

DOI: 10.12264/JFSC2023-0344

西北太平洋鲈的资源养护和管理研究

蔡锴^{1,2}, 周雨霏¹, 麻秋云^{1,3,4}, KINDONG Richard^{1,3,4}

1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;
2. 浙江大学海洋学院, 浙江 舟山 316021;
3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;
4. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306

摘要: 鲈(*Scomber japonicus*)是西北太平洋海域重要的渔业种类, 该渔业涉及多个国家的多种作业方式, 渔业形势较复杂, 但目前西北太平洋海域尚无基于资源评估的、完善的鲈养护管理措施。本研究使用传统渔业管理方法(资源预测)和较新颖的方法[数据有限的渔业管理规程评价(management strategy evaluation, MSE)]对鲈的渔业管理进行了研究。在资源预测方法中, 通过 JABBA 和 JABBA-Select 两个资源评估模型对种群未来的资源动态进行模拟, 探讨不同捕捞控制规则(harvest control rules, HCR)下种群的变化。本研究设置了 4 个 HCR, 分别以 2020 年渔获量的 0.8~1.4 倍, 最大可持续产量 MSY 、 $B \times F_{MSY}$ 和 $SB \times H_{MSY}$ (分别用于 JABBA 和 JABBA-Select)、历史最高渔获量为总可捕量(total allowable catch, TAC), 预测 2023—2032 年间的鲈种群变化。结果显示基于亲体资源量进行研究的 JABBA-Select 模型, 其预测结果相比于 JABBA 模型略悲观, 但都是基于生物学参考点设定的 HCR 养护和管理效果最好(TAC 分别为 50~80 万 t 和 50~66 万 t)。MSE 则根据设定筛选出 12 种养护管理效果较好的策略, 其中 DAAC (消耗率修正后的平均捕获量)与 SBT2 (基于资源量和渔获量水平的总可捕量递增矫正法)养护管理效果最好。SBT2 求得的 TAC (520387 t), 与近些年产量及上述 HCR 的结果较为接近。此外, 敏感性分析表明, 可捕系数, 自然死亡系数和渔获量相关的参数(平均渔获量、渔获量、渔获量参考点)对于养护管理效果的影响最为明显, 需要额外关注两者的准确性和精确性。现阶段为确保西北太平洋鲈资源的养护和最佳利用, 建议根据 $B \times F_{MSY}$ 或 $SB \times H_{MSY}$ 设定年可捕量, 同时基于资源量和渔获量水平进行调整, 综合制定管理措施。

关键词: 渔业管理; 有限数据方法; 种群预测; 总可捕量

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2024)04-0439-15

鲈(*Scomber japonicus*)是广泛分布于西北太平洋海域的中上层洄游性鱼类^[1], 具有较高经济价值, 是中国、日本、俄罗斯重要的捕捞对象。该海域的渔业受北太平洋渔业委员会(North Pacific Fisheries Commission, NPFC)管辖, 现阶段其养护管理措施为一般性预防措施, NPFC 正在进行资源评估以备更新养护管理措施, 而全面系统的管理规程评价仍处于研究阶段^[2]。针对鲈资源评估的研究表明, 现阶段鲈资源状态处于健康的可能性较大, 但有向过度捕捞状态发展的趋势^[3-5]。自

2015 年我国加入 NPFC 以来, 便开始在其管辖海域内捕捞鲈, 2015 年产量近 14 万 t, 2021 年产量约 10.8 万 t^[2]。西北太平洋鲈的资源状况和管理措施对我国远洋渔业发展具有重要的影响。

现阶段, 国际上的渔业管理方法一般分为两种。传统方法主要通过资源评估结果, 如最大可持续产量(MSY)和捕捞死亡系数(F_{MSY})等确定总可捕渔获量(total allowable catch, TAC)或者总可捕努力量(total allowable effort, TAE)^[6-7]。传统方法可通过历史渔获产量, 估算过去及现在的资源

收稿日期: 2023-12-15; 修订日期: 2024-02-18.

基金项目: 国家自然科学基金项目(32202934); 农业农村部全球渔业资源调查监测评估(公海渔业资源综合科学调查)专项; 国家重点研发计划项目(2019YFD0901404).

作者简介: 蔡锴(1998-), 男, 硕士, 研究方向为渔业资源评估. E-mail: kcaishou@163.com

通信作者: 麻秋云, 讲师, 研究方向为种群动力学和渔业资源评估. E-mail: qyama@shou.edu.cn

丰度及生产力水平,应用基于参考点的捕捞控制规则(harvest control rules, HCR),考虑资源未来的发展趋势,从而制定相应的渔业管理规程^[8]。另一种渔业管理方法则是管理规程评价(management strategy evaluation, MSE)^[9]。作为一种系统性方法, MSE 通过计算机模拟管理对象的渔业,在给定的目标下,以测试和评价不同管理规程的表现^[9]。而 DLMtool 是基于 R 的一款适用于数据有限渔业管理规程的软件包,其内置了 100 多种管理规程,可以根据目标鱼种的不同数据类型筛选合适的管理规程,目前已被多个学者应用于渔业管理,如北太平洋中西部剑鱼(*Xiphias gladius*)^[10]、东海区小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)^[11]、印度洋条纹四鳍旗鱼(*Tetrapturus audax*)^[12]等。传统方法较之 MSE,所需的参数相对较少,且操作较为便捷,但渔业作为一个复杂的系统,传统方法可能会忽视多个环节产生的误差,如数据收集,系统误差等,而 MSE 可以有效地避免这些问题^[8]。因而有必要将两种方法进行一个对比,不仅可以得到现阶段的西北太平洋鲈的初步管理方法,也为后续及其他渔业的养护管理工作提供借鉴。

JABBA (just another Bayesian biomass assessment)是一种基于贝叶斯的状态空间剩余产量模型^[12], JABBA-Select 是基于 JABBA 所提出的一种既能考虑不同的渔业选择性^[13],又能综合物种生活史参数的资源评估模型^[14]。Cai 等^[15]根据 NPFC 公布的西北太平洋鲈的渔获量数据和相关生活史信息,通过 JABBA 和 JABBA-Select 模型对其进行了资源评估,估算了其种群资源状态和生物学参考点等内容。本研究根据其结果^[15],简单分析了在执行不同捕捞控制规则下鲈种群的动态变化,评价其管理效果;另一方面基于 DLMtool 软件包,对鲈进行管理规程评价^[16]。综合两种方法得到的结果,为西北太平洋鲈渔业提供管理建议。

1 材料与方法

1.1 基于资源评估结果的管理效果预测

本研究基于 JABBA 和 JABBA-Select 模型对西北太平洋鲈资源评估的结果,对种群未来的资源动态进行模拟,以评价不同捕捞控制规则的管

理效果。本研究所用渔获量数据则来自于 NPFC 鲈鱼工作组,渔获量为 NPFC 中各鲈捕捞方采用的所有捕捞方式(如围网、拖网、舷提网等)的总渔获量,时间序列为 1995—2020 年,该部分数据代表该海域内所有的鲈渔业,已通过 NPFC 鲈鱼工作组的审核,作为鲈资源评估的基础数据^[2]。资源评估参数设定详见 Cai 等^[15]对于两种模型的基础方案。本研究设置了 4 种捕捞控制规则,在未来十年间(即 2023—2032 年)控制 TAC,预测鲈的种群动态。其中资源评估年份至 2020 年,2021 年渔获量为已报告的实际数据,2022 年的渔获量设为 2018—2020 年平均值。

HCR_1 包含 6 个设定,即 TAC 在 2020 年渔获量(460238 t)的基础上分别 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 、 $+30\%$ 和 $+40\%$ 。

HCR_2, 渔获量维持在 MSY 水平,即 $TAC = MSY$ 。

HCR_3, 基于 JABBA 模型 $TAC_{t+1} = B_t \times F_{MSY}$, 其中, B_t 为 t 年的生物量, F_{MSY} (F 为捕捞死亡系数, $F = C/B$, C 为产量, B 为生物量) 为获得 MSY 时的捕捞死亡系数; 基于 JABBA-Select 模型则是 $TAC_{t+1} = SB_t \times H_{MSY}$, 其中 SB_t 为 t 年时产卵生物量, H_{MSY} (H 为捕获率, $H = C/SB$, SB 为产卵生物量) 为获得 MSY 时的收获率。

HCR_4, 根据 JABBA 和 JABBA-Select 评估模型结果,现阶段鲈资源处于健康状态的可能性较大,因而将 TAC 假定在历史最高产量,即 2018 年的 568006 t。

现阶段, NPFC 尚未确定用于鲈养护管理的具体生物学参考点,但总结了其他区域渔业组织和国家等对类似中上层小型鱼类的生物学参考点,建议可采取 B_{MSY} (获得 MSY 时的生物量)、 SB_{MSY} (获得 MSY 时的产卵生物量)、 SB_0 (种群未开发时的产卵生物量)、 F_{MSY} 等参数进行设定^[17]。目前国际上普遍采用基于 MSY 的生物学参考点,美国、欧盟采取 B_{MSY} 作为生物量的目标参考点,限制参考点则定义为 B_{MSY} 的某一比例(美国一般为 $50\% B_{MSY}$, 加拿大为 $40\% B_{MSY}$); 将 F_{MSY} 定义捕捞的限制参考点,目标参考点低于 F_{MSY} (一般为 $80\% F_{MSY}$)^[18-20]。基于此,本研究在 JABBA 和 JABBA-Select 中分别设定了目标参考点和限制参考点(表 1)。

表 1 JABBA 和 JABBA-Select 的生物学参考点
Tab. 1 Biological reference points of JABBA and JABBA-Select

	生物量的目标参考点 target biomass reference points	捕捞的目标参考点 target fishing reference points	生物量的限制参考点 limit biomass reference points	捕捞的限制参考点 limit fishing reference points
JABBA	B_{MSY}	80% F_{MSY}	45% B_{MSY}	F_{MSY}
JABBA-Select	SB_{MSY}	80% H_{MSY}	45% SB_{MSY}	H_{MSY}

将上述假定的未来渔获量的动态变化导入到两个资源评估模型中, 可预测得到西北太平洋种群的生物量 B 、捕捞死亡系数 F 、 B/K (生物量/环境容纳量)、 B/B_{MSY} 和 F/F_{MSY} 的联合后验分布。基于未来短期(2023—2025 年)和长期(2023—2032 年)的预测, 得到 Kobe II 策略矩阵, 即 2025 年和 2032 年, B 和 F 越过目标参考点和限制参考点的概率。

1.2 管理规程评价

本研究对管理规程评价框架使用基于 R 软件的 DLMtool (6.0.6) 开放程序包, 找寻适合西北太平洋鲈资源现状的管理规程, 并证明其有效性和

稳健性, 从而制定 TAC 等相应的捕捞控制规则^[16]。在 DLMtool 进行 MSE 的步骤包括: 首先通过导入渔业开发参数来筛选在已有的数据下可支撑运行的管理规程(management procedure, MP), 并获得短期管理建议; 进一步获得长期效果管理评价则需构建操作模型(operating model), 所需要的数据和参数包括种群信息(stock)、渔业信息(fleet)、观测信息(observation)和策略实施(implementation); 最后将第二步中的操作模型与第一步中筛选出来 MPs 共同运行 MSE, 并根据设定的相关管理目标筛选并得到最合理的 MPs (表 2~4)。

表 2 西北太平洋鲈用于 DLMtool 研究的真实渔业开发参数

Tab. 2 The value and definitions of parameters used in DLMtool for *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific

参数 parameter	描述 description	值 value	参考文献 reference
last historical year	历史数据的最后一年	2020	[21]
maximum age	最大年龄	11	[22]
M	自然死亡系数/a	0.41	[22]
L_{inf}	渐近体长/mm	446	[22]
k	生长系数	0.2	[22]
t_0	体长为零时的理论年龄	-3.05	[22]
a	体长体重关系条件因子	3.12×10^{-6}	[23]
b	体长体重关系幂指数系数	3.23	[23]
steepness	亲体补充量关系陡度	0.8	[2]
L_{50}	50%性成熟长度/mm	300	[24]
L_{95}	95%性成熟长度/mm	350	[24]
catch	1995—2020 年渔获量数据/t		[21]
effort	2010—2020 年船舶数量		[21]
current stock depletion	2020 年的种群衰减率	0.39	[15]
current stock abundance	2020 年资源量/t	1.73×10^6 t	[15]
current spawning abundance	2020 年产卵生物量/t	1.10×10^6 t	[15]
F_{MSY}/M		1.08	[15]
B_{MSY}/B_0		0.4	[15]
catch reference	渔获量参考点, MSY/t	5.60×10^5 t	[15]
biomass reference	生物量参考点, B_{MSY} /t	1.23×10^6 t	[15]
t	与 AvC 和 D_t 对应的年数	5	[21]
AvC (average catch)	t 年平均渔获量/t	5.26×10^5 t	[21]
D_t	t 年亲体量衰减率	0.68	[15]
abundance index	丰度指数		[25]
			[26]
spawning abundance index	产卵群体丰度指数		[27]
recruitment index	补充量丰度指数		[28]

表 3 西北太平洋鲈用于 DLMtool 研究的种群参数

Tab. 3 The values and definitions of stock parameters for *Scomber japonicus* of Northwest Pacific

参数 parameter	描述 description	值或范围 value or range	参考文献 reference
Maxage	最大年龄	11	[22]
R_0	未开发时的补充量, 基于最高渔获量任意指定	1000	指定 signated
M	自然死亡系数	(0.36, 0.72)	[2]
Msd	自然死亡系数年际变化	(0, 0.1)	指定 signated
h	陡度, 亲体量降低到未开发期亲体量的 20%时, 补充量相对未开发期补充量水平的比例	(0.7, 0.9)	[22]
SRrel	Beverton-Holt 模型	1	[22]
Perr	对数正态补充量的变化范围	(0.15, 0.3)	指定 signated
AC	补充变化自相关	(0.1, 0.9)	指定 signated
Linf	渐近体长/mm	(371, 446)	[22]
Linfstd	渐近体长年际变化	(0, 0.025)	指定 signated
k	生长系数	(0.2, 0.54)	[22]
Ksd	生长速度年际变化	(0, 0.025)	指定 signated
t_0	体长为零时的理论年龄	(-3.05, -1.4)	[22]
LenCV	不同年龄体长的变异系数	(0.1, 0.12)	指定 signated
L_{50}	50%性成熟长度/mm	(300, 350)	[24]
$L_{50_{95}}$	50%性成熟到 95%性成熟长度增量/mm	(50, 100)	[24]
D	衰减率, $B_{current}/B_{unfished}$	(0.37, 0.76)	[15]
a	体长体重关系条件因子	3.12×10^{-6}	[23]
b	体长体重关系幂指数系数	3.23	[23]
Size_area_1	已开发的相对面积	(0.8, 0.99)	指定 signated
Frac_area_1	已开发生物量比例	(0.8, 0.99)	指定 signated
Prob_staying	已开发区个体停留于该区域的概率	(0.8, 0.99)	指定 signated
Fdisc	丢弃的瞬时死亡率	(0.1, 0.3)	指定 signated

注: 指定表示 DLMtool 开发者设定的基础参数。

Note: Signated represents the basic parameters set by the developer of DLMtool.

表 4 西北太平洋鲈用于 DLMtool 研究的渔业捕捞动向参数

Tab. 4 The values (or ranges) and description of fleet dynamics parameters for *Scomber japonicus* of Northwest Pacific in DLMtool

参数 parameter	描述 description	值或范围 value or range	参考文献 reference
nyears	历史数据的长度(年)	26, 即 1995-2020 年	[21]
Spat_targ	空间目标参数, 捕捞强度和生物量空间分布关系	(1, 1)	指定 signated
EffYears	有信息可用来推断相对捕捞强度的历史年份	11	[21]
EffLower	与 EffYears 对应的相对捕捞强度的下限	根据 NPFC 数据库中鲈捕捞努力量天数和作业船数确定[某年天数(船数)/历史最大天数(船数)]	[21]
EffUpper	与 EffYears 对应的相对捕捞强度的上限		[21]
Esd	捕捞死亡系数的年间变化	(0.01, 0.1)	[15]
qinc	可捕系数变化率	(-2, 2)	指定 signated
qcv	可捕系数年际变化	(0.1, 0.3)	指定 signated
L_5	网具 5%选择时的体长/mm	(196, 216)	[15]
LFS	完全选择长度, 这里为 95%选择时的体长/mm	(294, 314)	[15]
Vmaxlen	最大体长组选择率	(0.99, 1)	指定 signated
CurrentYr	预测开始前模拟的最后一个历史年份	26	[21]

注: 指定表示 DLMtool 开发者设定的基础参数。

Note: Signated represents the basic parameters set by the developer of DLMtool.

DLMtool 中共包含了内置了 114 个 MPs, 包含 81 种产出(output)控制方案、27 种投入控制(input)方案、2 种混合(mixed)方案和 4 种参考(reference)方案。MSE 根据所建立的操作模型, 分析适宜的 MPs。运行模型之后, 计算每个管理程序(MP)在不同模拟次数下的性能指标(PI)的变化率(CR)。若低于设定的阈值(0.5), 则认为该 MP 已经收敛于稳定的 PI。在本研究中, 选择了以下 3 个 PI: 平均渔获量与渔获量参考点的比较、产卵生物量高于 10% B_{MSY} 的概率、渔获量的年平均变化低于 20% 的概率。

将上述收敛效果不佳的 MPs 剔除后, 根据以下 4 项标准筛选能够实现该渔业管理目标的合格方案: 种群能够支撑较高的产量(probability of high long-term yield), 即至少 60% 的模拟次数中长期渔获量(即预测中最后 10 年的渔获量)均能达到最大可持续产量的一半; 种群能够支撑比较稳定的产量[probability of AAVY (average annual variability in yield) less than 15%], 即至少 60% 的模拟次数中产量的年平均波动低于 15%; 种群资源不为过度捕捞状态(probability of biomass above half B_{MSY}), 即至少 60% 的模拟次数中种群生物量高于 0.5 B_{MSY} ; 种群未经受过度捕捞的开发(probability of not overfishing), 即至少 60% 的模

拟次数中捕捞强度低于 F_{MSY} 。此外, 本研究中将 4 项标准均高于 85% 定为具有优越性的 MPs。根据 DLMtool 对西北太平洋鲈操作模型信息的检验, 共有 69 个 MPs 适用于其养护管理, 但其中 28 种 MPs 在评估过程中, 模型无法收敛或模型不稳定。而模型收敛效果较好的 41 种 MPs 中, 能够实现较好管理目标仅有 12 种, 都为产出控制方案, 运用总可捕量 TAC 进行资源的养护管理(表 5)。

随着现代社会渔业捕捞技术的发展, 捕捞效率不断提升, 捕捞规模也在扩大, 因而可捕系数存在极大的上升可能性; 其次自然死亡系数和补充量是种群最难以准确估计的参数之一, 也是种群资源动态变化最重要的影响因素。因而本研究对于选择的 MPs, 通过稳健性(robustness)分析探讨其在不同的可捕系数(rob1_q)、陡度(rob2_h)和自然死亡系数(rob3_M)设定下, 渔业管理效果的变化。在 rob1_q 中将可捕系数 q 设为 2% 的年均增长率, 在 rob2_h 中亲体补充量关系(Beverton-Holt 模型)中的陡度范围设为 0.75~0.85 (基准 OM 中为 0.7~0.9), rob3_M 中将自然死亡系数设为 0.18~0.90 (基准 OM 中为 0.36~0.72)。此外, MSE 运行过程中涉及众多参数, 且不同的 MP 所需要的参数也不尽相同。本研究通过 DLMtool 内置的

表 5 适用于西北太平洋鲈渔业的管理规程

Tab. 5 The management procedures (MPs) satisficing for *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific

管理规程 management procedure	描述 description
CC1	稳定渔获量法, TAC 为设定年数(一般为最后 5 年)平均渔获量
CC2	90%稳定渔获量法, TAC 为设定年数(一般为最后 5 年)平均渔获量的 90%
CurC	历史渔获量法, TAC 是历史上最后一次捕捞量
DAAC	依据消耗水平修正后的平均捕获量, 在 DCAC 求得的 TAC ($F_{MSY} \times B_{MSY}$)基础上乘两倍的种群消耗水平除以 B_{MSY}/B_0
DBSRA_40	基于 40%衰减水平的种群消减分析法, 保持在 $B_{current}/B_0=0.4$
DBSRA	基于衰减水平的种群消减分析法, $TAC=B_0 \times Depletion$
DCAC	基于衰减水平矫正平均渔获量法, 使种群保持在 B_{MSY} 的水平
Fadapt	适应性捕捞死亡法, 捕捞死亡系数根据每年生物量进行调整, 以 $F_{MSY}/2$ 和 $2F_{MSY}$ 为边界
GB_CC	Geromont -Butterworth 稳定渔获量法, $TAC=C_{ref}$ 但当下一年 TAC 大于上一年产量 120% 时, 则 TAC 为上一年产量的 120%; 当下一年 TAC 小于上一年产量的 80% 时, 则 TAC 为上一年产量的 80%
HDAAC	依据种群状态不断调整年可捕量, 当种群生物量低于 B_{MSY} 时, TAC 为 DCAC 除以 B_{MSY}/B_0 , 若高于 B_{MSY} , 则为 DCAC
SBT2	基于资源量和渔获量水平的 TAC 递增矫正法, 根据 B_{MSY}/B_0 或 MSY 调整 TAC
SPmod	基于剩余产量的 TAC 递增矫正法, 根据剩余产量的调整 TAC

敏感性分析功能,对筛选后的最佳 MP 进行参数的敏感性分析,以探讨各参数对 MP 的潜在影响。本研究对每个 MPs, MSE 预测 25 年,并连续模拟 100 次。

2 结果与分析

2.1 基于资源评估结果对 HCR 的预测评价

2.1.1 JABBA 模型对 HCR 的预测评价 基于 4 类捕捞控制规则,通过 JABBA 模型对西北太平洋鲈在今后 10 年内的种群变动进行了模拟,分析了 2022—2032 年间资源消耗水平 B/K 和捕捞死亡系数 F 的变动,并预测了种群越过(违背)目标参考点和限制参考点的概率(图 1 和表 4)。在 JABBA 模型中, B_{target}/K 为 0.4 是因为笔者将 B_{MSY}/K 设定为 0.4 (图 1)。总体来说,在 HCR_1 (2020 年渔获量的 130%~140%)和 HCR_2、HCR_3、HCR_4 的管理下,鲈资源将在 3 年内都有部分参考点有 50% 概率会越过 MSY 目标参考点(表 6),但从 10 年时间尺度看, HCR_1 中 TAC 增幅不超过现阶段(2020 年)的 30%,管理效果与 HCR_4 比较接近,渔获量较高,且基本没有违背目标参考点和限制

参考点。此外,和生物学参考点直接关联的捕捞控制规则 HCR_3 ($B_t \times F_{\text{MSY}}$), 10 年后的管理效果也较好,没有越过资源量的目标和限制参考点。

2.1.2 JABBA-Select 模型对 HCR 的预测评价 基于 4 类捕捞控制规则,通过 JABBA-Select 模型对西北太平洋鲈在今后 10 年内的种群变动进行了模拟,分析了 2022—2032 年间资源消耗水平 B/SB_0 和捕捞率 H 的变动,并预测了种群越过(违背)目标参考点和限制参考点的概率(图 2 和表 7)。

各捕捞控制规则的管理效果比 JABBA 的结果略悲观:在 HCR_1 (2020 年渔获量的 120%~140%)和 HCR_2、HCR_3、HCR_4 的管理下,鲈资源将在 3 年内都有 50% 概率会越过目标参考点(表 7)。而十年后,在 HCR_1 中,不使 TAC 超过现阶段 10% (51 万 t),才能控制种群的资源量和渔获率不超过目标参考点; HCR_2 和 HCR_3 在 10 年内均不超过限制参考点(表 7)。

2.2 管理规程评价运行结果

在根据 4 项标准筛选能够实现渔业管理目标的 12 种 MPs 中,仅 DAAC 和 SBT2 实现管理目标的概率均超过 85% (图 3)。稳健性分析的结果

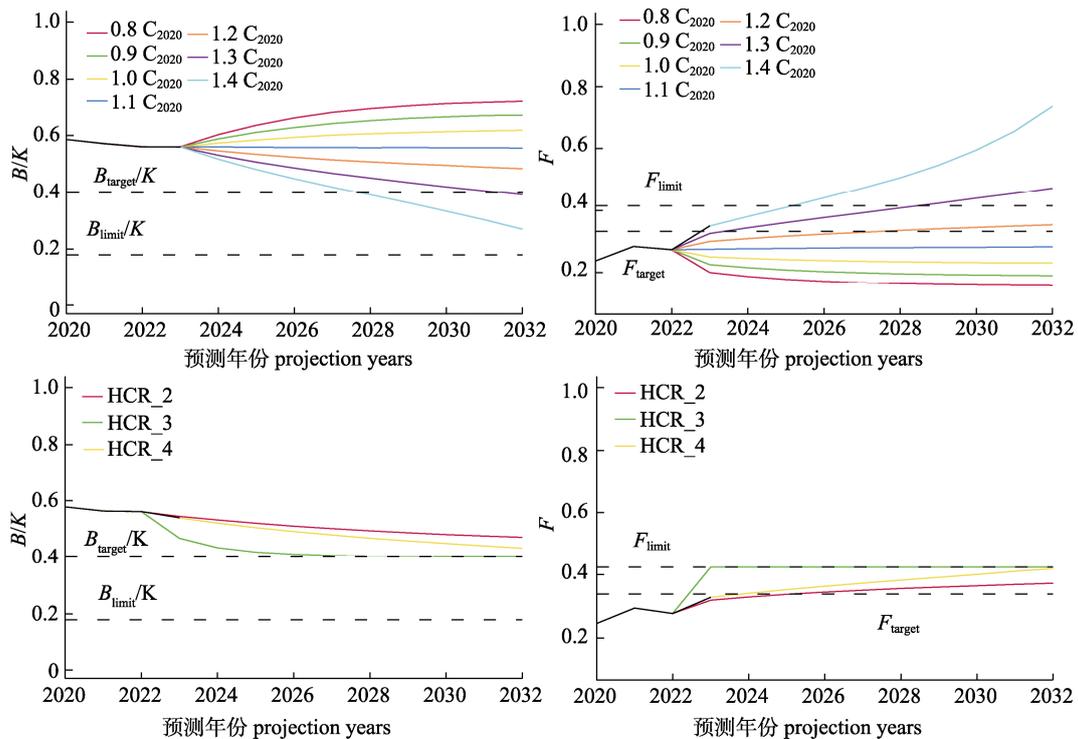


图 1 西北太平洋鲈 JABBA 资源评估基准方案下不同捕捞控制规则的预测分析

Fig. 1 Projections of four HCRs from JABBA for *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific

表 6 西北太平洋鲈 JABBA 资源评估基准方案下 Kobe II 策略矩阵

Tab. 5 Kobe II strategy matrix of JABBA base case for stock assessment of *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific

参考点 (万 t) reference point ($\times 10^4$ t)	HCR_1							HCR_2	HCR_3	HCR_4
	相对 2020 年的渔获量 relative to the catch level from 2020							MSY	$B_t \times F_{MSY}$	历史最大产量 largest catch in history
	80% (37)	90% (41)	100% (46)	110% (51)	120%(55)	130%(60)	140% (64)	54	50-80	57
越过目标参考点的概率/% the probability of exceeding the target reference points ($B_{target}=B_{MSY}$; $F_{target}=0.8F_{MSY}$)										
$B_{2025} < B_{target}$	6	9	11	15	19	23	28	14	22	29
$F_{2025} > F_{target}$	7	13	20	29	39	48	56	39	100	49
$B_{2032} < B_{target}$	2	5	12	21	33	45	54	16	49	43
$F_{2032} > F_{target}$	3	8	18	31	45	57	65	71	100	54
越过度限制参考点的概率/% the probability of exceeding the limit reference points ($B_{limit}=0.45B_{MSY}$; $F_{limit}=F_{MSY}$)										
$B_{2025} < B_{limit}$	1	1	2	2	3	4	6	2	0	8
$F_{2025} > F_{limit}$	4	7	11	18	25	33	42	14	0	36
$B_{2032} < B_{limit}$	1	3	5	11	18	28	38	4	0	29
$F_{2032} > F_{limit}$	2	5	12	22	35	47	57	16	0	46

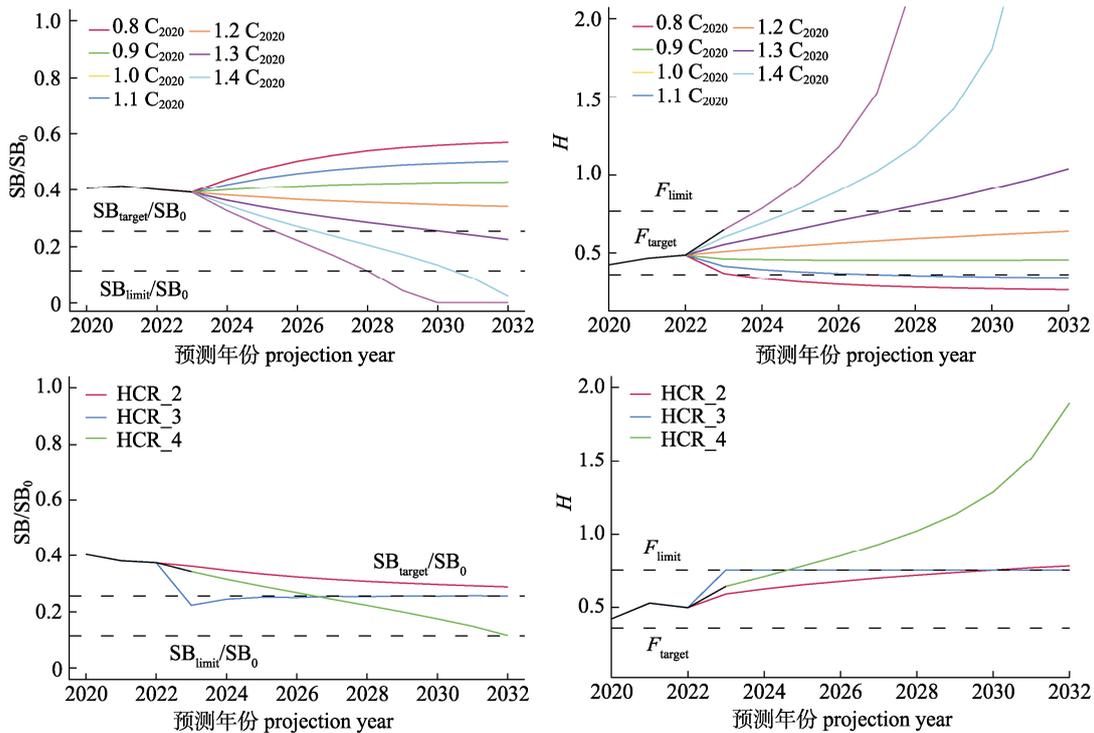


图 2 西北太平洋鲈 JABBA-Select 资源评估基准方案下不同捕捞控制规则的预测分析
Fig. 2 Projections of four HCRs from JABBA-Select for *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific

表明, 亲体补充量关系中陡度系数的变动并不会影响到这 12 种方案的管理效果。但可捕系数设为增加 2% 的年均增长率(rob1_q)和自然死亡系数设为 0.18~0.90 (rob1_M) 之后, 各方案的管理效果波动较大, 尤其是在实现不使种群经受捕捞型过度捕捞和资源型过度捕捞方面, rob1_q 平均概率由 95% 和 71% 分别变化为 91% 和 84%, rob1_M 则变

化为 84% 和 50% (图 4)。

两种管理效果较好的 MPs 给出了西北太平洋鲈未来总可捕量 TAC, DAAC 和 SBT2 估计的 TAC 值差距较大, 分别为 158977 t 和 520387 t (图 5)。对这两个 MPs 进行了不同种群参数敏感性分析, 结果表明: DAAC 受生活史特征参数和种群丰度指数的波动的影响较小, 受种群消耗率和年均渔

表 7 西北太平洋鲈 JABBA-Select 资源评估基准方案下 Kobe II 策略矩阵
 Tab. 7 Kobe II strategy matrix of JABBA-Select base case for stock assessment of *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific

参考点(万 t) reference point ($\times 10^4$ t)	HCR_1						HCR_2	HCR_3	HCR_4	
	相对 2020 年的渔获量 relative to the catch level from 2020						MSY	$SB_t \times H_{MSY}$	历史最大产量 largest catch in history	
	80% (37)	90% (41)	100% (46)	110% (51)	120% (55)	130% (60)	140% (64)	49	50-66	57
越过目标参考点的概率/% the probability of exceeding the target reference points ($SB_{target}=SB_{MSY}$; $H_{target}=0.8H_{MSY}$)										
$SB_{2025} < SB_{target}$	26	29	33	37	41	45	49	34	55	51
$H_{2025} > H_{target}$	28	34	40	47	52	57	63	48	100	64
$SB_{2032} < SB_{target}$	19	26	35	45	54	62	69	35	53	65
$H_{2032} > H_{target}$	21	29	40	50	59	67	73	62	100	70
越过限制参考点的概率/% the probability of exceeding the limit reference points ($SB_{limit}=0.45SB_0$; $H_{limit}=H_{MSY}$)										
$SB_{2025} < SB_{limit}$	13	16	18	21	25	28	32	16	3	34
$H_{2025} > H_{limit}$	23	28	34	40	46	51	56	34	0	56
$SB_{2032} < SB_{limit}$	15	21	28	37	46	54	62	22	1	56
$H_{2032} > H_{limit}$	18	26	35	46	55	63	70	35	0	66

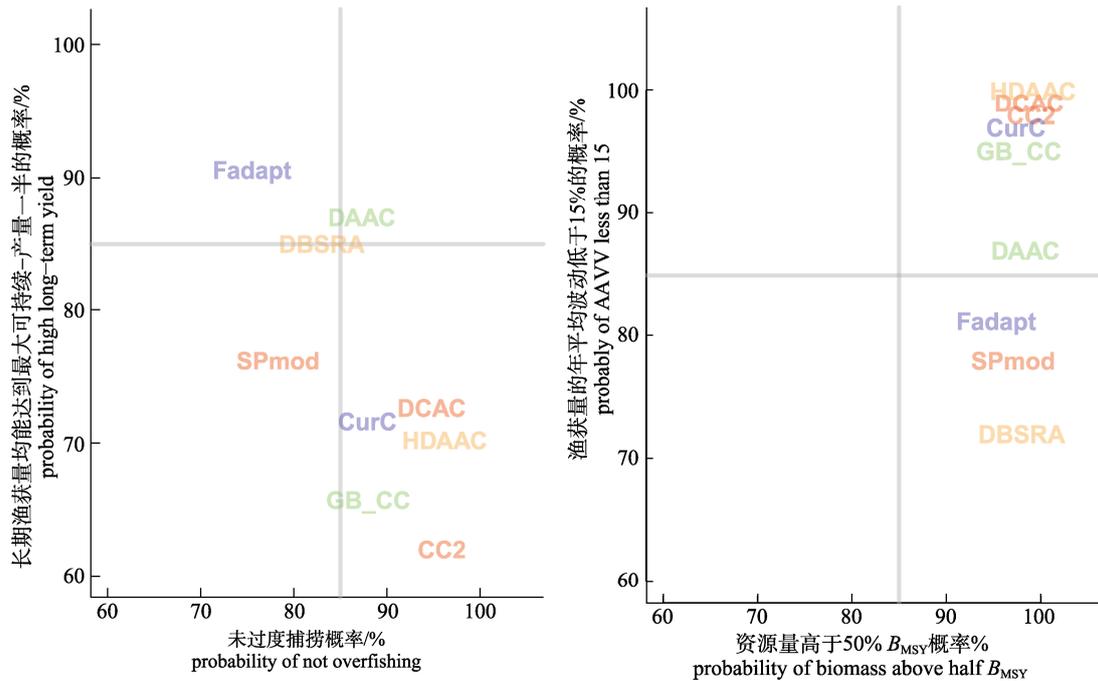


图 3 西北太平洋鲈管理规程实现管理目标的概率

不同颜色英文缩写代表不同适用于西北太平洋鲈渔业的管理规程。

Fig. 3 The performance of satisfying management procedures for *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific. The various color-coded abbreviations denote the respective management regulations for *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific.

获量的影响较大, 且 TAC 都会随着年均渔获量的增加而增加; SBT2 受补充量丰度指数波动的影响较小, 但其 TAC 随着渔获量和渔获量参考点的增大而增大(图 6~7)。

3 讨论

本研究根据 JABBA、JABBA-Select 对种群动态的评估结果, 基于关键种群参数预测了不同捕

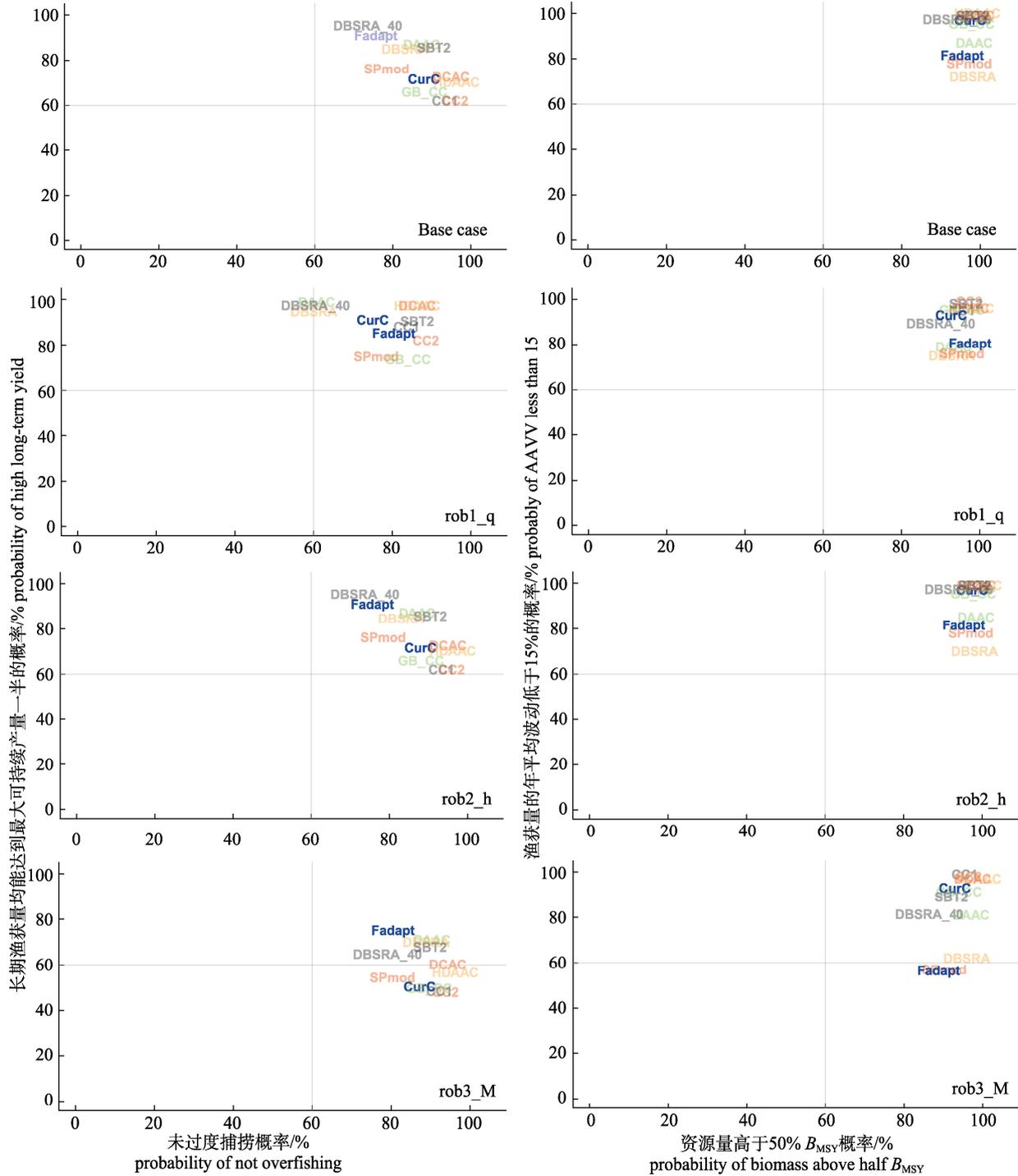


图 4 西北太平洋鲈的管理规程的稳健性分析

不同颜色英文缩写代表不同适用于西北太平洋鲈渔业的管理规程; Base case: 基础模型; rob1_q: 可捕系数 q 设为 2% 的年均增长率; rob2_h: 陡度范围设为 0.75–0.85; rob3_M: 自然死亡系数设为 0.18–0.90.

Fig. 4 The robustness test of satisficing management procedures for *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific. The various color-coded abbreviations denote the respective management regulations for *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific. Base case: The model's foundational configuration; rob1_q: The catchability coefficient (q) is calibrated to a 2% annual growth rate. rob2_h: The steepness parameter is set between 0.75 and 0.85; rob3_M: The natural mortality coefficient is set between 0.18 and 0.90.

捞控制规则下, 西北太平洋鲈种群资源量和种群状态的变化, 并评价其管理效果。结果表明针对

渔获量的捕捞控制规则中, 基于亲体资源量进行研究的 JABBA-Select 模型, 其预测结果相比于

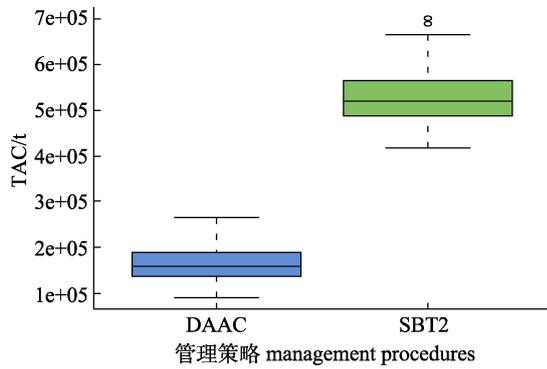


图 5 管理规程 DAAC 和 SBT2 估算的西北太平洋鲈年可捕量

Fig. 5 The total allowable catch (TAC) estimated by manage procedures DAAC and SBT2 for *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific

JABBA 模型略悲观,但都是基于生物学参考点设定的 HCR₃ ($B_t \times F_{MSY}$ 或 $SB_t \times H_{MSY}$) 的养护和管理效果最好,能获得较高的渔获产量,虽违背了捕捞的目标参考点,但这是因为笔者在 HCR₃ 方案中设定了 $TAC_{t+1} = B_t \times F_{MSY}$ 和 $TAC_{t+1} = SB_t \times H_{MSY}$,而考虑到捕捞潜力的存在和资源养护的需要,捕捞的目标参考点保守地设定为 80% F_{MSY} 和 80% H_{MSY} ,因此 F_{2025} , F_{2032} , H_{2025} , H_{2032} 超过相应参考点的概率都为 100%,造成了捕捞过度,但因为参

考点不同,生物量的情形却没有同样严重,且不会持续扩大捕捞死亡系数,其超过限制参考点的概率都几乎为零。另一方面资源量的目标相比于捕捞强度更为重要,参考点更为保守的捕捞强度也更容易在短期内进行调整修正,而不易对种群的资源造成长期的剧烈影响。综合建议将设定 $TAC_t = B_t \times F_{MSY}$ (50~80 万 t) 或 $SB_t \times H_{MSY}$ (50~66 万 t)。基于 DLMtool 运行的 MSE 分析结果表明,有 12 种 MPs 适用于西北太平洋鲈的渔业管理,进一步筛选得到养护管理效果最好的两种 MPs,即消耗率修正后的平均捕获量(DAAC)与基于资源量和渔获量水平的总可捕量递增矫正法(SBT2)。后者所求得的 TAC 为 52 万 t,与近年产量及上述 HCR 获得的产量结果较为接近,既能够养护资源又可以最大限度地利用资源。

Cai 等^[15]通过 JABBA 和 JABBA-Select 模型对西北太平洋鲈进行过资源评估, JABBA 显示有 88.3% 的概率种群处于健康的资源状态,而 JABBA-Select 模型得到的结果表明,仅有 46.4% 的概率处于健康状态。JABBA 模型是基于生物量的剩余产量模型,而 JABBA-Select 在其建模过程中融合了生活史参数和渔业选择性,赋予了模型

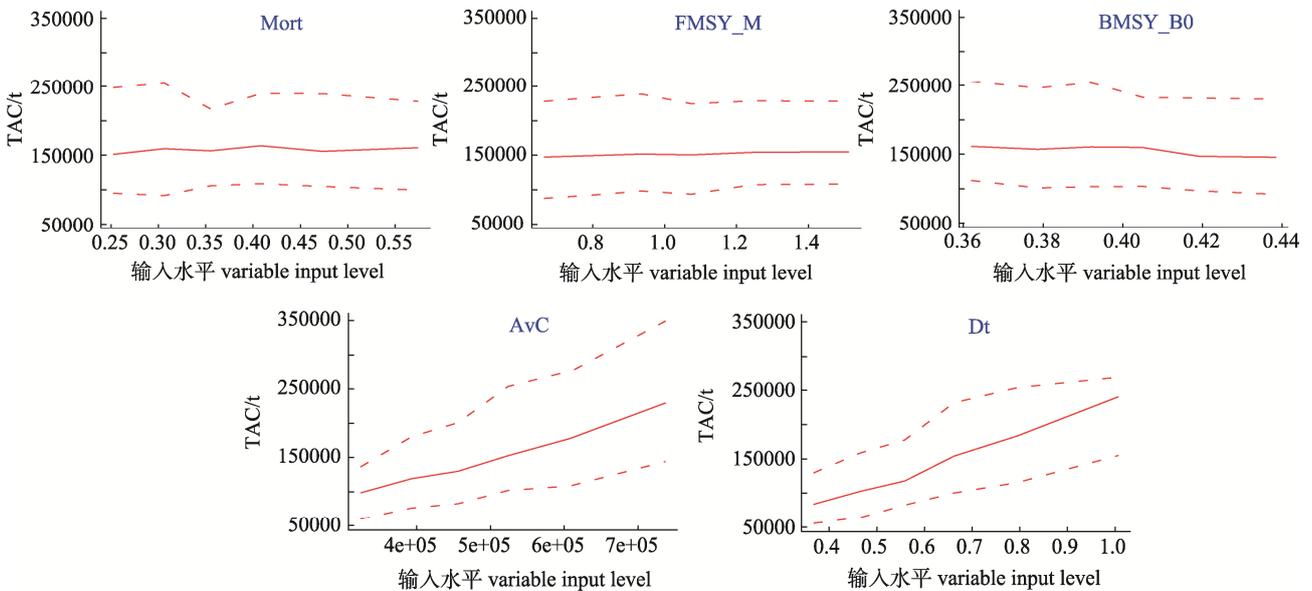


图 6 管理规程 DAAC 总可捕量估算对西北太平洋鲈参数的敏感性分析

Mort: 自然死亡系数, FMSY_M: F_{MSY}/M , BMSY_B0: B_{MSY}/B_0 , AvC: 平均渔获量, Dt: t 年亲体量衰减率。

Fig. 6 The sensitivity analysis of DAAC total allowable catch (TAC) to parameters of *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific
Mort: natural mortality; FMSY_M: F_{MSY}/M ; BMSY_B0: B_{MSY}/B_0 ; AvC: average catch; Dt: depletion rate of the spawning stock in year t .

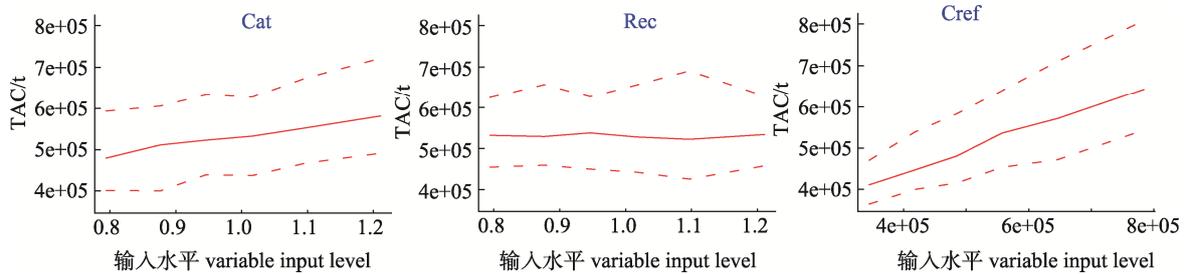


图 7 管理规程 SBT2 的总可捕量估算对西北太平洋鲈参数的敏感性分析

Cat: 渔获量, Rec: 补充量丰度指数, Cref: 渔获量参考点.

Fig. 7 The sensitivity analysis for SBT2 TAC to parameters of *Scomber japonicus* in the Northwest Pacific

Cat: catch; Rec: recruitment index; Cref: catch reference.

区分开发生物量和亲体生物量的能力, 因此 JABBA-Select 可以预测亲体生物量的动态变化, 并将其作为生物学参考点。模型结构的以及投入信息的不同使得两个结果有些许差异, 但同为基于贝叶斯模型的剩余产量模型, 且都为状态空间结构, 具有一定的相似性。两种模型筛选出的最优 HCR 相同^[13-14], 仅两个模型所求得的 TAC 有一定的差异, 且两个模型计算的 TAC 结果都超过了近些年的实际产量, 说明该渔业仍有一定的开发前景。

为了评估西北太平洋鲈的资源状态, 笔者使用了截至 2020 年的 CPUE 和渔获量数据。由于 2021 年已经完成实际捕捞, 采用了该年的渔获量作为输入。对于 2022 年, 假设渔获量等于 2019—2021 年的平均值。预测研究表明, 高渔获量会导致鲈资源在初始预测年份(2023 年)出现一定程度的下降, 并且会影响后续年份的资源状况^[21]。在后续的研究中及时跟进 NPFC 对鲈数据的更新, 也将尝试运用更新后的数据更新资源评估模型。此外, 本研究和 NPFC 一样, 都将西北太平洋的鲈作为一个渔业群体进行渔业管理, 但 3 个国家对鲈捕捞作业的海域不同, 我国在公海水域捕捞, 日本与俄罗斯的捕捞海域更侧重于近海海域^[21,29-31], 接近于产卵洄游水域^[32]。不同海域的捕捞造成渔获物的种群结构存在差异, 对鲈种群鱼卵和补充群体也存在不同程度的影响, 因此后续的研究中可以探讨对鲈进行分区域管理的可能性。

本研究在 DLMtool 中构建 MPs 评价框架时, 所采用的渔获量、努力量、CPUE、生活史等数据

大都来自于 NPFC 数据库及相应的工作报告, 其余种群参数信息则参考了其他文献^[15,23]。数据来源多样化会使模型运行过程中引入更多的不确定性, 生物学参考点的准确性也会直接影响 MPs 模拟的结果。现阶段, NPFC 统计的捕捞努力量数据时间序列短, 使得鱼类在资源评估过程及渔业管理分析中都会受到影响, 使得结果存在一定的不确定性^[12,15]。此外, 众多学者通过对模型结构、数据质量、生活史参数等多方面的研究, 认为通过敏感性分析能够降低不同误差来源造成的估计偏差, 从而提高渔业资源评估的科学性和准确性^[33-34]。本研究通过检验可捕系数和自然死亡系数的稳健性发现其对于 MPs 的影响较大, 可捕系数不仅受渔业资源丰度的影响^[35-38], 也会随着渔船渔具捕捞性能的优化发生变化^[39]。现阶段 NPFC 针对鲈的养护管理措施仅指出在种群评估完成之前, 不增加鲈捕捞渔船的数量, 并未限制渔船中捕捞技术的提升^[40], 可捕系数存在极大的不确定性, 在后续的数据分析过程中, 应加强对于该信息的收集。自然死亡系数是渔业资源评估中的重要参数, 而不同的求取方法可能会得到不同的自然死亡系数, 后续研究中应尝试进行降低自然死亡系数不确定性的方法研究^[41-42]。通过敏感性分析发现, 种群消耗率、年均渔获量、渔获量和渔获量参考点变化会影响本研究中 TAC 的设定值及管理效果。不同 MPs 侧重的参数有所差异, 而不少与渔获量相关的参数都对 TAC 影响较大^[10,12]。NPFC 现阶段过渡性的养护管理措施指出未完成鲈资源评估前, 不建议开展新的渔业开发^[40],

因而在现阶段渔获量不会有太大的变动,但渔获量统计的不确定性较大,需要引起额外关注。

资源预测和 MSE 两种方法各有优势,传统的资源预测方法操作简便,数据需求少,是最容易实现的方法,但是忽略了许多渔业数据收集过程中所造成的误差,因此较为适用于过渡阶段以及数据相对较少的渔业资源养护与管理。而 MSE 所需的数据相对较多一些,但能够选择在未来潜在环境下和不确定状况下表现较好的管理措施^[8],若是有数据较为充足的,如本研究所选取的鲈鱼渔业等,则推荐可使用该方法进行渔业养护与管理。

本研究采用两种类型的方法对于渔业进行模拟预测,其操作相对简单,尤其是 DLMtool 构建的 MSE 框架,评价了众多数据有限方法的 MPs。相比复杂的渔业 MPs 评价过程,以及 NPFC 鲈工作组复杂的操作模型构建、Popsim 模拟、比较模型、资源评估等过程,本研究采用的方法极大地节省了人力和时间成本,对数据需求较少,过程更简便。虽然完整 MSE 过程和复杂的综合模型(例如 SS3)可以涵盖更多的方面,但同时会引入更多的不确定性,复杂过程的拟合难度很高、精度略差^[43]。现阶段, NPFC 尚未确定用于最终选用的资源评估模型,因而并没有给出相应的养护管理措施^[43]。在此过渡阶段,本研究中两种方法所得到的结果相对差异较小,均可为其渔业管理提供建议。

4 结论

本研究采用传统的资源预测和渔业管理规程评价两种类型的方法对鲈渔业进行模拟管理,并预测了年可捕量。通过 JABBA 和 JABBA-Select 模型测试了 4 种捕捞控制规则,兼顾对资源的养护与利用,筛选得到的最佳 HCR 为 $TAC_t = B_t \times F_{MSY}$ 或 $SB_t \times H_{MSY}$, 2023—2032 年平均分别为 57 万 t 和 52 万 t。通过 DLMtool 构建的 MSE 框架,评价测试了众多数据有限方法的 MPs, 养护管理效果和稳健性最好的 MP 是 SBT2 (基于资源量和渔获量水平的总可捕量递增矫正法), TAC 估算值为 52 万 t。现阶段为确保西北太平洋鲈资源的养护和最佳利用,建议根据 $B \times F_{MSY}$ 或 $SB \times H_{MSY}$ 设定年可捕量,同时基于资源量和渔获量水平进行调整,并在今

后资源评估和渔业管理的研究过程中提高可捕系数、自然死亡系数和渔获量数据统计的准确性。

参考文献

- [1] Yukami R, Ohshimo S, Yoda M, et al. Estimation of the spawning grounds of chub mackerel *Scomber japonicus* and spotted mackerel *Scomber australasicus* in the East China Sea based on catch statistics and biometric data[J]. Fisheries Science, 2009, 75(1): 167-174.
- [2] NPFC. 5th Meeting of the Technical Working Group on Chub Mackerel Stock Assessment[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2022: 1-24. Document NO.: NPFC-2022-TWG CMSA05-Final Report.
- [3] Ma Q, Cai K, Tian S, et al. Update stock assessment based on ASAP (age-structured assessment program) for chub mackerel in the North Pacific Ocean 2022[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2022: 1-15. Document NO.: NPFC-2022-TWG CMSA05-WP04.
- [4] Ma Q Y, Dai L B, Cai K, et al. North Pacific Ocean Chub mackerel stock assessment report based on BSSPM[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2022: 1-10. Document NO.: NPFC-2022-TWG CMSA05-WP05.
- [5] Shi Y C, Zhang X M, He Y R, et al. Stock assessment using length-based Bayesian evaluation method for three small pelagic species in the Northwest Pacific Ocean[J]. Frontiers in Marine Science, 2022, 9: 775180.
- [6] Geromont H F, de Oliveira J A A, Johnston S, et al. Development and application of management procedures for fisheries in southern Africa[J]. ICES Journal of Marine Science, 1999, 56(6): 952-966.
- [7] Butterworth D S. Why a management procedure approach? Some positives and negatives[J]. ICES Journal of Marine Science, 2007, 64(4): 613-617.
- [8] He S, Chen X J. Review on management strategy evaluation and its application in fishery[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2016, 36(5): 29-39. [何珊, 陈新军. 渔业管理策略评价及应用研究进展[J]. 广东海洋大学学报, 2016, 36(5): 29-39.]
- [9] 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[C]// Resiliency of Gadid Stocks to Fishing and Climate Change. Fairbanks: University of Alaska, 2008: 317-346.
- [10] Dai X J, Liu Y, Xia M. Management strategy evaluation of swordfish (*Xiphias gladius*) in the Western and Central North Pacific Ocean[J]. Marine Sciences, 2022, 46(3): 111-121. [戴小杰, 柳宇, 夏萌. 北太平洋中西部剑鱼

- (*Xiphias gladius*)管理策略评价[J]. 海洋科学, 2022, 46(3): 111-121.]
- [11] Liu Z L, Yuan X W, Yang L L, et al. Stock assessment and management strategies for small yellow croaker in the East China Sea based on data-limited assessment models[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(4): 621-635. [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.]
- [12] Xia M. Stock assessment and management strategy evaluation of Striped Marlin (*Tetrapturus audax*) in the Indian Ocean[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020. [夏萌. 印度洋海域条纹四鳍旗鱼(*Tetrapturus audax*)资源评估与管理策略评价[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.]
- [13] Winker H, Carvalho F, Kapur M. JABBA: Just another Bayesian biomass assessment[J]. Fisheries Research, 2018, 204: 275-288.
- [14] Winker H, Carvalho F, Thorson J T, et al. JABBA-Select: Incorporating life history and fisheries' selectivity into surplus production models[J]. Fisheries Research, 2020, 222: 105355.
- [15] Cai K, Kindong R, Ma Q Y, et al. Stock assessment of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific using a multi-model approach[J]. Fishes, 2023, 8(2): Article No.80.
- [16] 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.
- [17] Rice J. Summary of the report "review of target and limit reference points" by Laurence T. Kell (2019)[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2022: 1-8. Document NO.: NPFC-2022-TWG CMSA06-WP05.
- [18] Caddy J F, Mahon R. Reference points for fisheries management[R]. Rome: FAO, 1995: 83.
- [19] Andonegui E, Arneberg P, Bartolino V, et al. WKRPChange-Workshop of fisheries management reference points in a changing environment[R]// 2020 FRSG Expert Group ToR's. Copenhagen: ICES, 2020: 63.
- [20] Zhang F, Chen X J. Fisheries stock assessment and management in the light of non-stationary population dynamics[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(3): 612-619. [张帆, 陈新军. 非静态种群动力学过程影响下的渔业资源评估与管理[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(3): 612-619.]
- [21] NPFC Secretariat. Summary footprint of chub mackerel fisheries[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2023: 1-6. Document NO.: NPFC-2022-AR-Annual Summary Footprint-Chub & Spotted Mackerels.
- [22] Nishijima S, Kamimura Y, Yukami R, et al. Update on natural mortality estimators for chub mackerel in the Northwest Pacific Ocean[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2021: 1-15. Document NO.: NPFC-2021-TWG CMSA04-WP05.
- [23] Cai K, Kindong R, Ma Q Y, et al. Growth heterogeneity of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific Ocean[J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2022, 10(2): 301.
- [24] Manabe A, Kamimura Y, Ichinokawa M, et al. Maturity at age of chub mackerels under different stock level in the northwestern Pacific Ocean[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2021. Document NO.: NPFC-2021-TWG CMSA04-WP07.
- [25] Nishijima S, Kisara Y, Ichinokawa M, et al. Standardizing CPUE of Japanese commercial dip-net fishery targeting spawners of chub mackerel in the Northwest Pacific[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2022: 1-17. Document NO.: NPFC-2022-TWG CMSA06-WP09.
- [26] Shi Y C, Zhang H, Ma Q Y, et al. Standardized CPUE of Chub mackerel (*Scomber japonicas*) caught by the China's lighting purse seine fishery up to 2020[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2022: 1-11. Document NO.: NPFC-2022-TWG CMSA06-WP14.
- [27] Nishijima S, Kanazawa K, Ichinokawa M, et al. Standardizing monthly egg survey data as an abundance index for spawning stock biomass of chub mackerel in the Northwest Pacific[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2022: 1-16. Document NO.: NPFC-2022-TWG CMSA06-WP10.
- [28] Nishijima S, Kisara Y, Ichinokawa M, et al. Standardizing abundance index for recruitment of chub mackerel in the Northwest Pacific[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2022: 1-32. Document NO.: NPFC-2022-TWG CMSA06-WP11.
- [29] Antonenko D. Russian Mackerel fishery in the Northwest Pacific Ocean[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2022: 1-8. Document NO.: NPFC-2022-TWG CMSA05-IP01.
- [30] NPFC. Review of chub mackerel fishery in China and research activities-China[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2022: 1-14. Document NO.: NPFC-2022-TWG CMSA05-IP02.

- [31] NPFC. Fisheries information and research activities-Japan[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2022: 1-10. Document NO.: NPFC-2022-TWG CMSA05-IP05.
- [32] Kamimura Y. Biology and life history of chub mackerel in the Western North Pacific Oceans[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2017. Document NO.: NPFC-2017-TWG CMSA01-IP02.
- [33] Carruthers T R, Kell L T, Butterworth D D S, et al. Performance review of simple management procedures[J]. ICES Journal of Marine Science, 2016, 73(2): 464-482.
- [34] Sun M, Zhang C L, Chen Y, et al. Assessing the sensitivity of data-limited methods (DLMs) to the estimation of life-history parameters from length-frequency data[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2018, 75(10): 1563-1572.
- [35] Erisman B E, Allen L G, Claisse J T, et al. The illusion of plenty: Hyperstability masks collapses in two recreational fisheries that target fish spawning aggregations[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2011, 68(10): 1705-1716.
- [36] Ward H G M, Askey P J, Post J R. A mechanistic understanding of hyperstability in catch per unit effort and density-dependent catchability in a multistock recreational fishery[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2013, 70(10): 1542-1550.
- [37] Alós J, Campos-Candela A, Arlinghaus R. A modelling approach to evaluate the impact of fish spatial behavioural types on fisheries stock assessment[J]. ICES Journal of Marine Science, 2019, 76(2): 489-500.
- [38] Yoshiyama T, Tsuboi J I, Matsushita T F. Interactions between fish and angler behaviour affect species-specific catchability of sympatric native charr and two introduced trout[J]. Fisheries Research, 2023, 259: 106547.
- [39] Tian Z P, Ma Q Y, Zhang Y F, et al. Uncertainties of parameters associated with stock assessment for chub mackerel *Pneumatophorus japonicus* based on JABBA[J]. Fisheries Science, 2022, 41(6): 915-926. [田志盼, 麻秋云, 张云飞, 等. 鲈鱼的资源评估探讨及其不确定性分析[J]. 水产科学, 2022, 41(6): 915-926.]
- [40] NPFC. Conservation and management measure for Chub mackerel[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2023: 1-3. Document NO.: NPFC-CMM 2023-07.
- [41] Cui M Y, Ma Q Y, Tian S Q, et al. Influence of natural mortality and stock-recruitment relationship on yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) stock assessment[J]. Haiyang Xuebao, 2023, 45(3): 40-51. [崔明远, 麻秋云, 田思泉, 等. 自然死亡和亲体补充关系对黄鳍金枪鱼资源评估的影响[J]. 海洋学报, 2023, 45(3): 40-51.]
- [42] Zhou Y F, Deng J Y, Ma Q Y, et al. Estimation of life history traits and stock status for *Scomber japonicus* based on data-limited method[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2023, 34(8): 2249-2258. [周雨霏, 邓佳怡, 麻秋云, 等. 基于数据有限方法的日本鲭生活史参数估算和资源状态评价[J]. 应用生态学报, 2023, 34(8): 2249-2258.]
- [43] NPFC. 6th Meeting of the Technical Working Group on Chub Mackerel Stock Assessment[R]. Tokyo: North Pacific Fisheries Commission, 2022: 1-20. Document NO.: NPFC-2022-TWG CMSA06-Final Report.

Research on the conservation and management for chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific

CAI Kai^{1,2}, ZHOU Yufei¹, MA Qiuyun^{1,3,4}, KINDONG Richard^{1,3,4}

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

2. Ocean College, Zhejiang University, Zhoushan 316021, China;

3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China;

4. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China

Abstract: Chub mackerel (*Scomber japonicus*) is an important fishery species in the Northwest Pacific Ocean, and its fishery involves multiple countries and various types of operations, resulting in its complexity. However, there are no appropriate conservation and management measures based on stock assessments of chub mackerel in this area. In this study, a management strategy for this key species in the Northwest Pacific Ocean was evaluated using traditional methods (resource projections) and data-limited approaches. Based on the stock assessment results of the JABBA and JABBA-Select models, the population dynamics were projected under different harvest control rules (HCRs). Four HCRs were set up for a chub mackerel fishery from 2023 to 2032, with total allowable catch (TAC)=(0.8–1.4)×Catch₂₀₂₀ (catch in 2020), maximum sustainable yield (MSY), $B \times F_{MSY}$ or $SB \times H_{MSY}$ (for JABBA and JABBA-Select respectively), and Catch_{max} (historical maximum catch). The results showed that the stock was projected to be more negative in the JABBA-select model considering spawning stock biomass than in the JABBA model. Based on the MSY-related reference points, HCR_3 performed the best (TAC of 50–80 million tons and 50–66 million tons, respectively). The MSE then selected 12 strategies with better conservation management effects according to the settings, among which DAAC and SBT2 had the best conservation management effects. The TAC obtained from SBT2 was more appropriate for conservation, close to the TAC (520387 t) from HCR_3 and the recent catch. Robustness and sensitivity analyses showed that the catchability coefficient, natural mortality, and catch-related parameters (average catch, catch, catch reference) had a significant influence on management performance, requiring more attention to estimate accuracy and precision. In conclusion, the conservation and management of chub mackerel in the Northwest Pacific Ocean should consider catch limits based on $B \times F_{MSY}$ or $SB \times H_{MSY}$ by adjusting resource and catch levels.

Key words: fisheries management; data-limited methods; population projection; TAC

Corresponding author: MA Qiuyun. E-mail: qyma@shou.edu.cn