

文章编号: 1674 - 5566(2016)02 - 0255 - 08

印度洋黄鳍金枪鱼渔业管理策略评价的初步研究

李 志¹, 王家启¹, 田思泉^{1,2,3}

(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省部共建教育部重点实验室, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 农业部大洋渔业资源环境科学观测测试验站, 上海 201306)

摘 要: 近年来印度洋黄鳍金枪鱼捕捞量一直维持在最大持续产量附近, 其整体资源处于风险状态。由于渔业数据存在各种误差, 渔业资源评估结果也存在很大的不确定性, 传统的渔业资源管理方法会影响渔业资源的可持续利用。渔业管理策略评价是一种系统方法, 通过计算机模拟管理对象的渔业系统, 设定合理的管理目标, 然后测试和评价不同渔业管理策略的表现, 可以提高渔业管理成功的概率, 在渔业中的使用也越来越广泛。本研究根据印度洋黄鳍金枪鱼的生活史特征参数和渔业数据, 建立操作模型, 通过计算机模拟对印度洋黄鳍金枪鱼渔业不同管理策略的结果进行评价, 从而选择适宜的管理策略, 为印度洋黄鳍金枪鱼资源持续发展提供建议。本研究共设置 25 种管理策略, 通过渔业管理策略评价 (management strategy evaluation, MSE), 并结合各种不确定性, 得到最合适的管理策略是管理策略 7, 即 F 设置为 0.2, SSB 设置为 600 000 t。

关键词: 印度洋; 黄鳍金枪鱼; 管理策略评价; 计算机模拟

中图分类号: S 932.4 **文献标志码:** A

金枪鱼渔业是我国远洋渔业的支柱产业。黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacares*) 是金枪鱼渔业中产量最高的经济鱼种, 具有重要的经济价值^[1]。印度洋黄鳍金枪鱼资源量丰富, 占世界黄鳍金枪鱼产量的 30%。作为大洋中少有的具有进一步开发的目标鱼种, 印度洋黄鳍金枪鱼的资源状况和管理措施对我国远洋延绳钓渔业发展具有重要的影响。自 1984 年起印度洋黄鳍金枪鱼渔获量不断攀升, 1994 年以来, 产量维持在 30 万 t 以上, 其中 2003 - 2006 年产量新高^[2]。根据印度洋金枪鱼委员会 (Indian Ocean Tuna Commission, IOTC) 最近的资源评估结果, 近年来印度洋黄鳍金枪鱼捕捞量一直维持在最大持续产量 (maximum sustainable yield, MSY) 附近, 目前种群状态并没有出现过度捕捞的现象, 但是其整体资源处于风险状态。传统的渔业资源管理政策制定时, 往往是依据资源评估的结果确定一个总可捕量 (total allowable catch, TAC) 或者总可捕努力量 (total allowable effort, TAE)^[3], 如 MSY 和最大

可持续捕捞死亡系数 (F_{MSY})。IOTC 对于资源状况的确定一般是通过资源评估来比较捕捞量和 MSY 的关系, 以及捕捞死亡系数和 F_{MSY} 的关系, 由于数据收集误差、过程误差、模型误差等各种误差的存在, 可能会产生较大的不确定性, 从而会对渔业管理的结果带来风险。

渔业管理策略评价^[4] (management strategy evaluation, MSE) 是一种系统的方法, 通过计算机模拟管理对象的渔业系统, 设定合理的管理目标, 然后综合考虑各种误差及不确定性, 测试和评价不同渔业管理策略的表现及管理风险, 从而选择最适策略。在渔业管理方面, 达到预设的管理目标 (如 20 年后资源量维持在一定的水平) 有很多策略, 可以通过调控不同的投入 (基于捕捞死亡系数 F) 和产出控制 (基于生物量水平 B) 的实现, 但不同管理策略的实施效果不同, 渔业管理不是科学实验, 现实中不可能在一种渔业上同时实施几种管理策略来比较优劣, 实际的渔业管理导致渔业资源的变化是不可逆的, 而 MSE 可以

收稿日期: 2015-04-01 修回日期: 2015-07-22

基金项目: 上海市自然科学基金 (11ZR1415500)

作者简介: 李 志 (1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为海洋生物资源。E-mail: 867946028@qq.com

通信作者: 田思泉, E-mail: sqtian@shou.edu.cn

通过计算机模拟技术来同时对一种渔业实施不同的管理策略,评价不同管理策略达到预期管理目标的效果^[5-7],选择表现较好的管理策略,因此可以提高渔业管理成功的概率,在现代渔业管理中逐步得到推广,尤其是在一些国际区域性渔业管理组织中得到应用。

作为当前国际渔业研究的前沿,MSE 的研究在我国很少开展,本研究将根据印度洋黄鳍金枪鱼的生活史特征参数和渔业数据,建立一个计算机模拟渔业,通过实施不同的管理策略对黄鳍金枪鱼模拟渔业进行管理,并实施管理策略的评价,从而选择适宜的管理策略,为印度洋黄鳍金枪鱼资源持续开发提供建议,本研究也将有助于我国更好地介入 IOTC 的科学事务中,从而提升我国的话语权。

1 材料与方法

1.1 MSE 基本理论

MSE 中一般包含操作模型、采样模型、资源评估模型和执行模型 4 部分(图 1)^[8],其中操作模型是 MSE 的核心。

操作模型(operating model)用来模拟“真实的”资源动态,即,通过假设生态系统、资源动态、船只动态、捕捞生产等过程中的关系式或者参数的值,建立操作模型,将这些过程作为一个动态系统进行研究^[9]。然后利用蒙特卡洛(Monte Carlo)等模拟方法,以运行不同的评估、管理方案,分析结果的不确定性。由于已知“真实的”资源动态,因此 MSE 可以更准确地量化评估、管理方案的不确定性,符合渔业管理预防原则(Precautionary Principal)的要求^[10]。然后基于不确定性,测试不同管理策略达到管理目标的程度,并获得模拟结果的概率分布。采样模型是模拟渔业数据的收集过程,即对操作模型产生的数据进行采样,以获得观测数据。资源评估模型是对收集的观测数据、利用资源评估模型进行资源评估,估算生物学参考点、以判断资源的状态,并根据渔业资源状态与管理控制规则,制定管理计划。执行模型则是模拟渔业管理策略、管理计划的实施过程。

在对管理策略进行选择时,通常需运行多年的模拟测试,来确定该管理策略的效果,从而根据管理目标和限制条件,来辨别效果较好的管理

策略^[8]。

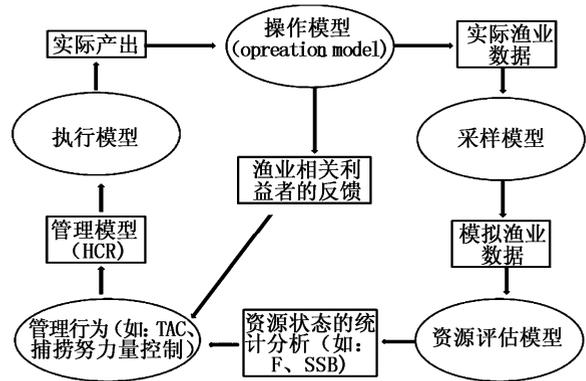


图 1 MSE 结构图

Fig. 1 Structure chart of MSE

1.2 操作模型

本研究主要对印度洋黄鳍金枪鱼渔业建立 MSE 体系,然后测试不同的管理策略,从而选择最优管理策略。操作模型是 MSE 的核心,本研究采用 NOAA 开发的基于年龄结构的模拟模型 Popsim 作为操作模型,对印度洋黄鳍金枪鱼种群动态进行模拟^[11],主要利用印度洋黄鳍金枪鱼的生活史数据和渔业生产数据建立计算机模拟渔业,该渔业可以反映种群“真实”的资源动态,然后根据同样的管理目标,设置不同的管理策略对这个计算机模拟渔业进行管理测试,具体的管理策略测试模拟过程通过 NOAA 渔业管理策略评价软件 MSE 4.0 来实现^[12]。每种管理策略以 2010 年为模拟的初始年份进行 100 次模拟运算,模拟预测年限为 10 年。

操作模型需要的数据主要包括:基于年龄的性成熟度、自然死亡率、捕捞选择性、个体重量,以及每年的捕捞死亡率和补充群体量等。黄鳍金枪鱼操作模型的参数设置见表 1。本研究操作模型的种群动态循环是以年为单位时间,模型中黄鳍金枪鱼的年龄从 1 龄开始。

1.3 初始生物量和平均重量的估算

在资源开发的初始阶段,捕捞死亡系数较低,初始生物量约等于一个世代中各个年龄群体重量的总和,各个年龄的重量由尾数乘以个体重量得到。本研究初始生物量设定为 9.25 万 t^[19],基于年龄的个体重量见表 1,自然死亡系数假设为 0.2,初始捕捞死亡系数假设为 0.05。通过最大似然估计法,可以估算出 1963 年每个年龄的尾数。各个年龄的生物量如表 2 所示。

表 1 操作模型的参数
Tab.1 Parameters for the operation model

参数 parameter	数值 value	参考文献 references
基准年限 base year	1963 - 2010	
预测年限 predicting year	2010 - 2020	
最大年龄 maximum age	8	[13]
年龄结构 age structure	1 2 3 4 5 6 7+	[13]
性成熟度 maturity	0 0.5 1 1 1 1 1	[14]
自然死亡率 natural mortality	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2	[15]
捕捞选择性 fishing selectivity	0 0.5 1 1 1 1 1	[16]
个体重量/kg individual weight	2.84 14.6 33.9 53.1 73 80.5 80.5	[17]
捕捞死亡系数 fishing mortality	图 2	[16]
补充群体 (B-H 模型) recruitment	a = 30465986 b = 194497	[18]

MSE 模拟中需要渔获重量(yield)、产卵生物量 (spawning stock biomass) 和种群重量(stock biomass)

表 2 初始年 1963 年各个年龄的尾数 (×10³ 尾)

Tab.2 Number of individuals at different ages in 1963

年龄 age	1	2	3	4	5	6	7	8	总计 total
尾数 number	65 267	50 830	39 586	30 830	24 010	18 699	14 563	11 341	255 130

1.4 设置管理策略

在本研究中,根据历史数据^[15],结合他人的研究成果^[18,21],对 F 和 SSB 各设置 6 个不同水平的数值,将二者自由组合,即形成 A₁B₁, A₁B₂, A₁B₃……A₅B₄, A₅B₅, 共 25 个不同的组合(表 3),每一个组合即一个管理策略。每个管理策略以 2010 年为模拟的初始年份进行 100 次模拟预测运算,模拟预测年限为 10 年。

表 3 管理策略的设定

Tab.3 Specification of management strategies

SSB/t	F				
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5
B ₁ 600000	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5
B ₂ 700000	MS6	MS7	MS8	MS9	MS10
B ₃ 800000	MS11	MS12	MS13	MS14	MS15
B ₄ 900000	MS16	MS17	MS18	MS19	MS20
B ₅ 1000000	MS21	MS22	MS23	MS24	MS25

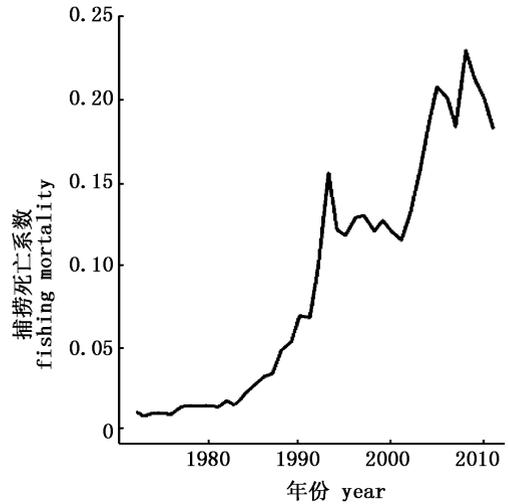


图 2 1963 - 2010 年捕捞死亡系数

Fig.2 Fishing mortality during 1963 - 2010

来支持运算。渔获重量由个体重量代替,产卵亲体种群重量通过 NOAA 渔业工具 VPA 软件^[20]的 Rivard weights 功能计算^[11], Rivard weights 可以根据渔获重量运算得到其他两个基于年龄的重量。

上一年估算得到的种群用于计算下一年的 target F,通过这种方式来模拟资源评估以及开发建议的过程。具体模拟预测过程如下:(1)对 2011 年的产卵亲体量 (spawning stock biomass, SSB) 计算得到 2012 年的估算 SSB (SSB estimated);(2)根据管理策略公式、F_{msy} 和 SSB_{msy}, 计算得到 2013 年的目标捕捞死亡率 (target F);(3)对 target F 进行对数正态误差和偏差计算,得到 2013 年的捕捞死亡率;(4)增加年份,使用捕捞死亡率进行种群计算,得到产卵亲体量;(5)不断重复上述步骤,一直到预测年限结束。管理策略公式如下:

$$SSB < SSB_{msy} \text{ 时, } F_{target} = F_{msy} \times \left(\frac{SSB}{SSB_{msy}} \right) \quad (1)$$

式中:SSB 为预测年份的产卵生物量;SSB_{msy} 为预测年份的最大可持续产卵生物量;F_{target} 为预测年

份的捕捞死亡率。

$$SSB \geq SSB_{msy} \text{ 时, } F_{target} = F_{msy} \quad (2)$$

式中: SSB 为预测年份的产卵生物量, SSB_{msy} 为预测年份的最大可持续产卵生物量, F_{target} 为预测年份的捕捞死亡率。

1.5 管理效果评价指标

IOTC 对于黄鳍金枪鱼的管理目标是: 捕捞量小于 MSY , F/F_{msy} 、 SSB/SSB_{msy} 的比值小于 1, 从而避免资源出现过度捕捞的状况。在符合该管理目标的前提下, 本研究采用了以下管理效果评价指标用来检验不同管理策略的效果^[22]:

(1) 10 年预测年限中, 每次模拟的平均年捕捞量与 MSY 的比值;

(2) 10 年预测年限中, 每次模拟的平均年捕捞量的年间变异系数;

$$AAV = 100 \times \frac{\sum |C_{y+1} - C_y|}{\sum C_y} \quad (3)$$

式中: AAV 为平均年捕捞量的年间变异系数, C_y 为第 y 年的捕捞量, C_{y+1} 为第 $y+1$ 年的捕捞量。

(3) 10 年预测年限中, 每次模拟的平均年 F 与 F_{msy} 的比值;

(4) 10 年预测年限中, 每次模拟的平均年 SSB 与 SSB_{msy} 的比值;

(5) 10 年预测年限中, 每次模拟中年 SSB 的最小值;

(6) 管理结束后, 最后一年的 SSB 。

前 3 项管理效果评价指标与渔业输出相关, 例如渔获量和捕捞死亡率, 后三项与资源的养护相关, 例如 SSB 的水平^[18]。好的管理策略应该是高渔获量且年间波动低、 F/F_{msy} 小于 1、 SSB/SSB_{msy} 大于 1、管理结束时高 SSB , 高 SSB 最小值。当然, 在比较 3 种管理策略时, 需要对这些评价指标进行权衡。

1.6 不确定性

根据 ROSENBERG 和 RESTREPO^[23], FRANCIS 和 SHOTTON^[24], KELL 等^[25-27] 的分类, MSE 中的不确定性可以分为: 过程误差、观察误差、估算误差、模型误差和执行误差。本文考虑了初始生物量的参数估算误差, 以及补充量、渔获量取样和调查取样相关的过程误差。估算误

差和过程误差都遵循对数正态分布。在每次重复模拟中, 都要对参数以及过程中的数据进行对数正态分布误差运算。

表 4 不确定性的设置

Tab. 4 Specification of uncertainties

参数 parameter	误差类型 error	分布 distribution	数值 number
初始生物量 initial biomass	参数误差	对数正态分布	CV = 0.01
补充量 recruitment	过程误差	对数正态分布	CV = 0.4
渔获量取样 catch sampling	观测误差	对数正态分布	CV = 0.1
调查取样 survey sampling	过程误差	对数正态分布	CV = 0.1

2 结果

2.1 模拟效果检验

为检验模拟效果, 建立操作模型后, 以 2010 年作为预测年限的开始, 分别进行 1963-2018、1963-2019、1963-2020 年的 3 次模拟计算, 每次模拟含有 100 次重复, 得到的模拟产量见图 3。1963-2003 年的模拟结果几乎重合, 2003-2020 年产量的变化率如表 5, 最大值仅为 4.2%。由此可知, 3 次的模拟结果比较稳定, 此模拟方法是可行的。

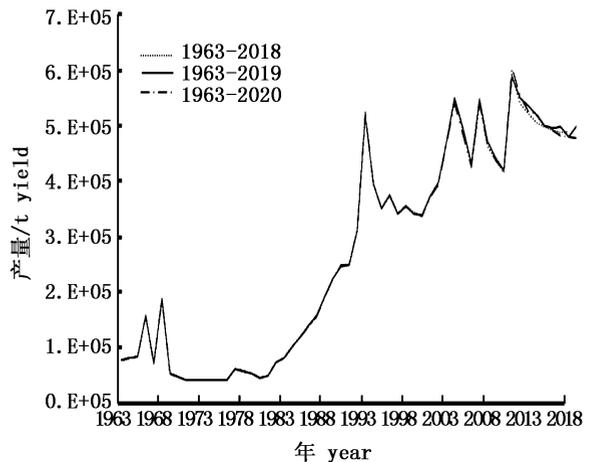


图 3 1963-2018、1963-2019、1963-2020 年的模拟结果

Fig. 3 Simulation results of three stages of 1963-2018, 1963-2019 and 1963-2020

表 5 2003–2020 年产量的变化率
Tab.5 Change rate of catch in 2003–2020

年份 year	变化率 change rate		
	1963–2018 与 1963–2019	1963–2018 与 1963–2020	1963–2019 与 1963–2020
2003	-0.7%	-1.2%	-0.6%
2004	0.4%	-1.1%	-1.5%
2005	0.9%	-0.8%	-1.7%
2006	1.4%	-0.2%	-1.6%
2007	1.4%	-0.1%	-1.5%
2008	1.3%	-0.1%	-1.4%
2009	1.2%	0	-1.1%
2010	0.7%	0.8%	0.1%
2011	-0.8%	2.0%	2.9%
2012	2.0%	2.8%	0.8%
2013	2.6%	1.1%	-1.5%
2014	2.7%	3.4%	0.7%
2015	0.3%	0.2%	-0.1%
2016	0.7%	0.2%	-0.5%
2017	1.8%	-1.3%	-3.1%
2018	-2.3%	-2.0%	0.3%
2019	-	-	-4.2%
2020	-	-	-

注:黑体加粗数字代表产量变化率最小,-代表没有计算的意义。
Note:The black bold number in the table represents the minimum change rate of catch. - represents there is no meaning of calculation.

2.2 管理策略分析

通过 MSE4.0 得到的 25 种管理策略的模拟见表 6,由管理策略 1–5、管理策略 6–10、管理策略 11–15、管理策略 15–20、管理策略 21–25 可以看出,随着捕捞强度的增大,年捕捞量不断增大,而最终年的 SSB 不断减小,说明捕捞强度的增大虽然能得到较高的产量,但是对资源养护不利;平均年捕捞量的年间变异系数随着捕捞死亡率的增大先减小后变大,在捕捞死亡率在 0.2 的时候,年间变异系数最小,为 2.14%。当捕捞死亡率为 0.4 和 0.5 时,即管理策略 4、5、9、10、14、15、19、20、24、25,随着管理目标中 SSB_{msy} 越来越高,年捕捞量相应减少,并随着 SSB_{msy} 的增大,年捕捞量的下降越来越多,这说明,制定 SSB 的管理目标有利于降低捕捞量,管理养护资源。

在捕捞死亡率为 0.4 和 0.5 时,年间变异系数都比较最大,分别为 15.02% 和 20.88%,不利于基于配额的渔业管理。在捕捞死亡率为 0.4 和 0.5 时,年捕捞量的年间变异系数增大,这是因为随着捕捞死亡率的增大,年捕捞量不断增大,

表 6 25 种管理策略的模拟结果
Tab.6 Simulation results of 25 management strategies

模型 model	平均年捕捞量 average yield	平均年捕捞量 年间变异系数 average of annual variance	F/F _{msy}	SSB/SSB _{msy}	模拟终年 SSB predicted SSB	最小 SSB minimum SSB
1	378767.34	3.06%	0.9246	3.36	2121293	1835560
2	440138.65	2.14%	0.8958	2.97	1783101	1766768
3	519383.75	8.57%	0.8671	2.37	1285071	1281830
4	559453.05	15.02%	0.8526	1.94	941781	941781
5	575989.49	20.88%	0.8433	1.62	699764	699764
6	378767.34	3.06%	0.9246	2.88	2121293	1835560
7	440138.65	2.14%	0.8958	2.54	1783101	1766768
8	519383.75	8.57%	0.8671	2.03	1285071	1281830
9	559453.05	15.02%	0.8526	1.66	941781	941781
10	574325.20	21.18%	0.8339	1.39	723264	716623
11	378767.34	3.06%	0.9246	2.52	2121293	1835560
12	440138.65	2.14%	0.8958	2.23	1783101	1766768
13	519383.75	8.57%	0.8671	1.78	1285071	1281830
14	559137.99	15.08%	0.8520	1.45	943891	943891
15	569657.72	21.65%	0.8137	1.23	765798	740696
16	378767.34	3.06%	0.9246	2.24	2121293	1835560
17	440138.65	2.14%	0.8958	1.98	1783101	1766768
18	519383.75	8.57%	0.8671	1.58	1285071	1281830
19	557807.24	15.30%	0.8454	1.30	958579	953176
20	566122.56	21.91%	0.7841	1.12	824995	765561
21	378767.34	3.06%	0.9246	2.01	2121293	1835560
22	440138.65	2.14%	0.8958	1.78	1783101	1766768
23	519405.37	8.57%	0.8671	1.42	1285071	1281830
24	554209.69	15.60%	0.8338	1.18	992287	970236
25	561340.82	22.56%	0.8557	1.03	883582	791002

当 SSB 小于 SSB_{msy} 时,就要降低捕捞死亡率,减少产量,所以会造成捕捞量较大的变异系数,而且捕捞死亡率在 0.4 和 0.5 时,捕捞量过大,远大于 IOTC 提供的最大可持续产量,并不是合适的管理策略。

在剩下的 15 个管理策略中,将管理目标定为高产和养护两种进行讨论。当管理目标定为高产时,即在 SSB 大于 SSB_{msy} 的条件下,年捕捞量越大越好。当渔获量定在 400 000 t 时,管理策略 2、7、12、17、22 较好,当渔获量定在 500 000 t 时,管理策略 3、8、13、18、23 较好。当管理目标定位养护时,即要求 SSB/SSB_{msy} 的比值较大,最终年和最小的 SSB 较大,管理策略 1、6、11、16、21 较好。

可以看出两种管理目标存在着一定的矛盾,需要进行平衡。在管理策略 7, F_{msy} 定为 0.2, SSB_{msy} 定在 600 000 t 时,捕捞量较高,年间变异系数最小, SSB/SSB_{msy} 较大,最终年和最小的 SSB 较大,是在高产和养护管理目标之间的一个平衡点,是本次研究中最好的管理策略,运用 Kobe Plot I 对管理策略 7 中模拟得到的黄鳍金枪鱼渔业开发轨迹绘图见图 4,在模拟渔业中,1963 - 2003 年间只有 2004 年出现过短暂的过度捕捞,可能与历史数据中 2004 年的捕捞死亡率较高有关。1963 年开始,捕捞强度不断增加,特别是在 1990 - 2004 年,捕捞强度增长较快,到 2010 年, F/F_{msy} 、 SSB/SSB_{msy} 都已经接近 1,对于黄鳍金枪鱼的捕捞强度已经很大,黄鳍金枪鱼资源不断下降,处于很大的开发风险中。在 2010 - 2020 年间,根据使用管理策略 7 来管理渔业时,没有出现过度捕捞的情况,资源也可以基本维持在接近 1 的状态,是本研究中最合适的管理策略。

3 讨论

本研究共设置 25 种管理策略,通过评价 2010 - 2020 年的渔业管理情况,其中最佳的管理策略是管理策略 7,即 F_{msy} 设置为 0.2, SSB 设置为 600 000 t。在此情况下,每年的产卵亲体量都高于目标值 SSB_{msy} ,平均年捕捞死亡率低于目标值 F_{msy} ,平均年捕捞量为 440 139 t,年间产量波动最小,有利于基于配额管理体系的渔业管理。

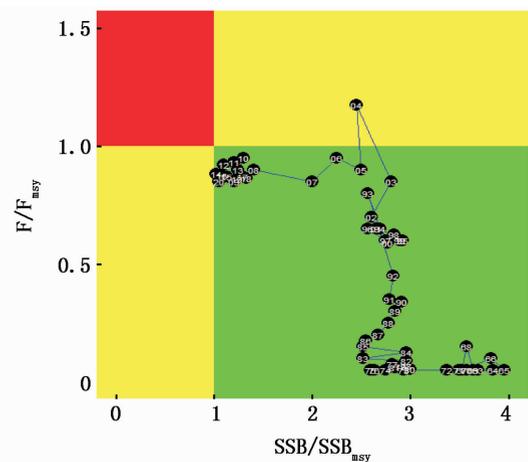


图 4 印度洋黄鳍金枪鱼渔业轨迹图 Kobe Plot I
Fig. 4 Trajectory chart of yellowfin tuna fishery in Indian Ocean (Kobe Plot I)

本研究管理策略 7 中,黄鳍金枪鱼的年捕捞量的年均捕捞量 440 139 t,根据 IOTC 的统计,按照渔具和渔船对捕捞量分类进行统计,得到 2011 - 2013 年的年捕捞量分别为 327 453、400 292 和 402 084 t,其中 2012 年和 2013 年的捕捞量也明显高于最大可持续产量 340 000 t,这与本研究的研究结果 442 986、441 496 t 大体一致。根据 2014 年最新的印度洋渔业委员会 IOTC 的统计,黄鳍金枪鱼的可持续产量为 340 000 t,低于本研究年均捕捞量 440 139 t,说明根据管理策略 7 的模拟推测,在 2010 - 2020 年黄鳍金枪鱼资源的开发过程中,要注意防止出现过度捕捞的情况。

在预测中本研究只选用捕捞死亡率和产卵亲体量作为开发管理的目标值,但是并不等同于使用恒定的捕捞死亡率进行渔业管理。根据本研究的管理策略公式(1)和(2),在资源出现衰退现象,即产卵亲体量低于目标值 SSB_{msy} 时,可以对捕捞死亡率进行调整以保护资源,这是对渔业种群动态信息反馈的一种调整,可以预防过度捕捞情况的发生。

在本研究中,黄鳍金枪鱼渔业的模拟过程中考虑了多种不确定性,例如初始生物量、补充量、渔获量取样、调查取样的不确定性,初始生物量与补充量的数值都来自于印度洋渔业委员会的资源报告,但仍可能存在一定的不确定性,对于不确定性数值的设置还需要进一步的研究与评价。本文的研究只是初步尝试使用 MSE 对印度

洋黄鳍金枪鱼渔业进行管理测试,使用的数据和参数主要来自 IOTC 网站和文献,下一步工作拟对数据和参数进行进一步评价,以使得 MSE 的结果更加全面和合理。

参考文献:

- [1] 叶振江,梁振林,邢智良,等. 印度洋东部黄鳍金枪鱼的渔业生物学[J]. 海洋水产研究, 2001, 22(3): 6-10.
YE Z J, LIANG Z L, XING Z L, et al. The fishery biology of *Thunnus albacares* in the east of Indian Ocean [J]. Marine Fisheries Research, 2001, 22(3): 6-10.
- [2] IOTC SECRETARIAT. Report of the 16th session of the commission working party on tropical tunas victoria; Indian Ocean tuna commission [R]. Bali, Indonesia: IOTC SECRETARIAT, 2014.
- [3] GEROMONT H F, DE OLIVERIA J A A, JOHNSTON S J, et al Development and application of management procedures for fisheries in southern Africa[J]. ICES Journal of Marine Science, 1999, 56: 952-966.
- [4] A' MAR Z T, PUNT A E, DORN M W. The management strategy evaluation approach and the fishery for walleye pollock in the Gulf of Alaska [M]//KRUSE G H, DRINKWATER K, IANELLI J N, et al, eds. Resiliency of Gadid Stocks to Fishing and Climate Change. Anchorage, Alaska, USA: Alaska Sea Grant College Program, 2008: 317-346.
- [5] DE LA MARE W K. Simulation studies on management procedures [R]. Reports of the International Whaling Commission, 1986, 36: 429-450.
- [6] SMITH A D M, SAINSBURY K J, STEVENS R A. Implementing effective fisheries-management systems-management strategy evaluation and the Australian partnership approach[J]. ICES Journal of Marine Science, 1999, 56(6): 967-979.
- [7] PUNT A E, DONOVAN G P. Developing management procedures that are robust to uncertainty: lessons from the international whaling commission [J]. ICES Journal of Marine Science, 2007, 64(4): 603-612.
- [8] HOLLAND D S. Management strategy evaluation and management procedures: tools for rebuilding and sustaining fisheries [C]//OECD Food, Agriculture and Fisheries Working Papers No. 25, OECD Publishing, 2010.
- [9] DICHMONT C M, DENG A, PUNT A E, et al. Beyond biological performance measures in management strategy evaluation; Bringing in economics and the effects of trawling on the benthos[J]. Fisheries Research, 2008, 94(3): 238-250.
- [10] FAO. Precautionary approach to capture fisheries and species introductions[R]. Rome: FAO Fisheries Technical Paper, 1996.
- [11] HAMPE J, WIENKER T, SCHREIBER S, et al. POPSIM: a general population simulation program [J]. Bioinformatics, 1998, 14(5): 458-464.
- [12] SMITH A D M, SAINSBURY K J, STEVENS R A. Implementing effective fisheries-management systems-management strategy evaluation and the Australian partnership approach[J]. ICES Journal of Marine Science, 1999, 56(6): 967-979.
- [13] 孟晓梦,叶振江,王英俊. 世界黄鳍金枪鱼渔业现状和生物学研究进展[J]. 南方水产科学, 2007, 3(4): 74-80.
MENG X M, YE Z J, WANG Y J. Review on fishery and biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) [J]. South China Fisheries Science, 2007, 3(4): 74-80.
- [14] ITANO D G. The reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in Hawaiian waters and the western tropical Pacific Ocean; project summary[R]. Joint Institute for Marine and Atmospheric Research Report, 2000.
- [15] IOTC SECRETARIAT. Report of the 15th Session of the Commission Working Party on Tropical Tunas Victoria; Indian Ocean Tuna Commission[R]. San Sebastian, Spain: IOTC SECRETARIAT, 2013.
- [16] LANGLEY A, HERRERA M, MILLION J. Stock assessment of yellowfin tuna in the Indian Ocean using MULTIFAN-CL [R]. IOTC-2008-WPTT-10: 1-24, 2008.
- [17] NISHIDA T, SHONO H. Stock assessment of yellowfin tuna in the Indian Ocean by the age structured production model (ASPM) analyses[R]. IOTC-2007-WPTT-12: 1-17.
- [18] ZHANG Y Y, CHEN Y, ZHU J F, et al. Evaluating harvest control rules for bigeye tuna (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) fisheries in the Indian Ocean[J]. Fisheries Research, 2013, 137: 1-8.
- [19] IJIMA H, SATO K, MATSUMOTO T, et al. Preliminary stock assessment of yellowfin tuna in the Indian Ocean using SS3 [R]. Working Party on Tropical Tunas, IOTC-2012-WPTT-39 Rev_1, 2012.
- [20] JURADO-MOLINA J, LIVINGTON P. Sensitivity analysis of the multispecies virtual population analysis model parameterized for a system of trophically-linked species from the eastern Bering Sea [J]. Ciencias Marinas, 2004, 30(2): 285-296.
- [21] 冯波,陈新军,西田勤. 应用年龄结构产量模型评估印度洋黄鳍金枪鱼资源[J]. 生态学报, 2010, 30(13): 3375-3384.
FENG B, CHEN X J, XI T Q. Stock assessment of *Thunnus albacares* in the Indian Ocean using age structured production mode [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(13): 3375-3384.
- [22] 童玉和. 印度洋大眼金枪鱼管理策略评价[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
TONG Y H. Management strategy evaluation of bigeye tuna in Indian Ocean [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013.
- [23] ROSENBERG A A, RESTREPO V R. Uncertainty and risk

- evaluation in stock assessment advice for U. S. marine fisheries [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1994, 51(12): 2715–2720.
- [24] FRANCIS R I C, SHOTTON R. “Risk” in fisheries management: a review [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1997, 54(8): 1699–1715.
- [25] KELL L T, PASTOORS M A, SCOTT R D, et al. Evaluation of multiple management objectives for Northeast Atlantic flatfish stocks: sustainability vs. stability of yield [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, 62(6): 1104–1117.
- [26] KELL L T, PILLING G M, KIRKWOOD G P, et al. An evaluation of multi-annual management strategies for ICES roundfish stocks [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2006, 63(1): 12–24.
- [27] KELL L T, DE OLIVEIRA J A A, PUNT A E, et al. Chapter 15 Operational management procedures: An introduction to the use of evaluation frameworks [J]. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, 2006, 36: 379–407.

Management strategy evaluation for yellowfin tuna fishery in Indian Ocean

LI Zhi¹, WANG Jiaqi¹, TIAN Siqun^{1,2,3}

(1. *College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 2. *The Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation of Shanghai Education Commission, Shanghai 201306, China*; 3. *Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*)

Abstract: The yield of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in Indian Ocean stayed near the maximum sustainable catch in recent years, and generally the status of its resources is at risk. Traditional fishery management methods are usually limited in considering the existence of errors (or uncertainties) in each section of fishery, which might have an enormous impact on the management. Fishery management strategy evaluation is a kind of systemic method which simulates the targeted fishery by computer simulation. MSE usually specify management objective firstly and then test and evaluate the performance of different management strategies to achieve that objective. MSE can increase possibilities of the success of fishery management and is being used more and more widely. We set up operation model according to the biological parameters and other fisheries data for MSE in this study. Then we evaluated different strategy evaluations by computer simulation and chose the optimal management strategy, so as to provide advice for the sustainable development of the yellowfin tuna resources in the Indian Ocean. We specified 25 management strategies and simulated the resources in 2010–2020 using MSE 4.0 software. According to MSE, the optimal management strategy for yellowfin tuna fishery is MS7, i. e., F is 0.2 and SSB is 600 000 mt.

Key words: Indian Ocean; yellowfin tuna; management strategy evaluation; computer simulation