

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20170627001

http://www.yykxjz.cn/

李亚楠, 戴小杰, 朱江峰, 耿喆, 夏萌, 何珊. 渔获量不确定性对印度洋大眼金枪鱼资源评估的影响. 渔业科学进展, 2018, 39(5): 01-09

Li YN, Dai XJ, Zhu JF, Geng Z, Xia M, He S. Impact of catch uncertainty on the stock assessment of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(5): 01-09

渔获量不确定性对印度洋大眼金枪鱼 资源评估的影响*

李亚楠¹ 戴小杰^{1,2,3①} 朱江峰^{1,2,3} 耿喆¹ 夏萌¹ 何珊¹

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室 上海 201306;
3. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室 上海 201306)

摘要 大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)是最具经济价值的热带金枪鱼类,其资源状况一直是区域性金枪鱼渔业管理组织关注的重点。由于多种渔业作业、捕捞船队构成复杂,印度洋大眼金枪鱼的历史渔获量统计存在一定的偏差(Bias),但国际上近些年开展资源评估时都忽略了这一偏差。本研究根据 1979~2015 年的年渔获量、年龄结构渔获量及相对丰度指数数据,运用年龄结构资源评估模型(ASAP)对印度洋大眼金枪鱼资源进行评估,重点考查渔获量的不确定性(观测误差和统计偏差)对资源评估结果的影响。结果显示,印度洋大眼金枪鱼当前资源总体没有过度捕捞,但 2015 年初显示轻微的过度捕捞,通过对比基础模型与 8 个灵敏度分析模型的评估结果发现,渔获量观测误差(CV)的预设对资源开发状态的判断有一定的影响。当渔获量统计偏差调整量为 15%时(即历史渔获量被低估了),评估结果与基础模型基本一致;统计偏差调整量为 20%时,评估结果有过度捕捞的趋势。本研究结果表明,资源评估模型中渔获量观测误差的设定和历史渔获量统计偏差均会对评估结果产生影响,后者更为明显,因此,二者均不能忽略。

关键词 印度洋;大眼金枪鱼;资源评估;渔获量;误差

中图分类号 S932.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2018)05-0001-09

大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)是经济价值最高的热带金枪鱼种类,分布于大西洋、印度洋和太平洋的热带和温带水域(曹晓怡等, 2008)。在印度洋海域,大眼金枪鱼主要分布在南赤道海流及其以北海域、非洲东岸和马达加斯加群岛,常见于印度-澳大利亚群岛海域(苗振清等, 2003),在印度洋海域属单一随机交配种群(Chiang *et al.*, 2008)。大眼金枪鱼主要由大型

延绳钓(占 2012~2015 年渔获量的 57%)和围网(占 2012~2015 年渔获量的 27%)渔业捕捞(IOTC, 2016),该鱼种也是我国在印度洋金枪鱼渔业中的主要捕捞对象。印度洋金枪鱼类资源评估与管理由印度洋金枪鱼委员会(Indian Ocean Tuna Commission, IOTC)组织实施,根据 IOTC 最近研究,2015 年该鱼种的年渔获量为 9.27×10^4 t,最大可持续产量为 $8.26 \times 10^4 \sim 10.97 \times$

* 国家自然科学基金项目(NSFC41306127)、农业农村部国家远洋渔业观察员项目(08-25)和农业农村部物种资源保护鲨鱼项目(17162130135252086)共同资助 [This work was supported by National Natural Science Foundation of China (NSFC41306127), Ministry of Agriculture and Rural Affairs National Oceanic Fishery Observer Program(08-25), and Ministry of Agriculture and Rural Affairs Species Conservation Shark Program (17162130135252086)]. 李亚楠, E-mail: liyananxiada@yeah.net

① 通讯作者:戴小杰,教授, E-mail: xjdai@shou.edu.cn

收稿日期: 2017-06-27, 收修改稿日期: 2017-07-12

10^4 t (Zhu, 2016)。

2012年, IOTC 热带金枪鱼工作组(Working Party on Tropical Tunas, WPTT)提出将大眼金枪鱼资源评估列为今后的优先评估对象(IOTC, 2012)。近5年来, 国际上对其评估采用的模型包括 SS 模型(Stock Synthesis 3) (Shono *et al*, 2009; Kolody *et al*, 2010; Langley *et al*, 2013)、ASPM 模型(Age Structured Production Model) (Nishida *et al*, 2011)及 ASAP 模型(Age Structured Assessment Program) (Zhu *et al*, 2013; Zhu, 2016), 其中, ASAP 模型是目前应用的主要模型之一。对于印度洋大眼金枪鱼渔业, 虽然 IOTC 秘书处已制定了较为系统的渔业数据统计框架, 掌握了资源的基础生物学数据, 并已开展了大量资源评估方面的工作, 而且, 早在 2000 年前后就有研究者对印度洋大眼金枪鱼进行了资源评估(Nakatani *et al*, 2001; Motomura *et al*, 2003), 但以往的评估都忽略了渔获量的不确定性对资源评估的影响。

通过对近年 ASAP 模型的评估结果进行比较分析发现, 由于多种渔业作业、捕捞舰队构成复杂, 印度洋大眼金枪鱼的历史渔获量统计存在一定的偏差(Bias), 特别是印度洋沿海发展中国家的渔获量统计质量较差, 相当一部分历史渔获量是由 IOTC 秘书处估计的, 其统计偏差(指高估或低估)可能达 15% (IOTC, 2012)。但国际上近些年对其的资源评估都忽略这一偏差。此外, 目前主流的综合评估方法参数估算过程中, 均需对渔获量观测误差(指随机误差)的大小进行假设, 而这一假设的影响研究, 也并未引起 WPTT 的重视。因此, 本研究运用年龄结构资源评估模型 ASAP(NOAA Fisheries Toolbox 2014)对印度洋大眼金枪鱼资源进行评估, 重点考查渔获量的不确定性(观测误差和统计偏差)对资源评估结果的影响, 为提高以渔获量为基础数据的资源评估的可靠性提供参考, 进一步提高印度洋大眼金枪鱼的资源评估质量。

1 材料与方法

1.1 渔业类型和数据

资源评估时首先需要划分渔业类型, 划分应以选择性和可捕性不随时间变化(或变化很小)、可获得的渔业数据为依据。根据 IOTC 对大眼金枪鱼的渔业数据分类, 本次评估划分为 7 种渔业, 即超低温延绳钓渔业(渔业 1, LL)、自由鱼群围网渔业(渔业 2, PSFS)、人工集鱼围网渔业(渔业 3, PSLS)、小型围网渔业(渔业 4, BB)、常温延绳钓渔业(渔业 5, FL)、手钓渔业(渔业 6, LINE)和其他渔业(渔业 7, OTHER)。

年龄结构模型所需的基本渔业数据主要包括年渔获量数据(Annual catch)、年龄结构渔获量数据(Catch-at-age, CAA)和相对资源丰度指数数据, 以上数据来源于 IOTC 秘书处, 时间跨度为 1979 年 1 月~2015 年 12 月。丰度指数数据采用主要延绳钓船队的联合标准化 CPUE (Joint CPUE, 尾/1000 钩) (Hoyle *et al*, 2016), 包含印度洋西北海域和东北海域 2 个时间序列(图 1)。

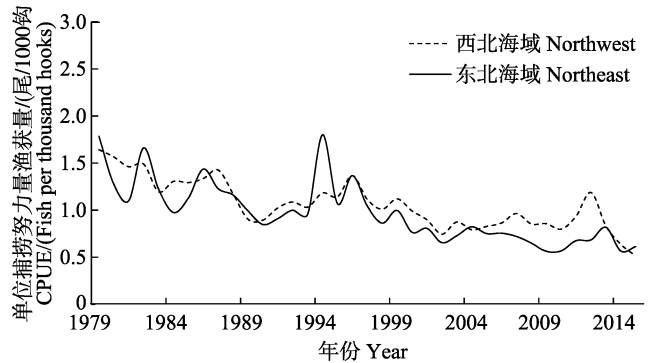


图 1 1979~2015 年印度洋大眼金枪鱼标准化 CPUE

Fig.1 Standardized CPUEs of bigeye tuna in the Indian Ocean (1979~2015)

1.2 生物学参数与假设

三大洋大眼金枪鱼种群结构清晰, 在印度洋存在单一的种群(Appleyard *et al*, 2002; Chiang *et al*, 2008), 本研究也假设大眼金枪鱼为单一资源种群。生长采用传统的 Von Bertalanfy 生长方程(Laslett *et al*, 2008), 体重 W 与叉长 L 的关系为: $W = 3.661 \times 10^{-5} L^{2.901}$, 不考虑生长误差。自然死亡系 M 假设 0.4/年(Zhu, 2016), 不考虑性别、年龄和时间上的变化。B-H 亲体-补充量关系模型陡度参数 $h=0.8$ 。

1.3 评估模型及参数估计

ASAP 是基于统计误差分布的渔获量年龄结构模型(Statistical age-structured catch-at-age analysis) (NOAA Fisheries Toolbox 2014)(NOAA Fisheries Toolbox at <http://nft.nefsc.noaa.gov>)。目前, ASAP 模型已在多个渔业资源评估中广泛使用, 如在太平洋沙丁鱼(*Sardinops sagax*)、缅甸湾鳕鱼、大西洋鲱(*Clupea harengus*)、佛罗里达龙虾等资源的评估中, ASAP 模型也是目前美国对其东部近海渔业资源进行评估所用的主要模型之一。同时, 该模型引入时间段(Time block)概念和随机漫步模型(Random walk model)以允许部分参数如捕捞系数、渔具选择系数等具有时变特性。

ASAP 模型通过预设初始年份资源量、补充量等参数, 采用顺推方式演绎种群动态过程, 将渔获量、

资源量指数等数据作为具有观测误差的观测变量, 并通过模型预测值建立目标函数, 利用最大似然法估计模型参数。似然函数的误差分布有 2 种: 多项式分布和对数正态分布。多项式分布用于渔获年龄组成误差, 其主要影响因子是年龄组成的有效样本量(Effective sample size, ESS)。渔获量、资源量指数为对数正态分布, 其主要影响因子是对数转换后的标准差, 在 ASAP 模型里, 采用 CV 代替标准差。CV 需要预设, 并根据模型拟合情况逐步调整, 因此, CV 为本研究中观测误差的主要影响因子。多项式分布的似然函数为:

$$-\ln L = \ln ESS! + \sum \ln C_i! - ESS \sum p_i \ln pred p_i \quad (1)$$

式中, $\ln L$ 为似然函数取对数, C_i 为 i 龄的渔获量, p_i 为 i 龄的渔获量比例。对数正态分布的似然函数为(共 3 个):

$$-\ln L = 0.5 \ln 2\pi + \sum \ln obs_i + \ln \sigma + 0.5 \sum \frac{[\ln(obs_i) - \ln(pred_i)]^2}{\sigma^2} \quad (2)$$

式中, obs_i 和 $pred_i$ 为第 i 个数据的观测值和模型估算值, σ 为标准差。大眼金枪鱼 ASAP 模型的目标函数主要成分为以上 4 个似然函数之和:

$$\text{objective function} = \lambda_j \sum [-\ln(L)]_j \quad (3)$$

式中, λ_j 为第 j 个似然函数的权重系数($j=1\sim 4$)。

在 ASAP 模型中需要估计的参数有: 各年补充量及其误差、丰度指数对应“渔业”的可捕系数(不随时间变化)、7 种渔业的选择性参数和有效样本量、初始种群结构和资源量、初始年份的完全选择捕捞死亡率及其他各年份的误差(相对于初始年)。无需估算的已知或假设参数有生长参数、成熟度、自然死亡系数、丰度指数误差(设 $CV=0.1$)。最终估算的参考点有最大持续产量(MSY)、MSY 相应的捕捞死亡率(F_{MSY})、当前捕捞死亡率与 F_{MSY} 的比值、当前渔获量与 MSY 的比值、MSY 相应的 SSB(产卵群体生物量)、当前 SSB 与 SSB_{MSY} 的比值及当前 SSB 与未开发时 SSB 的比值。

1.4 渔获量的不确定性量化及情景假设

如前所述, 渔获量观测误差的主要影响因子为 CV, 模型拟合前需要预设 CV 并根据拟合诊断逐步调整。本研究设定基础模型的渔获量 $CV=0.1$, 将 $CV=0.05$ 和 0.15 作为灵敏度分析。同时, 根据 IOTC 对大眼金枪鱼渔获量统计的质量分析, IOTC 估计的部分历史渔获量及名义渔获量的数据统计结果, 假设 10%、15%、20%、-10%、-15% 等 5 个水平的渔获量统计偏差调整量(负数表明 IOTC 高估了历史渔获量), 分不同年龄段对渔获量进行修正。综上所述, 共组成 13 个模型, 其中, 模型 2 为基础模型(表 1)。

表 1 印度洋大眼金枪鱼基础模型及灵敏度分析模型
Tab.1 Base case model and sensitivity models for bigeye tuna in the Indian Ocean

模型 Model	变异系数 CV	渔获量时间跨度 Time period of catch	渔获量统计偏差 Adjust level for catch(%)	是否收敛 Converged or not
模型 Model 1	0.05	1979~2015	—	是 Yes
模型 Model 2 (基础模型 Base case)	0.1	1979~2015	—	是 Yes
模型 Model 3	0.15	1979~2015	—	是 Yes
模型 Model 4	0.1	1979~2015	10	是 Yes
模型 Model 5	0.1	1979~2015	15	是 Yes
模型 Model 6	0.1	1979~2015	20	是 Yes
模型 Model 7	0.1	1979~2015	-15	是 Yes
模型 Model 8	0.1	1979~1983 1984~1995 1996~2012 2013~2015	-10 15 20 -10	是 Yes
模型 Model 9	0.1	1979~1983 1984~1995 1996~2012 2013~2015	10 15 20 -10	是 Yes
模型 Model 10	0.2	1979~2015	—	否 No
模型 Model 11	0.25	1979~2015	—	否 No
模型 Model 12	0.1	1979~2015	-10	否 No
模型 Model 13	0.1	1979~2015	-20	否 No

2 结果

2.1 渔获量误差对拟合诊断的影响

13个模型中, 收敛的模型共9个(表1), 下文仅分析收敛的模型。模型不收敛表明模型的假设或数据相互矛盾, 模型未能获得有效参数。9个模型的丰度指数估算值与观测值的残差如图3、图4所示, 除了早期的1979~1984年, 模型整体拟合的预测值与观测值很相近, 9个模型变化趋势与基础模型(模型2)一致, 且其残差未见有明显的变动趋势, 但西北海域的丰度指数较东北海域的拟合更好(图2), 其丰度指数残差也相对较小。渔获量估算值与观测值的残差如图5所示, 残差未见有明显的变动趋势, 表明评估模型对丰度指

数和渔获量的拟合均可靠。

年龄结构模型的结果输出包括拟合结果和 ASAP 模型结果, 9个模型的拟合结果如表 2 所示。通过对拟合结果的各个目标函数进行对比分析, 以基础模型(模型 2)为参照, 发现当 CV 增加或减少, 其相应的目标函数没有发生明显的增减变化。而针对名义渔获量统计偏差估计的 6 个模型(模型 4~模型 9)也没有明显的增减规律, 但模型 8 的拟合结果相对其他 5 个模型的结果有较大的差异。

2.2 渔获量误差对 F 与 SSB 变动趋势的影响

捕捞死亡系数的估算值见图 6。通过比较 8 个假设模型与基础模型的捕捞死亡系数, 发现所有模型的

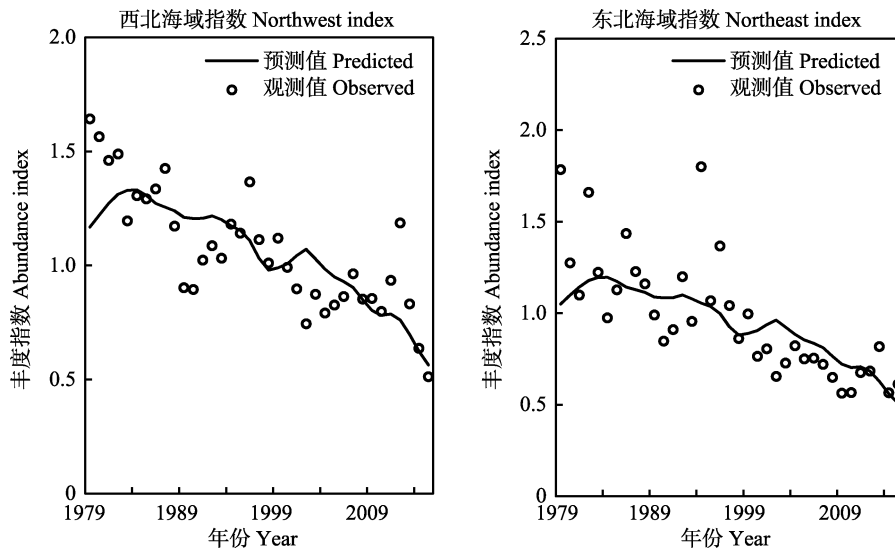


图 2 印度洋大眼金枪鱼丰度指数观测值与预测值(基础模型)

Fig.2 Observed and predicted abundance indices of bigeye tuna in the Indian Ocean (base case model)

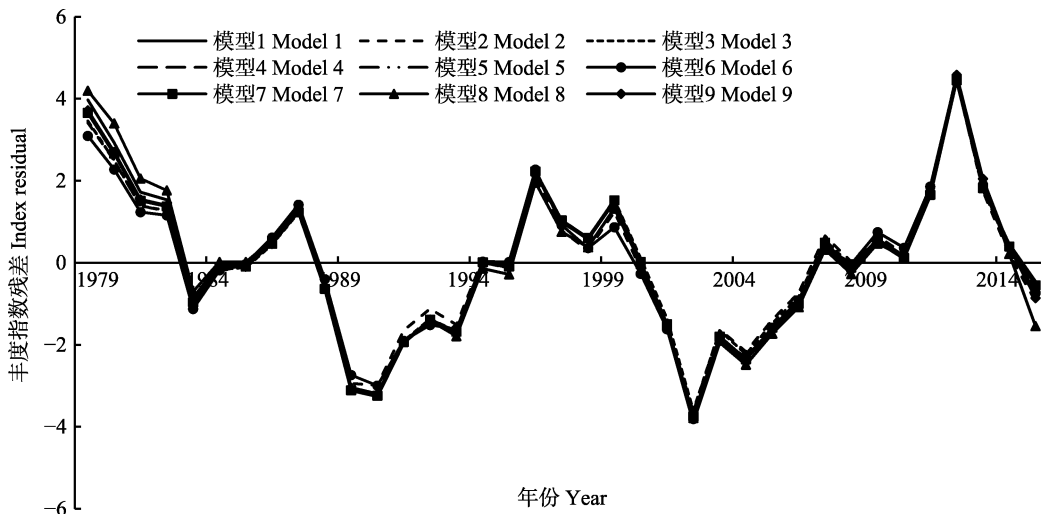


图 3 印度洋大眼金枪鱼丰度指数残差(西北海域指数)

Fig.3 Residuals between observed and estimated abundance indices of bigeye tuna in the Indian Ocean (Northwest index)

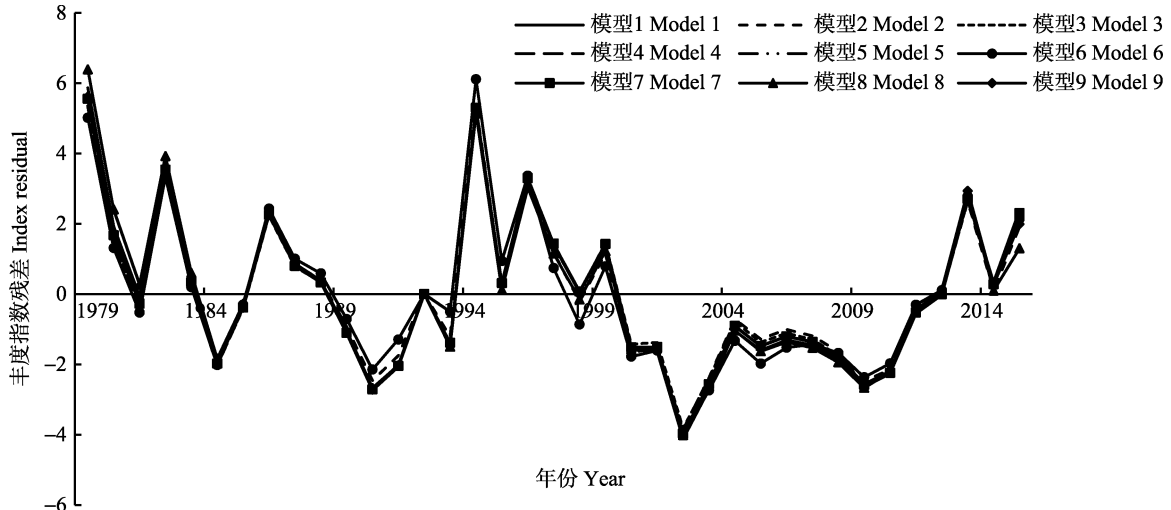


图 4 印度洋大眼金枪鱼丰度指数残差(东北海域指数)

Fig.4 Residual between observed and estimated abundance index of bigeye tuna in the Indian Ocean (Northeast index)

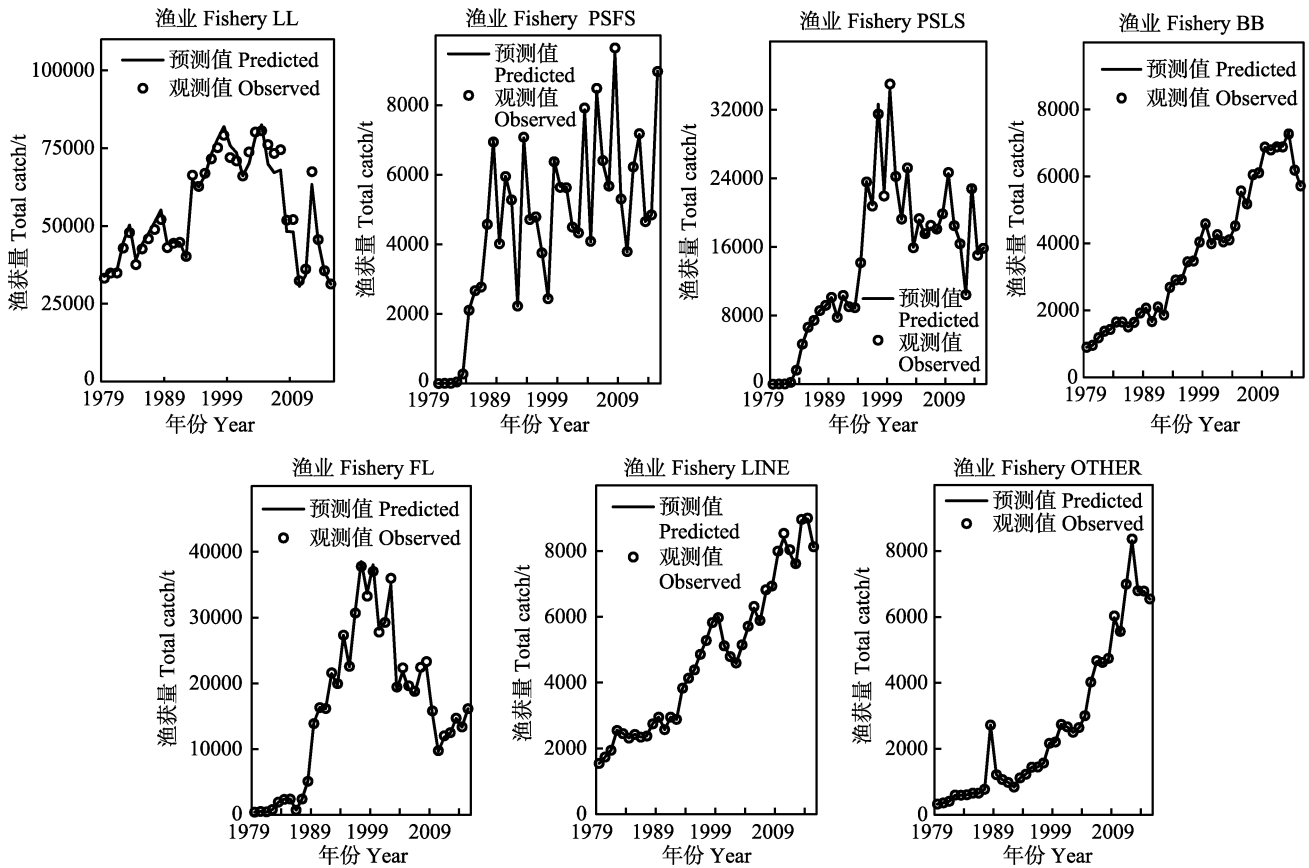


图 5 印度洋大眼金枪鱼渔获量估算值与观测值(基础模型)

Fig.5 Observed and predicted annual catch of bigeye tuna in the Indian Ocean (base case model)

捕捞死亡系数的变化趋势一致,但在不同的假设条件下,其捕捞死亡系数值不同。在 CV 为 0.05 和 0.15 的情况下,捕捞死亡系数的估算值与基础模型的值很接近,变化趋势基本一致。同时,根据渔获量假设的 5 个模型(除模型 8)变化趋势也与基础模型一致。但模型 8 的捕捞死亡系数的估算值自 1983 年始明显低于

其他 8 个模型。但无论在何种假设下,自 1984 年以来,7 种渔业的捕捞死亡系数一直处于上升趋势,尤其是 1984~1999 年,其上升趋势明显加快。

9 个模型的 SSB 变化如图 7 所示。在不同的假设条件下,SSB 的变化趋势基本相同。在 1979~1985 年呈增加趋势,然后逐渐减少,至 2000 年后略有回升,

表 2 模型拟合结果
Tab.2 Model fit summary

Lambda 表达式 Lambda expression			目标函数 Objective function	渔获量成分 Catch	丰度指数成分 Index	渔获年龄组成成分 Age comps	补充量变化成分 Recruit devs	惩罚项 Penalty
			—	7	2	—	1	1000
变异	模型	Model 1	5765.3	1703.7	54.1	3552.9	454.6	0
系数	模型	Model 2	5725.7	1887.7	31.5	3352.7	453.8	0
CV	模型	Model 3	6024.9	1995.8	37.3	3537.2	454.7	0
渔获量 Catch	模型	Model 4	5961.2	1912.6	44.6	3545.4	458.6	0
	模型	Model 5	5972.8	1924.1	44.7	3543.9	460.2	0
	模型	Model 6	5774.3	1937.9	38.2	3338.2	460.1	0
	模型	Model 7	5883.4	1845.9	44.8	3543.7	448.9	0
	模型	Model 8	6731.7	1920.2	59.4	4300.4	451.7	0
	模型	Model 9	5979.4	1923.5	46.7	3547.8	461.4	0

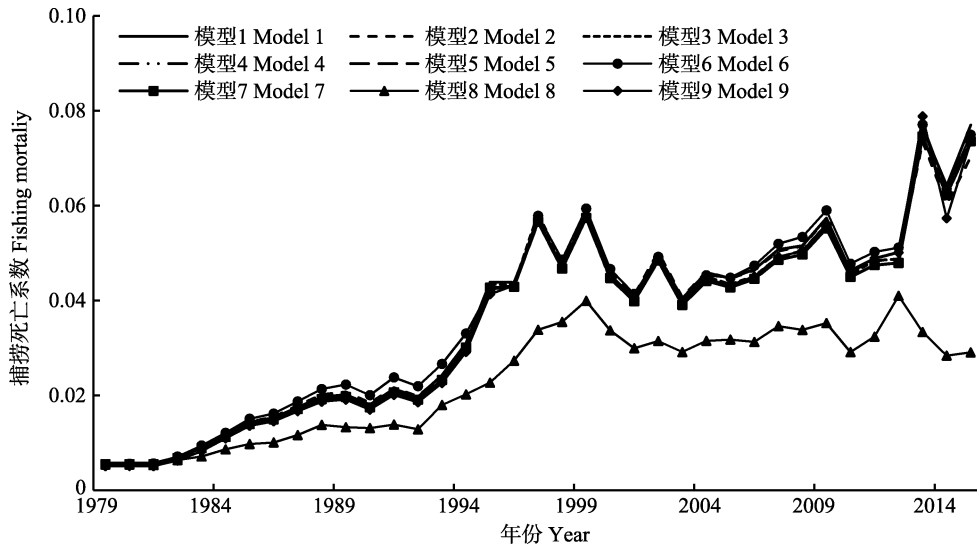


图 6 印度洋大眼金枪鱼捕捞死亡系数

Fig.6 Estimated fishing mortality of bigeye tuna in the Indian Ocean

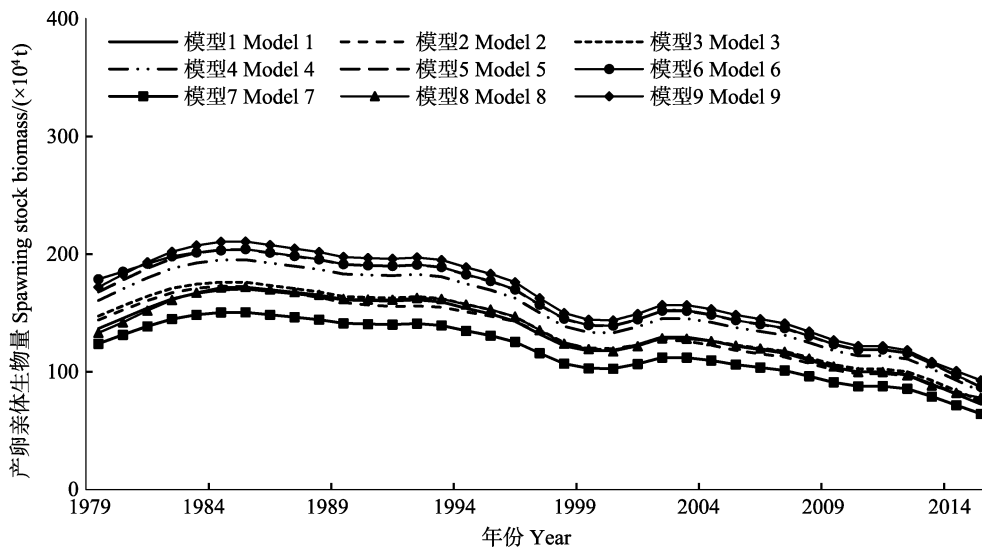


图 7 印度洋大眼金枪鱼产卵亲体生物量

Fig.7 Estimated spawning stock biomass (SSB) of bigeye tuna in the Indian Ocean

但接下来至 2015 年, 总体呈下降趋势, 除了模型 9, 2015 年的 SSB 均低于 MSY 相应的水平。在假设 CV 为 0.05 和 0.15 的情况下, SSB 与基础模型没有明显的差异, 而假设的渔获量偏差越高, SSB 估计值越大(模型 2、模型 4~模型 6)。当假设渔获量偏差减少 15% 时, SSB 最低。而根据大眼金枪鱼实际的历史产量分年代设立的模型 9, 其 SSB 估计值最高, 且高于 MSY 相应的水平。

2.3 渔获量误差对生物学参考点和资源状态判断的影响

在不同的假设条件下, 各个模型的渔业管理生物学参考点及相关参数的估算值见表 3。基础模型下(模型 2), 当前 F_{2015}/F_{MSY} 等于 1, 当前渔获量为 MSY 的 1.02 倍, 当前 SSB 为 SSB_{MSY} 的 1.18 倍, 可以确定 2015 年初的资源状况没有“过度捕捞”, 这与 2016 年 IOTC 对印度洋大眼金枪鱼的资源评估结果一致(Adam, 2016)。对比模型 1、模型 2 和模型 3 发现, CV 增加或减小对 MSY 及相关的参考点具有一定的影响, 即当 CV 增加或减小其对应的参考点 MSY、 F_{MSY} 、 SSB_{MSY} 均减小, 相应的 C_{curr}/MSY 、 F_{curr}/F_{MSY} 均增大, SSB_0 随 CV 增加而增大。对比模型 2、模型 4、模型 5 和模型 6 发现, 当 1979~2015 年渔获量呈不同水平增加, 其参考点 C_{curr}/MSY 减小, F_{curr}/F_{MSY} 增大, 而 SSB_{curr}/SSB_{MSY} 和 SSB_{curr}/SSB_0 没有明显的变化趋势。但当 1979~2015 年渔获量减少 15% 时, 其对应的关键参考点 F_{curr}/F_{MSY} 、 SSB_{curr}/SSB_{MSY} 、 SSB_{curr}/SSB_0 均没有明显的变化。而通过对比模型 8 和模型 9 发现, 表 1 对 1979~2015 年分阶段的渔获量假设不同水平的偏差, 其评估结果具有明显的差异, F_{curr}/F_{MSY} 远小于其他模型, SSB_{curr}/SSB_{MSY} 和 SSB_{curr}/SSB_0 高于其他模型。

对于渔获量观测误差而言, 对比模型 1 (CV=0.05)、

模型 2 (CV=0.1)与模型 3 (CV=0.15)的 F_{curr}/F_{MSY} 与 SSB_{curr}/SSB_{MSY} 估计值变化, CV 增大或减小时, 当前的资源状况相对基础模型均有过度捕捞的趋势。对于渔获量统计偏差而言, 假设渔获量增加百分比越高, MSY 估算值越大。结合表 3 的 F_{curr}/F_{MSY} 与 SSB_{curr}/SSB_{MSY} 的结果可以发现, 只有假设渔获量偏差为 20% 时, 其评估结果相对基础模型有过度捕捞趋势, 而其他假设(10%、15%和-15%)下, 资源评估的结果相对基础模型没有明显的变化。同时, 为验证该结果, 对渔获量增加 16%、17%、18%、19% 并比较评估结果发现, 均没有出现过度捕捞。因此, 在应用 ASAP 模型对大眼金枪鱼资源进行评估时应确保渔获量统计偏差保持在 20% 以内, 这样对资源开发状态的判断是一致的。历史产量统计偏差分年代考察发现, 1979~1983 年渔获量偏差对资源评估结果没有较大的影响, 而 2013~2015 年的渔获量偏差对资源评估结果具有很大的影响。

3 讨论

印度洋大眼金枪鱼的资源评估, 在 1998 年以前, 是由印太金枪鱼类开发管理计划(IPTP)进行的, 1999 年以后由印度洋金枪鱼委员会进行。依据最新分析结果, 由于渔业统计中没有包括“未报告的渔获”部分, 所以可能低估了最大可持续产量(MSY)水平。IOTC 当前的评估表明, 印度洋大眼金枪鱼资源目前没有过度捕捞, 但 2015 年初有轻微的过度捕捞趋势, 即 $SSB_{2015}/SSB_{MSY} > 1$, F_{2015}/F_{MSY} 可能大于 1。而本研究中基础模型的结果与其一致, 即 $SSB_{2015}/SSB_{MSY} > 1$ (=1.18)、 $F_{2015}/F_{MSY} = 1$ 。对比其他 8 个假设模型的评估结果, 发现即使是最冒险的假设(模型 6), 当前资源也没有出现过度捕捞现象, 但仍然有过度捕捞的趋势($SSB_{2015}/SSB_{MSY} > 1$ (=1.18)、 $F_{2015}/F_{MSY} = 1.06$)。同时,

表 3 各个模型的参考点及相关参数

Tab.3 Biological reference points and related parameters from each assessment model

模型 Model	MSY(t)	C_{curr}/MSY	F_{MSY}	F_{curr}/F_{MSY}	$SSB_{MSY}(t)$	SSB_{curr}/SSB_{MSY}	$SSB_0(t)$	SSB_{curr}/SSB_0
模型 Model 1	88506	1.05	0.145	1.08	621982	1.16	1967740	0.37
模型 Model 2	91208	1.02	0.146	1.00	629187	1.18	1974170	0.38
模型 Model 3	89439	1.04	0.145	1.04	628136	1.20	1983010	0.38
模型 Model 4	98871	0.94	0.145	1.04	695959	1.20	2200580	0.38
模型 Model 5	103442	0.90	0.145	1.04	727117	1.20	2298140	0.38
模型 Model 6	106374	0.87	0.146	1.06	735084	1.18	2311650	0.38
模型 Model 7	76441	1.21	0.145	1.04	537153	1.19	1697510	0.38
模型 Model 8	126710	0.73	0.178	0.56	633599	1.23	1902070	0.41
模型 Model 9	105637	0.88	0.144	0.75	744251	1.24	2355170	0.39

资源状态评价也可采用产卵群体生物量的比率(SBR)来判断,即当前 SSB 与原始状态(SSB₀)的比率。当 SBR 越接近于 0,表明资源衰减越严重,SBR 越接近于 1,表明资源的 SSB 可能没有明显减少。本研究中基础模型及 8 个灵敏度分析模型的 SBR 值均表明,印度洋大眼金枪鱼资源目前处于资源衰减状态(SSB_{curr}/SSB₀≈0.4),这表明,在经过了 60 多年的商业性捕捞后,资源生物量已远低于原始水平。

本研究表明,渔获量观测误差对资源评估的结果具有一定程度的影响,在 CV 假设偏小的情况下,得到的资源状态相对于基础模型更为悲观(模型 1、模型 2 和模型 3)。历史渔获量统计偏差方面,如果认为历史渔获量统计偏低,从得到的 C_{curr}/MSY 比值来看,评估结果更为乐观(模型 4、模型 5 和模型 6);而认为历史渔获量统计偏高,评估结果略为悲观(模型 7)。如果对历史渔获量偏差进行更具体的分段修正,则上述差别不明显,即评估结果均更为乐观(模型 8 和模型 9)。由于分段渔获量修正更体现了各捕捞船队在历史上不同时期的渔获数据质量,其评估结果可能更反映大眼金枪鱼的真实资源状况。通过对比观测误差和统计偏差的影响,认为渔获量统计偏差对资源评估的影响更加明显。为此,建议在今后的印度洋金枪鱼类资源评估中,应该注重分析历史渔获量统计偏差的大小,并进行适当修正。而对于渔获量观测误差的影响,建议仍对不同误差水平做灵敏度分析,以确保评估结果的可靠性。

参 考 文 献

- Appleyard SA, Ward RD, Grewe PM. Genetic stock structure of bigeye tuna in the Indian Ocean using mitochondrial DNA and microsatellites. *Journal of Fish Biology*, 2002, 60(3): 767-770
- Adam L. Stock assessment of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean for 2016. IOTC-2016-WPTT18-20, 2016, 66-69
- Cao XY, Zhou WF, Fan W, *et al.* Advance on research in the relationship between fishing ground of bigeye tuna and environmental parameters. *Marine Fisheries*, 2008, 3(2): 176-182 [曹晓怡, 周为峰, 樊伟, 等. 大眼金枪鱼渔场与环境关系的研究进展. *海洋渔业*, 2008, 3(2): 176-182]
- Chiang HC, Hsu CC, Wu GC, *et al.* Population structure of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean inferred from mitochondrial DNA. *Fisheries Research*, 2008, 89(1): 305-312
- Hoyle SD, Kim D, Lee S, *et al.* Collaborative study of tropical tuna CPUE from multiple Indian Ocean longline fleets in 2016. IOTC-2016-WPTT18-14, 2016
- IOTC. Review of the statistical data and fishery trends for tropical tuna. IOTC-2016-WPTT18-07, 2016, 6-13
- IOTC. Report of the fourteenth session of the IOTC working party on tropical tunas. IOTC-2012-WPTT14, 2012, 88
- Kolody D, Herrera M, Million J. Exploration of Indian Ocean bigeye tuna (*Thunnus obesus*) stock assessment sensitivities 1952-2008 using stock synthesis. IOTC-2010-WPTT-04, 2010
- Langley A, Herrera M, Sharma R. Stock assessment of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean for 2012. IOTC-2013-WPTT15-30, 2013
- Laslett GM, Eveson JP, Polacheck T. Growth of tropical tunas using the Laslett, Polacheck and Eveson (LEP) method. IOTC-2008-WPTT-09, 2008
- Miao ZQ, Huang YC. Pelagic tuna fishery. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2003, 24-28 [苗振清, 黄锡昌. 远洋金枪鱼渔业. 上海: 上海科学技术出版社, 2003, 24-28]
- Motomura T, Uchioko S. Review of the production model analyses of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean. *Journal of Ryutsu Keizai University*, 2003, 37(11): 1-18
- Nakatani T, Kimball DF, Larson LE, *et al.* Stock assessment of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) resources in the Indian Ocean by the age structured production model (ASPM) analyses. *Iotc*, 2001, 5(3): Proceedings
- Nishida T, Rademeyer R. Stock and risk assessments on bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean based on AD model builder implemented age-structured production model (ASPM). IOTC-2011-WPTT-42, 2011
- NOAA Fisheries Toolbox at <http://nft.nefsc.noaa.gov>
- Shono H, Satoh K, Okamoto H, *et al.* Updated stock assessment for bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean up to 2008 using stock synthesis III (SS3). IOTC-2009-WPTT-20, 2009
- Zhu JF, Guan WJ, Tian SQ, *et al.* Stock assessment of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean using ASAP. IOTC-2013-WPTT15-28, 2013
- Zhu JF. Stock assessment of Indian Ocean bigeye tuna (*Thunnus obesus*) using age-structured assessment program. IOTC-2016-WPTT18-14, 2016, 11-13

(编辑 冯小花)

Impact of Catch Uncertainty on the Stock Assessment of Bigeye Tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean

LI Yanan¹, DAI Xiaojie^{1,2,3①}, ZHU Jiangfeng^{1,2,3}, GENG Zhe¹, XIA Meng¹, HE Shan¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Ministry of Education Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306)

Abstract Bigeye tuna (BET), *Thunnus obesus* is a large epi- and mesopelagic species distributed in tropical and subtropical waters of the Indian Ocean. Its stock status has been the focus of regional tuna fisheries management organizations. Because of a variety of fishing gear and fishing fleet structures, there have some statistical biases in the historical nominal catches of the Indian Ocean BET. However, the impact of this bias on stock assessment has been neglected in recent years. This paper aimed to assess the impact of observation error and statistical bias of catch on the stock assessment of Indian Ocean BET, using Age-Structured Assessment Program (ASAP) based on fishery-specific catch, catch-at-age, and standardized catch-per-unit-effort data. The results showed that the current stock of BET in the Indian Ocean was not overfished. The results of base model and eight sensitivity analysis models showed that the observation error of catch had influences on the stock status evaluation. When the bias of nominal catch was assumed to be 15% (i.e., the historical catch was underestimated), the assessment result was consistent with the base model (i.e. not overfished). When the bias of nominal catch was assumed to be 20%, the stock might be overfished. Therefore, both the observation error and the statistical bias associated with catch data can have significant impacts on the assessment results, with the latter having a greater effect. This study highlights the importance of considering both the assumption of observation error and statistical bias in catch data in tuna fishery stock assessment, which has been neglected recently.

Key words Indian Ocean; *Thunnus obesus*; Stock assessment; Catch; Uncertainty

① Corresponding author: DAI Xiaojie, E-mail: xjdai@shou.edu.cn