

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

张魁¹, 刘群², 廖宝超³, 许友伟¹,
孙铭帅¹, 耿平¹, 陈作志^{1*}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部外海渔业开发重点实验室, 广东广州 510300;

2. 中国海洋大学水产学院, 山东青岛 266003;

3. 山东大学数学与统计学院, 山东威海 264209)

摘要: 为了研究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, 以南大西洋长鳍金枪鱼渔业产量和单位捕捞努力量渔获量(CPUE)数据作为基础数据, 加入5种不同程度[变异系数(CV)=1%、5%、10%、20%和30%]的随机误差, 模拟了①无数据失真, ②仅产量数据失真, ③仅CPUE数据失真, ④产量和CPUE数据均失真等4种情况。利用基于ASPIC的非平衡剩余产量模型(ASM)和基于贝叶斯状态空间建模方法的非平衡剩余产量模型(BSM)分别评估了最大可持续产量(MSY)、 B_{MSY} 、 F_{MSY} 、 B_{2011}/B_{MSY} 、 F_{2011}/F_{MSY} 等5种生物学参考点和管理指标。结果显示, 在无数据失真情况下, ASM和BSM评估的MSY分别为 2.866×10^4 t和 2.836×10^4 t, B_{2011}/B_{MSY} 分别为1.366和1.324, F_{2011}/F_{MSY} 分别为0.627和0.667, 均相差不大, 表明该渔业目前状态良好, ASM得到了较大的 B_{MSY} (31.48×10^4 t)和较小的 F_{MSY} (0.091); 数据失真对ASM评估的 B_{MSY} 和 F_{MSY} 分别产生了严重的过低估计和过高估计, 且CPUE数据失真产生的影响要比产量数据失真大; 随着随机误差的增大, BSM评估的生物学参考点和管理指标的绝对百分比偏差有增大趋势; 与ASM相比, BSM能够更好地处理渔业数据中存在的随机误差, 除了MSY以外, BSM评估的生物学参考点和管理指标绝对百分比偏差均要比ASM的评估结果低, 尤其是 B_{MSY} 和 F_{MSY} 。因此, 在使用存在较大随机误差的渔业数据进行资源评估时, BSM具有一定的优势。

关键词: 渔业数据失真; 非平衡剩余产量模型; 贝叶斯状态空间建模方法; 生物学参考点
中图分类号: S 937.3 **文献标志码:** A

海洋渔业资源作为一种可再生资源, 是人类重要的动物蛋白和微量营养物质来源, 并为从事捕捞活动的渔民提供就业机会和经济来源^[1-2]。近几十年来, 由于捕捞强度增加和环境污染等加剧, 世界范围内海洋渔业资源的衰退现象日益严重^[1, 3]。资源评估与管理是维持渔业可持续发展的基础, 存在资源评估的种群资源量水平(B/B_{MSY})要明显优于其他种群^[4]。然而, 渔业管

理正面临全球产量数据系统失真的挑战^[5-6], “Sea Around Us”(SAU)研究计划显示每年有27%~40%的海洋渔业捕捞产量未向国际粮农组织(FAO)报告(图1)^[2, 7]。数据失真会影响资源评估结果, 进而干扰渔业管理策略, 大西洋鳕(*Gadus morhua*)渔业的崩溃便是一个典型例证^[6, 8-9]。

中国是世界渔业大国, 统计制度尚不完善, 难以提供系统和准确的渔业产量数据, 已

收稿日期: 2017-10-24 修回日期: 2018-01-08

资助项目: 国家自然科学基金(31602157); “九七三”国家重点基础研究发展计划(2014CB441500); 中央级公益性科研院所基本科研业务费(2016TS06)

通信作者: 陈作志, E-mail: zzchen2000@163.com

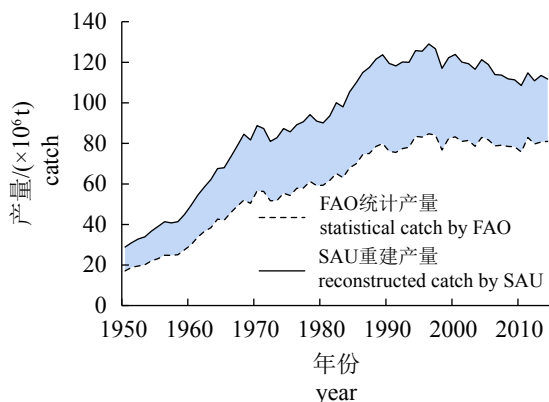


图1 1950—2014年SAU重建的全球海洋渔业产量以及FAO统计产量

二者差值为未报告的产量

Fig. 1 Time series of global reconstructed marine fisheries catches from Sea Around Us (SAU) and FAO statistical catch from 1950 to 2014

The difference between them shows the unreported catches

导致国内外诸多质疑^[5, 10]。渔业生物学参考点(biological reference points, BRPs)如最大持续产量(maximum sustainable yield, MSY)、对应MSY的资源量(B_{MSY})、对应MSY的捕捞死亡系数(F_{MSY})等的评估都以统计产量为基础^[11-14]。Wang等^[15]研究了渔业统计数据失真对剩余产量模型MSY评估结果的影响,但并未考虑对其他生物学参考点和管理指标的影响。在实际的渔业管理中,往往根据多种生物学参考点和管理指标综合评价渔业状态^[16],比如金枪鱼渔业管理中的“Kobe Plot”(基于 B/B_{MSY} 和 F/F_{MSY} 评估结果)^[17]。另外,由于缺乏连续的渔业科学调查,单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)数据主要来自商业捕捞,而CPUE数据可能会受到海洋环境、捕捞能力和空间自相关等因素影响,存在不确定性^[18]。

贝叶斯方法可以充分考虑评估模型及参数的不确定性,近年来被广泛应用于中国近海渔业资源评估^[12-13, 19-20],然而该方法是否能够减弱渔业数据失真带来的不良影响却不得而知。因此,本研究分析了产量和CPUE数据失真对基于ASPIC (a stock-production model incorporating covariates)的非平衡剩余产量模型(ASM)^[11]和基于贝叶斯状态空间建模方法的非平衡剩余产量模型(BSM)^[12]生物学参考点和管理指标评估结果的影响,以期为当前的渔业资源评估和管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

基础数据来自南大西洋长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)渔业,该渔业历经数十年的商业开发,是全球23个存在资源评估与管理的金枪鱼渔业之一^[17],由国际大西洋金枪鱼保护委员会(IC-CAT)负责管理。1975—2011年产量数据来自IC-CAT统计数据库(<http://www.iccat.int/en/accesingdb.htm>),1975—2011年CPUE数据来自中国台湾延绳钓渔业,经广义线性模型(generalized linear model, GLM)进行了标准化处理^[21-22]。产量经过20世纪80—90年代的高位后呈下降趋势,2011年产量为24 129 t。CPUE经过20世纪90年代的下降后,逐步稳定在0.1 t/千钩(图2)。

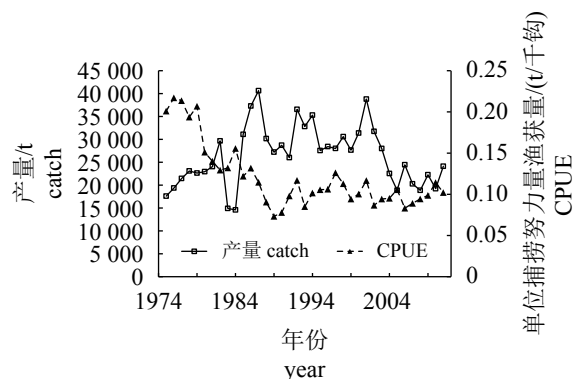


图2 南大西洋长鳍金枪鱼渔业统计产量和标准化CPUE数据

Fig. 2 Statistical data of the catch and standardized catch per unit effort (CPUE) of the southern *T. alalunga* fishery

1.2 ASM

ASM通过ASPIC软件进行数据分析和参数评估^[23]。由于生物量增长函数假设的不同,剩余产量模型存在多种形式,较常用的有Fox、Schaefer和Pella-Tomlinson模型,在ASPIC软件中对应为FOX、LOGISTIC和GENFIT模块。本研究采用GENFIT模块,即修正的Pella-Tomlinson模型^[24]:

$$\frac{dB_t}{dt} = \gamma m \frac{B_t}{K} - \gamma m \left(\frac{B_t}{K} \right)^n \quad (1)$$

式中, B_t 为 t 年的生物量; K 为环境容量; m 为MSY; 指数 n 决定了剩余产量曲线的形状,当 $n=2$ 时模型变为Schaefer形式, γ 为一个包含指数 n 的方程:

$$\gamma = \frac{n^{n/(n-1)}}{n-1} \tag{2}$$

方程中存在一个可去奇点(removable singularity) $n=1$, 在这种情况下, 模型(1)等价于Fox形式的剩余产量模型^[24]。

利用ASPIC软件中的BOT模块对CPUE真实值与预测值之间的残差进行bootstrapping, 以计算生物学参考点的置信区间, 每次迭代运算1 000次(1 000次为ASPIC软件中建议的bootstrapping次数)。ASM生物学参考点的计算:

$$\begin{aligned} MSY &= m; \\ B_{MSY} &= K \times n^{1/(1-n)}; \\ F_{MSY} &= m / (K \times n^{1/(1-n)}). \end{aligned}$$

数据处理和分析在ASPIC(version 5.34.9)和R语言(version 3.3.3)中完成。

1.3 BSM

BSM采用贝叶斯状态空间建模方法, 该方法包括3个概率密度函数^[12]:

$$g_t(B_t | B_{t-1}, \Theta) \text{ 状态过程} \tag{3}$$

$$g_0(B_0, \Theta) \text{ 初始化过程} \tag{4}$$

$$f(I_t | B_t, \Theta) \text{ 观测过程} \tag{5}$$

式中, I_t 为资源丰度相对指数; Θ 为模型中的参数向量, 包括参数内禀增长率 r 、可捕系数 q 、 K 、 z 、过程误差 σ 和观测误差 τ 。

状态过程定义为以下离散时间形式:

$$B_t = B_{t-1} + f(B_{t-1}) - C_{t-1} \tag{6}$$

式中, C_t 为 t 年的渔获量; $f(B_{t-1})$ 使用公式(1)中Pella-Tomlinson形式的剩余产量模型:

$$f(B_{t-1}) = rB_{t-1} [1 - (\frac{B_{t-1}}{K})^z] \tag{7}$$

式中, 指数 z 反应了不对称程度, 当 $z=1$ 时模型变

为Schaefer形式。为简化公式防止参数混淆, 设置参数 $P_t = B_t/K$ 并带入公式(6)和(7)得到:

$$P_t = P_{t-1} + rP_{t-1}(1 - P_{t-1}^z) - \frac{C_t}{K} \tag{8}$$

模型中各参数先验分布的设置均参照已有研究。其中, 剩余产量模型中的过程误差和观测误差一般采取对数正态分布形式, 过程误差 σ 可以表示为 $P_t \sim \text{lognormal}(P_t, \sigma^2)$ 。观测过程中假设资源丰度相对指数与生物量成正比, 即: $I_t = qB_t$, 观测误差 τ 可以表示为 $I_t \sim \text{lognormal}(I_t, \tau^2)$ ^[12]。内禀增长率 r 和环境容量 K 以张魁等^[25]的评估结果为先验信息(南大西洋长鳍金枪鱼渔业 r 和 K 评估结果的80% bootstrap置信区间作为对数正态先验分布的80%置信区间), 形状参数 z 和无先验信息参数的分布形式依照Meyer等^[26]研究中相同参数设置, 即形状参数 z 采用均匀分布而可捕系数 q 、观测误差 τ 和过程误差 σ 采用逆伽马分布(表1)。文中对数先验分布均为以自然对数 e 为底。

利用马尔科夫链蒙特卡洛(Markov chain Monte Carlo, MCMC)模拟得到参数的后验分布, 每次运算进行30 000次迭代, 剔除前10 000次预烧后每隔20组值进行取样, 共得到1 000组参数结果。BSM生物学参考点的计算:

$$\begin{aligned} F_{MSY} &= r / [(z+1)^{(1/z)}], \\ B_{MSY} &= K / [(z+1)^{(1/z)}], \\ MSY &= F_{MSY} \times B_{MSY}. \end{aligned}$$

模型的编程和数据处理在WINBUGS (version 1.4.3)和R语言(version 3.3.3)中完成。

1.4 数据失真模拟

在产量和CPUE数据中加入5种不同程度(变异系数, CV=1%、5%、10%、20%和30%)的随机误差, 通过Box-Muller方法产生正态分布随机数^[15]。

表 1 贝叶斯状态空间建模方法中各参数的先验分布函数

Tab. 1 Summary of prior distribution functions used for the parameters in the Bayesian state-space modelling

参数 parameters	先验分布 prior distribution
内禀增长率 intrinsic growth rate r	对数正态分布 Lognormal (-0.978, 1.2)
环境容量 carrying capacity K	对数正态分布 Lognormal (3.4, 1.7)
可捕系数 catchability coefficient q	逆伽马分布 Inverse-gamma (0.001, 0.001)
形状参数 shape parameter z	均匀分布 Uniform (1, 5)
过程误差 process error variance σ^2	逆伽马分布 Inverse-gamma (0.001, 0.001)
观测误差 observation error variance τ^2	逆伽马分布 Inverse-gamma (0.001, 0.001)

分以下4种情况进行研究: ①数据无失真, ②仅产量数据失真, ③仅CPUE数据失真, ④产量和CPUE数据均失真。为方便与情况②和③评估结果的对比, 并控制迭代次数, 情况④产量和CPUE数据只考虑相同程度的五种失真情况。CV用以下公式表示:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \quad (9)$$

式中, S 为标准差; \bar{x} 为平均值。

2 结果

2.1 数据无失真

数据无失真情况下, ASM和BSM评估得到的Kobe plot (图3)显示, 1975—2011年南大西洋长鳍金枪鱼渔业资源量水平 B/B_{MSY} 评估结果都大

于1; ASM评估的捕捞死亡率水平 F/F_{MSY} 仅在2001年大于1, 而BSM评估的 F/F_{MSY} 在1987、1990、1992—1994和2001—2002年大于1。ASM和BSM评估的MSY分别为 2.866×10^4 t和 2.836×10^4 t, 2011年捕捞死亡率水平 F_{2011}/F_{MSY} 和资源量水平 B_{2011}/B_{MSY} 评估结果均相差不大; 2个模型评估的 B_{MSY} 和 F_{MSY} 相差较大, ASM得到了较大的 B_{MSY} 和较小的 F_{MSY} ; BSM评估得到的参数变异系数CV均大于ASM评估结果(表2)。

2.2 仅产量数据失真

在仅产量数据失真的情况下, 随着产量数据随机误差的增加, 2个模型评估的MSY和 B_{2011}/B_{MSY} 均未产生明显的变化, 而 F_{2011}/F_{MSY} 评估结果在CV=20%情况下产生了明显的过低估计(图4)。5种不同程度的产量数据失真对ASM模型

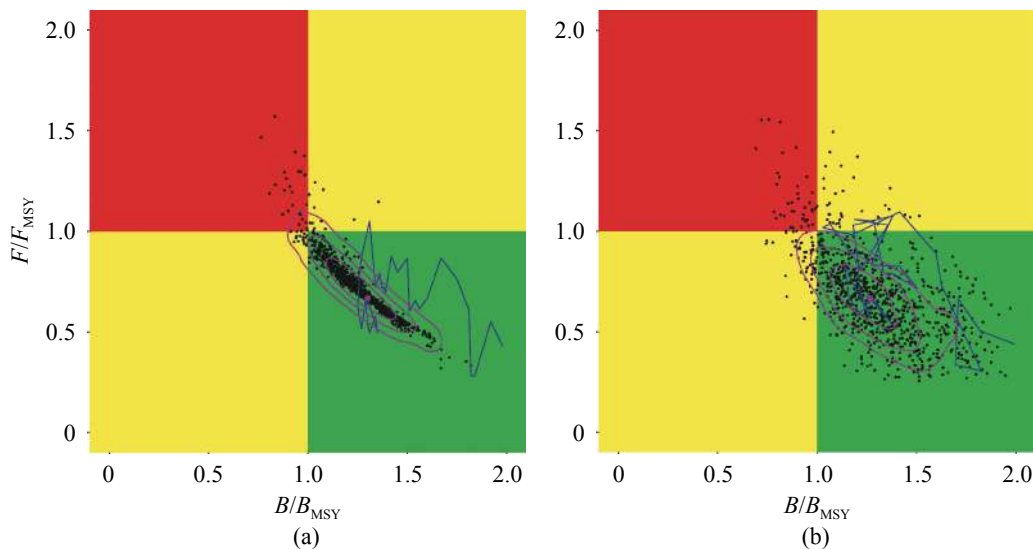


图3 ASM (a)和BSM (b)评估得到的Kobe图

蓝色线表示1975—2011年渔业状态, 黑色点表示基于bootstrapping (a)和MCMC方法(b)的2011年渔业状态评估结果, 品红色点为黑色散点的中值而品红色线分别表示50%、80%和95%置信区间

Fig. 3 Kobe plots for ASM (a) and BSM (b)

The blue lines indicate the fishery status from 1975—2011, while the black dots represent estimated fishery status in 2011 by bootstrapping (a) and MCMC method (b), the magenta dots are the median values of the black dots, and the magenta lines show the 50%, 80%, and 95% confidence intervals

表2 数据无失真情况下ASM和BSM生物学参考点评估结果

Tab. 2 Estimates of biological reference points for ASM and BSM under undistorted situation

模型	model	MSY/($\times 10^4$ t)	F_{MSY}	$B_{MSY}/(\times 10^4$ t)	F_{2011}/F_{MSY}	B_{2011}/B_{MSY}
非平衡剩余产量模型	ASM	2.866 (0.09)	0.091 (0.41)	31.48 (0.36)	0.627 (0.20)	1.366 (0.12)
贝叶斯状态空间模型	BSM	2.836 (0.32)	0.113 (0.44)	26.75 (0.46)	0.667 (0.36)	1.324 (0.22)

注: 括号里为变异系数

Notes: numbers in brackets are coefficient of variation

的 B_{MSY} 和 F_{MSY} 评估结果产生了较大影响， B_{MSY} 得到了过低估计而 F_{MSY} 得到了过高估计，绝对百分比偏差在25%~55%之间(图4-a)；相对ASM模型，产量数据失真对BSM模型的 B_{MSY} 和 F_{MSY} 评

估结果影响较小，但是 B_{MSY} 和 F_{MSY} 估计值总是得到正负相反的相对百分比偏差，即在某种程度的产量数据失真情况下， B_{MSY} 过低估计时 F_{MSY} 为过高估计(图4-b)。

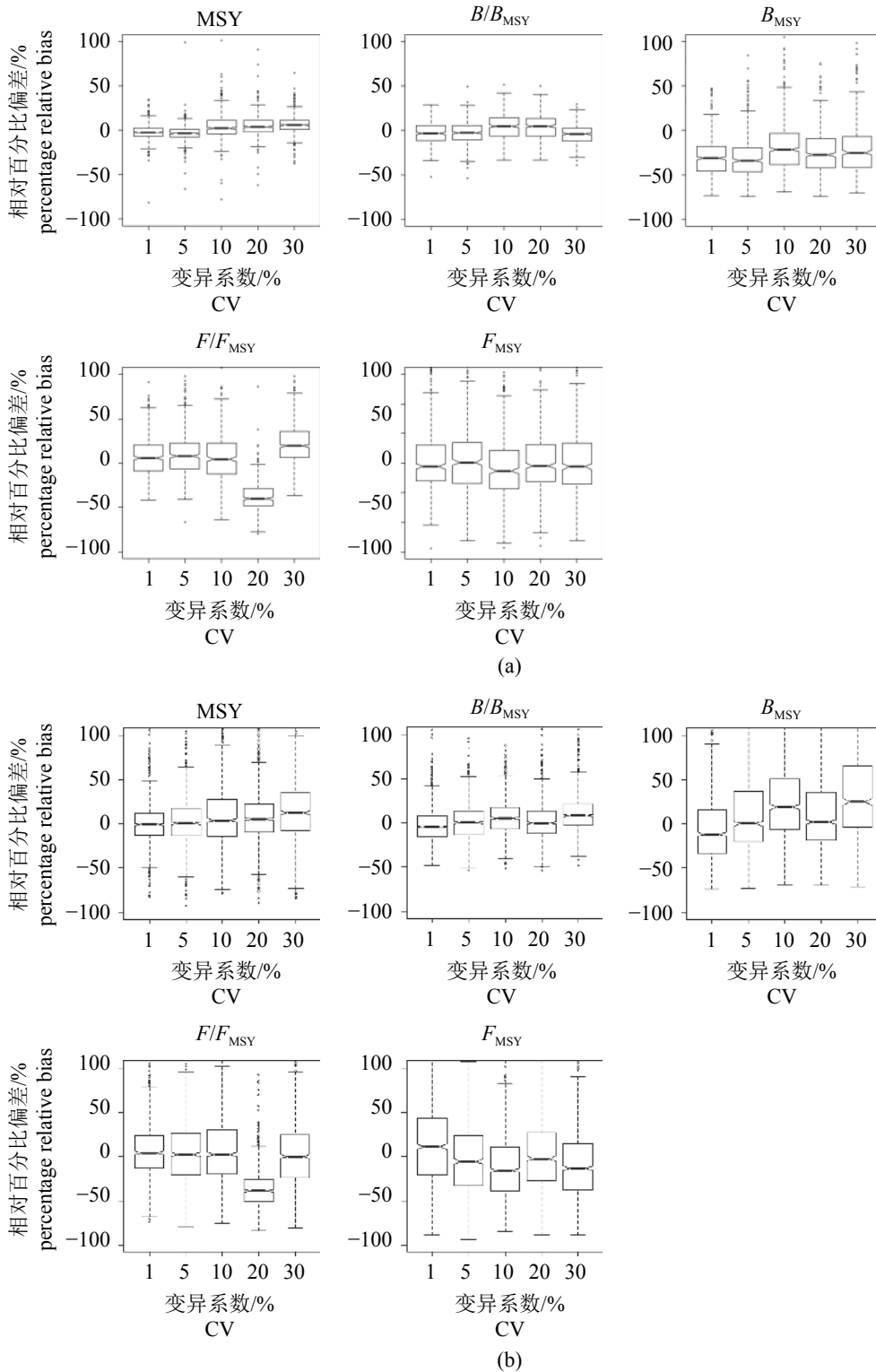


图 4 不同程度产量数据失真情况下ASM (a)和BSM (b)两种方法评估的生物学参考点

Fig. 4 Biological reference points estimated by ASM (a) and BSM (b) at different coefficient of variation levels of catch

2.3 仅CPUE数据失真

在仅CPUE数据失真的情况下, 不同程度的随机误差对ASM评估的MSY影响较小, 而 B_{2011}/B_{MSY} 和 F_{2011}/F_{MSY} 在CV=20%和30%时产生了较大的百分比偏差, CV=20%时的偏差程度更大, B_{MSY} 和 F_{MSY} 评估结果与仅产量数据失真情况时的评估结果类似, 分别得到了过低估计和过高估计, 但是绝对百分比偏差要高于仅产量数据失真情况, 为30%~200% (图5-a)。BSM的评估结果显示, 5种生物学参考点的绝对百分比偏差在CV=1%, 5%和10%情况下较小, 在CV=20%和30%情况下产生了较大的偏差, 尤其是 F_{MSY} 变化更为显著(图5-b)。

2.4 产量和CPUE数据均失真

在产量和CPUE数据均失真的情况下, 随着随机误差的增加, ASM评估的MSY依然没有产生较大偏差, B_{2011}/B_{MSY} 和 F_{2011}/F_{MSY} 在CV=20%时分别产生了5种变异系数中的最大偏差, B_{MSY} 和 F_{MSY} 评估结果分别产生了与前两种情况类似的过低估计和过高估计, 而 F_{SMY} 的相对偏差百分比更大, 为80%~250%(图6-a)。随着变异系数的增加, BSM评估的5种生物学参考点的绝对百分比偏差呈增大趋势, 仅 F_{MSY} 在CV=20%时出现异常最大值, F_{MSY} 和 B_{MSY} 的偏差远小于ASM的评估结果。

3 讨论

3.1 渔业生物学参考点

生物学参考点是捕捞控制规则的重要组成部分, 用来评价种群状态和过度捕捞风险, 被美国、加拿大等发达国家广泛应用于渔业资源评估与管理中^[16, 27]。目前我国近海渔业管理主要是采用禁渔区、禁渔期、最小网目尺寸、渔船和功率的“双控”等措施来控制捕捞强度。有关生物学参考点的评估研究主要分为2类: 第一类是通过YPR (yield per recruitment) 模型评估 F_{max} 和 $F_{0.1}$ 等^[28-29], 另一类是利用剩余产量模型评估MSY、 F_{MSY} 、 B_{MSY} 等^[12-13, 20]。由于YPR模型不需要统计产量数据和资源丰度指标, 其评估结果不确定性主要来源于生长、死亡等参数设置以及模型不确定性, 因此, 本研究只讨论了渔业数据失真对评估MSY、 F_{MSY} 、 B_{MSY} 等的影响。

模型的基础数据来自南大西洋长鳍金枪鱼渔业, 该渔业由ICCAT管理, 数据收集和管理较为规范, 当前的资源量水平和捕捞死亡水平均处于较好状态^[17]。在无数据失真情况下, ASM和BSM评估的MSY分别为 2.866×10^4 t和 2.836×10^4 t, B_{2011}/B_{MSY} 分别为1.366和1.324, F_{2011}/F_{MSY} 分别为0.627和0.667, 这些结果与年龄结构模型^[30]的评估结果较为一致。不同模型评估的 B_{MSY} 和 F_{MSY} 存在一定的差别, 是因为不同的模型假设和参数评估方法导致。在渔业统计产量和CPUE数据准确的前提下, 较为简单的模型由于计算量较小, 存在一定的优势, ASM和BSM一直作为主要评估手段被ICCAT应用于大西洋金枪鱼资源评估与管理^[31]。评估结果显示, B_{MSY} 和 F_{MSY} 估计值总是得到正负相反的相对百分比偏差, 这主要是因为两者的计算与种群增长的内禀增长率 r 和环境容量 K 直接相关, 即 $F_{MSY} = r / [(z+1)^{(1/2)}]$, 而 $B_{MSY} = K / [(z+1)^{(1/2)}]$ 。在模型的评估结果中, r 和 K 具有较为明显的负相关关系, 因此, 使得 B_{MSY} 和 F_{MSY} 得到正负相反的相对百分比偏差。

另外, 在无数据失真情况下, 虽然BSM和ASM评估的历年资源量水平和捕捞死亡水平大体趋势较为一致(图3), 但是ASM评估结果只认为2001年该渔业为过度捕捞状态($F_{2001} > F_{MSY}$), 而BSM认为在评估的1986—2002年间有8年存在过度捕捞。该渔业的产量序列在1986—2000年的产量处于高位, 其他评估方法也认为这段时期捕捞死亡系数过高^[22, 30-31], 因此, BSM在评估过去年份的渔业资源状态时更具说服力。

3.2 贝叶斯方法

对渔业科学家来说, 低质量数据(poor-data)和数据缺乏(data-poor)的渔业资源评估与管理研究一直以来都是相当大的挑战, 评估结果存在着很大的不确定性^[32]。随着计算机在非线性和种群动态仿真领域的突破性进展, 使得渔业资源评估方法和技术在过去几十年迅速发展^[33]。贝叶斯方法将经验信息与似然函数结合在一起, 在进行统计推断时可以将第一类和第二类错误所造成的损失考虑在内, 同时多余的参数可以直接在后验密度中被积分掉, 因而可以得到比传统分析方法更为精确的结果^[12]。由于渔业调查和统计数据的不可重复性以及环境等因素

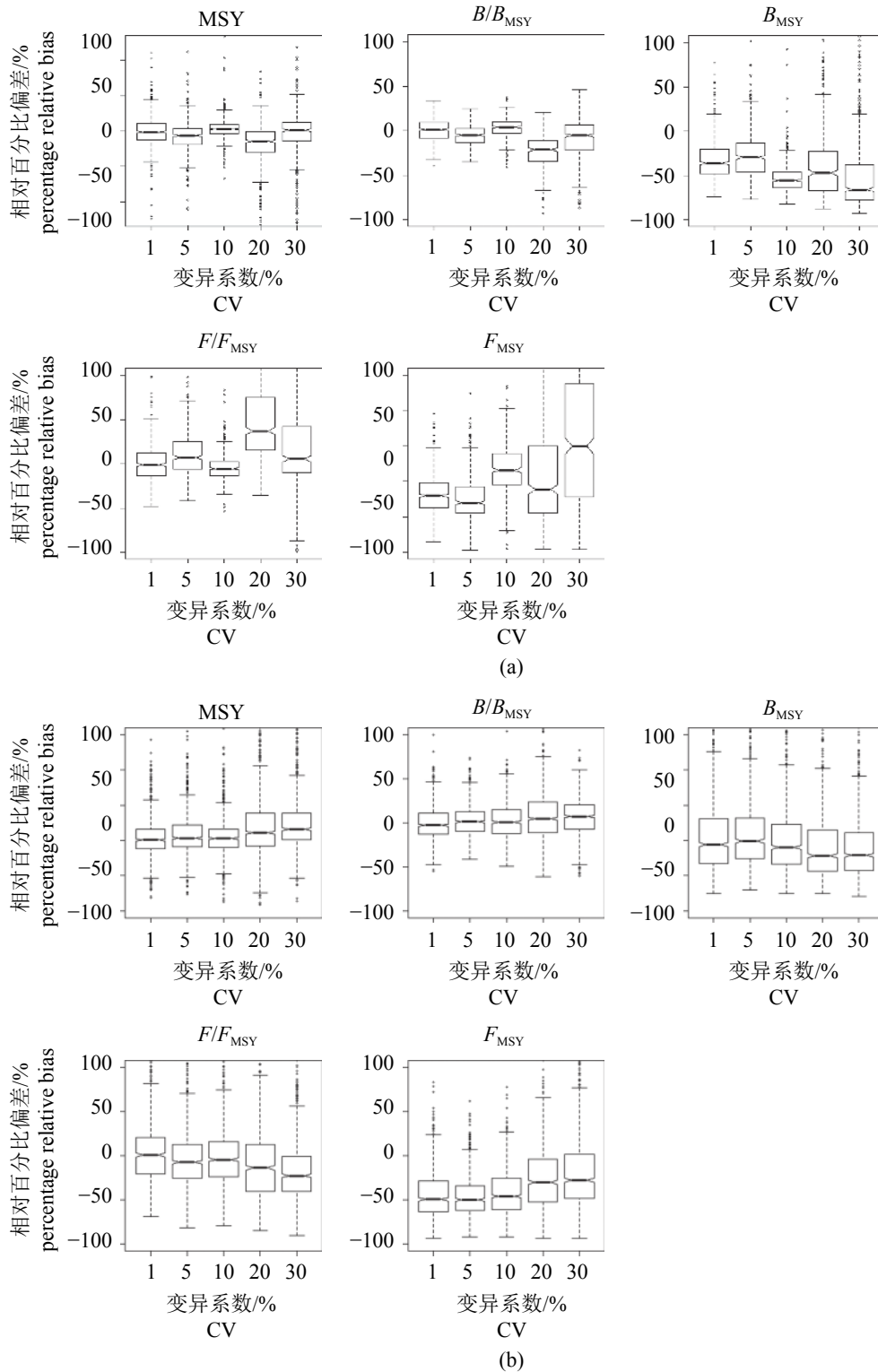


图 5 不同程度 CPUE 数据失真情况下 ASM (a) 和 BSM (b) 两种方法评估的生物学参考点

Fig. 5 Biological reference points estimated by ASM (a) and BSM (b) at different coefficient of variation levels of CPUE

影响，渔业资源评估中往往存在各种不确定性，贝叶斯方法充分考虑了评估模型以及参数的不确定性，是拟合非线性状态空间模型最普

遍的方法，近年来在渔业资源评估中受到越来越广泛的应用^[32]。

本研究采用的 BSM 包含了描述种群生物量

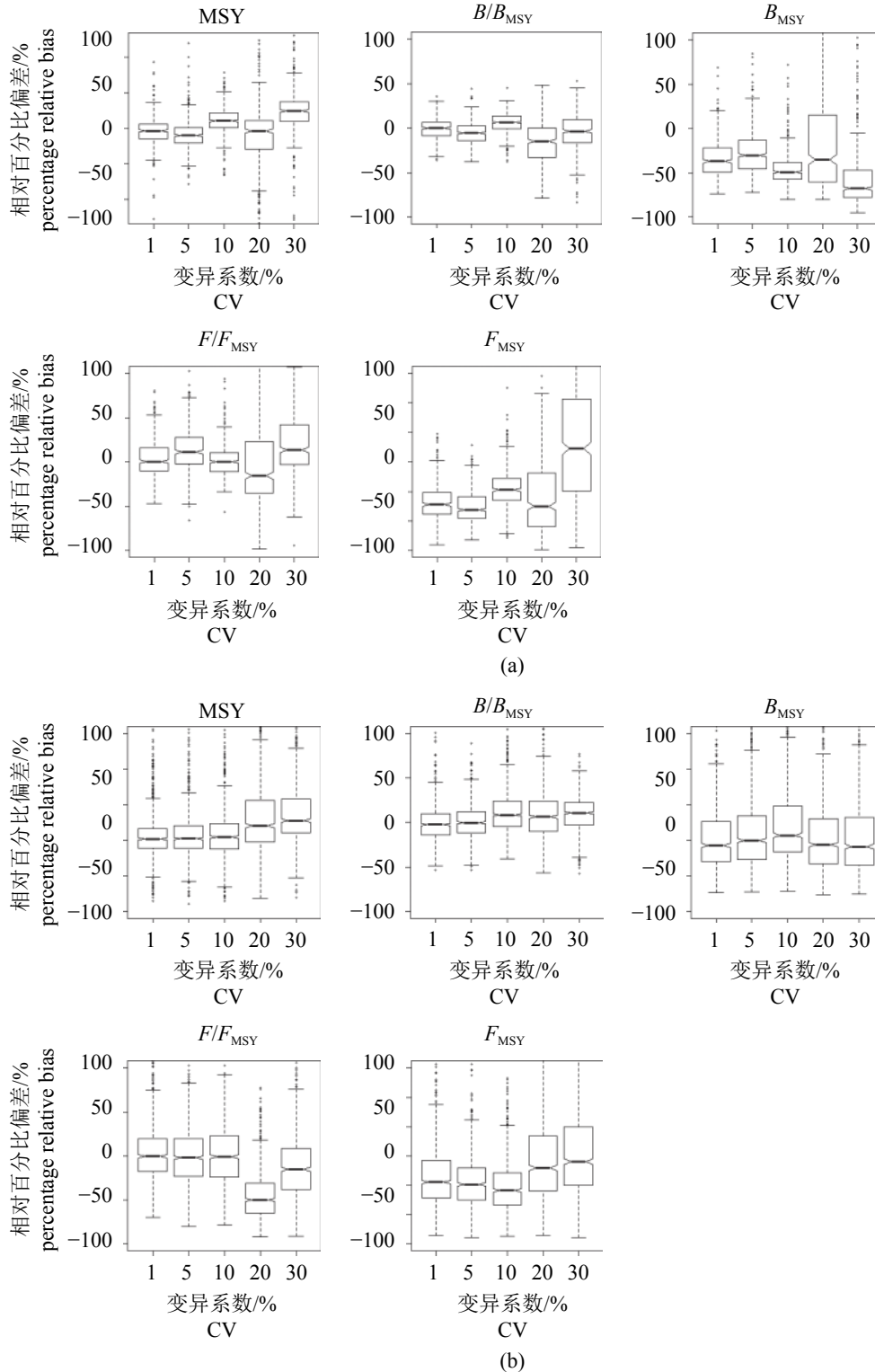


图 6 不同程度CPUE和产量同时数据失真情况下ASM (a)和BSM (b)两种方法评估的生物学参考点

Fig. 6 Biological reference points estimated by ASM (a) and BSM (b) at different coefficient of variation levels of CPUE and catch

丰度的状态过程和基于特定调查数据的观测过程, 与传统的贝叶斯产量模型^[19-20, 25]相比, 同时考虑了观测误差和过程误差。随着随机误差的

增大, BSM评估的生物学参考点和管理指标的绝对百分比偏差有增大趋势, 而ASM模型没有出现明显的规律。除了MSY以外, BSM评估的

生物学参考点和管理指标绝对百分比偏差均要比ASM的评估结果低,尤其是 B_{MSY} 和 F_{MSY} 。与ASM相比,BSM能够更好地处理渔业数据中存在的随机误差,尤其是产量数据,主要是因为BSM在模型中考虑了由于捕捞等因素产生的过程误差。因此,在使用存在较大随机误差的渔业数据进行资源评估时,BSM具有一定的优势。

3.3 渔业数据失真下的资源评估

研究表明,世界范围内的渔业统计产量少报情况居多^[2, 34],主要来源于非法捕捞、丢弃和生计渔业等^[34]。SAU研究计划指出,不同海域产量失真情况相差较大,如东太平洋海域的渔业产量统计数据比西太平洋海域要准确得多^[2]。针对产量数据失真,除了SAU研究计划对产量进行修正,FAO和各海区的渔业管理组织也对IUU(非法的、不报告的和不受管制的)捕捞采取了严厉的措施。CPUE作为资源量的指标并广泛应用于渔业资源评估,但是两者之间的正比关系常因众多因素制约难以成立^[35]。为了能够有效利用CPUE数据,通常利用统计模型对其进行标准化处理,本研究的CPUE数据使用GLM进行了标准化处理。但是,GLM存在如无法处理因变量间的相关性等问题,捕捞努力量的时空分布呈现出的不均匀和动态变化也将对标准化结果造成误差。

本研究同时考虑统计产量数据和CPUE数据失真对两个模型生物学参考点和管理指标的影响,对于ASM,CPUE数据失真产生的影响要比产量数据大;对于BSM,CPUE数据失真对MSY和 F_{MSY} 产生的影响较大而产量数据失真对 B_{MSY} 、 B_{2011}/B_{MSY} 和 F_{2011}/F_{MSY} 产生的影响较大。由此可以看出,对于不同的评估模型,不同种类的数据失真产生的影响不同。在对某一个特定种群进行资源评估时,往往采用多种评估模型开展,如ICCAT使用BSM、ASPIC和年龄结构模型等每隔几年对特定种群开展一次资源评估^[31]。通过数学模型对CPUE进行标准化研究^[18]可以在一定程度上减弱海洋环境、捕捞能力和空间自相关等因素的影响,得到较为准确的评估结果。我国的渔业数据主要问题是统计产量失真,而通过限额捕捞对渔业实施科学化和精细化管理已成为我国当前渔业管理的发展趋势。目前,广东、山东、辽宁、福建和浙江等已开展限额

捕捞试点工作,完善目前的产量统计制度已成为当务之急。另外,对以往的产量数据进行标准化修正也需要相应开展,可以借鉴SAU工作组对全球渔业产量数据的重建研究^[2]。

本研究只针对随机误差情况下的数据失真进行分析,而渔业数据的失真是复杂多变的,以后的研究中将进一步探讨不同误差情况,以期为我国渔业数据的标准化研究提供科学依据。

参考文献:

- [1] FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016(SOFIA). Contributing to food security and nutrition for all[M]. Rome: Food and Agriculture Organization, 2016: 1-23.
- [2] Pauly D, Zeller D. Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining[J]. Nature Communications, 2016, 7: 10244.
- [3] Kleisner K, Zeller D, Froese R, et al. Using global catch data for inferences on the world's marine fisheries[J]. Fish and Fisheries, 2013, 14(3): 293-311.
- [4] Costello C, Ovando D, Hilborn R, et al. Status and solutions for the world's unassessed fisheries[J]. Science, 2012, 338(6106): 517-520.
- [5] Watson R, Pauly D. Systematic distortions in world fisheries catch trends[J]. Nature, 2001, 414(6863): 534-536.
- [6] Reeves S A, Pastoors M A. Evaluating the science behind the management advice for North Sea cod[J]. ICES Journal of Marine Science, 2007, 64(4): 671-678.
- [7] Pauly D, Zeller D. Comments on FAOs *State of World Fisheries and Aquaculture* (SOFIA 2016)[J]. Marine Policy, 2017, 77: 176-181.
- [8] Horwood J, O'Brien C, Darby C. North Sea cod recovery?[J]. ICES Journal of Marine Science, 2006, 63(6): 961-968.
- [9] Diamond B, Beukers-Stewart B D. Fisheries discards in the North Sea: Waste of resources or a necessary evil?[J]. Reviews in Fisheries Science, 2011, 19(3): 231-245.
- [10] 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 Y, Zou W H, Hu Z M. 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(in Chinese).
- [11] Wang Y, Liu Q. Application of CEDA and ASPIC computer packages to the hairtail (*Trichiurus japonicus*) fishery in the East China Sea[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2013, 31(1): 92-96.
- [12] 张魁, 陈作志. 应用贝叶斯状态空间建模对东海带鱼的资源评估[J]. 中国水产科学, 2015, 22(5): 1015-1026. Zhang K, Chen Z Z. Using Bayesian state-space modeling to assess *Trichiurus japonicus* stock in the East China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(5): 1015-1026(in Chinese).
- [13] 李九奇, 聂小杰, 叶昌臣, 等. 基于Bayes方法的渤海渔业资源动态评析[J]. 自然资源学报, 2012, 27(4): 643-649. Li J Q, Nie X J, Ye C C, *et al.* A stock assessment of Bohai Sea by Bayes-based Pella-Tomlinson model[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(4): 643-649(in Chinese).
- [14] 刘尊雷, 严利平, 袁兴伟, 等. 基于多源数据的东海小黄鱼资源评估与管理[J]. 中国水产科学, 2013, 20(5): 1039-1049. Liu Z L, Yan L P, Yuan X W, *et al.* Stock assessment of small yellow croaker in the East China Sea based on multi-source data[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(5): 1039-1049(in Chinese).
- [15] Wang Y B, Zheng J, Wang Z. 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.
- [16] 童玉和, 陈新军, 田思泉, 等. 渔业管理中生物学参考点的理论及其应用[J]. 水产学报, 2010, 34(7): 1040-1050. Tong Y H, Chen X J, Tian S Q, *et al.* Theory and application of biological reference points in fisheries management[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(7): 1040-1050(in Chinese).
- [17] ISSF. Status of the world fisheries for tuna[R]. ISSF Technical Report 2017-02. Washington, DC: International Seafood Sustainability Foundation, 2017: 62-64.
- [18] 徐洁, 官文江, 陈新军. 基于空间相关性的西北太平洋柔鱼CPUE标准化研究[J]. 水产学报, 2015, 39(5): 754-760. Xu J, Guan W J, Chen X J. A study of incorporating spatial autocorrelation into CPUE standardization with an application to *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(5): 754-760(in Chinese).
- [19] 李九奇, 叶昌臣, 王文波, 等. 基于Bayes方法的东海小黄鱼资源评析[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(6): 873-882. Li J Q, Ye C C, Wang W B, *et al.* A stock assessment of small yellow croaker by Bayes-based Pella-Tomlinson model in the East China Sea[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(6): 873-882(in Chinese).
- [20] 李纲, 陈新军, 官文江. 基于贝叶斯方法的东、黄海鲈资源评估及管理策略风险分析[J]. 水产学报, 2010, 34(5): 740-750. Li G, Chen X J, Guan W J. Stock assessment and risk analysis of management strategies for *Scomber japonicus* in the East China Sea and Yellow Sea using a Bayesian approach[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(5): 740-750(in Chinese).
- [21] ICCAT. Report of the 2013 ICCAT north and south Atlantic albacore data preparatory meeting[R]. Madrid: International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, 2013: 1-68.
- [22] Zhang K, Liu Q, Kalhor M A. Application of a delay-difference model for the stock assessment of southern Atlantic albacore (*Thunnus alalunga*)[J]. Journal of Ocean University of China, 2015, 14(3): 557-563.
- [23] Prager M H. A suite of extensions to a nonequilibrium surplus-production model[J]. Fishery Bulletin, 1994, 92: 374-389.
- [24] Fletcher R I. On the restructuring of the Pella-Tomlinson system[J]. Fishery Bulletin, 1978, 76(3): 515-521.
- [25] 张魁, 刘群, 廖宝超. 基于贝叶斯方法的南大西洋长鳍金枪鱼渔业的风险评估与管理[J]. 中国海洋大学学报, 2015, 45(6): 51-56. Zhang K, Liu Q, Liao B C. Risk assessment and management for the southern Atlantic albacore (*Thunnus alalunga*) fishery based on Bayes method[J]. Periodical of Ocean University of China, 2015, 45(6): 51-56(in Chinese).
- [26] Meyer R, Millar R B. BUGS in Bayesian stock assessments[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1999, 56(6): 1078-1087.
- [27] Zhang Y Y, Chen Y, Wilson C. Developing and evaluat-

- ing harvest control rules with different biological reference points for the American lobster (*Homarus americanus*) fishery in the Gulf of Maine[J]. ICES Journal of Marine Science, 2011, 68(7): 1511-1524.
- [28] 徐海龙, 陈新军, 陈勇, 等. 死亡因素对放流明对虾群体资源变动及生物学参考点影响的量化评估[J]. 水产学报, 2016, 40(5): 721-730.
- Xu H L, Chen X J, Chen Y, *et al.* Impacts of mortality factors and uncertainty on the population and biological reference points in stock Chinese shrimp fishery[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(5): 721-730(in Chinese).
- [29] 曹少鹏, 刘群. 把不确定性引入生物学参考点 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 的估计以评估东海带鱼渔业资源[J]. 南方水产, 2007, 3(2): 42-48.
- Cao S P, Liu Q. Stock assessment of the hairtail (*Trichurus haumela*) fishery in the East China Sea by incorporating uncertainty into the estimation of the biological reference points $F_{0.1}$ and F_{max} [J]. South China Fisheries Science, 2007, 3(2): 42-48(in Chinese).
- [30] Lee L K, Yeh S Y. Assessment of south Atlantic albacore resource based on 1959-2005 catch and effort statistics from ICCAT[J]. ICCAT Collective Volume of Scientific Papers, 2008, 62(3): 870-883.
- [31] ICCAT. Report of the 2011 ICCAT south Atlantic and Mediterranean albacore stock assessment sessions[J]. ICCAT Collective Volume of Scientific Papers, 2012, 68(2): 387-491.
- [32] Jiao Y, Cortés E, Andrews K, *et al.* Poor-data and data-poor species stock assessment using a Bayesian hierarchical approach[J]. Ecological Applications, 2011, 21(7): 2691-2708.
- [33] Maunder M N, Punt A E. A review of integrated analysis in fisheries stock assessment[J]. Fisheries Research, 2013, 142: 61-74.
- [34] Rudd M B, Branch T A. Does unreported catch lead to overfishing?[J]. Fish and Fisheries, 2017, 18(2): 313-323.
- [35] 官文江, 田思泉, 王学昉, 等. CPUE标准化方法与模型选择的回顾与展望[J]. 中国水产科学, 2014, 21(4): 852-862.
- Guan W J, Tian S Q, Wang X F, *et al.* A review of methods and model selection for standardizing CPUE[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(4): 852-862(in Chinese).

Comparative effects of distorted fishery data on assessment results of two non-equilibrium surplus production models

ZHANG Kui¹, LIU Qun², LIAO Baochao³, XU Youwei¹,
SUN Mingshuai¹, GENG Ping¹, CHEN Zuozhi^{1*}

1. Key Laboratory of Open-Sea Fishery Development, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China;
2. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;
3. Department of Mathematics and Statistics, Shandong University, Weihai 264209, China)

Abstract: Marine fisheries provide a major source of food and livelihoods for people worldwide. Fishery management plays an important role in achieving sustainable fisheries. Catch per unit effort (CPUE) data from either fishery independent or -dependent surveys are the most informative for variations in population size over time, meanwhile catches from the fishery-dependent survey are also required to assess fishing. If these data are inaccurate, the statistical analyses would be biased, leading to mismanagement of fishery resources. However, systematic distortions appeared in world fisheries catch trends. Moreover, due to lack of fishery scientific investigation, CPUE data were mainly from commercial fishing, and influenced by spatial-temporal factors, environmental factors and also spatial autocorrelation problem. Therefore, it is important to understand the impacts of distorted fishery data on stock assessments. This study used catch and CPUE data of the albacore (*Thunnus alalunga*) fishery in the South Atlantic. Simulations were conducted to estimate biological reference points (BRPs), i.e., maximum sustainable yield (MSY), B_{MSY} , F_{MSY} , B_{2011}/B_{MSY} , and F_{2011}/F_{MSY} using non-equilibrium surplus production models based on ASPIC (ASM) and Bayesian state-space modelling (BSM). Simulations were conducted under the following scenarios: both catch and CPUE data are accurate; only catch data is misreporting; only CPUE data is misreporting, and both catch and CPUE data are misreporting. Five levels (coefficient of variation, CV=1%, 5%, 10%, 20%, and 30%) of stochastic errors were superimposed on catch and CPUE data. The estimated MSYs were 2.866×10^4 t and 2.836×10^4 t, B_{2011}/B_{MSY} were 1.366 and 1.324, F_{2011}/F_{MSY} were 0.627 and 0.667 by ASM and BSM, respectively, for the first scenario. Larger B_{MSY} (31.48×10^4 t) and smaller F_{MSY} (0.091) were obtained by ASM. These results indicate that this fishery was in a good condition in 2011. Overestimate B_{MSY} and underestimate F_{MSY} were obtained using distorted catch and CPUE data by ASM, and distorted CPUE data made more impact than distorted catch data. Absolute percentage bias of estimated BRPs by BSM had a tendency to increase with the stochastic error increasing, and smaller than those by ASM, especially B_{MSY} and F_{MSY} . BSM can deal with the stochastic errors better than ASM. Therefore, BSM is suggested to be applied in fishery stock assessment when the fishery data include stochastic error.

Key words: distorted fishery data; non-equilibrium surplus production model; Bayesian state-space modelling; biological reference points

Corresponding author: CHEN Zuozhi. E-mail: zzchen2000@163.com

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31602157); National Basic Research Program of China (2014CB441500); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (2016TS06)