

李琪, 刘淑德, 王琨, 等. 渔获量时间序列长度对基于 CMSY 方法的资源评估结果的影响[J]. 海洋学报, 2023, 45(3): 27–39, doi:10.12284/hyxb2023046

Li Qi, Liu Shude, Wang Kun, et al. Effects of lengths of catch time series on stock assessment using CMSY method[J]. Haiyang Xuebao, 2023, 45(3): 27–39, doi:10.12284/hyxb2023046

渔获量时间序列长度对基于 CMSY 方法的资源评估结果的影响

李琪^{1,3}, 刘淑德², 王琨^{1,3}, 张崇良^{1,3*}

(1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003; 2. 山东省渔业发展和资源养护总站, 山东 烟台 264003; 3. 海州湾渔业生态系统教育部野外科学观测研究站, 山东 青岛 266003)

摘要: 大多数渔业种类由于数据缺乏, 无法使用传统的渔业资源评估方法开展评估和管理。越来越多的研究采用 CMSY 等基于有限数据的评估方法, 但 CMSY 方法在渔获量数据时间序列长度有限、存在误差等情况下的评估可靠性尚有待验证。本研究运用 CMSY 方法对黄海 3 种产量较高的经济鱼类开展资源评估, 探索渔获量数据时间序列长度、不同渔业发展阶段, 以及观测误差水平对评估结果的影响。结果表明, 鲈、带鱼和银鲳在 2000 年后均出现产量高于最大可持续产量 (MSY) 的情况, 资源处于过度利用状况 ($B/B_{MSY} < 1$ 、 $F/F_{MSY} > 1$), 近 10 年来开发强度降低, 但生物量仍处于较低水平 ($B/B_{MSY} < 1$)。评估模型的回溯性分析结果差异较小, 表明评估结果稳定。从数据长度上看, 使用遍历产量上升和下降过程的长时间序列数据, 其评估结果更为稳定。在观测误差大于 20% 的情况下, 模型对 MSY 和 B_{MSY} 出现高估, 但结果仍较为稳健。在 CMSY 方法的应用中应注意选取长时间序列的产量数据, 在评估结果不确定性高的情况下应采取相对保守的渔业管理措施。

关键词: 数据有限方法; 资源评估; CMSY 方法; 渔获产量; 时间序列数据

中图分类号: S932.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2023)03-0027-13

1 引言

渔业资源评估是维持渔业资源可持续发展的基础^[1], 相较于未经资源评估的鱼类, 经过系统评估并管理的鱼类种群已恢复到管理目标参考点^[2]。然而传统的渔业资源评估模型需要大量的数据支撑, 导致资源评估通常局限于有较高经济价值或数据丰富的渔业种群^[3-4], 对其他物种的关注较少^[1, 5-6], 当前全球绝大部分渔业种群仍未得到有效评估^[1]。在我国, 由于统计制度不完善、捕捞活动监管难度较大, 也存在渔业数

据缺失和误差情况, 很多大规模捕捞的渔业种群尚未得到科学评估与管理^[7-8], 渔业资源处于衰退状态^[9]。

数据有限的渔业资源评估方法已成为我国渔业资源评估领域的研究热点。其中 CMSY 是一种基于蒙特卡洛的数据有限方法^[10], 主要利用渔获量数据评估渔业种群的生物量和生物学参数, 目前已被用于评估欧洲邻近海域数百个鱼类种群^[11], 以及东海、黄海和渤海的部分鱼种的资源状况^[12-14]。需要注意的是, 在数据有限方法的实际应用中, 渔获量数据的时间序列长度、观测误差等不确定性可能会对评估结果造

收稿日期: 2022-09-04; 修订日期: 2022-10-11。

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0900906, 2018YFD0900904)。

作者简介: 李琪(1995—), 女, 山东省青岛市人, 主要从事渔业资源评估研究。E-mail: lq@ouc.edu.cn

* 通信作者: 张崇良, 副教授, 主要从事渔业资源评估和生态系统模拟研究。E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn

成影响^[15-16]。目前已有学者针对渔业统计数据失真对资源评估造成的影响展开了研究^[17-18],但产量数据的特征对 CMSY 方法稳定性的影响尚不明确。

本研究基于 CMSY 方法对鲈(*Scomber japonicus*)、带鱼(*Trichiurus lepturus*)和银鲳(*Pampus argenteus*) 3 种黄海水域的重要经济种开展资源评估,并根据其产量数据的特征探索渔获量数据的不确定性对评估结果的影响,以期为 CMSY 方法的实际应用奠定基础,为黄海渔业的可持续发展提供科学依据。

2 材料方法

2.1 数据来源

本文选取了黄海 3 种重要经济鱼类进行资源评估,分别为带鱼、鲈、银鲳,所用的渔业产量数据(1950–2018 年)来自 Sea Around Us(<http://www.seaaroundus.org/>)项目渔获统计资料。该项目由加拿大不列颠哥伦比亚大学(University of British Columbia, UBC)设立,其网站提供的产量数据系结合了世界各国官方报告数据以及未报告数据的重建估计值。其中官方报告的数据主要来自联合国粮食及农业组织(粮农组织)的渔业统计数据库,未报告数据则参考了不同专属经济区的背景资料进行重建。我国的渔获量数据修正是 Watson 等^[19]利用空间分解的方法,基于计算机密集型算法,用半度单元绘制渔获量的全球分布情况,将其观测值和报告值进行比对,对渔业国家的准入安排和分类群分布进行充分审查后,消除其中一些错误,从而得到重建值。

2.2 CMSY 方法

CMSY 方法是由 Froese 等^[10]2017 年在 Catch-MSY 方法的基础上提出的。CMSY 方法以 Schaefer^[20]的剩余产量模型为基础,该模型假设种群生物量 B_t 遵循以下公式:

$$B_{t+1} = B_t + rB_t(1 - B_t/k) - C_t, \quad (1)$$

式中, B_t 为当前年份(t 年)的生物量; B_{t+1} 为 $t+1$ 年的生物量; r 为该种群的内在增长率; k 为环境容纳量; C_t 为在 t 年的捕捞量。

当种群生物量下降到 $k/4$ 以下时,式(1)修正为

$$B_{t+1} = B_t + (4rB_t/k)(1 - B_t/k)B_t - C_t, \quad B_t/k < 0.25, \quad (2)$$

式中, $4rB_t/k$ 为假定补充量出现线性下降,低于最大可持续产量(Maximum Sustainable Yield, MSY)时生物量的一半。

CMSY 利用渔获量时间序列,采用蒙特卡洛方法追踪有关种群动态的生物量轨迹,并保留产生与渔获

量时间序列相适应的生物量轨迹的参数。生物量轨迹主要由两个参数决定,即内禀增长率(r)和环境容纳量(k),在设置内禀增长率和环境容纳量的先验分布后,采用蒙特卡洛方法选取随机的 $r-k$ 组合,计算种群的生物量轨迹,在满足以下 3 个条件时,认为该 $r-k$ 组合可行:(1)计算出的生物量轨迹符合对应时间序列的渔获量;(2)预测的生物量不会变成负值,即不会出现种群崩溃的状况;(3)在时间序列开始和结束时的相对生物量范围先验预设相一致。本研究中每组情境分别进行 20 000 次蒙特卡洛重复,模型构建与模拟均通过 R 语言(4.1.2)实现,代码来自 Froese 等^[10]在 2019 年更新后的版本(<https://oceanrep.geomar.de/id/eprint/33076/>)。

2.3 参数先验设置

Fishbase 根据物种恢复力水平将种群的内在增长率划分为高(0.6~1.5)、中(0.2~0.8)、低(0.05~0.5)以及极低(0.015~0.1)4 个水平。本研究中涉及 3 个物种的恢复力均处于中等水平,内在增长率 r 的先验分布设置为 $U[0.2 \sim 0.8]$ 。对于种群的环境容纳量(k),根据种群的生物量水平分为两种情况,第一种是针对在时间序列结束时生物量处于低水平的,按以下公式设置 k 的下限和上限:

$$k_{\text{low}} = [\max(C)/r_{\text{high}}]; \quad k_{\text{high}} = [4\max(C)/r_{\text{low}}], \quad (3)$$

第二种情况是在时间序列结束时生物量处于高水平的,按以下公式设置 k 的下限和上限:

$$k_{\text{low}} = [2\max(C)/r_{\text{high}}]; \quad k_{\text{high}} = [12\max(C)/r_{\text{low}}], \quad (4)$$

式中, k_{low} 和 k_{high} 分别为环境容纳量(k)先验分布的下限及上限; $\max(C)$ 为给出的时间序列中的最大产量; r_{low} 和 r_{high} 分别为内在增长率(r)先验分布的下限和上限。本研究 3 个种群近年的产量较高,均为第二种情况,其环境容纳量先验设置均采用式(4)计算得出。

此外, CMSY 方法需要为相对生物量(B/k)设置先验分布(表 1),在时间序列的开始年份(B_{start}/k)和结束年份(B_{end}/k)分别设置先验范围, Froese 等^[10]给出了相对生物量的默认设置范围。若时间序列中有一个中间年份的生物量出现极高或极低值,那么该年份的相对生物量也应作为先验输入。

2.4 时间序列场景分析

本研究采用了回溯性分析的方法评估模型结果的稳定性。回溯性模式是指当在资源评估中加入更多年份的数据时,对种群规模及相关变量的评估结果出现的系统的不一致变化^[21],在一些被开发的海洋种群中经常出现^[22]。由于其体现的是使用不同时间序

表 1 CMSY 相对生物量 (B/k) 的先验设置
Table 1 Prior settings of the relative biomass (B/k) in CMSY

生物量水平	建议先验范围	B_{start}/k	B_{end}/k
极低生物量水平	0.8~1.0	鲈(1950-2018年、1980-2018年、1980-1999年); 银鲳(1969-2018年、1980-2018年); 带鱼(1950-2018年)	-
低生物量水平	0.4~0.8	鲈(2000-2018年、1960-1979年); 带鱼(1980-2018年、1980-1999年、1960-1979年)	鲈(1960-1979年); 带鱼(1980-1999年、1960-1979年)
中等生物量水平	0.2~0.6	银鲳(2000-2018年); 带鱼(2000-2018年)	鲈(1950-2018年、1980-2018年、2000-2018年、1980-1999年); 银鲳(1969-2018年、1980-2018年、2000-2018年); 带鱼(1950-2018年、1980-2018年)
高生物量水平	0.01~0.4	-	带鱼(2000-2018年)
几乎未被开发	0.01~0.2	-	-

注:“-”代表没有任何一种鱼类的生物量水平先验设置在此范围内。

列的结果差异,在渔业管理中也用于判断模型评估结果的稳健性^[23]。本研究采用该方法分析了忽略最后一年、两年以及三年的产量数据,并将种群相对开发强度(F/F_{MSY})和相对规模(B/B_{MSY})的结果进行比较。当不同时间长度数据的预测结果相差很大时,证明模型存在着强烈的回溯性差异,此时利用模型评估结果采取管理措施时需要谨慎。

数据时间序列长度对 CMSY 方法具有重要影响,一般认为数据时间跨度越大其信息量越丰富;但同时由于渔业技术等的发展和气候条件、生态系统的变化,不同阶段种群生物学特征可能具有内在差异,从而影响模型评估结果^[24]。中国渔业的快速发展开始于 20 世纪 70 年代末^[25],1980 年开始海洋捕捞产量呈快速增长趋势,但从 1999 年海洋捕捞渔业产量开始呈现下降趋势。本研究根据该发展的不同阶段,设置了 3 个时间阶段情景,分别根据 1960-1979 年、1980-1999 年、2000-2018 年的产量数据进行资源评估。同时,为了探究不同时间序列长度数据对 CMSY 方法评估结果的影响,设置了 3 种不同长度的时间序列,分别为 1950-2018 年、1980-2018 年和 2000-2018 年,其中因银鲳的产量数据自 1969 年开始统计,因此设置为 1969-2018 年、1980-2018 年和 2000-2018 年(表 2),利用回溯性分析对其稳定性进行评估。

此外,基于我国渔业渔获量数据不确定性的情况,本研究探讨了渔获量数据的观测误差对 CMSY 评估结果的影响。通过在渔获量数据中加入 4 种不同程度(以变异系数 C_v 区分不同程度, C_v 分别为 5%、10%、20% 和 30%)的随机误差,代表不同程度的不确定性,以鲈鱼为例进行模拟分析(表 2),探讨数据不确定性对 CMSY 方法评估结果稳定性的影响。

表 2 渔获量数据时间序列的情景设置

Table 2 Scenario settings for the time series of catch data

物种	不同时间长度设置	不同发展阶段时间设置
鲈 <i>Scomber japonicus</i>	1950-2018年	1960-1979年
	1980-2018年	1980-1999年
	2000-2018年	2000-2018年
带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	1950-2018年	1960-1979年
	1980-2018年	1980-1999年
	2000-2018年	2000-2018年
银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	1969-2018年	-
	1980-2018年	-
	2000-2018年	-

注:渔获量数据误差(以变异系数区分不同误差,分别为5%、10%、20%和30%)均在鲈1950-2018年的时间序列下加入;“-”表示未针对此情景开展模型稳定性探究。

3 结果

3.1 渔业种群状态

CMSY 的评估结果表明,鲈的渔获量在 1994 年开始超过 MSY,在 2008 年出现过度捕捞($F_{2008}/F_{MSY}>1$)(图 1),后开发强度一直处于 F_{MSY} 以上,2012 年开始相对生物量 B_{2012}/B_{MSY} 评估结果小于 1,后一直降低。带鱼的渔获量在 1994 年开始高于 MSY,在 2004 年出现过度捕捞($F_{2004}/F_{MSY}>1$),2015 年相对开发强度下降($F_{2015}/F_{MSY}=0.82$),2007 年 B_{2007}/B_{MSY} 小于 1,后一直处于较低水平。银鲳的渔获量在 2001 年开始超出 MSY,2008 年后 F/F_{MSY} 均大于 1,至 2018 年才降低至 1 以下($F_{2018}/F_{MSY}=0.96$),相对生物量自 2011 年后一直降低($B_{2011}/B_{MSY}<1$)。总体而言,3 个资源种群呈现相似的变化趋

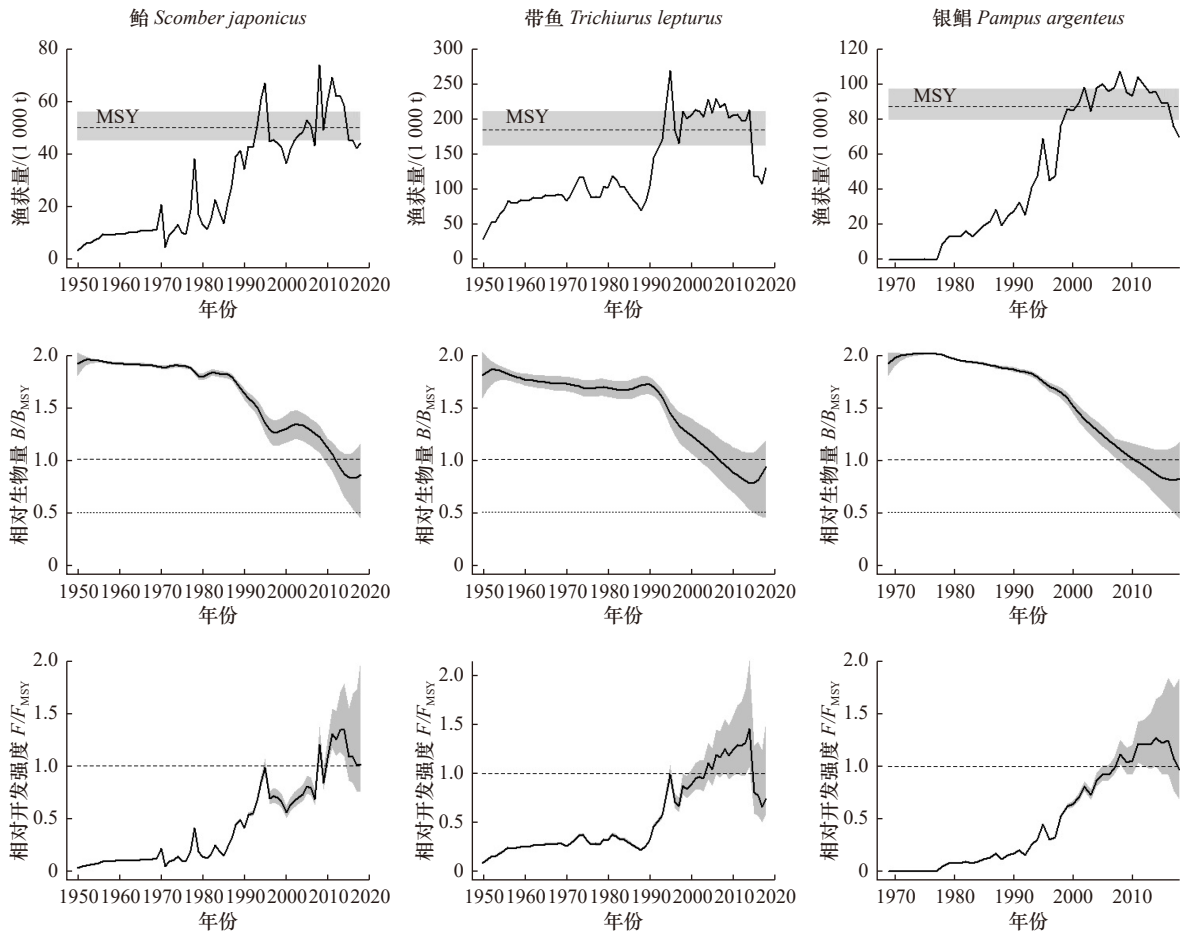


图 1 CMSY 方法对鲈、带鱼和银鲳种群状态的评估结果

Fig. 1 The estimated stock status of *Scomber japonicus*, *Trichiurus lepturus* and *Pampus argenteus* by the CMSY method

势,即近年来渔获量、资源量逐渐下降至低于 B_{MSY} , 开发强度在多年的持续上升后开始下降,接近 F_{MSY} 水平。

3.2 时间序列长度的影响

在不同时间序列长度的评估结果中,估算的

MSY 置信区间随着时间序列长度的缩短而变宽,即评估误差逐渐增大。产量数据时间序列长度最短时(2000–2018年) MSY 的变异系数最大,3个物种的变异系数分别为 0.072、0.077、0.086(表 3)。鲈和银鲳

表 3 不同渔获量时间序列长度下 CMSY 模型评估结果比较

Table 3 A comparison of the assessment results by CMSY with different catch time-series lengths

物种	时间序列	最大可持续产量 $MSY/(10^3 t)$	MSY 变异系数 C_v	相对生物量 B/B_{MSY}	B/B_{MSY} 标准差 SD	相对开发强度 F/F_{MSY}	F/F_{MSY} 标准差 SD
鲈 <i>Scomber japonicus</i>	1950–2018年	50.21	0.055	0.86	0.182	1.01	0.315
	1980–2018年	49.88	0.054	0.86	0.182	1.02	0.318
	2000–2018年	50.76	0.072	0.94	0.189	0.91	0.312
银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	1969–2018年	87.26	0.052	0.82	0.187	0.96	0.298
	1980–2018年	87.16	0.052	0.84	0.186	0.95	0.298
	2000–2018年	92.89	0.077	0.93	0.188	0.80	0.267
带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	1950–2018年	183.18	0.066	0.93	0.185	0.75	0.239
	1980–2018年	186.73	0.045	0.93	0.183	0.74	0.231
	2000–2018年	191.12	0.086	0.54	0.188	1.21	3.991

的相对生物量(B/B_{MSY})和相对开发强度(F/F_{MSY})在不同数据长度下评估结果差异较小,但带鱼在2000–2018年数据下,相对生物量(B_{2018}/B_{MSY})和相对开发强度(F_{2018}/F_{MSY})出现明显差异, B_{2018}/B_{MSY} 仅有0.54, F_{2018}/F_{MSY}

高达1.21,变异系数最高,误差较大。

以鲷为例对不同时间序列长度的评估结果进行回溯性分析(图2),结果表明在时间序列为1950–2018年的情况下,减少数据对评估结果的稳定性影

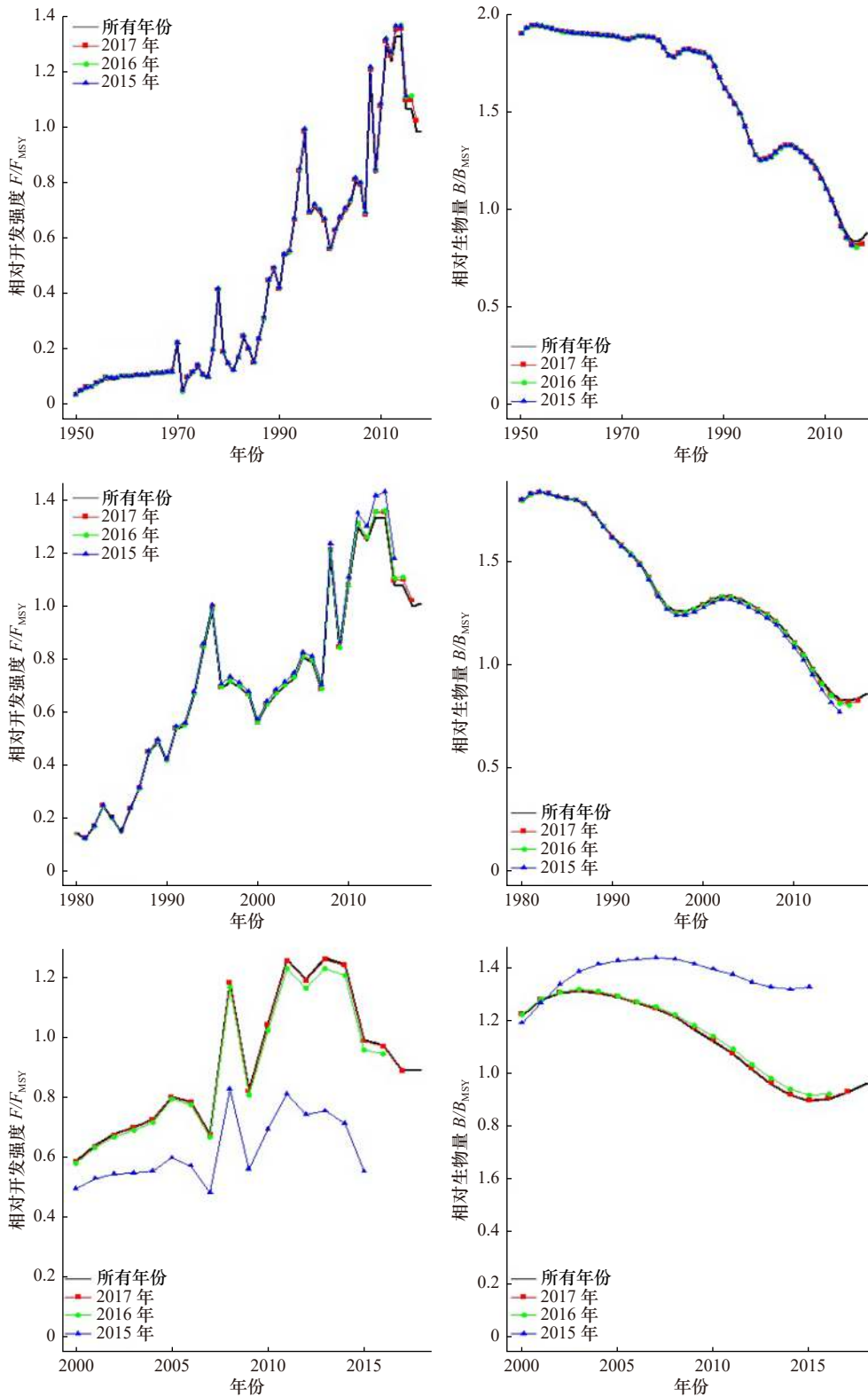


图2 不同时间序列长度的产量数据情况下鲷的回溯性分析结果

Fig. 2 Retrospective analysis of mackerel (*Scomber japonicus*) with catch data of different time-series lengths

响较小;在时间序列为 1980–2018 年的情况下,回溯分析结果出现一定差异;在时间序列为 2000–2018 年的情况下,评估结果出现了明显的回溯性差异,评估结果稳定性差。3 种鱼类的回溯性分析趋势较为一致。

3.3 不同渔业发展阶段的比较

本研究进一步划分 3 个渔业阶段,即发展阶段(1960–1979 年)、快速增长阶段(1980–1999 年)、渔获量下降阶段(2000–2018 年),对比 CMSY 评估结果

(表 4)。随着渔业的发展,鲈和带鱼的相对生物量(B/B_{MSY})均不断下降,分别由 1.46 降至 0.94 和由 1.32 降至 0.54;而相对开发强度(F/F_{MSY})则在上升,分别由 0.55 上升为 0.91 和由 0.74 上升为 1.21,呈现出捕捞压力逐渐提高而资源量逐渐下降的整体趋势。此外,相对于使用 1950–2018 年的全时间序列产量数据评估结果,两种鱼在 3 个渔业发展阶段评估的最大可持续产量变异系数较高,置信区间较宽。

表 4 鲈和带鱼在不同渔业发展阶段的评估结果分析

Table 4 Stock assessment results for mackerel (*Scomber japonicus*) and hairtail (*Trichiurus lepturus*) at different stages of fishery development

物种	时间序列	最大可持续产量 MSY/(10 ³ t)	MSY 变异系数 C_v	相对生物量 B/B_{MSY}	B/B_{MSY} 标准差 SD	相对开发强度 F/F_{MSY}	F/F_{MSY} 标准差 SD
鲈 <i>Scomber japonicus</i>	1960–1979 年	22.40	0.190	1.46	0.160	0.55	0.084
	1980–1999 年	42.15	0.102	0.99	0.186	1.02	0.349
	2000–2018 年	50.76	0.072	0.94	0.189	0.91	0.312
带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	1960–1979 年	105.51	0.150	1.32	0.188	0.74	0.140
	1980–1999 年	196.79	0.195	1.34	0.188	0.75	0.141
	2000–2018 年	191.12	0.086	0.54	0.188	1.21	3.991

对带鱼 3 个阶段的评估结果进行回溯性分析(图 3),结果表明在发展阶段(1960–1979 年)和快速增长阶段(1980–1999 年)基本没有明显的回溯性差异,但在渔获量下降阶段(2000–2018 年)的 B/B_{MSY} 和 F/F_{MSY} 出现了明显的差异,评估结果稳定性较差。对鲈的 3 个阶段的回溯性分析则显示,在 3 个阶段鲈的 B/B_{MSY} 和 F/F_{MSY} 结果稳定性均较差,相对于长时间序列(1950–2018 年)的评估结果,回溯性差异显著。

3.4 数据误差的影响

将 4 种观测误差($C_v=5\%, 10\%, 20\%, 30\%$)情况下以及无误差($C_v=0$)情况下 CMSY 对鲈评估的结果相比较(表 5),结果表明在渔获量数据误差为 5%、10% 时,最大可持续产量的估计值均在 5 万 t 左右,差异不明显。在渔获量数据误差为 20% 和 30% 时,MSY 升高幅度变大,同时置信区间也变宽。生物学参考点 B_{MSY} 估计值随误差的增加逐渐升高,由 179.03×10^3 t 升至 183.15×10^3 t;而 F_{MSY} 的估计值差异不大,变异系数也无明显上升,表明长时间序列下,观测误差对于 CMSY 的估算结果影响相对较小。

对不同误差情况下的 KOBE 图结果进行对比,在误差较小的情况下, B_{2018}/B_{MSY} 和 F_{2018}/F_{MSY} 的预测结果

共同构成的置信区间较为聚集,随着渔获量数据误差的升高, B_{2018}/B_{MSY} 和 F_{2018}/F_{MSY} 共同构成的置信区间范围有一定的扩展,评估结果的不确定性升高,但总体而言差异较小,在 30% 的渔获量数据误差的情况下仍能保持较为稳健的预估(图 4)。

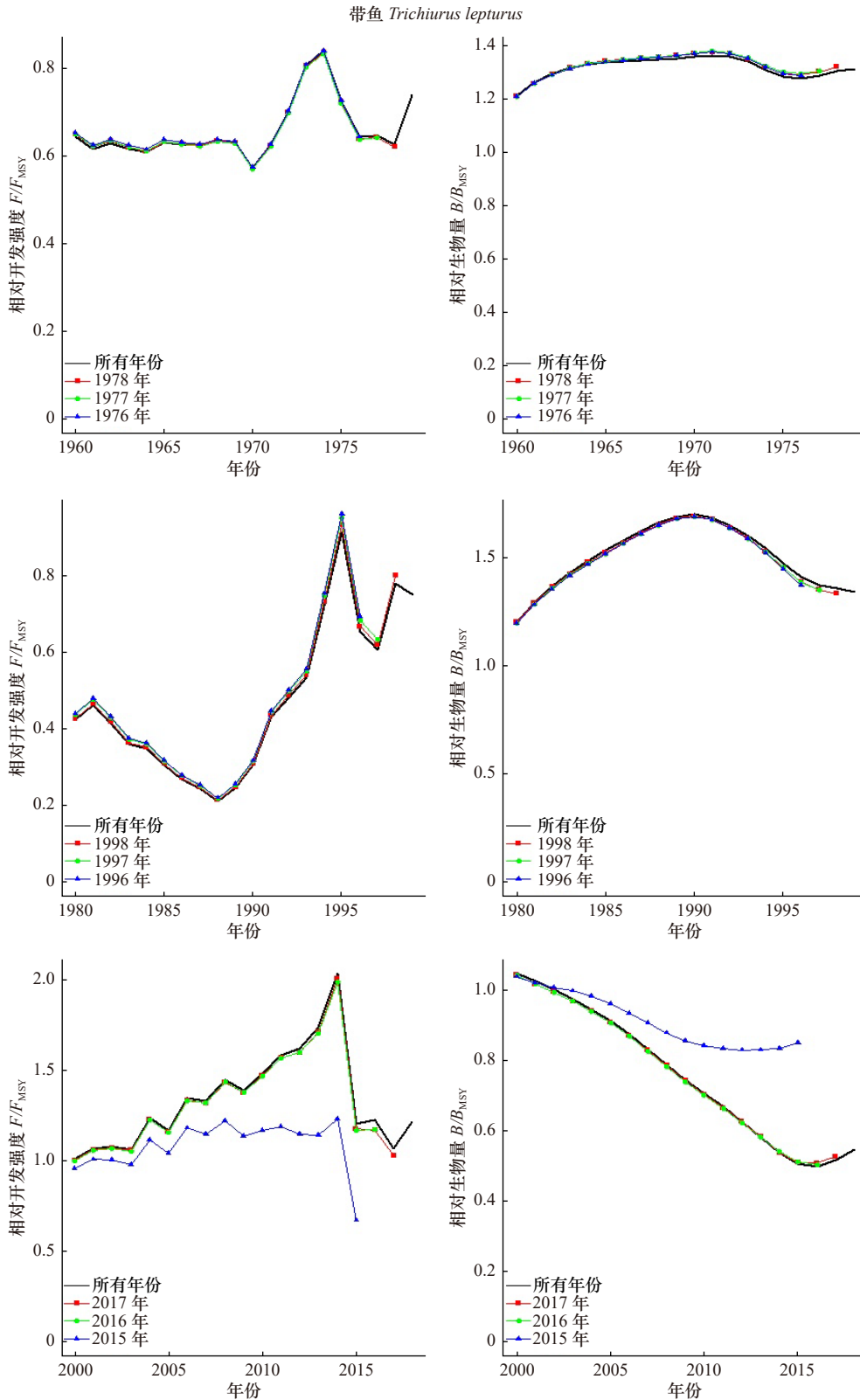
4 讨论

4.1 渔获量数据的序列长度

渔获量统计数据是最广泛可用的渔业数据,世界上大多数鱼类的渔获量在联合国粮农组织的数据库中均有记录^[26],在资源评估中渔获量也是最常用的数据,但在实际使用中数据时间序列长度问题应引起注意。本研究通过对 3 种鱼类不同时间序列长度、不同阶段渔获量数据进行评估分析,结果表明 CMSY 方法在长时间序列数据情况下的评估结果更为稳定可靠,生物学参考点的变异系数低,回溯性差异小。类似的,在 Kimura 和 Tagart^[27] 提出的 SRA 模型中,要求至少 10 年的渔获量数据,在实际利用两种非平衡剩余产量模型 ASM 和 BSM 以及 CMSY 方法进行渔业资源评估的研究中都包含了至少 25 年的数据^[13–14, 28–32]。

此外, 在不同数据长度的比较中, 时间跨度为 1950–2018 年、1969–2018 年和 1980–2018 年时, B_{2018}/B_{MSY} 和 F_{2018}/F_{MSY} 结果接近。从渔获量趋势看, 这些年份的数据遍历了渔获量上升和下降过程, 这可能有益于模型的拟合, 提高了估算的准确性。相对的, 在数

据仅为 2000–2018 年时, 3 种鱼的渔获量都呈波动下降的趋势, 没有出现明显的渔获量拐点, 其中带鱼 2000–2018 年的渔获量数据尤为明显, 同时 B_{2018}/B_{MSY} 出现严重低估, F_{2018}/F_{MSY} 明显高估。因此在使用 CMSY 方法进行资源评估时, 选取有明显上升和下降过程的



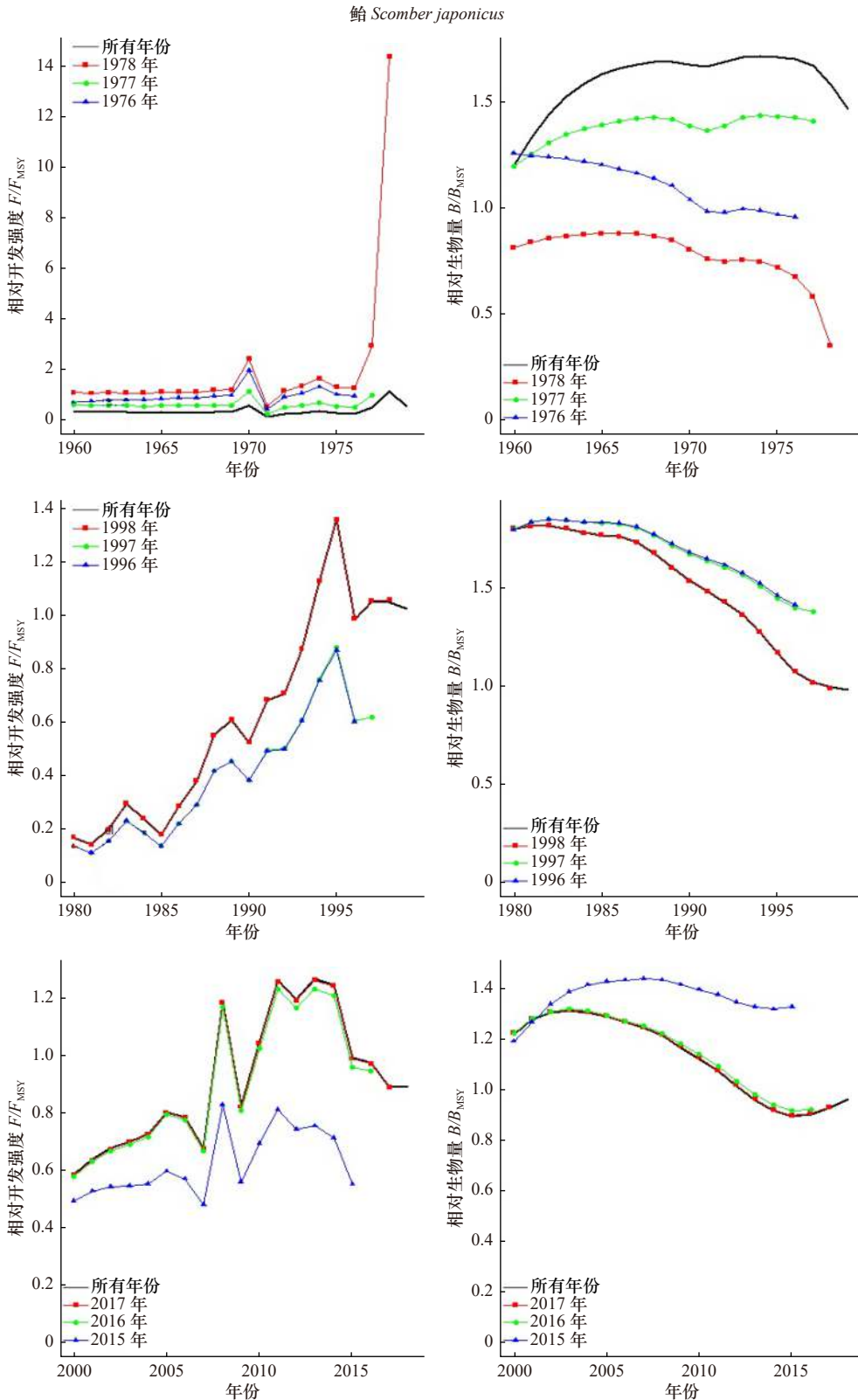


图 3 使用在不同渔业发展阶段带鱼、鲷产量的回溯性分析结果

Fig. 3 Retrospective analysis of hairtail (*Trichiurus lepturus*) and mackerel (*Scomber japonicus*) with catches of different development stages

渔获量数据进行评估时准确性较高,往往长时间尺度的数据同时也兼具此特征。

4.2 不同渔业发展阶段的资源状况

有学者根据捕捞能力和渔获种类的变化,提出我

表 5 不同渔获量误差情况下鲈的评估结果分析

Table 5 Stock assessment results for mackerel (*Scomber japonicus*) at different levels of error in catch data

物种	渔获量数据误差 (C_v)/%	最大可持续产量 MSY/(10^3 t)	MSY变异系数 C_v	MSY生物量 $B_{MSY}/(10^3$ t)	B_{MSY} 变异系数 C_v	MSY开发强度 F_{MSY}	F_{MSY} 变异系数 C_v
鲈 <i>Scomber japonicus</i>	0	50.21	0.055	179.03	0.152	0.283	0.161
	5	50.05	0.058	178.08	0.146	0.283	0.159
	10	50.16	0.065	179.21	0.151	0.282	0.161
	20	50.81	0.083	180.27	0.154	0.284	0.159
	30	51.44	0.100	183.15	0.155	0.283	0.165

国渔业发展的不同阶段^[33-36],即在 20 世纪 60 年代后的 10 年中,渔业资源开始得到充分利用,从 20 世纪 70 年代到 80 年代中期,海洋渔业的发展加快,捕捞努力量增大、渔获量增加,但很多传统鱼类资源衰退,小型、低质量、中上层渔获量增加。这与本研究对鲈和带鱼不同阶段的评估结果一致,在 3 个渔业发展阶段的评估中,鲈的资源状况在恢复发展的阶段(1960-1979 年)处于健康良好状态;随着捕捞努力量的增加,在快速增长阶段(1980-1999 年)资源开发强度增加、生物量迅速下降;到渔获量下降阶段(2000-2018 年),由于政府对捕捞作业进行了管控,开发强度降低,但生物量仍处于较低水平。带鱼在前两个渔业发展阶段的资源状况良好($B/B_{MSY}>1$, $F/F_{MSY}<1$),但开发强度逐渐增加,生物量轨迹在 1990 年后有降低的趋势,在渔获量下降阶段(2000-2018 年),几乎所有年份均处于过度捕捞状态。虽渔获量数据特点可能导致 B/B_{MSY} 估算偏低, F/F_{MSY} 估算偏高,从而产生较大误差,但 2014 年后渔获量的持续下降也反映了带鱼资源状况的下滑趋势。20 世纪 80 年代中期以后,政府提出相应管理政策对捕捞作业进行了限制,包括渔具、渔区、季节以及网目尺寸的限制^[37],降低了资源开发强度,这与鲈第 3 阶段的资源评估结果一致。但同时,当前的渔业管理措施中,仍有一部分没有达到预期效果^[38-39],资源衰退问题仍然严重^[40-42],因此渔业资源评估和科学管理仍是亟待解决的实际问题^[43]。

4.3 渔获量数据的不确定性

渔获量数据的不确定性是目前我国乃至很多发展中国家普遍存在的问题,“Sea Around Us”研究计划的调查表明,每年有 27%~40% 的海洋渔业捕捞渔获量未向联合国粮农组织报告^[44-45]。我国是世界上最大的渔业国,也是全球海产品贸易的主要参与

者^[46],但有学者指出,自 1980 年以来,我国海洋渔业渔获量存在多报情况^[47-48],以上情况都会导致渔获量数据的不确定性,因此本研究对渔获量数据不确定性下 CMSY 方法的可靠性进行了测试。目前已有学者针对渔获量的统计偏差对资源评估结果的影响开展了研究,分别探究了 ASAP、ASM、BSM、Hilborn-Waters(H-W)、Schnute 以及 Prager 等模型方法的可靠性^[16-18],但对于 CMSY 等数据有限方法的研究尚有不足。CMSY 是在 Catch-MSY^[49]的基础上,依据参数 r 的相关信息对 k 的先验分布进一步限制,同时使用了更为稳定的几何平均数描述模型的输出结果,其准确性与贝叶斯剩余产量模型(BSM)十分接近^[8]。已有很多学者利用 CMSY 方法开展了资源评估工作^[28, 50-52],表明其结果相对于 Catch-MSY 方法更为可靠^[53-54]。

本研究阐述了渔获量数据的误差对 CMSY 评估结果的影响,结果表明,在误差增加至 20% 以上,MSY 和 B_{MSY} 估计值虽有一定上升,但整体而言变化不显著,表明 CMSY 方法对于数据的观测误差较为稳健^[18]。由于实际的渔业生产数据中观测误差难以避免,且相关研究表明,依赖于渔获量的数据有限方法普遍存在对 B/B_{MSY} 的估计偏差^[53],因此 CMSY 评估结果可能是有偏的,其反映的渔业资源状况向健康状态倾斜。该结果对于 CMSY 在实际渔业管理中的应用具有重要参考意义,在使用 CMSY 方法的评估结果指导渔业政策的制定时,仍需注意尽量采用保守的渔业管理策略,以降低过度捕捞风险,提高管理措施的可靠性。在未来 CMSY 方法的发展中,应针对渔获量数据观测误差方面开展修正研究,以进一步确保评估结果的准确性,同时应考虑优化丰度数据辅助评估及参数估算,并应用 BSM 等多种数据有限方法同时开展研究,以提高资源评估结果的稳健性。

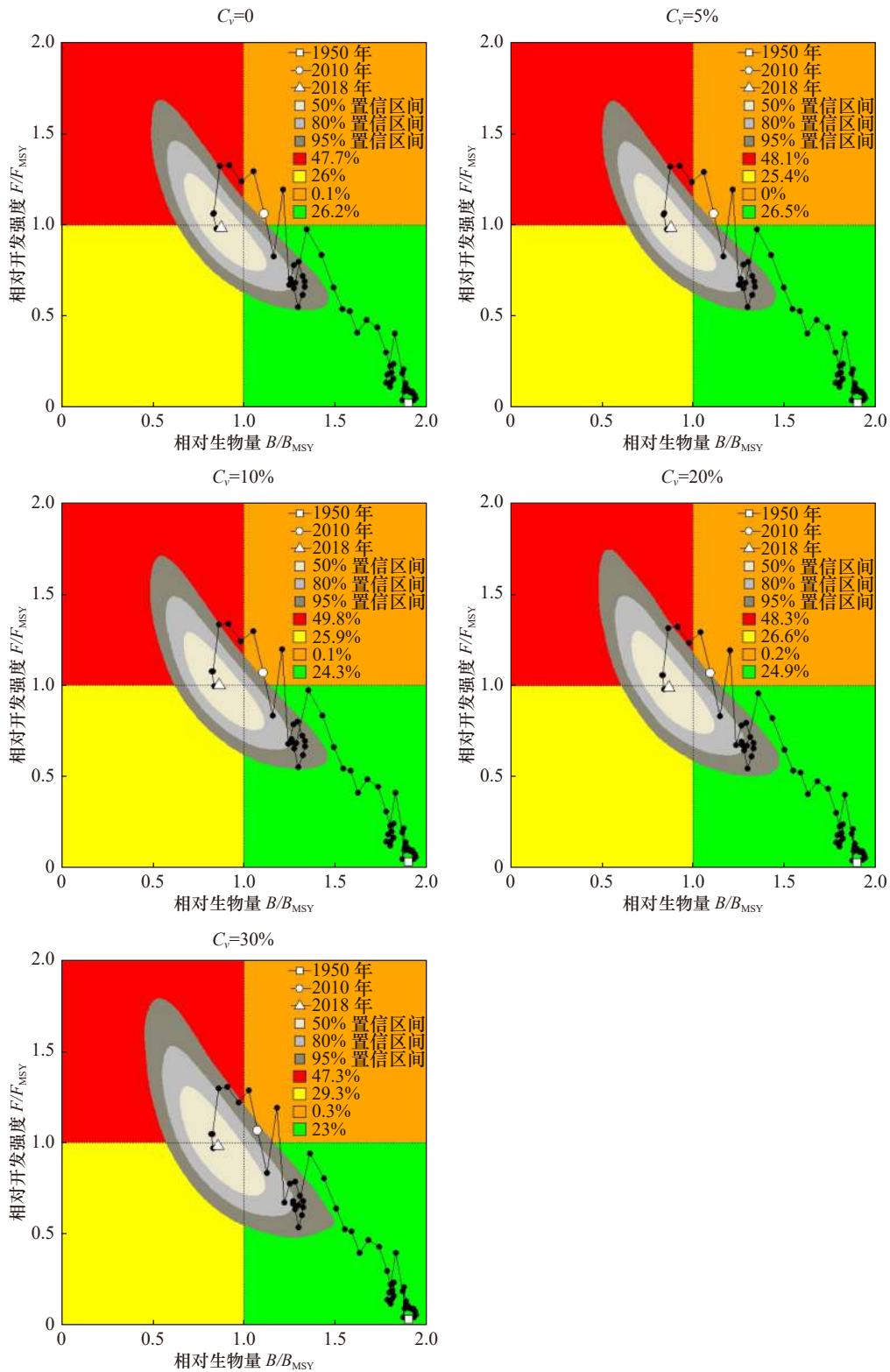


图 4 不同渔获量数据误差情况下鲈的评估结果 KOBE 图

Fig. 4 KOBE plot of mackerel (*Scomber japonicus*) at different levels of error in catch data

右上方图例中的 4 种颜色对应的百分数表示最后一年该物种落入其中一个彩色区域的概率

The legend in the upper right graph indicates the probability of the last year falling into one of the colored areas

参考文献:

[1] Costello C, Ovando D A, Hilborn R, et al. Status and solutions for the world's unassessed fisheries[J]. *Science*, 2012, 338(6106): 517-520.

- [2] Hilborn R, Amoroso R O, Anderson C M, et al. Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, 117(4): 2218–2224.
- [3] Harley S J, Williams P, Nicol S, et al. The western and central Pacific tuna fishery: 2010 overview and status of stocks[R]. Noumea, New Caledonia: Secretariat of the Pacific Community, 2011.
- [4] Harley S, Davies N, Hampton J, et al. Stock assessment of bigeye tuna in the western and central Pacific Ocean[R]. Majuro, Marshall Islands: Western and Central Pacific Fisheries Commission, 2014.
- [5] Pauly D. Major trends in small-scale marine fisheries, with emphasis on developing countries, and some implications for the social sciences[J]. *Maritime Studies*, 2006, 4(2): 7–22.
- [6] Costello C, Ovando D. Status, institutions, and prospects for global capture fisheries[J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2019, 44: 177–200.
- [7] Froese R, Zeller D, Kleisner K, et al. What catch data can tell us about the status of global fisheries[J]. *Marine Biology*, 2012, 159(6): 1283–1292.
- [8] 耿喆, 朱江峰, 夏萌, 等. 数据缺乏条件下的渔业资源评估方法研究进展[J]. *海洋湖沼通报*, 2018(5): 130–137.
Geng Zhe, Zhu Jiangfeng, Xia Meng, et al. Research progress in fishery stock assessment using data-poor/limited methods[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2018(5): 130–137.
- [9] Liang Cui, Pauly D. Fisheries impacts on China's coastal ecosystems: unmasking a pervasive 'fishing down' effect[J]. *PLoS One*, 2017, 12(3): e0173296.
- [10] 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.
- [11] Demirel N, Zengin M, Ulman A. First large-scale eastern mediterranean and Black Sea stock assessment reveals a dramatic decline[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 103.
- [12] Zhang Kui, Zhang Jun, Xu Youwei, et al. Application of a catch-based method for stock assessment of three important fisheries in the East China Sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2018, 37(2): 102–109.
- [13] Liang Cui, Xian Weiwei, Pauly D. Assessments of 15 exploited fish stocks in Chinese, South Korean and Japanese waters using the CMSY and BSM methods[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 623.
- [14] Wang Yibang, Wang Yuanchao, Liang Cui, et al. Assessment of 12 fish species in the northwest Pacific using the CMSY and BSM methods[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 616.
- [15] 官文江, 高峰, 雷林, 等. 渔业资源评估中的回顾性问题[J]. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(5): 841–847.
Guan Wenjiang, Gao Feng, Lei Lin, et al. Retrospective problem in fishery stock assessment[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, 21(5): 841–847.
- [16] 李亚楠, 戴小杰, 朱江峰, 等. 渔获量不确定性对印度洋大眼金枪鱼资源评估的影响[J]. *渔业科学进展*, 2018, 39(5): 1–9.
Li Ya'nan, Dai Xiaojie, Zhu Jiangfeng, et al. Impact of catch uncertainty on the stock assessment of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(5): 1–9.
- [17] Wang Yingbin, Zheng Ji, Wang Zheng. Impacts of distorted fishery statistical data on assessments of three surplus production models[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2011, 29(2): 270–276.
- [18] 张魁, 刘群, 廖宝超, 等. 渔业数据失真对两种非平衡剩余产量模型评估结果的影响比较[J]. *水产学报*, 2018, 42(9): 1378–1389.
Zhang Kui, Liu Qun, Liao Baochao, et al. Comparative effects of distorted fishery data on assessment results of two non-equilibrium surplus production models[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(9): 1378–1389.
- [19] Watson R, Pang L, Pauly D. The marine fisheries of China: development and reported catches[R]. Vancouver: Fisheries Centre, University of British Columbia, 2001.
- [20] 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.
- [21] Mohn R. The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1999, 56(4): 473–488.
- [22] Szuwalski C S, Ianelli J N, Punt A E. Reducing retrospective patterns in stock assessment and impacts on management performance[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2018, 75(2): 596–609.
- [23] Brooks E N, Legault C M. Retrospective forecasting—evaluating performance of stock projections for New England groundfish stocks[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2016, 73(6): 935–950.
- [24] Zhang Fan, Reid K B, Nudds T D. The longer the better? Trade-offs in fisheries stock assessment in dynamic ecosystems[J]. *Fish and Fisheries*, 2021, 22(4): 789–797.
- [25] 高强, 李大良, 贾海明. 我国渔业发展研究综述[J]. *渔业经济研究*, 2008(1): 13–19.
Gao Qiang, Li Daliang, Jia Haiming. Research on our country's fishery development[J]. *Fisheries Economy Research*, 2008(1): 13–19.
- [26] Garibaldi L. The FAO global capture production database: a six-decade effort to catch the trend[J]. *Marine Policy*, 2012, 36(3): 760–768.
- [27] 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.

- [28] Miyagawa M, Ichinokawa M, Yoda M, et al. Commentary: stock status assessments for 12 exploited fishery species in the Tsushima Warm Current region, Southwest Japan and East China, using the CMSY and BSM methods[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2021, 8: 703039.
- [29] Ju Peilong, Tian Yongjun, Chen Mingru, et al. Evaluating stock status of 16 commercial fish species in the coastal and offshore waters of taiwan using the CMSY and BSM methods[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 618.
- [30] Ren Qingqiang, Liu Min. Assessing northwest Pacific fishery stocks using two new methods: the Monte Carlo catch-MSY (CMSY) and the Bayesian Schaefer model (BSM)[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 430.
- [31] Bouch P, Minto C, Reid D G. Comparative performance of data-poor CMSY and data-moderate SPiCT stock assessment methods when applied to data-rich, real-world stocks[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2021, 78(1): 264–276.
- [32] Zhai Lu, Liang Cui, Pauly D. Assessments of 16 exploited fish stocks in Chinese waters using the CMSY and BSM methods[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 483993.
- [33] Yu Huming. Marine fishery management in PR China[J]. *Marine Policy*, 1991, 15(1): 23–32.
- [34] Wang S D H, Zhan Bingyi. Marine fishery resource management in PR China[J]. *Marine Policy*, 1992, 16(3): 197–209.
- [35] 吴子彦. 基于可持续发展的我国海洋渔业资源有效管理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- Wu Ziyang. Study on effective management of China's marine fishery resources based on sustainable development[D]. Changchun: Jilin University, 2009.
- [36] 林学钦. 伏季休渔实施十年论我国渔业资源和资源管理问题[J]. 厦门科技, 2004(6): 11–15.
- Lin Xueqin. 10th anniversary of implementation of summer fishing moratorium-study on issues of fishery resource and resource management[J]. *Xiamen Science and Technology*, 2004(6): 11–15.
- [37] Shen Gongming, Heino M. An overview of marine fisheries management in China[J]. *Marine Policy*, 2014, 44: 265–272.
- [38] 侯秀琼. 我国海洋渔业的发展状况及对策[J]. 科技致富向导, 2012(12): 328–329.
- Hou Xiuqiong. The development and measures of Chinese marine fishery situation[J]. *Guide of Sci-Tech Magazine*, 2012(12): 328–329.
- [39] 李尚鲁. 我国沿海海洋渔业经济可持续发展对策[J]. 海洋开发与管理, 2009, 26(9): 72–75.
- Li Shanglu. The sustainable developing countermeasures of marine fishery economy in 8 coastal provinces of China[J]. *Ocean Development and Management*, 2009, 26(9): 72–75.
- [40] 卢秀容. 中国海洋渔业资源可持续利用和有效管理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005.
- Lu Xiurong. Study on sustainable utilization and effective management of marine fishery resources in China[D]. Wuhan: Hua Zhong Agriculture University, 2005.
- [41] 慕永通. 我国海洋捕捞业的困境与出路[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2005(2): 1–5.
- Mu Yongtong. The predicament and outlet of China's marine fishing[J]. *Journal of Ocean University of China (Social Sciences Edition)*, 2005(2): 1–5.
- [42] 居占杰, 韩倩. 加强我国海洋渔业资源管理的思考[J]. 河北渔业, 2009(9): 48–50.
- Ju Zhanjie, Han Qian. The opinion of strengthening the management of sea fishery resources in China[J]. *Hebei Fisheries*, 2009(9): 48–50.
- [43] 唐议, 邹伟红, 胡振明. 基于统计数据的中国海洋渔业资源利用状况及管理分析[J]. 资源科学, 2009, 31(6): 1061–1068.
- Tang Yi, Zou Weihong, Hu Zhenming. An analysis of utilization status and management of marine fisheries resources in China based on statistics data[J]. *Resources Science*, 2009, 31(6): 1061–1068.
- [44] Pauly D, Zeller D. Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining[J]. *Nature Communications*, 2016, 7(1): 10244.
- [45] Pauly D, Zeller D. Comments on FAOs *state of world fisheries and aquaculture* (SOFIA 2016)[J]. *Marine Policy*, 2017, 77: 176–181.
- [46] Su Shu, Tang Yi, Chang Bowen, et al. Evolution of marine fisheries management in China from 1949 to 2019: how did China get here and where does China go next?[J]. *Fish and Fisheries*, 2020, 21(2): 435–452.
- [47] Pauly D. Global fisheries: a brief review[J]. *Journal of Biological Research-Thessaloniki*, 2008, 9: 3–9.
- [48] Watson R, Pauly D. Systematic distortions in world fisheries catch trends[J]. *Nature*, 2001, 414(6863): 534–536.
- [49] Martell S, Froese R. A simple method for estimating MSY from catch and resilience[J]. *Fish and Fisheries*, 2013, 14(4): 504–514.
- [50] Zhang Shanshan, Wang Yibang, Wang Yuanchao, et al. Assessment of 11 exploited fish and invertebrate populations in the Japan Sea using the CMSY and BSM methods[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 525363.
- [51] Winker H, Carvalho F, Sharma R, et al. Initial results for North and South Atlantic shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) stock assessments using the Bayesian surplus production model JABBA and the catch-resilience method CMSY[R]. Spain, Madrid: International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, 2017.
- [52] Rosenberg A A, Kleisner K M, Afflerbach J, et al. Applying a new ensemble approach to estimating stock status of marine fisheries around the world[J]. *Conservation Letters*, 2018, 11(1): e12363.
- [53] Free C M, Jensen O P, Anderson S C, et al. Blood from a stone: performance of catch-only methods in estimating stock biomass status[J]. *Fisheries Research*, 2020, 223: 105452.
- [54] 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]. Rome: FAO, 2014: 175.

Effects of lengths of catch time series on stock assessment using CMSY method

Li Qi^{1,3}, Liu Shude², Wang Kun^{1,3}, Zhang Chongliang^{1,3}

(1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Shandong Fisheries Development and Resources Conservation Center, Yantai 264003, China; 3. Field Observation and Research Station of Haizhou Bay Fishery Ecosystem, Ministry of Education, Qingdao 266003, China)

Abstract: The majority of global fish stocks lack adequate data for their stock statuses to be assessed using conventional stock assessment methods. Data-limited methods, such as CMSY, have been increasingly recommended as new solutions for stock assessment and fishery management. However, CMSY is highly dependent on data quality, and the reliability of the method is yet to be verified under circumstances of limited length of time series data and variable observational errors. In this study, we investigated effects of lengths of catch time series, stages of fishery development, and levels of observational errors in catches on stock assessment of three economically-important species in the Yellow Sea using CMSY method. The results show that chub mackerel (*Scomber japonicus*), hairtail (*Trichiurus lepturus*), and silver pomfret (*Pampus argenteus*), all have been overfished ($B/B_{MSY} < 1$ and $F/F_{MSY} > 1$), with their yields higher than estimated MSY since 2000, and although their fishing intensities have been reduced over the most recent decade, their biomasses remain at low levels ($B/B_{MSY} < 1$). The retrospective analysis show small differences in the results of stock assessment for the three species, indicating that the assessments are robust enough with long time series data. As to effects of lengths of catch time series, the assessments are more stable using time series data covering a period of both rise and fall in catches. The effect of observational errors in catches is also tested, showing that when the error is $>20\%$, the model tend to overestimate MSY and B_{MSY} , but the assessment remains robust enough. This study suggests that cautions should be undertaken in the application of CMSY by using longer time series of catch data and, in the presence of high uncertainty in the assessment, more conservative measures should be taken in fishery management.

Key words: data-limited methods; fishery stock assessment; CMSY method; fisheries yield; time series data