

基于产卵场海表面温度的太平洋褶柔鱼冬生群资源评估

鲁红月, 汪金涛, 张畅

Stock assessment of winter-spawning cohort for *Todarodes pacificus* based on the sea surface temperature in the spawning ground

LU Hongyue, WANG Jintao, ZHANG Chang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210803524>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[基于海表面温度SST的剩余产量模型评估太平洋褶柔鱼秋生群资源](#)

Stock assessment for autumn cohort of *Todarodes pacificus* based on surplus yield model with sea surface temperature

上海海洋大学学报. 2019, 28(6): 933 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190202526>

[基于线粒体基因标记的太平洋褶柔鱼群体遗传结构及变异分析](#)

Genetic variation and genetic structure analysis of *Todarodes pacificus* based on mitochondrial DNA markers

上海海洋大学学报. 2021, 30(4): 763 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200703103>

[西北太平洋柔鱼洄游重心年际变化及预测](#)

Interannual variation and forecasting of *Ommastrephes bartramii* migration gravity in the northwest Pacific Ocean

上海海洋大学学报. 2018, 27(4): 573 <https://doi.org/10.12024/jsou.20171102171>

[基于不同阶数灰色系统模型的北太平洋柔鱼资源丰度预测](#)

Prediction of abundance index of *Ommastrephes bartramii* in the North Pacific Ocean based on different order grey system models

上海海洋大学学报. 2021, 30(4): 755 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200202920>

[西北太平洋柔鱼产卵场时空分布及最适水温范围的推测](#)

Suitable environmental conditions for spawning ground affecting the abundance of neon flying squid in northwestern Pacific Ocean

上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 448 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181202466>

文章编号: 1674-5566(2022)03-0650-08

DOI:10.12024/jsou.20210803524

基于产卵场海表面温度的太平洋褶柔鱼冬生群资源评估

鲁红月¹, 汪金涛^{1,2,3,4}, 张 畅¹

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;
3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306)

摘要: 太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)是重要的大洋性经济头足类资源,其资源变动极易受海洋环境的影响。将影响太平洋褶柔鱼种群变动的内禀自然增长率(intrinsic natural growth rate, r)、最大环境容纳量(carrying capacity, K)与海表面温度(sea surface temperature, SST)结合起来,分别构建 4 种剩余产量模型(模型 1、模型 2、模型 3、模型 4),研究 SST 影响下的太平洋褶柔鱼种群资源变动情况。结果表明,其中加入环境因子的 3 种资源评估模型(模型 2、模型 3、模型 4)的偏差信息准则(DIC)的值均小于传统的剩余产量模型(模型 1)的 DIC 值,且以模型 4 的 DIC 值最小(132.6),表明该模型评估效果较好。研究认为,2007—2018 年,太平洋褶柔鱼的捕捞死亡率 F_t 普遍低于最大可持续产量(maximum sustainable yield, MSY)水平的捕捞死亡率 F_{MSY} ,其捕捞产量普遍低于最大可持续产量 MSY。目前太平洋褶柔鱼冬生种群资源状况受环境影响较大,建议有必要留意因捕捞压力和环境压力造成的资源量减少趋势,确保该资源的可持续利用。

关键词: 太平洋褶柔鱼; 海表面温度; 剩余产量模型; 资源评估

中图分类号: S 931.3 **文献标志码:** A

太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)广泛分布在日本海、太平洋沿岸以及我国的黄海和东海海域^[1]。作为重要的大洋性经济头足类,它是日本、韩国、中国和俄罗斯重要的商业开发物种之一,商业开发始于 20 世纪 60 年代,并在 60 和 90 年代捕捞产量出现过 2 次高峰期,这 4 个国家的年总产量为 70 万 t,其中底拖网和围网等捕捞方式占比达 60%^[2]。21 世纪初,由于海洋环境的变化,产卵场水温异常,太平洋褶柔鱼资源量逐年减少,产量呈大幅度下降趋势。

根据产卵时间可将太平洋褶柔鱼分为 3 个种群,即夏生群体、秋生群体和冬生群体,其中冬生群的数量最大。冬生群体产卵场主要分布在日本九州西南部东海大陆架外缘区域,密集区在东海东北部。随季节变化,夏季北上索饵,秋冬季南下产卵洄游。其卵孵化温度为 14~26 °C,最佳适宜温度为 14.7~22.2 °C^[3]。吴梦瑶等^[4]选择平均海表面温度(sea surface temperature, SST)

利用 Schaefer 模型和 Fox 模型对太平洋褶柔鱼秋生群渔获量进行分段评估。谢恩阁等^[5]建立基于产卵场和索饵场 SST 的 Schaefer 模型分析 SST 对太平洋褶柔鱼冬生群资源量的影响。汪金涛等^[6]对基于产卵场和索饵场 SST 的 Schaefer 剩余产量模型进行比较与分析。以上评估模型主要从资源量角度进行分析,对环境与物种的生物参数涉及较少^[7]。为此,将考虑影响其资源丰度的关键环境因子,结合贝叶斯方法构建基于环境因子的剩余产量模型,评估太平洋褶柔鱼资源状况,为其资源可持续利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

2007—2018 年太平洋褶柔鱼冬生群年资源丰度(catch per unit effort, CPUE)数据来自加贺敏树等^[8]的 2019 年太平洋褶柔鱼冬生群资源评估报告(图 1)(<http://abchan.fra.go.jp/>)

收稿日期: 2021-08-04

修回日期: 2022-03-19

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD0901404);国家自然科学基金(41876141);上海市科技创新行动计划(10DZ1207500)

作者简介: 鲁红月(1995—),女,硕士研究生,研究方向为渔业资源评估。E-mail:2471959205@qq.com

通信作者: 汪金涛, E-mail:jtwang@shou.edu.cn

digests2019/html/2019_18.html)。SST 来自 OceanWatch 网站 (https://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/erddap/griddap/CRW_sst_v1_0_monthly.html), 时间为 2007—2018 年 1—3 月, 空间范围为 25°N~45°N 和 125°E~145°E 海域, 时间分辨率为月, 空间分辨率为 0.5°×0.5°。

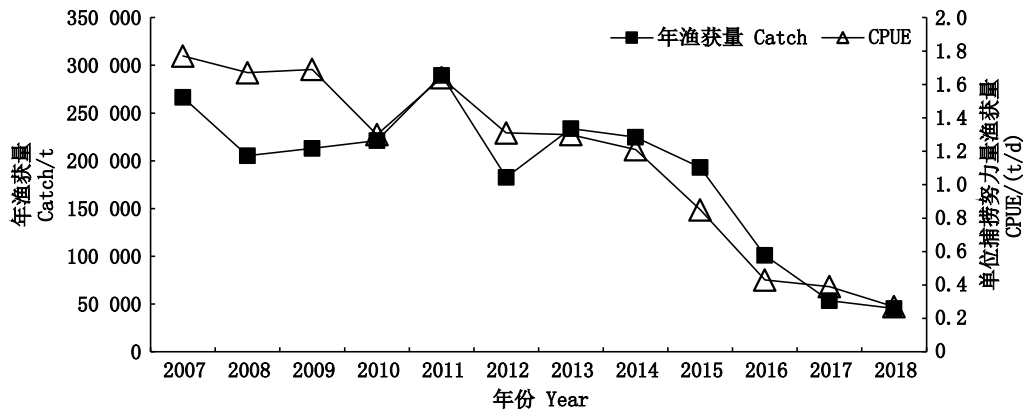


图 1 2007—2018 年太平洋褶柔鱼冬生群 CPUE 的年间变动

Fig.1 Inter-annual changes in the CPUE of the winter-spawning cohort for *Todarodes pacificus* from 2007 to 2018

1.2 研究方法

1.2.1 最适宜温度占比

太平洋褶柔鱼冬生群产卵场 SST 范围为 18~26 °C, 最适产卵 SST 范围为 14.7~22 °C^[9]。据此计算 2007—2018 年 1—3 月各月最适产卵温度面积占总产卵场面积比例(P_s):

$$P_s = \frac{M}{T}$$

式中: M 为产卵场最适温度范围的面积; T 为产卵场总面积。

1.2.2 剩余产量模型

假设 SST 对太平洋褶柔鱼种群的环境容纳量 K 和内禀自然增长率 r 起着关键性作用^[10], 相关性分析结果: 产卵场 SST 与 CPUE 显著相关 ($P < 0.05$), 将 P_s 加到剩余产量模型, 分别构建 3 种基于 SST 的剩余产量模型: 产卵场 P_s 对 r 影响的模型 2、产卵场 P_s 对 K 影响的模型 3、产卵场 P_s 对 r 和 K 同时影响的模型 4, 并将其与传统的剩余产量模型 (模型 1) 进行对比分析, 探究 P_s 对太平洋褶柔鱼种群动态影响。传统剩余产量模型 1:

$$\log(B_t) | K, \sigma^2 = \log K + u_t \quad (1)$$

$$\log(B_t) | B_{t-1}, K, r, \sigma^2 =$$

$$\log \left[B_{t-1} + r B_{t-1} \left(1 - \frac{B_{t-1}}{K} \right) - C_{t-1} \right] + u_t \quad (2)$$

$$\log(H_t) | B_t, q, \tau^2 = \log q + \log(B_t) + v_t \quad (3)$$

模型 2:

$$\log(B_t) | K, \sigma^2 = \log K + u_t \quad (4)$$

$$\log(B_t) | B_{t-1}, K, r, \sigma^2 =$$

$$\log \left[B_{t-1} + S_{t-1} r B_{t-1} \left(1 - \frac{B_{t-1}}{K} \right) - C_{t-1} \right] + u_t \quad (5)$$

模型 3:

$$\log(B_t) | K, \sigma^2 = \log K + u_t \quad (6)$$

$$\log(B_t) | B_{t-1}, K, r, \sigma^2 =$$

$$\log \left[B_{t-1} + r B_{t-1} \left(1 - \frac{B_{t-1}}{S_{K_{t-1}} K} \right) - C_{t-1} \right] + u_t \quad (7)$$

模型 4:

$$\log(B_t) | K, \sigma^2 = \log K + u_t \quad (8)$$

$$\log(B_t) | B_{t-1}, K, r, \sigma^2 =$$

$$\log \left[B_{t-1} + S_{t-1} \left(1 - \frac{B_{t-1}}{S_{K_{t-1}} K} \right) - C_{t-1} \right] + u_t \quad (9)$$

式中: B_t 为第 t 年的生物量; r 为内禀自然增长率; K 为环境容纳量; q 为可捕系数; H_t 是第 t 年的 CPUE; C_{t-1} 为 $t-1$ 年的产量; B_t 和 H_t 的误差项分别为参数 u_t 和 v_t , u_t 和 v_t 相互独立且服从独立正态分布 IID $N(0, \sigma^2)$ 。

1.2.3 似然函数

概率密度函数最大化用于估算模型参数^[11],假设 B_t 和太平洋褶柔鱼冬生群年 CPUE 服从对数正态分布,似然函数表达式为

$$L(H|\theta) = \prod_{2018}^{2007} \frac{1}{H_t \sigma \sqrt{2\pi}} \left\{ \frac{[\log(H_t) - \log(qB_t)]^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (10)$$

式中: H 为观测数据; θ 为模型参数组成的矢量; σ 为标准差,因渔获量和 CPUE 的时间序列过短无法估算标准差 σ ,将其设置为 $0.2^{[12]}$ 。根据前

人研究结果^[11],假设 Schaefer 剩余产量模型参数 K 、 r 和 q 其先验分布均服从均匀分布,具体数值见表 1。同时,假设初始生物量为 34.5 万 $t^{[13]}$ 。

1.2.4 后验概率分布

模型参数 r 、 K 、 q 后验概率分布估计采用蒙特卡罗马尔科夫(MARKOV CHAIN MONTE CARLO, MCMC)链的方法。设置 3 个 MCMC 链,总迭代 50 000 次,丢弃前 10 000 次,后 40 000 次该模型每 40 次迭代分析储存一次结果,共计 1 000 次结果。

表 1 剩余产量模型参数在 MCM 迭代计算的初始值设置

Tab.1 Initial value of the surplus production model parameters in the MCMC iterative calculation

概率分布 Distribution scenario	内禀自然增长率 r	环境容纳量 K /万 t	可捕系数 q
均匀分布 Uniform distribution	U(0.5, 2.1)	U(10, 150)	U(1×10^{-5} , 5×10^{-5})
初始值 Initial value	0.65	34.5	1.19

1.2.5 模型拟合指标

利用偏差信息准则(deviance information criterion, DIC)比较不同模型精度和复杂性, DIC 值越小则模型性能越好。

1.2.6 生物学参考点

计算的生物学参考点(biological reference point, BRP)包括限制水平捕捞死亡率($F_{0.1}$)、最大可持续产量(maximum sustainable yield, MSY)、MSY 水平捕捞死亡率(F_{MSY})和 MSY 水平生物量(B_{MSY} ,为资源的限制参考点),并绘制 Kobe 图,评估种群的资源状况。统计分析用 R 4.1.0 语言软件处理,涉及的 packages 主要有 coda、rjags、R2jags。

表 2 太平洋褶柔鱼冬生群的生物学参考点

Tab.2 Biological reference points of winter-spawning cohort for *Todarodes pacificus*

渔获量 Catch	基于死亡率的参考点 F-based BRP	基于生物量的管理参考点 B-based BRP
MSY = $rK/4$	$F_{MSY} = F_{lim} = r/2$ $F_{0.1} = F_{tar} = 0.45r$ $F_t = C_t/B_t$	$B_{MSY} = K/2$ $B_{lim} = B_{MSY}/4$

注: F_t 为 t 年的实际捕捞死亡率; $F_{0.1}$ 为限制性捕捞死亡率; F_{MSY} 为目标捕捞死亡率; C_t 为 t 年的渔获量; B_t 为 t 年的资源量。
Notes: F_t is the actual fishing mortality coefficient in year t ; and $F_{0.1}$ is the limit reference point of fishing mortality; F_{MSY} is the target reference point of fishing mortality; C_t is the catch in year t and B_t is the biomass in year t .

2 结果

2.1 模型对比分析

4种剩余产量模型参数的先验分布和后验分布之间存在较大差异,参数先验分布对后验分布的影响较小,说明模型获得了较多的太平洋褶柔鱼冬生群的渔业信息(图 2)。每个模型的后验分布均不相同,后验分布参数 r 为 $0.650 \sim 1.117$ 、 K 为 $43.925 \times 10^4 \sim 48.445 \times 10^4$ 、 q 为 $1.071 \times 10^{-4} \sim 2.320 \times 10^{-4}$,其中 r 最小值分布在模型 3 和模型 4 中,模型 3 和模型 4 的 K 值相近且以模型 3 为最小, q 最小值分布在模型 1 中,模型 4 的 DIC 值最小,为 132.6(表 3)。

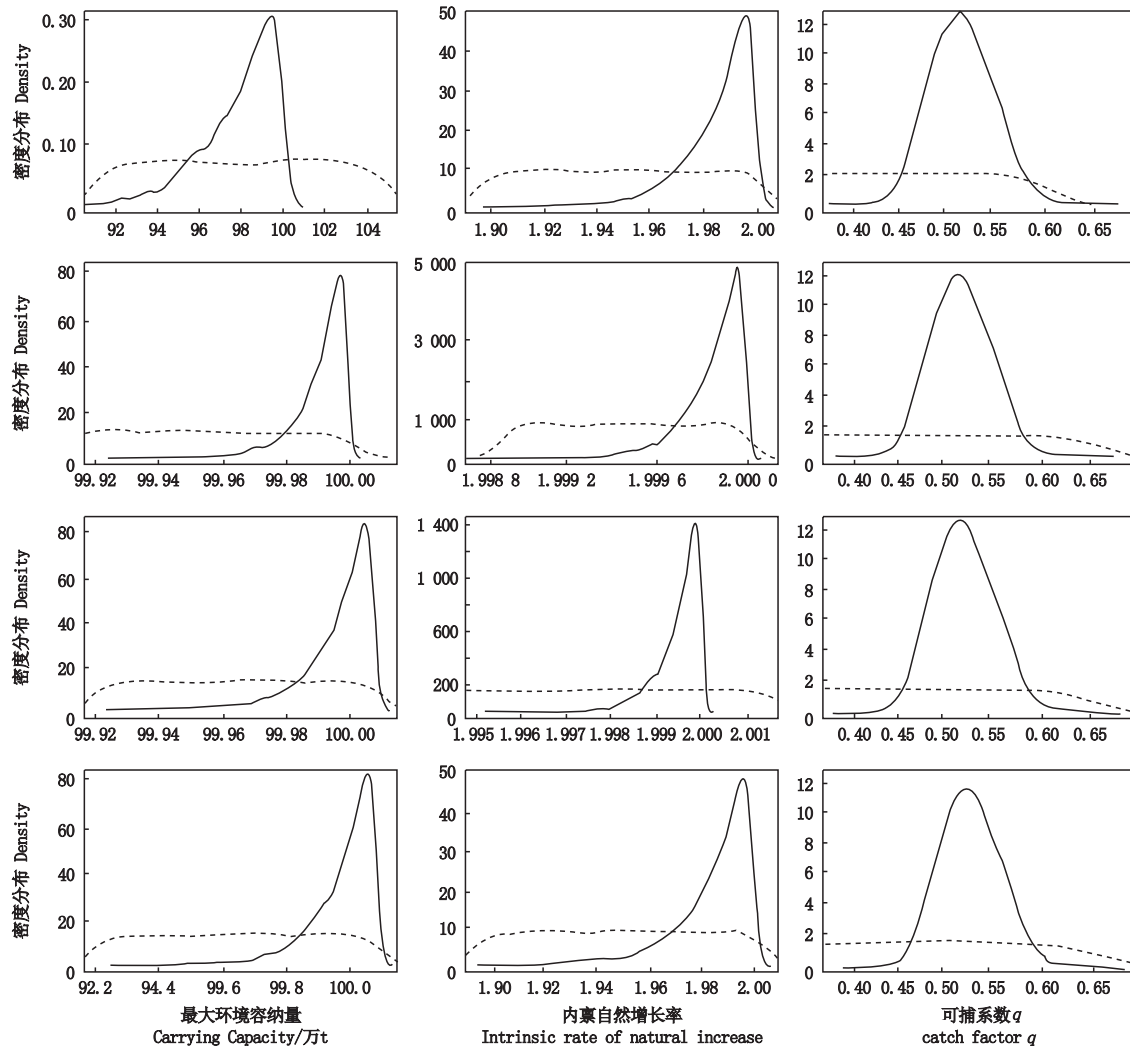
2.2 太平洋褶柔鱼冬生群体种群资源状况

太平洋褶柔鱼冬生群资源评估模型结果显示,模型 1 估算的最大可持续产量 MSY 为 45.48 万 t, B_{MSY} 为 48.85 万 t。模型 2 的 MSY 为 45.92 万 t, B_{MSY} 为 49.96 万 t。模型 3 的 MSY 为 45.94 万 t, B_{MSY} 为 49.95 万 t。模型 4 的 MSY 为 41.28 万 t, B_{MSY} 为 49.66 万 t。其中模型 1 的 B_{MSY} 值为 4 个模型最小值,模型 4 的 MSY 和 F_{MSY} 为 4 个模型最小值。

评估认为,模型 1 的 F_{tar} 为 0.89, F_{MSY} 为 0.88, F_{tar} 和 F_{MSY} 均为 4 个模型中最大值。2007—2018 年在 4 个剩余产量模型中,太平洋褶柔鱼冬生群的捕捞死亡率 F_t 为最小值,且太平洋褶柔鱼冬生群的实际捕捞量低于 MSY(表 4)。

4 个模型对太平洋褶柔鱼冬生群资源评估状况来看,模型 1 评估结果显示太平洋褶柔鱼冬生群的资源状况良好($B/B_{MSY} > 1, F/F_{MSY} < 1$),没有出现过度捕捞的现象(图 3)。 S_r -ED 模型 1 中显

示资源过度性捕捞,当前生物量处于较低水平($B/B_{MSY} < 1, F/F_{MSY} < 1$)(图 3)。模型 4 显示,该种群存在资源型过度捕捞和捕捞型过度的现象,但资源正在逐渐恢复状态(图 3)。



图中实线表示先验分布,虚线表示后验分布;从上到下模型顺序依次为:模型 1、模型 2、模型 3 和模型 4 的 r, K, q 的先验和后验分布。
The solid line in the figure represents the prior distribution, and the dotted line represents the posterior distribution; The order of the models from top to bottom is: Prior and posterior distributions of r, K, q for Model 1, Model 2, Model 3, and Model 4.

图 2 4 种剩余产量模型中的先验分布和后验分布对比图

Fig.2 Comparison of prior distribution and posterior distribution in the four surplus production models

表 3 太平洋褶柔鱼冬生群剩余产量模型中参数统计表

Tab.3 Statistics of parameters in the surplus production model of *Todarodes pacificus*

模型 Models	参数 Parameters						DIC
	r		$K(\times 10^4)$		$q(\times 10^{-4})$		
	均值 Mean	方差 SD	均值 Mean	方差 SD	均值 Mean	方差 SD	
模型 1 Model 1	1.862	0.121	97.70	3.278	0.027	0.012	245.5
模型 2 Model 2	1.838	0.050	99.92	3.250	0.073	0.083	217.4
模型 3 Model 3	1.840	0.049	99.90	3.153	0.050	0.039	238.3
模型 4 Model 4	1.663	0.050	99.32	3.157	0.103	0.169	132.6

表4 2007—2018年4个模型得出的生物参考点统计表

Tab.4 Statistics of biological reference points derived from four models from 2007 to 2018

生物学参考点 BRP _s	模型1 Model 1	模型2 Model 2	模型3 Model 3	模型4 Model 4
B_{MSY} /万t	48.85	49.96	49.95	49.66
B_{lim} /万t	12.21	12.49	12.49	12.42
MSY/万t	45.48	45.92	45.94	41.28
F_{MSY}	0.89	0.89	0.86	0.83
F_{tar}	0.88	0.89	0.82	0.81
F_t	0.23	0.20	0.21	0.18

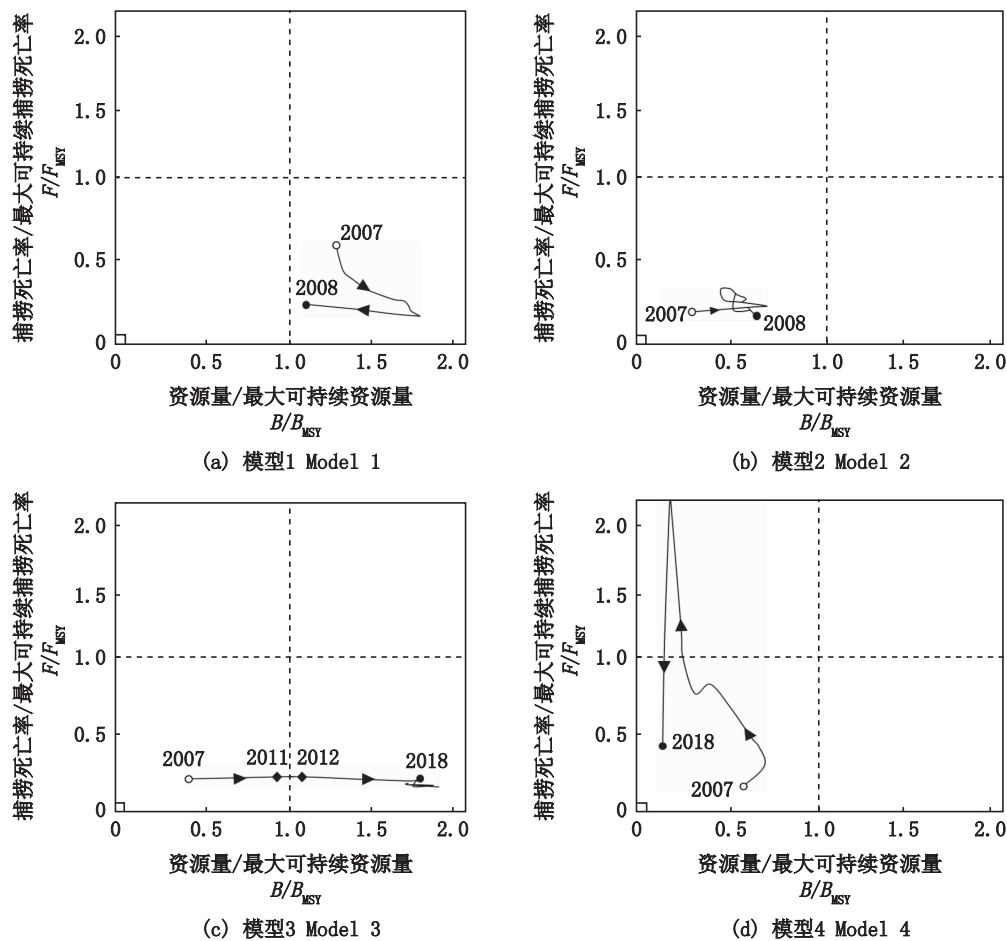


图3 2007—2018年4种剩余产量模型对太平洋褶柔鱼冬生种群资源评估状态

Fig.3 Resource status of *Todarodes pacificus* in four surplus production models from 2007 to 2018

3 讨论与分析

3.1 模型选择及参数分析

太平洋褶柔鱼作为一年生的短生命周期物种,其资源极易受到海洋环境的影响。据FAO统计,太平洋褶柔鱼年际产量波动大,1986年后产量呈现逐年上升趋势,2015年后,产量大幅度逐年下降。已有研究^[10-14]显示,太平洋褶柔鱼资源

补充量受环境影响显著,因此探究环境变化对资源的影响,为资源可持续发展的管理提供参考。SAKURAI等^[3]认为太平洋褶柔鱼资源变化主要受产卵场环境影响。水温影响其胚胎发育的时间和发育速度,对其产卵、孵化生长有明显的影响^[11],产卵场环境变化被认为是太平洋褶柔鱼数量变动的关键因素^[15]。因此,在太平洋褶柔鱼的资源评估中,需要重点考虑和分析产卵场温度变

化对其种群动态的影响。

同时,环境变化使太平洋褶柔鱼的生物学数据获取受限^[16],造成无法利用传统的评估模型对其进行资源评估^[17]。剩余产量模型不需要资源群体本身的生物学数据,仅需渔获量、捕捞努力量或 CPUE^[18]。为提高模型评估的准确性,采用贝叶斯统计方法考虑先验信息,降低了参数估计的不确定性,因此,采用 Schaefer 剩余产量模型对太平洋褶柔鱼冬生群进行资源评估,具有一定的科学性和可操作性。

3.2 不确定性分析

渔业资源评估的不确定性主要来源于原始数据的不确定性,模型参数的不确定性,以及数据时间序列等方面。为了降低原始数据的不确定性,采用了2019年日本水产厅关于太平洋褶柔鱼冬生群的资源评估报告,该数据本身具有科学性和可靠性,但是在生物量原始数据选择方面可能存在一定的不确定性,本研究假设模型参数初始量为34.5万t,不同初始量值对渔业资源评估可能会有一定的影响。

在模型参数的不确定性方面,假设 CPUE 标准差 σ 设为0.2,该值的假设对评估模型和评估结果产生的影响还待研究。基于环境因子的资源评估模型中,在模型参数估计的过程中不仅仅是定值,更多是随着时间变化其生物学参数也会发生变化,如自然死亡率、资源可捕性等对种群资源状况的影响。因此,模型建立的过程中要考虑随时间变化的生物学参数的变动。

在数据年限限制方面,本研究建立的剩余产量模型是基于2007—2018年日本鱿钓船的渔业生产数据,因此基于上述年限估算出的模型参数,通常只能计算上述年限的种群资源状况,这是由于太平洋褶柔鱼本身是短生命周期物种,其资源状况和个体生长状况极易受环境变化影响,因此用于预测2007—2018年之外的渔业资源状况可能存在一定的风险。

3.3 太平洋褶柔鱼资源状况评价

从评估结果可以看出,2007—2018年太平洋褶柔鱼年渔获量保持在4.5万~31.5万t,平均值为19.5万t。2000年的31.5万t为最高渔获量,其次是2011年的29.5万t,2017年为5.3万t,2018年4.5万t。这说明太平洋褶柔鱼的渔获量年间波动较大,并且近年来其渔获量呈大幅度下

降趋势。

结合4种剩余产量模型,从渔业捕捞状况来看, F_t 的值均小于 F_{lar} 的值,这说明其捕捞强度在渔业资源可承受范围内。从资源量分析来看,模型1在2007—2018年 B_t 均大于 B_{MSY} (图6a),该模型评估结果显示,太平洋褶柔鱼资源状况良好,没有呈现过度捕捞趋势,资源目前处于尚未充分开发,这与其他3个模型评估结果呈现明显差异。

评估模型1显示,太平洋褶柔鱼冬生群资源出现过度捕捞($B/B_{MSY} < 1, F/F_{MSY} < 1$),有必要留意因捕捞而引起的资源减少(图6b)。

评估模型3显示,2007—2011年 $B/B_{MSY} > 1, F/F_{MSY} < 1$;2012—2018年 $B/B_{MSY} < 1, F/F_{MSY} < 1$,这说明此期间太平洋褶柔鱼冬生群资源的开发需要采取一定的保护措施(图6d)。

评估模型4显示,太平洋褶柔鱼冬生群资源的起始年份和终止年份均出现 $B/B_{MSY} < 1, F/F_{MSY} < 1$ 的现象,而在2007—2018年期间存在 $B/B_{MSY} < 1, F/F_{MSY} > 1$ 的现象,这说明太平洋褶柔鱼冬生群资源中出现了过度捕捞的现象,而在起始年份则出现资源较好的状况,这可能与捕捞强度较少以及海洋环境的影响有关。

研究认为,加入环境因子的评估比不加入环境因子的评估结果更具有现实性意义,且当太平洋褶柔鱼种群资源受环境影响时,会直接影响种群动态 r 和 K 的参数值,进而影响评估结果,当动态的模型参数 r 和 K 发生变化时,相关管理部门需及时调整现有的捕捞强度,避免因捕捞过度影响种群资源的合理开发和可持续利用。

参考文献:

- [1] KIDOKORO H, GOTO T, NAGASAWA T, et al. Impact of a climate regime shift on the migration of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) in the Sea of Japan[J]. ICES Journal of Marine Science, 2010, 67(7): 1314-1322.
- [2] 加賀敏樹, 山下紀生, 岡本俊. 平成29(2017)年度スルメイカ秋季発生系群の資源評価[R]. 北海道区水産研究所, 2017.
- [3] KAGA T, YAMASHITA N, OKAMOTO S. Evaluation of the resources of the autumn cohort of *Todarodes pacificus* in 2017 [R]. Hokkaido Fisheries Research Institute, 2017.
- [3] SAKURAIY, BOWER J R, NAKAMURA Y, et al. Effects of temperature on development and survival of *Todarodes pacificus* embryos and paralarvae[J]. American Malacological

- Bulletin, 1996, 13(1/2): 89-95.
- [4] 吴梦瑶, 田思泉. 基于海表面温度 SST 的剩余产量模型评估太平洋褶柔鱼秋生群资源[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(6): 933-942.
WU M Y, TIAN S Q. Stock assessment for autumn cohort of *Todarodes pacificus* based on surplus yield model with sea surface temperature [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(6): 933-942.
- [5] 谢恩阁, 陈新军, 汪金涛, 等. 基于水温因子的太平洋褶柔鱼冬生群剩余产量模型研究[J]. 海洋学报, 2019, 41(12): 71-77.
XIE E G, CHEN X J, WANG J T, et al. Study on residual yield model of winter fishes of *Todarodes pacificus* based on water temperature factors [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2019, 41(12): 71-77.
- [6] WANG J T, YU W, CHEN X J, et al. Stock assessment for the western winter-spring cohort of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) using environmentally dependent surplus production models [J]. Scientia Marina, 2016, 80(1): 69-78.
- [7] LIU J L, YU W, XU L L, et al. Using Bayesian Bio-economic model to evaluate the management strategies of *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific Ocean [J]. Aquaculture and Fisheries, 2021, 6(2): 205-215.
- [8] 加賀敏樹, 山下紀生, 岡本俊, 等. 平成 30 年度スルメイカ冬季発生系群の資源評価[R]. 平成 30 年度我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 2019: 652-697.
KAGA T, YAMAHAHITA N, OKAMOTO S, et al. Resource evaluation of the 2018 Japanese flying squid winter outbreak group [R]. 2018 Fisheries Resource Evaluation of the Waters Around Japan, Fisheries Agency/Fisheries Research and Education Agency, 2019: 652-697.
- [9] MINOBE S. A 50-70 year climatic oscillation over the North Pacific and North America [J]. Geophysical Research Letters, 1997, 24(6): 683-686.
- [10] 唐峰华, 史赞荣, 朱金鑫, 等. 海洋环境因子对日本海太平洋褶柔鱼渔场时空分布的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(5): 1036-1043.
TANG F H, SHI Y R, ZHU J X, et al. Influence of marine environment factors on temporal and spatial distribution of Japanese common squid fishing grounds in the Sea of Japan [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(5): 1036-1043.
- [11] JI F, GUO X Y, WANG Y C, et al. Response of the Japanese flying squid (*Todarodes pacificus*) in the Japan Sea to future climate warming scenarios [J]. Climatic Change, 2020, 159(4): 601-618.
- [12] 李纲, 陈新军, 官文江, 等. 东黄海鲈鱼资源评估与管理决策研究[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 104-128.
LI G, CHEN X J, GUAN W J, et al. Stock assessment and management strategies for chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and Yellow Sea [M]. Beijing: Science Press, 2011: 104-128.
- [13] SAKURAI Y, KIYOFUJI H, SAITOHS I, et al. Stock fluctuations of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, related to recent climate changes [J]. Fisheries Science, 2002, 68(s1): 226-229.
- [14] 李建生, 严利平. 东海太平洋褶柔鱼的数量分布及其与环境的关系[J]. 海洋渔业, 2004, 26(3): 193-198.
LI J S, YAN L P. Quantity distribution of *Todarodes pacificus* and its relation with environment in the East China Sea [J]. Marine Fisheries, 2004, 26(3): 193-198.
- [15] THORSON J T, MONNAHAN C C, COPE J M. The potential impact of time-variation in vital rates on fisheries management targets for marine fishes [J]. Fisheries Research, 2015, 169: 8-17.
- [16] KIDOKORO H, SHIKATA T, KITAGAWA S. Forecasting the stock size of the autumn cohort of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) based on the abundance of trawl-caught juveniles [J]. Hidrobiológica, 2014, 24(1): 23-31.
- [17] 许骆良, 陈新军, 汪金涛, 等. 基于 Schaefer 模型的东南太平洋茎柔鱼资源评估和管理 [J]. 海洋学报, 2015, 37(10): 49-58.
XU L L, CHEN X J, WANG J T, et al. Stock assessment and management of *Dosidicus gigas* in the Southeast Pacific Ocean with Schaefer model [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2015, 37(10): 49-58.
- [18] 官文江, 田思泉, 朱江峰, 等. 渔业资源评估模型的研究现状与展望 [J]. 中国水产科学, 2013, 20(5): 1112-1120.
GUAN W J, TIAN S Q, ZHU J F, et al. A review of fisheries stock assessment models [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(5): 1112-1120.

Stock assessment of winter-spawning cohort for *Todarodes pacificus* based on the sea surface temperature in the spawning ground

LU Hongyue¹, WANG Jintao^{1,2,3,4}, ZHANG Chang¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: *Todarodes pacificus* is a commercially important oceanic cephalopod resource, and its resource changes are vulnerable to the impact of the marine environment. In this study, the intrinsic natural growth rate (r) and the maximum environmental capacity (K) of the fluctuation parameters of the *Todarodes pacificus* population were combined with the sea surface temperature (SST) to construct four surplus production models respectively, which evaluated the changes in *Todarodes pacificus* population resources under the influence of SST. The research results showed that the resource evaluation model (model 2, model 3, and model 4) with environmental factors added to the four surplus production models had a deviation information criterion (DIC) value smaller than that of the traditional residual production model (model 1). The DIC value of the model 4 was the smallest (132.6), indicating that the model had the highest accuracy. According to the best model assessment, the fishing mortality F_t of *Todarodes pacificus* from 2007 to 2018 was lower than F_{MSY} . When MSY was 41.28×10^4 t, B_{MSY} reached 49.66×10^4 t, and there was a phenomenon of resource-based overfishing, but resources were gradually recovering. Studies have shown that the resource status of the winter population of *Todarodes pacificus* is greatly affected by the environment, so it is necessary to seriously consider the impact of environmental factors such as SST in future resource development and scientific management.

Key words: *Todarodes pacificus*; sea surface temperature; bayes estimation surplus production models; stock assessment