

文章编号: 1674-5566(2019)06-0933-10

DOI:10.12024/jsou.20190202526

## 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

吴梦瑶<sup>1</sup>, 田思泉<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 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:** 选择 5—9 月的平均海表面温度(sea surface temperature, SST)作为环境因子, 采用 Schaefer 模型和 Fox 模型对太平洋褶柔鱼秋生群渔获量进行评价。假设  $\Delta U$  (观测和预测单位捕捞努力量渔获量残差)是由 SST 引起的, 从而将 SST 引入太平洋褶柔鱼秋生群的评估模型中。根据 1960 年以来太平洋褶柔鱼秋生群渔业整体发展情况, 以 1993 和 2003 年为界对 1985—2014 年的总渔获量进行分段分析, 分别为: 1985—1993 年、1994—2002 年和 2003—2014 年。根据是否引入 SST 和引入 SST 后是否分段, 分别构建了 3 个 Schaefer 模型和 3 个 Fox 模型。结果显示, 分段 Schaefer model-SST 的拟合效果最好,  $\Delta U$  与 SST 显著负线性相关 ( $P < 0.05$ ), 渔获量在 18 ~ 23 °C 会随温度升高而降低。建议: 模型建立过程中应根据不同时间段的情况不同而进行分段分析, 这样可以提高拟合效果; 用分段 Schaefer model-SST 对未来渔获量进行评估, 以期对相关资源管理起到一定的借鉴意义。

**关键词:** 太平洋褶柔鱼; 剩余产量模型; CPUE; 平均海表面温度 SST; 资源评估

**中图分类号:** S 932.8      **文献标志码:** A

太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)是世界上最早被大规模开发利用的头足类种类之一, 广泛分布于西北太平洋 20°N ~ 60°N 海域<sup>[1]</sup>。其含有丰富的蛋白质和微量元素<sup>[2]</sup>以及较高的可食比重<sup>[3]</sup>而成为我国主要的鱿钓捕捞对象。太平洋褶柔鱼一年四季均有产卵<sup>[4]</sup>, 根据产卵高峰期和迁徙模式的不同可分为夏生群、秋生群和冬生群<sup>[5]</sup>, 且以秋生群和冬生群为主<sup>[6]</sup>。1970 年以前, 冬生群产量较高, 之后冬生群资源衰退, 秋生群成为主要捕捞对象<sup>[7]</sup>。秋生群主要渔获来自日本海, 其雄性大约在 9 月成熟, 雌性 10 月以后开始成熟, 主要于 10—12 月在日本北陆沿岸的对马海峡海域附近的东海进行产卵, 新生群体于次年 5—9 月洄游回育幼场<sup>[8]</sup>。

环境对短生命周期生物的影响明显, 这一影响可能超过捕捞影响<sup>[9]</sup>。不同生长阶段的太平洋褶柔鱼对环境的适应能力不同, 以日本列岛海域情况为例, 其北上群体的索饵适温范围为 10 ~

17 °C, 成体交配适温为 13 ~ 18 °C, 而南下群体产卵的适温范围为 15 ~ 20 °C<sup>[10]</sup>。产卵场表层水温在一定程度上会影响太平洋褶柔鱼补充量的变化<sup>[11]</sup>; 海表面温度对单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)也具有显著影响<sup>[12]</sup>。此外, 陆地河流、降水<sup>[13]</sup>、叶绿素浓度<sup>[14]</sup>等环境因素的变化也会对短生命周期生物产生一定影响。

自 1980 年头足类与环境关系被 CADY<sup>[15]</sup>和 ROWELL 等<sup>[16]</sup>提出后, 研究者们就开始不断地探索资源与环境之间的关系, 并尝试用环境变量解释其资源变动, 到目前为止, 用鱿鱼与环境的关系来预测柔鱼资源仍较为困难<sup>[17]</sup>。有关鱿鱼资源评估, 目前对衰减模型的研究相对较深, 对其他模型的研究尚属探索阶段<sup>[18]</sup>。本文选取日本海海域平均海表面温度(SST)作为环境影响因子, 用剩余产量模型(Schaefer 模型和 Fox 模型)对太平洋褶柔鱼渔获量进行预测, 以期为大

收稿日期: 2019-02-18      修回日期: 2019-05-20

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41306127)

作者简介: 吴梦瑶(1993—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源评估。E-mail: 971366877@qq.com

通信作者: 田思泉, E-mail: sqtian@shou.edu.cn

平洋褶柔鱼的可持续利用和管理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据选择

渔业数据来自日本海海洋渔业研究所《平成 29(2017)年太平洋褶柔鱼秋生群落资源评估报告》,包括:1985—2014 年的总渔获量、捕捞努力量及 CPUE<sup>[8]</sup>(表 1)。捕捞时间为 5—9 月。

日本太平洋褶柔鱼渔业开发始于 20 世纪 60 年代后半期,70 年代中期资源出现下降,90 年代又开始恢复,2003 年后又出现下降<sup>[8]</sup>。韩国的太平洋褶柔鱼渔业在 1990 年之后迅速发展,1993 年之后开始波动下降,1993—2003 年波动上升,2003 年之后再次波动下降<sup>[8]</sup>。因此根据日韩发展情况,本文以 1993 和 2003 年为界对 1985—2014 年的总渔获量进行分段分析,分别为:1985—1993 年(相对稳定段)、1994—2002 年(相对波动段)和 2003—2014 年(相对稳定段)。

温度数据来自 OceanWatch (<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/las/servlets/dataset>) (表 1)。因 36°N ~ 39°N, 130°E ~ 138°E 海域的海表面温度对太平洋褶柔鱼 CPUE 具有显著影响<sup>[12]</sup>且秋生群一般在 5—9 月洄游回育幼场,因而本文选取 36°N ~ 39°N, 130°E ~ 138°E 海域内 1985—2014 年 5—9 月的月平均海表面温度(sea surface temperature, SST)进行分析(表 1)。

### 1.2 剩余产量模型

由 Schaefer 模型和 Fox 模型得出渔获量、捕捞努力量和 CPUE 的关系式如下:

$$\text{Schaefer 模型: } \frac{C_t}{f_t} = U_t = a - bf_t \quad (1)$$

$$\text{Fox 模型: } \frac{C_t}{f_t} = U_t = me^{-nf_t} \quad (2)$$

式中: $C_t$  为  $t$  年渔获量观测值, $t$ ;  $f_t$  为  $t$  年捕捞努力量, $d$ ;  $U_t$  为  $t$  年的单位捕捞努力量渔获量, $t/d$ ;  $a, b, m, n$  为参数。

根据  $C_t, f_t$  和式(1)、(2)求出相应参数  $a, b, m$  和  $n$ ,得到如下公式:

$$\text{Schaefer 模型: } C_{-S} = af_t - bf_t^2 \quad (3)$$

$$\text{Fox 模型: } C_{-F} = me^{-nf_t} f_t \quad (4)$$

式中: $C_{-S}$  为  $t$  年 Schaefer 模型求得的渔获量预测值; $C_{-F}$  为  $t$  年 Fox 模型的渔获量预测值。

表 1 1985—2014 年日本海太平洋褶柔鱼秋生群渔业数据以及 5—9 月平均海表面温度

Tab. 1 Fishery data of the autumn cohort of *Todarodes pacificus* in Japan Sea and the average sea surface temperature from May to September in 1985 – 2014

Year	总渔获量 Total catch/ (10 <sup>4</sup> t)	CPUE/ (t/d)	捕捞努力量 Effort/ (10 <sup>4</sup> d)	SST/°C
1985	13.56	0.82	16.46	21.49
1986	7.72	0.37	20.87	19.79
1987	18.08	1.08	16.79	20.03
1988	14.52	0.91	15.89	20.19
1989	18.71	1.31	14.32	20.43
1990	18.29	1.53	12.00	21.22
1991	19.44	1.52	12.82	20.33
1992	22.88	1.97	11.60	20.61
1993	28.53	2.15	13.28	18.87
1994	26.28	1.79	14.69	22.17
1995	25.22	2.13	11.82	20.56
1996	31.75	3.00	10.59	20.45
1997	27.77	3.12	8.91	21.05
1998	21.01	2.51	8.36	21.43
1999	31.00	2.75	11.26	21.21
2000	26.24	2.75	9.55	21.43
2001	26.84	3.47	7.75	21.37
2002	29.25	3.69	7.92	21.58
2003	28.21	3.34	8.44	20.26
2004	22.12	2.28	9.72	21.69
2005	22.51	2.29	9.82	21.86
2006	23.63	2.83	8.36	20.91
2007	15.56	2.19	7.10	21.76
2008	18.69	3.15	5.94	21.70
2009	19.20	2.90	6.63	20.78
2010	15.94	2.29	6.96	22.31
2011	13.08	2.37	5.51	21.56
2012	14.48	2.56	5.67	22.93
2013	11.78	2.28	5.17	22.58
2014	11.15	2.08	5.37	22.14

### 1.3 基于环境因子的剩余产量模型

假设渔获量观测值与预测值之间的差值与捕捞努力量的比值  $\Delta U$  (CPUE 残差) 是由 SST 引起<sup>[19]</sup>且呈线性关系,则:

$$\frac{C_{\text{obs}} - C_{\text{pre}}}{f_t} = \Delta U_t = \mu T + \gamma \quad (5)$$

式中: $C_{\text{obs}}$  为  $t$  年渔获量观测值; $C_{\text{pre}}$  为  $t$  年渔获量预测值; $\mu, \gamma$  为常量; $T$  表示的是海表面温度 SST。

由式(3)(5)或式(4)(5)可以得到基于环境因子的渔获量预测值公式见表 2。

表 2 1985—2014 年基于 SST 的日本海太平洋褶柔鱼秋生群 Schaefer 模型和 Fox 模型  
Tab. 2 Schaefer model and Fox model based on SST for the autumn cohort  
of *Todarodes pacificus* in Japan Sea from 1985 to 2014

模型 Models	渔获量预测值 Predicted catch/(10 <sup>4</sup> t)
基于 SST 的 Schaefer 模型 Schaefer Model based on SST	$C_{S-SST} = C_S + \Delta U_i \cdot f_i = af_i - bf_i^2 + (\mu T + \gamma)f_i$ (6)
基于 SST 的 Fox 模型 Fox Model based on SST	$C_{F-SST} = C_F + \Delta U_i \cdot f_i = me^{-nf_i} f_i + (\mu T + \gamma)f_i$ (7)

注:  $C_{S-SST}$  为  $t$  年基于 SST 的 Schaefer 模型的预测渔获量;  $C_{F-SST}$  为  $t$  年基于 SST 的 Fox 模型的预测渔获量

Notes:  $C_{S-SST}$  is the predicted catch of Schaefer model based SST in  $t$  years;  $C_{F-SST}$  is the predicted catch of Fox model based SST in  $t$  years

### 1.4 模型拟合评价参数

模型拟合效果用和方差 (sum of squared errors, SSE)、均方差 (mean squared error, MSE)、均方根 (root mean square error, RMSE)、确定系数  $R^2$  和赤池信息量 (akaike information criterion, AIC) 来比较。

(1) 和方差 SSE: 又称残差平方和, 是拟合数据和原始数据对应点的误差的平方和。计算公式如下:

$$E_{SSE} = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 \quad (8)$$

式中:  $y_i$  指的是原始数据,  $Y_i$  指的是预测数据。

(2) 均方差 MSE: 又称方差, 是预测数据和原始数据对应点误差的平方和的均值, 也就是  $SSE/n$ 。计算公式如下:

$$E_{MSE} = \frac{E_{SSE}}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 \quad (9)$$

式中:  $n$  指的预测数据数或原始数据数。

(3) 均方根 RMSE: 也叫回归系统的拟合标准差, 是 MSE 的平方根。计算公式如下:

$$E_{RMSE} = \sqrt{E_{MSE}} = \sqrt{\frac{E_{SSE}}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2} \quad (10)$$

(4) 确定系数  $R^2$  计算公式如下:

$$R^2 = 1 - \frac{E_{SSE}}{S_{SSR}} \quad (11)$$

式中:  $S_{SSR}$  为离差平方和 (total sum of squared residual, SSR), 为原始数据和其均值之差的平方和。公式如下:

$$S_{SSR} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (12)$$

式中:  $\bar{y}$  为原始数据的均值。

(5)  $A_{IC}$ : Akaike information criterion, 赤池信息量。公式如下<sup>[20]</sup>:

$$A_{IC} = -2\log L + 2K \quad (13)$$

$$\log L = \frac{-n}{2} \log \left( \frac{E_{SSE}}{n} \right) \quad (14)$$

式中:  $K$  为模型中的参数个数;  $\log L$  为对数似然值。

SSE、MSE、RMSE 和 AIC 值越小, 表明模型的拟合效果更好。  $R^2$  的正常取值范围为  $[0, 1]$ , 越接近 1, 表明预测数据对原始数据的解释能力越强, 这个模型对数据拟合得也较好。

## 2 结果与分析

### 2.1 渔获量与平均海表面温度

渔获量 1985—1993 年增长较快; 1993—2003 年呈波动状态, 且起伏较大; 2003—2014 年下降较快。SST 1985—1993 年呈波动下降趋势; 1993—2003 年整体呈波动状态, 且尤以 1993—1995、2002—2003 年起伏较大; 2003—2014 年呈波动上升趋势。

渔获量与温度极显著相关 ( $P < 0.01$ ) 且 2003—2014 年呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ )。渔获量整体在 1985—2014 年随温度升高而降低, 随温度降低而升高 (图 1)。

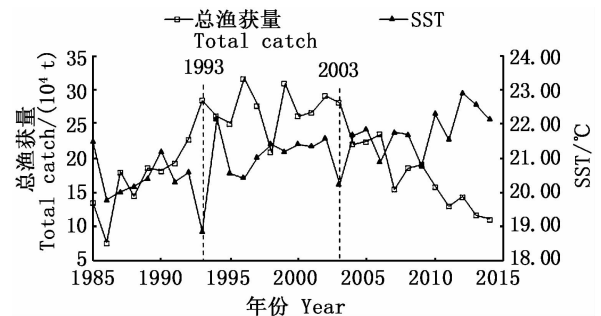


图 1 1985—2014 年日本海太平洋褶柔鱼秋生群的总渔获量及 5—9 月平均海表面温度 (SST)  
Fig. 1 Total catch of the autumn cohort of *T. pacificus* in Japan Sea and the average sea surface temperature (SST) from May to September from 1985 to 2014

2.2 基础的剩余产量模型

经回归计算,得 Schaefer 模型 ( $P < 0.01, R^2 = 0.59$ ) 和 Fox 模型 ( $P < 0.01, R^2 = 0.68$ ) 的参数见表 3。

表 3 1985—2014 年日本海太平洋褶柔鱼秋生群 Schaefer 模型和 Fox 模型的参数

Tab.3 Parameter of Schaefer model and Fox model based on dates of the autumn cohort of *T. pacificus* in Japan Sea from 1985 to 2014

模型 Model	$a$ 或 $m$	$b$ 或 $n$
Schaefer 模型 Schaefer model	3.88	0.16
Fox 模型 Fox model	5.94	0.10

Schaefer 模型和 Fox 模型在 1985—1993 年和 2003—2014 年对观测值的拟合相对较好,在 1993—2003 年的拟合较差。两个模型在 1985—1993 年的预测值呈波动上升,2003—2014 呈波动下降,1993—2003 年波动起伏。两个模型在相对稳定段(1985—1993 年和 2003—2014 年)的预测值整体高于观测值,在波动段(1993—2003 年)的预测值小于观测值且相差较大,Fox 模型整体波动趋于平缓,Schaefer 模型波动相对较大。见图 2。

2.3 不分段分析的基于平均海表面温度 SST 的剩余产量模型

Schaefer 模型和 Fox 模型公式为

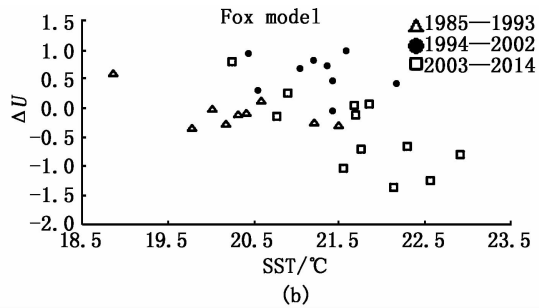
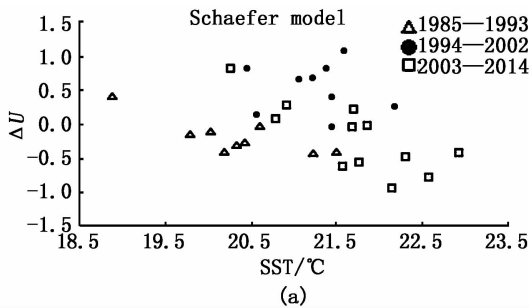


图 3 1985—2014 年基于日本海太平洋褶柔鱼秋生群渔业数据的剩余产量模型的 5—9 月平均海表面温度 (SST) 和  $\Delta U$  关系

Fig.3 Relationship between average sea surface temperature (SST) from May to September and  $\Delta U$  in the surplus yield model based on the fishery data of the autumn cohort of *T. pacificus* in Japan Sea from 1985 to 2014

Schaefer 模型:  $\Delta U_t = -0.18T + 3.80$  ( $P < 0.01, R^2 = 0.09$ )

$$C_{S-SST} = 3.88f_t - 0.16f_t^2 + (-0.18T + 3.80)f_t$$

Fox 模型:  $\Delta U_t = -0.31T + 6.55$  ( $P < 0.05, R^2 = 0.19$ )

$$C_{F-SST} = 5.94e^{-0.10f_t} f_t + (-0.31T + 6.55)f_t$$

$\Delta U$  和 SST 整体呈负线性相关关系 ( $P < 0.01$ ),且分段效果较为明显。见图 3。

不分段的基于 SST 的两个模型在相对稳定段的预测值与观测值较为接近,尤以 2003—2014 年段明显,在相对波动段的拟合相对较差,见图 4。

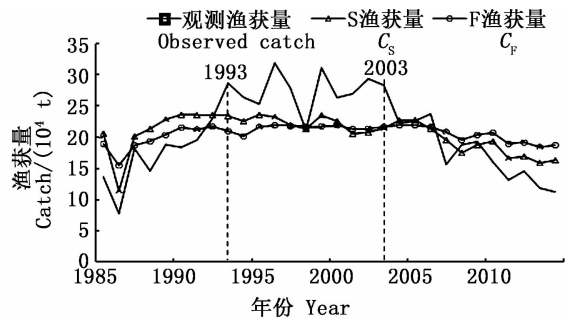


图 2 1985—2014 年基于日本海太平洋褶柔鱼秋生群渔业数据的 Schaefer 和 Fox 模型的预测值与观测值  
Fig.2 The predicted and observed catch of Schaefer and Fox model based on the fishery data of the autumn cohort of *T. pacificus* in Japan Sea from 1985 to 2014

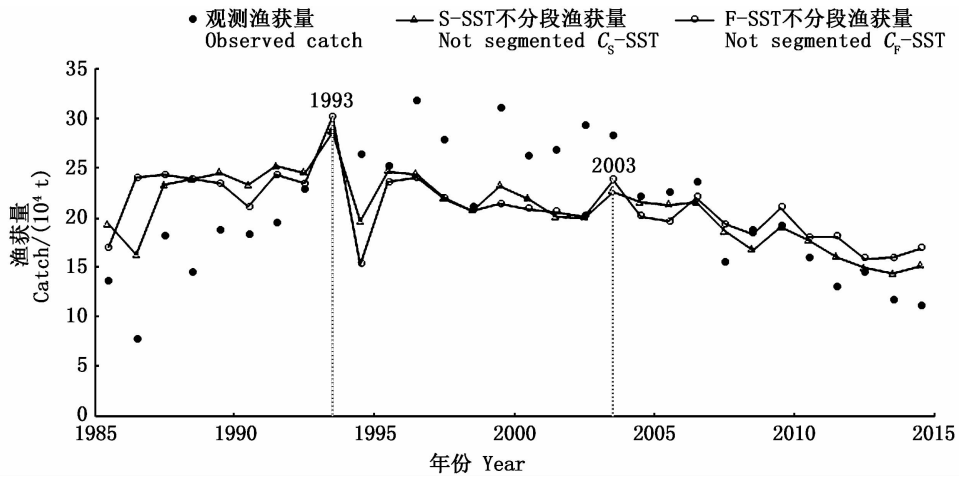


图 4 1985—2014 年基于 5—9 月平均海表面温度 SST 的日本海太平洋褶柔鱼秋生群不分段剩余产量模型的预测值与观测值比较图

Fig.4 Comparison of predicted and observed values of the not segmented surplus yield model of the autumn cohort of *T. pacificus* in Japan Sea based on average sea surface temperature (SST) from May to September from 1985 to 2014

2.4 分段分析的基于平均海表面温度 SST 的剩余产量模型

本文以 1993 和 2003 年为界对 1985—2014

年的情况进行分段分析,分别为 1985—1993 年(相对稳定段)、1994—2002 年(相对波动段)和 2003—2014 年(相对稳定段)。见表 4。

表 4 1985—2014 年基于 5—9 月平海表温 SST 的日本海太平洋褶柔鱼秋生群的 Schaefer 模型和 Fox 模型

Tab.4 Schaefer model and Fox model based on average sea surface temperature SST from May to September of the autumn cohort of *T. pacificus* in Japan Sea from 1985 to 2014

剩余产量模型 Surplus yield model	$C_{SST}/(10^4 t)$
分段基于 SST 的 Schaefer 模型 Segmentation Schaefer Model based on SST	1985—1993 年: $\Delta U_t = -0.27T + 5.40 (R^2 = 0.65)$ $C_{S-SST} = 3.88f_t - 0.16f_t^2 + (-0.27T + 5.40)f_t$
	1994—2002 年: $\Delta U_t = -0.07T + 2.00 (R^2 = 0.01)$ $C_{S-SST} = 3.88f_t - 0.16f_t^2 + (-0.07T + 2.00)f_t$
	2003—2014 年: $\Delta U_t = -0.51T + 10.93 (R^2 = 0.59)$ $C_{S-SST} = 3.88f_t - 0.16f_t^2 + (-0.51T + 10.93)f_t$
分段基于 SST 的 Fox 模型 Segmentation Fox Model based on SST	1985—1993 年: $\Delta U_t = -0.25T + 4.95 (R^2 = 0.42)$ $C_{F-SST} = 5.94e^{-0.10f_t}f_t + (-0.25T + 4.95)f_t$
	1994—2002 年: $\Delta U_t = -0.12T + 3.10 (R^2 = 0.03)$ $C_{F-SST} = 5.94e^{-0.10f_t}f_t + (-0.12T + 3.10)f_t$
	2003—2014 年: $\Delta U_t = -0.65T + 13.68 (R^2 = 0.56)$ $C_{F-SST} = 5.94e^{-0.10f_t}f_t + (-0.65T + 13.68)f_t$

分段基于 SST 的两个模型的预测值跟观测值都较为接近。分段 Schaefer model-SST 在相对稳定段的预测值整体高于观测值;分段 Fox

model-SST 在 1985—1993 预测值整体低于观测值,2007 年后的预测值整体高于观测值;两个模型在相对波动段的拟合相对都不是很好,见图 5。

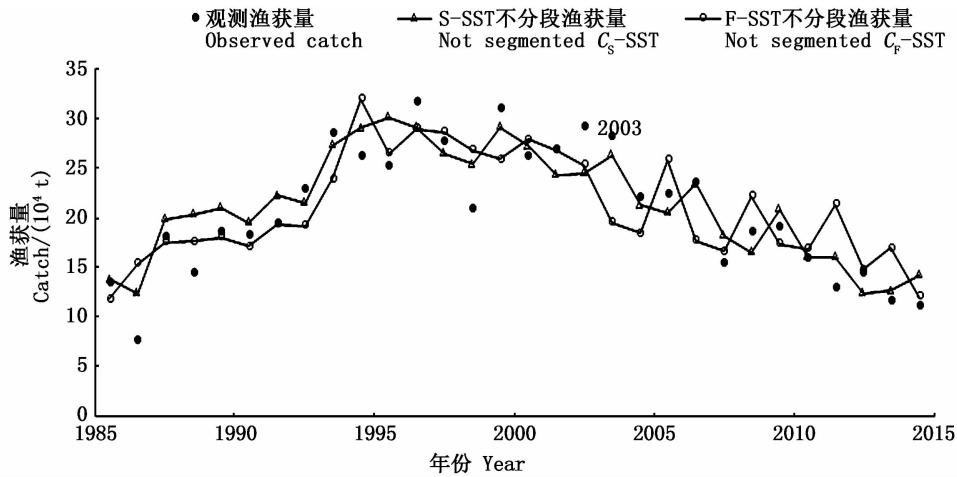


图 5 1985—2014 年基于 5—9 月平均海表面温度 SST 的日本海太平洋褶柔鱼秋生群  
剩余产量模型的预测值与观测值比较图

Fig. 5 Comparison of predicted and observed values of the surplus yield model in the Japan sea the autumn cohort of *T. pacificus* based on average sea surface temperature (SST) from May to September from 1985 to 2014

2.5 模型比较

拟合效果为分段 Schaefer model-SST 最好。不基于 AIC 的分析结果表明拟合效果依次是分段 Foxmodel-SST、Schaefer model、不分段 Schaefer

model-SST、Fox model,最后是不分段的 Foxmodel-SST;基于 AIC 的分析结果表明拟合效果随参数增多而变差,无论参数变量为多少,Schaefer 模型的拟合效果均好于 Fox 模型的拟合效果。见表 5。

表 5 1985—2014 年日本海太平洋褶柔鱼秋生群六种模型误差参数比较  
Tab. 5 Comparison of error parameters of six models of the autumn cohort of *T. pacificus* in Japan Sea from 1985 to 2014

误差参数 Error parameter	Schaefer model	Fox model	不分段 Schaefer model-SST Not segmented Schaefer model-SST	不分段 Fox model-SST Not segmented Fox model-SST	分段 Schaefer model-SST Segmented Schaefer model-SST	分段 Fox model-SST Segmented Fox model-SST
和方差 SSE	650	827	745	1 052	218	477
均方差 MSE	22	28	25	35	7	16
均方根 RMSE	5	5	5	6	3	4
确定系数 R <sup>2</sup>	0.46	0.31	0.38	0.13	0.82	0.60
AIC	44.08	47.20	49.84	54.35	41.83	52.04

3 讨论

3.1 渔获量与平均海表面温度 SST

短生命周期的生物生长与环境密切相关,目前太平洋褶柔鱼的相关环境影响因子涉及温度、盐度、叶绿素浓度等。关于温度的研究基本贯穿其生长发育过程(以日本列岛海域为例):索饵适温(10~17℃)、交配适温(13~18℃)、产卵适温(15~20℃)、渔获适温(10~17℃,尤以12~16℃渔获效果更佳)、胚胎适宜温度(具高温依赖性,12.5℃以下会发育失败)<sup>[7, 21-25]</sup>,胚胎正常发

育适温 14~26℃、胚胎发育最高存活率适温 14.7~22.2℃<sup>[26]</sup>,幼仔适宜温度 17~23℃<sup>[27]</sup>。不同的性别对温度的适应能力也不同,雄性一般在 13℃成熟,雌性在 15℃成熟,性腺的成熟会随着温度的升高而加快<sup>[7,10]</sup>。不同地区不同季节的渔获适温范围不同,例如秋季的九州西北海域在表温为 12~22℃渔获较多,冬季的九州海域、东海北部和中部在表温为 12~22℃的渔获较多<sup>[7]</sup>。

本文渔场研究范围在日本海,主要位于新宫千臣等研究的太平洋褶柔鱼作业渔场的渔场 2、

渔场 4 和小部分的渔场 5<sup>[7]</sup>,位于日本列岛周围海域内,主要渔期在 5—9 月,温度研究范围为 18~23 ℃。渔获量与 SST 呈极显著相关,且尤以 2003—2014 年呈极显著负相关,这与其索饵适温范围为 10~17 ℃相一致并与日本列岛海域渔获适温 10~17 ℃的结论相一致。整体渔获量在 18~23 ℃范围之内会随着温度的升高而降低。

### 3.2 六种模型比较

资源的周期波动主要与环境、种群密度、捕捞等密切相关。环境变化会导致短生命周期生物资源量与渔获量剧烈波动,这一观念目前已被国际普遍认可<sup>[28-29]</sup>。此外,头足类在生态系统中又占据着重要的承上启下作用<sup>[30]</sup>,因而探究头足类资源与环境的关系变得极为重要。目前,关于短生命周期资源评估的研究相对较深的只有衰减模型,而衰减模型本身又存在很多问题,比如未考虑环境因子影响、对自然死亡率相对敏感等<sup>[31]</sup>。因而研究一种更为合理的短生命周期物种资源评估模型已成为未来的一种趋势。与此同时,剩余产量模型在被广泛应用的同时又有着未考虑环境因子的缺点,因而基于环境因子的剩余产量模型不失为未来的一种可行性的资源评估方法。

本文选择 36°N~39°N,130°E~138°E 海域 5—9 月的平均海表面温度 SST 作为环境因子,做出了不基于 SST 的两种剩余产量模型和基于 SST 的 4 种剩余产量模型(分段和不分段),其中分段 Schaefer model-SST 的拟合程度最好。这一结果表明,在研究年份较多的情况下,模型加入环境因子的过程中应该根据研究对象的不同年段的整体情况不同而进行分段分析,这样不仅可以更为贴切的表现数据之间的关系,而且可以提高拟合效果,而未考虑相关情况时不建议将环境因子引入到相关模型中,因为可能会造成较差的拟合效果。这一结果与李纲等<sup>[19]</sup>的观点较为不一致,可能因为研究鱼种不同,也可能因为时间段的设置问题。

此外,未分段且加入 SST 和未加入 SST 的 4 种剩余产量模型在相对稳定段的预测值整体高于观测值,表明剩余产量模型在未加入环境因子或者加入环境因子设置较为不合理的条件下,结果会有偏高的趋势。加入 SST 的 4 种剩余产量模型在 2003—2014 年的拟合程度相对更好。6

种模型对相对波动段的拟合程度相较而言都不是很好,对相对稳定段的拟合程度相对较好,这一现象可能因为:在相对稳定段,不论渔获量处于上升趋势(1985—1993 年)还是下降趋势(2003—2014 年),整体捕捞努力量水平都趋于稳定,也即捕捞对该资源的影响趋于稳定,因而环境的影响相对较明显;而在波动段,捕捞努力量处于不稳定波动增长状态,且 1994—2002 年的资源量也处于快速增长状态<sup>[8]</sup>,观测渔获量值与捕捞努力量和环境之间的关系较难预测,所以导致结果较为不理想。

### 3.3 模型的应用

因 2003—2014 年的渔获量与 SST 之间呈极显著负相关( $P < 0.01$ ),且分段 Schaefer model-SST 的拟合程度最好,所以本文选择 2003—2014 年的分段 Schaefer model-SST 进行计算相应的最大持续产量(maximum sustainable yield, MSY)和最大持续产量对应的捕捞努力量 $f_{MSY}$ ,其结果为

$$C_{MSY} = \frac{(14.81 - 0.51X_{SST})^2}{4 \times 0.16} \quad (1)$$

$$f_{MSY} = \frac{14.81 - 0.51X_{SST}}{2 \times 0.16} \quad (2)$$

式中: $C_{MSY}$ 为最大持续产量值 MSY; $C_{MSY}$ 和 $f_{MSY}$ 会随着 SST 的变化而进行变化,因而可以为相关渔业管理部门调整渔业管理措施提供一定的借鉴。

### 3.4 模型的优点和不足

本研究基于有限数据所建立的模型,较好地描述了日本海太平洋褶柔鱼秋生群相对稳定段(也即捕捞努力量相对稳定段)渔获量、捕捞努力量与 SST 之间的关系。未来在各国状况不会发生较大变化的情况下(也即捕捞努力量不会进行不稳定起伏波动的情况下),2003—2014 年的分段 Schaefer model-SST 可被用于相关预测,从而对于产品市场进行相应调控。

对于太平洋褶柔鱼渔业预测,本文尚未考虑其他环境因素对结果带来的影响,也没有从最大经济效益等方面考虑问题,所建议在渔业模型建立过程中应该根据不同阶段情况进行不同分析,可能会增加相应计算量及复杂程度。虽然模型在假设前提下较为合理地模拟出了渔获量,但限于数据量,未对更多阶段的状况进行分析从而归纳总结出最适宜的模型,因此,期望在后续的数据更新中能进一步突破相关内容。

## 参考文献:

- [1] KIM J J, STOCKHAUSEN W, KIM S, et al. Understanding interannual variability in the distribution of, and transport processes affecting, the early life stages of *Todarodes pacificus* using behavioral-hydrodynamic modeling approaches [J]. *Oceanography*, 2015, 138: 571-583.
- [2] 郝振林, 唐雪娇, 宋坚, 等. 太平洋褶柔鱼胆固醇与牛磺酸含量分析[J]. *河北渔业*, 2013(7): 10-11.
- HAO Z L, TANG X J, SONG J, et al. Analysis of cholesterol and taurine content in *Todarodes pacificus* [J]. *Hebei Fisheries*, 2013(7): 10-11.
- [3] 曲映红, 陈新军, 刘志东, 等. 太平洋西北海域柔鱼理化特性的初步分析[J]. *食品工业*, 2014, 35(10): 191-193.
- QU Y H, CHEN X J, LIU Z D, et al. Primary analysis on physical and chemical properties of *Ommastrephes bartramii* in the northwestern pacific ocean [J]. *The Food Industry*, 2014, 35(10): 191-193.
- [4] 杨林林, 姜亚洲, 程家骅. 东海太平洋褶柔鱼生殖群体的空间分布及其与环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2010, 30(7): 1825-1833.
- YANG L L, JIANG Y Z, CHENG J H. Spatial distribution of mature stock of Pacific squid, *Todarodes pacificus* and its relation to environmental factors in the East China Sea [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1825-1833.
- [5] OKUTANI T, WATANABE T. Stock assessment by larval surveys of the winter population of *Todarodes pacificus* steenstrup (Cephalopoda: Ommastrephidae), with a review of early works [J]. *Biological Oceanography*, 1983, 2(2/4): 401-431.
- [6] MURATA M. Population assessment, management and fishery forecasting for the Japanese common squid, *Todarodes pacificus* [M]//CADDY JF. *Marine Invertebrate Fisheries: Their Assessment and Management*. New York, USA: John Wiley and Sons, 1989: 613-636.
- [7] 王尧耕, 陈新军. 世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业 [M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 160-188.
- WANG Y G, CHEN X J. World oceanic economic squid resources and fisheries [M]. Beijing: China Ocean Press, 2005: 160-188.
- [8] 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: 北海道区水産研究所, 2017.
- KAGA T, YAMASHITA N, OKAMOTO S. Evaluation of the resources of the autumn cohort of *Todarodes pacificus* in 2017 [R]. Hokkaido: Hokkaido Fisheries Research Institute, 2017.
- [9] KING M. *Fisheries biology, assessment and management* [M]. Oxford, UK: Fishing News Books Press, 1995: 192-197.
- [10] 董正之. 世界大洋经济头足类生物学 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1991: 100-118.
- DONG Z Z. *Biology of the economic species of cephalopods in the world oceans* [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1991: 100-118.
- [11] SAKURAI Y, KIYOFUJI H, SAITOH S, et al. Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, 57(1): 24-30.
- [12] 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.
- [13] BAKUN A, CSIRKE J. Environmental processes and recruitment variability [M]//RODHOUSE P G, DAWE E G, O' DORR K. *Squid Recruitment Dynamics. The Genus Illex as a Model, The Commercial Illex Species and Influences on Variability*. Rome: FAO, 1998: 273.
- [14] ICHII T, MAHAPATRA K, SAKAI M, et al. Life history of the neon flying squid; effect of the oceanographic regime in the North Pacific Ocean [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2009, 378: 1-11.
- [15] CADDY J F. The cephalopods: factors relevant to their population dynamics and to the assessment and management of stocks [M]//CADDY J F. *Advances in Assessment of World Cephalopod Resources*. Rome: FAO, 1983: 416-449.
- [16] ROWELL T W, YOUNG J H, POULARD J C, et al. Changes in the distribution and biological characteristics of *Illex illecebrosus* on the Scotian shelf, 1980-83 [J]. *NAFO Scientific Council Studies*, 1985, 9: 11-26.
- [17] PIERCE G J, BOYLE P R. Empirical modelling of interannual trends in abundance of squid (*Loligo forbesi*) in Scottish waters [J]. *Fisheries Research*, 2003, 59(3): 305-326.
- [18] 陈新军, 曹杰, 田思泉, 等. 鱿鱼资源评估与管理研究现状 [J]. *上海海洋大学学报*, 2009, 18(4): 495-501.
- CHEN X J, CAO J, TIAN S Q, et al. Review on stock assessment and management of the squids [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, 18(4): 495-501.
- [19] 李纲, 郑晓琼, 朱国平, 等. 基于水温因子的东、黄海鲈鱼剩余产量模型建立 [J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(1): 108-113.
- LI G, ZHENG X Q, ZHU G P, et al. Establishment of surplus production model for chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and Yellow Sea based on the sea surface temperature [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(1): 108-113.
- [20] BURNHAM K P, ANDERSON D R, HUYVAERT K P. AIC model selection and multimodel inference in behavioral



- ecology: some background, observations, and comparisons [J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2011, 65(1): 23-35.
- [21] BOYLEP R. Cephalopod life cycles[M]. London: Academic Press, 1987: 5-31.
- [22] O'DOR R K, BALCH N, FOY E A, et al. Embryonic development of the squid, *Illex illecebrosus*, and effect of temperature on development rates[J]. Journal of Northwest Atlantic Fisheries Science, 1982, 3: 41-45.
- [23] WATANABE K, SAKURAI Y, SEGAWA S, et al. Development of the ommastrephid squid *Todarode pacificus* from fertilized egg to the rhynchoteuthion paralarva [J]. American Malacological Bulletin, 1996, 13: 73-88.
- [24] 山本潤, 宮長幸, 福井信一, 等. スルメイカふ化幼生の遊泳行動に対する水温の影響[J]. 水産海洋研究, 2012, 76(1): 18-23.
- YAMAMOTO J, MIYANAGA S, FUKUI S, et al. Effect of temperature on swimming behavior of paralarvae of the Japanese common squid *Todarodes pacificus* [J]. Fisheries Ocean Research, 2012, 76(1): 18-23.
- [25] 董正之. 中国动物志软体动物门(头足纲)[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 81-84.
- DONG Z Z. Chinese zoology mollusc (Cephalopoda) [M]. Beijing: Science Press, 1988: 81-84.
- [26] SAKURAI Y, 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.
- [27] BOWER J R. A biological study egg masses and paralarvae of the squid *Todarodes pacificus* [D]. Hakodate, Japan: Hokkaido University, 1997.
- [28] YATSU A, WATANABE T, MORI J, et al. Interannual variability in stock abundance of the neon flying squid, *Ommastrephes bartramii*, in the north pacific ocean during 1979-1998: impact of driftnet fishing and oceanographic conditions[J]. Fisheries Oceanography, 2000, 9(2): 163-170.
- [29] RODHOUSEP G. Managing and forecasting squid fisheries in variable environments [J]. Fisheries Research, 2001, 54(1): 3-8.
- [30] AGNEW D J, BEDDINGTON J R, HILL S L. The potential use of environmental information to manage squid stocks[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2002, 59(12): 1851-1857.
- [31] SCHNUTEJ. A general theory for analysis of catch and effort data [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1985, 42(3): 414-429.

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

WU Mengyao<sup>1</sup>, TIAN Siqun<sup>1,2,3,4</sup>

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

**Abstract:** Based on the average sea surface temperature (SST) from May to September, the Schaefer model and the Fox model were used to estimate the catch for the autumn cohort of *Todarodes pacificus*. It is assumed that the  $\Delta U$  (residuals of catch per unit effort between the observed and predicted values) calculated from the traditional surplus yield models were correlated with SST, and the SST-based surplus yield models were established. According to the overall development of the autumn cohort of *T. pacificus* fishery since the 1960s, the total catches from 1985 to 2014 were analyzed separately i. e. from 1985 to 1993, from 1994 to 2002, and from 2003 to 2014. According to with/without SST and whether to segment with SST, three Schaefer models and three Fox models were constructed respectively. Results indicated that the segmented Schaefer model-SST was the best, there was a negative linear correlation between  $\Delta U$  and SST ( $P < 0.05$ ), and the catch decreased with the increase of temperature from 18 to 23 °C. It is suggested that: the model establishment process should be segmented according to the different time periods, which can improve the model fitting; the segmental Schaefer model-SST can be used to evaluate the future catch to provide some reference for related resource management when calculating the maximum sustainable yield.

**Key words:** *Todarodes pacificus*; surplus yield model; CPUE; sea surface temperature (SST); stock assessment