

张曼, 王雪辉, 王淼娣, 等. 基于长度贝叶斯生物量估算法的北部湾带鱼资源评估[J]. 海洋学报, 2022, 44(1): 11–21, doi:10.12284/hyxb2022002

Zhang Man, Wang Xuehui, Wang Miaodi, et al. Assessment of *Trichiurus haumela* stocks in the Beibu Gulf based on length-based Bayesian biomass estimation method[J]. Haiyang Xuebao, 2022, 44(1): 11–21, doi:10.12284/hyxb2022002

基于长度贝叶斯生物量估算法的北部湾带鱼资源评估

张曼^{1,2}, 王雪辉^{2*}, 王淼娣^{1,2}, 杜飞雁², 孙典荣², 王亮根²,
王跃中², 许柳雄¹, 邱永松²

(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省渔业生态环境重点实验室/农业农村部南海渔业开发重点实验室, 广东广州 510300)

摘要: 带鱼是南海西北部北部湾主要经济鱼类种群之一, 估算其种群参数和评估其资源状况对北部湾渔业资源管理具有重要意义。本文利用 2006–2016 年北部湾带鱼 (*Trichiurus haumela*) 的生物学数据, 通过长度贝叶斯生物量估算法 (Length-based Bayesian Biomass Estimation Method, LBB) 估算带鱼的渐近肛长 (L_{inf})、最适开捕肛长 ($L_{\text{c-opt}}$)、相对自然死亡率 (M/k)、相对捕捞死亡率 (F/k)、捕捞强度 (F/M) 和开发率 (E), 并评估其资源状况 (相对现存生物量, B/B_0)。带鱼的 L_{inf} 为 44.4 cm, $L_{\text{c-opt}}$ 均值为 28.5 cm, M/k 和 F/k 均值分别为 1.32、2.76, F/M 为 2.20, E 为 0.67, B/B_0 均值为 0.16。经逻辑斯蒂曲线拟合, 带鱼的平均最小性成熟肛长为 28.63 cm。研究表明, 当前北部湾带鱼处于过度开发的状态, 现存资源量较低, 群体结构简单, 呈小型化。

关键词: 数据受限; 长度贝叶斯生物量估算法; 资源状况; 种群参数; 带鱼; 北部湾

中图分类号: S932.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2022)01-0011-11

1 引言

北部湾位于南海西北部 (17°00'~21°45'N, 105°40'~110°10'E), 东接雷州半岛和海南岛, 北依广西, 西靠越南, 是南海一个天然半封闭海湾^[1]。北部湾良好的气候环境和得天独厚的地理位置, 曾为我国优良的传统渔场^[2]。20 世纪 80 年代初, 随着捕捞能力的增加, 北部湾沿海捕捞强度加大, 该海域渔业资源于 1990 年已被充分利用, 目前处于过度利用状态, 现存资源密度仅约为最适密度的 1/4^[3-4]。尽管渔业主管部门出台并实施了渔船“双控”和休渔期等一系列措施, 但依然无法遏制北部湾渔业资源衰退的趋势。北部湾渔获物中高营养级种类逐渐被低营养级的种类代

替, 主要渔业种类种群结构发生变化, 呈现渔获物小型化、低龄化、低值化日益加剧的特征^[5-8]。带鱼 (*Trichiurus haumela*) 是南海主要经济鱼类, 也是南海最重要的渔业捕捞对象之一, 2006 年邻近南海 3 省区 (广东、广西、海南) 在南海北部带鱼产量为 32.42×10⁴ t, 占 3 省区海洋鱼类总产量的 11.8%, 在南海北部 27 种经济鱼类渔获量中居首位^[9], 2019 年南海北部带鱼产量为 27.7×10⁴ t, 占 3 省区海洋鱼类总产量的 9.2%^[10]。

带鱼是集群于近底层的暖温性鱼类, 主要分布于中国、日本、印度尼西亚、菲律宾、印度等国的沿岸海域^[11], 是我国重要的经济鱼类。我国带鱼可分为黄渤海群、东海群、粤西-北部湾群以及海南省南部群 4 个类群, 其中以黄渤海类群为主要类群^[12]。有关中

收稿日期: 2021-06-01; 修订日期: 2021-06-30。

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 (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资金 (2021SD14); 中越北部湾共同渔区联合调查。

作者简介: 张曼 (1996—), 女, 河南省信阳市人, 研究方向为渔业生物学与资源评估。E-mail: 2721327717@qq.com

* 通信作者: 王雪辉 (1975—), 男, 博士, 副研究员, 从事渔业资源调查与评估、渔业生物学等研究。E-mail: wxhscs@163.com

国海域带鱼的研究较多,曹少鹏和刘群^[13]通过蒙特卡罗模拟方法研究不确定性对生物参考点 $F_{0.1}$ 以及 F_{max} 估计的影响,并对东海带鱼渔业资源进行评估;徐兆礼和陈佳杰^[14]对东海、黄渤海带鱼的洄游路线进行了研究;20世纪90年代初,王可玲等^[15]将我国近海带鱼分为3种,分别为带鱼(*T. haumela*)、南海带鱼(*T. nanhaiensis*)和短带鱼(*T. brevis*),此3种鱼种均在南海北部出现;朱江峰和邱永松^[16]运用长度频率估算南海北部湾带鱼的生长和死亡参数;王跃中等^[17]研究气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的的影响等。目前对某一特定时期带鱼的生活史进行的研究较多,而对种群参数和资源状况的变化趋势研究较少。

客观的渔业资源评估是渔业科学管理的前提,是缓解和遏制渔业资源衰退的有效途径。基于长度贝叶斯生物量估计法(Length-Based Bayesian Biomass Estimation Method, LBB)是 Froese 等^[18]提出的一种分析商业渔获量长度频率数据的新方法,该方法除了长度频率数据,无需输入其他渔业参数,可根据频率数据估算鱼类的种群参数(如:渐近肛长(L_{inf})、最适开捕肛长(L_{c_opt})、相对自然死亡率(M/k)和相对捕捞死亡率(F/k)等)和资源状况(相对现存生物量 B/B_0 和最大可持续产量生物量 B/B_{msy})等。长度频率数据又是渔业生物学测定中最易获取且误差量较小的数据^[19]。因此, LBB 可对数据缺乏的渔业资源提供一种新的评估方法。但陈国宝等^[20]认为,按体长划分组距是开展鱼类体长频率分布的重要步骤,不同组距重构的长度频率数据在估算种群参数和资源开发状态时有明显差距。Schwambor 等^[21]也认为,不同组距的长度频率分布会造成评估结果的不确定。因此,为提高评估结果的可靠性,本文根据2006–2016年在北部湾采集的带鱼生物学测定数据,通过不同组距重构长度频率数据,运用 LBB 估算北部湾带鱼的种群参数和资源状况,提高评估的准确性,以期为该海域带鱼资源的科学管理和持续利用提供数据支撑。

2 材料与方法

2.1 数据

本文所用的带鱼肛长数据来自2006–2016年在北部湾开展的26个航次的渔业资源调查(图1)。调查船为“北渔60011”底拖网渔船,总吨位为242 t、长度为36.8 m、宽为6.8 m、主机功率为441 kW。采样网具为404型底拖网,上纲长度为37.7 m、网目尺寸为20 cm、网囊网目尺寸为3.9 cm、网衣长为60.5 m^[22]。采样及

样本分析按照《海洋调查规范 第6部分:海洋生物调查》(GB/T 12763.6–2007)^[23]进行。26个航次共采集带鱼样本3 432尾,各航次样本数见表1。参照文献[24],将所有样本的肛长中某一肛长的数量占总样本肛长总数8%及以上的肛长定义为优势肛长。

表1 2006–2016年北部湾带鱼肛长组成
Table 1 Anal length composition of *Trichiurus haumela* in the Beibu Gulf from 2006 to 2016

年份	肛长范围/cm	肛长均值/cm	优势肛长/cm	尾数
2006	3.2~44.0	21.4	24.0~24.9	1 140
2007	6.1~40.0	20.0	—	940
2008	13.1~39.5	22.4	19.0~25.9	147
2009	16.2~38.0	21.4	19.0~20.9	33
2010	10.5~42.7	19.9	16.0~22.9	246
2011	9.2~31.4	16.5	15.0~18.5	62
2012	9.2~31.4	17.1	12.0~16.7	169
2013	6.6~44.0	18.9	17.0~20.9	259
2014	6.1~30.9	16.8	12.0~14.9	286
2015	14.7~24.5	19.5	17.0~22.5	90
2016	10.5~36.4	18.6	15.0~19.6	60
2006–2016	3.2~44.0	20.0	19.0~19.9	3 432

注:—代表无优势肛长。

由于2008–2016年数据相对较少,故将这一时段合并为3个阶段(2008–2010年、2011–2013年和2014–2016年),结合2006–2007年对肛长频率分布进行分析并估算北部湾带鱼的初次性成熟肛长。

本文分别按照0.5 cm、1.0 cm、1.5 cm和2.0 cm划分组距,估算不同组距的种群参数,求其平均值,以减少不同肛长组构成的长度频率对估算结果的影响。

2.2 方法

2.2.1 种群参数

本文采用 LBB 对渔获量长度频率进行分析,在这里只给出基本的公式,详细方法见文献[18]。

在 LBB 中,假设鱼类的生长遵守 von Bertalanffy 生长方程^[25],即:

$$L_t = L_{inf} (1 - e^{-k(t-t_0)}), \quad (1)$$

式中, L_t 为年龄 t 时的长度; L_{inf} 为渐近肛长; k 为接近 L_{inf} 的速率; t_0 为零长度的理论年龄。

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

式中, N_L 为长度 L 的鱼类存活数量; L_{start} 为完全选择

的开始长度; $N_{L_{\text{start}}}$ 为长度为 L_{start} 的数量, 其进入渔具的个体被全部保留; Z/k 是总死亡率 (Z) 与生长率 (k) 的比值, 其中,

$$Z = M + F, \quad (3)$$

式中, M 为自然死亡率; F 为捕捞死亡率。

受部分选择影响的渔获量由式(4)中的逻辑函数给出的渔具(此处假设为拖网)对各物种的选择性函数为

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

式中, S_L 是渔具在长度为 L 时保留的个体比例; L_c 是 50% 的个体被渔具捕获的首次捕捞长度; α 是渔具的陡峭度^[26]。

通过拟合, 同时估计选择函数的 L_{inf} 、 L_c 、 α 、 M/k 、 F/k 等参数:

$$N_{L_i} = N_{L_{i-1}} \left(\frac{L_{\text{inf}} - L_i}{L_{\text{inf}} - L_{i-1}} \right)^{\frac{M}{k} + \frac{F}{k} S_{L_i}}, \quad (5)$$

$$C_{L_i} = N_{L_i} S_{L_i}, \quad (6)$$

式中, N_{L_i} 为长度为 i 时的个体数量; $N_{L_{i-1}}$ 为前一个长度的数量; S_{L_i} 表示 L_i 长度个体在渔具上保留的个体比例; C 为长度为 L_i 的个体易受渔具伤害的个体数量, 所有参数如上所述^[18]。

最后, 下面的公式描述了 L_{inf} 、 L_c 、 α 、 M/k 、 F/k 近似种群的框架^[27]。首先, 已知 L_{inf} 和 M/k 的估计 L_{opt} 可由式(7)得到^[28]:

$$L_{\text{opt}} = L_{\text{inf}} \left(\frac{3}{3 + M/k} \right), \quad (7)$$

式中, L_{opt} 为未开发世代种群生物量最大长度。

根据式(7)和给定的捕捞强度 (F/M), 可得到 $L_{c_{\text{opt}}}$:

$$L_{c_{\text{opt}}} = \frac{L_{\text{inf}} (2 + 3F/k)}{(1 + F/M)(3 + M/k)}, \quad (8)$$

式中, $L_{c_{\text{opt}}}$ 为最佳开捕肛长。

通过 $L_{c_{\text{opt}}}$ 的估算值计算最大可持续产量 (Maximum Sustainable Yield, MSY) 的相对生物量^[18]。

单位捕捞产量指数 ($\frac{Y'}{R}$) 可以表示为 L_c/L_{inf} 、 F/k 、 M/k 和 F/M 的函数:

$$\frac{Y'}{R} = \frac{F/M}{1 + F/M} \left(1 - \frac{L_c}{L_{\text{inf}}} \right)^{\frac{M}{k}} \left[1 - \frac{3(1 - L_c/L_{\text{inf}})}{1 + \frac{1}{M/k + F/k}} + \frac{3(1 - L_c/L_{\text{inf}})^2}{1 + \frac{2}{M/k + F/k}} + \frac{(1 - L_c/L_{\text{inf}})^3}{1 + \frac{3}{M/k + F/k}} \right]. \quad (9)$$

单位捕捞努力量指数 (CPUE'/R) 由式(9)除以捕捞强度 F/M 得到。由于 CPUE' 与资源开发阶段生物量成正比, 则 CPUE'/R ^[27] 公式为

$$\frac{\text{CPUE}'}{R} = \frac{Y'/R}{F/M} = \frac{1}{1 + F/M} \left(1 - \frac{L_c}{L_{\text{inf}}} \right)^{\frac{M}{k}} \left[1 - \frac{3(1 - L_c/L_{\text{inf}})}{1 + \frac{1}{M/k + F/k}} + \frac{3(1 - L_c/L_{\text{inf}})^2}{1 + \frac{2}{M/k + F/k}} + \frac{(1 - L_c/L_{\text{inf}})^3}{1 + \frac{3}{M/k + F/k}} \right]. \quad (10)$$

如若不进行捕捞, 则该种群在开发阶段的相对生物量指数为

$$\frac{B'_0 > L_c}{R} = \frac{1}{1 + F/M} \left(1 - \frac{L_c}{L_{\text{inf}}} \right)^{\frac{M}{k}} \left[1 - \frac{3(1 - L_c/L_{\text{inf}})}{1 + \frac{1}{M/k + F/k}} + \frac{3(1 - L_c/L_{\text{inf}})^2}{1 + \frac{2}{M/k + F/k}} + \frac{(1 - L_c/L_{\text{inf}})^3}{1 + \frac{3}{M/k + F/k}} \right], \quad (11)$$

式中, $B'_0 > L_c$ 为未捕捞生物量 (B_0) 的可开发部分, 种群 B/B_0 的被开发部分的种群相对现存生物量为

$$\frac{B}{B_0} = \frac{\text{CPUE}'/R}{(B'_0 > L_c)/R}. \quad (12)$$

LBB 估算在 R 语言中执行, 并通过 Bayesian Gibbs sample 软件 JAGS 实施^[29], 代码 (R-code: LBB_33a.R) 可从网站 <http://oceanrep.geomar.de/43182/> 下载。

2.2.2 初次性成熟肛长

统计 2006–2016 年北部湾带鱼雌性个体的性腺发育状况, 将性腺按照 I~VI 期标准划分, 规定 III 期以上为性成熟个体。由最小二乘法拟合逻辑斯蒂模型得到^[30]:

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-(a+bL_i)}}, \quad (13)$$

式中, P_i 为每组性成熟个体占组内样本的百分比; a 、 b 为参数, 初次性成熟肛长 $L_{50\%} = -a/b$ 。

3 结果

3.1 肛长组成

2006–2016 年北部湾带鱼肛长范围为 3.2~44.0 cm, 均值为 20.0 cm, 平均肛长呈现减小趋势, 优势肛长范围为 19.0~19.9 cm。

3.2 肛长频率分布

带鱼肛长频率分布如图 2 所示。2006–2007 年肛长分布较均匀 (图 2a), 2008–2010 年、2011–2013 年和 2014–2016 年肛长分布较集中, 尤其是在 2008–2010 年以及 2014–2016 年 (图 2b 至图 2d), 结果表明种群结构逐渐趋于简单。

3.3 初次性成熟肛长

根据带鱼雌性个体性成熟比例, 运用逻辑斯蒂模型拟合并估算 2006–2016 年初次性成熟肛长为 28.63 cm

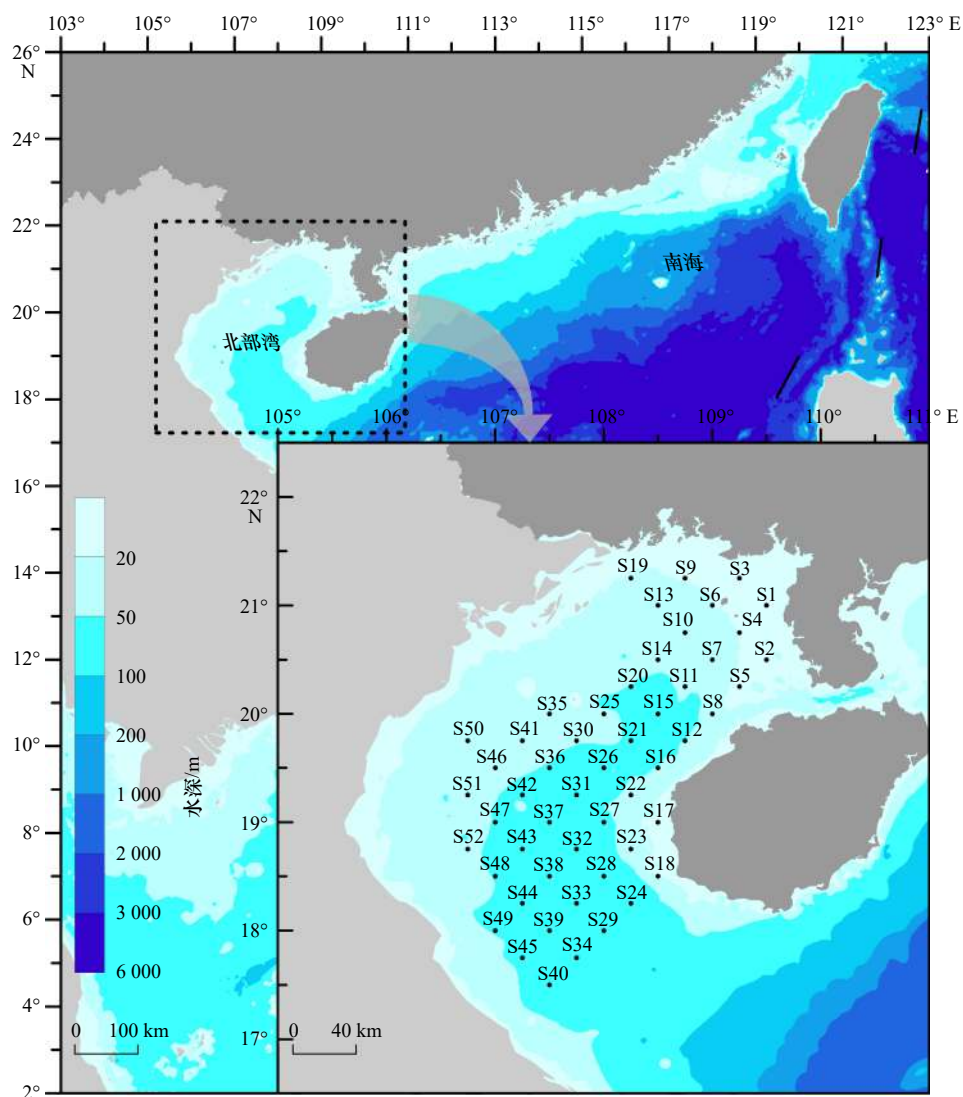


图 1 北部湾底拖网采样站位示意图

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

(图 3)。其中, 2006–2007 年、2008–2010 年、2011–2013 年和 2014–2016 年初次性成熟肛长分别为 27.73 cm、27.48 cm、23.80 cm 和 21.14 cm, 带鱼初次性成熟肛长呈现减小趋势。

3.4 种群参数及资源状况

按照 0.5 cm、1.0 cm、1.5 cm 和 2.0 cm 4 个组间距, 分别将带鱼的长度数据进行频率重构分组, 运用 LBB 分别对北部湾带鱼不同组距的长度频率数据进行拟合, 以减少体长组距对评估结果的影响。

由表 2 可知, 1.0 cm 组距的种群参数和资源状况估算值与平均值最为接近。

种群参数 L_{inf} 、 $L_{c_{opt}}$ 在不同组距中的估算值较接近, 估算均值分别为 44.4 cm (43.9~44.7 cm)、28.5 cm (27~31 cm); M/k 的估算均值为 1.32 (1.03~1.58), 随

着组距的增大呈现减小趋势; F/k 和 F/M 的估算均值分别为 2.76 (1.95~3.45)、2.20 (1.26~3.34), 随着组距的增大呈现增大趋势, 且 F/M 均大于 1, 表明带鱼处于过度捕捞的状态。

资源状况指标 E 和 L_{95th}/L_{inf} 的估算均值分别为 0.67 (0.55~0.77)、0.96 (0.95~0.99), 随着组距的增大而增大; B/B_0 、 L_{mean}/L_{opt} 、 $L_c/L_{c_{opt}}$ 的估算均值分别为 0.16 (0.08~0.26)、0.76 (0.73~0.78)、0.64 (0.61~0.67), 随着组距的增大而减小。不同组距的 E 均大于 0.50, B/B_0 均小于 0.50, L_{mean}/L_{opt} 和 $L_c/L_{c_{opt}}$ 均小于 0.9, L_{95th}/L_{inf} 均大于 0.9, 表明北部湾带鱼处于过度开发的状态, 出现明显的小型化和资源衰退的现象。

3.5 年际变化

2006–2016 年北部湾带鱼年际变化如图 4。 L_{inf}

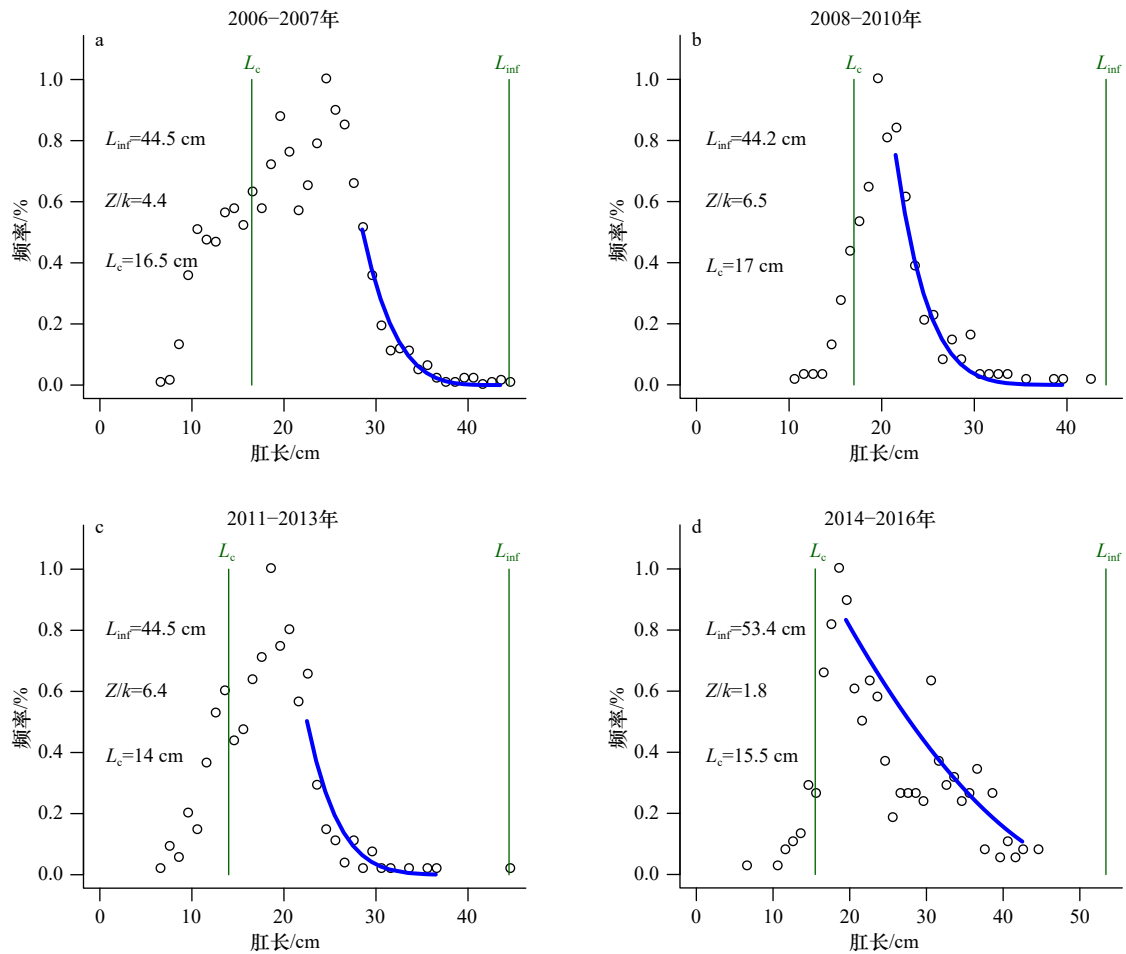


图2 带鱼肛长频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of anal length of *Trichiurus haumela*

圆圈表示聚合的长度频率; 蓝色曲线表示估算 Z/k 的初步拟合

The circles indicate the aggregated length frequencies; the blue curves indicate a preliminary fit to estimate Z/k

和 L_{c_opt} 整体呈现减小趋势(图 4a, 图 4b); M/k 在 1.5 上下波动(图 4c); F/k 、 F/M (除 2.0 cm 组距)整体呈现减小趋势(图 4d, 图 4e), B/B_0 整体呈现增大趋势(图 4f), 表明带鱼的捕捞强度得到了控制, 相对现存生物量得到一定恢复; E 、 L_{mean}/L_{opt} 、 L_c/L_{c_opt} 整体呈现减小趋势, $L_{95\%}/L_{inf}$ 在 0.8 上下波动趋于平缓(图 4g 至图 4j), 表明开发得到控制但仍处于过度开发状态, 且带鱼出现小型化现象。其中, B/B_0 和 E 各组距值相差较大(图 4f, 图 4g); L_{mean}/L_{opt} 、 L_c/L_{c_opt} 、 $L_{95\%}/L_{inf}$ 各组距值相差较小(图 4h 至图 4j)。

4 讨论与分析

4.1 肛长组成

2006–2016 年带鱼肛长范围为 3.2~44.0 cm, 均值为 20.0 cm, 平均肛长和最小性成熟肛长呈减小趋势(表 1, 图 2), 长度频率分布表明带鱼群体结构日趋单一化。可见, 北部湾带鱼个体出现小型化、性成熟提

前和结构单一的现象。研究表明^[31-32], 捕捞强度和 环境变化是导致渔业资源波动的主要因素, 其中捕捞强度的增加导致资源质量下降, 而环境变化改变了渔业资源的种群结构^[33]。朱江峰和邱永松^[16]指出, 1990 年末南海北部带鱼的渔获物以 I 龄以下幼鱼为主。本研究表明, 以幼鱼占较大比重渔获的现象没有得到有效的遏制, 且这种渔获物幼龄化现象在我国近海的其他经济鱼类, 如北部湾二长棘鲷(*Parargyrops edita*)^[7]、黄渤海蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)^[34]、东海带鱼^[35]、福建近海的白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)、二长棘鲷(*Parargyrops edita*)和短尾大眼鲷(*Priacanthus macracanthus*)^[36]等中均有出现。

4.2 不同海域带鱼种群参数比较

如表 3 所示, 带鱼渐近肛长在不同海域差异较大, 且无明显的规律^[36-38], 这与不同时期定种的差异有关^[15, 39]。但是, 可明显看出, 2014–2015 年和本文的带鱼渐近肛长明显小于南海北部的其他年份。此外, 不

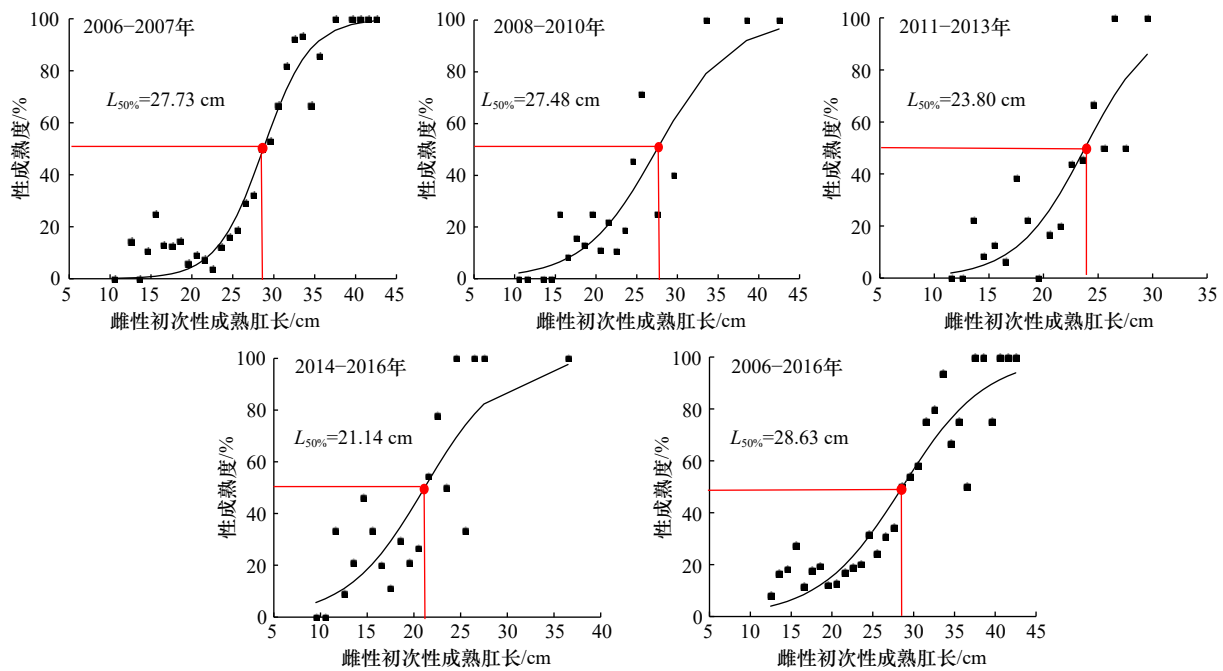


图3 带鱼性成熟度与肛长拟合的逻辑斯蒂曲线

Fig. 3 Logistic curve fitted for the relationship between anal length and observed proportion of mature individuals of *Trichiurus haumela*

黑点表示实际性成熟占比; 红点表示初次性成熟; 黑线表示预测性成熟占比

Black dots indicate the actual proportion of sexual maturation; red dots indicate primary sexual maturation; black lines indicate the proportion of predictive sexual maturation

表2 根据LBB估算2006-2016年不同组距带鱼的种群参数及资源状况

Table 2 The population parameters and stock status of different groups of *Trichiurus haumela* estimated by LBB from 2006 to 2016

组距/cm	L_{inf}/cm	$L_{c_{opt}}/cm$	M/k	F/k	F/M	E	B/B_0	L_{mean}/L_{opt}	$L_c/L_{c_{opt}}$	L_{95th}/L_{inf}
0.5	43.9	28	1.58	1.95	1.26	0.55	0.26	0.78	0.67	0.95
1.0	44.7	27	1.35	2.71	2.02	0.66	0.15	0.76	0.64	0.95
1.5	44.6	28	1.32	2.92	2.19	0.69	0.13	0.75	0.65	0.96
2.0	44.5	31	1.03	3.45	3.34	0.77	0.08	0.73	0.61	0.99
平均值	44.4	28.5	1.32	2.76	2.20	0.67	0.16	0.76	0.64	0.96
变异系数	0.008	0.06	0.17	0.2	0.39	0.14	0.48	0.03	0.04	0.02

注: L_{mean} 表示渔获物平均长度; L_{95th} 表示95%被渔具保留的长度。

同海域的生境和捕捞强度也是造成带鱼个体大小差异的主要因素^[17, 40]。Froese等^[27]研究表明, M/k 的比值在1.0~2.0之间, 如果 M/k 小于1.5则表明该物种自然死亡率相对较低。在1976年、1994年和1990-2007年间, 东海区的 M/k 呈减小趋势, 而 F/k 则增大, 表明东海区带鱼在此期间仍然承受较强的捕捞强度。而在南海, M/k 则略有增大, 而 F/k 减小, 表明南海的捕捞强度得到有效控制。从生物学角度来说, 由于南海的纬度较低, 属热带-亚热带气候, 栖息在该海域的鱼

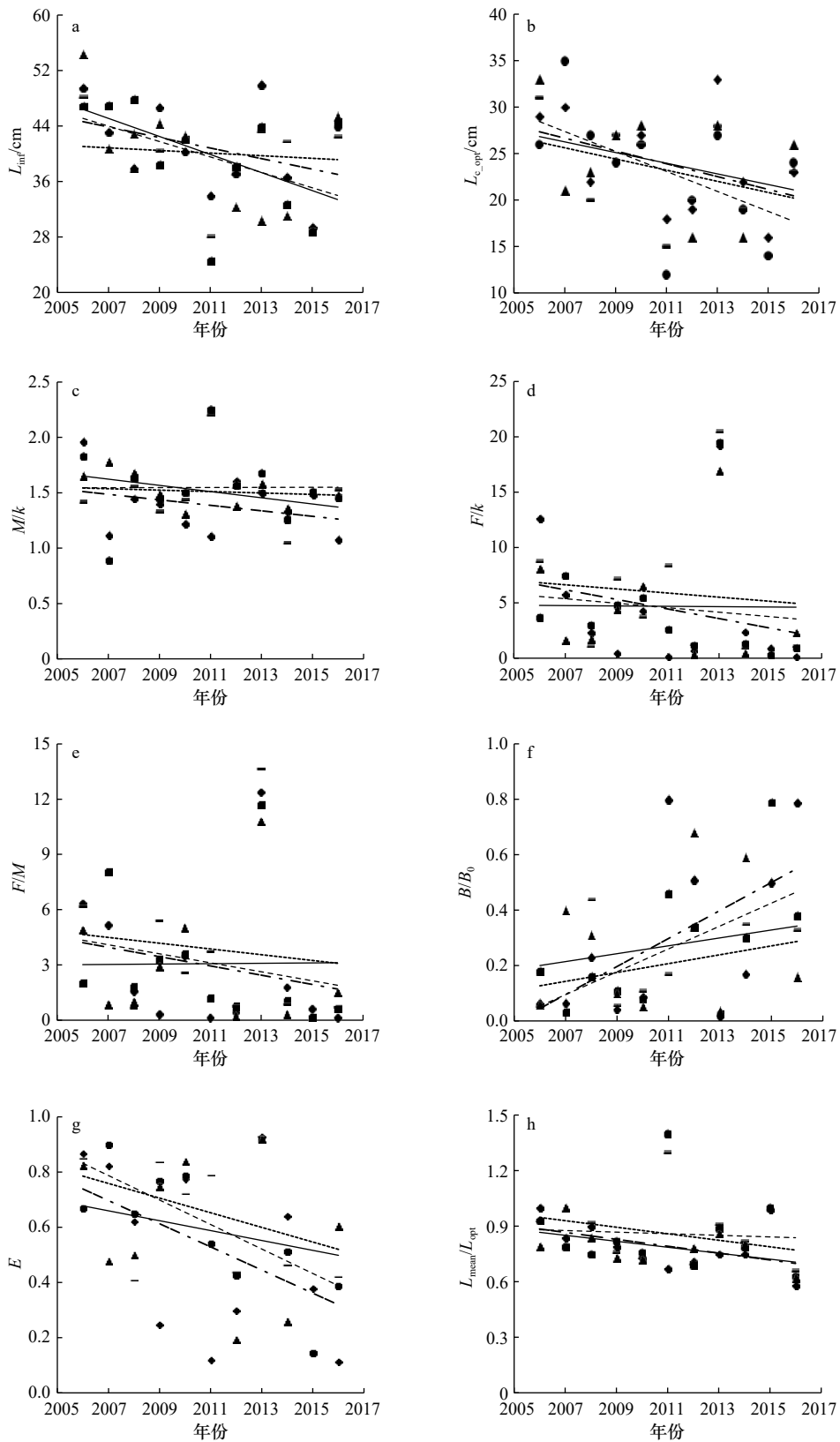
类具有生长速度快、能承受较高捕捞强度的特点。南海北部带鱼的初次性成熟肛长呈现减小趋势, 表明带鱼出现性成熟提前的现象, 这可能是对捕捞压力的响应, 与本研究的结果一致。

4.3 资源状况

Gulland^[41]提出鱼类的最适 E 为0.5, 大于0.5为过度开发。本研究得到北部湾带鱼的 E 为0.67, 高于南海北部(含北部湾)带鱼的开发率($E=0.59$)^[24], 低于2006-2007年北部湾带鱼的开发水平($E=0.85$)^[42], 表

明北部湾带鱼仍处于过度开发的状态。尽管我国出台多项控制近海捕捞强度政策, 但北部湾仍然承受较高的捕捞强度($F/M=2.20>1$), 导致渔业资源密度持续下降^[33]。LBB 各估算结果显示, 当前北部湾带鱼的现

存资源量仅为原始资源量的 0.16($B/B_0=0.16$), $L_{\text{mean}}/L_{\text{opt}}$ 和 $L_c/L_{c_{\text{opt}}}$ 分别为 0.76 和 0.64。可见, 当前北部湾带鱼的资源量较低, 且渔获的带鱼个体较小。朱江峰和邱永松^[16]、Wang 等^[42] 和凌建忠等^[43] 研究表明, 增大鱼



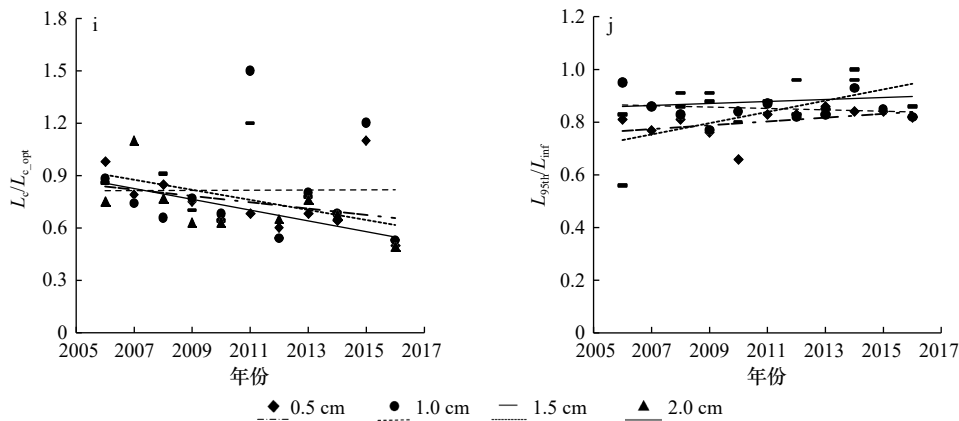


图 4 2006–2016 年北部湾带鱼种群参数及资源状况年际变化

Fig. 4 Interannual variation of population parameters and stock status of *Trichiurus haumela* in the Beibu Gulf from 2006 to 2016

表 3 不同海域带鱼的种群参数

Table 3 Population parameters of *Trichiurus haumela* in different sea areas

海域	年份	L_{inf}/cm	初次性成熟肛长 $L_{50\%}/\text{cm}$	M/k	F/k	F/M	E
福建海区 ^[36]	1976	71.2	—	2.28	2.57	1.13	0.53
福建海区 ^[36]	1994	67.8	—	2.22	4.39	1.98	0.67
东海 ^[37]	1990–2007	49.8	—	1.32	8.16	6.19	0.86
南海北部 ^[38]	1981–1982	62.2	32.20	1.32	—	—	0.71
南海北部 ^[16]	1997–1999	70.0	27.60	1.44	9.74	6.74	0.87
北部湾(本文)	2006–2016	44.4	28.63	1.32	2.76	2.20	0.67
南海北部 ^[24]	2014–2015	58.5	24.15	2.38	3.49	1.48	0.59

注: —表示文献中未找到相应参数。

类开捕规格既可以有效恢复渔业资源,又可以提高渔民的经济效益,且扩大网目尺寸比降低捕捞强度更容易执行。经 LBB 估算北部湾带鱼的最适开捕肛长为 28.50 cm,接近本文计算的带鱼最小性成熟肛长(28.63 cm),大于 2014–2015 年南海北部拖网捕获的带鱼最小性成熟肛长(24.15 cm)^[24]以及东海带鱼产

量群体的平均肛长(16.87 cm)^[43],可保障捕获的带鱼有一次产卵的机会。

致谢:感谢 Froese Rainer 博士和蔡研聪博士在 LBB 和 R 语言运用上的指导与帮助。

参考文献:

- [1] 冯秉东. 论北部湾水产资源的可持续利用[J]. 现代渔业信息, 1998, 13(11): 1–4.
Feng Bingdong. Sustainable utilization of fishery resources in Beibu Bay[J]. Modern Fisheries Information, 1998, 13(11): 1–4.
- [2] 李冠军, 邱永松, 王跃中. 自然环境变动对北部湾渔业资源的影响[J]. 南方水产, 2007, 3(1): 7–13.
Li Koujun, Qiu Yongsong, Wang Yuezhong. Influence of natural environment variation on fishery resources in Beibu Gulf[J]. South China Fisheries Science, 2007, 3(1): 7–13.
- [3] 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): 57–65.
Yuan Weiwen. Dynamics and succession of demersal resources in Beibu Gulf[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1995(2): 57–65.
- [4] 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: 85–87.
Jia Xiaoping, Li Chunhou, Lin Zhaojin, et al. Fishery Environment and Resources in Beibu Gulf[M]. Beijing: Science Press, 2003: 85–87.
- [5] 耿平, 张魁, 陈作志, 等. 北部湾蓝圆鲹生物学特征及开发状态的年际变化[J]. 南方水产科学, 2018, 14(6): 1–9.
Geng Ping, Zhang Kui, Chen Zuozhi, et al. Interannual change in biological traits and exploitation rate of *Decapterus maruadsi* in Beibu

- Gulf[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(6): 1–9.
- [6] 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 Xuehui, Qiu Yongsong, Du Feiyan, 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.
- [7] 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 Xuehui, Qiu Yongsong, Du Feiyan, 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.
- [8] 张魁, 陈作志, 邱永松. 北部湾二长棘鲷齿鲷生长、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 Kui, Chen Zuozhi, Qiu Yongsong. Decadal changes in growth, mortality and maturity parameters of *Eyynnys cardinalis* in Beibu Gulf[J]. *South China Fisheries Science*, 2016, 12(6): 9–16.
- [9] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. China Fisheries Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [10] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴—2020[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020.
- [11] 林景祺. 海洋渔业资源导论[M]. 北京: 海洋出版社, 1996.
Lin Jingqi. Introduction to Marine Fishery Resources[M]. Beijing: China Ocean Press, 1996.
- [12] 邓景耀, 赵传纲. 海洋渔业生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991.
Deng Jingyao, Zhao Chuanyin. Marine Fishery Biology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991.
- [13] 曹少鹏, 刘群. 把不确定性引入生物学参考点 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 的估计以评估东海带鱼渔业资源[J]. *南方水产*, 2007, 3(2): 42–48.
Cao Shaopeng, Liu Qun. Stock assessment of the hairtail (*Trichiurus haumela*) fishery in the East China Sea by incorporating uncertainty into the estimation of the biological reference points $F_{0.1}$ and F_{max} [J]. *South China Fisheries Science*, 2007, 3(2): 42–48.
- [14] 徐兆礼, 陈佳杰. 东、黄渤海带鱼的洄游路线[J]. *水产学报*, 2015, 39(6): 824–835.
Xu Zhaoli, Chen Jiajie. Migratory routes of *Trichiurus lepturus* in the East China Sea, Yellow Sea and Bohai Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(6): 824–835.
- [15] 王可玲, 张培军, 刘兰英, 等. 中国近海带鱼分种的研究[J]. *海洋学报*, 1993, 15(2): 77–83.
Wang Keling, Zhang Peijun, Liu Lanying, et al. Studies on the speciation of hairtail in the coastal waters of China[J]. *Haiyang Xuebao*, 1993, 15(2): 77–83.
- [16] 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 Jiangfeng, Qiu Yongsong. Growth and mortality of hairtails and their dynamic pool models in the northern South China Sea[J]. *Haiyang Xuebao*, 2005, 27(6): 93–99.
- [17] 王跃中, 孙典荣, 陈作志, 等. 气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的影响[J]. *生态学报*, 2012, 32(24): 7948–7957.
Wang Yuezhong, Sun Dianrong, Chen Zuozhi, et al. The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(24): 7948–7957.
- [18] 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.
- [19] 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 Xuehui, Du Feiyan, Qiu Yongsong. Length-weight relationships of important commercial fishes in northern South China Sea[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2006, 25(2): 262–266.
- [20] 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 Guobao, Li Yongzhen, Chen Pimao, et al. Optimum interval class size of length-frequency analysis of fish[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(4): 659–666.
- [21] Schwaborn R, Mildnerberger 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.
- [22] 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 Xuehui, Qiu Yongsong, Du Feiyan, 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.
- [23] 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, 2007.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.6–2007, Specifications for oceanographic survey—Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [24] 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 Dengfu, Zhang Kui, Cai Yancong, 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.
- [25] Beverton R J H, Holt S J. On the Dynamics of Exploited Fish Populations[M]. London: Her Majesty's Stationery Office, 1957: 533.
- [26] Quinn II T J, Deriso R B. Quantitative Fish Dynamics[M]. New York: Oxford University Press, 1999: 560.
- [27] Froese R, Winker H, Gascuel D, et al. Minimizing the impact of fishing[J]. *Fish and Fisheries*, 2016, 17(3): 785–802.
- [28] Holt S J. The evaluation of fisheries resources by the dynamic analysis of stocks, and notes on the time factors involved[R]. Vancouver: International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries, 1985: 77–95.
- [29] 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: DSC, 2003.
- [30] Arocha F, Bárríos A. Sex ratios, spawning seasonality, sexual maturity, and fecundity of white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the western central Atlantic[J]. *Fisheries Research*, 2009, 95(1): 98–111.
- [31] Cheung W W L, Dunne J, Sarmiento J L, et al. Integrating ecophysiology and plankton dynamics into projected maximum fisheries catch potential under climate change in the Northeast Atlantic[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2011, 68(6): 1008–1018.
- [32] Qiu Yongsong, Lin Zhaojin, Wang Yuezhong. Responses of fish production to fishing and climate variability in the northern South China Sea[J]. *Progress in Oceanography*, 2010, 85(3/4): 197–212.
- [33] Wang Xuehui, Qiu Yongsong, Du Feiyan, 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.
- [34] 孙本晓. 黄渤海蓝点马鲛资源现状及其保护[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- Sun Benxiao. The current situation and conservation of *Scomberomorus niphonius* in Yellow Sea and Bohai Bay[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009.
- [35] 周永东, 徐汉祥, 刘子藩, 等. 东海带鱼群体结构变动的研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2002, 21(4): 314–320.
- Zhou Yongdong, Xu Hanxiang, Liu Zifan, et al. A study on variation of stock structure of hairtail, *Trichiurus haumela* in the East China Sea[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2002, 21(4): 314–320.
- [36] 卢振彬, 戴泉水, 颜尤明. 福建近海主要底层经济鱼类的种群动态[J]. 台湾海峡, 1999, 18(1): 100–105.
- Lu Zhenbin, Dai Quanshui, Yan Youming. A study of population dynamics of major benthic commercial fishes in Fujian coastal waters[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1999, 18(1): 100–105.
- [37] 王焱. 伏季休渔条件下东海带鱼资源评估[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2010.
- Wang Yao. The resource evaluation of *Trichiurus japonicus* on East China Sea in summer close season[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2010.
- [38] 张进上. 南海北部大陆架海域渔业资源调查及区划研究: 外海重点鱼类资源调查带鱼生物学测定记录[R]. 广州: 中国水产科学研究院南海水产研究所, 1982: 1–17.
- Zhang Jinshang. Investigation and regionalization of fishery resources in the northern continental shelf area of the South China Sea: the investigation of key fish resources in the open sea[R]. Guangzhou: South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, 1982: 1–17.
- [39] 吴仁协, 张浩冉, 郭刘军, 等. 中国近海带鱼 *Trichiurus japonicus* 的命名和分类学地位研究[J]. 基因组学与应用生物学, 2018, 37(9): 3782–3791.
- Wu Renxie, Zhang Haoran, Guo Liujun, et al. Study on the nomenclature and taxonomic status of hairtail *Trichiurus japonicus* from the Chinese coastal waters[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2018, 37(9): 3782–3791.
- [40] 王跃中, 孙典荣, 林昭进, 等. 捕捞压力和气候因素对黄渤海带鱼渔获量变化的影响[J]. 中国水产科学, 2012, 19(6): 1043–1050.
- Wang Yuezhong, Sun Dianrong, Lin Zhaojin, et al. Analysis on responses of hairtail catches to fishing and climate factors in the Yellow Sea and Bohai Sea, China[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(6): 1043–1050.
- [41] Gulland J A. Fish Stock Assessment: A Manual of Basic Method[M]. New York: Wiley, 1983: 87–125.
- [42] Wang Xuehui, Qiu Yongsong, Du Feiyan, 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.
- [43] 凌建忠, 李圣法, 严利平, 等. 基于Beverton-Holt模型的东海带鱼资源利用与管理[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 178–182.
- Ling Jianzhong, Li Shengfa, Yan Liping, et al. Utilization and management of *Trichiurus japonicus* resources in East China Sea based on Beverton-Holt model[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 178–182.

Assessment of *Trichiurus haumela* stocks in the Beibu Gulf based on length-based Bayesian biomass estimation method

Zhang Man^{1,2}, Wang Xuehui², Wang Miaodi^{1,2}, Du Feiyan², Sun Dianrong²,
Wang Lianggen², Wang Yuezhong², Xu Liuxiong¹, Qiu Yongsong²

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

Abstract: *Trichiurus haumela* is one of the major commercial fish populations in the Beibu Gulf of the northwestern South China Sea. It is of great significance to estimate population parameters and assess the stock status of *T. haumela* for the fishery management in the Beibu Gulf. Based on the biological data of *T. haumela* collected in the Beibu Gulf from 2006 to 2016, the asymptotic length (L_{inf}), the optimal length-at-first-capture (L_{c_opt}), relative mortality (M/k and F/k), exploitation rate (E), and relative biomass (B/B_0) are estimated using the length-based Bayesian biomass estimation method (LBB). The results show that the L_{inf} is 44.4 cm, the mean of L_{c_opt} is 28.5 cm, the mean of M/k and F/k are 1.32 and 2.76, the F/M is 2.20 and the E and B/B_0 are 0.67 and 0.16, respectively. The anal length of the first gonadal maturation ($L_{50\%}$) is 28.63 cm fitted by Logistic models. The results show that the current stock of *T. haumela* in the Beibu Gulf is over-exploited, the extant biomass is relatively low, the length-frequency tends to simplification and miniaturization.

Key words: data-limited; length-based Bayesian biomass estimation method; stock status; population parameters; *Trichiurus haumela*; Beibu Gulf