

耿喆, 朱江峰, 王扬, 等. 应用 Catch-MSY 模型评估印度洋蓝枪鱼资源[J]. 海洋学报, 2019, 41(8): 26–35, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.08.003

Geng Zhe, Zhu Jiangfeng, Wang Yang, et al. Stock assessment for Indian Ocean blue marlin (*Makaira nigricans*) using Catch-MSY model[J]. Haiyang Xuebao, 2019, 41(8): 26–35, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.08.003

应用 Catch-MSY 模型评估印度洋蓝枪鱼资源

耿喆^{1,2}, 朱江峰^{1,2*}, 王扬^{1,2}, 戴小杰^{1,2}

(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)

摘要: Catch-MSY 模型可仅依靠渔获量数据进行渔业资源评估, 在数据缺乏状况下能暂时替代标准资源评估模型。本研究以印度洋蓝枪鱼 (*Makaira nigricans*) 为例, 根据有、无信息的内禀增长率 r 和环境容纳量 K 的先验分布, 设立 15 组情景进行模型灵敏度分析、资源评估和预测。结果表明, 参数 r 和 K 呈强烈的负相关, 而最大可持续产量 (Maximum Sustainable Yield, MSY) 与参数 r 呈正相关; 数据时间序列长度对评估结果影响有限, 而模型对起止年渔获量较为敏感。资源状况评估表明, 印度洋蓝枪鱼资源生物量状况良好, 即 B_{2015}/B_{MSY} 大于 1; 而开发状况除其中两种情景外, 均为过度捕捞, 即 F_{2015}/F_{MSY} 大于 1。资源预测表明, 为使未来 10 年内 $B/B_{MSY} > 1$ 的概率超过 50%, 需将渔获量缩减至当前渔获量的 90% (13.86 kt); 考虑到该模型在数据缺乏状况下会更加保守, 若将当前渔获量的 100%~110% (15.40~16.94 kt) 设为管理目标, 则未来 5 年内 $B/B_{MSY} > 1$ 的概率超过 50%。

关键词: 印度洋; 蓝枪鱼; 渔获量模型; 资源评估; 管理策略

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2019)08-0026-10

1 引言

蓝枪鱼 (*Makaira nigricans*) 属旗鱼科 (Istiophoridae), 枪鱼属 (*Makaira*), 为高度洄游的大型类金枪鱼类, 广泛分布在太平洋和印度洋的热带和亚热带海域 (45°N~35°S) [1-2]。作为其分布海域金枪鱼延绳钓的重要兼捕对象, 蓝枪鱼也是刺网、曳绳钓和游钓渔业的捕捞鱼种 [3]。随着近年来全球范围内蓝枪鱼捕捞量的持续上升, 因生命周期长、雌雄生长异形和高度洄游等问题 [4-5], 如何评估其资源状况成为重点研究的问题。与多数兼捕种类相似, 由于缺乏长期的体长组成数据和不完美的生物学研究, 难以通过标准资源评估模型评估 [6]。采用资源综合评估 (Stock Synthesis) 模型评估印度洋蓝枪鱼时 [7], 因其结果包含的极高恢复力与现实情况不符, 并未被印度洋金枪鱼委员会

(Indian Ocean Tuna Commission, IOTC) 采纳。北太平洋金枪鱼和类金枪鱼科学委员会 (International Scientific Committee for Tuna and Tuna-Like Species in the North Pacific Ocean, ISC) 在评估太平洋蓝枪鱼资源状况时 [8], 也认为在缺乏分性别的渔业数据情况下, 使用资源综合评估模型难以进行准确的资源评估。

由于渔业统计数据质量问题不可能在短期内解决, 各区域性渔业管理组织在评估多数兼捕鱼类资源状况时, 将数据缺乏方法 (Data Poor Approach) 设为研究方向之一。渔获量模型仅通过渔获量数据即可设定过度捕捞界限 (Overfishing Limit, OFL), 是有代表性的数据缺乏方法之一 [9-10]。本研究采用的渔获量-最大可持续产量 (Maximum Sustainable Yield, MSY), 即 Catch-MSY 模型 [11] 由种群损耗 (Stock Reduction Analysis, SRA) 模型 [12-13] 发展而来, 该模型除继承数

收稿日期: 2018-05-25; 修订日期: 2018-08-28。

基金项目: 国家自然科学基金 (41676120)。

作者简介: 耿喆 (1993—), 男, 安徽省马鞍山市人, 研究方向为渔业资源评估。E-mail: gengzhe1993@sohu.com

* 通信作者: 朱江峰, 男, 教授, 主要从事渔业资源评估研究和生态学。E-mail: jfzhu@shou.edu.cn

据要求低的特点外(仅需要渔获量数据),还可有效的综合生物学和资源状况信息,如:内禀增长率 r 、生物量和环境容纳量 K 比例 B/K 等参数的概率分布。相比于早期的渔获量模型,Catch-MSY模型可描述历史资源动态,并提供完整的生物学参考点,与标准的剩余产量模型无异^[14]。

近年来,随着全球渔业科学家对数据缺乏渔业评估方法的重视,Catch-MSY模型作为其中的代表被各区域性渔业管理组织应用于多种兼捕鱼类^[15-16],同时也被用于管理夏威夷海域的部分渔业^[17],此外联合国粮食及农业组织“数据缺乏方法”工作组报告中也将其作为建议模型推广^[18]。本研究以印度洋蓝枪鱼历史渔获量数据为基础,运用 Catch-MSY 模型对其资源状况进行评估,并结合部分生物学信息对模型参数进行灵敏度分析。本研究旨在判断印度洋蓝枪鱼资源开发状况,并结合当前管理策略进行资源预测,为该资源的可持续利用提供参考。同时,考虑到我国近海的多数鱼种处于数据缺乏状况,本研究也为该模型的国内应用提供技术支持和参考。

2 材料与方法

2.1 评估模型

Schaefer^[19] 剩余产量模型是结构最为简单的可估算种群动态的资源评估模型,其仅需要渔获量、资源丰度或捕捞努力量数据,即可通过估算内禀增长率 r 和环境容纳量 K (或 B_0)等参数评估资源状况,计算公式如下:

$$B_{t+1} = B_t + r \left(1 - \frac{B_t}{K} \right) B_t - C_t, \quad (1)$$

式中, B_t 为 t 年生物量, C_t 为 t 年渔获量。

在数据缺乏渔业中,资源丰度和捕捞努力量数据通常难以获得或存在极高的不确定性。而 Catch-MSY 模型仅需要渔获量数据,通过设置参数 r 和 K 的先验分布,以及评估起始年(First Year, FYR)和终止年(Last Year, LYR)相对资源比率(B_{FYR}/K 和 B_{LYR}/K)的大致范围,即可对渔业资源进行评估。应用时根据以往研究和经验,给予上述参数有信息或无信息的先验分布。难以提供参数 r 先验信息时,可根据 Froese 等^[20-21]的研究,将种群恢复力强弱分为4类(表1),给予其一个服从均匀分布的无信息先验分布。

设置起止年相对资源比率(B_{FYR}/K 和 B_{LYR}/K)的大致范围时,根据起止年渔获量和历史最大渔获量(C_{MAX})的比值(表2),给予其默认接受范围。

参数 K 无信息的先验分布通常为2倍的最大渔

表1 参数 r 的经验分布

Tab. 1 Empirical distribution for parameter r

恢复力	r 分布范围
强	0.600~1.500
适中	0.200~0.800
弱	0.050~0.500
很弱	0.015~0.100

表2 评估起止年资源比率

Tab. 2 Default values for initial and final stock status

	起止年渔获量/ C_{MAX}	B/K
起始年	<0.5	0.50~0.90
	≥ 0.5	0.30~0.60
终止年	>0.5	0.30~0.70
	≤ 0.5	0.01~0.40

获量($2 \times C_{\text{MAX}}$)到50倍的最大渔获量($50 \times C_{\text{MAX}}$)之间的均匀分布。因此该假设不适用于渔获量低于2% K 的渔业,同理当捕捞能力过低时,渔获量难以提供足够的信息支持该模型。Catch-MSY模型通过蒙特卡罗(Monte Carlo)模拟从参数 r 、 K 和 B_{FYR}/K 的先验分布中随机采样,通过 Schaefer^[19] 剩余产量模型结合渔获量数据估算 B_{LYR}/K ,并保留所有处于 B_{LYR}/K 预设接受范围内的结果。该模型的拟合函数是依据终止年评估结果是否存在于 B_{LYR}/K 预设范围内设立,其服从简单的伯努利分布。

每保留一次蒙特卡罗模拟结果均会估算出独立的MSY和资源状况,根据 Martell 和 Froese^[11]以及 Froese 等^[14]的研究,相比于中值和算术平均值统计估算结果,几何平均值法更为稳定。关于该模型的更多细节和原理请参考这两项研究。

2.2 数据来源与参数设定

近年来,印度洋蓝枪鱼渔获主要来自延绳钓渔业(74%)和刺网渔业(23%),主捕国家和地区有印度尼西亚、巴基斯坦和我国台湾地区等^[22]。本研究所采用印度洋蓝枪鱼历史渔获量由 IOTC 提供(<http://www.iotc.org/documents/data-stock-assessment-blue-and-black-marlins>),时间跨度为1950-2015年(图1)。根据 Wang 和 Huang^[7]的研究,雌性印度洋蓝枪鱼自然死亡系数为 0.22 a^{-1} ,雄性为 0.37 a^{-1} 。为考虑自然死亡系数估算时的不确定性,本研究中自然死亡系数服从均值 M 等于 0.22 a^{-1} ,标准差为0.1的对数正态分布。

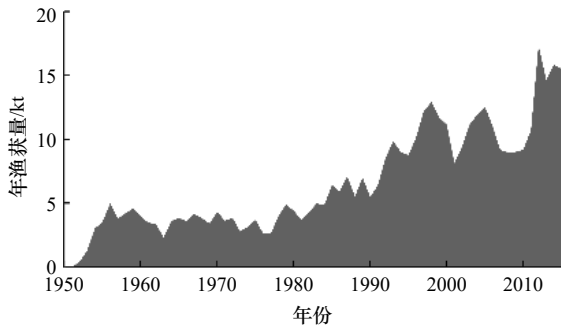


图 1 印度洋蓝枪鱼历史渔获量(1950—2015年)

Fig. 1 Trend of catch of blue marlin in the Indian Ocean (1950 to 2015)

内禀增长率 r 分别设立无信息和有信息的先验分布。根据 www.fishbase.org 的统计, 印度洋蓝枪鱼拥有中等恢复力, 即 r 服从 $0.2 \sim 0.8$ 的均匀分布, 为尽可能的涵盖该种群 r 的所有可能性, 结合 IOTC 最新评估报告^[7], 将无信息组 r 的先验分布设置为更为宽泛的 $0 \sim 1$ 的均匀分布。因印度洋蓝枪鱼恢复力研究相对匮乏, 无法为参数 r 提供高精度的先验信息, 采用 Zhou 和 Sharma^[23] 的研究 $r = 2\omega M$, 硬骨鱼中参数 ω 被估算为 0.87 ^[24]。

环境容纳量 K 先验信息难以获得, 通常依据历史最大渔获量 C_{MAX} 给予其均匀分布, 但 McAllister 和 Duplisea^[25] 以及 McAllister^[26] 指出, 该情况下剩余产量模型会优先选择较大的 K 值帮助模型平衡, 其后验分布多集中在靠近最大值的一侧, 不利于评估结果的统计, 而通过设定 $\ln(K)$ 的先验分布可解决该问题。因此, 本研究中 K 先验分布满足 $\ln(K)$ 服从 $\ln(2 \times C_{MAX}) \sim \ln(50 \times C_{MAX})$ 的均匀分布, 即假设历史最大渔获量介于环境容纳量的 $2\% \sim 50\%$ 之间。本研究也设立有信息的 K 先验分布, 其服从均值为 $\ln(10 \times C_{MAX})$, 标准差为 0.4 的对数正态分布, 且设定 $2 \times C_{MAX}$ 和 $50 \times C_{MAX}$ 分别为上下限。每组情景均进行 100 000 次蒙特卡洛模拟, 模型构建与模拟均通过 R 语言 (V3.2.2) 实现^[27]。

2.3 情景设立

2.3.1 参数设置

为判断印度洋蓝枪鱼资源现状, 渔获量数据选用 1950—2015 年, 参数 r 采用有信息和无信息的两组先验分布, 为尽可能的涵盖由自然死亡系数带来的不确定性, 设定两组有信息的先验分布自然死亡系数分别等于 $0.22 \text{ a}^{-1} (M)$ 和 0.33 a^{-1} (即 $1.5M$)。 K 同时采用有信息和无信息的先验分布, 具体设置如表 3, 其中 S1A、S1B、S2A、S2B、S3A 和 S3B 用于印度洋蓝枪鱼

当前资源估算。

设立情景 S4A、S4B、S5A、S5B 考虑明显低估和高估参数 r 时, 对 Catch-MSY 模型后验分布和评估结果的影响(表 3)。因参数 K 通常会被给予较大的先验分布范围, 不易出现高估和低估的状况, 故本研究只比较其先验分布分别服从对数均匀分布和对数正态分布对模型的影响。此外, 本研究还比较不同渔获量时间序列对评估模型的影响, 比较时参数 r 和 K 均选择无信息的先验分布(表 3)。

2.3.2 管理与预测

各渔业组织通常采用决策表的形式对管理目标效果和时长进行描述, 其中 Kobe II 管理策略矩阵 (Kobe II Strategy Matrix, K2SM) 使用最为广泛^[28]。根据 IOTC 当前管理策略^[22], 本研究将 2013—2015 年平均产量 15.4 kt 设立为总许可捕捞量 (Total Allowable Catch, TAC), 采用 K2SM, 以 S1A 为基准模型对未来资源状况 (2018 年和 2025 年) 进行预测。具体方法为: 根据基准模型保留的所有 $r-K$ 组合, 对应的 B_{2015} (2015 年资源量) 估算结果和依据 TAC 设定的未来渔获量, 分别估算预测资源量大于最大可持续产量状况下的资源量 ($B_{pre} > B_{MSY}$) 和预测捕捞死亡系数小于最大可持续产量状况下的捕捞死亡系数 ($F_{pre} < F_{MSY}$) 的概率。

本文中 Catch-MSY 模型通过 Schaefer^[19] 剩余产量模型构建种群动态模型, 因此各生物参考点计算公式如下:

$$MSY = rK/4, \quad (2)$$

$$B_{MSY} = K/2, \quad (3)$$

$$F_{pre} = -\ln\left(1 - \frac{\text{Catch}}{B_{pre}}\right), \quad (4)$$

$$F_{MSY} = -\ln\left(1 - \frac{MSY}{B_{MSY}}\right). \quad (5)$$

3 结果

3.1 灵敏度分析

由图 2a 和图 2b 可见, 当给予参数 r 无信息的先验分布时, 参数 K 后验分布离散程度最大; 当赋予参数 r 有信息的先验分布时, 均值越小, 参数 K 后验分布均值越大, 且分布越离散。由图 2c 可见, 当给予 r 无信息的先验分布时, 情景 A (离散的 K 先验分布) 和情景 B (集中的 K 先验分布) 下 r 后验分布差异明显, 前者离散后者集中; 当给予 r 有信息的先验分布时 (图 2d、图 2e 和图 2f), 情景 A 和情景 B 下 r 后验分布无明显差异。 r 后验分布均值变大时, K 后验分布均值随之减小; r 后验分布均值减小时, K 后验分布

表3 印度洋蓝枪鱼 Catch-MSY 模型情景设置

Tab. 3 Scenarios of the Indian Ocean blue marlin Catch-MSY model

情景	自然死亡系数	r	K	渔获量时间序列
S1A	–	U[0, 1]	$\ln(K) \sim U[\ln(2 \times C_{MAX}), \ln(50 \times C_{MAX})]$	1950–2015年
S1B	–	U[0, 1]	lognormal($10 \times C_{MAX}$, 0.4)	1950–2015年
S2A	LM(M , 0.1)	$2\omega M$	$\ln(K) \sim U[\ln(2 \times C_{MAX}), \ln(50 \times C_{MAX})]$	1950–2015年
S2B	LM(M , 0.1)	$2\omega M$	lognormal($10 \times C_{MAX}$, 0.4)	1950–2015年
S3A	LM(1.5 M , 0.1)	$2\omega M$	$\ln(K) \sim U[\ln(2 \times C_{MAX}), \ln(50 \times C_{MAX})]$	1950–2015年
S3B	LM(1.5 M , 0.1)	$2\omega M$	lognormal($10 \times C_{MAX}$, 0.4)	1950–2015年
S4A	LM(0.5 M , 0.1)	$2\omega M$	$\ln(K) \sim U[\ln(2 \times C_{MAX}), \ln(50 \times C_{MAX})]$	1950–2015年
S4B	LM(0.5 M , 0.1)	$2\omega M$	lognormal($10 \times C_{MAX}$, 0.4)	1950–2015年
S5A	LM(2 M , 0.1)	$2\omega M$	$\ln(K) \sim U[\ln(2 \times C_{MAX}), \ln(50 \times C_{MAX})]$	1950–2015年
S5B	LM(2 M , 0.1)	$2\omega M$	lognormal($10 \times C_{MAX}$, 0.4)	1950–2015年
S6_1960	–	U[0, 1]	$\ln(K) \sim U[\ln(2 \times C_{MAX}), \ln(50 \times C_{MAX})]$	1960–2015年
S6_1970	–	U[0, 1]	$\ln(K) \sim U[\ln(2 \times C_{MAX}), \ln(50 \times C_{MAX})]$	1970–2015年
S6_1980	–	U[0, 1]	$\ln(K) \sim U[\ln(2 \times C_{MAX}), \ln(50 \times C_{MAX})]$	1980–2015年
S6_1990	–	U[0, 1]	$\ln(K) \sim U[\ln(2 \times C_{MAX}), \ln(50 \times C_{MAX})]$	1990–2015年
S6_2000	–	U[0, 1]	$\ln(K) \sim U[\ln(2 \times C_{MAX}), \ln(50 \times C_{MAX})]$	2000–2016年

注: 0.5 M 、1.5 M 、2 M 表示自然死亡系数均值(0.22 a^{-1})乘以0.5、1.5、2倍; U[0, 1]表示服从0到1的均匀分布; LM(M , 0.1)表示服从均值为 M , 标准差为0.1的对数正态分布。

均值随之增大,两者间有较强烈的负相关。比较不同 r 先验分布对MSY估算结果的影响,随着 r 先验分布均值的增加MSY估算结果逐步增加;给予无信息的 r 先验分布时,MSY估算结果最为离散(图3)。

不同时间序列对资源状况的判断如下(图4a, 图4b),各评估结果均显示相对资源状况($B_{\text{year}}/B_{\text{MSY}}$)于1980年前较为平稳,此后资源状况持续下降至今,而相对捕捞强度($F_{\text{year}}/F_{\text{MSY}}$)于1980年前较为平稳,此后逐年增加至今。不同时间序列下,资源状况判断结果无明显差异,但2000–2015年组略微低估资源状况,高估捕捞强度。

3.2 资源现状

印度洋蓝枪鱼资源现状评估结果如表4和图5所示,除情景3结果表明资源状况良好外($B_{2015}/B_{\text{MSY}} > 1$, $F_{2015}/F_{\text{MSY}} < 1$),其余结果(情景1、情景2)均显示资源正遭受过度捕捞($B_{2015}/B_{\text{MSY}} > 1$, $F_{2015}/F_{\text{MSY}} > 1$)。从参数估算角度来看,情景3对应估算结果较大的 r ($0.56 \sim 0.57 \text{ a}^{-1}$)和较小的 K ($95.96 \sim 102.34 \text{ kt}$),其他情景估算结果与之相反, r 估算结果较小($0.32 \sim 0.38 \text{ a}^{-1}$)而 K 则相对较大($130.41 \sim 146.00 \text{ kt}$)。比较不同情景间MSY变化趋势时发现,其估算结果随着 r 估算结果增大而增大;比较相同情景下AB两组MSY估算结果

时发现,当 r 估算结果相近 K 估算结果越大MSY越大。

比较图5a和图5b可发现, K 先验分布越离散,则评估结果越离散,但以几何平均数统计时无明显差异。比较图5a、图5b和图5c时, r 先验分布越离散,则评估结果越离散。其先验分布离散程度对评估结果无明显影响,但其均值大小会影响评估结果。

3.3 管理与预测

以2013–2015年平均产量15.4 kt设立为TAC, K2SM如表5。以80% TAC(12.32 kt)为管理目标时,可使2035年资源状况 $B_{2035} > B_{\text{MSY}}$ 的概率提升至64.48%。当以90% TAC(13.86 kt)为管理目标时,有58.83%的概率使2025年资源状况 $B_{2025} > B_{\text{MSY}}$ 。若维持当前TAC(15.4 kt),仅有43.48%的概率使10 a后资源状况 $B_{2025} > B_{\text{MSY}}$ 。

4 讨论

4.1 灵敏度分析

本研究中,模型后验分布选择较大的参数 r 时,会对应选择相对较小的 K ,选择较小的 r 时,则会对应选择较大的 K (图2),即参数 r 和 K 间有着强烈的负相关。该情况除与应用Catch-MSY模型的其他研

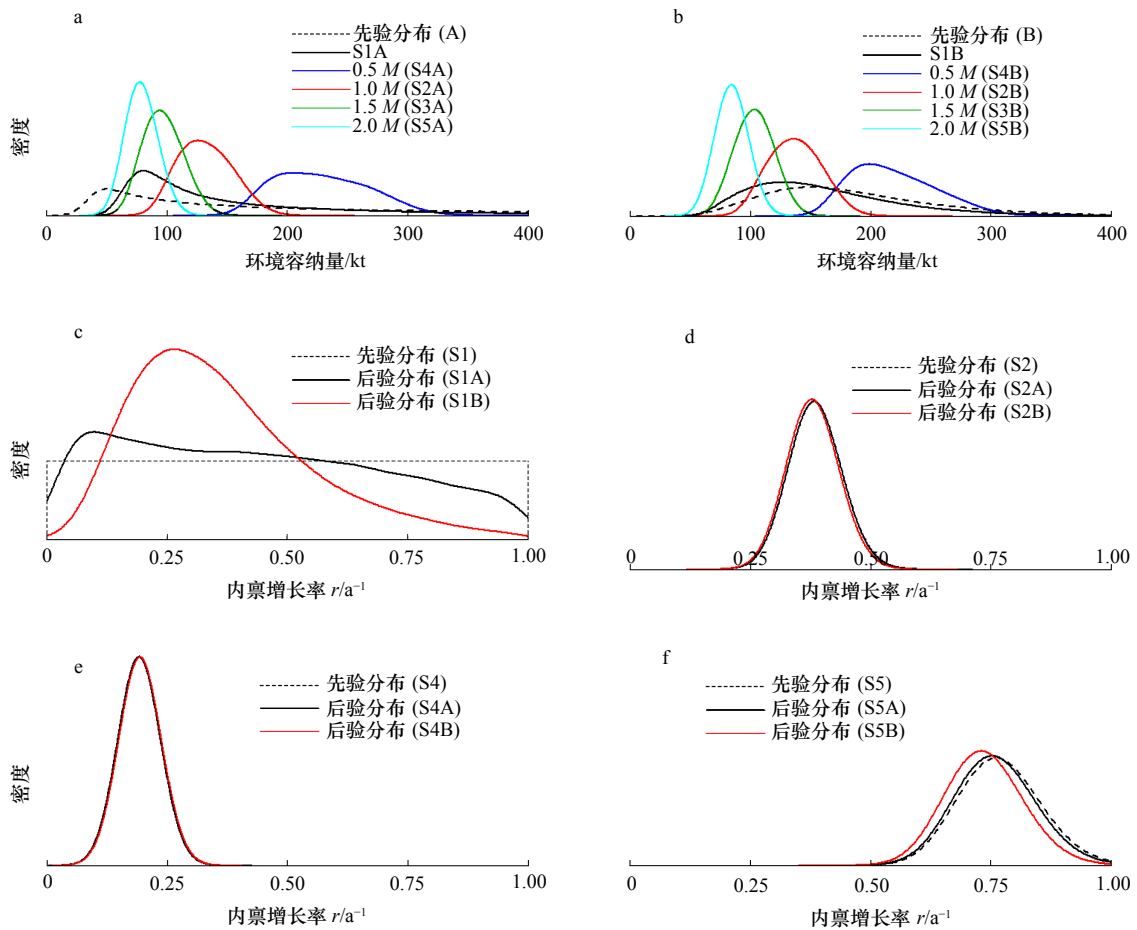


图2 不同情景的参数先验与后验分布

Fig. 2 Prior and posterior distribution of the key parameters based on different scenarios

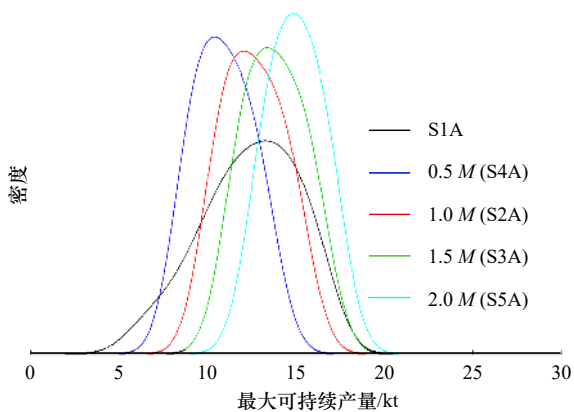


图3 不同情景下最大可持续产量估算结果

Fig. 3 Estimated maximum sustainable yield based on different scenarios

究一致外^[15-16], 也与贝叶斯剩余产量模型的相关研究一致^[29], 因此该情况可能与剩余产量模型结构有关。通常参数 K 有信息和无信息的先验分布包含的信息均十分有限, 因此对参数 r 无信息的先验分布筛选时, 两者后验分布差异明显(图 2c), 而对参数 r 有信息的先验分布筛选时, 两者几乎无差别(图 2d, 图 2e),

在参数 r 先验分布出现高估情况时, 前者能进行部分矫正(图 2f)。

分析 r 先验分布对 MSY 估算结果影响时发现, 前者均值越大则 MSY 估算结果越高, 两者呈正相关, 因此错误的 r 值会直接低估或高估 OFL(图 3)。对时间序列进行灵敏度分析时发现, 模型对资源状况的判断对起止年渔获量十分敏感, 因此对年间渔获量波动大的渔业, 应当慎重选择该模型。不同时间序列长短对资源状况判断的差异并不显著, 因此该方法对早期有较高误报率和丢弃率的渔业可能有较好容错性。此外, 时间序列最短的 2000–2015 年组, 评估结果为相对较差的资源状况和相对较高的捕捞强度, 也与大部分数据缺乏模型类似^[30-31], 即数据状况越差, 数据缺乏方法会得到更保守的评估结果。

4.2 资源状况与预测

在本研究为判断资源状况所采用的 3×2 组情景中, 各组评估结果均表明资源总量状况良好, 即 $B_{2015}/B_{MSY} > 1$, 几何平均值范围在 1.16~1.26 之间。结合资源开发状况来看, 仅有情景 S3A 和 S3B 表明当

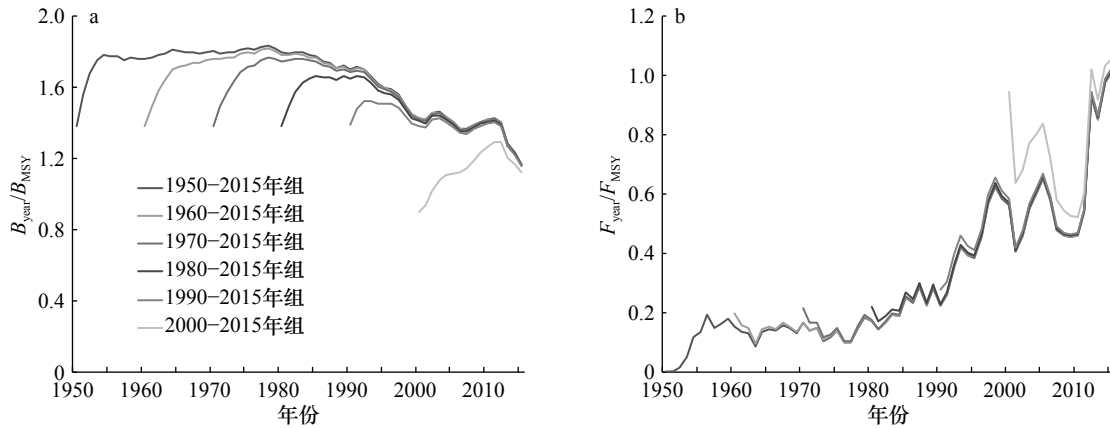


图4 不同时间序列下的资源评估结果

Fig. 4 Stock assessment result based on different time series

a. 相对生物量变动; b. 相对捕捞死亡系数变动

a. Time trends of relative biomass; b. time trends of relative fishing mortality

表4 印度洋蓝枪鱼管理参考点及部分参数

Tab. 4 Management related parameters and reference points of the Indian Ocean blue marlin

参数和参考点	S1A	S1B	S2A	S2B	S3A	S3B
r/a^{-1}	0.32	0.32	0.38	0.38	0.57	0.56
K/kt	146.00	151.73	130.41	135.49	95.92	102.34
MSY/kt	12.07	12.14	12.48	12.82	13.70	14.31
B_{MSY}/kt	73.00	75.87	65.21	67.75	47.96	51.17
B_{2015}/B_{MSY}	1.16	1.16	1.15	1.20	1.20	1.26
F_{MSY}/a^{-1}	0.18	0.17	0.21	0.21	0.34	0.33
F_{2015}/F_{MSY}	1.11	1.11	1.08	1.01	0.93	0.84

前状况良好($F_{2015}/F_{MSY}<1$),但已十分接近过度捕捞,结果分别为0.93和0.84,其余4组均表明当前资源状况处于过度捕捞($F_{2015}/F_{MSY}>1$),但过度捕捞程度较低, F_{2015}/F_{MSY} 在1.01~1.11之间。此结果与当前IOTC采纳的贝叶斯剩余产量模型评估结果^[7]较为接近,其结果为: B_{2015}/B_{MSY} (80%CI)=1.11(0.90~1.35)和 F_{2015}/F_{MSY} (80%CI)=1.18(0.80~1.71)。但该剩余产量模型在解释资源状况历史轨迹时,出现了资源总量过度捕捞($B_{2015}/B_{MSY}<1$)发生在资源开发程度过度捕捞($F_{2015}/F_{MSY}>1$)之前的现象,虽可用环境因素解释资源衰退^[22],但仍存有争议,相比之下本研究中图4所示的资源变动轨迹则更为合理。

为满足20a内资源总量仍处于良好($B_{2035}/B_{MSY}>1$)的概率超过50%,则需将未来渔获量缩减至当前渔获量的80%(12.32 kt)。而依据IOTC管理目标^[22],即维持未来10a内 $B_{2025}/B_{MSY}>1$ 的概率超过50%,需将渔获量缩减至90%。考虑到数据缺乏模型仅可短期内

替代传统评估模型^[10],且当前数据存在的误报和丢失等问题,Catch-MSY模型在数据质量较差时会选择更为保守的估计。因此将100%~110%的当前渔获量(15.40~16.94 kt)设为管理目标,既可保证5a内 $B/B_{MSY}>1$ 的概率超过50%,也可为收集传统评估模型所需数据提供足够的时间。

5 小结和展望

除Catch-MSY模型外,较为常见的数据缺乏模型还有基于资源衰减的修正平均渔获量模型(Depletion-Corrected Average Catch, DCAC)模型^[32]、基于资源衰减的资源损耗模型(Depletion-Based Stock Reduction Analysis, DB-SRA)模型^[33]和简化综合模型(Simple Stock Synthesis, SSS)模型^[34]等。DCAC模型除利用渔获量数据和部分生物学信息(如自然死亡系数、种群恢复能力 B_{MSY}/K 和抵抗捕捞压力的能力 F_{MSY}/M)外,还需要对资源衰减比率进行估计。与Catch-

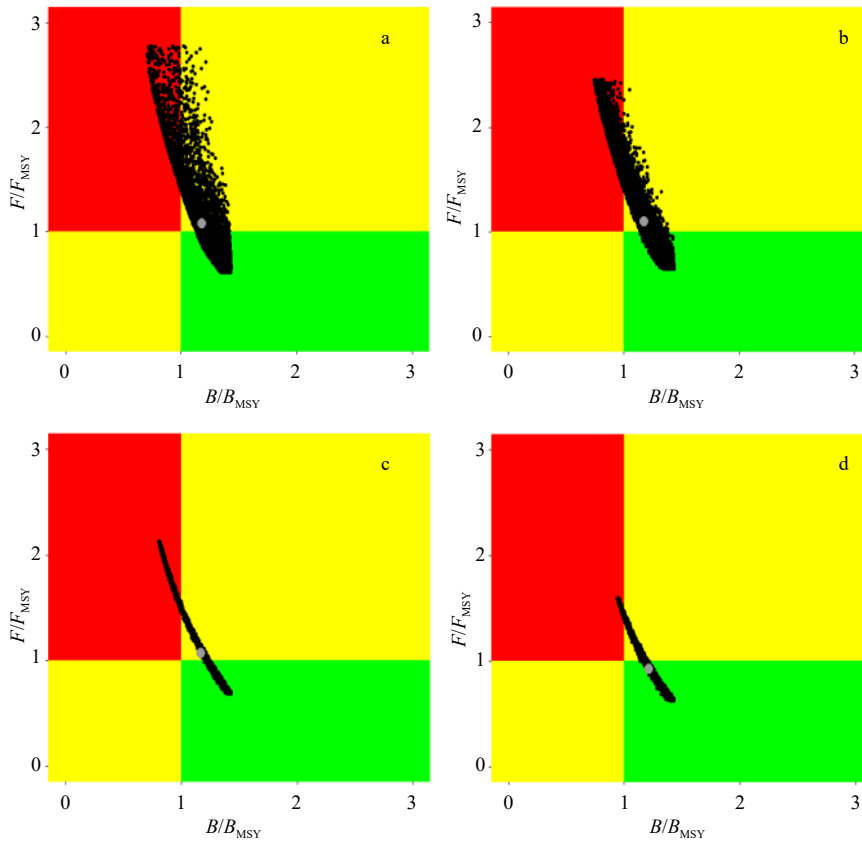


图 5 印度洋蓝枪鱼资源状况(Kobe 图)

Fig. 5 Kobe plots of stock status of the Indian Ocean blue marlin

a. S1A 情景; b. S1B 情景; c. S2A 情景; d. S3A 情景; 黑色点为蒙特卡洛模拟结果, 灰色点为几何平均值

a. S1A scenario; b. S1B scenario; c. S2A scenario; d. S3A scenario; black dots based on Monte Carlo simulations; grey dots based on geometric means

表 5 Kobe II 管理策略矩阵决策表

Tab. 5 Decision table of Kobe II strategy matrix

参考点	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%
	9 240 t	10 780 t	12 320 t	13 860 t	15 400 t	16 940 t	18 480 t	20 020 t	21 560 t
$B_{2020} > B_{MSY}$	84.99	81.42	76.79	70.69	62.85	53.46	43.70	33.83	24.08
$F_{2020} < F_{MSY}$	82.29	72.59	59.75	43.76	26.71	10.84	0.00	0.00	0.00
$B_{2025} > B_{MSY}$	86.13	79.97	70.99	58.83	43.48	27.22	11.38	3.36	1.89
$F_{2025} < F_{MSY}$	83.36	72.99	58.20	39.52	19.53	2.95	0.00	0.00	0.00
$B_{2030} > B_{MSY}$	86.33	78.71	67.13	51.80	33.20	14.45	0.98	0.25	0.05
$F_{2030} < F_{MSY}$	83.90	72.97	57.05	36.96	16.31	1.58	0.00	0.00	0.00
$B_{2035} > B_{MSY}$	86.32	77.66	64.48	47.27	26.88	7.81	0.03	0.00	0.00
$F_{2035} < F_{MSY}$	84.14	72.87	56.14	35.41	14.75	1.21	0.00	0.00	0.00

注: 描述 $B_{year} > B_{MSY}$ 和 $F_{year} < F_{MSY}$, 绿色代表两个指标均大于50%, 黄色代表仅有一个大于50%, 红色代表均小于50%。

MSY 模型相比 DCAC 模型无法进行完整的资源评估 (如缺乏对当前资源状况的估计), 该模型输出的平衡渔获量(代替 MSY)相比其他模型估算的 MSY 更为保守, 因此在数据质量更差时(如部分年份渔获量数

据完全丢失), DCAC 凭借其保守的特性也在部分渔业中应用^[6, 17]。DB-SRA 模型是 DCAC 模型进一步发展的结果, 该模型更好的处理了剩余产量模型中平衡性假设的问题, 通过增加预设值等条件, 当资源量过

低时采用修正的剩余产量模型估算下一年资源量。该模型可进行完整的资源评估,与 Catch-MSY 模型相比其所需数据和假设条件更多,评估结果也更为精确。SSS 模型则是通过 DB-SRA 模型对传统的 SS(Stock Synthesis)模型^[35]进行调整,使其能利用年龄结构数据进行资源评估,该模型在评估能力和精度上与传统资源评估模型已十分接近,其对数据的要求也更高。

Catch-MSY 模型在评估精度上无法取代标准资源评估模型,但考虑到包括我国近海多数鱼种在内的全球范围内有超过 80% 的渔业资源仍处于数据缺乏状态^[36],该模型可利用有限的的数据制定捕捞策略,有着极好的应用前景。应用该模型时,错误的参数设置对评估结果的影响是显而易见的,因此对数据极度缺乏或生物学研究匮乏的渔业,选择相对宽泛的无信息

的先验分布会更为保险。此外,除利用自然死亡系数估算参数 r 外,还可借助种群统计分析等方法^[37-38],依据生活史信息为参数 r 和密度制约参数 p 提供有效的先验分布,以提高该模型评估精度。当渔获量时间序列较短时,该模型对起止年渔获量数值十分敏感,因此在渔获量波动较大的渔业中需谨慎使用。本研究虽对模型参数进行灵敏度分析,但无法获知现实中参数的真实数值,仅能有限地检测模型对参数估算的容错性。结合种群模拟技术构建“真实种群”,量化参数估算偏差对模型精度和评估结果的影响将是资源评估模型未来的研究方向^[39-40]。

致谢: 本文所用渔获量数据均由 IOTC 秘书处提供, IOTC 秘书处和蓝枪鱼各捕捞方对渔获量统计做了大量工作,对此表示感谢。

参考文献:

- [1] Squire J L. Migration patterns of Istiophoridae in the Pacific Ocean as determined by cooperative tagging programs[C]//Proceedings of the International Billfish Symposium. Hawaii: NOAA, 1974, 2: 226-237.
- [2] Block B A, Booth D T, Carey F G. Depth and temperature of the blue marlin, *Makaira nigricans*, observed by acoustic telemetry[J]. *Marine Biology*, 1992, 114(2): 175-183.
- [3] 戴小杰, 许柳雄. 世界金枪鱼渔业渔获物物种原色图鉴[M]. 北京: 海洋出版社, 2007: 176-177.
Dai Xiaojie, Xu Liuxiong. Illustrations of Catch Species for Global Tuna Fishery[M]. Beijing: Ocean Press, 2007: 176-177.
- [4] Shimose T, Fujita M, Yokawa K, et al. Reproductive biology of blue marlin *Makaira nigricans* around Yonaguni Island, southwestern Japan[J]. *Fisheries Science*, 2009, 75(1): 109-119.
- [5] Sun C L, Chang Y J, Tzeng C C, et al. Reproductive biology of blue marlin (*Makaira nigricans*) in the western Pacific Ocean[J]. *Fishery Bulletin*, 2009, 107(4): 420-432.
- [6] 耿喆, 朱江峰, 夏萌, 等. 运用数据缺乏方法估算印度洋大青鲨可持续渔获量[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(5): 1099-1106.
Geng Zhe, Zhu Jiangfeng, Xia Meng, et al. Estimate of sustainable yield of blue shark (*Prionace glauca*) in the Indian Ocean using data-poor approach[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(5): 1099-1106.
- [7] Wang S P, Huang B Q. Stock assessment of blue marlin (*Makaira nigricans*) in the Indian Ocean using Stock Synthesis: IOTC-2016-WPB14-25_Rev1[R]. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2016.
- [8] ISC. Stock assessment update for Blue Marlin (*Makaira nigricans*) in the Pacific Ocean through 2014[R]. Sapporo: International Scientific Committee for Tuna and Tuna-Like Species in the North Pacific Ocean, 2016.
- [9] Restrepo V R, Thompson G G, Mace P M, et al. Technical guidance on the use of precautionary approaches to implementing National Standard 1 of the Magnuson-Stevens Fishery Conservation and Management Act[J]. NOAA Technical Memorandum, 1998, 31: 54.
- [10] Carruthers T R, Punt A E, Walters C J, et al. Evaluating methods for setting catch limits in data-limited fisheries[J]. *Fisheries Research*, 2014, 153: 48-68.
- [11] Martell S, Froese R. A simple method for estimating MSY from catch and resilience[J]. *Fish and Fisheries*, 2013, 14(4): 504-514.
- [12] Kimura D K, Tagart J V. Stock reduction analysis, another solution to the catch equations[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1982, 39(11): 1467-1472.
- [13] Kimura D K, Balsiger J W, Ito D H. Generalized stock reduction analysis[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1984, 41(9): 1325-1333.
- [14] Froese R, Demirel N, Coro G, et al. Estimating fisheries reference points from catch and resilience[J]. *Fish and Fisheries*, 2017, 18(3): 506-526.
- [15] Andrade H A. Stock reduction analysis of striped marlin (*Tetrapturus audax*) caught in the Indian Ocean: IOTC-2017-WPB15-34[R]. San Sebastian: Indian Ocean Tuna Commission, 2017.
- [16] Andrade H A. Stock reduction analysis of blue shark (*Prionace glauca*) caught in the Indian Ocean: IOTC-2017-WPEB13-30[R]. San Sebastian: Indian Ocean Tuna Commission, 2017.
- [17] Newman D, Berkson J, Suatoni L. Current methods for setting catch limits for data-limited fish stocks in the United States[J]. *Fisheries Research*, 2015, 164: 86-93.

- [18] Rosenberg A A, Fogarty M J, Cooper A B, et al. Developing new approaches to global stock status assessment and fishery production potential of the seas[R]. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1086, Rome: FAO, 2014: 1–175.
- [19] Schaefer M B. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries[J]. Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin, 1954, 1(2): 23–56.
- [20] Froese R, Palomares M L D, Pauly D. Estimation of life history key facts[M]//Froese R, Pauly D. FishBase 2000: Concepts, Design and Data Sources. Philippines: ICLARM, 2000.
- [21] Froese R, Demirel N, Sampang A. An overall indicator for the good environmental status of marine waters based on commercially exploited species[J]. *Marine Policy*, 2015, 51: 230–237.
- [22] IOTC. Status of the Indian Ocean blue marlin (BUM: *Makaira nigricans*) resource: IOTC–2016–SC19–ES13[R]. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2017.
- [23] Zhou S, Sharma R. Stock assessment of two neritic tuna species in Indian Ocean, kawakawa and Longtail tuna using catch-based stock reduction methods. IOTC–2013–WPNT03–25[R]. Victoria: Indian Ocean Tuna Commission, 2013.
- [24] Zhou Shijie, Yin Shaowu, Thorson J T, et al. Linking fishing mortality reference points to life history traits: an empirical study[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2012, 69(8): 1292–1301.
- [25] McAllister M K, Duplisea D E. Production Model Fitting and Projection for Atlantic Redfish (*Sebastes Fasciatus* and *Sebastes Mentella*) to Assess Recovery Potential and Allowable Harm[M]. Quebec: Fisheries and Oceans Canada, 2011.
- [26] McAllister M K. A generalized Bayesian surplus production stock assessment software (BSP2)[J]. ICCAT's Collective Volume of Scientific Papers, 2014, 70(4): 1725–1757.
- [27] R Core Team. The R project for statistical computing[EB/OL]. [2015–06–25/2017–03–01]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>
- [28] Kell L T, Mosqueira S I, De Bruyn P, et al. A Kobe Strategy Maatrix based upon probabilistic reference points: an example using a biomass dynamic assessment model[J]. ICCAT's Collective Volume of Scientific Papers, 2012, 68(3): 1030–1043.
- [29] Guan Wenjiang, Tang Lin, Zhu Jiangfeng, et al. Application of a Bayesian method to data-poor stock assessment by using Indian Ocean albacore (*Thunnus alalunga*) stock assessment as an example[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2016, 35(2): 117–125.
- [30] Kokkalis A, Eikeset A M, Thygesen U H, et al. Estimating uncertainty of data limited stock assessments[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2017, 74(1): 69–77.
- [31] 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.
- [32] MacCall A D. Depletion-corrected average catch: a simple formula for estimating sustainable yields in data-poor situations[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2009, 66(10): 2267–2271.
- [33] Dick E J, MacCall A D. Depletion-based stock reduction analysis: a catch-based method for determining sustainable yields for data-poor fish stocks[J]. *Fisheries Research*, 2011, 110(2): 331–341.
- [34] Cope J M. Implementing a statistical catch-at-age model (Stock Synthesis) as a tool for deriving overfishing limits in data-limited situations[J]. *Fisheries Research*, 2013, 142: 3–14.
- [35] Methot R D, Wetzel C R. Stock synthesis: a biological and statistical framework for fish stock assessment and fishery management[J]. *Fisheries Research*, 2013, 142: 86–99.
- [36] Costello C, Ovando D, Hilborn R, et al. Status and solutions for the world's unassessed fisheries[J]. *Science*, 2012, 338(6106): 517–520.
- [37] Braccini J M, Gillanders B M, Walker T I. Hierarchical approach to the assessment of fishing effects on non-target chondrichthyans: case study of *Squalus megalops* in southeastern Australia[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2006, 63(11): 2456–2466.
- [38] Tribuzio C A, Kruse G H. Demographic and risk analyses of spiny dogfish (*Squalus suckleyi*) in the Gulf of Alaska using age- and stage-based population models[J]. *Marine and Freshwater Research*, 2011, 62(12): 1395–1406.
- [39] Butterworth D S, Punt A E. Experiences in the evaluation and implementation of management procedures[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1999, 56(6): 985–998.
- [40] Deroba J J, Butterworth D S, Methot R D, et al. Simulation testing the robustness of stock assessment models to error: some results from the ICES strategic initiative on stock assessment methods[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2015, 72(1): 19–30.

Stock assessment for Indian Ocean blue marlin (*Makaira nigricans*) using Catch-MSY model

Geng Zhe^{1,2}, Zhu Jiangfeng^{1,2}, Wang Yang^{1,2}, Dai Xiaojie^{1,2}

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

Abstract: Catch-MSY method can temporarily replace conventional stock assessment models in making management decisions for a data-limited fishery, even when only catch data are available. In this study, for the sensitivity analysis and assessment of the Indian Ocean blue marlin, we established 15 scenarios based on non-informative and informative prior distributions of the intrinsic growth rate r and carrying capacity K . Sensitivity analysis reveals a high negative correlation between parameters r and K , and the estimated maximum sustainable yield (MSY) increases with r . Sensitivity analysis shows that the length of catch time series has less influences on the results of the assessments, but the assessments are sensitive to catch data in the first and last year. The assessment results reveal that the status of total biomass is optimal, with the ratio of B_{2015} to B_{MSY} higher than 1. Exception is only two scenarios, the exploitation status under the other scenarios would be overfishing, since all the ratios of F_{2015} to F_{MSY} would be higher than 1. Projections of future stock status show that, to attain the objective of maintaining $B/B_{MSY} > 1$ with a probability of higher than 50% in the next 10 a, the catch would have to be reduced to 90% (13 860 t) of the current level. Considering that the catch-MSY method is conservative under data-limited conditions, maintaining 100% to 110% (15 400–16 940 t) of the current catch could achieve the objective of maintaining $B/B_{MSY} > 1$ with a probability of higher than 50% in the next 5 a.

Key words: Indian Ocean; *Makaira nigricans*; catch-only model; stock assessment; management strategy