

文章编号: 1674 - 5566(2013)01 - 0120 - 08

## 北大西洋大青鲨年龄和生长初步研究

高春霞<sup>1</sup>, 戴小杰<sup>1,2,3</sup>, 吴峰<sup>1</sup>, 许友伟<sup>1</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 农业部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 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 201306)

**摘要:** 大青鲨广泛分布在大西洋热带或温带水域, 是金枪鱼延绳钓渔业的最主要兼捕种类。利用中国金枪鱼渔业科学观察员 2010 年 10 月 ~ 2011 年 3 月在北大西洋 ( $48^{\circ} \sim 52^{\circ}N/15^{\circ} \sim 34^{\circ}W$ ,  $3^{\circ} \sim 15^{\circ}N/34^{\circ} \sim 40^{\circ}W$ ) 采集的 524 尾大青鲨样本 (雄性 328 尾, 雌性 196 尾) 和相关数据, 并随机选择 51 尾雄性 (104 ~ 254 cm) 和 52 尾雌性 (135 ~ 211 cm) 脊椎骨样本进行年龄鉴定, 根据以上信息对大青鲨的年龄和生长进行研究。结果表明: 叉长和脊椎骨半径的关系式为  $L_F = 192.8 R_v^{0.837}$ ; 通过 10% 硝酸钴染色法观察脊椎骨轮纹, 雄性的年龄范围为 1 ~ 11a, 雌性为 3 ~ 7a; 平均百分比误差指数为 3.58%, 鉴定精确度较高; 采用实测的年龄-叉长数据估算大青鲨生长参数, 雄性生长参数为  $L_{\infty} = 289.4$  cm,  $k = 0.16$ ,  $t_0 = -1.61$ ; 雌性生长参数为  $L_{\infty} = 308.3$  cm,  $k = 0.13$ ,  $t_0 = -1.77$ ; 雌雄大青鲨生长呈显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 估计雌雄寿命分别为 21.3a 和 17.1a。

**研究亮点:** 大青鲨是金枪鱼延绳钓渔业的最主要兼捕对象, 具有较高的经济价值, 而目前国内对北大西洋大青鲨的生长研究仍为空白。本文通过有效的染色方法对大青鲨的年龄进行鉴定, 估算出大青鲨的生长参数, 为北大西洋大青鲨的资源评估提供最新的参数支持, 也为大青鲨的资源管理提供理论参考。

**关键词:** 大青鲨; 年龄和生长; 北大西洋

**中图分类号:** S 931.1

**文献标志码:** A

大青鲨 (*Prionace glauca*) 隶属于真鲨目 (Carcharhiniformes), 真鲨科 (Carcharhinoidei), 大青鲨属 (*Prionace*)。作为一种大型的中上层软骨鱼类, 大青鲨广泛分布于印度洋、太平洋和大西洋的温带或热带海域, 其中大西洋的分布范围从纽芬兰到阿根廷, 东大西洋的分布范围从挪威到南非<sup>[1-2]</sup>。大青鲨为季节性的高度洄游性种类, 根据对其标记回捕记录和渔获数据表明南、北大西洋大青鲨为同一种群, 线粒体 DNA 非编码区序列和分子微卫星分析显示北大西洋东、西部的大青鲨种群也没有显著性差异<sup>[3-5]</sup>。根据大西洋金枪鱼养护委员会 (International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, ICCAT) 1990 - 2010 年的统计数据表明, 金枪鱼延绳钓兼捕种类中大青鲨占的比重最大, 也是 ICCAT 重点

关注的种类。此外, 作为海洋食物链的顶端种类, 大青鲨在海洋生态系统中处于重要的地位。

年龄和生长信息是鱼类资源评估的基础。鉴定大青鲨的年龄方法主要有长度频率法、硬组织鉴定法和化学标记法等, 由于取样的方便性, 目前国际上主要采用脊椎骨来鉴定大青鲨的年龄, STEVENS<sup>[6]</sup>首次利用脊椎骨大青鲨年龄鉴定材料; HENDERSON 等<sup>[7]</sup>使用未经染色的、硝酸银染色的和茜素红染色的 3 种脊椎骨来对比鉴定大青鲨年龄, 选择 von Bertalanffy 生长方程来描述大青鲨生长; SKOMAL 和 NATANSON<sup>[8]</sup>通过研究标记氧四环素 (OTC) 的回捕大青鲨, 证明北大西洋大青鲨脊椎骨轮纹的形成具有周期性, 并定义脊椎骨上第一个轮纹为出生轮纹; LESSA 等<sup>[5]</sup>认为 von Bertalanffy 生长方程较 Richards 方程和

收稿日期: 2012-08-05 修回日期: 2012-10-28

基金项目: 农业部三大洋金枪鱼观察员项目 (08 - 54); 上海市捕捞学重点学科建设项目 (S30702)

作者简介: 高春霞 (1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源生物学。E-mail: gaochunxia\_good@163.com

通信作者: 戴小杰, E-mail: xjdai@shou.edu.cn

Schnute 方程能更好描述大青鲨生长。

由于大洋性延绳钓渔业的渔获物样本和生物学数据较难获得,故目前我国对大西洋鲨鱼年龄和生长方面的研究仍为空白。本文根据我国金枪鱼渔业科学观察员在北大西洋海域收集的样本的数据,对大青鲨的年龄与生长进行研究,为评估北大西洋大青鲨资源动态提供基础性资料,研究的内容也体现了我国作为 ICCAT 成员国的履约义务。

## 1 材料与方 法

### 1.1 采样时间和区域

采样时间为 2010 年 10 月 - 2011 年 3 月, 2 名观察员各自跟随 1 艘我国金枪鱼延绳钓渔船在 2 个区域采样(图 1):  $48^{\circ} \sim 52^{\circ}N/15^{\circ} \sim 34^{\circ}W$  (A1),  $3^{\circ} \sim 15^{\circ}N/34^{\circ} \sim 40^{\circ}W$  (A2), 观察员随机选取样品进行大青鲨脊椎骨采集。

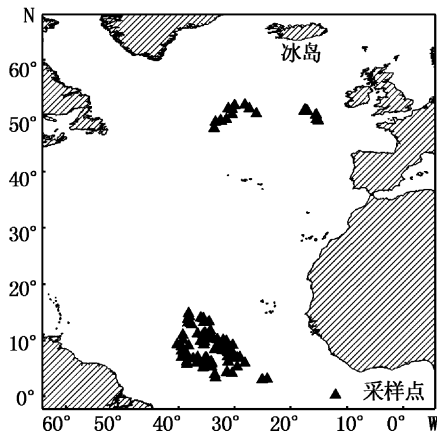


图 1 取样区域

Fig. 1 Sampling areas

### 1.2 样本处理和观测

观察员在船上记录大青鲨体长、重量和性别信息后,在第一背鳍处取约 3 ~ 5 节脊椎骨,冷冻保存后运回国内实验室。在实验室中对脊椎骨进行解冻,将脊椎骨置于沸水中煮约 5 ~ 10 min,取出其中一节,除去多余结缔组织;若仍不洁净,可将脊椎骨置于 5% 次氯酸钠溶液中浸泡 10 min 左右,具体时间视椎骨大小而定。采用硝酸钴染色法<sup>[9]</sup>进行轮纹鉴定,将脊椎骨置于 15% 硝酸钴溶液中约 1 ~ 2 d,取出后用蒸馏水洗净。

在解剖镜下观察脊椎骨的年轮特征为宽阔的不透明层(宽层)和狭窄的半透明层(狭层)交替排列,当年的宽层和翌年的狭层交界处即为年

轮,代表一年的生长。鉴定年龄时,以窄带计数,并根据 SKOMAL 和 NATANSON 的研究<sup>[8]</sup>,以脊椎骨上第一条窄带为出生轮纹。脊椎骨的半径( $R_v$ , mm)和年轮径( $r$ , mm),使用电子游标卡尺测量, $R_v$  为椎骨中心点至外缘的直线距离, $r_n$  为椎骨中心点到某年轮的直线距离,数字 1 ~ 7 表示年轮数(图 2)。

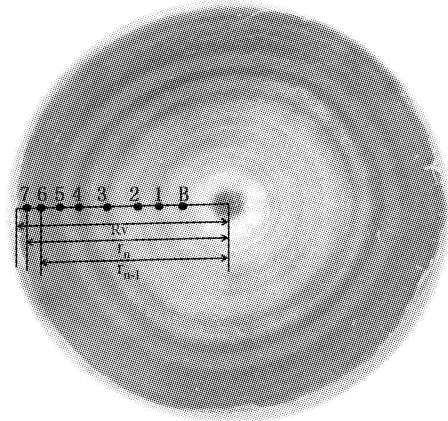


图 2 大青鲨脊椎骨轮纹示意图  
(B 点为出生轮所在位置)

Fig. 2 Growth bands on the vertebra of the blue shark (B: birth ring)

采用三人观测法<sup>[10]</sup>进行年轮的鉴定,即两位鉴定者在未知个体长度的情况下,对脊椎骨轮纹进行读数,若两次读数结果不一致,则由第三人进行读数,取其中相同的结果作为年龄鉴定的最终结果。若三者结果均不相同,则舍弃该样品。

### 1.3 数据处理和分析

#### 1.3.1 数据检验

采用双样本 Kolmogorov-Smirnov 检验雌、雄样本叉长分布是否具显著性差异;采用  $t$  检验比较雌、雄样本叉长均值的差异性;采用  $\chi^2$  检验判断雌、雄性比是否符合 1:1;协方差分析(analysis of covariance, ANCOVA)用于检验雌、雄大青鲨叉长(fork length, FL)与脊椎骨半径(vertebral radius, VR)的曲线关系是否呈现显著性差异;采用 Pearson 相关分析检验数据间相关程度的显著性;运用残差平方和分析<sup>[11]</sup>(residual sum of squares analysis, ARSS)检验雌、雄样本生长方程的差异性。

#### 1.3.2 叉长和脊椎骨半径关系

分别通过线性、多项式、对数以及幂函数方程拟合叉长和脊椎骨半径关系,选择相关系数

( $R^2$ )值最大的方程作为最适方程。

### 1.3.3 平均百分比误差指数

平均百分比误差指数<sup>[12]</sup>是比较不同鉴定者之间年龄鉴定的重复性指标,当平均百分比误差指数小于10%时,表明年轮鉴定精确度较高,否则需重新鉴定。计算公式如下:

$$I = \frac{1}{N} \sum \left\{ \frac{1}{n} \sum \left( \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \right) \right\} \times 100 \quad (1)$$

式中: $N$ 为年龄鉴定的大青鲨总数; $n$ 为读龄次数; $X_{ij}$ 为第 $j$ 尾鱼第 $i$ 次读龄时的年轮数; $X_j$ 为第 $j$ 尾鱼的平均年轮数,即 $n$ 次读龄的平均值。

### 1.3.4 各年龄的逆算长度

由于所取样本数目及长度分布的限制,故年龄鉴定中可能会有缺失某个年龄组数据的情况存在,对此,这里采用 Dahl-lea 线性修正公式<sup>[13]</sup>逆算各年龄的叉长,Dahl-lea 线性修正公式是通过椎骨半径和叉长的线性拟合参数对 Dahl-lea 公式进行修正,计算公式如下:

$$L_i = L_c \left( \frac{a + bR_i}{a + bR_v} \right) \quad (2)$$

式中: $L_i$ 为第 $i$ 年龄的逆算叉长(cm); $R_v$ 为脊椎骨半径(mm); $R_i$ 为第 $i$ 年龄轮径; $a, b$ 为叉长与椎骨半径的线性关系拟合参数。

### 1.3.5 生长方程

采用 von Bertalanffy 生长方程<sup>[14]</sup>估计大青鲨生长参数,公式为:

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}] \quad (3)$$

式中: $t$ 为年龄; $L_t$ 为 $t$ 龄时的鲨鱼叉长(cm); $L_\infty$ 为渐近叉长(cm); $k$ 为生长曲线的平均曲率; $t_0$ 为叉长为零时的理论年龄。

### 1.3.6 寿命

根据估算的生长参数计算北大西洋大青鲨的年龄,当 $\alpha = 0.95$ 时,即为大青鲨的最大年龄<sup>[15]</sup>,公式为:

$$t_{\max} = \frac{1}{k} \ln \left[ \frac{(L_\infty - L_0)}{L_\infty (1 - \alpha)} \right] \quad (4)$$

以上数据处理和分析均借助 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件完成。

## 2 结果

### 2.1 叉长组成和性别比

观察员在 A1 区域共收集大青鲨样品 196 尾

(雄性 77 尾,雌性 119 尾),在 A2 区域共收集大青鲨样品 328 尾(雄性 205 尾,雌性 123 尾),雌雄性比为 1.55 和 0.6,均不符合 1:1 比例( $\chi^2$ 检验,  $P < 0.01$ )。由于北大西洋大青鲨为同一种群,将两个海域的大青鲨数据合并后(雄性 282 尾,雌性 242 尾),其雄性叉长范围为 72 ~ 284 cm,叉长组具有两个峰值,分别为 110 ~ 120 cm 和 210 ~ 220 cm;雌性叉长范围为 90 ~ 244 cm,叉长组具有两个峰值,分别为 110 ~ 120 cm 和 190 ~ 200 cm (图 3)。雌、雄性比符合 1:1 比例( $\chi^2$ 检验,  $P > 0.05$ );雌、雄的叉长分布具显著性差异(Kolmogorov-Smirnov 检验,  $P < 0.01$ );雄性叉长均值显著大于雌性叉长均值( $t$ 检验,  $P < 0.05$ )。

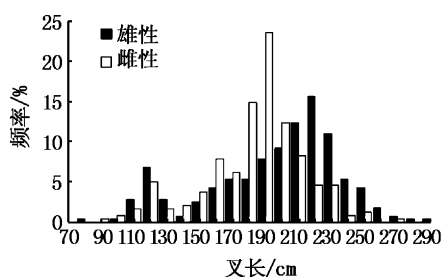


图 3 大青鲨叉长频率分布

Fig. 3 Fork length frequency distribution for the blue shark

### 2.3 叉长-脊椎骨半径关系

雌、雄大青鲨的叉长和脊椎骨半径呈显著正相关性( $P < 0.01$ )。脊椎骨半径和叉长关系分别用线性、多项式、对数以及幂函数形式进行回归拟合,结果以幂函数的相关系数值最大,为最优回归方程(表 1)。

经过协方差分析检验,雌、雄样本的叉长与椎骨半径关系无显著性差异(ANCOVA,  $P = 0.085 > 0.05$ ),故将雌、雄样本数据合并。大青鲨叉长-脊椎骨半径的回归关系式为: $L_F = 192.8 R_v^{0.837}$  ( $n = 117, R^2 = 0.91$ ) (图 4),将此关系式转换为对数式为: $\ln L_F = 0.837 \ln R_v + 5.26$ ,估算出参数  $a = 0.837, b = 5.26$ 。

表 1 曲线拟合大青鲨叉长和脊椎骨半径关系

Tab. 1 Curve fitting the relationship of fork length and vertebral radius for the blue shark

回归模型	性别	表达式	相关系数 $R^2$
指数回归	雄性	$L_F = 75.612e^{0.9109R_v}$	0.862 7
	雌性	$L_F = 74.482e^{0.9362R_v}$	0.863 3
线性回归	雄性	$L_F = 159.78R_v + 32.735$	0.878 5
	雌性	$L_F = 163.21R_v + 29.53$	0.863 6
对数回归	雄性	$L_F = 141.66\ln R_v + 197.12$	0.864 9
	雌性	$L_F = 143.95\ln R_v + 195.5$	0.855 1
多项式回归	雄性	$L_F = -21.06 R_v^2 + 200.83R_v + 13.709$	0.880 3
	雌性	$L_F = -31.09R_v^2 + 221.89R_v + 2.7676$	0.866 3
幂函数回归	雄性	$L_F = 192.74R_v^{0.833}$	0.903 5
	雌性	$L_F = 192.86R_v^{0.8436}$	0.892 4

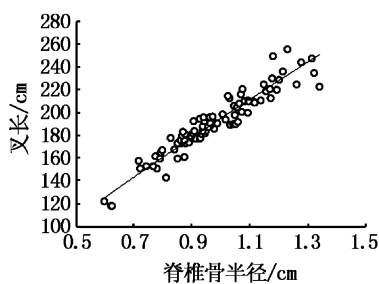


图 4 大青鲨叉长和脊椎骨半径关系  
Fig. 4 Relationship between fork length and vertebral radius for the blue shark

### 2.3 年龄组成

两名鉴定者对 117 个脊椎骨样本进行年龄

鉴定,未达到鉴定一致性的样本有 28 尾,经由第三人鉴定,其中的 14 尾样本鉴定结果与之前的结果达到一致,则另外的 14 尾样本由于三名鉴定者均未达到一致性,故舍弃此样本。计算出平均百分比误差指数值为 3.58% ( $I < 10\%$ ),鉴定的精确度较好。

在 103 尾有效鉴定样本中,雄性 51 尾,叉长范围为 104 ~ 256 cm,年龄范围为 1 ~ 11a,其中 5 ~ 8a 的样本最多,占总数的 70.6%;雌性 52 尾,叉长范围为 135 ~ 211 cm,年龄范围为 3 ~ 7a,而 3 龄和 7 龄的鱼较少,分别为 2 尾和 1 尾。雌、雄样本各长度组对应的年龄分布见表 2、3。

表 2 雄性大青鲨样本年龄-长度表

Tab. 2 Number of age-length keys for the male blue shark

叉长/cm	数目	年龄/a										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
110 ~ 119.9	3	1	2									
120 ~ 129.9	1		1									
130 ~ 139.9	0											
140 ~ 149.9	1			1								
150 ~ 159.9	0											
160 ~ 169.9	4			3	1							
170 ~ 179.9	0											
180 ~ 189.9	2				1	1						
190 ~ 199.9	9					6	3					
200 ~ 209.9	7						7					
210 ~ 219.9	8							6	2			
220 ~ 229.9	8								3	5		
230 ~ 239.9	4									2	2	
240 ~ 249.9	2											2
250 ~ 259.9	2											2
合计	51	1	3	4	2	7	16	5	7	2	2	2

表 3 雌性大青鲨样本年龄-长度表

Tab. 3 Number of age-length keys for the female blue shark

叉长/cm	数目	年龄/a				
		3	4	5	6	7
130 ~ 139.9	1	1				
140 ~ 149.9	0					
150 ~ 159.9	5	1	4			
160 ~ 169.9	4		4			
170 ~ 179.9	15		4	11		
180 ~ 189.9	14			14		
190 ~ 199.9	10			1	9	
200 ~ 209.9	1				1	
210 ~ 219.9	2				1	1
合计	52	2	12	26	11	1

## 2.5 体长逆算

表 4 和 5 为雌、雄大青鲨各年龄组的逆算叉长,逆算的年龄-叉长值均小于实际观察值;雄性

的观察叉长标准差均低于逆算的年龄组叉长标准差;雌性结果正相反,这表明雌、雄各年龄组的长度存在明显差异。

表 4 雄性大青鲨逆算叉长和实测叉长

Tab. 4 Back-calculated and observed fork length for the male blue shark

年龄/a	年龄/a										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	68.4										
2	75.2	106.7									
3	68.5	101.9	135.0								
4	62.4	90.5	128.1	153.0							
5	62.9	89.6	116.3	151.0	171.1						
6	65.3	84.9	104.8	128.5	152.2	173.5					
7	61.9	84.8	127.5	147.3	166.1	185.4	196.5				
8	54.4	86.6	112.1	131.0	153.4	174.8	192.8	209.4			
9	60.3	88.5	104.2	128.3	159.0	178.8	198.5	208.6	220.0		
10	67.0	85.8	103.2	126.4	144.2	161.5	180.3	199.2	213.8	228.2	
11	68.0	94.4	107.7	127.5	140.7	161.2	177.0	193.5	210.1	222.4	235.8
平均叉长/cm	64.9	91.4	115.4	136.6	155.2	172.5	189.0	202.7	214.6	225.3	235.8
标准差	5.4	7.5	12	11.6	11	9.6	9.7	7.7	5	4.1	-
观测的平均叉长/cm	104.0	119.3	156.0	175.5	191.3	205.4	218.7	227.1	236.0	246.0	253.0
标准差	-	2.8	10.1	10.6	2.7	6.0	2.6	4.7	-	2.8	4.3

表 5 雌性大青鲨逆算叉长和实测叉长

Tab. 5 Back-calculated and observed fork length for the female blue shark

年龄/a	年龄/a						
	1	2	3	4	5	6	7
3	65.4	100.3	124.5				
4	65.7	96.9	123.6	146.5			
5	69.7	90.2	124.2	146.2	170.8		
6	65.7	89.6	117.2	139.2	159.4	179.6	
7	74.5	99.5	124.5	144.8	165.1	183.8	199.3
平均叉长/cm	68.2	95.3	122.8	144.2	165.1	181.7	199.3
标准差	3.9	5.1	3.2	3.4	5.7	3.0	-
观测的平均叉长/cm	-	-	143.0	164.2	181.3	196.2	211.0
标准差	-	-	11.3	8.2	4.8	6.7	-

## 2.6 von Bertalanffy 生长方程和寿命

根据各年龄的实测叉长、逆算叉长、实测叉长与逆算叉长相结合的数据,分别拟合的生长参数(表6)。对于雌雄大青鲨而言,根据逆算值估算的初始叉长均偏小,而寿命值与之前的研究相比明显偏大,故不适宜描述生长;而根据实测值

和结合值估算的雄性的生长参数具有一定的生物学真实;根据实测、逆算结合值估计出的雌性寿命值偏大,故也不适合描述生长。因此,本研究选择实测的年龄-叉长数据估算雌雄大青鲨的生长参数(图5)。

表6 北大西洋雌雄大青鲨 von Bertalanffy 生长参数

Tab. 6 The von Bertalanffy growth parameters of the blue shark in the North Atlantic Ocean

数据	性别	$L_{\infty}$ /cm	置信区间	k	置信区间	$t_0$	置信区间	$L_0$ /cm	$t_{\max}$ /a
实测值	M	289.4	±25.5	0.16	±0.06	-1.61	±0.6	65.7	17.1
	F	308.3	±104.1	0.13	±0.10	-1.77	±1.7	63.4	21.3
逆算值	M	323.0	±5.8	0.11	±0.004	-1.07	±0.06	36.8	26.0
	F	332.7	±46.4	0.11	±0.03	-1.00	±0.23	34.7	26.2
结合值	M	301.3	±18.4	0.13	±0.02	-1.4	±0.3	50.1	21.6
	F	336.1	±127.5	0.11	±0.08	-1.6	±1.4	54.2	25.6

注:F. 雌性;M. 雄性。

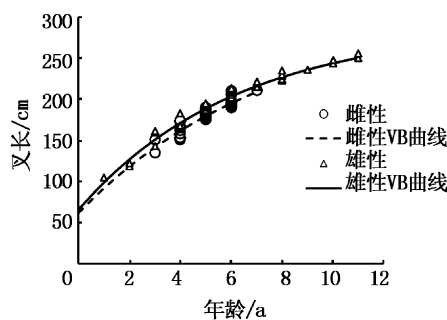


图5 大青鲨 von Bertalanffy 生长曲线

Fig. 5 von Bertalanffy growth curves for the blue shark

通过残差平方和分析显示雌、雄大青鲨的生长呈显著性差异 (ARSS,  $F = 5.595$ ,  $P = 0.016 < 0.05$ ), 因此雄性大青鲨的生长方程为:  $L_t = 289.4 [1 - e^{-0.16(t+1.61)}]$ , 寿命为  $t_{\max} = 17.1a$ ; 雌性大青鲨的生长方程为:  $L_t = 308.3 [1 - e^{-0.13(t+1.77)}]$ , 寿命为  $t_{\max} = 21.3a$ 。

## 3 讨论

采集大青鲨椎骨样本时,有时出于商业考虑,在尾鳍处取椎骨,但尾椎骨较小且清晰度较差<sup>[16]</sup>,本研究中使用的是第一背鳍处椎骨,椎骨较大,轮纹清晰度高。在软骨鱼类的年龄鉴定中,鉴定方法多样,在大青鲨年龄鉴定中已用方法有完整脊椎骨观察、脊椎骨切片观察<sup>[17]</sup>、硝酸银染色法<sup>[6]</sup>和 X 射线法<sup>[18]</sup>,其中完整或切片的

脊椎骨观察法轮纹可见,但清晰度不高;硝酸银染色法要求椎骨在紫外灯下照射,且染色时间较难控制;X 射线照射下细纹较多,难分辨且较耗时。本研究中采用的硝酸钴染色法易用性高,染色时间短,染色轮纹清晰可辨,轮纹间差异明显,该方法在其他软骨鱼类中也得到了有效的应用<sup>[9]</sup>。

SKOMAL 和 NATANSON<sup>[8]</sup>通过观察标记氧四环物(OTC)的北大西洋大青鲨,证明大青鲨生长轮纹的形成具有年周期性,并发现轮纹形成于春季;而 LESSA 等<sup>[5]</sup>通过边际增量分析,未证明出北大西洋大青鲨的轮纹形成存在年周期性。本研究由于样本主要来自于商业性渔业,未取得一年的数据,并未对大青鲨轮纹形成的周期性进行检验,而是与之前的研究者 STEVENS<sup>[6]</sup>和 CAILLIET 等<sup>[19]</sup>观点一致,假设大青鲨的轮纹具备“一年一轮纹”的特征。

国外学者对大西洋大青鲨的年龄和生长研究较多,但研究时间距今较早<sup>[5-8]</sup>,而国内尚无相关报道。由于样本采集区域的不同,各研究结果呈现一定的差异性(表7)。LESSA 等<sup>[5]</sup>认为北大西洋的大青鲨生长速率大于北大西洋,本研究的结果进一步证明该结论;根据 BRANSTATTER<sup>[20]</sup>生长系数在 0.10~0.20 之间的物种,生长速率呈中等的理论,本研究与北大西洋其他的研究均显示该区域的大青鲨以中等速率生长。本研究中雄性大青鲨生长速率低于

SKOMAL 和 NATANSON<sup>[8]</sup>研究,但估计的渐近叉长更具生物学真实性( $L_{\infty} = 289.4 \text{ cm} > L_{\text{观}} = 284 \text{ cm} > 282 \text{ cm}$ ),雌性的生长参数与该研究结果相近;SKOMAL 和 NATANSON<sup>[8]</sup>认为北大西洋雌雄生长存显著性差异,而本研究结果进一步证明了

该结论。此外有关环境因素如温度、盐度以及饵料对大青鲨生长的影响,本文由于数据的限制以及调查的难度,未进行考虑,故此尚待进一步的深入研究。

表 7 不同区域大青鲨 von Bertalanffy 生长参数

Tab.7 Parameters of von Bertalanffy growth function for blue shark from different areas

区域	样本数目	性别	$L_{\infty}/\text{cm}$	$K$	$t_0$	参考文献
南大西洋	236	B	290.09	0.16	-1.01	[5]
北大西洋	82	B	349.2	0.11	-1.04	[6]
北大西洋	112	M	309.0	0.12	-1.07	[21]
	170	F	382.0	0.09	-1.19	
北大西洋	159	B	314.8	0.12	-1.33	[7]
北大西洋	411	M	282	0.18	-1.35	[8]
		F	310	0.13	-1.77	
北大西洋	103	M	289.4	0.16	-1.61	本研究
		F	308.3	0.13	-1.77	

注:B.不分雌雄;F.雌性;M.雄性。

#### 参考文献:

- [1] CASTRO J I, WOODLEY C M, BRUDEK R L. A preliminary evaluation of the status of shark species [R]. Rome: FAO, 1999(380):72.
- [2] COMPAGNO L J V. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date, Part 2-Carcharhiniformes [M]. Rome: FAO, 1984:251-655.
- [3] KOHLER N E, TURNER P A, HOEY J J, et al. Tag and recapture data for three pelagic shark species, blue shark (*Prionace glauca*), shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*), and porbeagle (*Lamna nasus*) in the North Atlantic Ocean [C]// Collective volume of scientific papers. Madrid: International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, 2002, 54:1231-1260.
- [4] SHIVJI M, CLARKE S, PANK M, et al. Genetic identification of pelagic shark body parts for conservation and trade monitoring [J]. Conservation Biology, 2002, 16(4):1036-1047.
- [5] LESSA R, SANTANA F M, HAZIN F H. Age and growth of the blue shark *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) off northeastern Brazil [J]. Fisheries Research, 2004, 66(1):19-30.
- [6] STEVENS J D. Vertebral rings as a means of age determination in the blue shark (*Prionace glauca* L.) [J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1975, 55(3):657-665.
- [7] HENDERSON A C, FLANERY K, DUNNE J. Observations on the biology and ecology of the blue shark in the North-east Atlantic [J]. Journal of Fish Biology, 2001, 58(5):1347-1358.
- [8] SKOMAL G B, NATANSON L J. Age and growth of the blue shark (*Prionace glauca*) in the North Atlantic Ocean [J]. Fishery Bulletin, 2003, 101(3):627-639.
- [9] HOENING J M, BROWN C A. A simple technique for staining growth bands in elasmobranch vertebrae [J]. Bulletin of Marine Science, 1988, 42(2):334-337.
- [10] MCAULEY R B, SIMPFENDORFER C A, HYNDES G A, et al. Validated age and growth of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus* (Nardo 1827) in the waters off Western Australia [J]. Environmental Biology of Fishes, 2006, 77(3/4):385-400.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] RICC F. Back-calculation of fish length: a critical review [J]. Journal of Fish Biology, 1990, 36:883-902.
- [14] von BERTALANFFY L. A quantitative theory of organic growth (Inquires on growth laws. II) [J]. Human Biology, 1938, 10(2):181-213.
- [15] NATANSON L J, KOHLER N E, ARDIZZONE D, et al. Validated age and growth estimates for the shortfin mako, *Isurus oxyrinchus*, in the North Atlantic Ocean [J]. Environmental Biology of Fishes, 2006, 77(3/4):367-383.
- [16] 莊守正. 台湾东北部海域污染白眼鲛之渔业生物学研究 [D]. 基隆: 国立台湾海洋大学, 2006.

- [17] MACNEIL M A, CAMPANA S E. Comparison of whole and sectioned vertebrae for determining the age of young blue shark (*Prionace glauca*) [J]. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science, 2002, 30: 77 – 82.
- [18] PERSEFONI M, DIMIITRIS D, GREGORIO D. Biological characteristics of blue shark, *Prionace glauca*, in the Mediterranean Sea [J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2009, 89 (6): 1233 – 1242.
- [19] CAILLIET G M, MARTIN L K, HARVEY J T, et al. Preliminary studies on the age and growth of blue shark, *Prionace glauca*, common thresher, *Alopias vulpinus*, and shortfin mako, *Isurus oxyrinchus*, sharks from California waters [C]//PRINCE E D, PULOS L M. Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes; tunas, billfishes, and sharks. Washington: NOAA Technical Report NMFS 8, 1983: 179 – 188.
- [20] BRANSTETTER S. Age and growth validation of newborn sharks held in laboratory aquaria, with comments on the life history of the Atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terraenovae* [J]. Copeia, 1987, 19(2): 291 – 300.
- [21] SILVA A A, SILVA H M, ERZINI K. Some results on the biology of the blue shark, *Prionace glauca*, in the North Atlantic based on data from a research cruise of the R/V Arquipelago in Azorean waters: a summary paper [D]. Portugal: Universidade dos Acores, 1996.

## A preliminary study on age and growth of the blue shark (*Prionace glauca*) in the North Atlantic Ocean

GAO Chun-xia<sup>1</sup>, DAI Xiao-jie<sup>1, 2, 3</sup>, WU Feng<sup>1</sup>, XU You-wei<sup>1</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture, 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:** The blue shark *Prionace glauca*, is broadly distributed in temperate and tropical waters of the Atlantic Ocean, and is the main by-catch species in tuna long line fishery. A total of 524 (328 males, 196 females) blue sharks were sampled from Chinese tuna long line fisheries in the North Atlantic Ocean (48° to 52°N/15° to 34°W, 3° to 15°N/34° to 40°W) from October 2010 to March 2011. Whole vertebrae of 51 males (104 – 256 cm) and 52 females (135 – 211 cm) were used to age for blue shark. Based such information from these samples, the age-growth of blue shark was analyzed in this study. The results showed that the relationship between fork length and vertebral radius for both sexes was as follows:  $L_F = 192.8 R_v^{0.837}$  ( $n = 117, R^2 = 0.91$ ). Males were aged to 11 years (256 cm) and females were 7 years (211 cm). The index of average percentage error (IAPE) ranged from 0 – 3.58% for 1 – 11 years. Parameters derived from observed length-at-age data for males and females were best to describe the growth of the blue shark. The von Bertalanffy growth parameters were:  $L_\infty = 289.4$  cm,  $k = 0.16$ ,  $t_0 = -1.61$  for males, and  $L_\infty = 308.3$  cm,  $k = 0.13$ ,  $t_0 = -1.77$  for females; differences in growth were found between sexes. The longevity for males and females were 21.3a and 17.1a, respectively.

**Key words:** *Prionace glauca*; age and growth; North Atlantic Ocean