



## 基于长度贝叶斯生物量法估算北部湾二长棘鲷种群参数

王雪辉\*, 邱永松, 杜飞雁, 孙典荣, 王跃中

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部外海渔业开发重点实验室,  
广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510300)

**摘要:** 渔业数据缺乏是渔业资源评估和管理面临的难题。以 2006—2018 年北部湾二长棘鲷体长频率数据为例, 运用基于长度频率的贝叶斯生物量方法 (LBB), 估算二长棘鲷的渐近体长 ( $L_{\infty}$ )、最适开捕体长 ( $L_{c_{opt}}$ )、相对自然死亡率 ( $M/k$ ) 和相对捕捞死亡率 ( $F/k$ ) 等种群参数。结果发现, 2006—2018 年间北部湾二长棘鲷的渐近体长平均为 21.0 cm, 最适开捕体长平均为 12.6 cm, 相对死亡率  $M/k$ 、 $F/k$ 、 $Z/k$  和开发率  $E$  分别为 1.49、3.65、5.15 和 0.67。二长棘鲷的开捕体长和渐近体长的变化趋势一致, 均呈下降趋势, 且其生长速度有加快趋势。基于 LBB 估算的最适开捕体长和开发率与运用独立评估模型估算的结果基本一致。如果长度频率能代表资源开发阶段的长度组成, 使用 LBB 估算的结果将较好地反映其真实情况。基于 LBB 的研究方法可为渔业数据缺乏情况下进行渔业资源评估提供借鉴。

**关键词:** 二长棘鲷; 种群参数; 长度频率; 长度贝叶斯生物量; 数据缺乏; 北部湾

**中图分类号:** S 931

**文献标志码:** A

随着渔业资源的过度利用, 对被开发的渔业进行科学管理成为国内外各政府和组织的共识。科学的渔业管理需根据现有的生产、调查或生活史等数据评估可持续捕捞的渔获量<sup>[1-4]</sup>。但是, 多数渔业资源评估方法要求输入较多的参数或变量进行独立估算而使其推广与运用受限, 且参数或变量获取的难易程度将影响到评估的结果<sup>[5-6]</sup>。因此, 对输入要求较低的渔业资源评估方法有助于数据缺乏 (data-limited) 渔业的资源评估的开展。

长期以来, 被开发鱼类种群的大小组成 (长度频率) 一直被用于评估资源状况和渔业管理<sup>[7-9]</sup>, 也直接用于评估数据缺乏的渔业<sup>[1-4, 10-12]</sup>。基于长度贝叶斯生物量法 (length-based Bayesian biomass estimation method, LBB) 有别于其他类似的方法,

它不需要关于年龄、性成熟度、补充、生长、死亡、单位捕捞努力量渔获量 (catch per unit effort, CPUE) 或努力量等数据, 只需要能代表被评估渔业种群的长度频率 (length frequency, LF) 数据<sup>[13]</sup>。

北部湾位于南海西北部, 东接雷州半岛和海南岛, 北依广西, 西靠越南, 属热带-亚热带气候, 是天然半封闭海湾。北部湾生物资源丰富, 是我国优良的传统渔场。二长棘鲷 (*Parargyrops edita*) 主要分布于南海和东海南部, 盛产于北部湾, 是底拖网渔业的主要对象之一<sup>[14-16]</sup>。关于北部湾二长棘鲷的种群参数已有较多研究<sup>[17-24]</sup>, 并建议其开捕长度和保护对策, 也有不少研究对其分布、洄游、摄食等生态学也有过探讨<sup>[25-27]</sup>。

本实验运用 LBB 方法, 以北部湾二长棘鲷

收稿日期: 2019-10-25 修回日期: 2020-03-18

资助项目: 国家科技基础资源调查专项 (2017FY201405, 2018FY100105); 中国水产科学研究院基本科研业务费专项 (2019HY-JC0203, 2019GH02); 中越北部湾共同渔区渔业资源联合调查

通信作者: 王雪辉, E-mail: wxhscs@163.com

为例, 分析其 2006—2018 年的长度频率数据, 估算其种群参数, 并与其他独立评估方法获得的种群参数进行比较。研究结果可为渔业数据缺乏的情况下进行种群参数估算提供借鉴, 并为北部湾渔业管理提供支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验数据

所用的二长棘鲷生物学数据取自 2006—2018 年 1 月和 7 月在北部湾进行的 26 个航次底拖网渔业资源调查。该调查每航次进行 52 个站位底拖网采样 (图 1)。执行海上调查任务的调查船为“北渔 60011”单船底拖网渔船。该船总吨位为 242 t, 主机功率 441 kW, 船体长度 36.8 m, 宽度 6.8 m。采样网具为 404 型底拖网, 网具上纲长度 37.7 m, 网口网目尺寸 200 mm, 网衣全长 60.5 m, 网囊目尺寸 39 mm。采样及样本分析均按《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)进行<sup>[28]</sup>。

26 个航次共捕获二长棘鲷样本 8973 尾, 生物学测定项目包括体长、体质量、胃饱满度、

性别和性腺成熟度等。样本的生物学测定按网次进行, 每网次渔获样本数量少于 50 尾则全部测定, 多于 50 尾时则随机抽取 50 尾进行测定。

### 1.2 实验方法

采用 LBB 法分析渔获的长度频率数据, 其中所有相关参数均采用马尔可夫链-蒙特卡罗方法<sup>[13]</sup>。

假设鱼类的生长遵循 von Bertalanffy 生长方程<sup>[7]</sup>, 即

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

式中,  $L_t$  是  $t$  时的长度,  $L_\infty$  和  $k$  是生长参数,  $t_0$  是零长度时的理论年龄。

$$N_L = N_{L_{start}} \left( \frac{L_\infty - L}{L_\infty - L_{start}} \right)^{Z/k} \tag{2}$$

式中,  $N_L$  是长度  $L$  的鱼类存活数量,  $N_{L_{start}}$  是完全选择在长度  $L_{start}$  的数量, 所有进入网具的个体均保留在网具中,  $Z/k$  是总死亡率 ( $Z$ ) 与生长率 ( $k$ ) 的比值。因为长度频率数据不包含任何关于绝对丰度的信息, 当等式 (2) 的两边除以它们各自的和时, 等式保持不变。由右侧分母的和

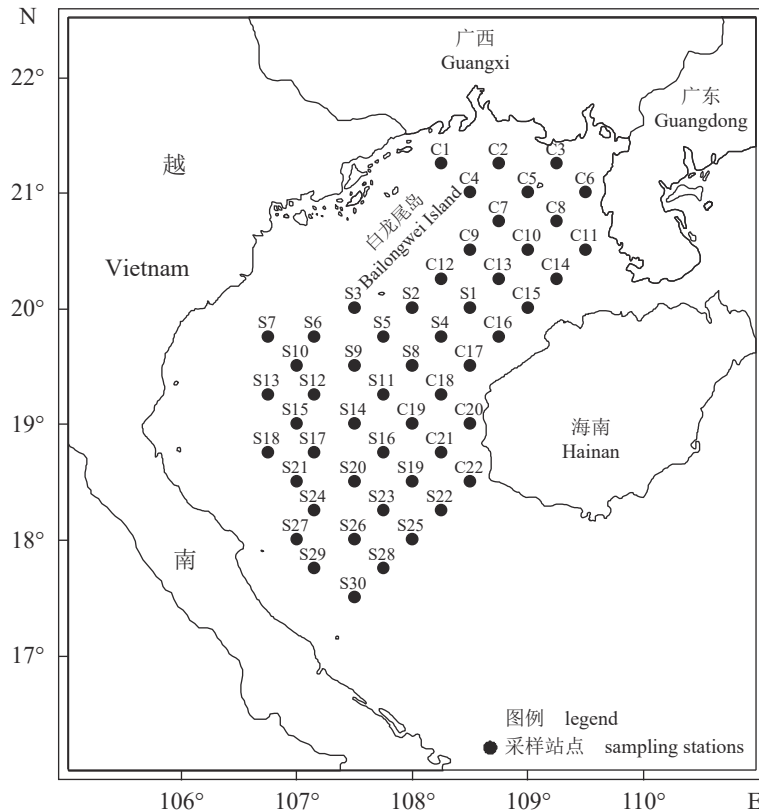


图 1 北部湾底拖网采样站位示意图

Fig. 1 Sketch map of sampling stations in the Beibu Gulf

中提取常量  $N_{L_{\text{start}}}$ , 然后在分子中消掉  $N_{L_{\text{start}}}$ , 剩下的两个要确定的参数是  $Z/k$  和  $L_{\infty}$ 。

$$\frac{N_L}{\sum N_L} = \frac{\left(\frac{L_{\infty}-L}{L_{\infty}-L_{\text{start}}}\right)^{Z/k}}{\sum \left(\frac{L_{\infty}-L}{L_{\infty}-L_{\text{start}}}\right)^{Z/k}} \quad (3)$$

在未捕捞状态下,  $Z/k$  为  $M/k$ ,  $L_{\text{start}}$  为零,  $N_{L_{\text{start}}}$  可以设置为 1。方程式 (2) 简化为

$$P_{L/L_{\infty}} = \left(1 - \frac{L}{L_{\infty}}\right)^{M/k} \quad (4)$$

式中,  $P_{L/L_{\infty}}$  是存活到长度  $L/L_{\infty}$  的概率, 长度比值  $L/L_{\infty}$  仅是  $M/k$  比的函数。也就是, 在温暖或寒冷的水域中, 所有具有相同  $M/k$  比率的种群, 无论大小、短命或长寿、草食动物或肉食动物, 都有相同的概率达到其渐近长度的给定分数, 独立于  $M$ 、 $k$  和  $L_{\infty}$ 。对于种群中充分开发的部分也是如此, 其中达到完全选择长度  $L_{\text{start}}$  以外的长度的概率是  $Z/k$  的函数。

除了方程式 (3) 中的参数外, 受部分选择影响的捕获数量是由方程式 (5) 中的逻辑函数给出网具选择性函数 (此处假定为拖网)。

$$S_L = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(L-L_c)}} \quad (5)$$

式中,  $S_L$  是网具在长度  $L$  处保留的个体的分数,  $L_c$  如上文所定义,  $\alpha$  表示网具的陡峭度<sup>[29-30]</sup>。

由方程式 (6) 可得出保留在网具中一定概率  $P$  的鱼类个体长度:

$$L_P = \frac{\alpha L_c - \log\left(\frac{1}{P} - 1\right)}{\alpha} \quad (6)$$

式中,  $L_P$  是保留在网具中的概率  $P$  的鱼类个体长度,  $L_c$  和  $\alpha$  如上文所定义。如果  $\alpha$  和  $L_c$  已知, 方程式 (6) 允许通过将  $P$  分别设置为 0.01、0.50 或 0.99, 计算  $L_x=1\%$ 、 $L_c=50\%$  和  $L_{\text{start}}=99\%$  的个体被网具保留的长度。

由于选择逻辑曲线逐渐接近其最大值时, 幸存者数量继续减少, 数量上的峰值捕获长度低估了完全选择性的长度, 一半峰值的长度低估了  $L_c$ 。因此, 将公式 (5) 拟合到数列曲线上的捕捞点的上升部分, 就无法正确估计真选择逻辑曲线图的参数。相反, 方程 (3) 必须被一个与整条捕捞曲线拟合的差分方程所代替, 以同时估计  $L_{\infty}$ 、 $L_c$ 、 $\alpha$ 、 $M/k$  和  $F/k$ :

$$N_{L_i} = N_{L_{i-1}} S_{L_i} F \left(\frac{L_{\infty}-L_i}{L_{\infty}-L_{i-1}}\right)^{\frac{M}{k} + \frac{F}{k} S_{L_i}} \quad (7)$$

式中,  $N_{L_i}$  是长度组  $L_i$  中的个体数,  $N_{L_{i-1}}$  是前一个长度组中的数字, 所有其他参数如上所述。与方程 3 类似, 通过将方程 (7) 的两边除以各自的和, 可以由右侧分母中的和中提取常数  $F$ , 然后将其消去, 不需要估计, 这样:

$$\frac{N_{L_i}}{\sum N_{L_i}} = \frac{N_{L_{i-1}} S_{L_i} \left(\frac{L_{\infty}-L_i}{L_{\infty}-L_{i-1}}\right)^{\frac{M}{k} + \frac{F}{k} S_{L_i}}}{\sum N_{L_{i-1}} S_{L_i} \left(\frac{L_{\infty}-L_i}{L_{\infty}-L_{i-1}}\right)^{\frac{M}{k} + \frac{F}{k} S_{L_i}}} \quad (8)$$

将方程 (8) 拟合到长度频率数据, 得出  $M/k$  和  $F/k$  的估计值, 可以组合得出  $F/M = (F/k)/(M/k)$ 。

LBB 估算在 Bayesian Gibbs sampler 软件 JAGS<sup>[31]</sup> 中实施, 并使用统计语言 R 执行, 代码下载自 <http://oceanrep.gemar.de/44832/>, 以使观察到的长度  $\hat{p}_{L_i}$  比例与预期值  $\hat{p}_{L_i}$  相匹配。根据方程 (8), 模型预测的长度分布  $\hat{p}_{L_i}$  由下式得出:

$$\hat{p}_{L_i} = \frac{N_{L_i}}{\sum \hat{N}_{L_i}} \quad (9)$$

式中,  $\hat{N}_{L_i}$  是可估计种群动态  $L_{\infty}$ 、 $M/k$  和  $F/k$  [方程式 (8)] 以及选择性参数  $L_c$  和  $\alpha$  [方程式 (5)] 的函数。

通过对  $L_{\infty}$ 、 $M/k$  和  $M/F$  的估计, 从方程式 (10) 和 (11)<sup>[32]</sup> 中得出未开发世代生物量最大的长度  $L_{\text{opt}}$  和最佳开捕长度  $L_{c_{\text{opt}}}$ :

$$L_{\text{opt}} = L_{\infty} \left(\frac{3}{3 + \frac{M}{k}}\right) \quad (10)$$

$$L_{c_{\text{opt}}} = \frac{L_{\infty}(2 + 3 \frac{F}{M})}{(1 + \frac{F}{M})(3 + \frac{M}{k})} \quad (11)$$

## 2 结果

### 2.1 种群参数

基于 LBB 估算的 2006—2018 年间北部湾二长棘鲷的种群参数见表 1, 估算的二长棘鲷渐近体长  $L_{\infty}$  的平均值为 21.0 cm, 范围为 16.6~25.8 cm; 最适开捕体长  $L_{c_{\text{opt}}}$  的平均值为 12.6 cm, 范围介于 8.9~16 cm 之间;  $M/k$  值平均为 1.49, 置信区间范围为 1.38~1.62;  $F/k$  的平均值为 3.65, 范围为 1.24~7.82;  $Z/k$  的平均值为 5.15, 范围为 2.79~9.42; 平均开发率  $E$  为 0.67, 范围介于 0.44~0.83 之间。

### 2.2 年际变化

2006—2018 年间二长棘鲷的渐近体长和开

表 1 种群参数的估算结果

Tab. 1 Population parameters estimated by LBB of *P. edita* during 2006—2018

年份 year	$L_{\infty}$ /cm	$L_{c_{opt}}$ /cm	$M/k$	min	max	$F/k$	min	max	$Z/k$	min	max	$E$	样本量 sample size
2006	25.8	16.0	1.38	1.12	1.65	4.80	4.37	5.17	6.22	5.91	6.55	0.77	1117
2007	24.7	15.0	1.44	1.17	1.77	2.80	2.42	3.12	4.24	4.07	4.48	0.66	951
2009	21.8	13.0	1.48	1.15	1.80	4.77	4.34	5.25	6.26	5.92	6.61	0.76	429
2010	21.6	13.0	1.62	1.34	1.97	7.82	7.06	8.32	9.42	8.73	9.93	0.83	742
2011	21.0	13.0	1.44	1.18	1.67	4.58	4.12	5.05	6.04	5.73	6.34	0.76	510
2012	16.6	8.9	1.55	1.30	1.81	1.24	0.86	1.48	2.79	2.54	2.95	0.44	808
2013	17.0	9.5	1.49	1.26	1.74	1.55	1.26	1.97	3.05	2.80	3.46	0.51	1158
2014	23.8	14.0	1.61	1.27	1.89	2.89	8.06	9.39	4.51	9.65	10.8	0.64	1487
2015	18.0	11.0	1.43	1.15	1.65	2.34	2.01	2.64	3.76	3.53	4.03	0.62	1278
2016	20.2	12.0	1.49	1.27	1.83	2.70	2.30	2.98	4.20	3.95	4.42	0.64	241
2018	20.6	13.0	1.49	1.22	1.76	4.66	4.19	5.15	6.13	5.83	6.49	0.76	252
平均值 average	21.0±0.9	12.6±0.6	1.49±0.02	1.22±0.02	1.78±0.03	3.65±0.57	3.73±0.69	4.59±0.76	5.15±0.58	5.33±0.69	6.01±0.76	0.67±0.04	

注:  $L_{\infty}$  渐近体长;  $L_{c_{opt}}$  最适开捕体长;  $k$  生长参数;  $M$  自然死亡;  $F$  捕捞死亡;  $Z$  总死亡;  $E$  开发率

Notes:  $L_{\infty}$  asymptotic length;  $L_{c_{opt}}$  optimal length-at-first-capture;  $k$  growth parameter;  $M$  natural mortality;  $F$  fishing mortality;  $Z$  total mortality;  $E$  exploitation rate

捕体长呈下降趋势;  $M/k$  值在 2006—2018 年间的变化不大, 略呈上升趋势并在 1.49 上下波动, 最小值为 1.38, 最大值为 1.62;  $F/k$  和  $E$  均呈下降趋势(图 2)。除  $M/k$  值在 1.49 上下波动上升外, 其他各种群参数均呈下降趋势, 但均无显著性差异 ( $p_{L_{\infty}}=0.07>0.05$ ;  $p_{L_{c_{opt}}}=0.12>0.05$ ;  $p_{M/k}=0.40>0.05$ ;  $p_{F/k}=0.39>0.05$ ;  $p_E=0.43>0.05$ ; )。

### 3 讨论

#### 3.1 不同方法估算的种群参数比较

历年来估算的北部湾二长棘鲷种群  $L_{\infty}$  平均值为 26.9 cm (表 2), 高于本研究基于 LBB 估算的 2006—2018 年的均值 21.0(16.6~25.8) cm, 但接近于本研究 2006 年的  $L_{\infty}=25.8$  cm(表 1)。2006—2018 年间北部湾二长棘鲷的渐近体长呈下降趋势(图 2)。杜建国等<sup>[24]</sup>和张魁等<sup>[33]</sup>分别估算台湾海峡南部和北部湾二长棘鲷的种群参数, 其结果表明, 不但渔获的二长棘鲷小型化, 而且其性成熟出现提前的现象。本研究估算的 2006—2018 年最适开捕体长  $L_{c_{opt}}$  的平均值为 12.6 cm, 与以往各研究的平均值 12.1 cm 相当。但本研究的结果表明, 开捕体长与渐近体长的变化趋势一致, 均呈下降趋势(图 2)。

本研究基于 LBB 估算的 2006—2018 年间

北部湾二长棘鲷的  $M/k$  值为 1.49 (1.38~1.62), 低于其他独立评估方法的结果 (1.75)(表 2)。Jensen<sup>[34]</sup>和 Hordyk 等<sup>[35]</sup>研究表明, 约 95% 的鱼类达到其最大年龄的  $M/k$  比率为 1.5 左右。Froese 等<sup>[13]</sup>假定  $M/k$  约为 1.5 属合理值, 并使用平均值为 1.5, 且标准差为 0.15 的  $M/k$  正态分布先验值作为默认值, 由此产生的 95% 置信限为 1.2~1.8。然而, 有些鱼类可能具有不同的生命史策略, 其  $M/k$  比率也在该范围之外<sup>[3]</sup>。本研究基于 LBB 估算的  $F/k$  和  $Z/k$  值均略大于相关文献的独立方法估算值, 但两种方法估算的开发率  $E$  相当, 分别为 0.67 与 0.64(图 2)。

基于 LBB 估算的渐近体长和相对死亡率与独立方法估算的结果存在一定的偏差。Froese 等<sup>[13]</sup>指出, 如果 LBB 的长度频率数据不代表资源开发大小范围的组成, 或长度频率被强大的补充群体所掩盖, 那么 LBB 的估算结果将产生一定的偏差而存在误导性。研究表明, 北部湾的二长棘鲷的渔获组成呈小型化和性成熟提前趋势<sup>[24]</sup>, 即体长较小的个体出现频率偏大, 因此出现了部分年度估算值波动。

#### 3.2 捕捞强度对种群参数的影响

自 2007 年后, 中国广西和海南的海洋捕捞机动渔船数量较稳定, 但越南环北部湾各省(广

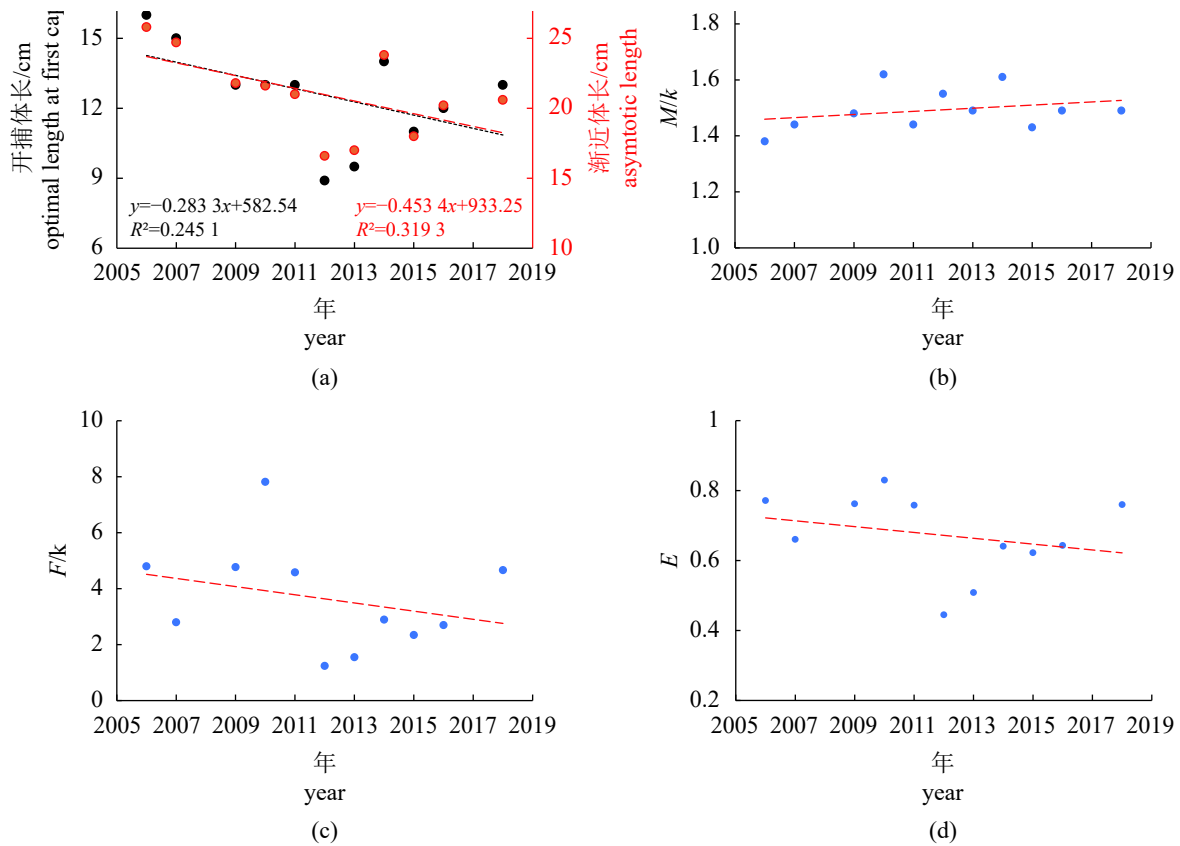


图 2 2006—2018 年北部湾二长棘鲷种群参数的变化趋势

Fig. 2 Trends of population parameters of *P. edita* in the Beibu Gulf during 2006—2018

表 2 文献中北部湾二长棘鲷的种群参数

Tab. 2 Published population parameters of *P. edita* in the Beibu Gulf

采样年份 sampling year	$L_{\infty}/\text{cm}$	$L_{c\_opt}/\text{cm}$	$k$	$M/k$	$F/k$	$Z/k$	$E$	方法 method	文献 references
1960s+1990s	27.3	12	0.45	2.32	3.96	6.28	0.63	长度频率	[17]
2006—2008	29.3		0.17	1.69	4.51	6.24	0.72	年龄	[18]
2006—2008	29.3	10.4	0.17	1.68	3.97	5.47	0.73	年龄	[19]
2006—2008	26.3		0.37					年龄	[21]
2006—2007	27.8	13.8	0.28	2.50	5.07	7.57	0.67	长度频率	[23]
1962	27.6		0.35	2.51	2.37	4.89	0.49	长度频率	[24]
1998	25.9		0.36	2.61	4.31	6.92	0.62	长度频率	[24]
2006	23.0		0.50	2.40	3.54	5.58	0.63	长度频率	[24]
平均值 mean value	26.9	12.1	0.33	1.75	3.08	4.77	0.64		
2006—2018	21.0	12.6		1.49	3.65	5.15	0.67	LBB	本研究 this paper

注： $M/k$ 、 $F/k$ 、 $Z/k$ 和 $E$ 是根据文献估算的参数计算所得

Notes:  $M/k$ ,  $F/k$ ,  $Z/k$  and  $E$  values were calculated according to the population parameters in the published literatures

宁、海防、太平、南定、宁平、清化、义安、河静和广平)的海洋机动渔船数量和功率均明显急增(图 3)。可见, 尽管中国出台多项控制近海捕捞

强度的政策, 如“双控”和伏季休渔政策, 但由于越南作业渔船的增加, 且没有休渔, 北部湾渔业一直承受着较高的捕捞强度, 致使渔业资源

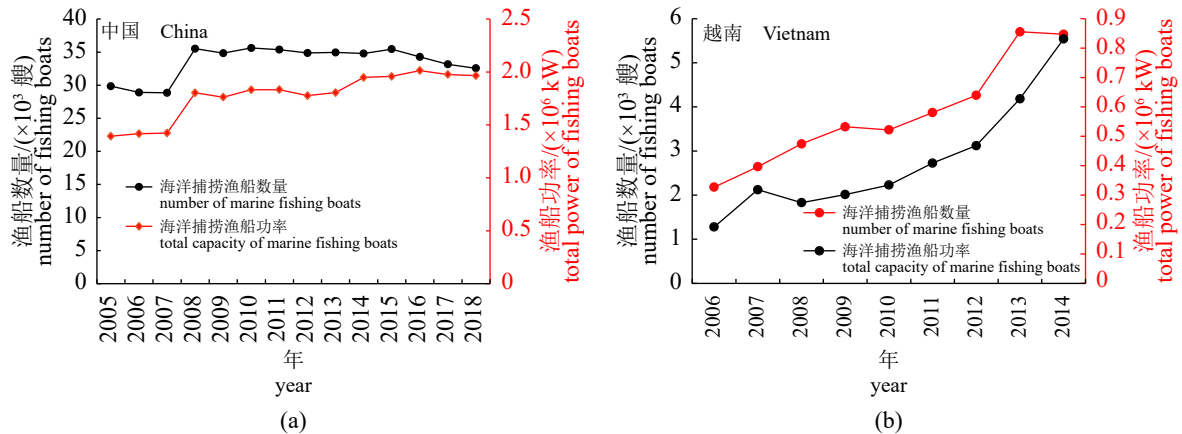


图 3 环北部湾中越两国的海洋捕捞机动渔船变化趋势

(a) 中国: 广西和海南; (b) 越南: 广宁、海防、太平、南定、宁平、清化、义安、河静和广平等省。机动渔船数据均来自中越双方的渔业统计年鉴

Fig. 3 Trends of motorized marine fishing boats of China and Vietnam fishing in the Beibu Gulf

(a) China: Guangxi and Hainan Provinces; (b) Vietnam: Quang Ninh, Hai Phong, Thai Binh, Nam Dinh, Ninh Binh, Thanh Hoa, Nghe An, Ha Tinh, and Quang Binh Provinces. The data about motorized vessels are derived from the annual fishery bulletin from China and Vietnam, respectively

密度持续下降<sup>[36]</sup>。研究表明,“鱼类资源对捕捞有较大的适应性,如果捕捞强度不大,资源密度大,鱼体的生长就会受到抑制;如果捕捞强度较大,资源就会变稀,个体生长就会加快”<sup>[37-38]</sup>。鱼类生长速度的加快( $k$ 增大)表现在种群参数 $F/k$ 呈下降趋势(图 2-c)。

### 3.3 LBB 的运用前景

LBB 是一种简单快速的估算鱼类相对种群参数的方法,与其他独立的渔业资源评估方法相比,它不需要鱼类的年龄、性成熟度、补充量、生长和死亡参数、捕捞努力量等信息,只需要来自能代表评估对象整个世代的长度频率数据。长度频率数据又是渔业生物学测定中最易获取和测量误差最小的数据,它不受野外船只晃动和内脏有无的影响<sup>[39]</sup>。在长度频率能代表资源各开发阶段的长度组成时,LBB 估算的结果能较好地反映其真实情况。因此,LBB 对于渔业数据缺乏情况下进行资源评估提供一种新的工具。

本研究 LBB 方法的运用得到 Daniel Pauly 博士、Maria Lourdes D Palomares 博士、线薇薇博士、Rainer Froese 博士、梁翠博士和翟璐博士等的帮助,特致谢忱。本研究的体长数据取自中越北部湾共同渔区渔业资源联合调查。

### 参考文献 (References):

- [1] Dick E J, MacCall A D. Depletion-based stock reduction analysis: a catch-based method for determining sustainable yields for data-poor fish stocks[J]. *Fisheries Research*, 2011, 110(2): 331-341.
- [2] Costello C, Ovando D, Hilborn R, *et al.* Status and solutions for the world's unassessed fisheries[J]. *Science*, 2012, 338(6106): 517-520.
- [3] Froese R, Demirel N, Coro G, *et al.* Estimating fisheries reference points from catch and resilience[J]. *Fish and Fisheries*, 2017, 18(3): 506-526.
- [4] Thorson J T, Minto C, Minto-Vera C V, *et al.* A new role for effort dynamics in the theory of harvested populations and data-poor stock assessment[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2013, 70(12): 1829-1844.
- [5] Thorson J T, Cope J M. Catch curve stock-reduction analysis: an alternative solution to the catch equations[J]. *Fisheries Research*, 2015, 171: 33-41.
- [6] Wetzel C R, Punt A E. Performance of a fisheries catch-at-age model (stock synthesis) in data-limited situations[J]. *Marine and Freshwater Research*, 2011, 62(8): 927-936.
- [7] Beverton R J H, Holt S J. On the Dynamics of Exploited Fish Populations[M]. London: Chapman and Hall, 1957: 533.
- [8] Gulland J A, Rosenberg A A. A review of length-based

- approaches to assessing fish stocks[R]. FAO Fisheries Technical Paper, No. 323. Rome: FAO, 1992: 100.
- [9] Pauly D, Morgan G R. Length-based Methods in Fisheries Research[M]. ICLARM Conference Proceedings 13. Manila, 1987: 486.
- [10] Free C M, Jensen O P, Wiedenmann J, *et al.* The refined orcs approach: A catch-based method for estimating stock status and catch limits for data-poor fish stocks[J]. *Fisheries Research*, 2017, 193: 60-70.
- [11] Martell S, Froese R. A simple method for estimating MSY from catch and resilience[J]. *Fish and Fisheries*, 2013, 14(4): 504-514.
- [12] Zhou S J, Punt A E, Ye Y M, *et al.* Estimating stock depletion level from patterns of catch history[J]. *Fish and Fisheries*, 2017, 18(4): 742-751.
- [13] Froese R, Winker H, Coro G, *et al.* A new approach for estimating stock status from length frequency data[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2018, 75(6): 2004-2015.
- [14] 孙典荣, 林昭进. 北部湾主要经济鱼类资源变动分析及保护对策探讨[J]. *热带海洋学报*, 2014, 23(2): 62-68.  
Sun D R, Lin Z J. Variations of major commercial fish stocks and strategies for fishery management in Beibu Gulf[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2014, 23(2): 62-68(in Chinese).
- [15] 王雪辉, 邱永松, 杜飞雁, 等. 北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势[J]. *生态学报*, 2012, 32(2): 333-342.  
Wang X H, Qiu Y S, Du F Y, *et al.* Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(2): 333-342(in Chinese).
- [16] 袁蔚文. 北部湾底层渔业资源的数量变动和种类更替[J]. *中国水产科学*, 1995, 2(2): 57-65.  
Yuan W W. Dynamics and succession of demersal resources in Beibu Gulf[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1995, 2(2): 57-65(in Chinese).
- [17] 陈作志, 邱永松. 北部湾二长棘鲷生长和死亡参数估计[J]. *水产学报*, 2003, 27(3): 251-257.  
Chen Z Z, Qiu Y S. Estimation of growth and mortality parameters of *Parargyrops edita* Tanaka in Beibu Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27(3): 251-257(in Chinese).
- [18] 侯刚, 朱立新, 卢伙胜. 北部湾二长棘鲷生长、死亡及其群体组成[J]. *广东海洋大学学报*, 2008, 28(3): 50-55.  
Hou G, Zhu L X, Lu H S. Growth, mortality and population composition of crimson sea bream, *Parargyrops edita* Tanaka in Beibu Gulf[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2008, 28(3): 50-55(in Chinese).
- [19] 冯波, 侯刚, 卢伙胜, 等. 北部湾二长棘鲷资源开发保护策略研究[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2009, 25(1): 114-119.  
Feng B, Hou G, Lu H S, *et al.* Management recommendation for *Parargyrops edita* in Beibu Gulf based on per-recruitment analysis[J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2009, 25(1): 114-119(in Chinese).
- [20] 朱立新, 李丽芳, 梁振林. 不确定性对北部湾二长棘鲷渔业资源评估影响的模拟研究[J]. *广东海洋大学学报*, 2009, 29(1): 36-43.  
Zhu L X, Li L F, Liang Z L. A simulation study of impacts of uncertainty on the assessment of the crimson sea bream (*Parargyrops edita*) fishery in Beibu Gulf[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2009, 29(1): 36-43(in Chinese).
- [21] 颜云榕, 侯刚, 贺雄军, 等. 基于矢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]. *台湾海峡*, 2011, 30(1): 63-70.  
Yan Y R, Hou G, He X J, *et al.* Age determination based on the otolith weight of the Cardinal seabream, *Eymnis cardinalis*, in the Beibu Gulf of the South China Sea[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2011, 30(1): 63-70(in Chinese).
- [22] 王学锋, 冯波, 侯刚, 等. 基于EPR模型的北部湾二长棘鲷渔业管理研究[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2011, 27(4): 444-448.  
Wang X F, Feng B, Hou G, *et al.* Management strategy for *Parargyrops edita* in Beibu Gulf based on egg production per recruit model[J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2011, 27(4): 444-448(in Chinese).
- [23] Wang X H, Qiu Y S, Du F Y, *et al.* Population parameters and dynamic pool models of commercial fishes in the Beibu Gulf, northern south china sea[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2012, 30(1): 105-117.
- [24] 张魁, 陈作志, 邱永松. 北部湾二长棘犁齿鲷生长、死亡和性成熟参数的年际变化[J]. *南方水产科学*, 2016, 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- 12(6): 9-16.
- Zhang K, Chen Z Z, Qiu Y S. Decadal changes in growth, mortality and maturity parameters of *Evygnnis cardinalis* in Beibu Gulf[J]. *South China Fisheries Science*, 2016, 12(6): 9-16(in Chinese).
- [25] 陈作志, 邱永松. 北部湾二长棘鲷的生态分布[J]. 海洋水产研究, 2005, 26(3): 16-21.
- Chen Z Z, Qiu Y S. Ecological distribution of *Parargyrops edita* Tanaka in the Beibu Gulf[J]. *Marine Fisheries Research*, 2005, 26(3): 16-21(in Chinese).
- [26] 张宇美, 代春桃, 颜云榕, 等. 北部湾二长棘犁齿鲷摄食习性和营养级[J]. 水产学报, 2014, 38(2): 265-273.
- Zhang Y M, Dai C T, Yan Y R, et al. Feeding habits and trophic level of crimson sea bream, (*Parargyrops edita* Tanaka) in the Beibu Gulf[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(2): 265-273(in Chinese).
- [27] 蔡研聪, 陈作志, 徐姗楠, 等. 北部湾二长棘犁齿鲷的时空分布特征[J]. 南方水产科学, 2017, 13(4): 1-10.
- Cai Y C, Chen Z Z, Xu S N, et al. Tempo-spatial distribution of *Evygnnis cardinalis* in Beibu Gulf[J]. *South China Fisheries Science*, 2017, 13(4): 1-10(in Chinese).
- [28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6-2007 海洋调查规范 第 6 部分: 海洋生物调查 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 56-62.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. GB/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey—Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 56-62 (in Chinese).
- [29] Quinn II T J, Deriso R B. Quantitative fish dynamics[M]. New York: Oxford University Press, 1999: 560.
- [30] Sparre P, Venema S C. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual[R]. FAO Fisheries Technical Paper, no. 306.1, rev. 2. Rome: FAO, 1998: 407.
- [31] Plummer M. JAGS: A program for analysis of bayesian graphical models using gibbs sampling[C]//Proceedings of the 3rd International Workshop on Distributed Statistical Computing (DSC 2003). Vienna, Austria, 2003.
- [32] Holt S J. The evaluation of fisheries resources by the dynamic analysis of stocks, and notes on the time factors involved[J]. International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries, Special Publication, 1958, 1: 77-95.
- [33] 杜建国, 卢振彬, 陈明茹. 台湾海峡南部二长棘鲷种群生态学参数的变化[J]. 台湾海峡, 2008, 27(2): 190-196.
- Du J G, Lu Z B, Chen M R. Changes in ecological parameters of *Parargyrops edita* population in southern Taiwan Strait[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2008, 27(2): 190-196(in Chinese).
- [34] Hordyk A, Ono K, Sainsbury K, et al. Some explorations of the life history ratios to describe length composition, spawning-per-recruit, and the spawning potential ratio[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2015, 72(1): 204-216.
- [35] Jensen A L. Beverton and holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1996, 53(4): 820-822.
- [36] Wang X H, Qiu Y S, Du F Y, et al. Roles of fishing and climate change in long-term fish species succession and population dynamics in the outer Beibu Gulf, South China Sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2019, 38(10): 1-8.
- [37] 费鸿年, 张诗全. 水产资源学 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990: 787.
- Fei H N, Zhang S Q. Aquatic resources[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 1990: 787 (in Chinese).
- [38] 林龙山, 程家骅, 任一平, 等. 东海区小黄鱼种群生物学特性的分析[J]. 中国水产科学, 2004, 11(4): 333-338.
- Lin L S, Cheng J H, Ren Y P, et al. Analysis of population biology of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* in the East China Sea region[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11(4): 333-338(in Chinese).
- [39] 王雪辉, 杜飞雁, 邱永松. 南海北部主要经济鱼类体长与体重关系[J]. 台湾海峡, 2006, 25(2): 262-266.
- Wang X H, Du F Y, Qiu Y S. Length-weight relationships of important commercial fishes in northern South China Sea[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2006, 25(2): 262-266(in Chinese).



## Using length-based Bayesian biomass method to estimate *Parargyrops edita* population parameters in the Beibu Gulf, South China Sea

WANG Xuehui\*, QIU Yongsong, DU Feiyan, SUN Dianrong, WANG Yuezhong

(Key Laboratory of Open-Sea Fishery Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** Data-limitation is a difficult problem in fishery stock assessment and management. Based on length frequency data of *Parargyrops edita* collected from otter trawl survey in the Beibu Gulf in 2006–2018, we used length-based Bayesian biomass (LBB) method to estimate population parameters, namely asymptotic length ( $L_{\infty}$ ), optimal length-at-first-capture ( $L_{c_{opt}}$ ), relative natural mortality ( $M/k$ ), and relative fishing mortality ( $F/k$ ). The  $L_{\infty}$  was estimated to be 21.0 cm,  $L_{c_{opt}}$  to be 12.6 cm, and  $M/k$ ,  $F/k$ ,  $Z/k$  and  $E$  to be 1.49, 3.65, 5.15, and 0.67, respectively.  $L_{\infty}$  and  $L_{c_{opt}}$  showed the similar downward trend, and fish growth tended to be quickening. The  $L_{c_{opt}}$  and exploitation rate estimated by LBB were close to those estimated by independent full stock assessments. This case study suggested that if the length frequency represents length composition of a stock, the estimation by LBB will perform properly, and the method based on LBB can provide informative reference for fishery stock assessment under the data-limited conditions.

**Key words:** *Parargyrops edita*; population parameters; length frequency; length-based Bayesian biomass; data-limitation; Beibu Gulf

**Corresponding author:** WANG Xuehui. E-mail: wxhscs@163.com

**Funding projects:** National Science & Technology Fundamental Resources Investigation Program of China (2017FY201405; 2018FY100105); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2019HY-JC0203; 2019GH02); Vietnam-China Joint Survey on Fishery Resources in the Shared Fishing Zone of the Beibu Gulf