

## 基于LBB方法估算北部湾竹筴鱼种群参数

王淼娣, 王雪辉, 杜飞雁, 孙典荣, 王跃中, 陈新军, 邱永松

## Estimation of the population parameters of *Trachurus japonicus* in the Beibu Gulf based on the LBB method

WANG Miaodi, WANG Xuehui, DU Feiyan, SUN Dianrong, WANG Yuezhong, CHEN Xinjun, QIU Yongsong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210203293>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 北部湾斑鳍白姑鱼渔业生物学分析

Analysis of fishery biology of *Pennahia pawak* in Beibu Gulf

上海海洋大学学报. 2021, 30(3): 515 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200603092>

#### 海南东部外海海域鱼类群落结构季节变动及其影响因素

Environmental Influences on Seasonal Variations of Fish Community Structure in Off-sea of Eastern Hainan, Northern South China Sea

上海海洋大学学报. 2021, 41(3): 28 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9159.2021.03.004>

#### 基于线粒体基因标记的太平洋褶柔鱼群体遗传结构及变异分析

Genetic variation and genetic structure analysis of *Todarodes pacificus* based on mitochondrial DNA markers

上海海洋大学学报. 2021, 30(4): 763 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200703103>

#### 帆张网网囊网目尺寸对带鱼的选择性

Selectivity of different mesh size codends of canvas spreader stow net for *Trichiurus lepturus*

上海海洋大学学报. 2021, 30(5): 866 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200703093>

#### 东海原甲藻和中肋骨条藻适宜生长条件及叶绿素荧光特性的对比

Comparision on the suitable growth conditions and chlorophyll fluorescence characteristics of *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum*

上海海洋大学学报. 2021, 30(6): 1034 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200603071>

文章编号: 1674-5566(2022)01-0212-11

DOI:10.12024/j.sou.20210203293

## 基于 LBB 方法估算北部湾竹筴鱼种群参数

王森娣<sup>1,2</sup>, 王雪辉<sup>2,3</sup>, 杜飞雁<sup>2,4</sup>, 孙典荣<sup>2,3</sup>, 王跃中<sup>2,3</sup>, 陈新军<sup>1</sup>, 邱永松<sup>2,3</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300; 3. 农业农村部南海渔业开发重点实验室, 广东 广州 510300; 4. 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510300)

**摘要:** 为探究北部湾竹筴鱼 (*Trachurus japonicus*) 不同组距的划分对其种群参数和资源评估的影响, 利用 2006—2018 年北部湾竹筴鱼叉长数据重构长度频率, 通过逻辑斯蒂曲线拟合和长度贝叶斯生物量估算 (length-based Bayesian biomass estimation method, LBB) 方法, 估算竹筴鱼的初次性成熟叉长 ( $L_{50}$ )、渐进叉长 ( $L_{\infty}$ )、相对自然死亡率 ( $M/k$ )、相对捕捞死亡率 ( $F/k$ )、相对总死亡率 ( $Z/k$ )、最适开捕叉长 ( $L_{c\_opt}$ )、开发率 ( $E$ ) 和相对生物量 ( $B/B_0$ ) 等种群参数。分析在不同组距情况下种群参数的差异。结果表明: 初次性成熟叉长范围为 157 ~ 162 mm; 北部湾竹筴鱼种群参数平均值分别为  $L_{\infty} = 248$  mm、 $M/k = 1.38$ 、 $F/k = 6.92$ 、 $Z/k = 8.28$  和  $L_{c\_opt} = 156$  mm; 北部湾竹筴鱼相对生物量  $B/B_0$  低于 0.5,  $E$  大于 0.5; 不同组距重构长度频率估算的种群参数结果有差异, 且随组距的增大波动较为明显。研究表明, 竹筴鱼生物量相对低且处于过度开发状态, 建议今后以样本数量、长度组成和生物特性共同确定某种鱼类长度分组组距。

**关键词:** 竹筴鱼; 北部湾; 组距; 长度贝叶斯生物量估算法; 长度频率; 种群参数

中图分类号: S 931

文献标志码: A

早期渔业资源评估模型需要长期收集的历史数据, 如捕捞努力量、长度组成和生活史特征信息, 但是, 大多数被开发的渔业资源缺少这些信息而无法进行定量评估。为此, 诞生了基于长度频率的渔业资源评估方法。长期以来, 长度频率被用于评估渔业资源状况并运用于渔业管理中。19 世纪 90 年代, PETERSEN 利用鱼类长度频率数据推断鱼类生长模式<sup>[1]</sup>。1987 年, PAULY<sup>[1]</sup> 指出电子长度频率分析法 (ELEFAN I) 可提供鱼类和无脊椎动物的生长信息。国内外研究表明, 通过不同组距重构长度频率, 其组距的选择对种群参数的结果关联较大, 如相差大的不同分组组距重构长度频率组成数据来估算种群参数有明显差异<sup>[2]</sup>。其中以 10 mm 组距重构长度频率估算主要经济鱼类的种群参数较多<sup>[3-13]</sup>, 但是 10 mm 组距不是唯一选择。如: 舒黎明等<sup>[14]</sup> 以 5 mm 为组距对银鲳 (*Pampus*

*argenteus*) 进行体长频率整理, 进而估算生长和死亡参数; 朱清澄等<sup>[15]</sup> 以 20 mm 为组距对真鲷 (*Pagrosomus major*) 体长进行分析, 并对体长分布进行了差异性检验; JOHNSON 等<sup>[16]</sup> 以间距 50 mm 重构体长频率对鲷 (*Euthynnus affinis*) 进行种群参数分析。可见, 渔业长度组距的确定是数据分析的基础。随着资源评估模型和计算机技术的不断发展, 更简便快捷的评估方法出现。基于长度贝叶斯生物量估算法 (length-based Bayesian biomass estimation method, LBB) 是一种除了长度频率数据外, 不需要任何信息输入而实现对鱼类种群参数评估的新方法<sup>[17]</sup>。目前国内外学者广泛应用 LBB 方法估算鱼类种群参数。ZHAI 等<sup>[18]</sup> 利用此方法研究了中国沿海 21 种鱼类资源利用情况, WANG 等<sup>[19]</sup> 研究了渤海、黄海 8 种鱼类的种群动态, 王雪辉等<sup>[20]</sup> 以北部湾二长棘鲷 (*Parargyrops edita*) 为例利用 LBB 评估该种群资

收稿日期: 2021-02-05 修回日期: 2021-06-09

基金项目: 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项目 (2019HY-JC0203, 2019GH02); 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (2021SD14)

作者简介: 王森娣 (1993—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业生物学与资源评估。E-mail: wmd528@126.com

通信作者: 王雪辉, E-mail: wxhs@163.com

源状况。确定长度分组组距是应用长度频率分析法的重要步骤,但是针对长度组距对评估结果的影响研究较少。

竹筴鱼 (*Trachurus japonicus*) 隶属于鲈形目 (Perciformes) 鲈科 (Carangidae) 竹筴鱼属 (*Trachurus*), 为暖水性中上层鱼类, 是北部湾的重要海洋经济种类之一<sup>[21]</sup>, 研究其渔业生物信息对其资源利用和管理有重要意义。在 20 世纪 70 年代后期, 竹筴鱼产量上升从而逐渐引起了人们的重视, 但是大部分研究具有综合性, 单独报道竹筴鱼生物学信息的研究很少: 曹宁等<sup>[22]</sup> 对竹筴鱼的开发利用进行了管理探讨; 陈国宝等<sup>[23]</sup> 利用 FISAT II 对竹筴鱼的生长和死亡参数进行估算, 但研究并未涉及体长组距设置对评估的影响。为探究不同组距种群参数的差异, 本研究根据 2006—2018 年北部湾竹筴鱼生物学测定资料对

该鱼类叉长分组重构, 对比分析生长、死亡和性成熟参数估算结果, 旨在为今后资源评估组距的选择提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据

所用竹筴鱼生物学数据取自 2006—2018 年在北部湾进行的 30 个航次渔业资源调查, 每个航次调查站位共 52 个。调查船为“北渔 60011”底拖网渔船, 总吨位 242 t, 长为 36.8 m, 宽为 6.8 m, 主机功率为 441 千瓦。采样网具为 404 型底拖网, 上纲长度为 37.7 m, 网目尺寸 20 cm, 网囊网目尺寸 3.9 cm, 网衣长 60.5 m<sup>[24]</sup>。采样及样本分析按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007) 进行。30 个航次共采集竹筴鱼样本 11 726 尾 (表 1)。

表 1 采样航次、时间与样本量信息  
Tab. 1 Information of sampling voyage, sampling date and sampling size

年份 Years	月份 Months	样本数 Sampling size/尾	采样航次 Sampling voyage
2006	2	232	第 1 航次
	5	648	第 2 航次
	8	1 194	第 3 航次
	11	656	第 4 航次
2007	2	333	第 5 航次
	5	342	第 6 航次
	7	392	第 7 航次
	11	464	第 8 航次
2008	2	171	第 9 航次
	8	455	第 10 航次
2009	2	159	第 11 航次
	8	1 132	第 12 航次
2010	2	56	第 13 航次
	8	602	第 14 航次
2011	3	278	第 15 航次
	8	782	第 16 航次
2012	5	512	第 17 航次
	8	397	第 18 航次
2013	4	408	第 19 航次
	7	577	第 20 航次
2014	1	35	第 21 航次
	7	550	第 22 航次
2015	1	213	第 23 航次
	7	412	第 24 航次
2016	1	154	第 25 航次
	7	166	第 26 航次
2017	1	118	第 27 航次
	7	55	第 28 航次
2018	1	82	第 29 航次
	7	151	第 30 航次

## 1.2 方法

### 1.2.1 初次性成熟叉长

竹筴鱼性腺根据 I-VI 期成熟度标准进行划分,性腺发育在 III 期及以上认为样本个体达到性成熟<sup>[25]</sup>。在计算初次性成熟叉长( $L_{50}$ )时使用每年的雌性样本。将叉长按每年 3、5、10 和 15 mm 划分区间,将区间内性腺成熟度在 III 期及以上占该区间内全部个体数的百分比作为该长度区间的性成熟个体比例。将各区间性成熟个体比例与长度数据进行 Logistic 回归分析<sup>[26]</sup>。具体公式如下:

$$P_i = 100 / [1 + e^{-(a + bL_i)}] \quad (1)$$

式中: $P_i$  为第  $i$  组性成熟个体占组内个体的相对频率; $L_i$  为第  $i$  组长度中值, mm;  $a$  与  $b$  为常数。初次性成熟叉长推算公式为

$$L_{50} = -a/b \quad (2)$$

### 1.2.2 种群参数方法

以 3、5、10 和 15 mm 共 4 个组距分别进行叉长频率重构分组。运用 LBB 对竹筴鱼叉长频率数据进行拟合分析,估算出不同组距重构长度频率的种群参数和相对生物量。与其他方法不同, LBB 不需要其他数据信息的输入<sup>[27]</sup>。LBB 方法的详细推导过程见文献[28],主要方程如下:

假设鱼类生长遵循 von Bertalanffy 生长方程<sup>[27]</sup>:

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

式中: $L_t$  为  $t$  龄时的长度; $L_\infty$  为渐进叉长; $k$  为达到  $L_\infty$  的速率; $t_0$  为鱼叉长为 0 时的年龄。

受部分选择影响的捕获数量可由方程(4)中的逻辑函数给出:

$$S_L = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(L-L_c)}} \quad (4)$$

式中: $S_L$  是长度为  $L$  渔具保留的个体比例; $L_c$  为 50% 选择性的叉长; $\alpha$  为逻辑函数的陡峭度。

$L_p$  为保留在网具中概率  $P$  的鱼类叉长:

$$L_p = \frac{\alpha L_c - \log\left(\frac{1}{P} - 1\right)}{\alpha} \quad (5)$$

$$N_{L_i} = N_{L_{i-1}} \left( \frac{L_\infty - L_i}{L_\infty - L_{i-1}} \right)^{\frac{M}{k} + \frac{F}{k} S_{L_i}} \quad (6)$$

式中: $N_{L_i}$  为长度组  $L_i$  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。将方

程(6)的两边除以它们各自的和,得到(7):

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

将方程(7)应用到长度频率数据,估算出  $M/k$  与  $F/k$  值,可得出  $F/M = (F/k)/(M/k)$ 。

未开发世代生物量达到最大时的长度  $L_{opt}$  和最适开捕长度  $L_{c,opt}$  分别由(8)和(9)得出<sup>[29]</sup>:

$$L_{opt} = L_\infty \left( \frac{3}{3 + \frac{M}{k}} \right) \quad (8)$$

$$L_{c,opt} = \frac{L_\infty \left( 2 + 3 \frac{F}{M} \right)}{\left( 1 + \frac{F}{M} \right) \left( 3 + \frac{M}{k} \right)} \quad (9)$$

$B_0'$  为最初鱼类生物量,因此,  $B/B_0$  的被开发部分的相对生物量为

$$\frac{B}{B_0} = \frac{\frac{Y_{CPUE}}{R}}{\frac{Y_{CPUE}}{R} > L_c} = \frac{Y_{CPUE}}{B_0' > L_c} \quad (10)$$

利用 Excel 2019 完成长度数据的整理。通过蒙特卡洛马尔科夫链 (Monte Carlo Markov Chain, MCMC) 进行抽样拟合,在统计语言 R 3.6.1 中调用 JAGS 执行<sup>[30-31]</sup>, LBB 包下载自 <http://oceanrep.geomar.de/id/eprint/44832>。

## 2 结果

### 2.1 群体组成

从表 2 看出,2006—2018 年竹筴鱼总叉长为 75~285 mm,优势叉长组为 129~139 mm,平均叉长为 134 mm。最小优势叉长组为 99~109 mm,占 20.42%;最大优势叉长组为 149~159 mm,占 18.88%。

### 2.2 初次性成熟叉长

竹筴鱼雌雄个体性比为 1:0.57,雌性竹筴鱼个体多于雄性。将 2 227 尾雌性竹筴鱼按不同组距通过逻辑斯蒂模型估算其初次性成熟叉长(图 1),得到 3、5、10 和 15 mm 体长组的初次性成熟叉长分别为 157、158、159、162 mm,4 个组距的  $L_{50}$  较为接近为 157~162 mm,平均 159 mm (SE = 1.20)。

表 2 2006—2018 年竹筴鱼群体组成  
Tab. 2 Population composition of *T. japonicus* from 2006 to 2018

年份 Year	叉长范围 Fork length range/mm	优势叉长 Dominant fork length/mm	百分比 Percentage/%	平均值 Mean/mm	样本量 Sample size/尾
2006	75 ~ 237	139 ~ 149	24.65%	134	2 730
2007	68 ~ 223	139 ~ 149	20.33%	139	1 531
2008	67 ~ 230	179 ~ 189	13.26%	137	626
2009	93 ~ 210	129 ~ 139	34.31%	135	1 291
2010	59 ~ 285	119 ~ 129	16.54%	139	658
2011	55 ~ 232	99 ~ 109	20.42%	126	1 060
2012	75 ~ 212	119 ~ 129	29.07%	121	909
2013	95 ~ 215	129 ~ 139	29.95%	140	985
2014	89 ~ 206	129 ~ 139	35.21%	135	585
2015	97 ~ 200	129 ~ 139	23.20%	133	625
2016	97 ~ 265	109 ~ 119	24.69%	136	320
2017	108 ~ 195	119 ~ 129	34.10%	129	173
2018	96 ~ 260	149 ~ 159	18.88%	148	233
2006—2018	75 ~ 285	129 ~ 139	20.65%	134	11 726

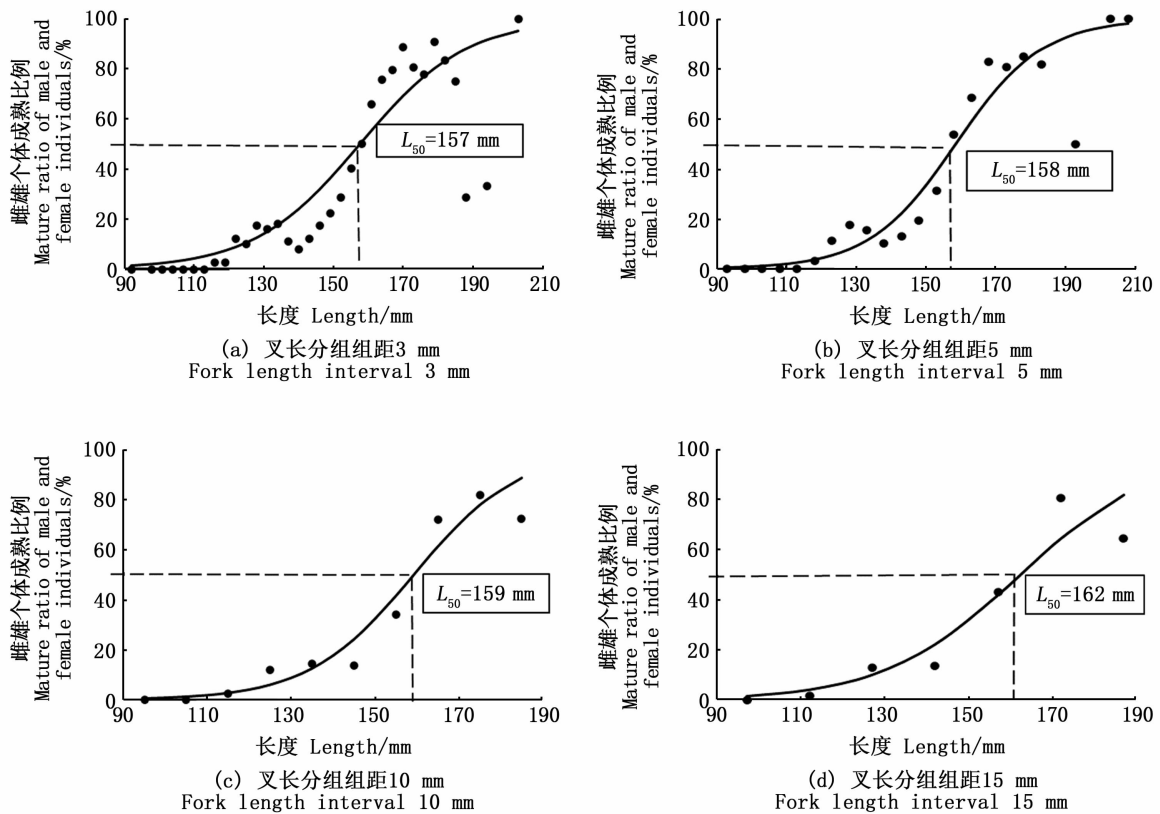


图 1 竹筴鱼性成熟比例观测值与拟合的逻辑斯蒂曲线  
Fig. 1 Observed proportion of mature individuals and curves fitted by Logistic models of *T. japonicus* in the Beibu Gulf

2.3 不同组距种群参数和资源状况

$L_{\infty}$  和  $M/k$  分别为 248 (241 ~ 256) mm 和

1.38 (1.16 ~ 1.55), 总体上呈下降趋势。 $L_{c\_opt}$ 、 $F/k$ 、 $Z/k$  和  $F/M$  存在相同的变化趋势, 即组距越

大估算值越大,估算值分别为 156 (145 ~ 173) mm、8.28 (5.30 ~ 11.21)、6.92 (3.75 ~ 10.11) 和 8.14 (2.55 ~ 20.06)。

渔业资源状况指标开发率( $E$ )和  $B/B_0$  分别为 0.69 (0.61 ~ 0.75) 和 0.22 (0.18 ~ 0.26)。可见,不同组距的  $E$  均大于 0.5,而  $B/B_0$  则均小于 0.5,说明北部湾竹筴鱼资源已明显衰退。

#### 2.4 不同组距种群参数的年际变化

2006—2018 年不同组距竹筴鱼种群参数估算结果见图 2。结果显示:2006—2010 年,  $L_\infty$ 、 $L_{c\_opt}$ 、 $F/k$ 、 $Z/k$  和  $E$  呈现上升的趋势;2010—2018 年间,这些主要表现为下降趋势。图 2a,以 3 mm 为组距重构竹筴鱼体长频率,估算出渐进叉长  $L_\infty$  范围为 194 ~ 340 mm,在 4 个组距中叉长范围跨度最大,以 5、10 和 15 mm 为组距估算的  $L_\infty$  分别为 200 ~ 292 mm、205 ~ 336 mm、212 ~ 290 mm;在 4 个组距中,最适开捕叉长  $L_{c\_opt}$  大小依次为 15 mm > 3 mm > 10 mm > 5 mm;  $M/k$  在 4 个组距中 1.5 上下波动,其中 15 mm 组距波动最大。总体上,  $L_\infty$  在不同组距均表现较为稳定,而  $L_{c\_opt}$ 、 $F/k$ 、 $Z/k$  和  $E$  等参数随组距的增大波动较为明显。

### 3 讨论

科学的渔业资源管理是基于渔业信息参考点对资源状况的精确评估。然而,评估过程中有许多因素导致评估结果存在差异,主要包括:数

据质量和数量<sup>[32]</sup>、生长方程形式<sup>[33]</sup>、数据可用性、历史数据不足<sup>[34]</sup>和渔业开发历史<sup>[35]</sup>等。而数据缺乏的渔业资源评估与管理一直以来具有相当大的挑战,评估结果存在很大的不确定性。由于鱼类个体长度较易获取,因此基于长度频率的渔业资源评估是数据受限资源评估的一大热点,并得到运用和推广。如 SUN 等<sup>[36]</sup>评估了数据有限方法对从长度频率估计鱼类生命历史参数的敏感性。虽然长度数据容易获得,但是在捕捞过程中易产生误差,例如渔具的选择性。另外,不同组距的长度频率分布是导致评估结果存在差异的另一重要因素<sup>[37]</sup>。理论上,只要鱼类样本量大,构成样本组成的频率组距越小,组数越多,则越能反映出捕捞群体组成的分布特征。但是,在抽样的过程中样本是有限的,甚至很少。LBB 方法为一些缺乏数据信息的鱼类资源提供了新的评估手段,该方法只需鱼类的长度数据。但是,长度数据在取样的过程中存在测量误差和每年获取到的样本量不均衡,大小个体相差较大等都可能造成长度频率分布的偏差<sup>[38]</sup>,从而影响种群参数估算结果。因此,长度频率数据的代表性决定评估结果的准确性。通过分析不同组距竹筴鱼种群参数的估算结果,发现样本组距和组数的确定是基于长度频率法资源评估的一个重要环节。

表 3 运用 LBB 方法估算不同组距的种群参数

Tab.3 Estimation results of population parameters by LBB based on different intervals

组距 Length interval/mm	渐进长度 $L_\infty$ (mm)	最适开捕 叉长 $L_{c\_opt}$ (mm)	相对自然 死亡率 $M/k$	相对捕捞 死亡率 $F/k$	相对总 死亡率 $Z/k$	开发率 $E$	捕捞强度 $F/M$	相对生物量 指标 $B/B_0$
3	256	148	1.55	3.75	5.30	0.61	2.55	0.26
5	241	145	1.49	5.02	6.50	0.70	3.33	0.23
10	250	158	1.32	8.79	10.10	0.71	6.62	0.22
15	246	173	1.16	10.11	11.21	0.75	20.06	0.18
平均值 Mean	248	156	1.38	6.92	8.28	0.69	8.14	0.22
变异系数 CV	0.03	0.08	0.13	0.44	0.34	0.09	1.00	0.15

#### 3.1 群体组成

北部湾竹筴鱼叉长范围为 75 ~ 285 mm,平均叉长 134 mm,优势叉长组 129 ~ 139 mm。卢振彬等<sup>[39]</sup>和贾晓平等<sup>[40]</sup>研究的竹筴鱼平均长度分别为 206 和 154 mm,两者均大于本研究的 134 mm。本研究竹筴鱼渐进叉长介于 241 ~ 246 mm,小于历史研究结果。研究表明,北部湾竹筴鱼个

体小型化趋势明显。鱼类群体结构小型化是渔业资源衰退的指标之一,该现象是中国近海主要经济鱼类的共性,如小黄鱼<sup>[41]</sup>、短尾大眼鲷<sup>[42]</sup>和二长棘犁齿鲷<sup>[13]</sup>等均出现群体小型化的趋势。因此,严格执行网具的网目尺寸标准和控制捕捞强度势在必行。

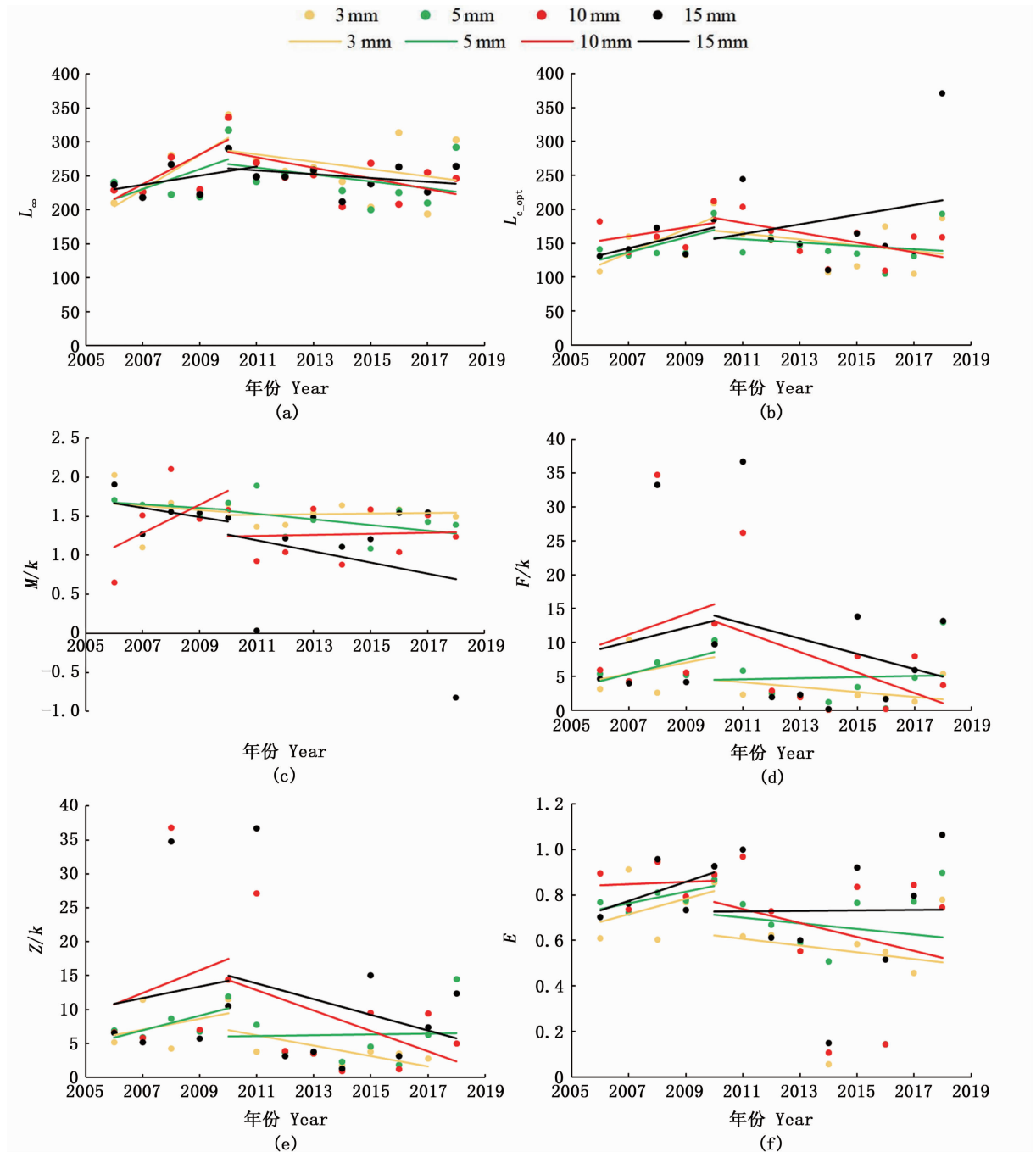


图 2 竹筴鱼种群参数的年际变化

Fig. 2 Interannual fluctuations of population parameters of *T. japonicus*

3.2 不同方法种群参数比较

本研究中,通过 LBB 估算的竹筴鱼  $L_{\infty}$  范围为 240 ~ 255 mm,其他两种方法(ELEFAN I 和鳞片年轮)相比,发现竹筴鱼的  $L_{\infty}$  低于以往估算值。这可能与南海北部沿岸海域渔业资源已处于过度开发状态有关,从而渔获物个体逐渐小型化,种类更替明显,大型鱼类种类数量严重下

降<sup>[43-44]</sup>。本研究中,LBB 估算结果低于或高于 ELEFAN I。有研究者<sup>[45]</sup>认为电子长度频率分析 ELEFAN I 中移动平均值的设置具有重要作用,其设置具有主观性,这可能是 ELEFAN I 和 LBB 估算结果存在差异的一个原因。一般地,典型鱼类自然死亡率  $M/k$  的值为 1.0 ~ 2.0<sup>[46]</sup>,可判断自然死亡率  $M$  估算的可靠性。但是这个区

间不是一定的,  $M/k$  的值因鱼种不同也会有所差异<sup>[47]</sup>。因此, 本研究所估算的  $M/k$  范围 1.16 ~ 1.55 并不能准确代表当前竹筴鱼的自然死亡状况, 还需进一步探究。捕捞死亡率  $F/k$  和  $E$  则与 WANG 等<sup>[48]</sup> 的估算结果接近, 比较能够代表北部湾竹筴鱼捕捞强度和实际开发状况。

### 3.3 竹筴鱼资源开发状况分析

陈国宝等<sup>[23]</sup>根据 1997—1999 年南海北部湾竹筴鱼的生物学数据, 运用 ELEFAN I 技术估算其生长和死亡参数, 并建议南海北部湾竹筴鱼的最适开捕体长为 148 mm。陈丕茂<sup>[49]</sup>建议最适开捕体长为 185 mm。本研究估算竹筴鱼  $L_{c\_opt}$  范围为 156 (145 ~ 173) mm。为保障鱼类有较充足的补充群体, 通常认为鱼类在捕捞前至少需产卵一次, 这样才能有效维持渔业资源的可持续利用。本研究的  $L_{c\_opt}$  理论值为 156 (145 ~ 173) mm, 估算  $L_{50}$  范围为 159 (157 ~ 162) mm, 为了更好地合理开发竹筴鱼资源, 建议竹筴鱼的最小开捕叉长为 159 mm。

一般认为, 鱼类资源最适开发率为 0.5<sup>[50]</sup>, 本研究估算开发率范围为 0.61 ~ 0.75, 说明北部湾竹筴鱼处于过度开发状态。近年来, 中国政府出台控制渔船功率和渔船数量增长措施, 并延长伏季休渔政策, 使近海捕捞压力有所缓解, 从近年广西和海南的海洋捕捞机动渔船变化趋势也可证实出台政策的实际效果<sup>[20]</sup>。北部湾为中国和越南两国渔民生产作业的海域, 虽然中国的捕捞压力得到控制, 但越南在北部湾的捕捞强度没有缓解且有上升趋势<sup>[20]</sup>。因此, 北部湾总体捕捞压力并没有得到有效的控制。

### 3.4 分组组距

根据图 2,  $L_{\infty}$  在不同组距均表现较为稳定, 而  $L_{c\_opt}$ 、 $F/k$ 、 $Z/k$  和  $E$  等参数随组距的增大波动较为明显。可以得出组距越大, 种群参数结果差异明显。因此, 对于确定一个合理长度分组组距是非常有必要的。根据《国家海洋调查规范》, 通常以 10 mm 作为鱼类长度分组组距, 也提出对于过长或过短的鱼类可分别采用组距 20 mm、5 mm<sup>[51]</sup>。但是, 没有具体界定何种鱼类应该用多大组距是最佳选择。从本文来看, 可以看到图 2c 中 15 mm 组距估算结果存在负值, 这可能是组距大的原因导致长度频率分布偏差。今后应当考虑叉长数据、样本数量和应用方法等影响因素共

同确定一个组距的划分。

### 3.5 LBB 方法的优缺点

虽然目前有较多基于长度、渔获量或产量的渔业资源评估模型应用于评估数据有限的渔业资源, 但是这些评估模型存在一定的局限性。例如, DCAC (depletion corrected average catch model) 对于自然死亡系数大于  $0.2y^{-1}$  的种群不适用<sup>[52]</sup>, LIME (length-based integrated mixed effects) 方法较适用于短寿命的鱼类<sup>[27]</sup>。相较而言, LBB 方法是一种基于长度简单快捷的资源评估方法, 不需要较多初始数据信息的输入。但是也存在一定的局限性, 估算结果可能存在不理想状态。

研究<sup>[53]</sup>表明, 长度组成变异系数较低的物种可以在相同水平的样本量下表现更好。本文每年所用样本量大小水平存在不平衡, 因此, 单个以 CV 指标判别不同组距对长度组成估算结果的影响较为片面。其次, 大型鱼类和小型鱼类描述长度频率分布的适当样本大小是不一样的, 对小型鱼类而言, 300 ~ 400 个样本量是适当样本大小<sup>[53]</sup>。研究<sup>[54]</sup>发现, 很多鱼类在达到  $L_{\infty}$  前就会死亡, 所以长度频率会向首次捕获时的长度偏移。由于样本量大小的不平衡和缺乏首次捕获鱼类长度信息, 今后还需加强在鱼类样本量、种群组成和其他不同影响因素等方面的研究。

综上所述, LBB 方法在热带渔业资源评估中具有一定的应用优势。其次, 种群参数的准确度受不同因素影响, 本文主要考虑不同组距下种群参数结果差异, 但是未对不同组距的种群参数结果以及该鱼种的资源评估和管理产生何种影响进行深入研究。因此, 建议在以后的竹筴鱼资源评估中, 可以综合考虑样本量、长度组成和其他因素的影响。

### 参考文献:

- [1] PAULY D. A review of the ELEFAN system for analysis of length-frequency data in fish and aquatic invertebrates: length-based methods in fisheries research [C]//ICLARM Conference Proceedings 13. ICLARM, 1987: 7-34.
- [2] 陈国宝, 李永振, 陈丕茂, 等. 鱼类最佳体长频率分析组距研究[J]. 中国水产科学, 2008, 15(4): 659-666.  
CHEN G B, LI Y Z, CHEN P M, et al. Optimum interval class size of length-frequency analysis of fish[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(4): 659-666.
- [3] 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.
- [4] 何宝全, 李辉权. 珠江河口棘头梅童鱼的资源评估[J]. 水产学报, 1988, 12(2): 125-134.
- HE B Q, LI H Q. Stock assessment of *Collichthys lucidus* in pearl river estuary [J]. Journal of Fisheries of China, 1988, 12(2): 125-134.
- [5] 陈国宝, 李永振, 陈丕茂. 南海北部陆架区海域蓝圆鲹产卵场的研究[J]. 热带海洋学报, 2003, 22(6): 22-28.
- CHEN G B, LI Y Z, CHEN P M. A study on spawning ground of blue mackerel scad (*Decapterus maruadsi*) in continental shelf waters of northern South China Sea [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2003, 22(6): 22-28.
- [6] 孙典荣, 邱永松. 南海北部大陆架短尾大眼鲷生长和死亡参数估计[J]. 湛江海洋大学学报, 2004, 24(1): 28-34.
- SUN D R, QIU Y S. Estimation of growth and mortality parameters of *Priacanthus macracanthus* in the north continental shelf of South China Sea [J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2004, 24(1): 28-34.
- [7] 王雪辉, 邱永松, 杜飞雁. 南海北部金线鱼生长、死亡和最适开捕体长研究[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(2): 224-230.
- WANG X H, QIU Y S, DU F Y. Study on the growth, mortality and optimum catchable size of *Nemipterus virgatus* in the northern South China Sea [J]. Journal of Ocean University of China, 2004, 34(2): 224-230.
- [8] 舒黎明, 邱永松. 南海北部多齿蛇鲷生物学分析[J]. 中国水产科学, 2004, 11(2): 154-158.
- SHU L M, QIU Y S. Biology analysis of *Saurida tumbil* in northern South China Sea [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(2): 154-158.
- [9] 朱江峰, 邱永松. 南海北部带鱼生长死亡与参数动态综合模式[J]. 海洋学报, 2005, 27(6): 93-99.
- ZHU J F, QIU Y S. Growth and mortality of hairtails and their dynamic pool models in the northern South China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 27(6): 93-99.
- [10] 刘金殿, 卢伙胜, 朱立新, 等. 北部湾多齿蛇鲷雌雄群体组成、生长、死亡特征的差异[J]. 海洋渔业, 2009, 31(3): 243-253.
- LIU J D, LU H S, ZHU L X, et al. The difference of growth, mortality and group composition between female and male *Saurida tumbil* in the Beibu Gulf [J]. Marine Fisheries, 2009, 31(3): 243-253.
- [11] 李忠炉, 卢伙胜, 甘喜萍, 等. 北部湾口海域深水金线鱼生长和死亡研究[J]. 水产科学, 2009, 28(10): 556-562.
- LI Z L, LU H S, GAN X P, et al. Growth and mortality of bottom threadfin bream *Nemipterus bathybius* in the mouth of Beibu Gulf, South China Sea [J]. Fisheries Science, 2009, 28(10): 556-562.
- [12] 周丛羽, 王迎宾, 郑基. 叉长频数数据误差对东海中部鲈鱼资源评估结果的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2015(4): 89-95.
- ZHOU C Y, WANG Y B, ZHENG J. Influence of fork length frequency data error on stock assessment result of chub mackerel in middle East China Sea [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2015(4): 89-95.
- [13] 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, 12(6): 9-16.
- ZHANG K, CHEN Z Z, QIU Y S. Decadal changes in growth, mortality and maturity parameters of *Eryniscus ardinalis* in Beibu Gulf [J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(6): 9-16.
- [14] 舒黎明, 邱永松. 珠江河口及其附近水域银鲷生长与死亡参数估计[J]. 水产学报, 2005, 29(2): 193-197.
- SHU L M, QIU Y S. Estimation of growth and mortality parameters for *Pampus argenteus* in pearl river estuary and adjacent waters [J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(2): 193-197.
- [15] 朱清澄, 孙栋, 花传祥, 等. 西非近海真鲷生物学特征的初步研究[J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(6): 686-691.
- ZHU Q C, SUN D, HUA C X, et al. Biological characteristics of red sea bream *Pagrosomus major* in coastal waters of West Africa [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2015, 30(6): 686-691.
- [16] JOHNSON M G, TAMATAMAH A R. Length frequency distribution, mortality rate and reproductive biology of kawakawa (*Euthynnus affinis*-Cantor, 1849) in the coastal waters of Tanzania [J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2013, 16(21): 1270-1278.
- [17] 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.
- [18] ZHAI L, PAULY D. Construction and interpretation of particle size distribution spectra from 19 ecopath models of Chinese coastal ecosystems [J]. Frontiers in Marine Science, 2020, 7: 298.
- [19] WANG Y B, WANG Y C, LIU S D, et al. Stock assessment using LBB method for eight fish species from the Bohai and Yellow seas [J]. Frontiers in Marine Science, 2020, 7: 164.
- [20] 王雪辉, 邱永松, 杜飞雁, 等. 基于长度贝叶斯生物量法估算北部湾二长棘鲷种群参数[J]. 水产学报, 2020, 44(10): 1654-1662.
- WANG X H, QIU Y S, DU F Y, et al. Using length-based Bayesian biomass method to estimate *Parargyrops edita* population parameters in the Beibu Gulf, South China Sea [J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(10): 1654-1662.

- [21] 晏然, 范江涛, 陈作志, 等. 南海北部近海竹筴鱼资源密度的概率分布型特征[J]. 中国水产科学, 2019, 26(1): 91-98.  
YAN R, FAN J T, CHEN Z Z, et al. The probability distribution of the jack mackerel (*Trachurus japonicus*) density in the offshore of the northern South China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(1): 91-98.
- [22] 曹宁, 高健. 东海竹筴鱼的开发利用和区域共同管理探讨[J]. 渔业经济研究, 2006(5): 25-29.  
CAO N, GAO J. Study on utilization and regional cooperation management of *Trachurus japonicus* in the East China Sea [J]. Fisheries Economy Research, 2006(5): 25-29.
- [23] 陈国宝, 邱永松. 南海北部竹筴鱼的生长、死亡及合理利用[J]. 湛江海洋大学学报, 2004, 24(1): 35-40.  
CHEN G B, QIU Y S. Growth, mortality and rational utilization of horse mackerel in northern South China Sea[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2004, 24(1): 35-40.
- [24] 王雪辉, 邱永松, 杜飞雁, 等. 北部湾鱼类多样性及优势种的时空变化[J]. 中国水产科学, 2011, 18(2): 427-436.  
WANG X H, QIU Y S, DU F Y, et al. Spatio-temporal variability of fish diversity and dominant species in the Beibu Gulf[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(2): 427-436.
- [25] 史登福, 张魁, 蔡研聪, 等. 南海北部带鱼群体结构及生长、死亡和性成熟参数估计[J]. 南方水产科学, 2020, 16(5): 51-59.  
SHI D F, ZHANG K, CAI Y C, et al. Population structure of *Trichiurus japonicus* in northern South China Sea and parameters of its growth, mortality and maturity[J]. South China Fisheries Science, 2020, 16(5): 51-59.
- [26] 郜星晨, 姜伟, 白云钦, 等. 长江宜昌段鲢的繁殖生物学特征[J]. 动物学杂志, 2018, 53(2): 198-206.  
GAO X C, JIANG W, BAI Y Q, et al. Reproductive biology of *Hypophthalmichthys molitrix* in the Yichang of the Yangtze River[J]. Chinese Journal of Zoology, 2018, 53(2): 198-206.
- [27] PONS M, COPE J M, KELL L T. Comparing performance of catch-based and length-based stock assessment methods in data-limited fisheries[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2020, 77(6): 1026-1037.
- [28] SIEGFRIED K I, SANSÓ B. Two Bayesian methods for estimating parameters of the von Bertalanffy growth equation [J]. Environmental Biology of Fishes, 2006, 77(3/4): 301-308.
- [29] BEVERTON R J H. Patterns of reproductive strategy parameters in some marine teleost fishes[J]. Journal of Fish Biology, 1992, 41(sB): 137-160.
- [30] 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. Vienna, 2003.
- [31] ALBERT J H. Bayesian estimation of normal ogive item response curves using Gibbs sampling [J]. Journal of Educational Statistics, 1992, 17(3): 251-269.
- [32] ARNOLD L M, HEPPELL S S. Testing the robustness of data-poor assessment methods to uncertainty in catch and biology: a retrospective approach [J]. ICES Journal of Marine Science, 2015, 72(1): 243-250.
- [33] 徐海龙, 陈勇, 陈新军, 等. 引入不确定性对 von Bertalanffy 生长方程关系参数估算的影响[J]. 水产科学, 2016, 35(2): 169-173.  
XU H L, CHEN Y, CHEN X J, et al. Impacts of uncertainty on estimated parameters in von Bertalanffy growth function [J]. Fisheries Science, 2016, 35(2): 169-173.
- [34] 陈宁, 徐宾铎, 薛莹, 等. 捕捞数据不确定下蓝点马鲛渔业管理策略评估[J]. 水产学报, 2018, 42(7): 1154-1167.  
CHEN N, XU B D, XUE Y, et al. Management strategy evaluation of mackerel (*Scomberomorus niphonius*) fishery with uncertainty of catch data[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(7): 1154-1167.
- [35] CHRYSAFI A, KUPARINEN A. Assessing abundance of populations with limited data: lessons learned from data-poor fisheries stock assessment [J]. Environmental Reviews, 2016, 24(1): 25-38.
- [36] SUN M, ZHANG C L, CHEN Y, et al. Assessing the sensitivity of data-limited methods (DLMs) to the estimation of life-history parameters from length-frequency data [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2018, 75(10): 1563-1572.
- [37] SCHWAMBORN R, MILDENBERGER T K, TAYLOR M H. Assessing sources of uncertainty in length-based estimates of body growth in populations of fishes and macroinvertebrates with bootstrapped ELEFAN [J]. Ecological Modelling, 2019, 393: 37-51.
- [38] 叶婷, 王迎宾, 周丛羽. 鱼类体长频率数据结构对生长参数估算的影响分析[J]. 水产科学, 2014, 33(5): 277-282.  
YE T, WANG Y B, ZHOU C Y. Analysis of effects of fish length frequency data on estimates of growth parameters[J]. Fisheries Science, 2014, 33(5): 277-282.
- [39] 卢振彬, 戴泉水, 朱进福, 等. 福建近海渔业资源结构及其主要种群生态的变化[J]. 福建水产, 1999(3): 1-7.  
LU Z B, DAI Q S, ZHU J F, et al. Change in structure of the fisheries resources and ecology of the major population in Fujian offshore waters[J]. Journal of Fujian Fisheries, 1999(3): 1-7.
- [40] 贾晓平, 李纯厚, 林昭进, 等. 北部湾渔业生态环境与渔业资源[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 130-132.  
JIA X P, LI C H, LIN Z J, et al. Fishery ecological environment and fishery resources in Beibu gulf [M]. Beijing: Science Press, 2003: 130-132.
- [41] 林龙山, 程家骅. 东海区小黄鱼渔业生物学现状的分析

- [J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(4): 565-570.
- LIN L S, CHENG J H. An analysis of the current situation of fishery biology of small yellow croaker in the East China Sea [J]. Periodical of Ocean University of China, 2004, 34(4): 565-570.
- [42] 张魁, 陈作志, 王跃中, 等. 北部湾短尾大眼鲷群体结构及生长、死亡和性成熟参数估计[J]. 热带海洋学报, 2016, 35(5): 20-28.
- ZHANG K, CHEN Z Z, WANG Y Z, et al. Population structure of *Priacanthus macracanthus* in the Beibu Gulf, and parameters for its growth, mortality and maturity[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2016, 35(5): 20-28.
- [43] 晏然. 南海北部近海竹筴鱼资源密度分布特征及栖息地模型构建[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- YAN R. Density distribution and habitat model construction of the jack mackerel (*Trachurus japonicus*) in the northern South China Sea[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [44] 郑彤, 唐议. 我国南海区海洋捕捞渔船现状分析[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(4): 620-627.
- ZHENG T, TANG Y. Analysis of current status of Chinese marine fishing fleet of South China Sea area[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(4): 620-627.
- [45] 李壮, 刘群. 应用渔业体长分析方法 ELEFAN 和 SLCA 估算鱼类生长参数的研究[J]. 海洋湖沼通报, 2007(3): 81-87.
- LI Z, LIU Q. A study of ELEFAN and SLCA for estimating growth parameters [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2007(3): 81-87.
- [46] FROESE R, WINKER H, CORO G, et al. On the pile-up effect and priors for  $L_{inf}$  and  $M/K$ : response to a comment by Hordyk et al. on “A new approach for estimating stock status from length frequency data” [J]. ICES Journal of Marine Science, 2019(2): 2.
- [47] HORDYK A R, PRINCE J D, CARRUTHERS T R, et al. Comment on “A new approach for estimating stock status from length frequency data” by Froese et al. (2018) [J]. ICES Journal of Marine Science, 2019, 76(2): 457-460.
- [48] 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.
- [49] 陈丕茂. 南海北部主要捕捞种类最适开捕规格研究[J]. 水产学报, 2004, 28(4): 393-400.
- CHEN P M. Optimum first capture standards of major capture species of the northern South China Sea [J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(4): 393-400.
- [50] GULLAND J A. Fish stock assessment: a manual of basic methods[M]. Chichester: Wiley, 1983: 1-223.
- [51] 国家技术监督局. GB/T 12763.6—1991 海洋调查规范海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- The State Bureau of Quality and Technical Supervision. GB/T 12763.6-1991 The specification for oceanographic survey - Marine biological survey [S]. Beijing: Standards Press of China, 1991.
- [52] 石永闯, 樊伟, 张衡, 等. 适用于数据缺乏渔业的资源评估方法研究进展[J]. 中国水产科学, 2021, 28(5): 673-691.
- SHI Y C, FAN W, ZHANG H, et al. Review on stock assessment methods applicable to data-limited fisheries [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(5): 673-691.
- [53] WANG J Q, XU L L, LI B, et al. An evaluation of the effects of sample size on estimating length composition of catches from tuna longline fisheries using computer simulations[J]. Aquaculture and Fisheries, 2020, 5(3): 122-130.
- [54] GULLAND J A, ROSENBERG AA. A review of length-based approaches to assessing fish stocks [R]. Rome: Food and Agriculture Organization, 1992.

## Estimation of the population parameters of *Trachurus japonicus* in the Beibu Gulf based on the LBB method

WANG Miaodi<sup>1,2</sup>, WANG Xuehui<sup>2,3</sup>, DU Feiyan<sup>2,4</sup>, SUN Dianrong<sup>2,3</sup>, WANG Yuezhong<sup>2,3</sup>, CHEN Xinjun<sup>1</sup>, QIU Yongsong<sup>2,3</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, Guangdong, China; 3. Key Laboratory of Open-Sea Fishery Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, Guangdong, China; 4. Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangzhou 510300, Guangdong, China)

**Abstract:** In order to explore the influence of the division of different intervals of *Trachurus japonicus* on its population parameters and stock assessment, the length frequency with the data of the fork length of *T. japonicus* in the Beibu Gulf from 2006 to 2018 was reconstructed, and logistic curve fitting and length Bayesian biomass estimation method (LBB) were used to estimate the first sexual maturity fork length ( $L_{50}$ ), asymptotic fork length ( $L_{\infty}$ ), relative natural mortality ( $M/k$ ), relative fishing mortality ( $F/k$ ), total mortality ( $Z/k$ ), optimal fork length-at-first-capture ( $L_{c\_opt}$ ), exploitation rate ( $E$ ) and other population parameters. The differences in population parameters under different intervals. The results show: The fork length of first sexual maturity ranges from 157 mm to 162 mm; The average values of  $L_{\infty}$ ,  $M/k$ ,  $F/k$ ,  $Z/k$ , and  $L_{c\_opt}$  of *T. japonicus* intervals length are 248 mm, 1.38, 6.92, 8.28, and 156 mm, respectively; The relative biomass  $B/B_0$  is less than 0.5, and  $E$  is greater than 0.5; The results of population parameters estimated by reconstruction length frequency of intervals are different, and the fluctuations are more obvious with the increase of intervals. Studies have shown that the biomass of *T. japonicus* is relatively low and is in an over-exploited state. At the same time, it is recommended to determine the length of a certain fish interval based on the number of samples, length composition and biological characteristics.

**Key words:** *Trachurus japonicus*; Beibu Gulf; intervals; LBB; length frequency; population parameters