

# 北太平洋中西部剑鱼(*Xiphias gladius*)管理策略评价

戴小杰<sup>1,2,3</sup>, 柳宇<sup>1</sup>, 夏萌<sup>1</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

**摘要:** 剑鱼(*Xiphias gladius*)属于大洋性中上层高度洄游性鱼种, 是远洋渔业重要的目标渔获物和兼捕种类, 具有较高经济价值。本文在北太平洋金枪鱼与类金枪鱼国际科学委员会(ISC)对剑鱼资源评估结果基础上, 使用 1951 年到 2018 年渔获量数据, 通过先验参数设置构造操作模型模拟北太平洋中西部剑鱼的种群动态和渔业动态, 通过不同管理策略捕捞规则计算对数据和参数要求筛选出 9 种备选管理策略(DD, DD4010, CC1, SBT1, GB\_slope, ICI, ICI2, SPmod, MCD)并对其管理效果进行量化分析, 并对短期和长期产量进行预测。通过对各先验参数时间序列分布及各管理策略的权衡, 使用 Kobe 图表达实施管理策略前后剑鱼资源状况的变化, 最终确定使用根据时间序列平均值和标准误差指数来调整渔获量的管理策略(ICI)为最佳的管理策略。对 9 种管理策略其中 4 种输出型管理策略(MCD, ICI, ICI2, SPmod)进行总可捕量(TAC)计算, 分别拟合中国台湾 CPUE 序列和日本 CPUE 序列, 最终得到 ICI 管理策略对未来 50 年 TAC 控制量在 10 404.48 t, 50%置信区间在 6 678.51~18 743.22 t。对最终所选择的 ICI 管理策略进行敏感性测试, 结果表明其对渔获量和丰度指数较为敏感。

**关键词:** 剑鱼; 管理策略评价; 管理策略权衡; 敏感性分析

中图分类号: S932.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2022)03-0111-11

DOI: 10.11759/hyhx20210416001

目前世界渔业资源总体呈下降趋势, 迫切需要对渔业资源进行养护与管理, 对渔业资源进行可持续发展利用, 已经成为全世界渔业发展共同关注的问题。现代渔业所面临的主要问题是过度捕捞、船队过度发展和生态环境的破坏等<sup>[1]</sup>。当前国际渔业管理措施主要分两类, 一种是对捕捞努力量的控制, 渔船数量的限制, 渔具的选择等投入方面的管理, 另一种是对总可捕量(total allowable catch, TAC)等输出量的控制<sup>[2]</sup>。制定管理措施要首先明确管理目标, 然后选择合适的备选管理策略, 对其管理效果进行评估, 最后根据权衡的结果选择对管理目标鱼种适合的管理措施<sup>[3-4]</sup>。渔业是一个复杂的系统, 其中包含自然和人文等因素, 因此在对渔业进行管理的过程中, 不同的管理措施得到的结果也大不相同, 尤其在数据缺乏的渔业中体现得更加明显<sup>[5]</sup>。数据不足是全球渔业普遍存在的问题, 以威胁到了渔业资源的可持续开发和管理, 数据缺乏主要因素是缺乏长期的资源调查、数据不连续、统计数据不完整等, 对于数据缺乏的渔业是无法使用复杂的模型进行评估与管理, 为了更好地对其进行渔业资源养护与管理, 对于有限数据的评估方法越来越需求, 数据有限方逐渐成为渔业

资源评估工具库的重要组成<sup>[6]</sup>。基于 R 的 DLMtool<sup>[7-8]</sup>软件包在数据缺乏的渔业管理及管理策略评价中得到了很好的实践, 软件包中提供了超过 100 种管理策略可选择, 管理策略有着很大的灵活性, 可以根据目标鱼种的种群动态和渔业动态进行相应的调整, 进而得到更科学, 更精确的评价结果, 为世界范围内的渔业管理提供了参考信息<sup>[9-10]</sup>, 在很多渔业, 如印度洋条纹四鳍旗鱼(*Tetrapturus audax*)、北大西洋长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)和北大西洋蓝鳍金枪鱼(*Thunnus maccoyii*)等种类的管理<sup>[11]</sup>中都得到应用。

剑鱼(*Xiphias gladius*)隶属鲈形目, 剑鱼亚目, 剑鱼科, 科中只有一个剑鱼属, 属中只有剑鱼一个鱼种<sup>[12]</sup>。剑鱼作为大洋性中上层高度洄游性鱼种, 广泛分布于世界三大洋的热带到温带海域, 剑鱼分别

收稿日期: 2021-04-16; 修回日期: 2021-06-08

基金项目: 农业农村部国家远洋渔业观察员项目(08-25)

[Foundation: Ministry of Agriculture and Affairs National Oceanic Fishery Observer Program, No. 08-25]

作者简介: 戴小杰(1966—), 男, 博士, 教授, 从事渔业资源研究、渔业生态学研究, E-mail: xjdai@shou.edu.cn; 夏萌(1990—), 通信作者, 男, 博士, 从事渔业资源研究、渔业管理研究, E-mail: mengxia.ocean@gmail.com

是金枪鱼延绳钓和浅层延绳钓的主要兼捕渔获物和目标渔获物<sup>[13]</sup>。随着近些年来剑鱼资源量的下降,中西太平洋渔业委员会(Western and Central Pacific Fisheries Commission, WCPFC)和北太平洋金枪鱼与类金枪鱼国际科学委员会(International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean, ISC)等区域渔业管理组织对剑鱼进行资源评估和研究并提出管理建议。参与渔业资源的养护和管理,有利于维护我国在太平洋渔业的国家利益<sup>[14]</sup>,本研究在基于ISC<sup>[15-16]</sup>对北太平洋中西部剑鱼资源评估结果的基础上,使用DLMtool构造操作模型,进行管理策略评价模拟测试,为北太平洋中西部剑鱼资源的管理选择适合的管理策略,旨在为剑鱼资源的可持续利用提供科学支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

渔获量数据选择由ISC提供的1951年—2018年渔获量数据(图1),丰度指数数据采用中国台湾、日本的标准化CPUE(catch per unit effort, CPUE)<sup>[15]</sup>。中国台湾CPUE数据为2000—2016年,日本CPUE数据为1975—2016年(图2)。

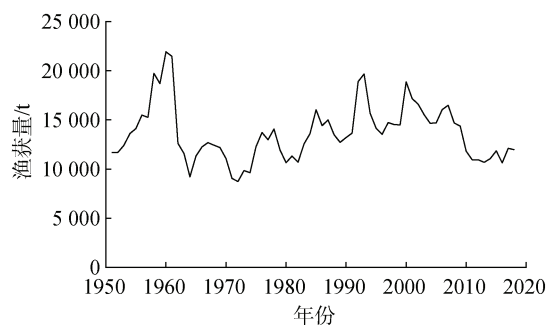


图1 1951—2018年间北太平洋中西部剑鱼总捕获量  
Fig. 1 Total catch for Western and Central North Pacific Ocean swordfish in the period of 1951–2018

### 1.2 操作模型

DLMtool是基于R语言的程序包,主要应用于对数据缺乏渔业提供帮助,选择合适的管理策略。操作模型作为管理策略评价最核心部分,操作模型为状态空间年龄结构模型,通过模拟渔业动态和种群动态产生年龄结构渔获量等模拟数据,以种群补充偏差的形式表达时间序列的选择性及过程误差,是一种模拟真实种群动态的模型<sup>[17]</sup>。

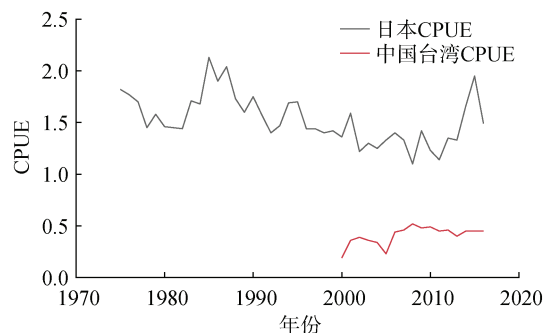


图2 中国台湾(2000—2015年)和日本(1976—2016年)的丰度指数数据

Fig. 2 Standardized catch per unit effort (CPUE) from Chinese Taipei (2000–2015) and Japan (1976–2016)

操作模型中选择Beverton-Holt型种群补充关系与正态自然对数补充量偏差函数。

$$N_{y,i=1,x} = \exp\left(P_{y,x} - \frac{\sigma_{proc}^2}{2}\right) \frac{0.8R_0hSsb_{y,x}}{0.2Ssb_{y,x}(1-h) + (h-0.2)Ssb_{y,x}}, \quad (1)$$

$$Ssb_{y,x} = \sum_{i=1}^{n_i} m_i W_i N_{y,i,x}, \quad (2)$$

式中,  $N_{y,i=1,x}$  为  $x$  区域在第  $y$  年的补充量,  $i$  为鱼的年龄,  $P_{y,x}$  为过程误差随机变量,  $R_0$  为最初平均补充量,  $Ssb_{y,x}$  为在区域  $x$  在第  $y$  年的亲体量,  $n_i$  为目标鱼种的最大年龄,  $m_i$  为  $i$  龄鱼的性成熟率。

构造渔业动态模拟首先需要对选择性进行定义,通过分别构造一个上升选择性曲线和下降选择性曲线进行分段定义。选择性的定义由最大选择性年龄  $m_z$  来决定。

$$A_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{z1}^2}} \exp\left(-\frac{(i-m_z)^2}{\sigma_{z1}^2}\right), \quad (3)$$

$$D_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{z2}^2}} \exp\left(-\frac{(i-m_z)^2}{\sigma_{z2}^2}\right), \quad (4)$$

$$w_i = \begin{cases} \frac{A_i}{\max(A_S)} & S \leq m_z \\ \frac{D_i}{\max(D_S)} & S \geq m_z \end{cases}, \quad (5)$$

$$E_y = \exp\left(\varphi_y - \frac{\sigma_{eff}^2}{2}\right) \times V_y, \quad (6)$$

$$P_{y,x} = \left(\sum_i w_i W_i N_{y,i,x}\right)^\lambda / \sum_x \left(\sum_i w_i W_i N_{y,i,x}\right)^\lambda, \quad (7)$$

式中,  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$  分别代表不同情况的标准差,  $E_y$  为捕捞

努力量与正态自然对数变化量的积,  $\lambda$ 为计算  $x$  区域在第  $y$  年的捕捞量系数。 $\lambda$ 等于 0 时, 渔业不被脆弱性资源影响, 在所有区域范围中均匀分布。 $\lambda$ 大于 0 时, 其分布倾向具有更多脆弱性资源的区域,  $\lambda$ 小于 0 时, 渔业分布偏向于较少脆弱性资源的区域。为了减少渔业分布对种群的影响, 更精确的选择合适的管理策略, 将 $\lambda$ 设置在-0.5 到 1 之间。

### 1.3 先验参数设置

操作模型参数设置主要分为种群动态参数和渔船动态参数, 种群动态参数主要包括极限年龄

(*Maxage*)、自然死亡率(*M*)、种群补充关系陡度(*h*)、极限体长(*L<sub>inf</sub>*)、50%性成熟体长(*L<sub>50</sub>*)、Von bertalanffy 生长参数(*K*)、种群衰退(*D*)等。渔船动态参数主要包括总年限(*Nyears*)、表现出完全脆弱性的最小体长(*L<sub>FS</sub>*)、表现出 5%脆弱性最小体长(*L<sub>5</sub>*)、最大个体脆弱性(*Vmaxlen*)、平均渔业捕捞率变化(*Qinc*)、年平均渔业捕捞效率变化(*Qvc*)、研究的最终年限(*Current yr*)等<sup>[16, 18-19]</sup>。通过参考相关剑鱼研究参数的值模拟最真实的种群动态, 达到模型输出最佳效果(表 1)。

表 1 种群动态和渔船动态的参数分布

Tab. 1 Parameter distributions of stock and fleet dynamics

种群动态参数		渔船动态参数	
极限年龄 <i>Maxage</i>	25	总年限 <i>Nyears</i>	68 年
自然死亡率 <i>M</i>	0.28~0.35	脆弱性最小体长 <i>L<sub>FS</sub></i>	200~250 cm
陡度 <i>h</i>	0.5~0.8	5%脆弱性 <i>L<sub>5</sub></i>	60~100 cm
极限体长 <i>L<sub>inf</sub></i>	260~323 cm	最大个体脆弱性 <i>Vmaxlen</i>	0.5~0.99
Von bertalanffy 生长参数 <i>K</i>	0.246~0.271	平均渔业捕捞率变化 <i>Qinc</i>	-0.5~0.5
种群衰退 <i>D</i>	0.57~1.22	年平均渔业捕捞效率 <i>Qvc</i>	0.05~0.1
50%性成熟体长 <i>L<sub>50</sub></i>	125~170 cm	最终年限 <i>Current yr</i>	2018 年

### 1.4 管理策略的权衡和 TAC 计算

本研究基于 ISC 对北太平洋中西部剑鱼资源评估的结果, 北太平洋中西部剑鱼资源现状及 ISC 和

WCPFC 对剑鱼的养护管理措施<sup>[20]</sup>。9 种管理措施进行初步测试(表 2)。通过模型收敛效果检验和 Kobe 图判断选择对剑鱼种群资源最适合的管理措施。

表 2 管理策略模型介绍

Tab. 2 Introduction to management strategy models

管理策略	使用的捕捞控制规则
DD (delay – difference stock assessment)	使用延迟差分模型
DD4010 (delay – difference stock assessment 4010)	使用 4010 捕捞规则计算总可捕量
CC1 (geromont and dutterworth constant catch)	总可捕量定义为历史渔获量最后 5 a 的平均值
SBT1 (SBT simple MP)	基于 $B_{MSY}/B_0$ 或 $MSY$ 递增调整总可捕量
GB_slope (geromont and butterworth index slope harvest control rule)	通过调整渔获量以获得稳定的渔获率
ICI (index confidence interval)	根据时间序列平均值和标准误差指数来调整渔获量
ICI2 (index confidence interval 2)	通过当前年份时间序列和标准误差指数调整渔获量
SPmod (surplus production based catch-limit modifier)	通过剩余产量的趋势对总可捕量进行调整
MCD (mean catch depletion)	使用平均渔获量损耗估计当前资源量消耗水平

通过对中国台湾 CPUE 序列和日本 CPUE 序列的拟合, 根据相对应的输出型管理策略, 对总可捕量(TAC)进行 50 a 预测, 通过拟合不同 CPUE 序列的结果对比判断所选管理措施对实施养护管理措施的效果及其影响。权衡管理策略对未来渔获量控制能力大小, 最后结合所有的结果选择最优管理策略。

## 2 结果

### 2.1 渔业动态模拟

本研究对种群动态参数和渔船动态参数分别进行的三次迭代计算, 红绿黑 3 种颜色分别代表着参数值高中低 3 种不同情况(图 3)。本研究假设所有参

数分布为均匀分布, 根据 ISC 对北太平洋中西部剑鱼资源评估结果及参数分布绘制了重要参数时间序列变化图(图 3, 图 4)。种群动态参数时间序列结果显示 3 次迭代计算结果是不同的, 但是 3 种结果均表

明种群符合 Beverton-Holt 补充关系型, 渔船动态参数时间序列分布假设基于年龄和体长的选择性与预测保持一致, 均呈现为渐近线形, 且捕捞死亡率呈逐年上升趋势。

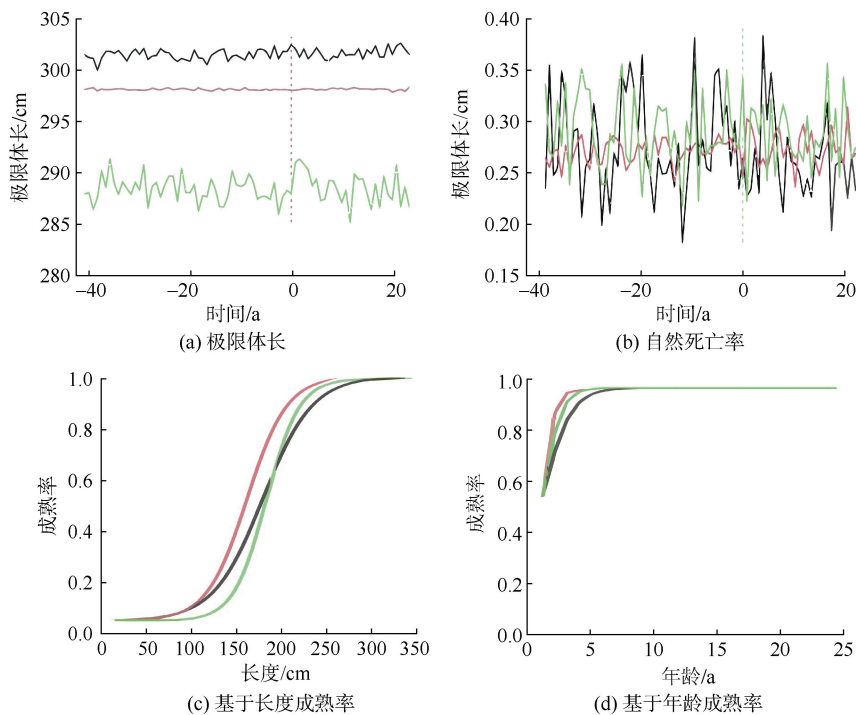


图 3 北太平洋中西部剑鱼种群动态参数时间序列分布

Fig. 3 Time-series distributions of stock dynamics for swordfish stock in the western and central areas of the North Pacific Ocean

注: 红、绿、黑 3 种颜色分别表示高、中、低 3 次迭代计算

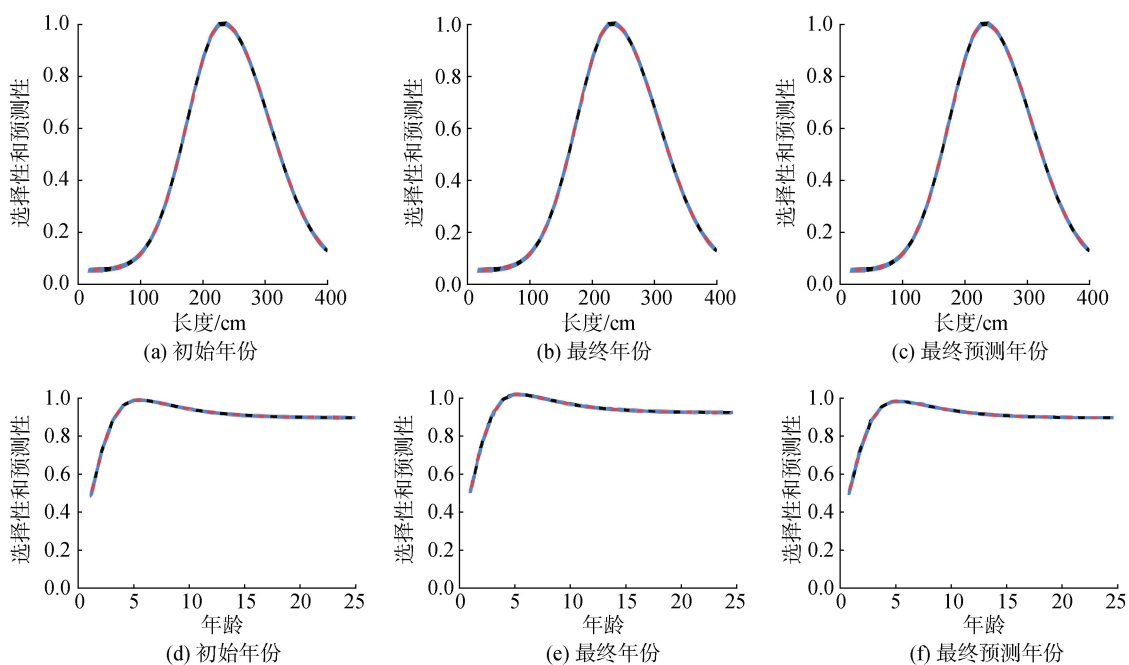


图 4 北太平洋中西部剑鱼渔船动态参数时间序列分布

Fig. 4 Time-series distributions of fleet dynamics for swordfish stock in the western and central areas of the North Pacific Ocean

假设脆弱性保持稳定, 不随时间变化而变化。通过对在种群补充关系中起关键作用的参数时间序列 ( $K$ 、 $D$ 、 $M$  等) 进行 3 次迭代计算, 共 48 次模拟, 由状态空间年龄结构评估模型得到产卵生物量, 自然种群初始补充量结果(图 5)。

管理策略选择前, 对其进行模型收敛性进行检测, 初步设定模拟次数为 48 次, 参考点为捕捞死亡

率与最大可持续产量捕捞死亡率之比大于 1; 生物量与最大可持续产量生物量之比小于 1 ( $F/F_{MSY} > 1$ ;  $B/B_{MSY} < 1$ ) 和生物量与最大可持续产量生物量之比小于 0.5 ( $B/B_{MSY} < 0.5$ ), 所选择的 9 种管理策略均在 40 次左右完成收敛(图 6), 只有在收敛稳定的前提下, 获得的结果才是稳定有效的。因此 48 次模拟次数满足该模型对管理策略选择的需要。

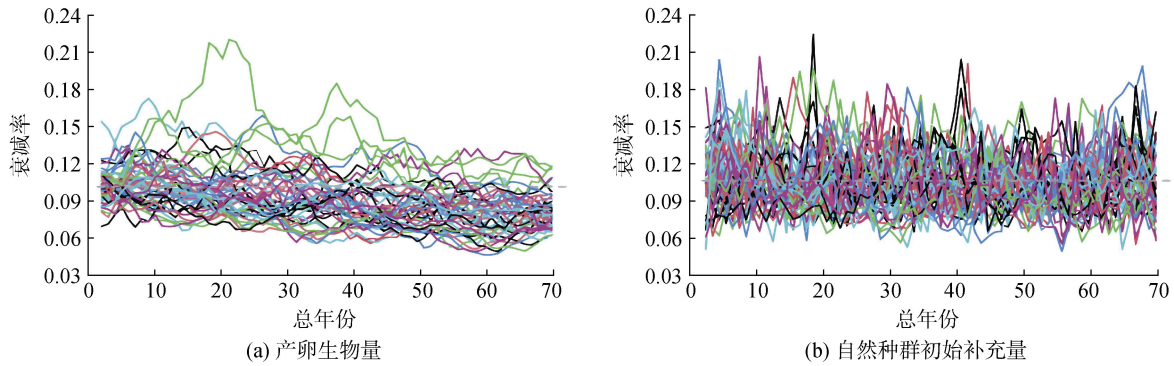


图 5 操作模型中时间序列种群动态的参数变化趋势  
Fig. 5 Time-series stock dynamics and trend in model

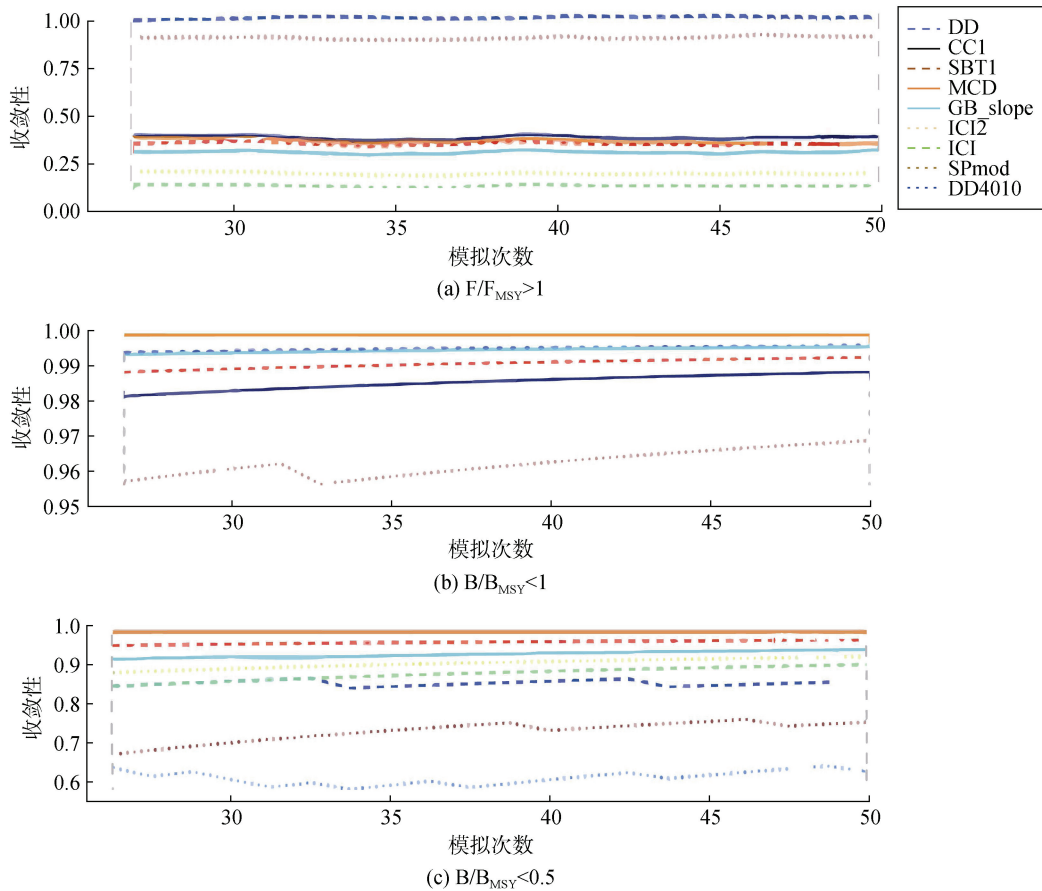


图 6 不同管理策略收敛性检测结果  
Fig. 6 Management strategy convergence analysis results

## 2.2 管理策略模拟测试

根据 DLMtool 程序包通过对各先验参数(表 1) 及其渔获量数据、丰度指数数据输入筛选适合剑鱼的管理策略, 所选择的 9 种 MP 的捕捞控制规则计算要求(表 2)符合本研究数据, 在对所选 9 种管理策略对剑鱼资源未来 50 年份管理策略模拟的结果表明(表 3), 其中 9 种模型所对应的  $F/F_{MSY}$  结果表明 ICI、

MCD、SBT1 和 ICI2 四种管理措施效果较好, 其中 ICI 和 ICI2 效果最佳, POF(过度捕捞概率)最低仅为 0.3%, 模型相对应的  $B/B_{MSY}$  则仅有 SPmod(52.2%)、DD(47.5%)、DD4010(41.4%)三种管理策略结果较差, 其 3 种管理策略对应的过度捕捞概率分别为 46.4%、31.3%和 25.8%, 使用该管理策略有很大概率造成剑鱼资源的过度捕捞。

表 3 9 种管理策略对种群状况影响预测的模拟情况

Tab. 3 Simulations of the impact of the nine management strategies on the stock.

管理策略	捕捞死亡率与最大可持续产量捕捞死亡率之比( $F/F_{MSY}$ )		生物量与最大可持续产量生物量之比( $B/B_{MSY}$ )	
	POF/%	$F_{MSY}$ yield/%	$B_{MSY}$ /%	$0.5B_{MSY}$ /%
SPmod	46.4	74.3	52.2	24.9
CC1	9.3	41.7	9.6	6.8
GB_slope	3.2	20.7	5.1	3
ICI2	0	10.7	0.3	0
DD	31.3	86.4	47.5	15.8
DD4010	25.8	92.8	41.4	9.7
SBT1	5	24.8	7.8	3.6
ICI	0	5.5	0.3	0
MCD	0.7	41.7	4.4	0.2

注:  $F/F_{MSY}$ , 捕捞死亡率与最大可持续产量捕捞死亡率之比;  $B/B_{MSY}$ , 生物量与最大可持续产量生物量之比; POF, 过度捕捞概率;  $F_{MSY}$  yield, 产量水平

对比管理策略实施前后剑鱼资源的差异, 以科比图的形式展现管理策略对种群动态及渔业动态的影响(图 7), 蓝色圆点表示使用管理措施前的状态, 红色

圆点表示使用管理措施 50 年份后的资源状态。对比发现管理效果最好的为 MCD、ICI 和 ICI2 三种管理策略, 最后资源状态落在健康位置的概率为 100%。

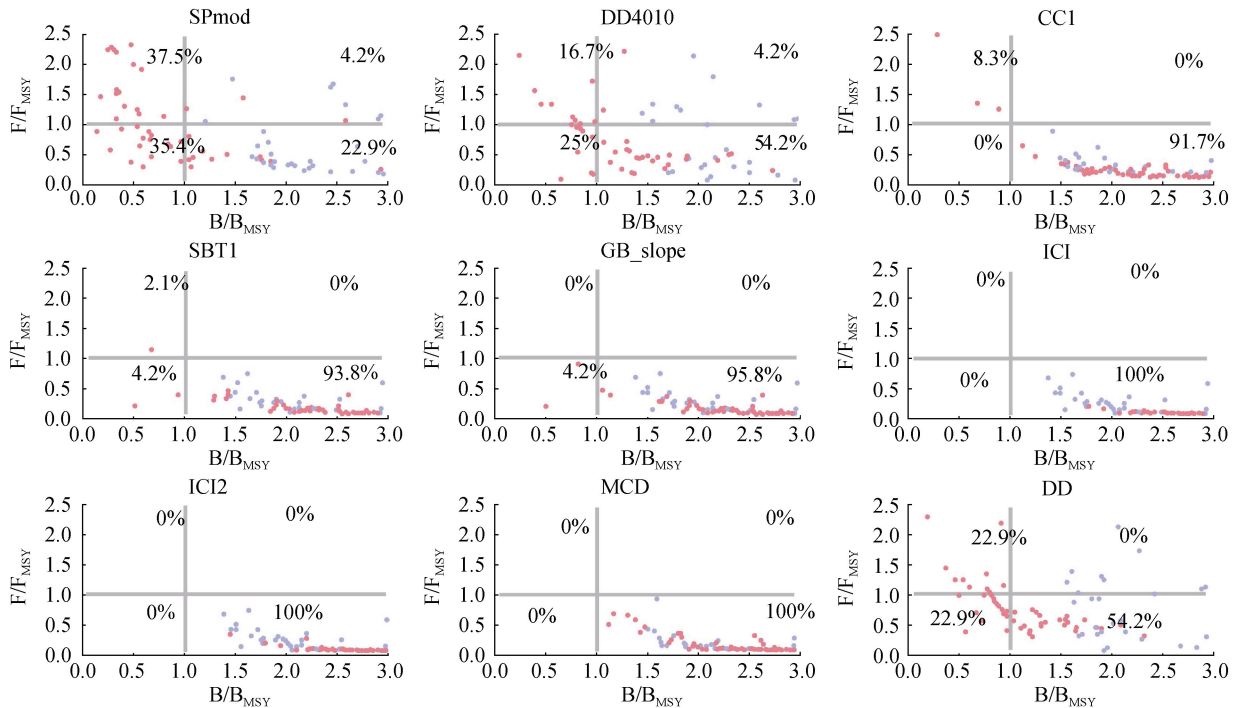


图 7 9 种管理策略实施前后种群状态变化科比图

Fig. 7 Kobe plots of management strategy

### 2.3 管理策略的权衡

通常将短期预测与长期预测结果综合考虑, 对管理效果进行分析和权衡。因此, 本研究对所选 9 种管理策略进行了 120 年份的长期预测(图 8), 左图横纵坐标分别表示为不被过度捕捞概率和预测的长期渔获量, 右图横纵坐标分别表示为资源量高于 0.5  $B_{MSY}$  的概率和年平均渔获量变化小于 15% 的概率。

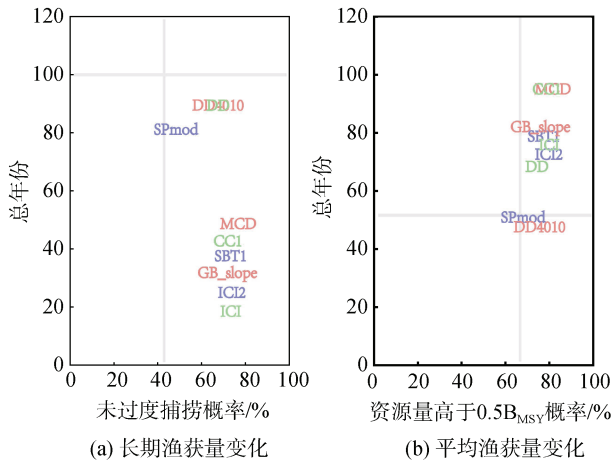


图 8 长期预测(120 年)的管理策略权衡图

Fig. 8 Trade-off plots under long-term projection

MCD、ICI 和 ICI2 在左图中表现为未发生过度捕捞概率最大, 但长期渔获量偏低, 在右图表现为年平均渔获量变化小于 15% 的概率偏大, 我们对于管理策略筛选的原则定义是, 长期产量高的同时尽可能降低发生过度捕捞概率, 渔获量年变化小的同时保证资源量在 0.5  $B_{MSY}$  上, 其中 DD、DD4010、ICI、ICI2、MCD 五种管理策略落入我们定义的范围。

### 2.4 总可捕量(TAC)计算

为了量化渔业管理意见, 提供输出控制管理建议, 分别通过拟合中国台湾 CPUE 序列和日本 CPUE 序列对 TAC 进行计算, 得到了 MCD、ICI2、SPmod、ICI 四种输出控制管理策略的 TAC 结果(图 9)。通过对比不同 CPUE 得到的 TAC 结果表明 ICI 的 TAC 结果最小(表 4, 表 5), 也就是说这 ICI 管理策略对渔获量具有更加严格的控制, 综合 ISC 对剑鱼资源现状评估结果以及上述管理策略模型分析的结果, 通过调整参考点, 使用不同的捕捞控制规格, 本研究最终认为 ICI 是对北太平洋中西部剑鱼资源最佳的管理策略, TAC 建议为 10 404.48 (6 678.51~18 743.22) t。

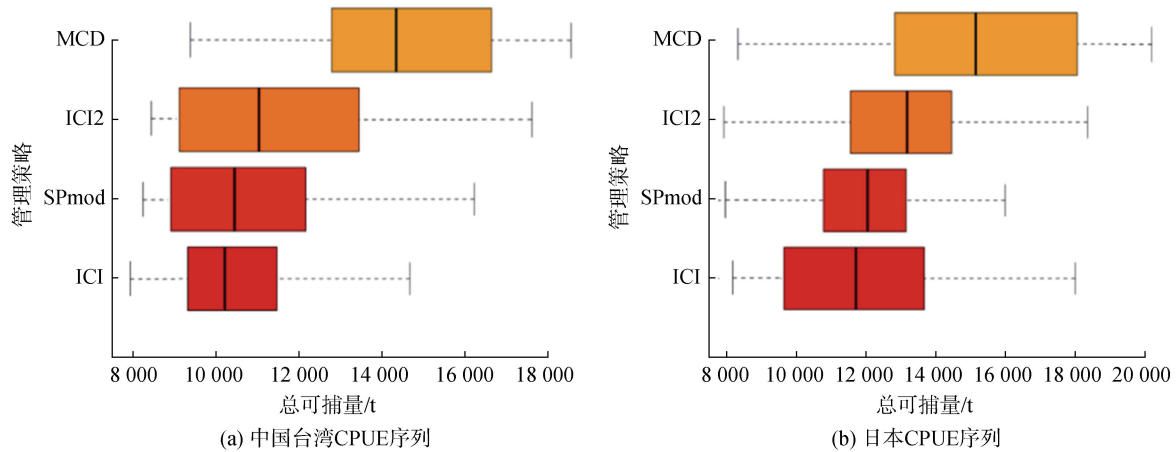


图 9 拟合中国台湾 CPUE 序列和日本 CPUE 序列得到的结果

Fig. 9 TAC results using Chinese Taipei CPUE and Japanese CPUE

表 4 使用中国台湾 CPUE 序列得出的 TAC(单位: t)  
Tab. 4 TAC results using Chinese Taipei CPUE (Unit: t)

管理策略	均值	50%置信区间	
MCD	16 453.21	9 096.52	22 421.21
ICI2	11 345.33	7 989.67	19 342.38
SPmod	10 873.62	7 564.88	17 865.79
ICI	9 876.47	6 678.51	15 738.11

表 5 使用日本 CPUE 序列得出的 TAC(单位: t)  
Tab. 5 TAC results using Japanese CPUE (Unit: t)

管理策略	均值	50%置信区间	
MCD	15 642.36	7 654.74	21 563.23
ICI2	13 145.28	7 324.12	18 973.54
SPmod	11 189.68	7 468.96	16 187.53
ICI	10 926.48	7 586.58	18 743.22

### 3 讨论

本研究选择了 9 种管理策略作为备选管理策略, 通过管理策略评价模拟测试, 对备选管理策略的管理效果进行量化评价, 结果显示最佳的管理策略为管理策略 ICI, 在实施该管理策略的情况下, 每年的生物量都高于参考值  $B_{MSY}$ , 且平均年捕捞死亡率低于参考值  $F_{MSY}$ , 根据 ISC 的统计, 该种群 1975—1999 年期间平均渔获量为 12 933 t, 2000—2009 年间渔获量增加至 14 343 t, 自 2010 年以来平均渔获量下降至 10 498 t, 按照渔具和渔船对捕捞量进行分类, 平均年捕捞量为 13 642 t, 其中日本和中国台湾的渔获量有所下降, 美国和其他国家的渔获量相对增加, 目前该种群生物量相对稳定其产卵生物量为 29 404 t<sup>[15]</sup>。管理策略模型 ICI 的 TAC 计算均值为 10 404.48 (6 678.51~18 743.22) t 在平均捕捞量之下, 因此认为 ICI 管理策略的模拟实施在未来剑鱼资源开发的过程中会将资源控制在健康的状态。为防止出现过度捕捞对资源造成破坏, 在剑鱼渔业的模拟中考虑到了很多种不确定因素, 例如自然死亡率、极限长度、环境承载力等的不确定性, 这些数值来源于 ISC 报

告, 对于不确定的参数及其置信区间的设置还需要进一步的评价与研究。

#### 3.1 敏感性分析

本研究对最终选择的管理策略 ICI 进行敏感性分析(图 10), 在该管理策略中使用 Cat(渔获量)和 Ind(丰度指数)两个参数, 敏感性分析的结果表明, 渔获量参数的变化对产量结果影响较大, 随着渔获量的增加产量也随着增加, 呈现正相关关系且增长 2~3 倍。丰度指数则相对平缓, 对产量影响较小。敏感性分析表明 ICI 是对渔获量较为敏感的管理策略, 因此在使用 ICI 的过程中需要注意渔获量数据的准确性。但是, 敏感性测试是单因素变化的, 然而实际中各种不确定性是交叉混杂在一起的, 因此单因子变化的敏感性测试得到的结果很可能不能反映真实的情况<sup>[21]</sup>。大部分评估模型都是基于渔获量数据的, 渔获量数据会定期更新, 但是在使用的时候仍会有风险<sup>[14]</sup>, ISC 近些年来对北太平洋中西部剑鱼资源的评估均显示资源状况处于健康状态, ICI 管理策略对于该地区的剑鱼资源管理相对更为适合。

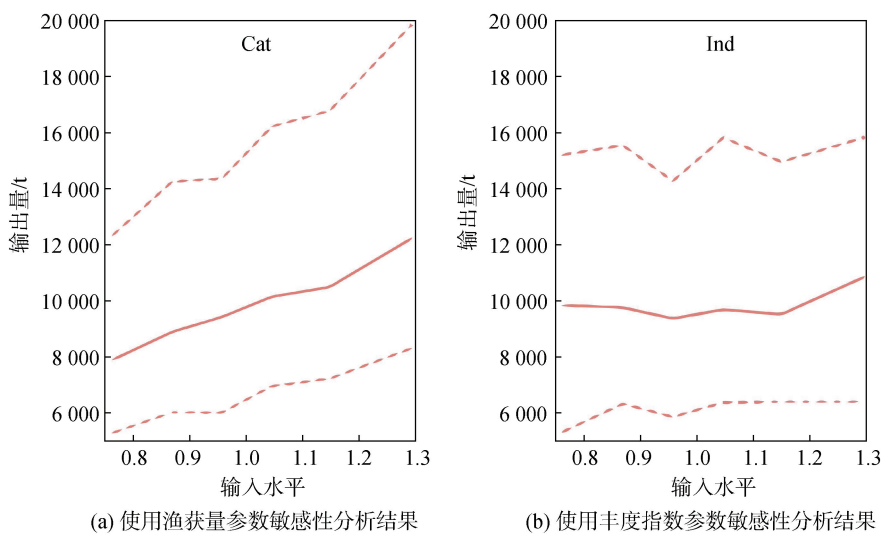


图 10 对管理策略 ICI 的敏感性测试结果

Fig. 10 Sensitivity analysis result of ICI

#### 3.2 渔业管理中的不确定性

渔业管理中受到实际操作和生物学等方面的影响易产生不确定性<sup>[22-24]</sup>。本研究构造的操作模型成功的关键取决于模型中不确定性因素程度大小是否能被正确地表达, 管理策略评价模拟测试的运行中会尽可能全面地考虑不确定因素, 进而使

得实施管理措施后能够降低新得到信息的不确定性。但从实际出发, 没有任何模型能够全面地考虑到所有关联的不确定性因素, 因此为了提高结果的可信度和精确性, 尽可能地选出最相关最能反映假设的因素去考虑。模型不确定性是整个不确定因素中最关键的组成部分, 其主要包括: 亲体补



充关系服从 Beverton-Holt 关系还是 Richer 关系; 模型参数是可变值还是固定值; 选择性曲线是渐近线型还是拱型; 在所选海域共有多少种群; 数据结构是否正确; 环境气候对生物学方面的影响等不确定性因素。Kraak 等<sup>[22]</sup>认为模型中的不确定性来源是随机的, 并且所选择的不确定性并不一定能够完全反映其主要来源, 降低模型的不确定方法通常是将固定的效益关系转变为可以自由组合的效益关系。

在考虑不确定因素的影响下, 本研究的假设和模型基本能满足数据缺乏条件下剑鱼管理策略模型的研究, 值得注意的是, 种群状态脆弱性关系的假设是否造成了世代差异的不确定性, 对种群补充关系所带来影响的环境因素, 会导致剑鱼资源量评估的误差, 所使用的渔获量数据能不能全面地反映剑鱼种群结构, 因此在今后的相关研究中应充分考虑种群补充关系因素, 并且采用多种调查方式获取更加全面的数据用来反映种群结构。Kokkalis 等<sup>[23]</sup>和 Carruthers 等<sup>[8]</sup>研究分别表明, 对有限数据的充分利用能够大大降低种群状态评估的不确定性和采用多种不同类型的数据结构去实施的管理策略模型的管理效果会好于充足数据构建的模型。

## 4 结论

本文研究为剑鱼资源的可持续开发利用和科学管理提供了参考建议, 使用基于 R 语言开放的 DLMtool 软件包进行管理策略评价的模拟测试, 权衡了备选管理策略的管理效果, 预估当前及未来剑鱼资源可持续开发需要控制的总可捕量(TAC), ICI 管理策略在不影响渔业资源的情况下, 一定程度地限制了未来的总可捕量。尽管 ISC 评估报告表明北太平洋中西部海域剑鱼资源量处于健康状态且未被过度捕捞, 但对于捕捞剑鱼的经济诱导因素等不断增加可能导致剑鱼种群的捕捞努力量大大增加, 进而导致出现过度捕捞状况以及渔业资源的不可持续, 因此, 本研究在资源评估结果的基础上为剑鱼未来资源的可持续利用和剑鱼的养护管理选择了相对最优管理策略, 即管理策略 ICI。本研究建议在今后对北太平洋中西部海域剑鱼的评估中应进一步考虑渔业独立数据、非渔业独立数据和环境数据等的不确定性。在未来的渔业资源管理中, 采用更加全面的管理策略评价体系, 为北太平洋中西部剑鱼的资源养护与管理提供有价值的科学依据。

## 参考文献:

- [1] 王从军. 东黄海鲈鱼贝叶斯生物经济模型及管理策略评价[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.  
WANG Congjun. Bayesian Bio-economic Model and management strategy evaluation of Chub. mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and Yellow Sea[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014.
- [2] ZHANG C I, KIM S, GUNDERSON D, et al. An ecosystem-based fisheries assessment approach for Korean fisheries[J]. *Fisheries Research*, 2009, 100(1): 26-41.
- [3] SAILA S B. Quantitative fisheries stock assessment: choice dynamics and uncertainty[J]. *BioScience*, 1993, 43(1): 57-59.
- [4] PUNT A E. The FAO precautionary approach after almost 10 years: have we progressed towards implementing simulation - tested feedback - control management systems for fisheries management?[J]. *Natural Resource Modeling*, 2006, 19(4): 441-464.
- [5] 李志, 王家启, 田思泉. 印度洋黄鳍金枪鱼渔业管理策略评价的初步研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2016, 25(2): 255-262.  
LI Zhi, WANG Jiaqi, TIAN Siqian. Management strategy evaluation for yellowfin tuna fishery. in Indian Ocean[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016, 25(2): 255-262.
- [6] NEWMAN D, CARRUTHERS T, MACCALL A, et al. Improving the science and management of data-limited fisheries: an evaluation of current methods and recommended approaches[R]. New York: The Natural Resources Defense Council, 2014.
- [7] CARRUTHERS T R, HORDYK A R. Data - Limited Methods Toolkit[R]. *Methods in Ecology and Evolution*, 2018.
- [8] CARRUTHERS T R, HORDYK A R. The Data - Limited Methods Toolkit (DLM tool): An R package for informing management of data - limited populations[J]. *Methods in Ecology and Evolution*, 2018, 9(12): 2388-2395.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 夏萌. 印度洋条纹四鳍旗鱼(*Tetrapturus audax*)资源评估与管理策略评价[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.  
XIA Meng. Stock assessment and management strategy evaluation of Striped Marlin (*Tetrapturus audax*) in the Indian Ocean[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.

- sity, 2020.
- [12] 赵荣兴, 缪圣赐. 世界剑鱼类的基本概况[J]. 渔业信息与战略, 2006(11): 13-16.  
ZHAO Rongxing, MIAO Shengci. Outline of swordfishes in the world[J]. Modern Fisheries Information, 2006(11): 13-16.
- [13] 戴小杰, 姜润林, 许柳雄, 等. 热带中东大西洋海域剑鱼种群特征初步研究[J]. 海洋湖沼通报, 2010(3): 17-23.  
DAI Xiaojie, JIANG Runlin, XU Liuxiong, et al. Preliminary study on swordfish population characteristics in the Tropical Eastern Central Atlantic Ocean[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2010(3): 17-23.
- [14] 李伟文. 太平洋大青鲨种群结构及其管理策略评价研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.  
LI Weiwen. Population structure and management strategy evaluation of blue shark (*Prionace glauca*) in the Pacific Ocean[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [15] ISC Billfish Working Group. Stock assessment for swordfish (*Xiphias gladius*) in the Western and Central North Pacific Ocean through 2016[R]. Yeosu, Republic of Korea, 2018.
- [16] ISC Billfish Working Group. Report of the billfish working group workshop[R]. Honolulu, Hawaii, USA, 2019.
- [17] PUNT A E, CAMPBELL R A, SMITH A D. Evaluating empirical indicators and reference points for fisheries management: application to the broadbill swordfish fishery off eastern Australia[J]. Marine and Freshwater Research, 2001 52(6): 819-832.
- [18] EVANS K, ABASCAL F, KOLODY D, et al. The horizontal and vertical dynamics of swordfish in the South Pacific Ocean[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2014, 450: 55-67.
- [19] 刘尊雷, 袁兴伟, 杨林林, 等. 有限数据渔业种群资源评估与管理——以小黄鱼为例[J]. 中国水产科学, 2019, 26(4): 621-635.  
LIU Zunlei, YUAN Xingwei, YANG Linlin, et al. Stock assessment and management strategies for small yellow croaker in the East China Sea based on data-limited assessment models. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(4): 621-635.
- [20] WCPFC. Conservation and management measures (CMMs) and resolutions of the Western and Central Pacific Fisheries Commission[R]. Pohnpei, Federated States of Micronesia, 2021.
- [21] PORCH C E, EKLUND A M, SCOTT G P. A catch-free stock assessment model with application to goliath grouper (*Epinephelus itajara*) off southern Florida[J]. Fishery Bulletin, 2006, 104(1): 89-101.
- [22] KRAAK S B, KELLY C J, CODLING E A, et al. On scientists' discomfort in fisheries advisory science: the example of simulation - based fisheries management - strategy evaluations[J]. Fish and Fisheries, 2010, 11(2): 119-132.
- [23] KOKKALIS A, THYGESEN U H, NIELSEN A, et al. Limits to the reliability of size-based fishing status estimation for data-poor stocks[J]. Fisheries Research, 2015, 171: 4-11.
- [24] CARRUTHERS T R, KELL L T, BUTTERWORTH D D, et al. Performance review of simple management procedures[J]. ICES Journal of Marine Science, 2016, 73(2): 464-482.

# Management strategy evaluation of swordfish (*Xiphias gladius*) in the Western and Central North Pacific Ocean

DAI Xiao-jie<sup>1, 2, 3</sup>, LIU Yu<sup>1</sup>, XIA Meng<sup>1</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 3. Ministry of Education, Scientific Observing and Experimental Station of Ocean Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai 201306, China)

**Received:** Apr. 16, 2021

**Key words:** swordfish; management strategy evaluation; management strategy trade-off; sensitivity analysis

**Abstract:** As an eminently migratory fish species, swordfish (*Xiphias gladius*) is an important division of the Western and Central North Pacific Ocean fish stock that constitutes high economic value. Based on the stock assessment result of the International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean (ISC) with catch data from 1952 to 2018, operating models were created in which stock dynamics of swordfish in the Western and Central North Pacific Ocean were defined by setting a prior parameter. Nine alternative management procedures, Delay – Difference Stock Assessment (DD), Delay – Difference Stock Assessment 4010(DD4010), Geromont and Butterworth Constant Catch (CC1), SBT simple MP (SBT1), Geromont and Butterworth index slope Harvest Control Rule (GB\_slope), Index Confidence Interval (ICI), Index Confidence Interval 2 (ICI2), Surplus production based catch-limit modifier (SPmod), and Mean Catch Depletion (MCD) were chosen to be tested in our simulation circulation with 48 simulations of 50 years yield projection. Through the priors of the time series and trade-offs on management procedures, the impact on stock status with the implementation of management procedures was intuitively represented by generating Kobe plots, and ICI was concluded as the best management strategy. Following this, total allowable catch (TAC) calculation was carried out using two time series abundance index data from Chinese Taipei and Japan. TAC results were calculated under the implementation of 4 output-control management procedures (MCD, ICI, ICI2, and SPmod). TAC results of ICI were established as 10 404.48 (6 678.51~18 743.22) with a 50% confidence interval. Subsequently, sensitivity analysis on each parameter within ICI was conducted, wherein the results demonstrated that it is sensitive to both catch and abundance index data.

(本文编辑: 赵卫红)