

文章编号: 1000-0615(2018)07-1154-14

DOI: 10.11964/jfc.20170310749

捕捞数据不确定下蓝点马鲛渔业管理策略评估

陈 宁¹, 徐宾铎¹, 薛 莹¹, 纪毓鹏¹, 任一平^{1,2}, 张崇良^{1*}

(1. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266237)

摘要: 蓝点马鲛是黄渤海的主要经济鱼种, 在我国海洋渔业中占有重要地位, 评估其资源水平和种群状态对于资源开发和管理具有重要意义。传统的渔业资源评估方法对数据有较高的要求, 而目前我国蓝点马鲛渔业缺乏相关数据, 特别是捕捞统计数据存在的问题尤为明显, 其平均水平和变化趋势均存在很大的不确定性, 统计上表现为观测数据的误差和偏差, 对渔业评估和管理造成了障碍。本研究采用输出控制和输入控制两类共6种基于有限数据的渔业管理规程(MP)对蓝点马鲛进行了资源评估, 针对捕捞观测数据的误差和偏差对这6种MP进行了不确定分析和策略评价。结果显示, 输出控制MP中稳定捕捞法(CC4)、最大可持续剩余产量捕捞趋势法(SPMSY)和平均渔获量法(AvC)受到渔获量观测偏差和误差不同程度的影响, 而时滞差分资源评估法(DD)对渔获量的不确定性响应相对较弱, 更适用于蓝点马鲛等渔获量数据不确定性较大的渔业。根据敏感性分析发现该类MP对最大可持续生物量与未开发的生物量的比值、补充关系的陡度、最大可持续捕捞死亡率与自然死亡率的比值以及最大可持续捕捞死亡率等参数均较为敏感。而输入控制类MP最小体长法(minlenLopt1)及75%捕捞努力量法(curE75)对渔获量的不确定性响应不明显, 对操控模型中各参数敏感程度较低。本研究指出输入控制MP不易受到观测误差和观测偏差的影响, 而输出控制MP对观测误差有不同程度的响应。本研究使用管理策略评估综合比较两类MP, 认为curE75对于渔业资源的开发和保护两个方面有着最好的权衡。

关键词: 蓝点马鲛; 不确定性分析; DLMtool; 观测误差; 观测偏差

中图分类号: S 937

文献标志码: A

蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)为多年生暖温性中上层鱼类, 是黄渤海的主要经济鱼种, 在我国海洋捕捞渔业中占有重要地位^[1]。近年来, 由于黄渤海传统渔业资源衰退严重, 蓝点马鲛的捕捞压力逐渐增大, 出现了捕捞努力量增加、作业方式多样化、渔场扩张等现象。高强度捕捞使蓝点马鲛资源特性发生了一定的变化, 例如生长速率加快、性成熟提前、群体结构发生改变等^[2]。与此同时, 蓝点马鲛渔业的产量目前仍然处于较为平稳的状态, 近年来我国的蓝点马鲛渔获量持续维持在45万t左右^[3]。

研究蓝点马鲛渔业生物学特征、解析其资源动态对于维持蓝点马鲛渔业的可持续发展具有重要意义。

由于蓝点马鲛具有分布范围广、洄游距离远、生命周期长以及渔业数据统计不足等特点^[4], 目前对蓝点马鲛进行资源评估较为困难, 相关研究较少。现有研究包括, 叶昌臣^[5]使用1980年的统计资料, 利用Schaefer模型, 分别考虑了蓝点马鲛资源在有、无捕捞作用下的种群动态。邱盛尧^[6]根据1988—1994蓝点马鲛监测分析, 利用Pope提出的股分析模型综合评估了蓝点马鲛资

收稿日期: 2017-03-15 修回日期: 2017-09-27

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303050); 中央高校基本科研业务费专项(201562030, 201612004)

通信作者: 张崇良, zhangclg@ouc.edu.cn

源在该年代的状况。孙本晓^[7]通过2006—2008年的调查,结合历史资料对黄渤海蓝点马鲛资源特性、栖息环境条件变化、资源变动状况及原因进行了研究。

蓝点马鲛属洄游性鱼类,在自然死亡系数、世代补充量等参数上往往存在时空异质性,但由于估计方法较为困难,因此在对蓝点马鲛进行资源评估时通常将其简化处理^[8],另外由于历史研究资料的不足,相关模型参数如种群平均生物量和年增长率等也存在较大的不确定性^[9]。由于数据的缺乏,许多估计参数间存在的相关性会影响评估模型的质量^[10]。而我国目前的蓝点马鲛渔业缺乏相关的资源评估数据,这造成了该渔业在评估和管理上的障碍,其中由于相关研究和管理政策的关注不足,蓝点马鲛捕捞统计数据存在的问题更为明显,其数值和变化趋势均存在很大的不确定性,在统计上表现为观测数据的误差(error)和偏差(bias)。

因此本研究聚焦于蓝点马鲛渔业渔获量数据的观测偏差和误差,分析其对于资源评估不确定性产生的影响。考虑到传统的渔业资源评估不能检验方法本身的预期表现和评估管理方法的优劣,本研究采用了一种新型渔业管理策略评估的方法DLM (data-limited methods),研究比较了6种不同的管理规程(management procedure, MP),检验了其对于蓝点马鲛渔业管理的适宜性,旨在提高蓝点马鲛渔业资源评估的准确性,促进蓝点马鲛以及相关渔业资源的可持续利用和渔业的科学管理。同时为数据稀缺性渔业资源提供了一系列渔业管理规程和评价方法,为渔业资源的管理决策提供了依据。

1 材料与方法

1.1 DLMtool

本研究使用基于R语言的DLMtool (data-limited methods toolkit)程序包评估蓝点马鲛渔业资源。DLMtool^[11]由哥伦比亚大学和自然保护协会(Natural Resources Defense Council, NRDC)共同开发,是一种用来进行渔业数据分析、输出控制规则及制定管理措施的定量方法。这一方法可以对处于有限数据状况下的渔业进行评估,预测其潜在的参照点,例如过度捕捞阈值、可允许捕捞水平、易受影响指标等,并且不需要进

行完整的、阶段结构性质的资源评估。DLM可分为4个步骤^[12]:(1)确定研究渔业的数据丰富程度;(2)选择合适的评估方法;(3)资源现状评估;(4)管理策略评估。其中,管理策略评估(management strategy evaluation, MSE)^[13]是一种用来评估和比较多种渔业管理规程表现并且指导现实管理决策的方法^[11]。在渔业管理中经常涉及到对不同策略的评估,并要求决策者根据具体的管理目标进行权衡。但即使在已经研究成熟的渔业中,种群状态和动态等方面仍然存在一定程度的不确定性,而对这类特定管理策略进行评估需要长时间、大范围的试验,这在实际渔业生产过程中往往很难实现。MSE则可以通过模拟的方式来评估不同渔业管理规程的表现,权衡不同管理目标,指导决策过程中选择合适的MP。MSE包括3个部分^[14]:

(1)操控模型(operating model, OM)。OM主要用于模拟种群动态和捕捞的影响,以及模拟实际管理中对资源监测的偏差,体现渔业的现状。DLMtool中OM包含3个组分:种群(Stock)、捕捞(Fleet)和观察过程(Observation)。Stock组分包含种群各生物学参数、种群动态等特征;Fleet组分包括渔具选择性、捕捞努力量等特征;Observation组分包含了观测偏差、操作误差等参数。

(2)管理规程是对渔业的不同管理方法,包括输入控制(input control)和输出控制(output control),通过提供年总允许可捕量(total allowable catch, TAC)或调整可捕体长、相对捕捞努力量等参数作为管理控制。目前DLMtool包括89种不同的管理规程,并且新的方法还在不断加入。

(3)评估度量标准(performance criteria)。MSE从具体的管理目标出发,通过OM模拟来预测种群资源量水平并提供相应的管理建议,对各MP进行多方面的权衡考虑,并对OM运行过程中的不确定性和敏感性进行了分析^[15]。DLMtool中MSE评估度量标准包括相对生物量、产卵群体生物量、资源开发水平等。

1.2 数据来源

蓝点马鲛的生物学特征已有较多的研究,本研究主要从相关文献中获取主要模型参数。DLMtool在构建模型时的参考数据来源如表1所示。模型以随机均匀分布表示不同来源参数的可能变化范围。

表 1 操控模型参数来源

Tab. 1 The source of parameters in operating model

参数 parameters	参数意义 meaning	参数值 values	参考文献 reference
Linf	极限体长/cm maximum length	70.9、74.6、77.7	刘蝉馨等 ^[6] 、孙本晓 ^[7] 、尤宗博 ^[17]
b	体型指数系数 weight-length parameter	2.67~2.94、2.81、2.82、2.40	刘蝉馨等 ^[6] 、尤宗博 ^[17] 、孙本晓 ^[7] 、楼丹等 ^[18]
a	生长条件因子 growth condition factor	1.07~2.30(1×10^{-5})、 2.30×10^{-5} 、 3.00×10^{-5} 、 1.00×10^{-4}	刘蝉馨等 ^[6] 、孙本晓 ^[7] 、尤宗博 ^[17] 、楼丹等 ^[18]
K	生长曲线曲率 the Von Bertalanffy growth coefficient	0.53、0.46、0.39	刘蝉馨等 ^[6] 、孙本晓 ^[7] 、尤宗博 ^[17]
max age	最大年龄 the maximum age	4、4、11、5	刘蝉馨等 ^[6] 、邱盛尧 ^[6] 、孙本晓 ^[7] 、李明月等 ^[19]
t_0	体长为零的理论年龄 theoretical age at length zero	-0.70、-0.73、-1.06、-0.86	刘蝉馨等 ^[6] 、孙本晓 ^[7] 、尤宗博 ^[17] 、Al - Hosni等 ^[20]
LFS	最小可捕体长/cm length at first capture	35.30、16.00	楼丹等 ^[18] 、尤宗博 ^[17]
M	自然死亡率 natural mortality rate	0.41、0.35、0.64、0.77	孙本晓 ^[7] 、Al - Hosni等 ^[20]
R_0	初始补充量/尾 the magnitude of unfished recruitment	$1.35 \times 10^8 \sim 5.65 \times 10^8$	孙本晓 ^[7]
F	捕捞死亡率 fishing mortality rate	2.64、2.70、2.60、2.62	孙本晓 ^[7]
D	现在的种群消耗水平/% current level of stock depletion ($B_{\text{current}}/B_{\text{unfished}}$)	4.72、4.43、4.92、4.81、4.72	孙本晓 ^[7]
L_{50}	50%性成熟时体长/cm length at 50 percent maturity 50%	529 ± 3 、 480 ± 8 、 424 ± 2 、 410 ± 6 、 380 ± 23	孙本晓 ^[7]
V_{maxlen}	最大个体可捕性/% the vulnerability of the longest (oldest) fish	7.5×10^{-3}	孙本晓 ^[7]

1.3 MP的选择

根据对蓝点马鲛数据的需求和以往研究对MP的评估结果,本研究选取了DLMtool中DD(delay - difference stock assessment)、AvC(average catch)、SPMSY(catch trend surplus production MSY)、CC4(constant catch 4)、curE75(fishing at 75 per cent of current effort levels)、minlenLopt1(minimum length of fish caught)等6种MP进行了分析,其中DD、SPMSY、CC4、AvC属于输出控制MP(output control),给出TAC作为管理建议;minlenLopt1、curE75为输入控制MP(input control),通过调整可捕体长、相对捕捞努力量等参数作为管理控制。各MP具体定义:

(1) DD^[21-22]:使用渔获量和相对丰度指数来预测年总可捕量(total allowable catch, TAC)的一种简单的时滞差分(delay-difference)资源评估方法。在使用DD方法时需要资源补充函数、年龄选择曲线、自然死亡率等数据,可估算最大可持续产量时的生物量 B_{MSY} 和捕捞死亡率 F_{MSY} 来预测捕捞限制。

DD(delay-different)模型

生长参数: $\alpha = W_{\infty}(1 - \rho)$

Ford - Brody 生长模型参数: $\rho =$

$$\frac{W_{V_{\text{obs}}+2} - W_{\infty}}{W_{V_{\text{obs}}+1} - W_{\infty}}$$

最大可持续产量时的幸存率: $e^{-M_{\text{obs}} \times (1 - U_{\text{MSYDD}})}$
 $\alpha \times S_{\text{msy}}$

产卵群体生物量: $SPR = \frac{(1 - S_{\text{msy}}) + W_{\text{AM}_{\text{obs}}}}{1 - \rho \times S_{\text{msy}}}$

Beverton - Holt 参数: $\alpha_{\text{rec}} = \frac{1}{(1 - U_{\text{MSYDD}})^2 \times (SPR + U_{\text{MSYDD}} \times \Delta_{\text{SPR}})}$, 每一
产卵个体的最大补充量即产卵群体生物量接近为0。

关于收获率的产量的导数: $\Delta_{\text{SPR}} = -S_0$
 $\frac{\rho}{1 - \rho S_{\text{msy}}} \times \frac{SPR + 1}{1 - \rho S_{\text{msy}}} \times \frac{\alpha}{1 - S_{\text{msy}}} + \frac{S_{\text{msy}} + \alpha}{(1 - S_{\text{msy}})^2}$

未被捕获的生存率: $S_0 = e^{-M}$

Beverton-Holt参数: $\beta_{\text{rec}} = \frac{U_{\text{MSYDD}}[\alpha_{\text{rec}} \times SPR - 1/(1 - U_{\text{MSYDD}})]}{MSY_{\text{DD}}}$

未被捕获的补充量: $R_0 = \frac{\alpha_{\text{rec}} \times SPR_0 - 1}{\beta_{\text{rec}} \times SPR_0}$,

当 S_{msy} 被 S_0 替代时 SPR_0 与 SPR 相同

初始生物量: $B_l = R_0 \times SPR_0$

初始个体数: $N_l = \frac{R_0}{1 - S_0}$

生物量动态: $B_{y+1} = S_y(\alpha N_y + \rho B_y) + W_y R_{y+1}$;

$$N_{y+1} = S_y \times N_y + R_{y+1}$$

第 y 年的生存率: $S_y = e^{-E_y q_{DD} - M}$

渔获量: $C_y = B_y(1 - e^{-q_{DD} E_y})$

式中 N : 个体数; B : 生物量; W_k : 选择系数 k 为0.5时的个体体质量; M : 自然死亡率, 假设其是一个固定的值; q_{DD} : 预测的可捕系数; E_y : 在第 y 年内的捕捞努力量; R_y : 在 y 年内补充的个体数; AM_{obs} : 根据年龄选择曲线得到的50%个体性成熟时的年龄; W_∞ : 个体最大重量; U_{MSYDD} : 最大可持续产量时的收获率; MSY_{DD} : 最大可持续产量。

(2) SPMSY^[23]: 根据最大可持续产量 MSY 来确定最适捕捞水平(overfishing limits, OFL)。该方法根据渔获量数据模拟出资源量变化曲线, 得出环境容纳量(the carrying capacity, K)、最大种群增长率(the maximum rate of population increase, r)、资源消耗率(depletion, D); 利用Schaefer产量模型计算生物量 $OFL = D \times (1 - D) \times r \times K \times 2$ 。

(3) minlenLopt1^[24]: 根据生长参数来计算最佳可捕体长, 旨在限制对较小个体的捕捞来恢复种群的生物量。

$$L_{opt} = \frac{b}{\frac{M}{k} + b}$$

式中 b 为体长体质量关系幂指数系数, 约等于3, M 为自然死亡率, k 为生长参数, M/k 称为Beverton-Holt life-history invariant, M 和 k 的值需出自同一研究时间和海域。

(4) AvC: 以目前渔获量水平的平均值作为管理中的TAC。

(5) CC4^[25]: 以目前渔获量水平平均值的70%作为管理中的TAC:

$$TAC_{y+1} = 0.7 \sum_{t=1}^y \frac{C_t}{5}$$

式中, y 为MP实施的第1年, C_t 为第 t 年的渔获量。

(6) curE75: 以目前捕捞努力量水平的75%作为管理目标, 该MP目的在于将指定渔业维持在现有水平。在本次研究中可捕系数设定为固定值。

1.4 模拟与评价

DLM模型中不确定性来源有多方面, 自然死亡率、补充量、捕捞参数等均会对模拟结果

产生影响, 而蓝点马鲛相关数据中, 产量统计的数据精确度往往相对较低, 显著影响渔业资源评估过程, 因此本研究主要针对产量数据的偏差和误差, 分析了捕捞数据的不确定性对于MP选择的影响。在DLMtool中, 捕捞数据的不确定性主要通过两个参数模拟, 即Cobs (observation bias)和Cbiascv (observation error), 分别表示渔获量的观测偏差和观测误差。在模拟过程中, 设置Cobs取值范围为0.1~10, 即模拟观测到的渔获量数据为真实值的0.1~10倍; Cbiascv值设置为0~0.5, 模拟了观测误差的不同水平。其他模型参数根据表1以及相关研究设置, 在模拟过程中维持不变。每一种MP模拟1 000次, 重复100次, 预测年数为20年, 资源评估间隔为2年^[11]。

本研究权衡了不同评价标准(trade-off)作为选择MP的依据, 选取了以下4种标准对MP进行评价: (1)生物量小于50%最大可持续生物量的可能性, 即 $B < 0.5B_{MSY}$ 的概率; (2)过度捕捞可能性, 即 $F > F_{MSY}$ 的概率; (3)产量(长期或者短期)相对于最大可持续产量的比例; (4)产量的年间变化率, 即产量的波动性。

模型敏感性分析可用来评估对模型精度影响较大的数据, 为以后研究中改进模型提供参考依据。研究使用DLMtool中的the Value of Information (VOI)函数对操控模型中各MP的表现进行了敏感性分析, 以相对长期产量为度量指标评估OM模型中参数的相对影响大小。

2 结果

2.1 渔获量数据不确定性分析

渔获量观测误差 以相对产量为评价指标, 当观测误差值Cbiascv在0.00~0.50变化时, 输出控制MP中CC4的变化最为敏感。当Cbiascv=0即渔获量不存在观测误差时, CC4的产量最大, 随着观测误差的增大相对产量逐渐降低, 在区间范围0.00~0.50内相对产量下降23.45%。AvC和SPMSY对Cbiascv的响应相对较弱, 在Cbiascv=0.05时相对产量最大, 随着观测误差的增大相对产量呈现降低趋势, 但不明显, 在0.00~0.50范围内相对产量下降<10%。DD对产量的模拟结果受渔获量观测误差影响较小, 随着渔获量观测误差的增大, 相对产量变化不明显。渔获量数据观测误差对curE75、minlenLopt1等输入控制MP影响很小。两类MP随着

观测误差的增大,产量波动均不剧烈。

以过度捕捞可能性为评价指标,AvC对观测误差的变化最为敏感,随着观测误差的增大,过度捕捞可能性整体呈现逐渐下降的趋势。curE75、CC4、minlenLopt1、SPMSY、DD等5种MP受渔获量观测误差的影响较小,随着观测误差的增大,过度捕捞可能性变化趋势不明显。以生物

量水平为评价指标,可以看出随着观测偏差值的增大,CC4、curE75和minlenLopt1的变化趋势较为一致,在区间范围0.00~0.45内对Cbiascv的变化响应不明显,当Cbiascv>0.45时,B<0.5B_{MSY}的概率出现明显的上升。SPMSY、DD和AvC的变化趋势较为一致,在Cbiascv区间范围0.00~0.20内波动较为明显(图1)。

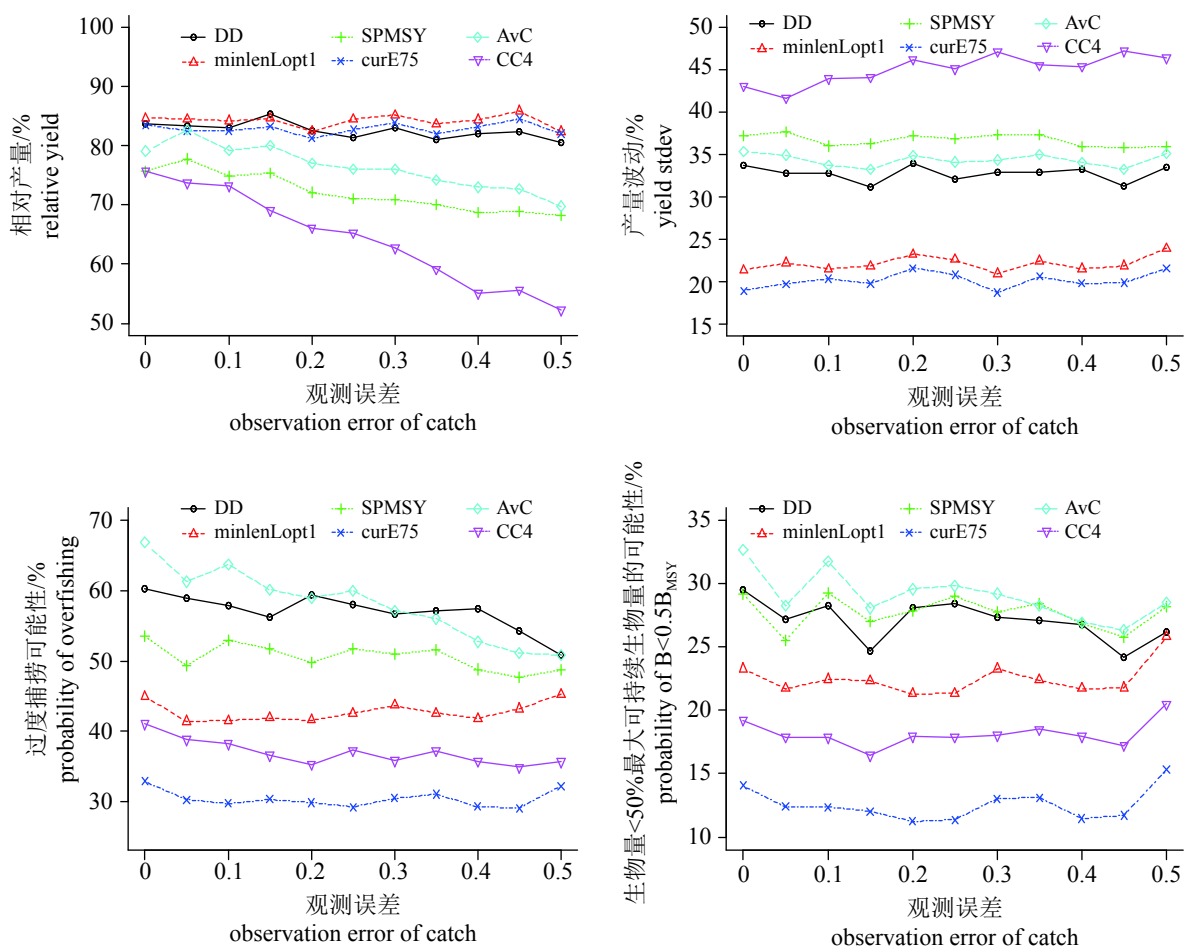


图1 蓝点马鲛渔业管理规程对渔获观测误差的响应

Fig. 1 Response of management procedures of *S. niphonius* fishery to the observation error

渔获量观测偏差 以产量为评价指标,当观测偏差cobs取值范围为0.10~1.00,即渔获量观测值小于真实值时,各MP模拟的产量结果受渔获量观测偏差影响较小,变化不明显;当cobs取值范围为1.00~10.00,即渔获量观测值大于真实值时,随着渔获量观测偏差增大,CC4模拟的产量明显减少,即使用CC4进行渔业管理时,渔获量观测偏差的增大会对产量的评估结果产生较大影响。AvC、SPMSY和DD 3种MP对渔获量观测偏差的响应较弱,模拟的产量随着观测偏差的增大有下降的趋势,但不明显。渔获量数据

观测偏差对curE75、minlenLopt1 2种输入控制管理法影响较小。以产量波动为评价指标可以看出,当观测偏差cobs取值范围为0.10~1.00时,CC4的产量波动最为明显,整体呈现先上升后下降的趋势,在观测偏差范围为1.58~2.51时,产量波动最大。DD产量波动随着观测偏差的变化有上升的趋势,但不明显。其余4种MP产量波动对观测偏差响应较弱。

以过度捕捞可能性为评价指标可以看出,CC4、SPMSY和AvC 3种MP对Cobs的变化较为敏感,当Cobs取值范围为0.10~10.00时,随着

Cobs增大, 过度捕捞可能性逐渐降低。而DD方法在Cobs取值范围为0.63~10.00时受偏差影响较大, 随着渔获量观测偏差的增大, 过度捕捞可能性呈现一定的上升趋势。以生物量水平为评价指标可以看出, SPMSY、AvC、CC4对观测偏差较为敏感且变化较一致, 其中SPMSY的变化最为明显, 当Cobs取值范围为0.10~10.00时,

$B < 0.5B_{MSY}$ 的概率逐渐下降。而DD生物量水平变化趋势与上述3种MP相反, 当Cobs取值范围为0.10~10.00时, $B < 0.5B_{MSY}$ 的概率逐渐上升, 但上升趋势相对较弱。curE75、minlenLopt1两种输入控制管理法受渔获量观测偏差影响较小, 随着Cobs值的变化, 过度捕捞可能性、生物量水平小于0.5最大可持续生物量的概率变化均不明显(图2)。

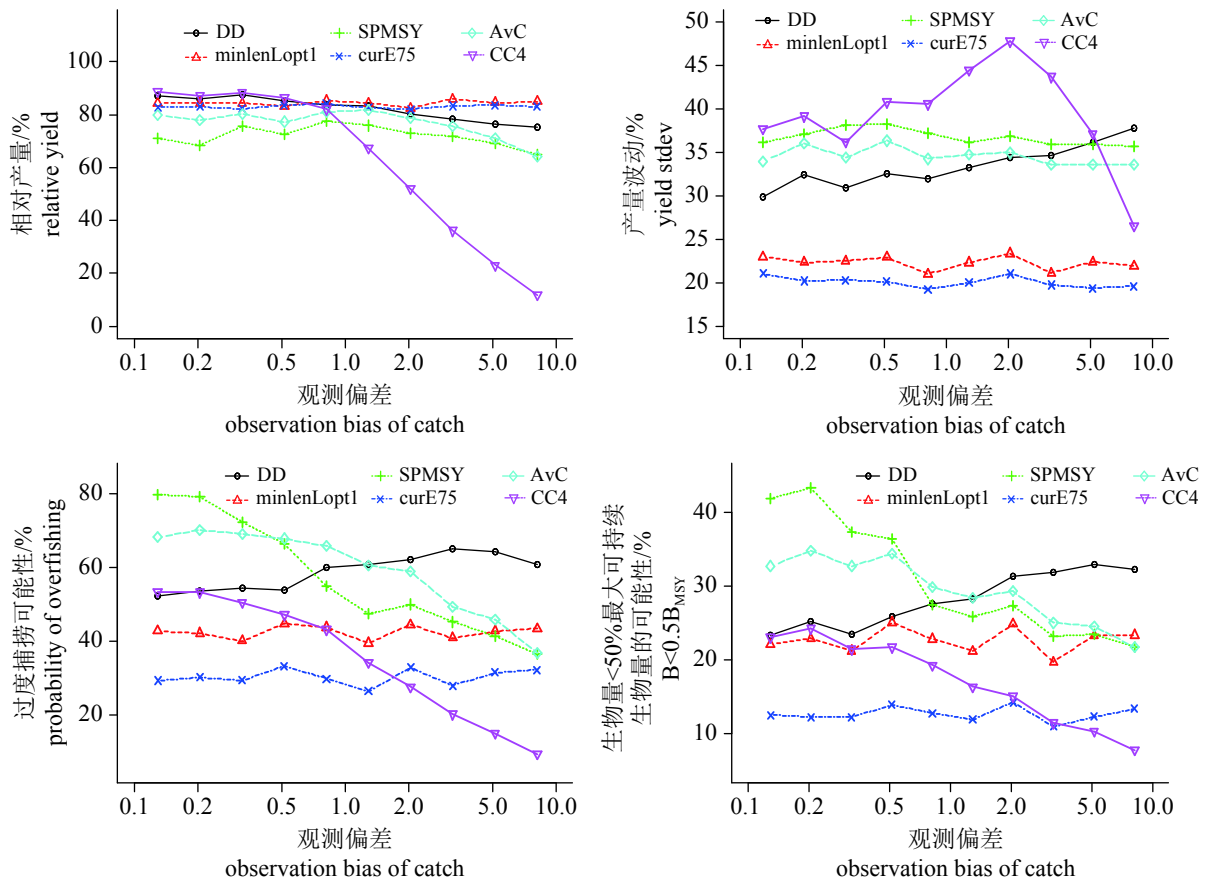


图2 蓝点马鲛渔业各评价指标对渔获观测偏差的响应

Fig. 2 Response of evaluation index of *S. niphonius* fishery to the observation bias

2.2 管理策略综合比较

为综合评价各MP的表现, 参考相关研究设置中等水平的渔获量数据观测误差与观测偏差 $Cbiascv=0.40$, $Cobs=(0.75\sim1.33)$, 对DD、SPMSY、CC4、AvC、minlenLopt1、curE75 6种MP进行管理策略评估。分析结果表明, 应用AvC、DD进行渔业管理虽然能维持当前的产量水平, 但不利于种群生物量的恢复; 相反的, SPMSY虽然能维持当前的生物量水平, 但不能提供较高的产量。应用minlenLopt1方法基本能维持目前的产量和生物量水平, 而CC4能使生物量维持在较好的水平, 但提供的产量低于目前产

量。curE75能在维持目前产量的基础上使生物量维持在较好的水平, 因此若管理目标着重于种群资源恢复, curE75较适用于目前的蓝点马鲛渔业资源管理(图3)。

比较各MP的过度捕捞可能性和产量波动可以看出, curE75生物量大于50%最大可持续生物量的可能性较高, 长期产量输出好, 过度捕捞的可能性较低, 产量波动小; 相反的DD产量波动较大, 生物量大于50%最大可持续生物量的可能性在6种MP中较差, 且过度捕捞可能性较高。因此权衡过度捕捞可能性和产量波动, curE75较适用于目前的蓝点马鲛渔业资源管理(图4)。

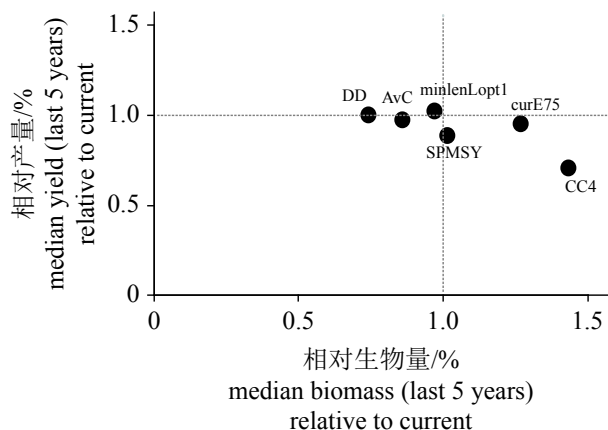


图3 不同MP关于生物量和产量的表现

Fig. 3 Different performance about biomass and yield in different management procedures

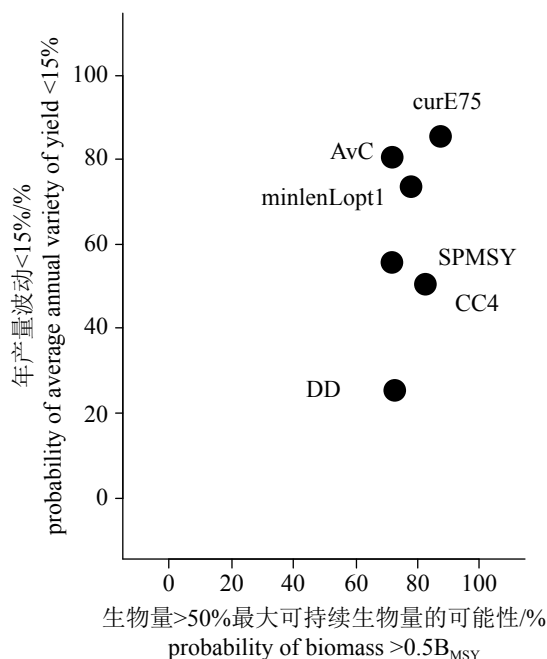
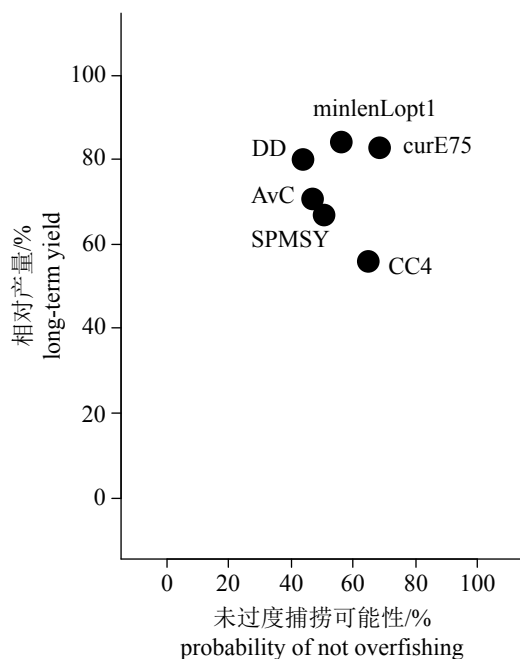


图4 不同MP关于过度捕捞可能性和产量波动的表现

Fig. 4 Different performance about the probability of overfishing and the variability of yield in different management procedures

3 讨论

本研究表明, 输入控制MP不易受到观测误差和观测偏差的影响, 而输出控制MP对观测误差有不同程度的响应, 其中CC4变化最为明显, 随着观测误差的增大, 相对产量逐渐降低, AvC、SPMSY、DD 3种MP对观测误差的敏感程度相对较弱。该类MP还会受观测偏差的影响, 在观测偏差取值为0.10~10.00时, CC4、AvC、SPMSY 3种MP相对产量、过度捕捞可能性、 $B < 0.5$

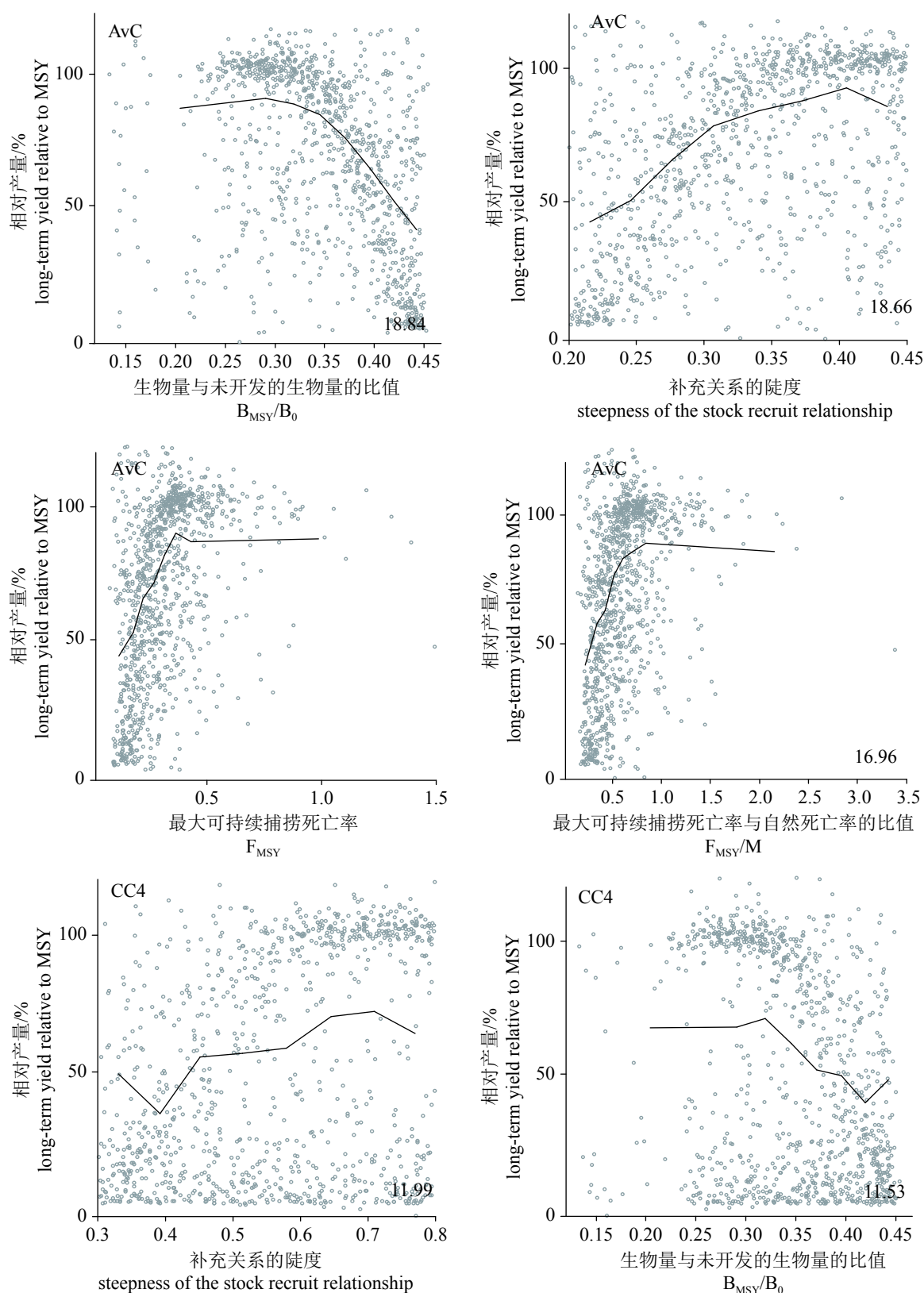
2.3 敏感性分析

对6种MP进行敏感性分析(图5), 可以发现各MP模拟产生的产量结果对OM中的各参数有不同程度的敏感性。设定相对产量波动标准差>10%即为敏感, 则SPMSY、AvC、DD等3种MP对最大可持续生物量与未开发的生物量的比值(B_{MSY}/B_0)、补充关系的陡度(steeptness of the stock recruit relationship, h_s)、最大可持续捕捞死亡率与自然死亡率的比值(F_{MSY}/M)以及最大可持续捕捞死亡率(F_{MSY})参数的变化较为敏感, 其中AvC对各参数的敏感程度最高, 而CC4对 h_s 、 B_{MSY}/B_0 、 F_{MSY} 参数的变化较为敏感。minlenLopt1、curE75对OM中各参数的敏感程度较低。

B_{MSY} 的变化较为明显, 而DD受观测偏差的影响相对较小。综合比较各项指标, 在输出控制类MP中, DD受渔获量数据的不确定性影响相对较小, 能够降低渔业管理风险。因此若要选用输出控制MP进行渔业管理, 考虑到目前我国渔获量统计数据的不确定性, DD更适用于目前我国的蓝点马鲛渔业。在应用DD管理蓝点马鲛渔业时, 需要捕捞努力量、渔获量及最大年龄、最大体长、生长参数 K 、理论上体长等于零时的年龄 t_0 、自然死亡率 M 、幂指数系数 b 等生物学参

数。MP的选择也要考虑实际的管理目标, 例如保持产量, 长期修复, 或者是短时间提高产量

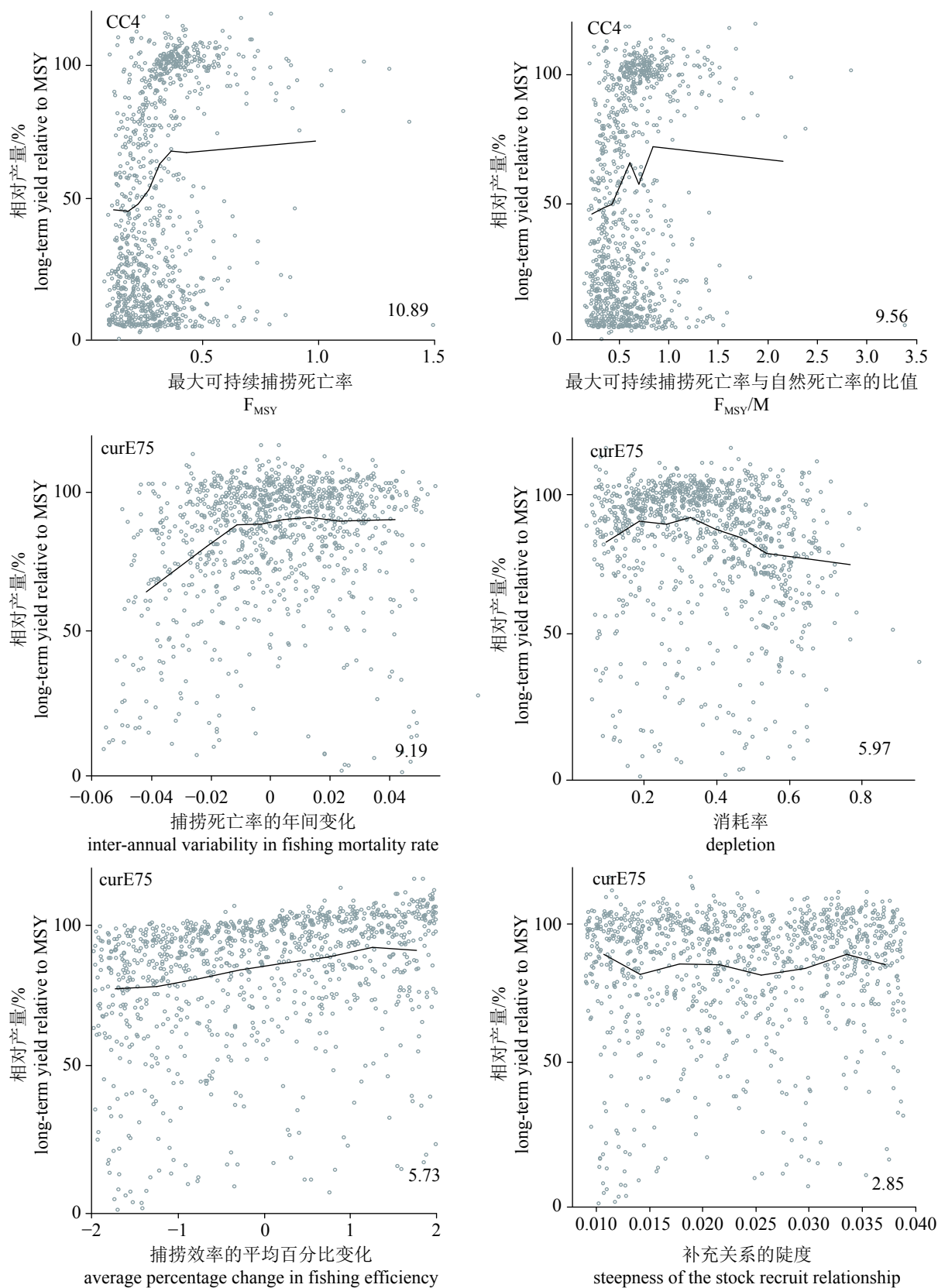
等。若捕捞数据不确定性水平不大, 仅以维持蓝点马鲛渔业资源生物量、减少过度捕捞可能



(图5 Fig. 5)

性和降低产量波动为目标, 则curE75能提供的较高的产量可同时使生物量维持在较好的水平,

且过度捕捞可能性较低、产量波动小, 较适用于蓝点马鲛渔业资源管理。在应用curE75管理规

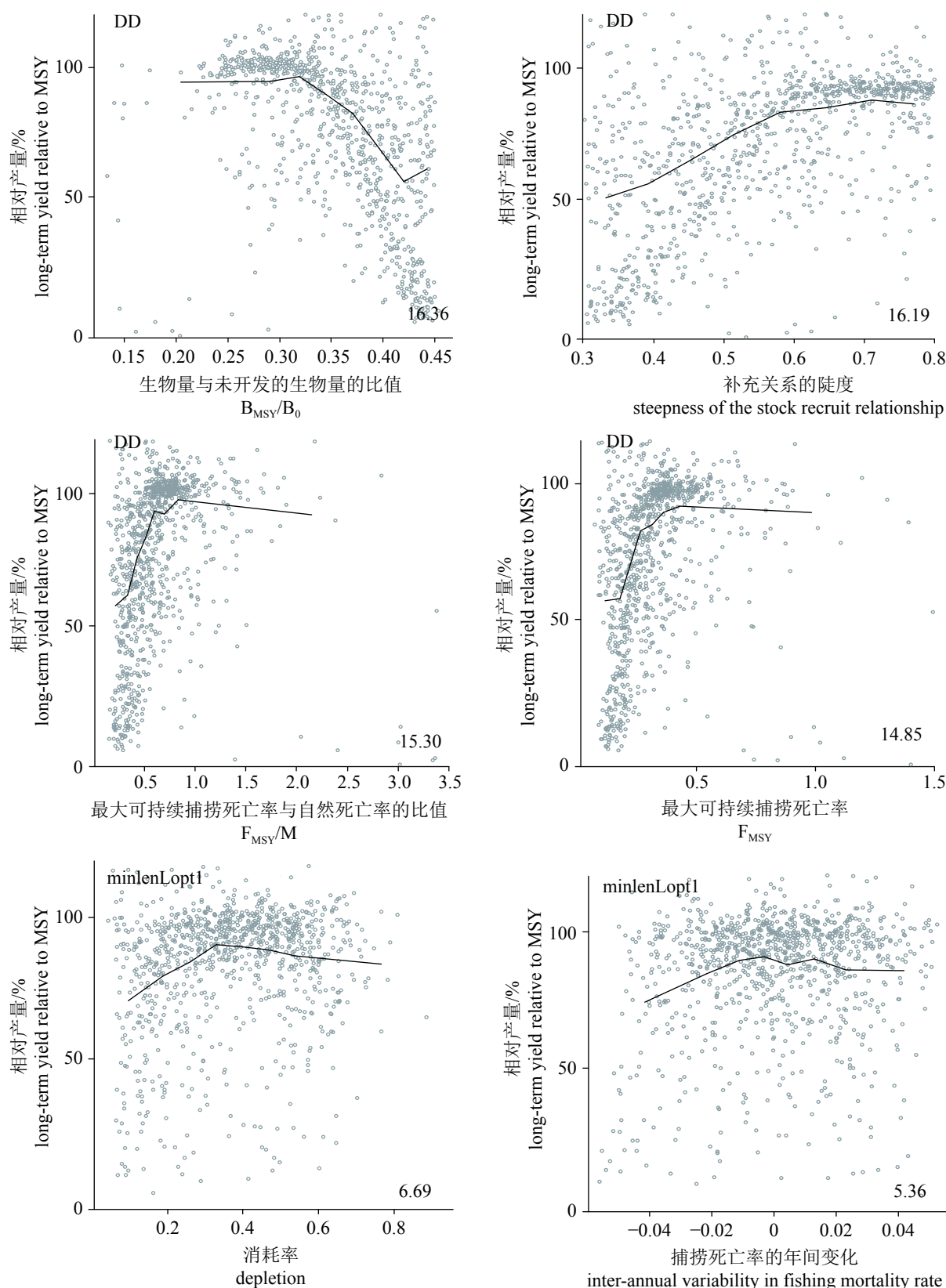


(图5 Fig. 5)

程到蓝点马鲛渔业资源真实数据时, 需要较为准确的历史捕捞努力量数据、渔获量数据及最

大年龄等生物学数据。

Carruthers等^[22]利用MSE对若干种管理规程



(图5 Fig. 5)

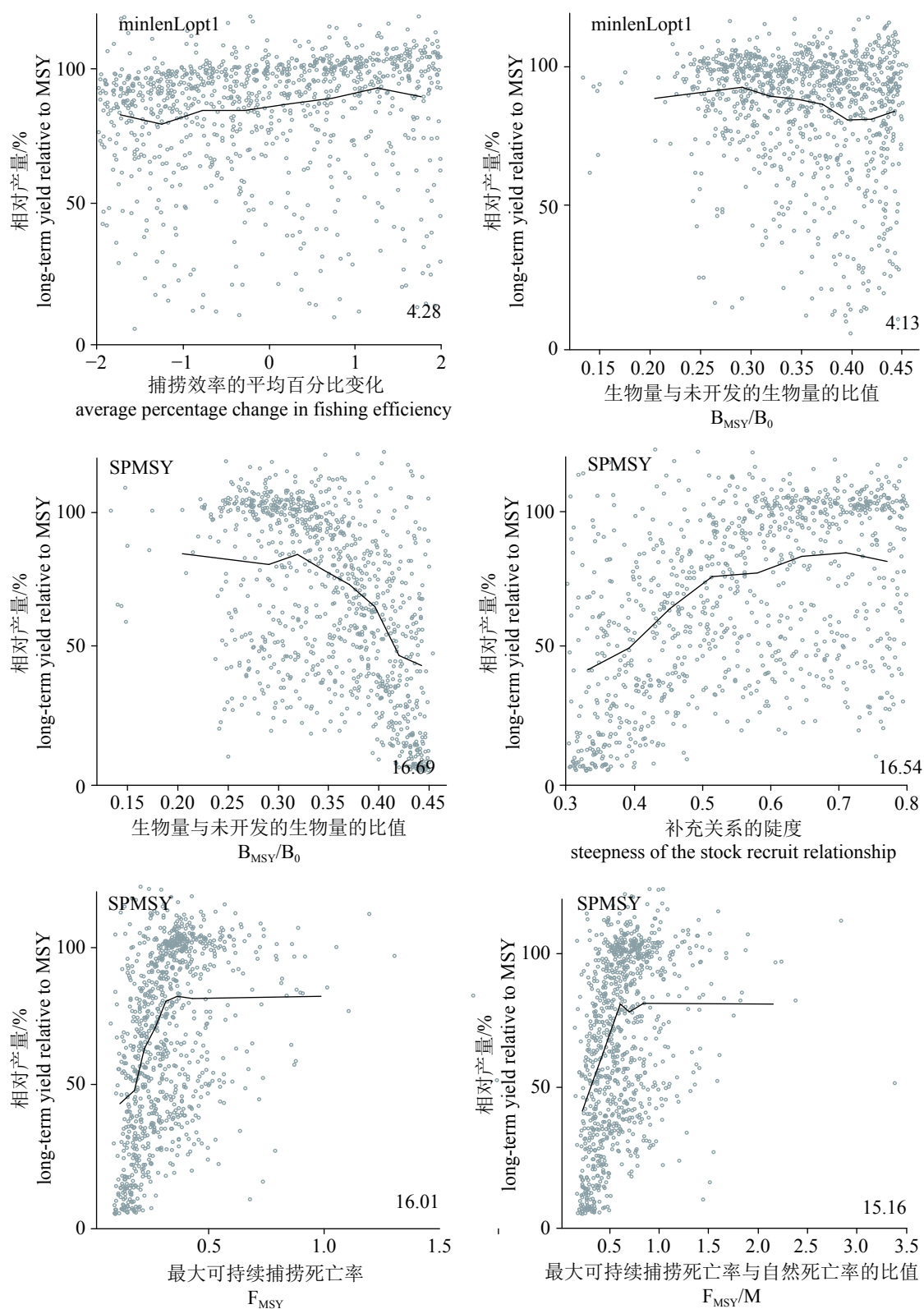


图 5 不同MP对操控模型参数的敏感性分析

图中左上角为对应MP, 右下角数字为相对产量波动标准差

Fig. 5 The sensitivity analysis of the operating model parameters in different management procedures

The upper left corner of the figure is the corresponding MP, and the lower right figure is the standard deviation of relative output fluctuations

进行了比较,其中包括DD和CC4。其研究表明,若权衡长期产量和种群恢复,DD方法较适用于太平洋鲱(*Clupea pallasii*)、金枪鱼(*Thunnus thynnus*)以及鲷科(Sparidae)鱼类的渔业管理,与本研究的结论有所差异。这可能是因为蓝点马鲛与太平洋鲱、金枪鱼以及鲷科鱼类等生物学参数、资源现状存在差异。该研究还指出CC4方法在提供产量方面效果较差,这与本研究的结论相符。Carruthers等^[26]也对不同类型的MP进行了评估,其研究指出基于捕捞的MP能够获得较高产量,但同时易造成过度捕捞。本研究使用的CC4、DD、SPMSY、AvC等均属于基于捕捞的MP,除CC4外其余3种MP的过度捕捞可能性均>50%,与该研究结果相符。

在进行蓝点马鲛渔业管理时,还需要考虑到我国目前蓝点马鲛渔业状况及蓝点马鲛生物学特征。近年来,为了科学养护和合理利用海洋生物资源,我国采取了一系列减少捕捞压力的措施,例如捕捞渔船“双控”制度的实施等,但我国近海渔业资源依然面临巨大的生存压力^[27]。在对蓝点马鲛渔业管理中需考虑到渔业产量的波动性和统计数据的不确定性。此外,气候等环境条件也会对蓝点马鲛渔业资源产生重要影响,特别是蓝点马鲛早期发育过程受栖息地温度、盐度、水深等变化的影响显著^[28],栖息地环境会影响蓝点马鲛的成活率。此外,蓝点马鲛生长发育速率与温度有较强的相关性,在水温15~21℃时,随着温度的升高,蓝点马鲛胚胎发育速率逐渐加快^[29],因此温度变化对资源的补充有很大影响。另有研究指出,蓝点马鲛生长过程中对水质的要求也较高,等温线分布的偏移决定着蓝点马鲛渔场的分布^[30]。该鱼种具有分布范围广、洄游距离远、生命周期长^[4]等特点,存在跨国境洄游,因此在应用具体的管理规程时也需要将这些影响因素考虑在内。

另外需要注意的是,本研究中设置interval=2,即预测年数30年中每2年对资源进行1次评估,而不同的interval会对最后结果产生一定影响,因此需要进一步分析。渔获量只是DLMtool模型其中一项不确定性来源,通过敏感性分析可以发现各管理规程对操控模型OM的各参数有不同程度的敏感度,其中应用SPMSY、AvC、DD、CC4等MP进行渔业管理时影响评估模型表现的主要因素并非捕捞数据的质量,而是 B_{MSY}/B_0 、

h_s 、 F_{MSY} 、 F_{MSY}/M 等参数,因此在以后的研究中需要将这些不确定性来源考虑在内,在蓝点马鲛的生物学特征数据等方面优化模型。此外,随着近海生态结构变化,例如捕食者数量减少导致的鱼类种群数量发生变化等,蓝点马鲛资源特性发生相应改变。例如鱼类的自然死亡率是由该鱼种在生态系统中的位置及其与相关物种的关系决定的,在鱼类资源评估中起着非常重要的作用,同时也是影响鱼类种群变动的参数中最难直接观测的参数之一^[31]。因此针对自然死亡率进行不确定性分析是亟待解决的问题,在今后的研究中需进一步分析。

参考文献:

- [1] 成庆泰,郑葆珊.中国鱼类系统检索[M].北京:科学出版社,1987.
Cheng Q T, Zheng B S. Systematic Synopsis of Chinese Fishes[M]. Beijing: Science Press, 1987(in Chinese).
- [2] 邱盛尧,叶懋中.黄渤海蓝点马鲛繁殖生物学的研究[J].海洋与湖沼,1996,27(5):463-470.
Qiu S Y, Ye M Z. Studies on the reproductive biology of *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1996, 27(5): 463-470(in Chinese).
- [3] 郑元甲,李建生,张其永,等.中国重要海洋中上层经济鱼类生物学研究进展[J].水产学报,2014,38(1):149-160.
Zheng Y J, Li J S, Zhang Q Y, et al. Research progresses of resource biology of important marine pelagic food fishes in China[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(1): 149-160(in Chinese).
- [4] Shui B N, Han Z Q, Gao T X, et al. Mitochondrial DNA variation in the East China Sea and Yellow Sea populations of Japanese Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius*[J]. Fisheries Science, 2009, 75(3): 593-600.
- [5] 叶昌臣.蓝点鲷(*Scomberomorus niphonius* Cuvier & Valenciennes)种群的动态特征[J].海洋通报,1987,6(8):43-47,42.
Ye C C. The dynamic characteristics of population of the Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* (C. ET V.)(J). Marine Science Bulletin, 1987, 6(8): 43-47, 42(in Chinese).
- [6] 邱盛尧.黄渤海蓝点马鲛*Scomberomorus niphonius* (Cuvier et Valenciennes)资源数量变动的研究[J].现代渔业信息,1995,10(3):16-19.

- Qiu S Y. Dynamics of Japanese Spanish mackerel, *Scomberomorus niphonius* (Cuvier et Valenciennes) stocks in the Yellow Sea and Bohai Sea[J]. Modern Fisheries Information, 1995, 10(3): 16-19(in Chinese).
- [7] 孙本晓. 黄渤海蓝点马鲛资源现状及其保护[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- Sun B X. The current situation and conservation of *Scomberomorus niphonius* in Yellow sea and Bohai bay[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009(in Chinese).
- [8] Quinn T J, Deriso R B. Quantitative Fish Dynamics[M]. New York: Oxford University Press, 1999.
- [9] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 173-174.
- Zhan B Y. The Fishery Stock Assessment[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1995: 173-174 (in Chinese).
- [10] Aanes S, Engen S, Sæther B E, *et al.* Estimation of the parameters of fish stock dynamics from catch-at-age data and indices of abundance: can natural and fishing mortality be separated?[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2007, 64(8): 1130-1142.
- [11] Carruthers T, Hordyk A. DLMtool: Data-limited methods toolkit[EB/OL]. <https://CRAN.R-Project.org/package=DLMtool>, 2017.
- [12] Honey K T, Moxley J H, Fujita R M. From rags to fishes: data-poor methods for fishery managers[J]. Managing Data-Poor Fisheries: Case Studies, Models & Solutions, 2010, 1(978): 159-184.
- [13] Butterworth D S, Punt A E. Experiences in the evaluation and implementation of management procedures[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1999, 56(6): 985-998.
- [14] Carruthers T R, Hordyk A. DLMtool: data-limited methods toolkit[J]. 2015.
- [15] Fromentin J M, Bonhommeau S, Arrizabalaga H, *et al.* The spectre of uncertainty in management of exploited fish stocks: the illustrative case of Atlantic Bluefin tuna[J]. *Marine Policy*, 2014, 47: 8-14.
- [16] 刘蝉馨, 张旭, 杨开文. 黄海和渤海蓝点马鲛生长的研究[J]. 海洋与湖沼, 1982, 13(2): 170-178.
- Liu C X, Zhang X, Yang K W. Studies on the growth of Spanish mackerel, *Scomberomorus niphonius* in the Huanghai Sea and Bohai Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1982, 13(2): 170-178(in Chinese).
- [17] 尤宗博. 蓝点马鲛大网目流刺网的选择性[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- You Z B. The selectivity of the big mesh gillnet for *Scomberomorus niphonius*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014(in Chinese).
- [18] 楼丹, 施慧雄, 焦海峰, 等. 象山港蓝点马鲛渔获情况初步研究[J]. *河北渔业*, 2010(10): 38-39, 49.
- Lou D, Shi H X, Jiao H F, *et al.* Fishing output for spawning stock of *Scomberomorus niphonius* in Xiangshan Bay[J]. *Hebei Fisheries*, 2010(10): 38-39, 49(in Chinese).
- [19] 李明云, 林瑞才, 洪良赠. 三门湾蓝点马鲛产卵群体结构和个体生殖力[J]. 台湾海峡, 1990, 9(4): 366-374.
- Li M Y, Lin R C, Hong L Z. Composition of spawning stock and individual fecundity of Spanish mackerel in Sanmen Bay, Zhejiang[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1990, 9(4): 366-374(in Chinese).
- [20] Al-Hosni A H S, Siddeek S M. Growth and mortality of the narrowbarred Spanish mackerel, *Scomberomorus commerson* (Lacepède), in Omani waters[J]. *Fisheries Management and Ecology*, 1999, 6(2): 145-160.
- [21] Carruthers T R, Walters C J, McAllister M K. Evaluating methods that classify fisheries stock status using only fisheries catch data[J]. *Fisheries Research*, 2012, 119-120: 66-79.
- [22] 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.
- [23] Martell S, Froese R. A simple method for estimating MSY from catch and resilience[J]. *Fish and Fisheries*, 2013, 14(4): 504-514.
- [24] Hordyk A, Ono K, Sainsbury K, *et al.* Some explorations of the life history ratios to describe length composition, spawning-per-recruit, and the spawning potential ratio[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2015, 72(1): 204-216.
- [25] Geromont H F, Butterworth D S. Generic management procedures for data-poor fisheries: forecasting with few data[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2015, 72(1): 251-261.
- [26] Carruthers T R, Punt A E, Walters C J, *et al.* Evaluating methods for setting catch limits in data-limited fisheries[J]. *Fisheries Research*, 2014, 153: 48-68.
- [27] 孙吉亭, 卢昆. 中国海洋捕捞渔船“双控”制度效果评价及其实施调整[J]. 福建论坛: 人文社会科学版, 2016(11): 49-55.
- Sun J T, Lu K. Effect evaluation and implementation ad-

- justment of "Double Control" system of Chinese marine fishing[J]. Fujian Tribune, 2016(11): 49-55(in Chinese).
- [28] 宋超, 王宇坛, 刘尊雷, 等. 象山港蓝点马鲛鱼卵、仔稚鱼的时空分布特征及其与环境因子关系[J]. 中国水产科学, 2016, 23(5): 1197-1204.
- Song C, Wang Y T, Liu Z L, *et al.* Relationship between environmental factors and distribution of *Scomberomorus niphonius* eggs, larvae, and juveniles in Xiangshan Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(5): 1197-1204(in Chinese).
- [29] 姜屹倩, 樊艳楠, 郑春静, 等. 温度对蓝点马鲛胚胎发育的影响[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2016, 35(4): 271-275.
- Jiang Y Q, Fan Y N, Zheng C J, *et al.* The effect of temperature on embryonic development of *Scomberomorus niphonius*[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition), 2016, 35(4): 271-275(in Chinese).
- [30] 袁杨洋, 叶振江, 刘群, 等. 黄海南部春季蓝点马鲛 (*Scomberomorus niphonius*) 渔场海洋学特征与渔期渔场分布[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(4): 506-510.
- Yuan Y Y, Ye Z J, Liu Q, *et al.* Fishery oceanography and spatial-temporal distribution of *Scomberomorus niphonius* in spring in southern Yellow Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(4): 506-510(in Chinese).
- [31] Tanasichuk R W. Age-specific natural mortality rates of adult Pacific herring (*Clupea pallasii*) from southern British Columbia[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2000, 57(11): 2258-2266.

Management strategy evaluation of mackerel (*Scomberomorus niphonius*) fishery with uncertainty of catch data

CHEN Ning¹, XU Binduo¹, XUE Ying¹, JI Yupeng¹, REN Yiping^{1,2}, ZHANG Chongliang^{1*}

(1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Laboratory of Marine Fisheries Science and Food Production Processes,

Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China)

Abstract: Spanish mackerel is an economic species in the Yellow Sea and Bohai Sea, which occupies an important position in marine fishery, and it is important to evaluate its biomass and stock status. However, the fishery lacks relevant data in China, which causes the difficulty in fisheries evaluation and management. Among them, the uncertainty of catch data is especially noticeable, and its variation in values and trends is often measured with the observation error and bias. This study evaluated the performances of six data-limited management procedures which belong to two categories: output control and input control, and we focus on their response and sensitivity to observation error and bias of catch data. Our results indicate that output control MPs including CC4SPMSY and AvC are more sensitive to observation error and bias, while DD showed slight response to observation error and bias, which is more suitable for managing mackerel fishery. And the sensitivity analysis showed that output control MPs are sensitive to the OM parameters including B_{MSY}/B_0 , h_s , F_{MSY}/M and F_{MSY} . Relatively, the input control including minlenLopt1 and curE75 is not sensitive to the uncertainty of catch data and OM parameters. In general, we can conclude that the input control MP shows minor responses to the catch error and catch bias, whereas the output control MP shows different responses to the catch error. And according to the MSE, curE75 has the best balance between the exploitation and protection of mackerel fishery.

Key words: *Scomberomorus niphonius*; uncertainty analysis; DLMtool; observation error; observation bias

Corresponding author: ZHANG Chongliang. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn

Funding projects: Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201303050); Supported by the Fundamental Research Funds for the Central Universities (201612004)