

张魁,廖宝超,许友伟,等. 基于渔业统计数据的南海区渔业资源可捕量评估[J].海洋学报,2017,39(8):25—33,doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2017.08.003

Zhang Kui,Liao Baochao,Xu Youwei,et al. Assessment for allowable catch of fishery resources in the South China Sea based on statistical data[J]. Haiyang Xuebao,2017,39(8):25—33,doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2017.08.003

基于渔业统计数据的南海区渔业资源可捕量评估

张魁¹,廖宝超²,许友伟¹,张俊¹,孙铭帅¹,邱永松¹,陈作志^{1*}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室,广东 广州 510300;2. 山东大学数学与统计学院,山东 威海 264209)

摘要:科学确定海洋渔业可捕量是开展捕捞限额管理的前提和关键。南海区渔业资源种类繁多,无明显大宗经济鱼种,且产量统计不够完善,使得可捕量的量化评估较为困难。根据渔业产量统计数据,利用一种简化的产量模型对南海区渔业资源总可捕量以及 11 个重要经济类群的可捕量进行了评估。结果表明,南海区渔业资源最大可持续产量为 308.6 万 t,总可捕量为 246.9 万~277.8 万 t。从 11 个重要经济类群的评估结果来看,这些类群在 20 世纪 90 年代后均遭受过不同程度的过度捕捞。目前状态较好,未处于过度捕捞状态的有蓝圆鲀和竹荚鱼、沙丁鱼类、马面鲀类、鲷类、鳎类和鲈类等 6 个恢复力较高的类群;而其他 5 个恢复力较低的类群,尤其是海鳗类和石斑鱼类,目前处于过度捕捞状态。

关键词:南海;渔业资源;可捕量;产量模型;过度捕捞

中图分类号:S937.3

文献标志码:A

文章编号:0253-4193(2017)08-0025-09

1 引言

多年来,随着捕捞强度不断增加和水域环境污染等日益严重,近海渔业资源不断衰退,传统的投入控制(如捕捞许可证制度、渔船和功率“双控”等)已经不能满足渔业管理的需求,总可捕量(total allowable catch,TAC)制度结合投入控制及其他技术措施(如禁渔区和禁渔期、网目尺寸限制等)对渔业实施量化管理已成为当前国际渔业管理的重要举措^[1-3]。在邻国日本、韩国相继实施 TAC 制度之后,《中华人民共和国渔业法》明确规定实行捕捞限额制度,而科学确定可捕量是实行捕捞限额制度的必要条件^[1-2]。已有很多研究对中国海域渔业种群的可捕量或最大持

续产量(maximum sustainable yield,MSY)进行了评估,如鲈(*Scomber japonicus*)^[4]、带鱼(*Trichiurus japonicus*)^[5-7]、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)^[8-10]、银鲳(*Pampus argenteus*)^[10]等,研究对象皆为东、黄海海域的大宗经济鱼种,评估方法一般采用剩余产量模型、基于体长股分析(Length based Cohort Analysis,LCA)的 Cadima 经验公式、贝叶斯状态空间模型、Beverton-Holt 和 Ricker 繁殖模型等。

南海地跨热带与亚热带,呈现出与东、黄海有着显著差异的渔业资源特征,种类繁多,个体生长较快^[11],没有像东、黄海鲈鱼、带鱼和小黄鱼等大宗目标鱼种,产量多按类群统计。另外,南海面积广阔,除北部湾外,其他海域没有长期的调查监测数据,使

收稿日期:2017-01-06;修订日期:2017-02-25。

基金项目:国家自然科学基金(31602157);农业部财政专项(NFZX2013);公益性行业(农业)科研专项(201403008);中央级公益性科研院所基本科研业务费(2014TS23)。

作者简介:张魁(1987—),男,山东省淄博市人,助理研究员,从事海洋渔业资源评估研究。E-mail:nedvedkui@163.com

* 通信作者:陈作志,男,研究员,从事渔业资源与海洋生态学研究。E-mail:zzchen2000@163.com

得有关渔业资源 MSY 或可捕量的评估研究较少。林金鍊^[12]利用 20 世纪 70 年代末数据对南海北部大陆架底层鱼类的资源量进行估算,并对可捕量做了初步评估;王增焕等^[13]应用初级生产力估算了南海北部的渔业资源量。由于缺乏单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)数据,无法采用传统的剩余产量模型以及贝叶斯态空间模型进行 MSY 评估;而基于 LCA 的 Cadima 经验公式以及繁殖模型都是针对单鱼种,难以用于按类群的资源量和 MSY 评估。

目前,对于数据缺乏渔业,国际上多采用基于产量数据和鱼类生物学特征参数(如自然死亡系数 M , 性成熟年龄等)评估可捕量或 MSY 的方法,如 depletion-corrected average catch (DCAC)^[14], depletion-based stock reduction analysis (DB-SRA)^[15]等。但是以上方法多针对较长寿命鱼类($M < 0.2$),对中国近海多数鱼种(如黄海小黄鱼 $M = 0.77$ ^[16],东海带鱼 $M = 0.44$ ^[17],南海近海 8 个重要经济鱼种 $M > 0.46$ ^[18]等)并不适用。本研究采用一种简化的产量模型,评估过程不再使用 CPUE 数据,而是以内禀增长率和资源量水平的先验信息代替^[19],产量数据和模型参数均可以按类群得到,符合南海区渔业资源特征以及数据现状。利用该模型对南海区渔业总可捕量及 11 个重要经济类群可捕量进行了初步评估,以期对南海区渔业实行捕捞限额管理提供科学依据。

2 材料与方法

2.1 评估模型

研究采用 Schaefer 产量模型的框架,以内禀增长率 r 和资源量水平 λ 的先验分布代替 CPUE 数据^[19],模型如下:

$$B_t = \lambda_0 k \exp(\nu_t), \quad (1)$$

$$B_{t+1} = [B_t + rB_t(1 - B_t/k) - C_t] \exp(\nu_t), \quad (2)$$

式中, B_t 为 t 年的资源量, k 为环境容量, C_t 为 t 年的渔获量;假定过程误差符合对数正态分布,因此 ν_t 为均值为 0, 方差为 σ^2 的标准正态分布; λ_0 为起始资源量水平 B_1/k 。

采用如下伯努利分布作为似然函数:

$$L(\Theta | C_t) = 1 \quad \lambda_{01} \leq B_{n+1}/k \leq \lambda_{02}$$

$$L(\Theta | C_t) = 0 \quad \lambda_{01} \geq B_{n+1}/k \geq \lambda_{02}, \quad (3)$$

式中, Θ 为模型中的参数向量, $[\lambda_{01}, \lambda_{02}]$ 为最终年份资源量水平的先验分布区间。这样的似然函数可以保证 $r-k$ 参数组合可以得到种群状态的有效解^[19]。

重要性重抽样(sampling importance resampling, SIR)^[20]方法被用来计算参数的后验分布,每次计算的迭代次数为 100 000 次。利用得到的 $r-k$ 联合后验分布计算 MSY, $MSY = 0.25rk$, 采用 MSY 的 80%~90% 作为可捕量的设置标准^[19]。

2.2 产量数据

为了验证模型对中国近海渔业评估效果,研究选取已有 MSY 评估结果的东海带鱼和小黄鱼为研究对象,其产量数据来自文献[6—10]。南海区渔业资源种类繁多,一些种类经济价值和生物学特征较为相近,例如蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*)和竹荚鱼(*Trachurus japonicus*),以及金线鱼(*Nemipterus virgatus*)、日本金线鱼(*Nemipterus japonicus*)和深水金线鱼(*Nemipterus bathybius*)等,渔民在渔获物分类时并不会将这些种类分开,渔业产量多按类群统计。因此,以渔业统计数据为基础的研究也按照类群进行分析,如 Qiu 等^[21]阐述了南海区北部近海 26 个类群年产量对人类活动和气候变化的响应,本研究评估了其中 11 个重要经济类群的可捕量。南海区渔业统计产量数据来自《中国渔业统计年鉴》和农业部南海区渔政渔港监督管理局《南海区渔业统计资料汇编(1985—2005)》(内部资料)。

2.3 先验分布设置

研究中内禀增长率和资源量水平的先验分布均采用均匀分布形式^[19]。利用 Fishbase 数据库的鱼类恢复力分级法^[22],通过生长参数 K 、性成熟年龄 t_m 、最大年龄 t_{max} 和繁殖力来确定鱼类的恢复力水平,从而确定内禀增长率 r 的先验分布区间(表 1)。资源量水平的先验分布则根据评估对象的开发状态以及产量与数据中最大产量的比值来确定。如 1956 年东海带鱼捕捞努力量和产量极低,因此资源量水平设置为 0.6~0.9,而同期小黄鱼开发力度则相对较大,初期产量较高,设置为 0.4~0.8;两个群体产量经过高位后都在近年来有所下滑,2013 年资源量水平则都设置为 0.3~0.6。

由于南海区渔业种类繁多,难以确定其内禀增长率的先验分布,参考渤海区综合种群内禀增长率评估结果^[23],本研究设置了 4 种不同的先验分布(0.6~1.5; 0.4~1.5; 0.6~1.7; 0.4~1.7),以评估不同内禀增长率先验分布区间对 MSY 评估结果的影响。研究中评估对象的主要种类组成、产量数据序列以及参数先验分布设置见表 2。建模和数据分析都在 R 语言 3.3.1 中完成。

表 1 Fishbase 中用于确定内禀增长率先验分布的恢复力水平分级表

Tab.1 The resilience assignment in FishBase which was used for determining prior distributions of intrinsic rate of increase				
恢复力	极低	低	中等	高
生长参数 K	<0.05	0.05~0.15	0.16~0.3	>0.3
性成熟年龄 t_m	>10	5~10	2~4	<1
最大年龄 $t_{\max}$	>30	11~30	4~10	1~3
繁殖力	<10	10~100	100~1 000	> 10 000
内禀增长率 r	0.015~0.1	0.05~0.5	0.2~1	0.6~1.5

表 2 评估对象的主要种类组成、产量数据序列及参数先验分布设置

Tab.2 Main species composition ,catch data series and prior distributions in stock assessment					
评估对象	主要种类 ^[21,24]	产量数据 序列	内禀增长率先 验分布	起始年份相 对资源量先 验分布	最终年份相对 资源量先验 分布
带鱼 E	带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	1956—2013	[0.2,1]	[0.6,0.9]	[0.3,0.6]
小黄鱼 E	小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	1956—2013	[0.6,1.5]	[0.4,0.8]	[0.3,0.6]
南海区	所有种类	1950—2014	/	[0.6,0.9]	[0.3,0.7]
带鱼类 S	带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	1979—2014	[0.2,1]	[0.4,0.8]	[0.3,0.7]
金线鱼类 S	金线鱼 <i>Nemipterus virgatus</i>	1985—2014	[0.6,1.5]	[0.4,0.8]	[0.3,0.7]
	日本金线鱼 <i>Nemipterus japonicus</i>				
石斑鱼类 S	青石斑鱼 <i>Epinephelus awoara</i>	1985—2014	[0.05,0.5]	[0.4,0.8]	[0.3,0.7]
	赤点石斑鱼 <i>Epinephelus akaara</i>				
海鳗类 S	海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	1985—2014	[0.05,0.5]	[0.4,0.8]	[0.3,0.7]
鲷类 S	乌鲷 <i>Parastromateus niger</i>	1979—2014	[0.2,1]	[0.4,0.8]	[0.3,0.7]
	刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>				
鲙类 S	鲙 <i>Ilisha elongata</i>	1979—2014	[0.6,1.5]	[0.4,0.8]	[0.2,0.6]
鲈类 S	鲈 <i>Pneumatophorus japonicas</i>	1989—2014	[0.2,1]	[0.3,0.6]	[0.3,0.6]
沙丁鱼类 S	金色小沙丁 <i>Sardinella aurita</i>	1990—2014	[0.6,1.5]	[0.4,0.8]	[0.3,0.6]
	裘氏小沙丁 <i>Sardinella jussieu</i>				
蓝圆鲹和竹荚鱼 S	蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>	1979—2014	[0.6,1.5]	[0.3,0.7]	[0.3,0.7]
	竹荚鱼 <i>Trachurus japonicus</i>				
马面鲷类 S	黄鳍马面鲷 <i>Thamnaconus hypargyreus</i>	1979—2014	[0.6,1.5]	[0.3,0.7]	[0.2,0.6]
鲷类 S	二长棘犁齿鲷 <i>Evynnis cardinalis</i>	1979—2014	[0.6,1.5]	[0.4,0.8]	[0.3,0.7]

注:评估对象后字母“E”和“S”分别代表东海和南海,“[]”表示均匀分布区间。

3 结果与分析

3.1 模型评估效果

利用模型对东海带鱼和小黄鱼渔业进行评估,评估的 MSY 以及 r - k 后验联合分布见图 1。东海带鱼

MSY 为 70.3 万 t,95%置信区间为(61.1,80.9)万 t,内禀增长率为 0.39,可捕量为 56.2 万~63.3 万 t;小黄鱼 MSY 为 13.1 万 t,95%置信区间为(12.0,14.4)万 t,内禀增长率为 1.01,可捕量为 10.5 万~11.8 万 t。本研究评估结果与其他研究结果对比见表 3。模

型评估的东海带鱼 MSY 与徐汉祥等^[25]使用繁殖模型的评估结果一致,比 Wang 等^[7]使用剩余产量模型和张魁等^[6]使用贝叶斯状态空间模型的评估结果略低;模型评估的内禀增长率与其他研究相比较高;模型评估的东海小黄鱼 MSY 与林龙山^[9]和周永东等^[10]使用 Fox 和 Schaefer 模型的评估结果一致,较

李九奇等^[8]使用 Pella-Tomlinson 模型的评估结果高;模型评估的内禀增长率较李九奇等^[8]的结果低。这两个渔业的产量从 20 世纪 90 年代中期开始超过 MSY,最近几年产量呈下降趋势,但仍在 MSY 附近(图 1)。

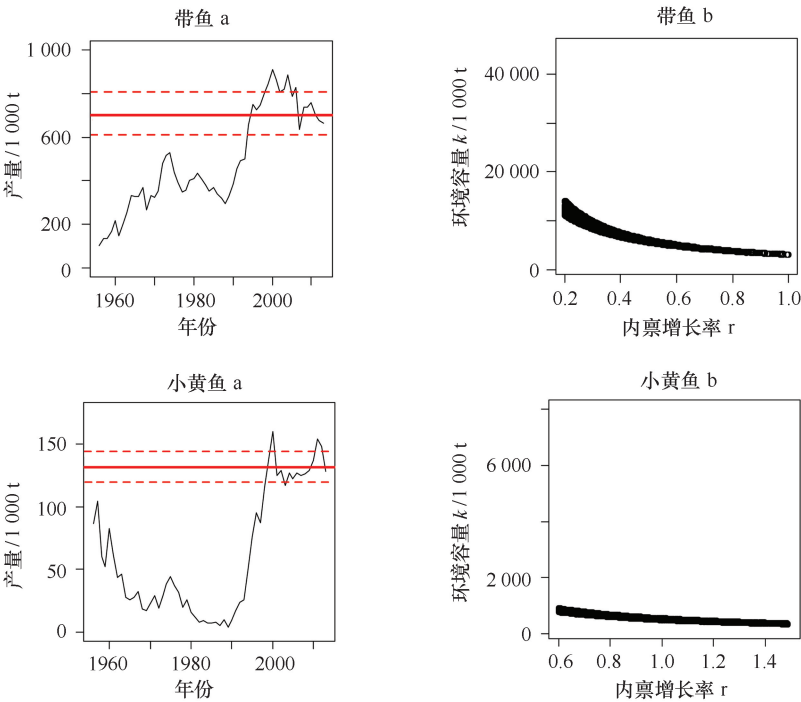


图 1 模型评估的东海带鱼和小黄鱼渔业 MSY(a)和参数 r - k 后验联合分布(b)结果

Fig.1 Estimated MSYs (a) and r - k joint posterior distributions (b) for hairtail and small yellow croaker fisheries in the East China Sea

图 a 虚线为 95%置信区间

The dash lines represent the 95% percentiles in a

表 3 东海带鱼和小黄鱼资源评估结果与其他研究对比

Tab.3 Comparison of the stock assessment results with other studies for hairtail and small yellow croaker fisheries in the East China Sea

种类	MSY/ 10^4 t	内禀增长率	评估方法	文献
东海带鱼	70.2	/	繁殖模型	徐汉祥等 ^[25]
	71.6	0.30	剩余产量模型	Wang 等 ^[7]
	75.5	0.25	贝叶斯状态空间模型	张魁和陈作志 ^[6]
	70.3	0.39	简化产量模型	本研究
东海小黄鱼	12.6	/	Fox,Schaefer 模型	林龙山,2009 ^[9]
	10.8	1.15	Pella-Tomlinson 模型	李九奇 ^[8]
	13.4	/	Fox,Schaefer 模型	周永东等 ^[10]
	13.1	1.01	简化产量模型	本研究

3.2 南海区渔业资源总可捕量

4种不同内禀增长率先验分布区间所评估得到的南海区渔业资源 MSY 相差不大,分别为 306.2 万 t (变异系数 $CV=0.09$),312.6 万 t($CV=0.07$),307.7 万 t($CV=0.08$)和 307.9 万 t($CV=0.08$)(图 2),取

其平均值,即 308.6 万 t;内禀增长率评估结果分别 0.99($CV=0.26$),0.96($CV=0.37$),1.02($CV=0.29$)和 0.98($CV=0.35$),取其平均值,即 0.99。模型评估的南海区渔业总可捕量为 246.9 万~277.8 万 t。

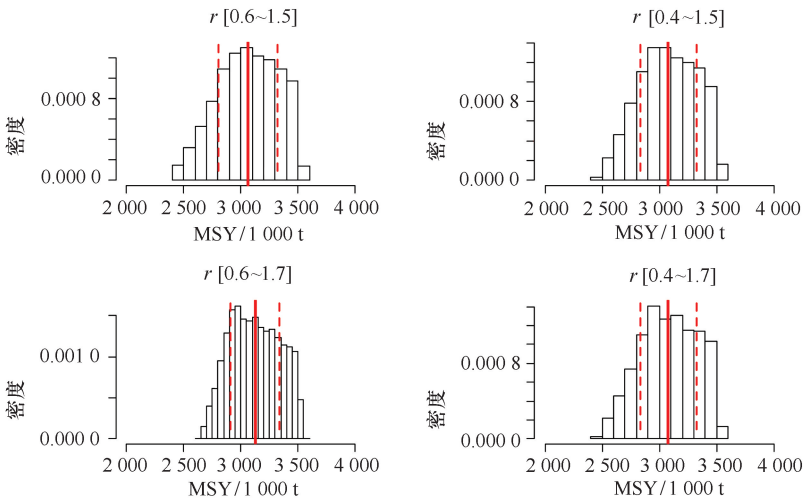


图2 4种内禀增长率先验分布下 MSY 的后验密度分布

Fig.2 The posterior densities of MSY under four prior levels of intrinsic rate of increase

实线为 MSY 后验分布中值,虚线为 95%置信区间

The solid lines are estimated MSY medians and the dash lines represent the 95% percentiles

3.3 南海区 11 个重要经济类群可捕量

模型评估结果(表 4)显示,南海区 11 个重要经济类群内禀增长率的范围是 0.21~0.99,其中石斑鱼类最低,而鲷类最高;除了石斑鱼类、海鳗和带鱼类,其他类群内禀增长率都在 0.55 以上。评估的 MSY 在 30.0 万 t 以上有蓝圆鲹和竹荚鱼、金线鱼类和带鱼类,10.0 万 t 以内的包括石斑鱼类、鳎类和鲈类。带

鱼类、金线鱼类、石斑鱼类、海鳗类和鲷类这 5 个类群的产量从 20 世纪 80 年代开始一直呈上升趋势,近几年产量都超过 MSY(图 3),尤其是石斑鱼类和海鳗类(2014 年产量分别超过 MSY 59.3%和 80%);另外 6 个类群产量波动较大,近十几年产量呈下降趋势,2014 年产量小于或等于 MSY(图 3),但鲷类和沙丁鱼类的产量超出评估的可捕量(表 4)。

表 4 南海区 11 个重要经济类群评估结果

Tab.4 Assessment results of 11 important commercial fish class groups in the South China Sea

类群	内禀增长率	MSY/10 ⁴ t	可捕量/10 ⁴ t	2014 年产量/10 ⁴ t
带鱼类	0.49	30.2 (0.11)	24.2~27.2	34.5
金线鱼类	0.73	33.9 (0.08)	27.1~30.5	39.6
石斑鱼类	0.21	5.0 (0.21)	4.0~4.5	9.0
海鳗	0.27	11.8 (0.25)	9.4~10.6	18.8
鲷类	0.58	10.5 (0.09)	8.4~9.5	12.7
鳎类	0.61	5.7 (0.12)	4.6~5.1	5.0
鲈类	0.78	7.4 (0.09)	5.9~6.7	6.0
沙丁鱼类	0.89	10.7 (0.03)	8.6~9.6	9.9
蓝圆鲹和竹荚鱼	0.90	30.6 (0.04)	24.5~27.5	27.1
马面鲀类	0.79	12.2 (0.02)	9.8~11.0	9.6
鲷类	0.99	10.4 (0.06)	8.3~9.4	10.4

注:MSY 列括号内为变异系数 CV 值。

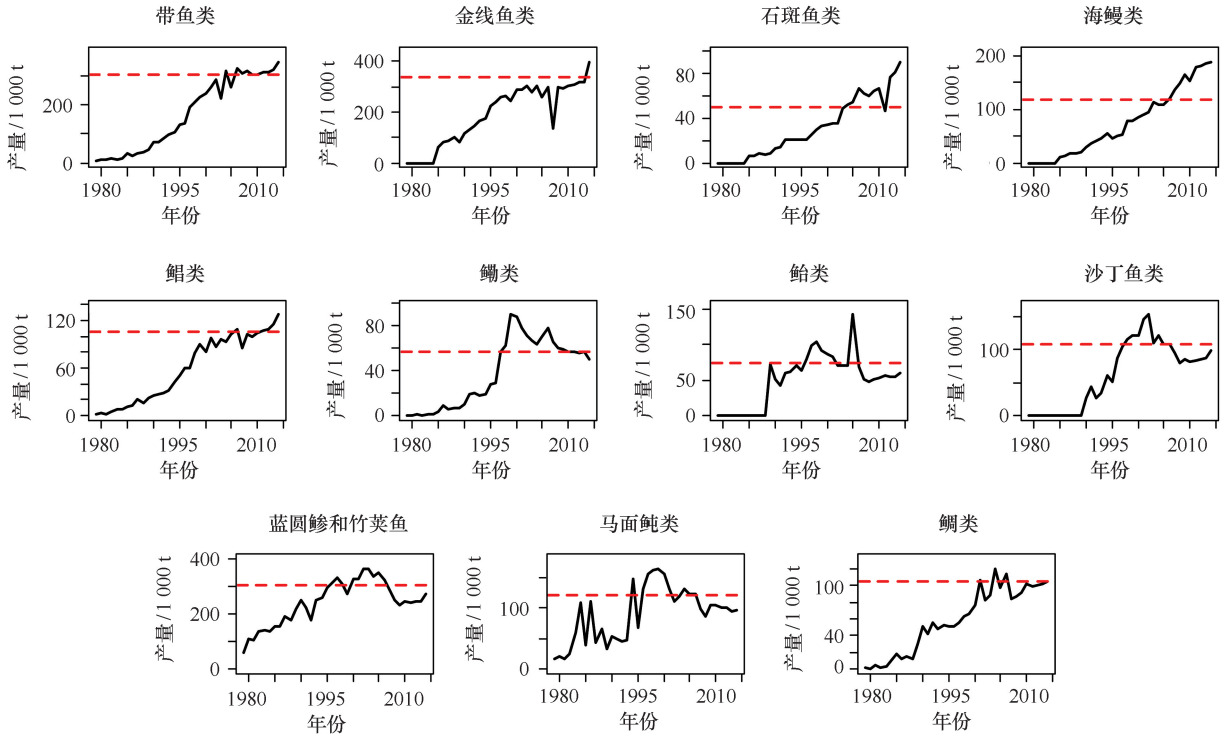


图3 南海区 11 个重要经济类群评估的 MSY 与产量序列

Fig.3 Estimated MSY and catch series for eleven commercial fish class groups in the South China Sea

4 讨论

全球渔业产量中,近 20% 的种类为已开展了渔业资源评估的种类,而这些种类占有渔业种数的 1% 以下^[26]。大部分资源群体由于缺乏充足的渔业数据,难以用传统的方法评估资源量和可捕量^[27]。近年来,数据缺乏渔业资源评估方法成为渔业科学家的一个研究热点,如分层贝叶斯状态空间模型^[6, 28],考虑鱼类生活史特征的损耗模型^[14-15],时滞差分模型和基于统计产量的中位法^[27]等。然而,这些方法并不适用于南海区渔业资源评估,一方面由于南海区渔业产量按类群统计,海域面积广阔,缺乏完善的 CPUE 监测数据;另一方面,南海区多数渔业种类寿命较短,自然死亡系数较高,不适宜损耗模型等。与传统渔业资源评估模型相比,本研究采用的评估模型对鱼类生物学特征没有选择性,不再需要 CPUE 监测数据,而是以较为容易得到的内禀增长率以及资源量水平先验信息代替;模型所需数据允许按照类群列出,并可以给出一个相对合理的可捕量范围,更适用于南海区当前渔业数据较为缺乏下的资源评估。

该模型在东北大西洋 48 个渔业群体资源评估中取得了较好的结果,但是仍然存在少数的异常值^[19]。

为了探讨模型对中国近海渔业的评估效果,研究选取东海带鱼和小黄鱼作为研究对象。这两个渔业渔获历史具有一定的代表性,产量在 20 世纪 90 年代快速增长并在 21 世纪初开始保持稳定或略有下降,与文中评估的南海区 11 个重要经济类群产量历史趋势较为吻合。另外,这两个群体已有很多关于 MSY 的评估研究^[6-10, 25],便于评估结果对比。本研究采用简化产量模型评估的东海带鱼 MSY 与繁殖模型的结果基本一致而低于其他两种评估方法的结果;评估的东海小黄鱼 MSY 与 Fox、Schaefer 模型结果基本一致而高于 Pella-Tomlinson 模型的结果。造成以上结果差异的原因主要有:第一,不同评估模型的假设和计算原理不同,例如繁殖模型利用亲体补充量关系推导 MSY^[25]而剩余产量模型则通过渔获量、捕捞努力量和资源群体大小之间的平衡关系评估 MSY^[7];第二,不同研究所采用的数据时间不同而资源群体的开发程度是不断发生变化的,例如东海带鱼评估中,贝叶斯状态空间模型使用的是 1990—2012 年产量数据^[6],剩余产量模型评估为 1990—2003 年^[7]数据,而本研究的产量为 1956—2013 年数据。

随着人们对渔业种群变动规律认识的不断深入,资源评估中的不确定性逐渐被重视,基于贝叶斯、蒙

特卡罗等方法的不确定性分析和风险评估得到了广泛的应用^[29]。但是利用贝叶斯方法进行资源评估时需要基于资源量指标(CPUE数据)的似然函数^[4,6,8],因此本文利用SIR方法计算参数的后验分布。本研究评估模型不确定性的一个主要来源是内禀增长率先验分布的设置。研究采用Fishbase鱼类数据库中的恢复力分级表,利用影响鱼类恢复力的几个关键参数性成熟年龄、最大年龄、繁殖力和生长参数作为内禀增长率的确定依据,因为这些参数之间存在着对应的线性关系^[22,30]。由于南海区综合种群内禀增长率没有相关研究,研究以渤海区综合种群内禀增长率评估结果为依据,设置了4种不同的先验分布评估其不确定性。研究结果显示,不同的内禀增长率先验分布对MSY评估结果影响较小(图2)。

南海区渔业资源MSY评估结果为308.6万t,而总产量从1996年起一直处于MSY之上,持续的过度捕捞使南海区尤其是北部湾和北部陆架区渔业资源严重衰退,北部陆架海域平均资源密度仅为原始资源密度1/7,渔获种类的营养级不断降低^[24,31]。另外,南海北部湾底拖网重要经济鱼类出现了小型化、生长加快等生物学特征的演化^[32-33]。因此,研究根据Martell和Froese^[19]的建议,可捕量设置为MSY的80%~90%,即南海区渔业总可捕量为246.9万~277.8万t。南海区11个重要经济类群MSY评估结果显示,这些类群在20世纪90年代以后均遭受了不同程度的过度捕捞,而目前仍处于过度捕捞状态的有5个类群,其中海鳗类和石斑鱼类过度捕捞最为严重。模型评估的海鳗类和石斑鱼类内禀增长率分别为0.27和0.21,远低于其他9个类群。低内禀增长率对应着高寿命、低生长速度以及低繁殖力,也意味着高抵抗力和低恢复力^[30,34-35],如果过度捕捞导致这两个渔业崩溃便很难恢复,例如东海大黄鱼渔业在

20世纪80年代因过度捕捞崩溃后至今仍未恢复^[36]。另外3个目前处于过度捕捞的类群,金线鱼类、带鱼类和鲷类都是近几年产量开始超过MSY。

对蓝圆鲈和竹荚鱼、沙丁鱼类、马面鲷类、鲈类、鳎类和鲷类的评估结果显示,这6个类群的MSY和2014年的捕捞量处于相适应的状态。然而,这些类群中有些鱼类如二长棘犁齿鲷(*Evynnis cardinalis*)^[33]仍然存在小型化、生长加快等生物学特征的演化现象,因此依然存在资源衰退的可能。Beverton-Holt动态综合模型的评估结果表明,南海小型经济鱼种的开发率(2006年)小于最适开发率,首次开捕体长(年龄)过小是导致渔业衰退的重要原因^[18]。南海北部近海,中上层、低营养级鱼类逐渐取代底层、高营养级鱼类,主要渔业资源对捕捞压力增长为“拱形”响应过程,而陆地径流、季风环流和热带气旋活动是影响南海北部近海渔业资源产出能力的主要因素^[21]。另外,研究评估的这6个类群内禀增长率较高(0.61~0.99),产量随年份波动较大,分析认为这些类群的生活史对策偏向于 r 选择^[33,37],由于年龄结构简单、增殖能力较强,每年的补充群体所占比例大,资源量极易受到环境因素干扰而波动。

由于本研究使用的评估模型高度依赖渔业统计产量,而目前中国渔业统计制度不够完善,渔民可以自主地确定时间、地点和上岸渔获量并没有相应的监管机制,使得中国渔业统计产量存在不同程度的失真^[38]。因此,本研究的评估结果只适合在限额捕捞执行初期作为一个设置可捕量的参考,在实际渔业管理的制定中,须结合其他方法来进行科学确定。另外,本研究的评估对象大多数并非单鱼种,设置的内禀增长率先验分布按照Fishbase的恢复力分级表进行,存在一定的不确定性,今后应该加强开展内禀增长率的精准估算工作。

参考文献:

- [1] 郭文路,黄硕琳. 总可捕量制度不同实施方式的比较分析[J]. 海洋湖沼通报,2001(4): 61-69.
Guo Wenlu, Huang Shuolin. Comparative analysis of different implementary manners of the total allowable catch measure[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2001(4): 61-69.
- [2] 慕永通. 渔业管理——以基于权利的管理为中心[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2006.
Mu Yongtong. Fishery Management: Focusing on Right-based Regime[M]. Qingdao: Publishing House of Ocean University of China, 2006.
- [3] 易传剑,周梅芳,俞存根. 政府规制理论在我国近海渔业管理中应用的探讨[J]. 水产学报, 2012, 36(5): 787-793.
Yi Chuanjian, Zhou Meifang, Yu Cungen. Study on theory and application of government regulation to fisheries management in offshore China[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(5): 787-793.
- [4] 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 Gang, Chen Xinjun, Guan Wenjiang. 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.

- [5] 徐汉祥. 东海带鱼可捕量制订方法的初步研究[J]. 浙江水产学院学报, 1994, 13(4): 251—257.
Xu Hanxiang. A basic study on method for calculating fishing-allowance of largehead hairtail in East China Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University, 1994, 13(4): 251—257.
- [6] 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 Kui, Chen Zuozhi. Using Bayesian state-space modelling to assess *Trichiurus japonicus* stock in the East China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(5): 1015—1026.
- [7] Wang Yu, Liu Qun. 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.
- [8] 李九奇, 叶昌臣, 王文波, 等. 基于 Bayes 方法的东海小黄鱼资源评估[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(6): 873—882.
Li Jiuqi, Ye Changchen, Wang Wenbo, 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.
- [9] 林龙山. 黄海南部和东海小黄鱼渔业生物学及其管理策略研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
Lin Longshan. Study on the fishery biology and management strategy of *Larimichthys polyactis* in the southern Yellow Sea and the East China Sea [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009.
- [10] 周永东, 徐汉祥, 潘国良, 等. 东海区鲳鱼、小黄鱼资源量及其持续渔获量的估算[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2013, 32(1): 1—5.
Zhou Yongdong, Xu Hanxiang, Pan Guoliang, et al. Biomass estimates and MSY of silvery pomfret, small yellow croaker calculated in the East China Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2013, 32(1): 1—5.
- [11] 陈作志, 林绍进, 邱永松. 基于 AHP 的南海海域渔业资源可持续利用评价[J]. 自然资源学报, 2010, 25(2): 249—257.
Chen Zuozhi, Lin Zhaojin, Qiu Yongsong. Evaluation of sustainability of fisheries resources for South China Sea based on the AHP[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(2): 249—257.
- [12] 林金铤. 南海北部大陆架外海区底拖网鱼类资源现存量及可捕量的探讨[J]. 海洋通报, 1983, 2(5): 55—64.
Lin Jinbiao. An exploration of the stock and potential harvest of demersal species in the sea area off the northern continental shelf of the South China Sea[J]. Marine Science Bulletin, 1983, 2(5): 55—64.
- [13] 王增焕, 李纯厚, 贾晓平. 应用初级生产力估算南海北部的渔业资源量[J]. 海洋水产研究, 2005, 26(3): 9—15.
Wang Zenghuan, Li Chunhou, Jia Xiaoping. The fishery production from the north part of the South China Sea using the primary production method[J]. Marine Fisheries Research, 2005, 26(3): 9—15.
- [14] MacCall A D. Depletion-corrected average catch: a simple formula for estimating sustainable yields in data-poor situations[J]. ICES Journal of Marine Science, 2009, 66(10): 2267—2271.
- [15] Dick E J, MacCall A D. Depletion-based stock reduction analysis: a catch-based method for determining sustainable yields for data-poor fish stocks [J]. Fisheries Research, 2011, 110(2): 331—341.
- [16] 张国政, 李显森, 金显仕, 等. 黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化[J]. 生态学报, 2010, 30(24): 6854—6861.
Zhang Guozheng, Li Xiansen, Jin Xianshi, et al. Changes of biological characteristics of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in the central and southern Yellow Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(24): 6854—6861.
- [17] 凌建忠, 严利平, 林龙山, 等. 东海带鱼繁殖力及其资源的合理利用[J]. 中国水产科学, 2005, 12(6): 726—730.
Ling Jianzhong, Yan Liping, Lin Longshan, et al. Reasonable utilization of hairtail *Trichiurus japonicus* resource in the East China Sea based on its fecundity[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(6): 726—730.
- [18] Wang Xuehui, Qiu Yongsong, Du Feiyan, et al. Population parameters and dynamic pool models of commercial fishes in the Beibu Gulf, northern South China Sea[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2012, 30(1): 105—117.
- [19] Martell S, Froese R. A simple method for estimating MSY from catch and resilience[J]. Fish and Fisheries, 2013, 14(4): 504—514.
- [20] Haddon M. Modelling and Quantitative Methods in Fisheries[M]. 2nd ed. New York: Chapman and Hall, 2011.
- [21] Qiu Yongsong, Lin Zhaojin, Wang Yuezhong. Responses of fish production to fishing and climate variability in the northern South China Sea[J]. Progress in Oceanography, 2010, 85(3/4): 197—212.
- [22] Froese R, Palomares M L D, Pauly D. Estimation of life history key facts[M]//Froese R, Pauly D. FishBase 2000: Concepts, Design and Data Sources. Philippines: ICLARM, 2000.
- [23] 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估[J]. 自然资源学报, 2012, 27(4): 643—649.
Li Jiuqi, Nie Xiaojie, Ye Changchen, et al. A stock assessment of Bohai Sea by Bayes-based Pella-Tomlinson model[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(4): 643—649.
- [24] 邱永松, 曾晓光, 陈涛, 等. 南海渔业资源与渔业管理[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.
Qiu Yongsong, Zeng Xiaoguang, Chen Tao, et al. Fisheries Resources and Management in the South China sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2008.
- [25] 徐汉祥, 刘子藩, 周永东, 等. 伏季休渔条件下东海带鱼的亲体和补充量关系[J]. 渔业现代化, 2011, 38(1): 64—69.
Xu Hanxiang, Liu Zifan, Zhou Yongdong, et al. The relation between parents and recruitment of hairtail on status of summer closed fishing in East China Sea[J]. Fishery Modernization, 2011, 38(1): 64—69.
- [26] Ricard D, Minto C, Jensen O P, et al. Examining the knowledge base and status of commercially exploited marine species with the RAM legacy

- stock assessment database[J]. Fish and Fisheries, 2012, 13(4): 380—398.
- [27] 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.
- [28] Jiao Yan, 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.
- [29] Chen Yong, Jiao Yan, Chen Liqiao. Developing robust frequentist and Bayesian fish stock assessment methods[J]. Fish and Fisheries, 2003, 4(2): 105—120.
- [30] Sullivan K. The estimation of parameters of the multispecies production model[J]. ICES Marine Science Symposia, 1991, 193: 185—193.
- [31] 王跃中, 袁蔚文. 南海北部底拖网渔业资源数量变动[J]. 南方水产, 2008, 4(2): 26—33.
Wang Yuezhong, Yuan Weiwen. Changes of demersal trawl fishery resources in northern South China Sea as revealed by demersal trawling[J]. South China Fisheries Science, 2008, 4(2): 26—33.
- [32] 陈作志, 孔啸兰, 徐姗姗, 等. 北部湾深水金线鱼种群参数的动态变化[J]. 水产学报, 2012, 36(4): 584—591.
Chen Zuozhi, Kong Xiaolan, Xu Shannan, et al. Dynamic changes of population parameters of *Nemipterus bathybius* in the Beibu Gulf[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(4): 584—591.
- [33] 张魁, 陈作志, 邱永松. 北部湾二长棘型齿鲷生长、死亡和性成熟参数的年际变化[J]. 南方水产科学, 2016, 12(6): 9—16.
Zhang Kui, Chen Zuozhi, Qiu Yongsong. Decadal changes in growth, mortality and maturity parameters of *Evynnis cardinalis* in Beibu Gulf[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(6): 9—16.
- [34] Allison G. The influence of species diversity and stress intensity on community resistance and resilience[J]. Ecological Monographs, 2004, 74(1): 117—134.
- [35] Cole D N. Experimental trampling of vegetation. II. Predictors of resistance and resilience[J]. Journal of Applied Ecology, 1995, 32(1): 215—224.
- [36] 叶金清. 官井洋大黄鱼的资源和生物学特征[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
Ye Jinqing. Resource and biological characteristics of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) in Guanjing Yang[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012.
- [37] 朱晓光, 房元勇, 严力蛟, 等. 高捕捞强度环境下海洋鱼类生态对策的演变[J]. 科技通报, 2009, 25(1): 51—55.
Zhu Xiaoguang, Fang Yuanyong, Yan Lijiao, et al. The ecological strategy evolution of marine fishes under high intensity fishing environment[J]. Bulletin of Science and Technology, 2009, 25(1): 51—55.
- [38] Watson R, Pauly D. Systematic distortions in world fisheries catch trends[J]. Nature, 2001, 414(6863): 534—536.

Assessment for allowable catch of fishery resources in the South China Sea based on statistical data

Zhang Kui¹, Liao Baochao², Xu Youwei¹, Zhang Jun¹, Sun Mingshuai¹, Qiu Yongsong¹, Chen Zuozhi¹

(1. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. Department of Mathematics and Statistics, Shandong University, Weihai 264209, China)

Abstract: The scientific quantification of allowable catch is a precondition to implementing a fishing quota system. However, the allowable catches for fisheries in the South China Sea (SCS) are difficult to evaluate because of the inclusion of a wide range of fish species, the lack of crucial economic fish species, and incomplete catch statistics. This paper used a simplified production model to estimate allowable catches for eleven fish groups and the total allowable catch (TAC) in the SCS. Maximum sustainable yield (MSY) and TAC in the SCS were calculated to be 308.6×10^4 t and $246.9 \times 10^4 - 277.8 \times 10^4$ t, respectively. MSY estimates for the eleven fish groups showed that they all have been overfished since the 1990s. The stocks of five fish groups (grouper, conger pike, pomfrets, threadfin breams, and hairtails) with low resilience were still being overfished in 2014, with grouper and conger pike being the most extreme examples. The stocks of the remaining six fish groups (*Decapterus maruadsi* and *Trachurus japonicas*, sardines, filefish, porgies, Chinese herring, and mackerel) had high resilience and were in good condition in 2014.

Key words: South China Sea; fishery resources; allowable catch; production model; overfishing