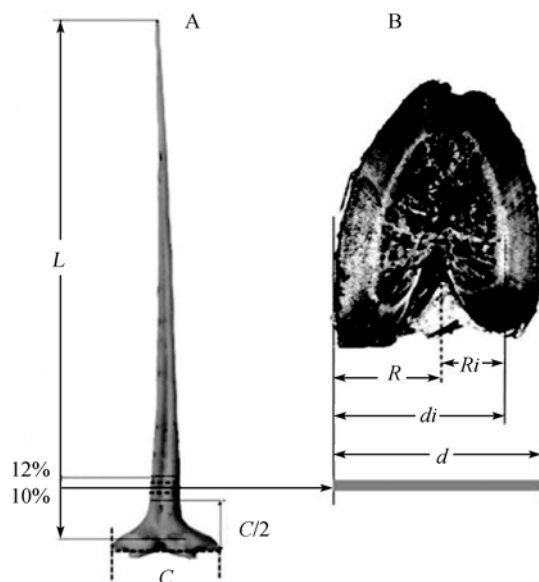


图 2 鳍条切割位置及截面测量参数示意图

A. 鳍条切割位置. L : 鳍条长度; C : 支鳍骨宽度. B. 鳍条截面的测量参数. R : 鳍条截面半径; d : 鳍条截面直径; R_i : 年轮 i 的半径; d_i : 年轮 i 与其远端鳍条边缘的距离.

Fig. 2 Sketch map of cutting location and measurement parameters of spine cross section

A. Cutting location of spine, L : length of spine; C : width of condyle base. B. measurement parameters of spine cross section, R : radius of spine section; d : diameter of spine cross section; R_i : radius of annual ring i ; d_i : distance between annual ring i and the distal spine edge beyond ring i .

袋, 标记后留作拍照。

1.2.3 鳍条轮纹的读取与测量 大眼金枪鱼的年轮由慢速生长期形成的窄轮和快速生长期形成的宽轮组成, 鳍条上呈现为交替排列的明带和暗带。Antoine 等^[14]通过观察鲑背鳍截面明带末端的月份变化, 证实了 1 年形成两轮(窄轮和宽轮)的假说, 一些学者在长鳍金枪鱼^[15]、剑鱼^[16]的年龄研究上也得出了相似的结论。Sun 等^[6]利用同样的方法证明了西太平洋大眼金枪鱼每年 2~9 月份形成 1 条明轮(窄带), 这个时期被认为是慢速生长的产卵期。

研磨后的鳍条薄片采用带有 CCD 镜头的 Olympus-SZX-ZB7 光学显微镜观察, 0.8~5.6 倍物镜下进行拍照。在 0.8 倍物镜下观察鳍条薄片的窄带(明带)和宽带(暗带)间隔排列情况, 根据相邻一条窄带和一条宽带组成一个年轮, 以窄带(明带)的条数表示年轮的轮数。如果发现鳍条核心部

位出现脉管化现象, 则通过比较低龄鱼(低于 2 龄)的轮纹位置, 确定轮纹半径的平均值和置信区间来估计高龄鱼前几条轮纹的位置。

利用 Media Cybernetics 公司的 Image-pro plus 6.0 专业图象分析软件测量鳍条截面的形态特征参数, 包括: (1) 鳍条的直径 d ; (2) 年轮 i 与其远端鳍条边缘的距离 d_i ; (3) 计算鳍条截面的半径 R , 第 i 个年轮的半径 R_i , 其中, $R=d/2$, $R_i=d_i-R$ (图 2B)。仪器测量精度为 $1\ \mu\text{m}$ 。

1.3 数据处理

1.3.1 叉长频次分析 利用 SPSS 15.0 软件, 以 100 mm 为间距, 对样本的叉长分布状况进行分析, 绘制直方图表达分析结果。

1.3.2 Wilcoxon 符号秩检法 利用 R version 2.9.2 软件中 Wilcoxon 符号秩检法(Wilcoxon signed ranks test)对鳍条左右半径进行统计分析, 以检验鳍条截面左右半径是否存在显著性差异。

1.3.3 鳍条轮径与叉长的关系 分别运用直线回归、幂函数回归和指数回归关系拟合大眼金枪鱼叉长(FL)-截面半径(R)的关系, 即:

直线回归关系:

$$\text{FL} = a_1 R + b_1 \quad (1)$$

幂函数回归关系:

$$\text{FL} = a_2 R^{b_2} \quad (2)$$

指数回归关系:

$$\text{FL} = a_3 e^{b_3 R} \quad (3)$$

式中: FL 为叉长(mm), R 为鳍条截面半径(mm), a_1 、 a_2 、 a_3 、 b_2 和 b_3 均为回归系数, b_1 为截距。

选用赤井信息量标准(AIC)^[17]对鳍条轮径和叉长的回归关系和逆算叉长进行检验, 以寻求最合适的模型, AIC 简化表达式为:

$$\text{AIC} = n \times \ln(\text{RSS}/n) + 2k \quad (4)$$

其中: n 为样本数目, RSS 为残差平方和^[18], 即规划求解后的最小值, k 为模型参数个数。AIC 值相对较小的模型为最适合的模型。

1.3.4 叉长的逆算 选取 AIC 值最小的叉长-截面半径回归模型作为推测各龄大眼金枪鱼对应的逆算叉长的关系式。其中, 指数模型可以通过指数回归关系式直接计算, 线性模型和幂函数模型

则运用 Fraser-Lee's 法和 Monastyrsky 法计算^[19], 其公式分别为:

Fraser-Lee's 法:

$$L_n = \left(\frac{R_n}{R}\right)(\text{FL} - b_1) + b_1 \quad (5)$$

Monastyrsky 法:

$$L_n = \left(\frac{R_n}{R}\right)^{b_2} - \text{FL} \quad (6)$$

式中: FL 为大眼金枪鱼被捕获时测定的叉长(mm), L_n 为第 n 轮年轮形成时的逆算叉长(mm), R 为鳍条截面半径, R_n 为各轮纹半径(mm), b_1 为鳍条截面半径-叉长线性回归关系式中的截距, b_2 为鳍条截面半径-叉长的幂函数回归关系式中的回归系数。

1.3.5 生长方程参数的估算 将推算的各龄大眼金枪鱼所对应的加权逆算叉长值代入 von Bertalanffy 生长方程^[20], 通过 Excel 中的规划求解功能估算其生长参数的最佳值, von Bertalanffy 生长方程为:

$$L_t = L_\infty \left[1 - e^{-k(t-t_0)}\right] \quad (7)$$

式中: L_t 为 t 龄时的叉长(mm), L_∞ 为极限叉长, k 为瞬时相对生长速率, t 为年龄, t_0 为叉长为 0 时所对应的理论年龄。

2 结果与分析

2.1 叉长频次分析

海上调查共采集 461 尾大眼金枪鱼, 叉长范围为 570~1 820 mm, 优势叉长组为 910~1 500 mm, 占总体的 83.9%(图 3)。

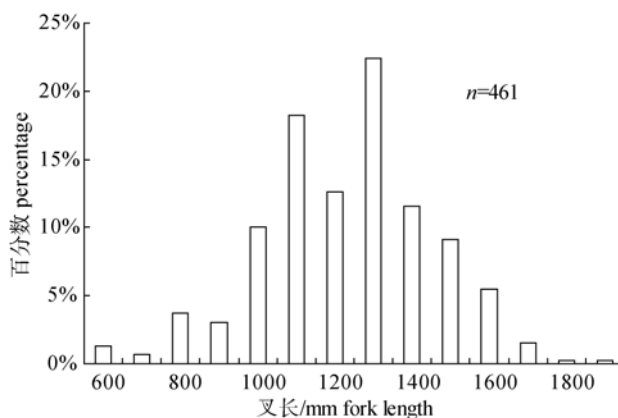


图 3 大眼金枪鱼的叉长频次分布

Fig. 3 Frequency distribution of fork length of *Thunnus obesus*

2.2 年龄鉴定

在年龄鉴定过程中可根据各年轮直径的平均值与标准差预判丢失轮的位置^[21], 鳍条核心周围由于脉管化现象导致轮纹难以辨别, 其中 1、2 龄脉管化年轮的比率超过 50%。年龄鉴定过程中, 根据各年轮直径的平均值与标准差预判丢失轮的位置, 第 1、2 条年轮轮径的平均值±标准差分别为(4.23 ± 0.71) mm 和(5.72 ± 0.48) mm, 各年轮轮径的平均值变化以及脉管化轮纹的比率见图 4。

2.3 叉长与鳍条半径的回归关系

随机抽取 30 枚鳍条样本, 在光学显微镜下测量第 1 条可见轮的轮径。Wilcoxon 符号秩检法

(Wilcoxon signed ranks test)检验表明, 同一枚鳍条左右半径无显著性差异($P>0.05$)。对 3 个组别全部鳍条半径进行测量, 并对叉长与半径关系进行拟合, 结果如表 1 所示。

2.4 逆算叉长的估算

3 组中线性回归关系的 AIC 值皆最小, 说明利用线性回归方程能够更好地拟合鳍条半径和叉长的关系。利用 Fraser-Lee's 法分别对 3 组进行叉长的逆算, 得到不同年龄大眼金枪鱼加权逆算叉长(mm)。图 5 为 3 个组别不同年龄段逆算叉长值以及观测值, 1 龄时观测值相对分散, 与逆算叉长差别较大; 2 龄时观测值明显偏高, 个别组均出现

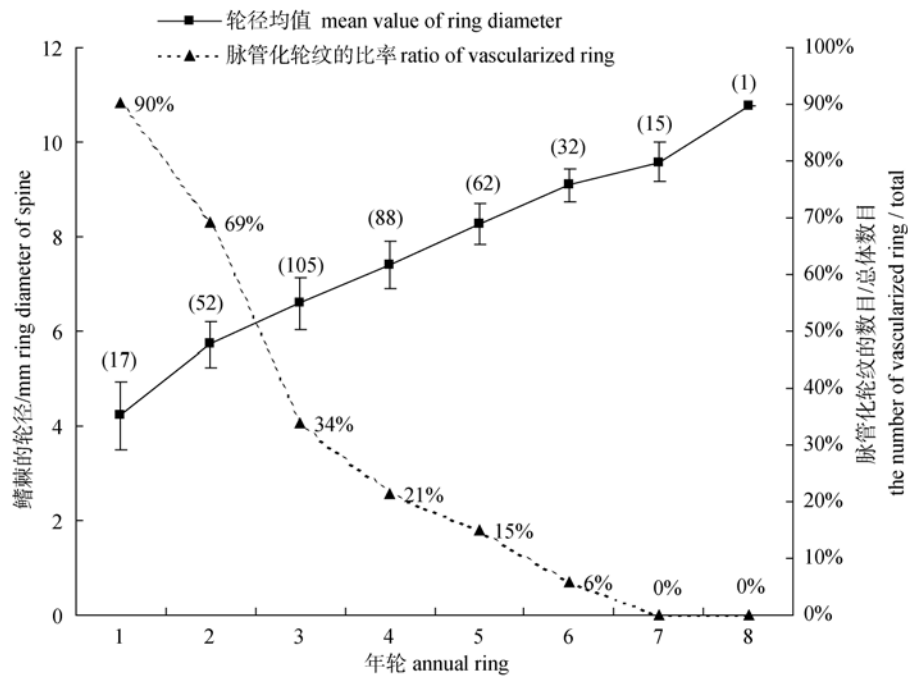


图 4 各年轮轮径的平均值变化以及脉管化轮纹的比率
竖线表示标准差; 竖线上方括号数字代表该年轮的样品数量。

Fig. 4 Mean value variation of ring diameter and ratio of vascularized ring
Vertical bars indicate SD. Enclosed digits upon the vertical bars stand for sample numbers of the rings.

表 1 3 个组别叉长与鳍条截面半径的关系

Tab. 1 Relationship between fork length and spine section radius for three groups

组别 group	有效数 valid number	叉长范围/mm fork length range	半径范围 /mm radius range	叉长(FL)与鳍条截面半径(R)的关系式 relationship between fork length (FL) and spine section radius (R)		
				relationship between fork length (FL) and spine section radius (R)		
				线性回归关系 linear regress	指数回归关系 exponent regress	幂函数回归关系 power regress
I 组	175	580~1820	1.627~5.732	FL=282.0R+158.06 (AIC=745,n=175)	FL=471.8e ^{0.2477R} (AIC=765,n=175)	FL=392.86R ^{0.8545} (AIC=746,n=175)
II 组	50	600~1590	1.525~5.105	FL=239.2R+319.29 (AIC=222,n=50)	FL=520.97e ^{0.2221R} (AIC=231,n=50)	FL=464.35R ^{0.8682} (AIC=224,n=50)
III 组	114	600~1700	1.634~5.161	FL=248.5R+254.58 (AIC=522,n=114)	FL=498.05e ^{0.2277R} (AIC=524,n=114)	FL=446.7R ^{0.7428} (AIC=530,n=114)

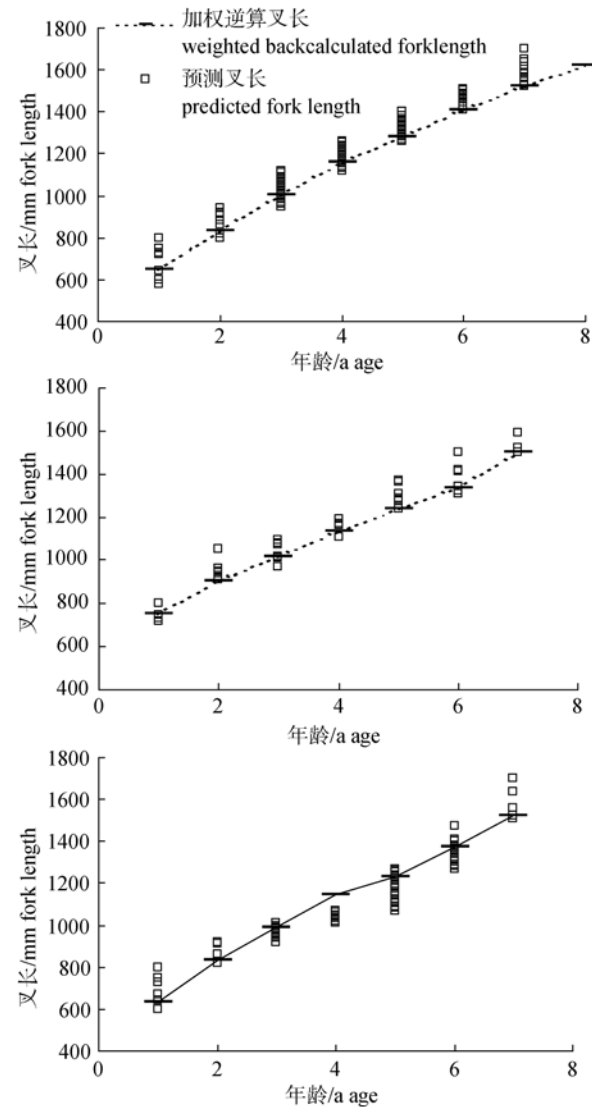


图 5 3 个组别加权逆算叉长和预测叉长值
Fig. 5 Weighted back-calculated fork length and predicted fork length for three groups

观测值与逆算值不符的现象,可能是实验误差所导致。

单因子方差分析(ANOVA)表明, 3 个组别在鉴定大眼金枪鱼年龄时不存在显著差异($P>0.05$), 方差分析结果见表 2, 故通过 3 个位置进行年龄鉴定均可得到相同或类似的结果。然而, I 组的 $AIC=-7.92$ (表 3), 明显小于 II、III 组的 AIC 值, 因此, I 组与其他两组相比能更好地拟合大眼金枪鱼年龄与叉长关系, 最终得到大眼金枪鱼 1~8 龄逆算叉长为 649、832、1 003、1 160、1 281、1 406、1 521 和 1 619 mm, 表 4 为各年龄的轮径值。

2.5 生长方程的估算

根据 I 组 1~8 龄大眼金枪鱼逆算叉长的数据, 运用 von Bertalanffy 生长模型, 通过 Excel 中的规划求解功能拟合印度洋大眼金枪鱼的年龄与生长, 确定最终的生长方程为: $L_t=250.5\times[1-e^{-1.05(t+1.85)}]$

3 讨论

3.1 最适鳍条切割位置的选取

鳍条截面作为鉴定年龄的材料, 有取样简便、读取方便、易于存储的优点^[6], 因此常用作鉴定鱼类年龄的硬组织材料。选取合适的鳍条切割截面对于年龄鉴定非常重要。首先, 鳍条截面的半径影响着年龄判读时的清晰度, 而鳍条截面半径自基部到尖端是不断减小的; 其次, 鳍条随着半径的增加脉管化现象(vascularization of the core)也越严重, 这也影响了年龄的判别。目前鳍条的

表 2 3 个组别逆算叉长的方差分析结果
Tab. 2 Results of variance analysis of back-calculated fork length for three groups

方差来源 source	自由度 df	平方和 SS	均方和 MS	F	P
位置(因素) location(factor)	2	1104	552	0.0064	0.9937
残差 residual	18	1562886	86827		
总和 total	20	1563990			

表 3 3 个组别的参数及 AIC 值
Tab. 3 Parameters and AIC value for three groups

组别 group	样本数 sample number	残差平方和 RSS	参数个数 parameter number	AIC
I*	175	1.40	8	-7.92
II	50	60.26	7	21.07
III	114	23.89	7	14.59

注: *表示年龄鉴定的最适切割位置。
Note: * indicate the suitable cutting location of age determination.

表 4 各年轮对应的轮径及加权轮径
Tab. 4 Radius corresponding to each annual ring and weighted ring radius

年龄 age	个数 number	年轮 annual ring								μm
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	8	1604(7)								
2	9	1941(8)	2478(9)							
3	47	2025(2)	2408(37)	2941(45)						
4	39	—	2504(13)	3051(38)	3424(39)					
5	39	—	2225(6)	3043(19)	3499(39)	3903(34)				
6	19	—	—	3237(3)	2577(9)	3976(19)	4346(17)			
7	14	—	—	—	3653(1)	3957(9)	4348(14)	4650(14)		
8	1	—	—	—	—	—	4236(1)	4675(1)	5038(1)	
总数 total	175	(17)	(65)	(105)	(88)	(62)	(32)	(15)	(1)	
加权轮径 weighted ring radius		1812	2420	3008	3475	3933	4343	4651	5038	

注: “—” 为因脉管化现象未取得数据; 括号内的数字为样本数量。
Note: “—” means no data owing to vascularization. Numbers in brackets represent the numbers of specimens.

切割位置还未能统一, 有的自鳍条基座量取基座长度的一半为切割标准, 如 Sun 等^[6]和 Chiang 等^[22]; Lu 等^[23]则选取鳍条的基座作为切割标准; Zárate 等^[24]和 Rodríguez-Marín 等^[13]选取靠近鳍条底部的突起处为切割位置。

整个鳍条包括基座部分的提取对于鳍条截面的校订是非常必要的^[13]。鳍条基座部分在采集过程中由于处理不当会出现残缺, 直接导致数据收集不完整而使样本作废。鳍条的突起部分虽然代表着鳍条半径最大处, 但是仅凭肉眼难以观察且主观性较强。本研究设置 3 处截面位置, 旨在分析比较得到研究年龄鉴定的最佳位置, 研究结果表明 I 组即自鳍条低端测量鳍条长度的 10% 位置段为研究年龄最合适切割位置, 且鳍条长度在海上样品搜集的过程中不会出现缺失现象。

3.2 年龄鉴定

大眼金枪鱼鳍条截面上, 由 1 条在慢速生长期形成的明带和 1 条在快速生长期形成的暗带共同形成 1 个年轮, 即 1 年形成 2 轮, 这个假说已经通过观察边缘增长量的月份变化所证实^[6]。

在透射光下, 当两条清晰的带状出现且在鳍条末端汇于一点时即可认为是 1 个年轮, 通常也会出现宽厚的 1 条带或者明暗带之间夹杂 2~3 条间隔很小的副轮, 同样视为 1 个年轮。从鳍条截

面核心到边缘, 年轮之间的间距逐渐变小, 由于核心部分骨质被重吸收, 鳍条中心会出现脉管化现象影响轮纹的读取。根据对本次研磨的所有鳍条截面的研究发现, 当年龄达到 2 龄时, 脉管化区域基本上都在第 1 年轮包围的区域以内; 当年龄达到 3 龄, 23% 个体的第 2 年轮在脉管化区域以内, 第 1 轮的轮纹全部被脉管化; 当年龄达到 5 龄时, 60% 个体的第 3 年轮在脉管化区域以内, 第 2 轮纹全部都在脉管化区域内; 当年龄达到 7 龄时, 92% 个体的第 4 年轮在脉管化区域内, 第 3 年轮全部都在脉管化区域内, 因此随着年龄的增长, 脉管化区域不断扩大, 这种情况在所有金枪鱼类的鳍条中非常普遍^[11,21]。针对这种情况可以通过补轮的方式进行弥补, 即参照低龄鱼轮径的参数(平均值、标准方差、置信区间)来估计丢失轮的位置。

鳍条轮纹的读取是年龄鉴定研究最重要且困难的环节, 为了提高年龄鉴定的准确性, 需要对鳍条薄片进行细致打磨、抛光, 并反复在显微镜下观察, 力求使鳍条的年轮观测达到最佳效果, 此外, 轮纹的判读需有 A、B 两人同时独立进行, 当判读结果一致或相差不超过一轮时保留数据, 否则, 读数差别较大, 则舍弃不用, 图 6 为大眼金枪鱼鳍条截面的年轮结构图。

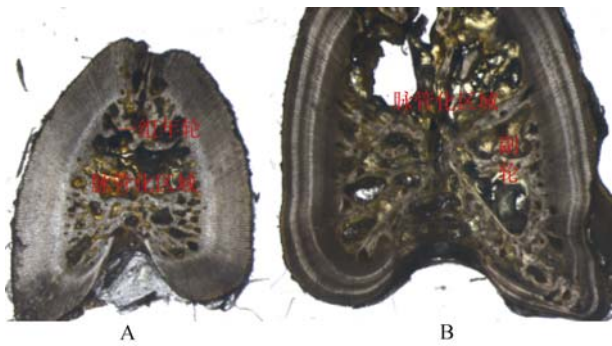


图 6 大眼金枪鱼鳍条截面的年轮结构(0.8×10)
A. 2 龄年轮, 第 1 轮内形成脉管化区域; B. 5 龄年轮, 脉管化区域扩大及副轮出现.
Fig. 6 Ring structure of *Thunnus obesus* spine cross section(0.8×10)
A. rings aged 2, vascularized area forms within ring 1; B. rings aged 5, vascularized area expands and accessory ring appears.

3.3 生长方程的比较

在自然界中, 在没有出现特殊外界压力的干扰下, 鱼类生长速率的增长量呈下降趋势^[25], 本

研究不同年龄段逆算叉长基本符合这个规律。国外许多学者对印度洋海域大眼金枪鱼年龄和生长进行了研究(表 5), Stéquert 等^[4]得到的极限体长 L_{∞} 较小, 因其所研究的西印度洋大眼金枪鱼低龄鱼较多, Tankevich^[11]取样的最大体长达到 200 cm, 因此其极限体长 L_{∞} 较大, 由此可见, 如果样本的采集缺少年龄很小或很大的鱼, 估算的生长参数具有较大的不确定性。Chantawong^[26]得到的 k 值明显过高, 这是因为 k 值反映的是鱼类达到最大体长的速度, Chantawong 的实验样本大多是处于生长旺盛的阶段, 鱼体的生长速率较大。Weber^[27]采用体长分布法对大眼金枪鱼进行研究, 由于数据量较少, 得到的 L_{∞} 存在较大误差。本研究大眼金枪鱼的生长率 k 相对较低, 这种误差可以理解为地域的差异性, 即不同地域的大眼金枪鱼可能形成了不同种群, 其生长特性可能受其海域的时空因素影响而不同。

表 5 大眼金枪鱼 von Bertalanffy 生长方程生长参数值
Tab. 5 Growth parameters of *Thunnus obesus* for von Bertalanffy growth function

来源 source	方法 method	叉长范围/cm fork length range	海域 sea area	L_{∞} /cm	k/a^{-1}	t_0/a
本研究 this study	D	58–182	印度洋南部 Southern Indian Ocean	250.5	0.105	−1.8500
Stéquert 等 (2004) ^[4]	D	30–165	印度洋西部 Western Indian Ocean	169.0	0.3208	−0.3380
Stéquert 等(2004) ^[4]	O	30–165	印度洋西部 Western Indian Ocean	169.1	0.32	−0.3400
Stéquert 等(2000) ^[28]	O	30–165	印度洋西部 Western Indian Ocean	303.9	0.14	−0.4579
Chantawong(1998) ^[26]	L	90–178	印度洋东部 Eastern Indian Ocean	211.5	0.45	−0.1205
Tankevich(1982) ^[11]	V,S	42–200	印度洋海域 Indian Ocean	269.5	0.094	−1.3400
Sun 等(2001) ^[6]	D	45–189	太平洋海域 Pacific Ocean	208.7	0.20	−0.9906
Gaikov 等(1980) ^[7]	D	31–189	大西洋海域 Atlantic Ocean	253.6	0.17	−0.1500
Alves 等(2002) ^[10]	V	44–179	大西洋海域 Atlantic Ocean	264.0	0.12	−0.6800
Weber(1980) ^[27]	L	43–188	大西洋海域 Atlantic Ocean	491.6	0.054	−0.9500

注: O.耳石, L.体长频率, V.尾椎骨, S.鳞片, D.背鳍。
Note: O.otolith, L.length frequency, V.vertebrae, S.scales, D.dorsal spine.

致谢: 本研究得到大连金枪鱼钓有限公司“隆兴 602”船长及全体船员等的大力支持, 感谢上海海洋大学陈锦淘博士及李攀硕士辛勤的海上调查及数据的采集工作。

参考文献:

[1] 许柳雄, 朱国平, 宋利明. 印度洋中西部水域大眼金枪鱼的食性[J]. 水产学报, 2008, 32(3): 387–394.

[2] 朱国平, 许柳雄. 印度洋金枪鱼渔业概况及中国金枪鱼船队发展对策分析[J]. 中国渔业经济, 2006, 2: 10–12.

[3] 张学键, 程家骅. 鱼类年龄鉴定研究概况[J]. 海洋渔业, 2009, 31(1): 92–99.

[4] Stequert B, Conand F. Age and growth of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the western Indian Ocean[J]. Cybium, 2004, 28(2): 163–170.

[5] Hampton J, Bigelow K, Labelle M. A summary of current information on the biology, fishery and stock [R]. Noumea, New Caledonia: Oceanic Fisheries Programme, 1998: 58.

- [6] Sun C, Huang C, Yeh S. Age and growth of the bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the western Pacific Ocean[J]. Fish Bull, 2001, 99(3): 502–509.
- [7] Gaikov V, Chur V, Zharov V, et al. On age and growth of the Atlantic bigeye tuna[R]. Col Vol Sci Pap ICCAT, 1980, 9(2): 294–302.
- [8] Draganik B, Pelczarski W. Growth and age of bigeye and yellowfin tuna in the central Atlantic as per data gathered by R/V "WIECZNO"[R]. Col Vol Sci Pap ICCAT, 1984, 20(1): 96–103.
- [9] Delgado de Molina A, Santana J. Estimacion de edad y crecimiento del patudo (*Thunnus obesus*, Lowe 1939) capturado en las Islas Canarias[R]. Col Vol Sci Pap ICCAT, 1986, 25: 130–137.
- [10] Alves A, de Barros P, Pinho M. Age and growth studies of bigeye tuna *Thunnus obesus* from Madeira using vertebrae[J]. Fish Res, 2002, 54(3): 389–393.
- [11] Tankevich P. Age and growth of the bigeye tuna, *Thunnus obesus* (Scombridae) in the Indian Ocean[J]. J Ichthyol, 1982, 22(4): 26–31.
- [12] 朱国平. 热带水域大眼金枪鱼渔业生物学研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2007: 1–166.
- [13] Rodríguez-Marín E, Olafsdottir D, Valeiras J, et al. Ageing comparison from vertebrae and spines of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) coming from the same specimen[R]. Col Vol Sci Pap ICCAT, 2006, 59(3): 868–876.
- [14] Antoine L M, Mendoza J J, Cayré P M. Progress of age and growth assesment of Atlantic skipjack tuna, *Euthunnus pelamis*, from dorsal fin spines[R]. NOAA Tech Rep NMFS, 1983(8): 91–97.
- [15] Santiago J, Arrizabalaga H. An integrated growth study for North Atlantic albacore (*Thunnus alalunga*)[J]. ICES J Mar Sci, 2005, 62: 740–749.
- [16] Ehrhardt N M. Age and growth of swordfish, *Xiphias gladius*, in the northwestern Atlantic[J]. Bull Mar Sci, 1992, 50: 292–301.
- [17] Akaike H. Information measures and model selection[J]. Bull Intern Statist Institute, 1983, 50(1): 277–291.
- [18] Chen Y, Jackson D, Harvey H. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modelling fish growth data[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1992, 49(6): 1128–1235.
- [19] Sun C, Wang S, Yeh S. Age and growth of the swordfish (*Xiphias gladius* L.) in the waters around Taiwan determined from anal-fin rays[R]. Fish Bull, 2002, 100(4): 822–835.
- [20] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 18–25.
- [21] El-Kebir N, Rodriguez-Cabello C, Tawil M. Age estimation of bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) caught by traps in Libyan waters based on spine reading[R]. Col Vol Sci Pap ICCAT, 2002, 54: 641–648.
- [22] Chiang W, Sun C, Yeh S. Age and growth of sailfish (*Istiophorus platypterus*) in waters off eastern Taiwan[J]. Fish Bull, 2004, 102(2): 251–263.
- [23] Lu C, Zárate V, Yeh S. Morphology of rings on otolith and spine characters from north Atlantic albacore of 40–44 cm fork length[R]. Col Vol Sci Pap ICCAT, 2007, 60(2): 437–442.
- [24] Zárate V, Valeiras J, Ruiz M. Sampling protocol for skeletal structures of north Atlantic albacore(*Thunnus alalunga*) and ageing interpretation[R]. Col Vol Sci Pap ICCAT, 2007, 60(2): 492–506.
- [25] 王学昉, 许柳雄, 朱国平, 等. 中西太平洋鲹鱼的年龄鉴定和生长特性[J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 756–762.
- [26] Chantawong P. Review on the status of small tunas along the Andaman Sea Coast of Thailand[R]. IOTC Proc, 1998, 2: 57–62.
- [27] Weber E. An analysis of Atlantic bigeye tuna (*Thunnus obesus*) growth[R]. Col Vol Sci Pap ICCAT, 1980, 9(2): 303–307.
- [28] Stequert B, Conand F. Preliminary studies of age and growth of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the western Indian Ocean[R]. IOTC Proc, 2000, 3: 249–255.

Relationship between age and growth of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the southern Indian Ocean

ZHOU Cheng¹, ZHU Guoping^{1, 2, 3}, CHEN Jintao^{1, 2, 3}, XU Liuxiong^{1, 2, 3}

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

2. The Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation of Shanghai Education Commission, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

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

Abstract: There is a need for a simple, practical, and accurate aging method to document the population structure, age, and growth of bigeye tuna (*Thunnus obesus*). We collected samples of the first dorsal spine of bigeye tuna that were collected in the Southern Indian Ocean between September 2008 and May 2009. We evaluated whether the location at which the spine was sectioned affected the estimation of age. The spine sections were divided into three groups based on the cutting position. There was a linear relationship between spine radius and fork length. There was no significant difference in estimated age between the three groups. However, AIC values suggested that the best cutting location was at 10% of the total length from the condyle base. The fork length of bigeye tuna ranged from 570 mm to 1 820 mm. The majority of fish (83.9%) were between 910–1 500 mm in fork length (FL) and 3, 4, and 5 years in age. The mean value and standard deviation of radius by rings 1 and 2 were (4.23 ± 0.71) mm and (5.72 ± 0.48) mm. The von Bertalanffy growth function was $L_t = 250.5 \times [1 - e^{-1.05(t+1.85)}]$.

Key words: *Thunnus obesus*; southern Indian Ocean; spine; age determination; growth

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