

应用年龄结构产量模型评估印度洋黄鳍金枪鱼资源

冯 波^{1,4}, 陈新军^{1,2,3,*}, 西田勤⁵

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室, 上海 201306;

3. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 广东海洋大学水产学院, 湛江 524025,

5. 日本远洋水产研究所, 清水 424-8633)

摘要: 利用年龄结构产量模型 (Age structured production model, ASPM) 评估了印度洋黄鳍金枪鱼资源状况, 同时结合亲体量-补充量曲线陡度系数和年龄组自然死亡系数的敏感性分析, 描述了黄鳍金枪鱼资源的发展趋势、判断了开发状况。研究认为, 陡度系数设在 0.6—0.8 才可能使亲体量产生出最大可持续产量 (Maximum sustainable yield, MSY) 的水平。采用美洲热带金枪鱼委员会推荐的自然死亡系数值时, 评估结果最接近渔业现状。研究发现, 随着捕捞努力量的增加, 总资源量和亲体量呈逐年下降趋势, 但总资源量自 1990 年后趋向稳定, 维持在 195.9—263.2 万 t, 平均为 221 万 t; 亲体量在 1994 年后下降到 100 万 t 以下, 1997 年以后处在维持 MSY 所需亲体量的水平之下, 目前仍呈下降趋势。补充量在渔业初期呈现大幅度波动, 1978 年后趋于稳定, 并维持在 $3258.36 - 6583.35 \times 10^6$ 尾, 平均为 4687.66×10^6 尾。未成熟鱼的数量总体较为稳定, 但成熟鱼的数量出现剧减, 从渔业初期的 246.51×10^6 尾减少到 2005 年的 19.02×10^6 尾。模型估计的总捕捞死亡系数从渔业初期开始逐渐上升, 1991 年后出现大幅度上升, 处于 0.334—0.456 间, 2003 年时超过 F_{MSY} , 捕捞产量也于 2003 年超过 MSY。分析认为, 2003 年以来印度洋黄鳍金枪鱼的持续高产量被认为是不可持续, 根据 ASPM 估算, 2003—2006 年均产量 46.4 万 t, 超过了 MSY (36.4 万 t); S/S_{MSY} 为 0.76; F_{all}/F_{MSY} 为 1.39, 由此判断现阶段印度洋黄鳍金枪鱼正处于过度捕捞状态。

关键词: 资源评估; 年龄结构产量模型; 黄鳍金枪鱼; 印度洋

Stock assessment of *Thunnus albacares* in the Indian Ocean using age structured production mode

FENG Bo^{1,4}, CHEN Xinjun^{1,2,3,*}, Nishida Tom⁵

1 College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

2 The Key Laboratory of Shanghai Education Commission for Oceanic Fishery Resources Exploitation, Shanghai 201306, China

3 The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China

4 Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China

5 National Research Institute of Far Seas Fisheries of Japan, Shimizu 424-8633

Abstract: An age structured production model (ASPM) was used in this study to assess the yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, stock in the Indian Ocean. Sensitivity analysis was conducted to evaluate impacts of steepness parameter of the stock-recruit relationship and natural mortality rates of different age groups on the stock assessment. The dynamics of this stock was quantified. This study indicates that the value of steepness should be 0.6—0.8 for the stock supporting maximum sustainable yield (MSY). Outputs from ASPM were the closest to the current stock status if natural mortality recommended by the Inter-American Tropical Tuna Commission were used. Total biomass and spawning biomass decreased with an increase in fishing effort. However, the total biomass tended to be stable and maintained at 1959—2632 thousands tons with an average of 2210 thousand tons. Spawning biomass decreased to a level below 1000 thousand tons after 1994, dropped to a level that was unable to support MSY after 1997, and continue to decrease at present. Recruitment varied

基金项目: 国家 863 计划资助项目 (2007AA092201; 2007AA092202); 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAD09A05); 上海市重点学科资助项目 (S30702); 大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室开放基金资助项目 (KF200805)

收稿日期: 2009-05-21; **修订日期:** 2009-07-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xjchen@shou.edu.cn

dramatically in the beginning of fishery, varied between 3258.36—6583.35 million individuals with an average of 4687.66 million individuals. The abundance of immature individuals maintained stable, but the abundance of mature individuals decreased greatly from 246.51 millions at the beginning to 19.02 million. Total fishing mortality estimated by ASPM had increased from the beginning of the fishery, then increased to 0.334—0.456 after 1991, and exceeded F_{MSY} in 2003. The catch also exceeded MSY in 2003. Current catch is too high to be sustainable. MSY was 364 thousand tons from 2003 to 2005 with S/S_{MSY} equal to 0.76 and F_{all}/F_{MSY} equal to 1.39. The average catch (464 thousand tons) exceeded MSY (364 thousand tons) level from 2003 to 2006. We conclude that overfishing occurs in the yellowfin tuna fishery in the Indian Ocean.

Key Words: stock assessment; age structured production model; *Thunnus albacares*; the Indian Ocean

黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*) 具有极高的经济价值,广泛分布于三大洋热带海域。印度洋的黄鳍金枪鱼主要分布在非洲东部沿海、马达加斯加群岛、阿拉伯海、印度半岛沿海以及印度-澳大利亚群岛海域^[1]。主要生产的船队有日本、韩国、中国台湾省的超低温延绳钓船和西班牙、法国的大型围网船^[2]。随着渔业开发的加大,其资源可持续发展的问题越来越受到国际组织的关注。联合国资源评估工作组曾于 1979 年对印度洋黄鳍金枪鱼资源作出评估,当时认为黄鳍金枪鱼已经被充分开发,最大可持续产量(Maximum sustainable yield, MSY)在 4—6 万 t^[3]。但以后几十年渔业的发展,其捕捞产量远远超出了以前的估计值。印度洋金枪鱼委员会根据 2005、2007 和 2008 年科学工作组的资源评估结果,认为其 MSY 应在 25—36 万 t 间^[4-5]。当前的评估中如年龄组产量趋势分析、渔获量/努力量分析、Stock Synthesis II、MULTIFAN-CL 等模型^[6-9]被用来评估印度洋黄鳍金枪鱼的资源状况。由于不同模型的前提假设和数据要求不一样,致使评估的结果出现较大的不确定性。为此,印度洋金枪鱼委员会鼓励采用多个模型进行比较分析,以便采取更合理的管理措施。本文试图利用年龄结构产量模型(Age-structured production model, ASPM)来评估印度洋黄鳍金枪鱼资源状况,分析影响模型评估准确性的各种因素,为印度洋黄鳍金枪鱼的渔业管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 渔获量和单位努力量渔获量(CPUE)数据

本文所采用的 CPUE (Catch per unit effort) 指数为日本和中国台湾省的印度洋黄鳍金枪鱼延绳钓渔获量与努力量的标准化结果(图 1)^[10-11]。标准化后的年 CPUE 数据可作为黄鳍金枪鱼资源丰度的相对指数 I_t 。 I_t 和年资源量 B_t 成正比:

$$I_t = qB_t e^{\varepsilon_t - \frac{\sigma^2}{2}} \quad \varepsilon_t \in N(0, \sigma^2) \quad (1)$$

式中, q 为可捕系数, ε_t 为误差项,服从正态 $(0, \sigma^2)$ 分布。

1.2 ASPM

ASPM 是渔业资源评估的重要模型之一,被常用来评估长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*) 和蓝鳍金枪鱼(*Thunnus thynnus*) 等^[12-13]。ASPM 对数据的要求,介于简单的剩余产量模型和对数据需求大的时间序列年龄结构种群分析之间。简单的剩余产量模型可估计环境容量、生产率、初始生物量和相对资源指数等参数^[14]。ASPM 则可利用年龄组的相对资源指数估计同样的种群参数^[15]。本研究的 ASPM 拟合运算过程在 AD Model Builder 内编程实现。

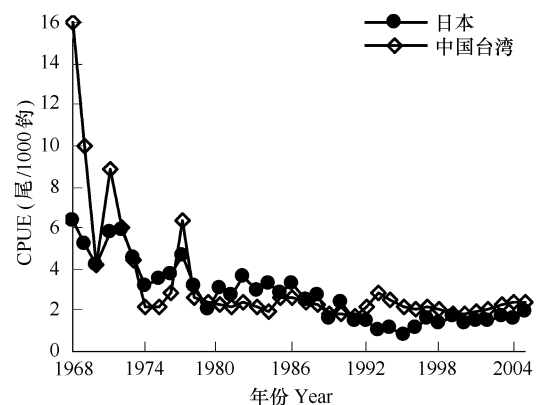


图1 日本和中国台湾省印度洋黄鳍金枪鱼延绳钓 CPUE 时间序列(1968—2005 年)

Fig. 1 CPUE for yellowfin tuna longline fishery by Japan and Taiwan Province of China in the Indian ocean(1968—2005)

1.2.1 基本模型结构

ASPM 最早由 Punt^[16] 根据 Hilborn^[17] 提出的概念建立。它表现了一个种群向前演化的过程:

$$N_{1,t+1} = f(S_t) \quad a=1 \text{ 龄时} \quad (2)$$

$$N_{a+1,t+1} = N_{a,t} e^{-Z_{a,t}} \quad \text{其他年龄组, 最后一个年龄组除外(“+”)} \quad (3)$$

$$N_{p,t+1} = N_{p-1,t} e^{-Z_{p-1,t}} + N_{p,t} e^{-Z_{p,t}} \quad \text{最后一个年龄组 } t=p \text{ 时} \quad (4)$$

式中, $N_{a,t}$ 表示 t 年份 a 龄鱼的数量; $f(S)$ 是亲体补充量函数; a 和 t 分别表示年龄和年份; $a=1$, 被认为是补充年龄; Z 表示总的年龄组和年份别的死亡系数, 即自然死亡系数 M_a 与捕捞死亡系数 F 之和。在具体计算过程中, F 由总产量、年龄组体重和年龄组选择性关系式计算得出。由不同渔具捕捞死亡系数 $F_{g,t}$ 和渔具选择性 $S_{g,a,t}$ 计算出观测产量值 Y 。在假定的种群水平下, 不同渔具捕捞的产量 $Y_{g,t}$ 、年龄组开发率 $U_{a,t}$ 估计如式 (5) 和 (6)。

$$Y_{g,t} = \sum_{a=1}^p F_{g,t} S_{g,a,t} \bar{w}_{a,t} N_{a,t} U_{a,t} \quad (5)$$

$$U_{a,t} = \frac{1 - e^{-\sum_g F_{g,t} S_{g,a,t} - M_a}}{\sum_g F_{g,t} S_{g,a,t} + M_a} \quad (6)$$

1.2.2 亲体量-补充量关系

ASPM 模型的世代更替演化采用了 $B-H$ 式亲体量-补充量关系, 公式^[9]如下:

$$R_{t+1} = f(S_t) = \frac{\alpha S_t}{\beta + S_t} \quad (7)$$

式中, R 为补充量, 即 $R_{t+1} = N_{1,t+1}$; S 为亲体生物量。为便于参数 α 、 β 的估计, 引入陡度系数 τ 的概念, τ 是当 S 等于初始生物量 γ 的 20% 时, 补充量 R 相对于初始补充量 R_0 的比例 (即 $S = \gamma/5$ 时, $R = \tau R_0$)^[18]。这样可将亲体量补充量关系定义为关于陡度和初始生物量的函数, 这两个参数较易估计。就 $B-H$ 关系而言, 初始生物量应与最大实际产量成一定的比例, 陡度系数应在 0.2—1.0 之间^[13], 较高的数值表示种群具有较高的补偿能力。初始生物量下的平衡补充量可由下式 (8) 算出^[19]:

$$R_0 = \frac{\gamma}{(S/R)_{F=0}} \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{4\tau R_0}{5\tau - 1} \quad (9)$$

$$\beta = \frac{\gamma(1 - \tau)}{5\tau - 1} \quad (10)$$

1.2.3 模型的拟合

在现有的历史产量和其他生物学参数的基础上, 来寻找一种亲体量补充量关系以便能够更好地解释资源指数的趋势。在一组初始条件下 ($N_{a,t}$, 所有年龄在 $t=1$ 时), 公式 (2)、(3)、(4)、(7) 用来演绎种群变动的趋势。根据实际渔获量, 通过公式 (4) 解析捕捞死亡系数。参数 γ 、 τ 用最小化负的对数似然函数求解^[13]:

$$-\ln(L_i) = \sum_i \left[\frac{n_i}{2} \sum_t \ln(\sigma_{i,t}^2) + \sum_t \frac{1}{2\sigma_{i,t}^2} (I_{i,t} - \hat{I}_{i,t})^2 \right] \quad (11)$$

式中, i 表示每个指数的下标; 最后一项是观测值与预测值的差平方; $\sigma_{i,t}^2$ 是计算方差; $I_{i,t}$ 是观测资源指数; $\hat{I}_{i,t}$ 是预测资源指数; 预测值 $\hat{I}_{i,t}$ 由所有年龄的总体资源量乘以选择性指数 u 计算而来:

$$\hat{I}_{i,t} = q_i \sum_a N_{a,t} u_{a,t} \omega_i \quad (12)$$

式中, ω 表示输入控制, 确定输入参数是数量或者生物量, 计算是否从年初开始或年中开始; 参数 q_i 使每个指数与绝对种群数量或生物量成比例, 它们的最大似然值可以从 (11) 式解得。

1.2.4 管理参考量的计算

亲体量-补充量关系参数一旦确定, MSY 、 S_{MSY} 、 F_{MSY} 等统计量便可直接求得。Shepherd^[20] 描述了根据亲体量-补充量关系计算平衡产量曲线以及 YPR 、 SPR 的程序。在给定 F 值下(包含了所有的选择性), 平衡状况下的亲体生物量、补充量和渔获量计算如下:

$$S_F = \alpha SPR_F - \beta \tag{13}$$

$$R_F = \frac{S_F}{SPR_F} \tag{14}$$

$$Y_F = R_F \times YPR_F \tag{15}$$

式中, SPR_F 和 YPR_F 分别是单位补充量亲体量和单位补充量渔获量。

1.3 模型参数设置

1.3.1 生物学参数

上述评估模型中需要 3 个生物学参数: 自然死亡系数 M 、体重、繁殖力。由于印度洋黄鳍金枪鱼各年龄组自然死亡系数目前还不明确, 为此本文现引用了国际大西洋金枪鱼养护委员会(International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, ICCAT)、美洲热带金枪鱼委员会(Inter-American Tropical Tuna Commission, IATTC)、南太平洋委员会(South Pacific Commission, SPC)使用的黄鳍金枪鱼生物学参数^[21], 如表 1。

表 1 黄鳍金枪鱼年龄组自然死亡系数
Table 1 Natural mortality of yellowfin tuna by age group

国际组织 International organization	龄级 Age class							
	0	1	2	3	4	5	6	7 龄以上
国际大西洋金枪鱼养护委员会 ICCAT	0.80	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
美洲热带金枪鱼委员会 IATTC	2.40	1.28	0.90	1.10	1.08	0.80	0.80	0.80
南太平洋委员会 SPC	1.48	0.8	1.20	1.80	1.35	1.02	1.02	1.02

年龄组起始和年龄组中的体重根据生长方程和体长-体重关系推导。生长方程如下^[22]:

$$L(t) = L_{\infty} \left(1 - e^{-k_2(t-t_0)} \left\{ \frac{1 + e^{-\beta(t-t_0-\alpha)}}{1 + e^{\beta\alpha}} \right\}^{-(k_2-k_1)/\beta} \right) \tag{16}$$

式中, L_{∞} 为渐进体长; k_1 、 k_2 为生长速率; α 为生长速率变换点; β 生长速率调控系数; t_0 理论上体长为零时的年龄。生长方程参数^[23]按表 2。

表 2 黄鳍金枪鱼生长方程参数表
Table 2 Parameters of growth curve of yellowfin tuna

渐进体长 L_{∞} /cm Infinite length	生长速率 k_1 Growth rate	生长速率 k_2 Growth rate	生长速率变化点 α Growth rate change point	生长速率调控系数 β Growth rate control parameter	零体长年龄 t_0 Age at zero length
146	0.1334	0.905	4.1228	10.9654	-1.42

体长-体重关系按体长分两段计算^[23]:

$$\text{当 } L < 64\text{cm 时, } W = 5.313 \times 10^{-5} L^{2.754} \tag{17}$$

$$\text{当 } L \geq 64\text{cm 时, } W = 1.585 \times 10^{-5} L^{3.045} \tag{18}$$

式中, W 为体重(kg), L 为叉长(cm)。根据公式(16)和(17)得到年龄-体重关系。假设繁殖力与年龄组中的体重成正比, 如表 3。

1.3.2 渔获量组成

印度洋海域开发黄鳍金枪鱼的渔具有多种类, 包括延绳钓、围网、刺网、竿钓、曳绳钓等渔具^[23](图 2)。主要渔获量来自围网、延绳钓和刺网等渔业。这些渔获量数据被输入到 ASPM, 用于模型参数的拟合。

1.3.2 选择性

根据年龄组产量矩阵,通过可 Separable VPA 程序^[24]估计 8 种不同渔具的选择性,结果如图 3。其中延绳钓以 3 龄鱼的选择性最高;围网、曳绳钓、竿钓以 1 龄鱼的选择性最高;刺网则以 2 龄鱼的选择性最高。

表 3 印度洋黄鳍金枪鱼年龄-体重关系、成熟度与繁殖力

Table 3 Age-weight key, maturity and fecundity for yellowfin tuna in the Indian Ocean

龄级 Age class	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
体重 Weight/kg	0	0.81	1.39	2.15	3.05	4.20	10.58	22.66
成熟度 Maturity	0	0	0	0	0	0	1	1
繁殖力 fecundity/kg	0	0	0	0	0	0	10.58	22.66
龄级 Age class	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7	7.5
体重 Weight/kg	33.94	42.78	49.14	53.50	56.40	58.30	59.54	60.33
成熟度 Maturity	1	1	1	1	1	1	1	1
繁殖力 fecundity/kg	33.94	42.78	49.14	53.50	56.40	58.30	59.54	60.33

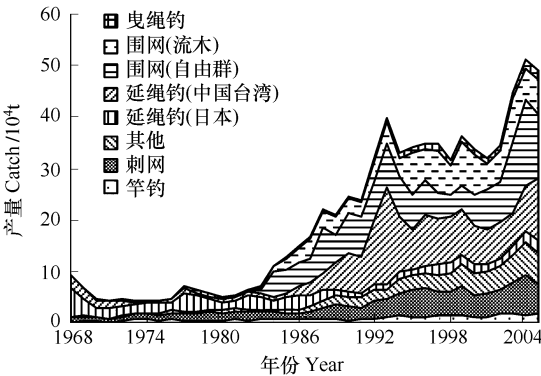


图 2 印度洋黄鳍金枪鱼不同渔具的年渔获量

Fig. 2 Annual catch by fishing gears for yellowfin tuna in the Indian Ocean

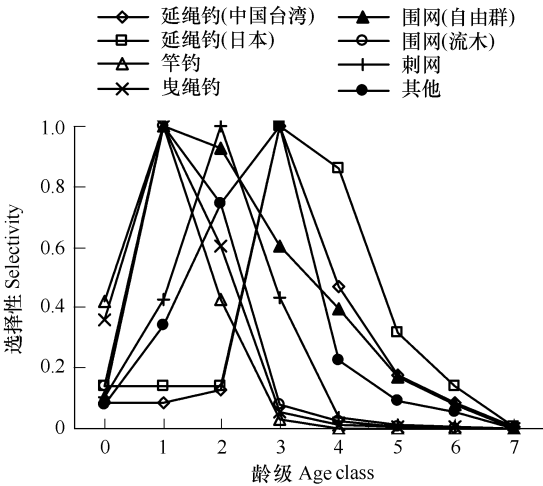


图 3 印度洋黄鳍金枪鱼不同渔具的年龄组选择性

Fig. 3 Selectivity at age by fishing gears for yellowfin tuna in the Indian Ocean

1.4 模型分析

ASPM 评估分为两个步骤:参数敏感性分析和资源状况分析。参数敏感性分析是指亲体量-补充量曲线陡度系数 τ 和年龄组自然死亡系数 M 对评估结果影响的分析;资源状况分析是指根据模型输出结果描述种群发展趋势、管理参考量和判断资源开发状况。

2 结果

2.1 参数敏感性分析

2.1.1 陡度系数 τ

利用日本和中国台湾省的印度洋黄鳍金枪鱼延绳钓 CPUE 指数、ICCAT 提供的 M 值,分析不同 τ 下对模型输出结果的影响(表 4)。研究发现,不同的 τ 对 MSY 、 F_{MSY} 和亲体量等估计量有较大影响,但它们随时间变化的总体趋势是一致的。 τ 为 0.9 时, MSY_{2005} 和 S_{MSY} 出现异常; τ 为 0.5—0.8 时,拟合结果都具有一定的参考意义。考虑到维持 MSY 的亲体量的合理性, τ 应在 0.6—0.8。

2.1.2 自然死亡系数 M

利用日本和中国台湾省的印度洋黄鳍金枪鱼延绳钓 CPUE 指数,假设 τ 为 0.8,试验 3 组不同的年龄组死

亡系数(表 1)。结果发现 IATTC 推荐的 M 值拟合效果比较接近实际情况;采用 ICCAT 假设的 M 值时,其估计所得的 F_{2005} 过低 (<0.12),与实际情况不符合;采用 SPC 建议的 M 值时,拟合中出现数个年份的 MSY 估计值为零的情况,且估算所得的 F_{2005} 偏小 (<0.08) (表 5)。

表 4 不同陡度系数 τ 下的种群参数估计值Table 4 Stock estimator of yellowfin tuna by different steepness τ

种群参数 Stock estimator	陡度系数 τ Steepness				
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
R^2	0.796	0.794	0.792	0.799	0.795
负对数似然值 negative loglikelihood	-68.358	-67.488	-66.741	-62.943	-64.949
2005 年的 MSY $MSY_{2005}/10^4t$	37.7	38.1	38.8	52.7	0.7
维持 MSY 的捕捞死亡系数 F_{MSY}	0.311	0.439	0.613	0.482	0.666
2005 年的捕捞死亡系数 F_{2005}	0.360	0.533	0.764	0.724	0.694
初始亲体量 Initial spawner biomass/ 10^4t	1153.1	874.9	680.1	694.5	616.2
维持 MSY 的亲体量 $S_{MSY}/10^4t$	142.4	101.5	74.7	73.9	0.5
2005 年的亲体量 $S_{2005}/10^4t$	121.8	72.4	42.9	77.5	17.1
亲体量剩余比例 Residual spawner biomass ratio/%	10.56	8.27	6.30	11.16	2.77

表 5 不同自然死亡系数 M 值输入模型的拟合效果Table 5 The results from different natural mortality M

种群参数 Stock estimator	M 值来源 M source		
	国际大西洋金枪鱼养护委员会 ICCAT	美洲热带金枪鱼委员会 IATTC	南太平洋委员会 SPC
R^2	0.711	0.799	0.806
负对数似然值 negative loglikelihood	-51.470	-62.943	-75.664
2005 年的 MSY $MSY_{2005}/10^4t$	50.0	52.7	2.65
维持 MSY 的捕捞死亡系数 F_{MSY}	0.536	0.482	0.559
2005 年的捕捞死亡系数 F_{2005}	1.124	0.724	1.348
初始亲体量 Initial spawner biomass/ 10^4t	1778.9	694.5	982.0
维持 MSY 的亲体量 $S_{MSY}/10^4t$	185.4	73.9	2.81
2005 年的亲体量 $S_{2005}/10^4t$	34.8	77.5	21.7
亲体量剩余比例 Residual spawner biomass ratio/%	6.25	11.16	2.21

2.2 资源状况分析

ASPM 估算发现,日本的黄鳍金枪鱼延绳钓 CPUE 指数拟合效果比中国台湾省的好(图 4),残差平方和分别为 13.92 和 63.83,这可能是由于 1968 年中国台湾省的黄鳍金枪鱼延绳钓 CPUE 值异常偏高(15.97 尾/1000 钩)。受渔业初期的 CPUE 急剧下降,补充量在渔业初期呈现大幅度波动,在 1978 年后趋于稳定补充数

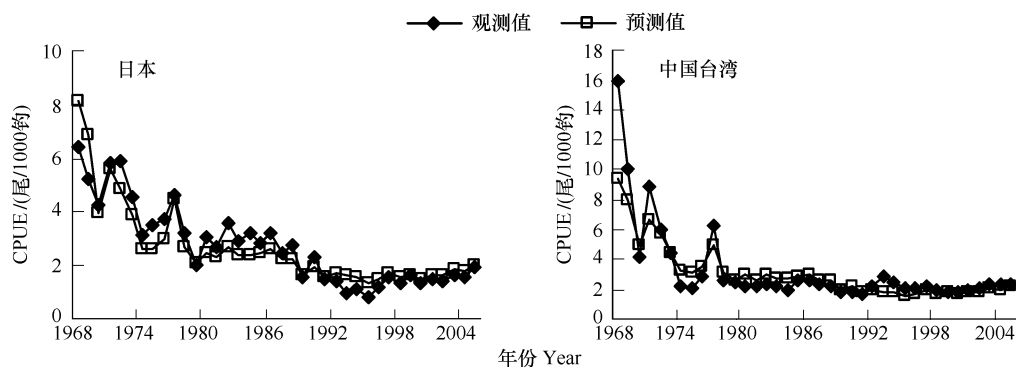


图 4 印度洋黄鳍金枪鱼 CPUE 的输入值与 ASPM 模型的预测值

Fig. 4 Input CPUE value versus predicted value by ASPM of yellowfin tuna in the Indian ocean

量稳定在 $3258.36\text{--}6583.35 \times 10^6$ 尾,平均 4687.66×10^6 尾(图 5)。未成熟鱼(3 龄以下)补充数量总体较为稳定,而成熟鱼的数量减少得很多,从初期的 246.51×10^6 尾减少到 2005 年 19.02×10^6 尾。亲体量-补充量曲线的拟合结果如图 6。

随着捕捞努力量的增加,总资源量和亲体量呈逐年下降趋势,但总资源量自 1990 年后,趋向稳定,维持在 195.9—263.2 万 t,平均为 221 万 t。而亲体量在 1994 年后下降到 100 万 t 以下,目前仍呈现缓慢下降的趋势(图 7)。

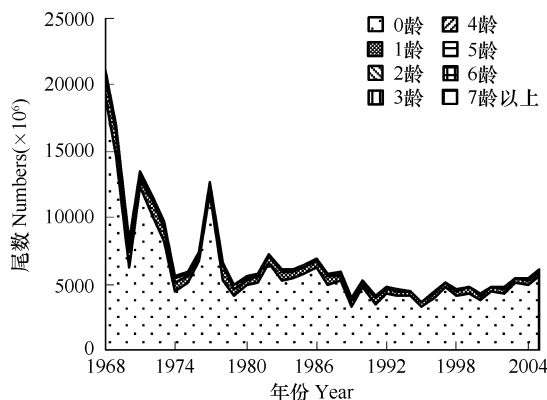


图 5 印度洋黄鳍金枪鱼年龄组资源量变化

Fig. 5 Changes of stocks at age group of yellowfin tuna in the Indian Ocean

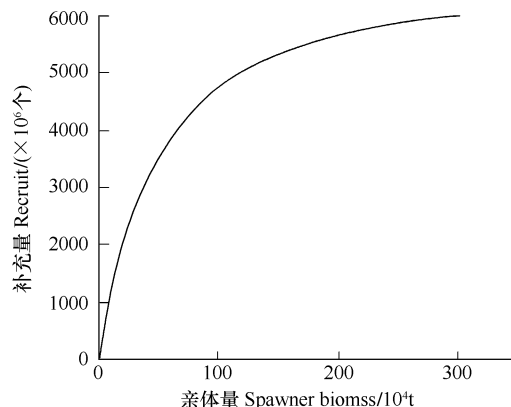


图 6 印度洋黄鳍金枪鱼亲体补充量曲线

Fig. 6 Stock-recruitment curve of yellowfin tuna in the Indian Ocean

从模型分析的渔业开发状况来看,总捕捞死亡系数 F_{all} 从渔业初期逐渐上升,1991 年后出现大幅度上升,处于 0.334—0.456 间,2003 年时超过 F_{MSY} (图 8)。渔业产量也于 2003 年超过 MSY(图 9)。亲体量在 1997 年以后便处于维持 MSY 的亲体量水平之下(图 10)。

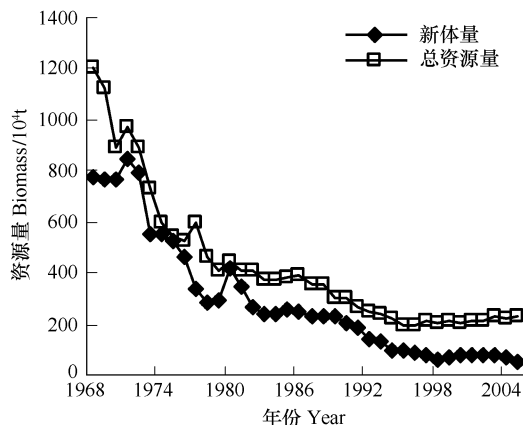


图 7 黄鳍金枪鱼亲体量与总资源量演化趋势

Fig. 7 Spawner biomass and total biomass of yellowfin tuna

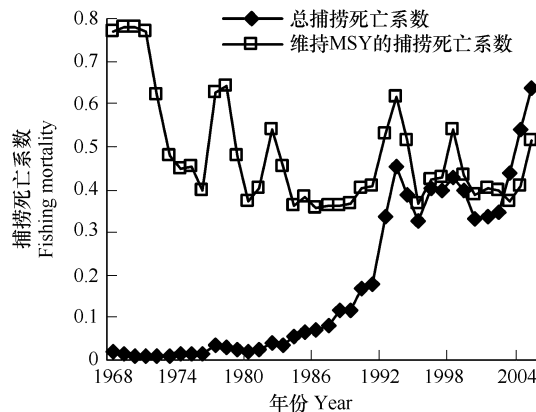


图 8 黄鳍金枪鱼总捕捞死亡系数 F_{all} 与 F_{MSY}

Fig. 8 Total fishing mortality F_{all} and F_{MSY} of yellowfin tuna

2.3 管理参考点

2003 年以来,印度洋黄鳍金枪鱼的高产量被认为是不可持续^[4,5],并且在 2007 年黄鳍金枪鱼产量回落到了 31 万 t,低于 2003—2006 年的平均产量 46.4 万 t。因此,由 ASPM 估算的 2003—2005 年间的与 MSY 相关的参考点可作为现阶段管理的依据。其中 MSY 为 36.4 万 t,95% 置信区间为(35.1 万 t,37.8 万 t); S/S_{MSY} 为 0.76,95% 置信区间为(0.70,0.82); F_{all}/F_{MSY} 为 1.39,95% 置信区间为(1.30,1.46);总捕捞死亡系数 F_{all} 为

0.62, 95% 置信区间为 (0.57, 0.66), 这表明现阶段印度洋黄鳍金枪鱼可能处于过度捕捞状态。

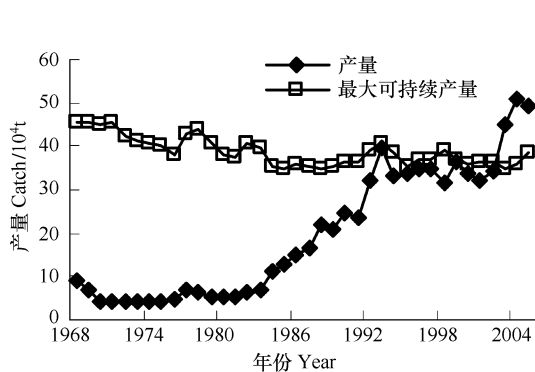


图9 黄鳍金枪鱼 MSY 与产量趋势

Fig. 9 Trend of catch and MSY of yellowfin tuna

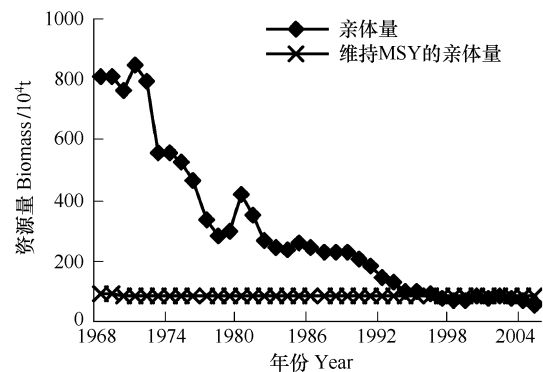


图10 黄鳍金枪鱼亲体量与维持 MSY 的亲体量 S_{MSY}

Fig. 10 Trend of spawner biomass and S_{MSY} of yellowfin tuna

3 讨论

3.1 不同渔业对评估结果潜在影响

在过去 20a 中,印度洋黄鳍金枪鱼产量一直维持着增长。印度洋大部分海域都有延绳钓或围网船捕捞。延绳钓渔业的 CPUE 表现出初期的剧烈下降和随后的平稳趋势,1965 年前的延绳钓 CPUE 平均高于 1965 年以后的。近年来,围网渔业 CPUE 较高,2003 年的水平最高,这与渔船功率和围网船的捕捞能力增加有关。围网和延绳钓的体长别产量有明显的差别。围网渔获物集中体长为 40—100cm 的个体,而延绳钓的产量主要集中在体长为 100—160cm 的个体^[21]。自该渔业被开发以来,其渔获物的平均重量有明显地下降,如延绳钓从开始的 50kg 下降到目前的 35kg,围网从 15kg 左右下降到目前的 10kg 以下^[23]。这种下降至少间接与日益增长的捕捞压力有关。延绳钓渔业的 CPUE 指数被认为是反映了成熟鱼的资源量,而围网渔业的 CPUE 则可反映未成熟鱼的情况,缺乏围网渔业的数据,可能使 ASPM 的评估结果存在一些偏差,对黄鳍金枪鱼幼鱼作出的估计不够准确。

3.2 自然死亡系数的选择

目前,印度洋金枪鱼委员会仍以采用大西洋黄鳍金枪鱼的年龄组 M 为主^[4,25],缺乏事实依据的支撑。虽然最近已能用标志放流的数据估计出黄鳍金枪鱼的 M ^[22],但敏感性分析表明,统计模型得出的自然死亡估计值仍然不十分可靠^[21]。随着对鱼类自然死亡过程理解的加深,发现 1—2kg 的黄鳍金枪鱼的应该比 6kg 的黄鳍金枪鱼有更高的 M 。然而该小体重的黄鳍金枪鱼很少在印度洋被捕到^[26]。实际上,同体长小于 1 龄的黄鳍金枪鱼在不同海区的 M 是不一样的。研究发现,大西洋黄鳍金枪鱼的 M 要比西太平洋高 2.74 倍,比东太平洋高 75%^[21]。传统的延绳钓和围网渔业都认为小个体和低龄的黄鳍金枪鱼的 M 实际上很高,但是大西洋黄鳍金枪鱼 M 在中等个体时出现一个峰值,即初次性成熟体长(90cm)。这种较高的 M 可能是因为大个体的雌性鱼被渔获的频次少^[21]。本研究比较了 3 组 M ,发现采用大西洋海区黄鳍金枪鱼 M ,评估结果过于乐观;北太平洋黄鳍金枪鱼 M 不适用于印度洋海区;而美洲热带金枪鱼委员会提出的黄鳍金枪鱼 M ,似乎更贴近实际。但由于美洲热带金枪鱼委员会假设低龄时的 M 值比大西洋金枪鱼委员会的高出许多,致使本文中估计的补充量比 Nishida 等^[27] 评估的结果大,本文中 2 龄鱼的数量相当于 Nishida 等^[27] 估计的补充量,正好是加入产卵群体前的数量,符合渔业意义上的补充量^[14]。尽管如此,总资源量趋势与 Nishida 等^[27]、Hillary 等人^[9] 的评估结论基本一致。

3.3 年龄与生长的差异

关于黄鳍金枪鱼的年龄与生长,使用了体长频率、年龄鉴定和标志放流回捕等不同方法,发现它们的结论不尽相同。特别是幼鱼时期,不同水域和不同方法揭示出或快或慢的生长速度。两阶段生长模式似乎更贴近

实际,现已知,黄鳍金枪鱼在 30—40cm 进入补充群体,属于幼体,绝对年龄小于 6 个月。中等个体的黄鳍金枪鱼在不同的生长方程中显示出的生长率基本相同^[22]。标准放流回捕的数据估计的生长速率低于年龄鉴定的估计值^[26]。雌雄之间不同的生长速率还未被年龄鉴定证实,然而雄性鱼比雌性鱼有更大的渐进体长是公认的假设。要解决这个基本的不确定性的问题,需要通过标志放流回捕和收集有关数据。本研究采用的生长方程引自 Eveson 等^[22]的最新研究成果,不同于 Nishida 等^[27]的假设,但研究结果与他们的结论相近。

3.4 渔具选择性的影响

ASPM 估计的种群参数受到选择性的影响,不同渔具的选择性存在明显的差别,如延绳钓渔业以捕捞成熟鱼为主,而围网捕捞幼鱼为主。随着捕捞技术的进步,不同时期的渔具选择性也发生了变化。Nishida 等^[27]在评估印度洋黄鳍金枪鱼资源量时考虑了不同时期渔具选择性的变化,分析了 4 种渔具 5 个年龄组的选择性变化趋势,从 11 次拟合的结果中只有 2 次接近实际情况。本研究虽然未考虑渔具选择性的时间变化,但研究结果和他的结论接近。由于缺乏各种渔具的年龄组产量和渔获物体长变化的历史数据,尚不能充分确认渔具选择性变化对 ASPM 模型输出结果影响的显著性。在未来研究中需要收集这方面的资料,以便展开更详细的比较。

3.5 评估模型的选择

除了本模型多年来被运用于黄鳍金枪鱼的资源评估外,基于体长分析的综合模型如 CASAL 和 MULTIFAN-CL^[8-9],近年来已被成功地被 IATTC 和 SPC 的科学家运用到资源评估中。它们虽然考虑了渔业所有的资料 and 知识,但输出结果却比简单模型面临更多的问题^[23-24]。输出结果的不确定性可能比模型本身的估计值还大。因此只试着估计给定时间段内最小种群的估计,还不能估计出确切的种群数量^[5]。如 CASAL 模型揭示近年来印度洋黄鳍金枪鱼的产量虽然出现增加,但捕捞努力量(捕捞死亡系数)未出现明显增长^[9]。出现这种情况,有多种原因如作业区域、渔具技术、捕捞效率、海洋环境和补充量水平等的改变。虽然可由采用独立于渔业的调查数据间接估计种群参数,但仍然很难准确测量各种内外因素对种群生长率和 MSY 增长的贡献度^[21]。

由于黄鳍金枪鱼资源评估仍然面临许多问题,需要深入研究围网渔业与延绳钓渔业的关系,资源分布的时空变化,捕捞效率的变化以及环境因素对补充的影响等;亦需要改进分析数据的质量,减少不确定性,提高评估结果的可靠性。鉴于单个模型评估的片面性,在今后的研究中,考虑应用标准的 VPA 模型和贝叶斯产量模型进行评估,并与目前的评估结果进行比较,不断提高资源评估结果的准确性和可靠性。

References:

- [1] Huang X C, Miao Z Q. Far Seas tuna fishery. Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Literature Publishing House, 2003: 17-27.
- [2] Shang H F. Yellowfin tuna fishery and stock status in the Indian Ocean. Fisheries Science & Technology, 2005, (6): 13-16.
- [3] Miyake P, Suzuki Z. Yellowfin tuna stock in the Indian Ocean, Rome: FAO, 1979: 1-16.
- [4] IOTC. Report of the Ninth Session of the IOTC Working Party on Tropical Tunas. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2007: 1-44.
- [5] IOTC. Report of the Tenth Session of the IOTC Working Party on Tropical Tunas. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2008: 1-48.
- [6] Maury O. Outputs from CATAGE-TREND. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2005: 1-5.
- [7] Maury O. Application of the PROCEAN model to the Indian Ocean yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) fishery. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2002: 361-367.
- [8] Shono H, Satoh K, Okamoto H. Preliminary Stock Assessment for Yellowfin Tuna in the Indian Ocean using Stock Synthesis II. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2007: 1-12.
- [9] Hillary R, Million J, Anganuzzi A. Preliminary Stock Assessment for Yellowfin Tuna in the Indian Ocean using CASAL. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2008: 1-13.
- [10] Feng B, Chen X J, Xu L L. Catch rate analysis of yellowfin tuna from longline fishery using generalized linear model in the Indian Ocean. Journal of Fishery Science of China, 2009, 16(2): 282-288.
- [11] Liu H I, Chang S T, Chang S K. Catch rate standardization runs for yellowfin tuna caught by Taiwanese deep sea longline fishery in the Indian Ocean using generalized linear model and generalized linear mixed model. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2007: 1-13.

- [12] Powers J E, Resterpo V R. Additional options for age-sequenced analysis. ICCAT Col Vol Sci, 1992, 39: 346-354.
- [13] Resterpo V R. An implementation of the age-structured production model with application to West Atlantic bluefin tuna fisheries. ICCAT Col Vol Sci, 1997, 46(2):348-356.
- [14] Zhan B Y. Fisheries stock assessment. Beijing:China Agriculture Press, 1995: 16-317.
- [15] Haddon M. Modelling and quantitative methods in fisheries. New York: Chapman&Hall/CRC Press, 2001:268-269.
- [16] Punt A E. Assessments of the stocks of Cape hakes, *Merluccius spp.* Off South Africa. South Africa Journal of Marine Science, 1994, 14:159-186.
- [17] Hilborn R. Estimating the parameters of full age structured models from catch and abundance data. Bulletin of North Pacific Fisheries Commission, 1990, 50:207-213.
- [18] Francis R I C C. Use of risk analysis to assess fishery management strategies: a case study using orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) on the Chatham Rise, New Zealand. Canada Journal of Fisheries and Aquatic Science, 1992, 49:922-930.
- [19] Booth A J. Determination of cichlid-specific biological reference points. Fisheries Research, 2004, 67: 307-316.
- [20] Shepherd J G. A versatile new stock-recruitment relationship for fisheries and the construction of sustainable yield curves. ICES Journal of marine science, 1982, 40:67-75.
- [21] Fonteneau A. An overview of yellowfin tuna stocks, fisheries and stock status worldwide. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2005: 1-38.
- [22] Eveson J P, Million J. Estimation of growth parameters for yellowfin, bigeye and skipjack using tag-recapture data. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2008: 1-33.
- [23] IOTC secretariat. Estimation of catch-at-size, catch-at-age and total catch per area. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2008: 1-53.
- [24] Pope J G, Shepherd J G. A simple method for the consistent interpretation of catch-at-age data. ICES Journal of Marine Science, 1982, 40:176-184.
- [25] IOTC. Report of the Seventh Session of the IOTC Working Party on Tropical Tunas. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2005: 1-48.
- [26] Fonteneau A, Didier G. Growth rates and apparent growth curves, for yellowfin, skipjack and bigeye tagged and recovered in the Indian Ocean. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2008: 1-23.
- [27] Nishida T, Shono H. Stock assessment of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Indian Ocean by the age structured production model(ASPM) analyses. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2007: 1-17.

参考文献:

- [1] 黄锡昌, 苗振清. 远洋金枪鱼渔业. 上海:上海科学技术文献出版社, 2003: 17-27.
- [2] 尚合峰. 印度洋黄鳍金枪鱼渔业与资源现状. 水产科技, 2005, (6):13-16.
- [10] 冯波, 陈新军, 许柳雄. 利用广义线性模型分析印度洋黄鳍金枪鱼延绳钓钩获率. 中国水产科学, 2009, 16(2):282-288.
- [14] 詹秉义. 渔业资源评估. 北京:中国农业出版社, 1995:16-317.