

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16384

运用数据缺乏方法估算印度洋大青鲨可持续渔获量

耿喆¹, 朱江峰^{1,2}, 夏萌¹, 马璐璐¹

1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306;

2. 农业部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306

摘要: 运用数据缺乏方法, 即基于资源衰减的可持续渔获量估算模型(DCAC), 结合 Monte Carol 模拟, 对印度洋大青鲨(*Prionace glauca*)的可持续渔获量进行估计。结果表明, 若大青鲨资源衰减比率(Δ)为正值, 当自然死亡系数 M 增大或最大可持续产量对应的捕捞死亡率(F_{MSY})与 M 的比值 c 增大时, 可持续渔获量估算值(Y_{sust})增大; 若 Δ 接近零甚至为负值, 当 M 或 c 增大时, Y_{sust} 呈减小趋势。资源丰度指数的选择对 DCAC 结果有较大影响, 基于日本延绳钓渔业 1998—2014 年和 2001—2014 年两个时间序列的丰度指数得到的 Y_{sust} 结果可靠, 且与其他模型估算的 MSY 值接近。2014 年印度洋大青鲨的年渔获量正好处在或略高于最大可持续产量(MSY)水平, 但该结果仍具有一定的不确定性。本研究表明运用 DCAC 方法估算印度洋大青鲨可持续渔获量是可行的, 但对其他鲨鱼种类的适用性仍需进一步研究, 该结果可为数据缺乏方法在大洋和中国近海渔业中的应用提供参考。

关键词: 大青鲨; 数据缺乏方法; 资源评估; 印度洋

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)05-1099-08

大青鲨(*Prionace glauca*)隶属于真鲨目(Carcharhiniformes), 真鲨科(Carcharhinidae), 青鲨属, 为 3 种最为丰富的大洋性鲨鱼之一, 在印度洋、太平洋和大西洋的热带及温带($60^{\circ}\text{N} \sim 50^{\circ}\text{S}$)海域均有分布^[1-3]。大青鲨是大洋性延绳钓渔业最常见的兼捕对象, 在部分国家也是手钓和刺网渔业的捕捞对象^[4-5]。因生长缓慢、性成熟较晚的特点, 大青鲨被国际自然保护联盟在世界范围内定义为易危物种^[6]。

与大多数大洋性鲨鱼种类的情况类似, 由于缺乏渔获体长组成、年龄结构、资源丰度指数等重要渔业数据, 运用传统资源评估方法研究大青鲨资源存在较大不确定性。Baum 等^[7]和高春霞等^[8]分别对西北大西洋和北大西洋大青鲨种群生活史展开过讨论, Clarke 等^[9]运用全球贸易数据对世界范围的大青鲨资源状况进行过粗略评估, Kleiber 等^[10]曾尝试通过剩余产量模型和年龄结构模型

对北太平洋大青鲨资源进行分析。作为金枪鱼渔业兼捕种类, 大青鲨是几大金枪鱼区域性渔业管理组织的管辖鱼种。大西洋金枪鱼养护国际委员会(ICCAT)、中西太平洋渔业委员会(WCPFC)和印度洋金枪鱼委员会(IOTC)分别对大西洋^[11]、北太平洋^[12]和印度洋^[13]大青鲨资源状况进行过初步的探究, 这些研究均采用资源丰度指数或体长组成作为主要数据。

由于渔业数据质量问题不可能在短期内解决, 近年来, 国外研究者不断致力于开发数据缺乏条件下的资源评估方法(data poor approach, 简称“数据缺乏方法”)^[14], 这也成为渔业资源评估领域公认的重要研究方向^[15-16]。2013 年在波士顿举办的世界渔业资源评估方法大会将“数据缺乏方法”列为四大主题之一。基于资源衰减的可持续渔获量估算模型(depletion-corrected average catch, DCAC), 因仅需要基础生物学和渔获量数据, 有

收稿日期: 2016-12-27; 修订日期: 2017-02-19.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41676120).

作者简介: 耿喆(1993-), 男, 硕士研究生, 从事渔业资源评估、渔业生态学研究. E-mail: gengzhe1993@sohu.com

通信作者: 朱江峰, 副教授. E-mail: jfzhu@shou.edu.cn

着广泛的应用前景^[17]。Dick 等^[18]和 Newman 等^[19]已分别证明该模型适用于北太平洋的 24 种近海鱼类和美国西海岸的 90 种底栖鱼类, Cortes^[20]在全美渔业大会上也建议使用该模型对大西洋鲨鱼进行评估。在国内, 渔获量也是中国近海渔业资源的主要统计数据, 因此这类方法对近海渔业资源评估也有很大的应用价值, 但有关这类方法的研究和应用还未见报道。

在印度洋, IOTC 科学委员会已将数据缺乏方法列为鲨鱼资源状态分析、制定管理建议的重要研究方向进行优先开发和运用, 从而与传统资源评估模型相结合, 对印度洋大青鲨资源进行全面的评价^[21-22]。本研究以印度洋大青鲨的年捕捞量为基本渔业统计数据, 运用 DCAC 方法, 结合 Monte Carol 模拟, 估算大青鲨的可持续渔获量及其概率分布, 并与目前的实际渔获量作比较, 判断资源开发状态, 为大青鲨资源可持续利用提供参考。

1 材料与方法

DCAC 方法是由 Gulland 潜在产量模型^[23]演变而来, MacCall 修改了原模型中 $B_{MSY}/B_0=0.5$, $F_{MSY}/M=1$ 的假设^[24], 式中 B_{MSY} 为最大可持续产量时对应的资源量, B_0 为原始资源量, F_{MSY} 为最大可持续产量对应的捕捞死亡系数, M 为自然死亡系数。DCAC 通过控制以上两个变量, 使不同种群在评估时有更合理的生物学解释。有关 DCAC 方法的理论基础和详细推导过程, 可参见 MacCall^[24]的研究。

1.1 数据来源

鲨鱼是印度洋海域金枪鱼渔业重要的兼捕渔获物, 其渔获量可占金枪鱼延绳钓渔业总渔获量的 20%~40%, 在剑鱼延绳钓渔业中可占 40%~60%^[21], 而大青鲨又是鲨鱼渔获中所占比例最高的^[22]。本研究所采用的印度洋大青鲨年渔获量数据来自 IOTC 秘书处, 时间跨度为 1990—2014 年(最新统计数据)。除渔获量数据外, 为提高资源评估精度, 依据 IOTC 秘书处提供的标准化 CPUE 估算资源衰减比率。用于估算自然死亡系数 M 的生长参数 k , 则使用 Rabehagasoa 的研究结果($k=$

0.161)^[25]。

1.2 自然死亡系数估算

运用 DCAC 方法所需的重要生物学参数是自然死亡系数 M , 一般难以进行直接计算。估算 M 的常用经验方法有 Pauly^[26]、Hoenig^[27]和 Jensen^[28]研究得出的经验公式。以往研究表明, Hoenig 公式在估算软骨鱼类自然死亡系数时(式 1), 标准误差 $\sigma(\ln M)$ 最小且仅为 0.05^[24], 在其他相关研究中该方法估算结果也被认为与真实值最接近^[29-30]。故本研究选择式 1 对印度洋大青鲨 M 进行估算, 式 1 中所需的种群最大寿命(t_{max})通过 Rice 等^[31]的方法获得(式 2)。

$$\ln(M)=1.46-1.01\ln(t_{max}) \quad (1)$$

$$t_{max}=5(\ln 2)/k \quad (2)$$

根据 Rabehagasoa 等^[25]的研究, k 为 0.161, 经计算得 $M=0.193/a$ 。国外以往的大青鲨资源研究中, 常根据经验假设 M 为 $0.2/a$ ^[32], 这也与本研究估算结果接近。

1.3 评估方法

1.3.1 评估模型 运用 DCAC 模型分析资源开发状况, 除年渔获量数据外, 还需对以下 3 个参数设定初始值和标准误差: 资源衰减比率(Δ)、 M 以及 F_{MSY} 与 M 的比值(c), 再使用 Monte Carol 模拟估算可持续渔获量的概率分布, 具体公式如下:

Δ 由首年资源量(B_{FYR})、末年资源量(B_{LYR})和 B_0 计算得到, 也可用资源丰度指数(标准化 CPUE)代替资源量进行计算:

$$\Delta = \frac{B_{FYR} - B_{LYR}}{B_0} \quad (3)$$

潜在渔获量(Y_{pot})通过 Restrepo 等^[33]修改后的 Gulland^[23]潜在产量公式计算:

$$Y_{pot}=0.4MB_0 \quad (4)$$

可持续渔获量(Y_{sust})计算公式如下:

$$Y_{sust} = \frac{\sum C}{n + \Delta B_0 / Y_{pot}} = \frac{\sum C}{n + \frac{\Delta}{0.4 CM}} \quad (5)$$

式中, $\sum C$ 为渔获总量, n 为时间跨度。

根据 Restrepo 等^[33]和 Walters 等^[34]的研究, c 值大小常常与渔业开捕年龄和性成熟年龄有关, 对未成熟个体, 捕捞强度越大, c 值越小, 范围为 0.4~1.0。根据种群特性, 软骨鱼类的 c 值通常设

为 0.6。

1.3.2 参数设定 本研究依据不同国家和地区(葡萄牙、西班牙、日本^[35]以及中国台湾省^[36])延绳钓船队捕获大青鲨的标准化 CPUE, 对 Δ 和对应的标准误 $\sigma(\Delta)$ 进行设定。为比较时间序列长度对 DCAC 评估结果的影响, 以时间跨度最长的日本标准化 CPUE 数据为基础, 将其划分为 1992—2014 年、1998—2014 年和 2001—2014 年 3 个不同阶段, 对应的资源衰减比率和标准误见表 1。

1.3.3 敏感性分析 为了评价重要参数的不确定性(误差)对结果的影响, 对 DCAC 进行敏感性分析。考虑葡萄牙(2000—2014)、西班牙(2000—2014)和日本(2001—2014) 3 组 CPUE 对应的 Δ 和 $\sigma(\Delta)$, 并设置 M 和 c 的 7 组不同水平(表 2), 从而建立 3×7 共 21 个 DCAC 分析组合(表 3)。

1.3.4 资源现状与管理参考点 本研究以表 1 中 6 组 CPUE 所反映的资源衰减比率 Δ 和相应标准差 $\sigma(\Delta)$ 为基础, 根据印度洋大青鲨种群特性, 设定 c 及相应方差 $\sigma(c)$ 分别为 0.6 和 0.2, 再通过 Monte Carol 模拟估算对应条件下可持续渔获量 Y_{sust} 的概率分布。模拟时, 假设 M 服从对数正态分布, c 和 Δ 服从正态分布。将模拟得到的可持续渔获量分布与当前实际渔获量进行对比, 判断当前渔获量的可持续性。

表 1 根据不同 CPUE 设定的资源衰减比率 Δ 和对应的标准误 $\sigma(\Delta)$

Tab. 1 Specification of reduction in biomass Δ and standard error $\sigma(\Delta)$ based on CPUE data

CPUE 数据来源 CPUE data source	时间序列 time series	资源衰减比率 Δ reduction in biomass	标准误 $\sigma(\Delta)$ standard error
西班牙 Spain	2001—2014	0.04	0.13
葡萄牙 Portugal	2000—2014	0.55	0.19
中国台湾省 Taiwan, China	2004—2013	-0.20	0.15
日本 Japan	1992—2014	-0.26	0.30
日本 Japan	1998—2014	0.07	0.30
日本 Japan	2001—2014	0.05	0.30

2 结果与分析

2.1 参数 c 和 M 对可持续渔获量估算的影响

敏感性分析结果表明, 随着参数 c 的增大, 基于西班牙(图 1a)和日本(图 1c) CPUE 估算的可持续渔获量均值逐渐减小, 而基于葡萄牙(图 1b)CPUE 估算得到的可持续渔获量均值则呈递增趋势。可持续渔获量累积概率为 10% 的下限, 3 组分析结果均呈现随参数 c 增大而增大的趋势; 此外 3 组分析中可持续渔获量的离散程度也随 c 的增大而减小。对 M (图 2)的敏感性分析结果与参数 c (图 1)的分析结果基本一致。

表 2 大青鲨 DCAC 模型参数
Tab. 2 Parameters for the *Prionace glauca* DCAC model

参数 parameter	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
M	M	M	M	M	$0.5M$	$1.5M$	$2M$
$\sigma(\ln M)$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
c	0.4	0.6	0.8	1.0	0.6	0.6	0.6
$\sigma(c)$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

注: $0.5M$ 、 $1.5M$ 、 $2M$ 表示自然死亡系数乘以 0.5、1.5、2 倍。A1~A7 表示敏感性分析时的 7 组参数水平。
Note: $0.5M$, $1.5M$ and $2M$ indicate the natural mortality was multiplied by 0.5, 1.5, and 2. A1–A7 indicate seven levels for parameters in sensitivity analysis.

表 3 大青鲨 DCAC 敏感性分析组合
Tab. 3 Specification of sensitivity analysis of DCAC for *Prionace glauca*

CPUE 时间序列 CPUE time series	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
葡萄牙 Portugal 2000—2014	PRT1	PRT2	PRT3	PRT4	PRT5	PRT6	PRT7
西班牙 Spain 2001—2014	SPN1	SPN2	SPN3	SPN4	SPN5	SPN6	SPN7
日本 Japan 2001—2014	JPN1	JPN2	JPN3	JPN4	JPN5	JPN6	JPN7

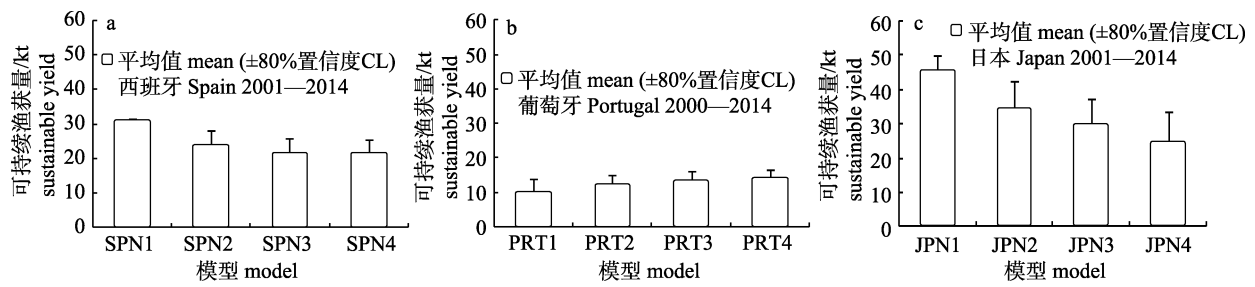


图 1 针对参数 c 的 DCAC 敏感性分析
Fig. 1 DCAC sensitivity analysis for parameter c

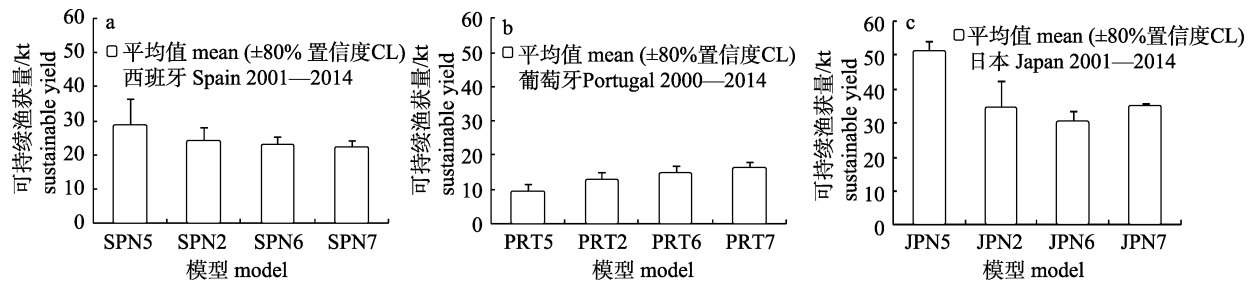


图 2 针对自然死亡系数的 DCAC 敏感性分析
Fig. 2 DCAC sensitivity analysis for natural mortality coefficient

2.2 CPUE 选择对可持续渔获量估算的影响

参照不同来源的 CPUE, 各组可持续渔获量概率分布如图 3 所示, 统计结果见表 4。从表 4 可见, 基于中国台湾省延绳钓渔业 CPUE 的可持续渔获量估算结果最大, 中值为 39.6 kt, 而基于葡萄牙渔业 CPUE 的估算结果最低, 中值为 11.7 kt。统计可持续渔获量均值与中值偏差时, 基于中国台湾省和日本(1992—2014)数据的均值与中值偏差最大。从图 3 可看出, 基于葡萄牙数据的可持续渔获量概率分布离散程度最低, 而基于中国台湾省数据的离散程度最高。另外, 基于日本延绳

钓渔业不同时间序列的数据估算的结果有一定差异(图 3d)。

2.3 可持续渔获量估算值与实际渔获量比较

依据各国家和地区提交的 CPUE (除中国台湾省数据外), DCAC 模型对印度洋大青鲨可持续渔获量估算如图 4 所示, 其中日本(1992—2014)组可持续渔获量均值最高, 而日本(2001—2014)组次之, 基于这两组数据的可持续渔获量估算值范围高于 2014 年大青鲨实际产量, 而基于西班牙、葡萄牙和日本(1998—2014)数据的可持续渔获量估算值范围低于 2014 年产量。

表 4 DCAC 模型基于不同 CPUE 估算的大青鲨可持续渔获量
Tab. 4 Sustainable yield of *Prionace glauca* estimated by DCAC based on different CPUE

数据来源 data source	西班牙 Spain	葡萄牙 Portugal	中国台湾省 Taiwan, China	日本 Japan	日本 Japan	日本 Japan
时间跨度 time series	2001—2014	2000—2014	2004—2013	1992—2014	1998—2014	2001—2014
平均值/kt mean	23.32	11.71	149.66	46.00	28.22	33.93
中值/kt median	20.10	11.72	39.59	21.55	18.49	19.59
估算值/kt estimate	20.24	11.80	41.41	21.68	18.85	20.04
估算值累积百分比/% percentile of estimate	51.56	51.25	53.87	50.64	52.30	52.12

注: 估算值指无 Monte Carlo 模拟直接按参数初始值进行计算得到的可持续渔获量。
Note: Estimate is sustainable yield which calculated by original parameter without Monte Carlo.

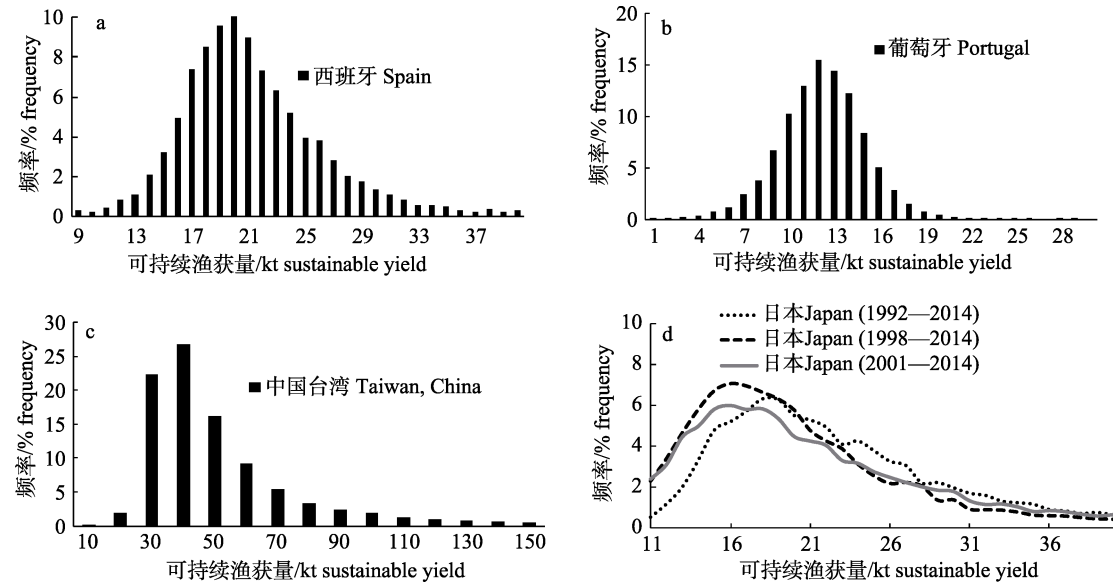


图 3 依据西班牙(a)、葡萄牙(b)、中国台湾省(c)和日本(d)延绳钓船队的大青鲨 CPUE 估算的可持续渔获量分布
Fig. 3 Distribution of sustainable yield estimated based on CPUE from Spain (a), Portugal (b), Taiwan, China (c), and Japan (d) longline fleets capturing blue shark

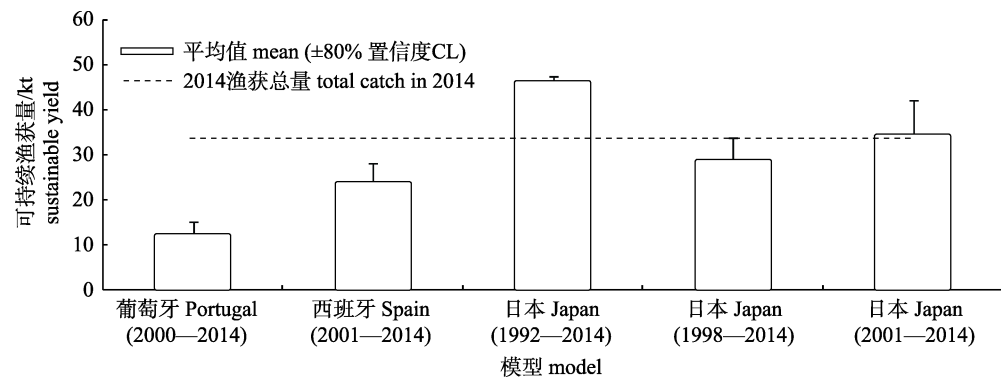


图 4 基于不同 CPUE 序列的印度洋大青鲨可持续渔获量估算值
Fig. 4 Sustainable yield estimate based on different CPUE for Indian Ocean blue shark

3 讨论

3.1 DCAC 模型敏感性分析

根据此前 MacCall^[24]的研究,可持续渔获量估算结果会随着参数 c 的增加而增加,而本研究中仅有葡萄牙组(图 1b)呈现相同的趋势,西班牙组(图 1a)和日本组(图 1c)却呈现了相反的趋势。产生该结果的原因很可能是西班牙组和日本组的资源衰减比率 Δ 接近甚至小于零,而 Δ 取负值时,参数 c 和自然死亡系数 M 对可持续渔获量的影响与 Δ 取正值时恰好相反,本研究中的葡萄牙组和 MacCall 之前的研究采用的 Δ 均大于 0.2^[24]。此外

对 DCAC 模型进行 Monte Carol 模拟时,取负值的 Δ 很可能会产生极端的可持续渔获量估算值,而均值往往受其影响偏向极端值一侧,从而使该差异更为明显。而累积概率为 10%的可持续渔获量下限,因该部分 Δ 取负值概率小,且不易受极端值影响,故 3 组分析均呈现随参数 c 增加而增加的趋势。

敏感分析结果还表明,随着参数 c 增大,可持续渔获量概率分布呈逐渐收敛的现象,通过分解可持续渔获量计算公式可以发现,当 c 增大时会增加对 Δ 的容错性,故可持续渔获量估算也会更为稳定。自然死亡系数 M 与参数 c 在可持续渔

获量计算公式中的作用较为相似, 本研究中二者的敏感性分析结果也相似。

3.2 资源开发状况

本研究使用的 6 组 CPUE 数据所得到的可持续渔获量存在差异(表 4), 其中中国台湾组的评估结果最为乐观, 可持续渔获量均值高达 149.66 kt, 但采用该组数据的资源衰减比率为负数($\Delta = -0.2$), 极易产生极端值, 且时间序列短(2004—2013), 降低了 DCAC 模型容错性, 从而易产生异常结果。日本(1992—2014)组也出现类似情况, 均值向极端值偏移明显。因此笔者认为基于这两组 CPUE 数据的结果不可靠。此外, 葡萄牙和西班牙延绳钓主捕剑鱼, 钓钩投放深度浅, 集中在西南印度洋沿海, 并非大青鲨的主要分布区域^[37], 因此基于这两组 CPUE 的结果也不具有代表性。综合上述分析认为基于日本(1998—2014)、日本(2001—2014)两组 CPUE 数据的可持续渔获量结果可靠。

IOTC 曾采用贝叶斯状态空间模型对印度洋大青鲨资源进行评估, 所得最大持续产量为 33.2 kt^[6, 38], 研究认为当前渔获量(指 2014 年渔获量 33.71 kt)约等于 MSY。因此, IOTC 建议将当前渔获量(33.71 kt)设为捕捞限额, 对印度洋大青鲨资源进行管理^[6]。本研究的两组可靠的可持续渔获量与该 MSY 估计值接近(图 4)。因此, 运用 DCAC 方法和合理丰度指数估算的大青鲨可持续渔获量与贝叶斯状态空间模型结果一致, 若基于日本(1998—2014)的 CPUE, 则估算结果更为保守, 更有利于资源养护和可持续利用。当前的渔获量正好处在或略高于 MSY 水平, 但该结果仍具有一定的不确定性(如对 M 的经验估计)。

3.3 DCAC 方法的应用及其局限性

现阶段, DCAC 模型已被太平洋渔业管理理事会(Pacific Fishery Management Council, PFMC)运用于 19 种近岸鱼类的可持续渔获量估算, 并以此作为设定过度捕捞限额(overfishing limit, OFL)的科学依据^[19], 但其模型本身仍存在很多局限性。有学者指出 DCAC 对于资源衰减比率尤为敏感, 不适用于自然死亡系数大于 0.2/y 的种群^[24]。由于多数鲨鱼种群的自然死亡系数可能小于 0.2/y,

因此 DCAC 方法应该适用于鲨鱼类, 本研究证实了采用 DCAC 能够估算印度洋大青鲨的可持续渔获量。本研究还表明, 参数 c 较小时, 会降低该模型的容错性(即在评估繁殖力较低的种群时增加了评估风险); 时间序列缩短时, 易使评估结果出现异常值, 也会降低模型容错性。此外, 渔获的丢弃与误报等问题也使渔获量统计存在一定的误差^[9, 37]。DCAC 模型在面对上述问题时的表现, 有待进一步的探究。

参考文献:

- [1] Dai X J, Xu L X, Zhu J F, et al. Illustrations of Catch Species for Global Tuna Fishery[M]. Beijing: Ocean Press, 2007: 176-177. [戴小杰, 许柳雄, 朱江峰, 等. 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.]
- [2] Dai X J, Xu L X, Song L M. Analysis on length composition, hepatosomatic indices of *Prionace glauca* caught by longline fishery in the tropical Eastern Pacific Ocean[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(1): 93-96. [戴小杰, 许柳雄, 宋利明. 东太平洋热带海域大青鲨长度组成、肝重指数特征分析[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(1): 93-96.]
- [3] Camhi M D, Pikitch E K, Babcock E A. Sharks of the Open Ocean[M]. America: Blackwell, 2008: 140-145.
- [4] Carlos B, Michael B B. Insights into the reproductive biology and fisheries of two commercially exploited species, shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) and blue shark (*Prionace glauca*), in the south-east Pacific Ocean[J]. Fish Res, 2013, 143: 174-183.
- [5] Mejuto J, Garcia C B. Reproductive and distribution parameters of blue shark (*Prionace glauca*) on the Atlantic Indian and Pacific Ocean[J]. Collective Volume of Scientific Papers of ICCAT, 2005, 58(3): 951-973.
- [6] IOTC. Status of the indian Ocean blue shark (BSH: *Prionace glauca*): IOTC-2015-SC18-ES17[R]. Seychelles: IOTC, 2015.
- [7] Baum J K, Myers R A, Kehler D G, et al. Collapse and conservation of shark populations in the Northwest Atlantic[J]. Science, 2003, 299(5605): 389-392.
- [8] Gao C X, Dai X J, Tian S Q, et al. Demographic analysis of the blue shark, *Prionace glauca*, in the North Atlantic Ocean[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(2): 622-628. [高春霞, 戴小杰, 田思泉, 等. 北大西洋大青鲨种群统计分析[J]. 应用生态学报, 2016, 27(2): 622-628.]
- [9] Clarke S C, McAllister M K, Milner G E J, et al. Global

- estimates of shark catches using trade records from commercial markets[J]. *Ecol lett*, 2006, 9(10): 1115–1126.
- [10] Kleiber P, Clarke S, Bigelow K, et al. North Pacific Blue Shark Stock Assessment[M]. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Pacific Islands Fisheries Science Center, 2009.
- [11] ICCAT. Report of the 2015 ICCAT blue shark stock assessment session[R]. Lisbon Portugal, 2015, 7: 27–31.
- [12] Rice J, Harley S, Maunder M, et al. Stock assessment of blue shark in the north Pacific Ocean using stock synthesis[C]. Western and Central Pacific Fisheries Commission, Scientific Committee, Ninth Regular Session, 2013: 6–14.
- [13] Rice J. Stock assessment blue shark (*Prionace glauca*) in the Indian Ocean using Stock Synthesis: IOTC-2015-WPEB11-28 Rev_1[R]. Victoria: IOTC, 2015.
- [14] 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[M]. Rome: FAO, 2014.
- [15] Punt A E, Smith D C, Koopman M T. Using Information for Data-rich Species to Inform Assessments of Data-poor Species through Bayesian Stock Assessment Methods[M]. Victoria: Primary Industries Research, 2005.
- [16] Pilling G M, Apostolaki P, Failler P, et al. Assessment and management of data-poor fisheries[J]. *Adv Fish Sci*, 2009, 50: 280–305.
- [17] MacCall A D. Depletion-corrected average catch: a simple formula for estimating sustainable yields in data-poor situations[J]. *ICES J Mar Sci*, 2009, 66(10): 2267–2271.
- [18] 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]. *Fish Res*, 2011, 110(2): 331–341.
- [19] Newman D, Berkson J, Suatoni L. Current methods for setting catch limits for data-limited fish stocks in the United States[J]. *Fish Res*, 2015, 164: 86–93.
- [20] Cortes E. Application of data-poor stock assessment methods to Atlantic sharks[C]. 144th Annual Meeting of the American Fisheries Society, 2014.
- [21] IOTC. Review of the statistical data available for the bycatch species: IOTC-2011-WPEB07-08[R]. Victoria: IOTC, 2011.
- [22] IOTC. Report of the 12th session of the IOTC working party on ecosystems and bycatch: IOTC-2016-WPEB12-R[R]. Victoria: IOTC, 2016.
- [23] Gulland J. The Fish Resources of the Oceans[M]. Rome: FAO, 1970(97): 1–4.
- [24] MacCall A D. Depletion-corrected average catch: a simple formula for estimating sustainable yields in data-poor situations[J]. *ICES J Mar Sci*, 2009, 66(10): 2267–2271.
- [25] Rabehagasoa N, Vigliola L, Lorrain A. Modelling growth of blue shark (*Prionace glauca*) and silky shark (*Carcharhinus falciformis*) in the southwest Indian Ocean assessed by back-calculated length from vertebrae. IOTC-2014-WPEB10-22[R]. Yokohama: IOTC, 2014.
- [26] Pauly D. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks[J]. *Journal du Conseil*, 1980, 39(2): 175–192.
- [27] Hoenig J M. Empirical use of longevity data to estimate mortality rates[J]. *Fish Bull*, 1983, 82(1): 898–903.
- [28] Jensen A L. Beverton and holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival[J]. *Can J Fish Aqua Sci*, 1996, 53(4): 820–822.
- [29] Hewitt D A, Hoenig J M. Comparison of two approaches for estimating natural mortality based on longevity[J]. *Fish Bull*, 2005, 103(2): 433–437.
- [30] Musick J A, Bonfil R. Management Techniques for Elasmobranch Fisheries[M]. Rome: FAO, 2005: 129–130.
- [31] Rice J, Semba Y. Age and sex specific natural mortality of the blue shark (*Prionace glauca*) in the North Pacific Ocean: ISC/14/SHARKWG-1[R]. Majuro: WCPFC, 2014.
- [32] Kleiber P, Clarke S, Bigelow K, et al. North Pacific Blue Shark Stock Assessment[M]. US Department of Commerce, NOAA, NMFS, Pacific Islands Fisheries Science Center, 2009.
- [33] 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 Sanagement Act[M]. US Department of Commerce, NOAA, NMFS, 1998: 23–24.
- [34] Walters C, Martell S. Fisheries Ecology and Management[M]. Princeton: Princeton University Press, 2004: 59–61.
- [35] Yasuko S, Minoru K, Kotaro Y. Update of standardized CPUE of blue shark (*Prionace glauca*) in the Indian Ocean estimated from Japanese observer data in the period between 1992 and 2014: IOTC-2015-WPEB11-30 Rev_1[R]. Victoria: IOTC, 2015.
- [36] Tsai W P, Liu K M. Updated and revised standardized catch rate of blue sharks caught by the Taiwanese longline fishery in the Indian Ocean: IOTC-2015-WPEN11-52 Rev_1[R]. Victoria: IOTC, 2015.
- [37] IOTC. Report of the 18th Session of the IOTC Scientific Committee: IOTC-2015-SC18-R[R]. Bali: IOTC. 2015.

[38] Andrade H A. Preliminary stock assessment of blue shark (*Prionace glauca*) caught in the Indian Ocean using a Bay-

esian state-space production model: IOTC-2015-WPEB11-27[R]. Victoria: IOTC, 2015.

Estimate of sustainable yield of blue shark (*Prionace glauca*) in the Indian Ocean using data-poor approach

GENG Zhe¹, ZHU Jiangfeng^{1,2}, XIA Meng¹, MA Lulu¹

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

2. Key Laboratory of Exploitation of Oceanic Fisheries, Ministry of Agriculture, Shanghai 201306, China

Abstract: Sharks occupy the top trophic level in the marine community and play an important role in maintaining ecosystem stability and diversity. The stock status of shark species is often difficult to assess by formal stock assessment methods due to limited fishery data. Blue shark (*Prionace glauca*) is the most widely distributed pelagic shark species in tropical and temperate oceanic waters. This species is often caught as bycatch in oceanic longline fisheries that target billfishes and tunas, and also in the artisanal longline fisheries that operate in coastal areas such as Chile. Because of its slow growth and late maturity, the blue shark is defined as “Near Threatened” globally in the IUCN species list. Determining the stock status of Indian Ocean blue shark using a data-poor approach has been assigned as a high research priority by the Indian Ocean Tuna Commission. In this study, we assessed the Indian Ocean blue shark stock status using the depletion-corrected average catch (DCAC) approach and Monte Carlo simulation. DCAC is a data-poor approach that only needs basic biological information (natural mortality, M), catch data, and an abundance index. M was estimated by the Hoening method, resulting in a mean M of 0.193 y^{-1} and a standard error of $\ln M$ of 0.05. In addition to the annual catch data, the application of DCAC also needs the means and standard errors of the following parameters: depletion of the biomass (Δ) and F_{MSY}/M . First, we estimated the sustainable yield (Y_{sust}) of blue shark using abundance indices (standardized catch per unit effort [CPUE] time series) derived from different longline fleets (i.e., Spain, Portugal, Japan, and Taiwan, China). Second, we evaluated the sensitivity of DCAC by considering multiple combinations of different levels of M and F_{MSY}/M , CPUE indices, and lengths of time series of data. Lastly, we summarized the estimated Y_{sust} values and compared our estimates with the results from other assessment approaches for this species. The results showed that Y_{sust} increased with M or F_{MSY}/M when Δ was positive. However, Y_{sust} decreased with M or F_{MSY}/M when Δ was close to zero or negative. The results were sensitive to the CPUE index. The estimated Y_{sust} was reliable and close to the maximum sustainable yield (estimated from other assessment models) when the Japanese longline CPUE index (1998–2014 or 2001–2014) was used. The current (2014) annual catch of blue shark might be at or just above the estimated maximum sustainable yield, although the estimate is subject to uncertainties. This study suggests that DCAC is suitable for estimating the Y_{sust} of Indian Ocean blue shark using catch data and CPUE indices as the main sources. This study also provides guidelines for the application of data-poor approaches in domestic fisheries of China.

Key words: *Prionace glauca*; data-poor approach; stock assessment; Indian Ocean

Corresponding author: ZHU Jiangfeng. E-mail: jfzhu@shou.edu.cn