

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.00145

北部湾斑鳍白姑鱼的年龄与生长

颜云榕^{1,2,3}, 侯刚^{1,2}, 卢伙胜^{1,2}, 殷其群¹

1. 广东海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524025;

2. 广东海洋大学 南海渔业资源监测与评估中心, 广东 湛江 524025;

3. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071

摘要:通过对斑鳍白姑鱼(*Pennahia pawak*)鳞片年轮的观察和基础生物学测定, 研究斑鳍白姑鱼的年龄判定与生长特性。采用自 2008 年 8 月至 2009 年 5 月北部湾海域底拖网、流刺网和钓具作业的斑鳍白姑鱼渔获样本, 共计 626 尾。结果认为斑鳍白姑鱼鳞片的年轮显示为空白型窄带, 边缘增长率 MGI 计算结果表明, 年轮主要在 9–11 月形成, 为 1 年 1 个周期; 性腺成熟指数(GSI)表明, 繁殖期为 4–8 月份, 年轮形成于繁殖期之后。本研究利用最大似然法估算了 von Bertalanffy、Logistic、Gompertz 和 Generalized von Bertalanffy 生长方程的生长参数, ARSS 检验得出雌雄生长在 4 个生长方程中均无显著性差异($P>0.05$), AIC、AIC 差值和 BIC 检验得出 Logistic 生长方程为最适生长模型, 主要参数分别为: 渐进体长 $L_{\infty}=220.32$ mm, 生长曲线的平均速率 $K=0.58$, 初始年龄 $t_0=0.905$ 。斑鳍白姑鱼在 3 龄之前生长迅速, 之后生长趋于减缓。为保护产卵补充群体和合理开发利用北部湾的斑鳍白姑鱼资源, 以及考虑实际渔业生产状况, 建议以 2 龄的体长 146.53 mm 作为最小开捕体长标准。[中国水产科学, 2011, 18(1): 145–155]

关键词: 北部湾; 斑鳍白姑鱼; 鳞片; 年龄确定; 模型检验

中图分类号: S931.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2011) 01-0145-11

白姑鱼属(*Pennahia*)在中国南海北部湾常见有 4 种, 分别为白姑鱼 [*P. argentata* (Houttuyn, 1782)]、大头白姑鱼 [*P. macrocephalus* (Tang, 1937)]、斑鳍白姑鱼 [*P. pawak* (Lin, 1940)] 和截尾白姑鱼 [*P. anea* (Bloch, 1793)]。这 4 种白姑鱼年总产量约为 3×10^4 t, 在渔业生产中占有重要地位, 具有重要的经济价值

对白姑鱼属的研究涉及生长^[1–4]、摄食习性^[5]、遗传变异^[6]和分子系统分布^[7–8]等, 也有关于大头白姑鱼的稚鱼形态学^[9]和耳石质量与年龄^[10]关系的报道, 但是对于斑鳍白姑鱼的此类研究尚少见报道。北部湾的斑鳍白姑鱼作为该海域白姑鱼属的关键种, 居较为重要的生态位, 其单种鱼产量也占据该海域渔获总产量的约 30%, 因而对其基

础生物学特征等方面的研究显得颇为重要。本研究通过观察北部湾斑鳍白姑鱼的鳞片生长轮纹及进行生物学特性分析, 研究其年龄与生长特性, 估算生长参数和选择最适生长模型, 以期为该种鱼类资源评估、开发与管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样

在 2008 年 8 月至 2009 年 5 月北部湾进行的渔业资源调查中, 对广西北海与海南东方八所流刺网(单片刺网与三重刺网)、海南三亚钓具渔获物中的斑鳍白姑鱼进行了逐月取样, 采样基本情况如表 1 所示, 6 月和 7 月因南海休渔没有采集到有效样本。

收稿日期: 2010-01-23; 修订日期: 2010-03-03.

基金项目: 国家自然科学基金项目(30771653); 农业部北部湾渔业资源调查与监测项目(2008).

作者简介: 颜云榕(1975–), 博士研究生, 讲师, 主要从事渔业资源评估与鱼类摄食生态研究. E-mail: yanyr@gdou.edu.cn

通讯作者: 卢伙胜(1948–), 教授, 主要从事渔业资源开发与保护研究. E-mail: luhs@gdou.edu.cn

1.2 年龄鉴定

本研究共收集斑鳍白姑鱼样本 626 尾, 按照海洋调查规范(GB12763.3-91)^[11]测定和记录其体长、全长、体质量、纯体质量、性腺质量、性腺成熟度以及胃饱满度, 并摘取鳞片和矢耳石作为年龄鉴定的硬质材料。采集鳞片 10~20 枚, 当即用 5%氢氧化钠溶液浸泡 5 min, 洗去黏连的组织残余, 然后清水冲净, 拭干后装入有编号的小密封袋带回实验室。实验室内, 鳞片先用 50%酒精

浸洗 5~10 min, 清水洗净, 用试纸拭干, 制成载波片, 以备观察。观察时, 取出制备好的载波片置于Nikon ZOOM645S体式显微镜(物镜×0.8, ×1, ×2, ×3, ×4, ×5; 目镜×10)下, 采用CCD进行拍照, 以备观察和轮径测量。鳞片上年轮数与年龄关系采用常规方法记录, 0⁺~1 记为 1 龄鱼, 1⁺~2 记为 2 龄鱼, 依次类推^[12]。全部鳞片由 2 名观察者分别独立计数, 取其相同的观测值。本研究共鉴定出 526 尾, 占总样本的 84.03%。

表 1 北部湾斑鳍白姑鱼采样情况表
Tab.1 Sampling information of *Pennahia pawak* in Beibu Gulf

采样日期 sampling date	数量/ind number	体长范围/mm standard length range	体质量范围/g body weight range	优势体长组/mm dominant length group	采样站点 sampling location	作业类型 fishing type	主要作业渔区 main fishing area
2008-08-19	66	110-177	34.99-141.34	130-160	广西北海 Beihai, Guangxi	底拖网 bottom trawl	108°20'-109°20' E 19°30'-21°10' N
2008-09-21	86	83-146	12.9-82.3	90-120	广西北海 Beihai, Guangxi	底拖网 bottom trawl	108°20'-109°20' E 20°30'-21°10' N
2008-10-25	54	94-246	22.9-401.4	140-170	广西北海 Beihai, Guangxi	底拖网 bottom trawl	108°20'-109°20' E 20°30'-21°10' N
2008-11-16	57	108-205	28.9-212.2	110-140	广西北海 Beihai, Guangxi	底拖网 bottom trawl	108°20'-109°20' E 19°30'-21°10' N
2008-12-14	55	124-185	44.9-177.2	120-150	广西北海 Beihai, Guangxi	底拖网 bottom trawl	108°20'-109°20' E 20°30'-21°10' N
2009-01-02	50	125-225	49.2-274.9	120-150	广西北海 Beihai, Guangxi	底拖网 bottom trawl	108°20'-109°20' E 20°30'-21°10' N
2009-02-15	44	164-234	119.1-267.7	130-170	广西北海 Beihai, Guangxi	底拖网 bottom trawl	108°20'-109°20' E 20°30'-21°10' N
2009-03-21	55	110-183	31.1-177.4	170-200	广西北海 Beihai, Guangxi	底拖网 bottom trawl	107°20'-109°20' E 19°30'-20°30' N
2009-04-25	50	123-182	37.8-129	120-160	广西北海 Beihai, Guangxi	底拖网 bottom trawl	108°20'-109°20' E 20°30'-21°10' N
2009-04-30	42	113-180	30.0-143.9	120-160	广西北海 Beihai, Guangxi	底拖网 bottom trawl	108°20'-109°20' E 20°30'-21°10' N
2009-05-01	38	113-197	34.1-135	140-160	海南三亚 Sanya, Hainan	钓具 fishing tackle	108°-108°50' E 17°30'-18°50' N
2009-05-02	29	169-215	102.8-233.5	140-180	海南八所 Basuo, Hainan	流刺网 drift-gill net	107°15'-107°50' E 18°30'-19°50' N

1.3 生长特性

1.3.1 边缘增长率 为研究斑鳍白姑鱼鳞片边缘的周年增长速度以了解其生长规律, 以及确定轮纹形成的周期与时间, 本研究采用边缘增长率(Marginal Growth Increment, MGI)这一指标^[12]。MGI的计算公式为:

$$MGI = \frac{R - r_n}{r_n - r_{n-1}} \quad (1)$$

式中, R 为鳞片的半径; r_n 为鳞片从中心到最外 1 圈年轮轮纹的长度, r_{n-1} 为鳞片从中心到次外

圈年轮轮纹的长度。

1.3.2 性腺成熟指数 性腺成熟指数(Gonadosomatic Index, GSI)能够较好地反映鱼体性腺发育情况, 并据此判断繁殖时期, 其计算公式为:

$$GSI = 100(W_g/W_b)^{[13]} \quad (2)$$

式中, W_g 为性腺质量, W_b 为鱼体去掉性腺和内脏后的质量。

1.3.3 体长与体质量关系 斑鳍白姑鱼的体长-体质量关系用幂函数关系式表示:

$$W_i = a(L_i)^b \quad (3)$$

式中, L_i 是个体的体长; W_i 是 L_i 相对应的体重; a 和 b 是 2 个待确定的参数。

1.3.4 相对增长率与生长指标 相对增长率和生长指标, 能够较好地反映鱼类生长阶段性的特征参数^[14], 客观反映鱼类的生长特性^[15]。斑鳍白姑鱼体长相对增长率和生长指标的计算公式^[16]分别为:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{L_n - L_{n-1}}{L_{n-1}} \times 100 \quad (4)$$

$$G = \frac{\ln L_n - \ln L_{n-1}}{(t_n - t_{n-1})} \times L_{n-1} \quad (5)$$

式中, ΔL 为年体长增长量, L_n 和 L_{n-1} 分别为相邻 2 年 t_n 、 t_{n-1} 龄的体长。

1.3.5 生长方程与参数估计 以往的研究表明, 对于南海北部主要经济鱼类, 用 von Bertalanffy 生长模型拟合鱼类生长时所得结果是最差的^[16]。斑鳍白姑鱼的生长用 4 个变动后的生长方程来描述, 并从中选取最适生长方程:

$$\text{VBGF: } L_t = L_\infty \cdot \{1 - \exp[-K(t_i - t_0)]\} + \varepsilon \quad (6)$$

$$\text{Logistic GF: } L_t = \frac{L_\infty}{1 + \exp[-K(t_i - t_0)]} + \varepsilon \quad (7)$$

$$\text{Gompertz GF: } L_t = L_\infty \cdot \exp\{-\exp[-K(t_i - t_0)]\} + \varepsilon \quad (8)$$

$$\text{generalized VBGF: } L_t = L_\infty [1 - e^{-K(t_i - t_0)}]^p + \varepsilon \quad (9)$$

采用最大似然法估计生长模型的参数。假设生长模型残差分布形式为正态分布, 对于每个生长模型, 年龄体长数据的似然值为:

$$L(\bar{L} | L_\infty, K, t_0, \sigma^2) = \prod_{i=1}^N \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[L_i - f(L_\infty, K, t_0, t_i)]^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (10)$$

(6)–(9) 式分别为 von Bertalanffy 生长方程 (VBGF)、Logistic 生长方程 (Logistic GF)、Gompertz 生长方程 (Gompertz GF) 和一般的 von Bertalanffy 生长方程 (generalized VBGF)^[16]。(6)–(10) 式中, L_∞ 为渐近体长, K 为生长曲线的平均速率, t_0 为假设的理论生长起点年龄, p 为待定参数; ε 为加性误差, $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ 。

1.3.6 模型选择 一般来说, 在描述鱼类的生长时通常会选用一个比较合适的数学方程。本研究利用 AIC (Akaike's information criterion, 赤井信息准则参数)^[18]、AIC 差值 (赤井信息准则参数差值,

Δ_i)^[19] 以及 BIC (Bayesian information criterion, 贝叶斯信息准则参数)^[20] 检验大头白姑鱼的最适生长模型。AIC^[21–22]、 Δ_i 和 BIC 计算公式分别为:

$$\text{AIC} = -2\ln L(p_1, \dots, p_m, \sigma^2) + 2m \quad (11)$$

$$\Delta_i = \text{AIC}_{C,i} - \text{AIC}_{C,\min} \quad (12)$$

$$\text{BIC} = -2\ln L(p_1, \dots, p_m, \sigma^2) + m \ln(n) \quad (13)$$

其中, 公式 (12) 的 AIC_C 计算公式^[19]为:

$$\text{AIC}_C = \text{AIC} + 2[m'(m'+1)]/(n-m'-1) \quad (14)$$

式 (11)–(14) 中: m 为模型参数; $m' = m+1$ (除模型参数外还包括残差项 σ^2); n 为样本尾数; $\ln L(p_1, \dots, p_m, \sigma^2)$ 为似然值的对数; AIC 值或 BIC 值最小者为最适模型。

式 (12) 中, $\text{AIC}_{C,i}$ 为各模型的 AIC_C 值, $\text{AIC}_{C,\min}$ 为最小的 AIC_C 值。对于给定的数据, 一个模型获得支持的水平为: 当 $\Delta_i < 2$ 时, 模型获得足够支持, 可以考虑用于推断; 当 $4 < \Delta_i < 7$ 时, 模型几乎得不到支持, 模型间存在差异; 当 $\Delta_i > 10$ 时, 模型得不到支持, 足以证明模型间存在实质差异^[19]。

为检验斑鳍白姑鱼雌雄群体间是否存在生长的显著性差异, 本研究采用了残差平方和 (Analysis of the Residual Sum of Squares, ARSS) 的方法^[23]。

2 结果与分析

2.1 年轮特征

北部湾斑鳍白姑鱼鳞片属栉鳞, 前区 (基区) 埋入鳞囊内, 后区 (顶区) 裸露于皮肤外, 鳞片侧区被上下鳞覆盖, 鳞焦偏于后区。后区边缘有数行细齿, 排列成辐射型。

2.1.1 年轮 斑鳍白姑鱼鳞片上的年轮, 在体视显微镜 8 倍下显示为带状的空白型, 相邻的 1 个疏环带和 1 个密环带构成了 1 年的生长。年龄较小时年轮带状明显, 年龄较大时年轮逐渐成线型, 生长线排列紧密 (图 1)。在体视显微镜 40 倍下进行细微观察, 则年轮以多种形态特征出现, 如少数的双带型、阴暗型等, 但以空白型为主。其中空白型年轮具有 4 种伴随轮纹出现: 空白型、空白切割型、空白疏密型和空白断裂型 (图版 I)。

2.1.2 副轮 由于北部湾海域为亚热带、热带海域, 热带气旋影响较为剧烈, 风浪天气较多, 斑鳍白姑鱼鳞片上的副轮出现较多且明显 (图版

I-7), 形态与年轮较为相似, 但没有年轮清晰, 多出现在顶区, 需认真辨认。

2.1.3 幼轮 斑鳍白姑鱼的部分鳞片上出现幼轮, 容易与第 1 轮混淆, 本研究根据鳞片与体长逆算关系进行确定。根据逆算结果, 幼轮的逆算体长在 40~60 mm 之间, 且在 1~2 龄鱼的鳞片上出现, 位置在鳞径 45% 以下, 不符合年轮间距变化趋势(图版 I-8)。

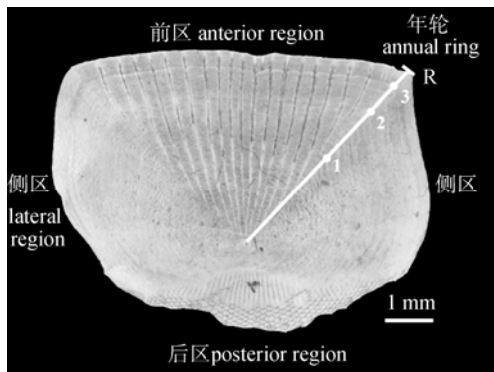


图 1 斑鳍白姑鱼鳞片的测量示意图

Fig.1 Measurement axis of scale of *Pennahia pawak*

2.2 边缘增长率与性腺成熟指数

各月标本按式(1)计算各轮组的边缘增长率(MGI), 其逐月变化如图 2 所示, 各轮值变化规律基本为 1 年 1 个周期。1 轮样本 MGI 最大值为 0.46, 小于 2 轮及 2 轮以上的 MGI 最大值(1.55~1.67)。MGI 值由 10 月至翌年 3 月处于较高位置, 1 轮 MGI 值平均在 0.18~0.39 之间, 2 轮平均在 0.50~0.76 之间, 3~5 轮平均在 0.47~1.34 之间, 其中 10 月或 11 月出现高值, 分别达最大值 0.39(1 轮)、0.76(2 轮)和 1.34(3~5 轮)。5~11 月随着鳞片空白型轮纹先后出现, MGI 值分别下降到 0.12~0.16(1 轮)、0.14~0.47(2 轮), 其中 1 轮 11 月份最低, 为 0.12, 2 轮 9 月最低为 0.14, 表明 1 龄鱼的年轮形成时间较晚, 主要集中在 11 月, 2 龄年轮形成时间主要集中在 9 月, 3 龄及以上鱼体样本难以采集, 本研究中 MGI 变化趋势不明显。由此可基本判断, 9~11 月为斑鳍白姑鱼年轮形成的主要时期。

从斑鳍白姑鱼的性腺成熟指数(GSI)来看(图 3), 斑鳍白姑鱼的 GSI 在 4 月、5 月和 8 月相对较

高, 雌性平均值为 2.78%~3.58%, 雄性平均值为 0.28%~0.32%, 最高峰值均出现在 4 月, 雌性和雄性分别达 3.58%和 0.32%, 初步判断斑鳍白姑鱼的繁殖季节在 4~8 月份。北部湾的斑鳍白姑鱼主要被拖网和三重流刺网所渔获, 因受 2008 年南海三重流刺网开始休渔的影响, 6 月和 7 月没有采集到有效样本数, 这 2 个月的具体繁殖情况有待于另外采样进行补充性研究。斑鳍白姑鱼的年轮主要形成时期在繁殖季节过后, 以其鉴定的年龄为实足年龄, 可以代表 1 年的生长。

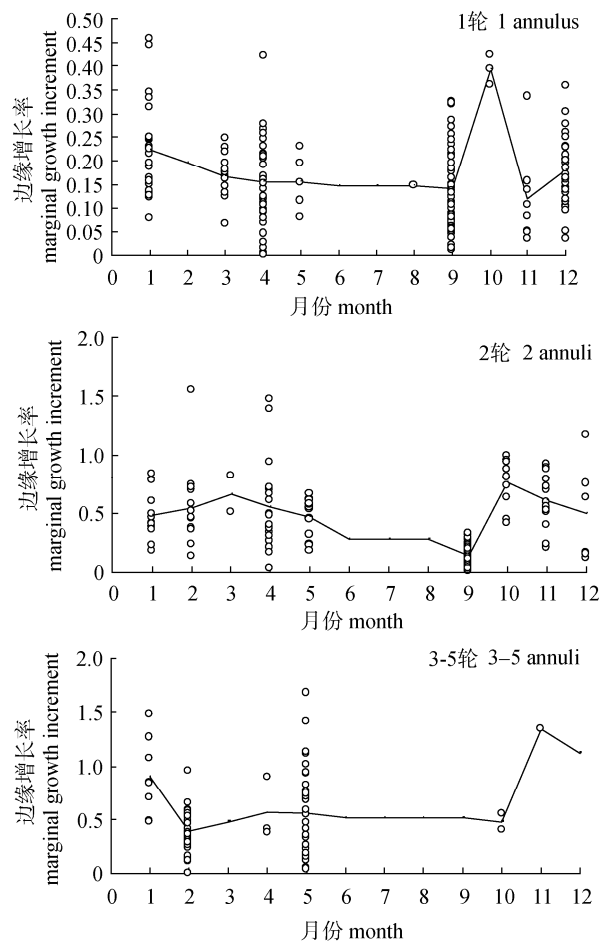


图 2 斑鳍白姑鱼鳞片边缘增长率的月变化

Fig. 2 Monthly changes in marginal growth increment (MGI) for scales of *Pennahia pawak*

2.3 逆算体长

斑鳍白姑鱼逆算的年龄组的体长如表 2 所示。根据 1 轮到 5 轮鳞片逆算体长, 出现鳞片当轮的, 其逆算体长以首次出现本轮的逆算体长为

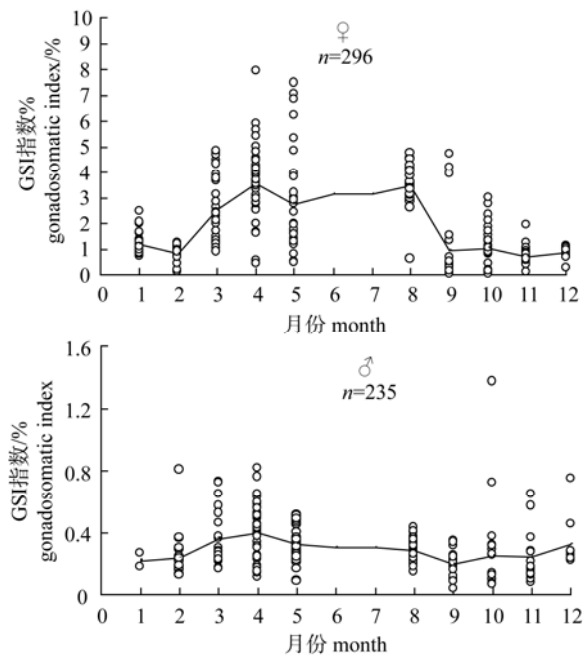


图 3 斑鳍白姑鱼性腺成熟指数的月变化
Fig 3 Monthly changes in gonadosomatic index(GSI) of *Pennahia pawak*

最大, 同一年轮的体长随年龄从小到大呈现逐渐递减的趋势。斑鳍白姑鱼的逆算绝对体长增长与相对增长率也随着年龄的逐渐增大而依次出现逐渐递减趋势, 3 龄后体长增长明显趋于缓慢。

2.4 生长方程

根据鳞片鉴定的年龄与相应体长, 利用 ARSS 进行雌雄差异性检验, 结果表明, 斑鳍白姑鱼在方程 VBGF、Logistic GF、Gompertz GF 和

Generalized VBGF 中雌雄个体的生长均没有显著性差异 ($F < F_{0.05, 4, 7} = 4.120\ 3, P > 0.05$, 表 3), 因而将体长 - 年龄关系数据混合在一起进行分析。斑鳍白姑鱼的样本体长如表 4 所示。体质量与体长呈幂函数增长关系, 关系式为: $W_t = 5.385 \times 10^{-5} L_t^{2.836\ 8}$ ($R^2 = 0.940\ 3, n = 640, P < 0.001$; 图 4)。

4 个生长模型的检验结果表明, Logistic GF 的 AIC、AIC_c 和 BIC 均为最小值 (表 5), 因而 Logistic GF 为最适生长模型, 较其他生长模型更能表达斑鳍白姑鱼的生长特性, 其体长的生长曲线如图 5 所示。

2.5 相对增长率和生长指标

北部湾斑鳍白姑鱼的体长相对增长率和生长指标如表 6 所示。可以看出, 3 龄之前斑鳍白姑鱼生长迅速, 体长相对增长率和生长指标的值较高; 4~5 龄后生长依然较为迅速, 但是与 3 龄相比较明显减缓。

3 讨论

3.1 年龄确定

利用鳞片来鉴定鱼类年龄开始于 19 世纪^[24], 由于材料方便易取和具有较高的可读性而得到广泛应用, 例如南海水产研究所 20 世纪 60 年代利用底拖网周年样本对南海北部(海南岛以东)的金线鱼(*Nemipterus virgatus*)、红鳍笛鲷(*Lutianus oryopterus* Bloch)、二长棘鲷(*Evynnis cardinalis*)、

表 2 斑鳍白姑鱼各年轮组的逆算体长
Tab. 2 Back-calculated fish length at each annuli group of *Pennahia pawak*

年轮组 annuli group	体长/mm fish length					$\bar{x} \pm SD$ <i>n</i>
	<i>L</i> ₁	<i>L</i> ₂	<i>L</i> ₃	<i>L</i> ₄	<i>L</i> ₅	
1	112.05±13.98					162
2	116.81±14.32	143.32±12.99				90
3	108.09±14.88	148.42±14.30	175.07±12.22			50
4	108.46±14.17	140.01±15.09	169.99±15.96	193.97±15.79		12
5	104.28±8.31	140.01±9.76	165.39±10.53	184.87±9.85	200.06±7.59	20
逆算体长/mm back-calculated length	109.42±14.26	144.31±13.35	172.09±12.85	188.20±12.89	200.06±7.59	
绝对增长/mm absolute increase		34.89	27.78	16.11	11.86	
相对增长/% relative increase		31.89	19.25	9.36	6.30	

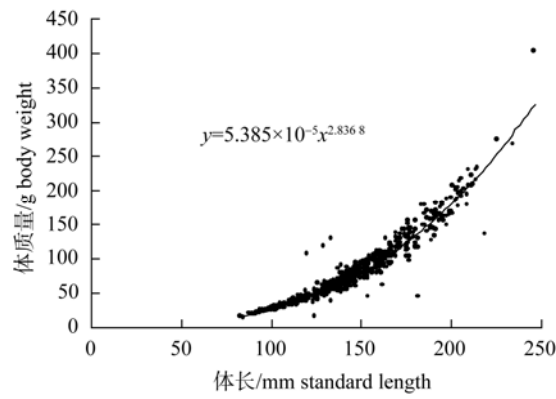


图 4 斑鳍白姑鱼体质量与体长关系

Fig. 4 Relationship between body weight and body length of *Pennahia pawak*

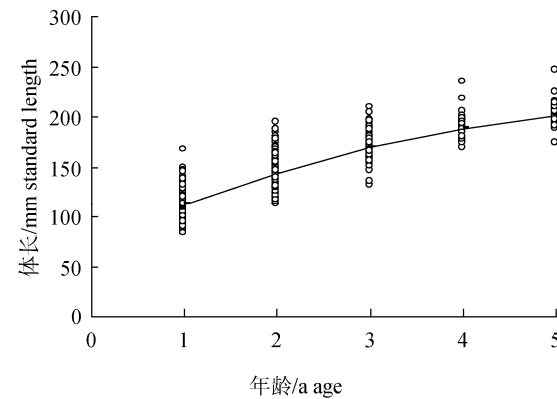


图 5 斑鳍白姑鱼的体长生长曲线

Fig. 5 Growth curve of standard length of *Pennahia pawak*

表 3 斑鳍白姑鱼的雌雄差异显著性检验

Tab.3 Comparison between male and female *Pennahia pawak* by means of RSS

生长方程 growth function	RSS _p	df	RSS _s	df	F	P
VBGF	118.96	7	37.16	4	2.935	P>0.05
Logistic GF	113.86	7	29.84	4	3.754	P>0.05
Gompertz GF	115.46	7	32.57	4	3.393	P>0.05
Generalized VBGF	122.10	7	36.40	4	3.139	P>0.05

注: RSS_s为雌雄年龄组生长方程的残差平方和, RSS_p为雌雄混合的残差平方和总和, df为模型自由度。
Note: RSS_s is the residual sum of squares of all females and males growth functions, while RSS_p is the pool of sum of the squares of all females and males. df stands for freedom degree of the model.

多齿蛇鲻(*Saurida tumbil*)、蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*)等 11 种经济鱼类年龄和生长作了细致的研究^[25]。陈佩熏^[26]、邓中焱等^[27]、张其永等^[28]和Carlander^[29]学者对鱼类的鳞片作为鉴定年龄的材料也作过深入研究,认为通过辨认和分析鳞片上的年轮(排除幼轮和副轮干扰),可以很好地分析鱼类的生长特性。

一般认为,鱼类的硬质部分如鳞片或耳石上的年轮,是由于海洋环境条件(如水温等)的周年强烈波动而造成的。传统认为在热带水域并不具备这种明显的季节更替,所以利用硬质部分进行热带水域的年龄鉴定不可靠。Sparre等^[30]认为利用年轮(季节轮)来获得热带水域鱼类的年龄的确困难,但并非不可能,如果辅以利用较为复杂的耳石日轮技术进行分析将更为准确。本研究中采集的北部湾斑鳍白姑鱼,主要渔获海域位于 18°30'N–21°10'N, 107°15'E–109°20'E(表 1),与南海北部鱼类处于相近的亚热带纬度位置^[25],且整个北部湾

的表层水温月份间约有 10℃的变化^[31],海洋气候变化较为明显。Longhurst假设 1 个硬质部分年轮的形成需要至少 4℃的季节水温变动,Newman后来证实 6℃的季节水温变动已经足够 1 个年轮的形成^[32],因而北部湾从高温到低温的水温变化,已基本构成年轮所需的季节温度变化条件。

本研究根据各年轮组边缘增长率(MGI)的逐月变化规律,初步判断北部湾斑鳍白姑鱼的年轮是 1 年形成 1 轮。年轮形成的主要时期为 5–9 月,而繁殖期为 4–8 月,因而本研究中利用鳞片鉴定的斑鳍白姑鱼年龄与足龄基本吻合,可以代表 1 年的生长。由于 6–7 月禁渔期的影响,没有采集到该月份的样本,同时过度捕捞造成采集大龄样本较为困难,因而这 2 个月份的 MGI 和 GSI 有待于进一步采样补充验证。

3.2 模型选择

鱼类的生理学生长过程是 2 个相反的过程机制,即同化作用和异化作用。在鱼类种群动力学

表 4 斑鳍白姑鱼样本体长与年龄数据
Tab. 4 Standard length and age for *Pennahia pawak* in Beibu Gulf

体长/mm standard length	年龄/龄 age					总计 total
	0 ⁺ -1	1 ⁺ -2	2 ⁺ -3	3 ⁺ -4	4 ⁺ -5	
80-90	6					6
90-100	22					22
100-110	30					30
110-120	44	8				52
120-130	29	21				50
130-140	20	44	3			67
140-150	8	72	1			81
150-160	0	46	10			56
160-170	1	26	16	2		45
170-180		5	27	5	1	38
180-190		2	10	4	2	18
190-200		1	7	14	8	30
200-210			2	3	16	21
210-220				1	6	7
220-230					1	1
230-240				1		1
240-250					1	1
<i>n</i>	160	225	76	30	35	526
$\bar{X}$	115.95	146.53	172.86	191.75	204.00	
SD	15.39	14.02	15.15	13.74	11.88	
CV/%	13.28	9.57	8.77	7.17	5.83	

注: *n* 为各年龄组样本个数; $\bar{X}$ 为各年龄组的样本体长平均值; SD 为标准差; CV 为变异系数。

Note: *n* stands for the number of each age group; $\bar{X}$ means the average standard length; SD means standard error and CV means coefficient of variance.

研究中, 需要用数学方程表述鱼体的这种双向机制的生理过程, 或者说, 用一些特定的生长参数定量描述鱼体的生长特性。由鱼类生长数据拟算的这些生长参数, 可以被用来分析与评价渔业资源状况, 以及判断目标鱼种是否已经或者即将对当前的渔业开发率产生反馈效应^[33]。为了定量研究鱼类生长参数和描述鱼类种群生长特性, 一些常规模型已经被用来拟合体长数据与数学方程^[34], 例如VBGF、Logistic GF、Gompertz GF和Generalized VBGF等。有时仅仅基于经验关系, 这些生长方程就直接被用来分析种群鱼类个体的生长, 同时这些生长方程在连接表述同化和异化生理过程中存在一定的理论偏差, 因而何种生长模型较为合适引起广泛关注 and 争论。例如Chen等^[23]研究认为, VBGF在拟合鱼类年龄与体长数据时应用较多, 并且比其他的生长方程在描述鱼类生长时更具有适应性, 所以死亡参数估算和动态综合模型(B-H模型)建模都是基于VBGF的模型参数^[35], 但是其他模型例如Logistic GF和Gompertz GF则能比VBGF能更好地描述水生动物的绝对增长; 而费鸿年等^[16]研究南海鱼类时则认为VBGF拟合生长时所得结果最差。因而, 对于目标鱼类的年

表 5 参数比较与模型检验
Tab. 5 Comparison of parameters and growth models

生长方程 growth function	性别 sex	<i>m'</i>	<i>L_∞</i>	<i>K</i>	<i>t</i> ₀	AIC	AIC _c	Δ _i	BIC
Logistic GF	总体 total	4	220.32	0.58	0.905	3338.805	3340.882	0.000	3351.061
	♀		225.02	0.487	0.842	1557.083			
	♂		220.71	0.592	0.795	1095.887			
Gompertz GF	总体 total	4	234.62	0.412	0.156	3339.314	3341.391	0.509	3352.110
	♀		242.47	0.337	-0.018	1557.063			
	♂		233.42	0.428	0.057	1096.999			
Generalized VBGF	总体 total	5	252.41	0.271	-1.502	3340.184	3342.299	1.418	3359.245
	♀		273.44	0.192	-1.925	1557.105			
	♂		236.72	0.388	-3.614	1097.273			
VBGF	总体 total	4	256.38	0.253	-1.370	3340.267	3342.344	1.462	3353.069
	♀		272.12	0.195	-1.953	1557.103			
	♂		251.21	0.274	-1.36	1108.059			

注: *m'* 为模型参数; *L_∞* 为渐近体长; *K* 为生长曲线的平均速率; *t*₀ 为初始年龄; AIC 为赤井信息准则参数 1^[18]; AIC_c 为赤井信息准则参数 2; Δ_i 为赤井信息参数差值; BIC 为贝叶斯信息准则参数。N=526 尾, ♀=250 尾, ♂=172 尾, 幼鱼+不分=104 尾。

Note: *m'* is the model parameter. *L_∞* is the asymptote length. *K* is the average growth rate of growth curve. *t*₀ is the theoretical original growth age. AIC is Akaike's information criterion 1. AIC_c is Akaike's information criterion 2. Δ_i is difference of AIC and AIC_c. BIC is Bayesian information criterion. N=526 ind., ♀=250 ind., ♂=172 ind. The juvenile fish and unidentified ones are 104 individuals.

表 6 北部湾斑鳍白姑鱼的体长相对增长率和生长指标
Tab. 6 Relative increment rate and growth index of body length of *Pennahia pawak* in Beibu Gulf

年龄/a age	体长/mm standard length	ΔL	$\Delta L/L$	G
1	115.95	115.95		
2	146.53	30.58	26.37	27.14
3	172.86	26.33	17.97	24.21
4	191.75	18.89	10.93	17.93
5	204	12.25	6.39	11.87

注: L 表示体长; ΔL 表示年体长增长量; G 表示生长指标。

Note: L is the standard length. ΔL is the annual standard length addition. G is growth index.

龄体长数据, 如何选择最适的生长模型以描述鱼类的生长过程引起广泛关注^[36-39]。而在模型选择中, 一些统计性准则参数如AIC^[17-18]、AIC差值^[20]和BIC^[20]等得到了较为广泛的应用。

本研究利用AIC、 Δ_i 及BIC检验大头白姑鱼的最适生长模型, 结果表明Logistic GF的AIC、 Δ_i 以及BIC值均为最小(表 6), 所以Logistic GF为北部湾斑鳍白姑鱼的最适生长模型, 较Gompertz GF、Generalized VBGF和VBGF能够更好地体现该种鱼类的生长。在所选择的 4 个变动后的生长方程中, VBGF的应用前提是在鱼体同化和异化双向生理作用时体长-体质量关系为匀速增长关系, 即 b 值为 3, 而本研究中斑鳍白姑鱼的 b 值为 2.836 8, 体长-体质量的生长不是典型的匀速增长关系, 检验也表明特殊的VBGF在描述其生长时较其他模型不适宜(表 5), 这与费鸿年等^[16]的研究结果是一致的。Gompertz GF一般服从FOX模型, 为指数生长曲线, 较适用于生命周期较短的 r 选择生物种类, 而斑鳍白姑鱼的最大年龄为 5 龄, 不属于 r 选择, 可能不适用。Logistic GF较多地考虑了环境容纳量问题, 在北部湾半封闭海湾特定的环境范围内, 其生长与环境的最大容纳量具有密切的关系。

根据AIC差值排序来看, Gompertz GF、Generalized VBGF和 VBGF的 Δ_i 分别为 0.509, 1.418 和 1.462, 这些模型也获得一定的支持水平^[19], 模型差异不太明显。造成这一分析结果的原因,

是由于北部湾斑鳍白姑鱼栖息分布的范围研究资料很少, 实际采样样本较少, 中方海域也难以采集到幼鱼样本(缺乏禁渔期 6-7 月样本), 造成其生长模型的 t_0 值不够收敛和各模型间的误差项和差异不明显, 有待于今后北部湾渔业资源专项调查中进一步采集样本进行补充验证。

3.3 生长特性

体长的相对增长率和生长指标表明, 北部湾斑鳍白姑鱼在 3 龄之前, 生长迅速, 3 龄后生长趋于减缓, 因而 3-5 龄为北部湾斑鳍白姑鱼资源开发利用的最佳阶段, 最适开捕体长为 172.86 mm。以卵巢Ⅲ期为性成熟标准, 斑鳍白姑鱼的雌性最小性成熟体长为 115 mm, 50%性腺成熟体长^[40]计算结果为 115.34 mm(图 6), 与 1 龄鱼实测体长相近, 即斑鳍白姑鱼在 1 龄左右性成熟。为保护产卵补充群体和合理开发利用北部湾的渔业资源, 以及考虑实际渔业生产状况, 建议将体长 146.53 mm(2 龄)作为最小开捕体长标准。

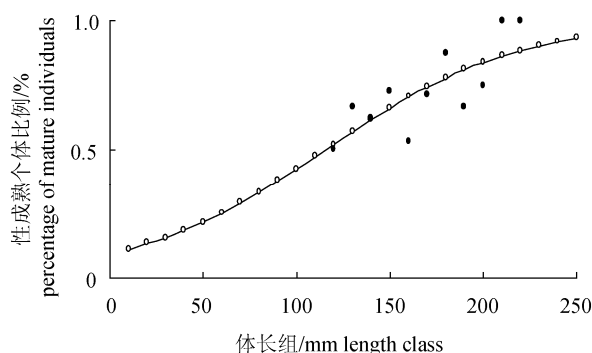


图 6 北部湾斑鳍白姑鱼各体长组性腺成熟个体比例

Fig. 6 Proportion of mature individuals in each length class of *Pennahia pawak* in Beibu Gulf

参考文献:

- [1] 张汉科. 闽中渔场白姑鱼的年龄与生长特性[J]. 台湾海峡, 1987(3): 269-274.
- [2] 胡雅竹, 钱世勤. 白姑鱼年龄和生长的研究[J]. 海洋渔业, 1989, 11(4): 158-162.
- [3] 陈作志, 邱永松, 黄梓荣. 南海北部白姑鱼生长和死亡参数的估算[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 712-716.
- [4] Yamaguchi A, Todoroki T, Kume G. Reproductive cycle, sexual maturity and diel-reproductive periodicity of white croaker, *Pennahia argentata* (Sciaenidae), in Ariake Sound,

- Japan [J]. Fish Res, 2006, 82: 95–100.
- [5] 张波, 金显仕, 戴芳群. 长江口两种重要石首鱼类的摄食习性[J]. 动物学报, 2008, 54(2): 209–217.
- [6] Han, Z Q, Gao T X, Zhuang Z M, et al. Genetic variation among white croaker populations [J]. J Ocean Univ Chin, 2008, 7(1): 72–76.
- [7] Han Z, Shui B, Wang Z, et al. Analysis of genetic structure of white croaker using amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers[J]. Afr J Biotechnol, 2009, 18: 308–315
- [8] Han Z, Gao T, Yanagimoto T, et al. Deep phylogeographic break among white croaker *Pennahia argentata* (Sciaenidae, Perciformes) populations in North-western Pacific[J]. Fish Sci, 2008, 74: 770–780.
- [9] Yamada H, Yamada U. Descriptive morphology of juvenile stages of two sciaenids, *Miichthys miiuy* and *Pennahia macrocephalus*, from the East China Sea [J]. Ichthyol Res, 1999, 46(1): 93–99.
- [10] Yan Y R, Wu Y F, Lu H S, et al. Using otolith weight to predict the age of *Pennahia macrocephalus* in the mouth of the Beibu Gulf [J]. Chin J Oceanol Limnol, 2009, 27(2): 342–349.
- [11] 国家技术监督局. 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.
- [12] 苏锦祥. 鱼类学与海水鱼类养殖[M]. 北京: 农业出版社, 1982: 276–279.
- [13] Monteiro P, Bentes L, Coelho R, et al. Age and growth, mortality, reproduction and relative yield per recruit of the bogue, *Boops boops* Linné, 1758 (Sparidae), from the Algarve (south of Portugal) longline fishery[J]. J Appl Ichthyol, 2006, 22: 345–352.
- [14] 高天翔. 青岛近海青鳞鱼年龄、生长与死亡特征的研究[J]. 海洋湖沼通报, 1993(4): 86–92.
- [15] 张其永, 李福振, 杜金瑞. 厦门杏林湾鳊鱼年龄和生长的研究[J]. 水产学报, 1981, 5 (2): 121–132.
- [16] 费鸿年, 张诗全. 水产资源学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990: 156–285.
- [17] Cerrato R. M. Interpretable statistical tests for growth comparisons using parameters in the von Bertalanffy equation[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1990, 47: 1416–1426.
- [18] Bozdogan H. Model selection and Akaike's Information Criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions[J]. Psychometrika, 1987, 52(3): 345–370.
- [19] Burnham K P, Anderson D R. Model selection and multi - model inference: a practical information-theoretic approach[M]. New York: Springer, 2002: 49–89.
- [20] Schwarz G. Estimating the dimension of a model[J]. Ann Stat, 1978, 6: 461–464.
- [21] Imai C, Sakai H, Katsura K, et al. Growth model for the endangered cyprinid fish *Tribolodon nakamurai* based on otolith analyses[J]. Fish Sci, 2002, 68(4): 843–848.
- [22] Quinn T J, Deriso R B. Quantitative fish dynamics[M]. London: Oxford University Press, 1999.
- [23] Chen Y, Jackson A D, Harvey H H. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in the modeling fish growth data [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1992(49): 1228–1235.
- [24] Hubert W A, Gero T. Baxter and Mark Harrington. Comparison of age determinations based on scales, otoliths and fin rays for cutthroat trout from Yellowstone Lake [J]. Northw Sci, 1987, 61(1): 32–36.
- [25] 南海水产研究所. 南海北部底拖网鱼类资源调查报告(海南岛以东) [R]. 南海水产研究所, 1966: 1–298.
- [26] 陈佩熏. 梁子湖鲤鱼鳞片年轮的标志及形成时期[J]. 水生生物集刊, 1959(3): 255–261.
- [27] 邓中彝, 余志堂, 许蕴珩, 等. 汉江主要经济鱼类的年龄和生长[M]//鱼类学论文集(第一辑), 科学出版社, 1981: 97–118.
- [28] 张其永, 张雅芝. 闽南—台湾浅滩二长棘鲷年龄和生长研究. [J] 水产学报, 1983(2): 131–143.
- [29] Carlander K D. A history of scale age and growth studies of North American freshwater fish[M]//Summerfelt R C, Hall G E. Age and Growth in Fish. Ames: Iowa State University Press, 1987: 1–21.
- [30] Sparre P, Venema S C. 热带渔业资源评估导论[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1992: 52–56.
- [31] Hou G, Feng B, Lu H, et al. Age and growth of crimson sea bream *Paragyrops edita* Tanaka in Beibu Gulf[J]. J Ocean Univ Chin, 2008, 7(4): 457–465.
- [32] Newman S J, Cappo M, Williams D M. Age, growth, mortality rates and corresponding yield estimates using otoliths of the tropical red snappers, *Lutjanus erythropterus*, *L. melabarius* and *L. sebae*, from the Great Barrier Reef[J]. Fish Res, 2000, 48: 1–14.
- [33] Hilborn R, Waters C J. Quantitative fisheries stock assessment, choice, dynamics and uncertainty. [M] New York: Chapman and Hall, 1992: 409–433.
- [34] Urban H J. Modeling growth of different developmental stages in bivalves [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2002, 238: 109–114.

- [35] Morales-Nin B, Moranta J. Life history and fishery of the common dentex (*Dentex dentex*) in Mallorca (Balearic Islands, western Mediterranean) [J]. Fish Res, 1997, 30(1-2): 67-76.
- [36] Shono H. Efficiency of the finite correction of Akaike's information criteria. [J] Fish Sci, 2000, 66: 608-610.
- [37] Imai C, Sakai H, Katsura K, et al. Growth model for the endangered cyprinid fish *Tribolodon nakamura* based on otolith analyses. [J] Fish Sci, 2002, 68:843-848.
- [38] Porch C E, Wilson C A, Nieland D L. A new growth model for red drum (*Sciaenops ocellatus*) that accommodates seasonal and ontogenic changes in growth rates. [J] Fish Bull, 2002, 100:149-152.
- [39] Granda V P, Masuda Y, Matsuoka T. Age and growth of the yellowbelly threadfin bream *Nemipterus bathybius* in Kago-shima Bay, southern Japan. [J] Fish Sci, 2004: 70:497-506.

Age and growth of pawak croaker *Pennahia pawak* in Beibu Gulf

YAN Yunrong^{1,2,3}, HOU Gang^{1,2}, LU Huosheng^{1,2}, YIN Qiqun¹

1. Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

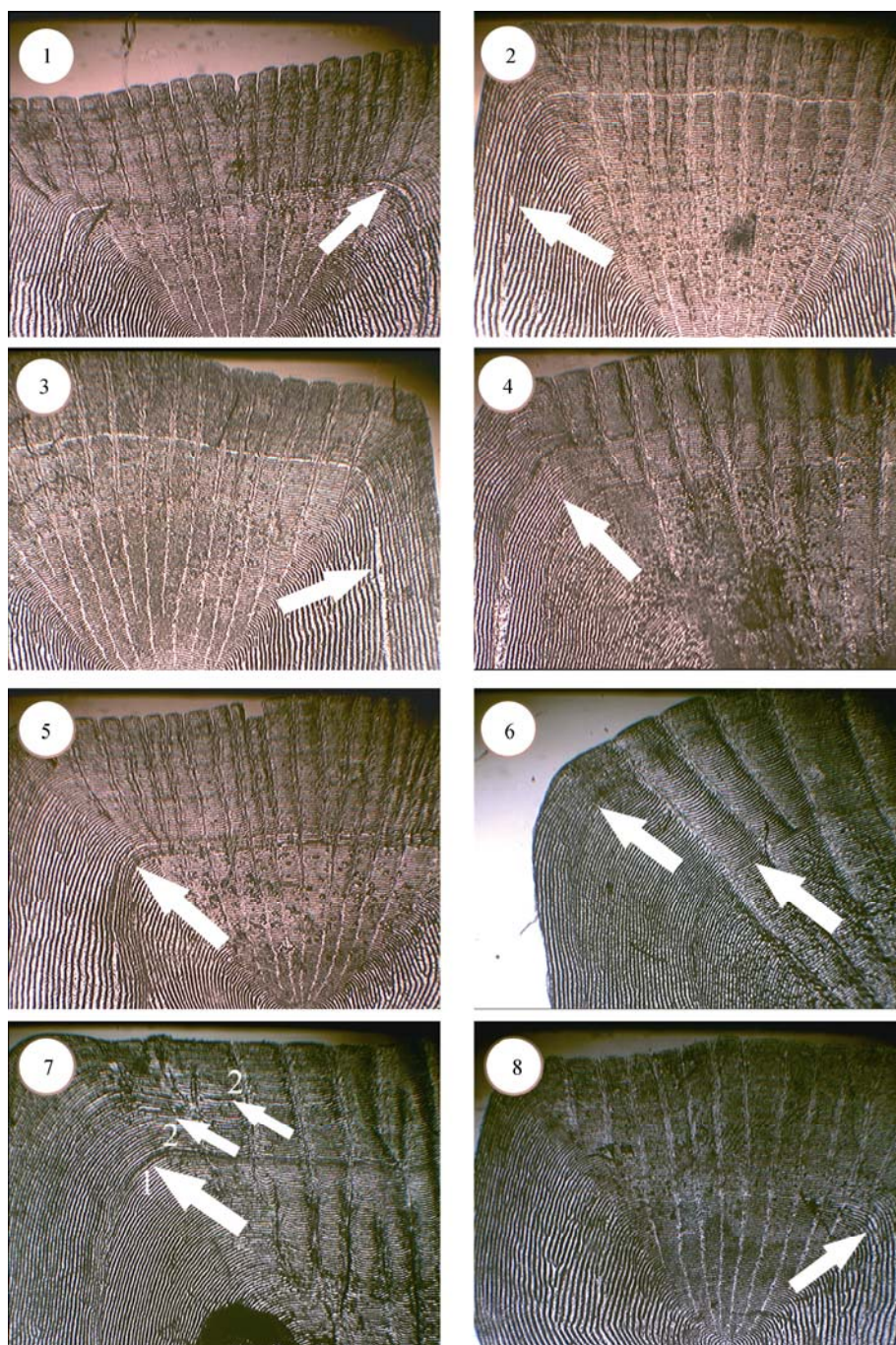
2. Center of Fisheries Resources Monitoring and Assessment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

3. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China

Abstract: To reveal the age and growth of pawak croaker *Pennahia pawak* (Lin, 1940), 626 specimens collected by fishery-dependent bottom trawl, gillnet fleets and longline fishing in the Beibu Gulf from August 2008 to May 2009 were studied. The annuli in the scales were vacant narrow band, which indicated that they were formed once a year, from September to November by monthly changes in the marginal growth increment (MGI) of the scales, just after spawning from April to August. A maximum likelihood estimation procedure was used to fit the von Bertalanffy, Logistic, Gompertz and generalized von Bertalanffy growth functions to the length-at-age data. ARSS indicated that there were no significant differences in growth between sexes among the four growth models ($P > 0.05$), and the Logistic growth function was selected as the most appropriate growth model according to Akaike's Information Criterion (AIC), AIC differences (Δ_i) and Bayesian information criterion (BIC). The estimated parameters for Logistic growth function were L_{∞} (asymptote length) = 220.32 mm, K (average growth rate of growth curve) = 0.58, t_0 (theoretical original growth age) = 0.905. *Pennahia pawak* grows fast before age three, after which the growth rate tends to slow down. In order to protect the population and utilize the resources in a reasonable way, it is suggested that 146.53 mm body length with age two should be the minimum size for exploitation and utilization of *P. pawak* resources. [Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(1): 145-155]

Key words: *Pennahia pawak*; Beibu Gulf; scale; age determination; model selection

Corresponding author: LU Huosheng. E-mail: luhs@gdou.edu.cn



图版 I 斑鳍白姑鱼鳞片的轮纹特征

1. 空白断裂型; 2. 空白切割型; 3. 空白型; 4. 双带型; 5. 空白疏密型; 6. 阴暗型; 7: 1.年轮; 2.副轮; 8. 幼轮. ($\times 400$)

Plate I Scale annulus characteristics of *Pennahia pawak*

1. Vacant-fracture type; 2. Vacant-cut type; 3. Vacant type; 4. Two-annuli type; 5. Vacant-loose-close type; 6. Dull type; 7: 1. Annuli, 2. False annuli; 8. Young annuli. ($\times 400$)