

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, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.12.017

Xie En'ge, Chen Xinjun, Wang Jintao, et al. Study on residual yield model of winter fishes of *Todarodes pacificus* based on water temperature factors[J]. Haiyang Xuebao, 2019, 41(12): 71–77, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.12.017

基于水温因子的太平洋褶柔鱼冬生群 剩余产量模型研究

谢恩阁^{1,6}, 陈新军^{1,2,3,4,5}, 汪金涛^{1,2,3,4,5*}, 雷林^{1,2,3,4,5}, 吴洽儿^{1,6}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 5. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306; 6. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300)

摘要: 水温是影响太平洋褶柔鱼冬生群生长、繁殖、补充的重要因素之一。根据 2004–2015 年太平洋褶柔鱼冬生群渔业数据和其栖息地环境数据, 包括 1 月产卵场 (28°~35°N, 125°~130°E) 和 9 月索饵场 (31°~38°N, 128°~132°E) 海表面温度 (Sea Surface Temperature, SST), 建立了基于 SST 因子的太平洋褶柔鱼冬生群体的剩余产量模型, 分析 SST 对太平洋褶柔鱼冬生群资源量的影响, 对该模型的各项指标进行验证, 发现该模型的预测精度较高。结果表明: 太平洋褶柔鱼冬生群当年的资源量及渔获量主要受索饵场 SST 影响, 而产卵场 SST 对其当年渔获量影响不显著。由此建议在今后对产卵场 SST 因子是否对次年的渔获量及资源量产生影响进行研究, 同时渔业管理部门也应根据每年海洋环境状况确定其最大可持续产量, 并实时调整管理方案。

关键词: 太平洋褶柔鱼冬生群; 海表面温度; 剩余产量模型; 产卵场; 索饵场

中图分类号: S931.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2019)12-0071-07

1 引言

太平洋褶柔鱼 (*Todarodes pacificus*) 是世界上重要的大洋性经济柔鱼, 据联合国粮食及农业组织 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) 统计显示, 其产量近 10 多年总体保持在 4×10^5 t 左右, 是当今世界最为重要的已开发头足类资源之一, 具有较大的经济价值^[1-2]。太平洋褶柔鱼作为典型的温带大洋性头足类^[3], 为一年生暖温性长距离洄游种类, 有夏生群、秋生群和冬生群 3 个季节性产卵群体^[4]。目前主要捕捞群体为秋生群和冬生群, 其中冬生群体分布范围最广, 主要分布在西太平洋

21°~50°N 海域, 其产卵场位于东海北部、九州西部海域, 产卵季节为每年的 12 月至翌年 3 月, 该群体会在每年春、夏季沿日本列岛的两侧 (主要沿着日本靠近太平洋沿岸) 北上索饵, 秋、冬季从日本海南下洄游产卵^[5-11]。

有研究表明太平洋褶柔鱼资源量与海洋环境关系密切, 并可以用产卵场的环境来预测其资源量^[12-16]。唐峰华等^[17]研究发现, 渔场中心每年稍有差异, 且渔场的海表温度 (Sea Surface Temperature, SST) 为 16~18℃ 时最适叶绿素 *a* 浓度为 0.37~0.45 mg/m³。李建生和严利平^[18]研究得出, 东海太平洋褶柔鱼属于暖水性外海高温高盐种, 与 SST 等关系密切。杨林林

收稿日期: 2018-05-22; 修订日期: 2019-01-28。

基金项目: 自然资源卫星遥感业务支持服务体系项目 (201901004); 国家自然科学基金青年基金 (NFSC31702343, NSFC41876141)。

作者简介: 谢恩阁 (1993—), 女, 河南省信阳市人, 主要从事渔业资源研究。E-mail: 228638492@qq.com

* 通信作者: 汪金涛, 博士, 渔业资源学。E-mail: jtwang@shou.edu.cn

等^[19]认为东海太平洋褶柔鱼生殖群体的时空分布具有广范围和多季度的特点。胡飞飞和陈新军^[20]利用 SST 等环境因子建立了 BP 神经网络,对太平洋褶柔鱼秋生群的资源补充量进行了研究,发现产卵场 SST、叶绿素 *a* 浓度是影响太平洋褶柔鱼资源补充量的关键因子。但目前关于太平洋褶柔鱼冬生群资源丰度预测较少,尤其是产卵场和索饵场 SST 对太平洋褶柔鱼冬生群资源丰度的影响几乎没有研究。为此,本文假设产卵场和索饵场 SST 对太平洋褶柔鱼冬生群资源量产生影响,根据 2004—2015 年渔获量、资源丰度指数及 SST 数据,通过相关性分析,发现 1 月份产卵场(28°~35°N, 125°~130°E)海域和 9 月份索饵场(31°~38°N, 128°~132°E)海域 SST 与历年单位努力渔获量(Catch Per Unit Effort, CPUE)呈显著相关,因此将 1 月产卵场和 9 月索饵场关键海域的平均 SST 因子作为影响资源丰度的环境指标,建立基于 SST 的剩余产量模型,对假设进行验证,掌握太平洋褶柔鱼冬生群资源量变动规律,为太平洋褶柔鱼的渔业生产和管理提供参考。

2 材料与方法

2.1 数据来源

本研究主要是探讨太平洋褶柔鱼冬生群体资源量与 SST 之间的关系,渔业 CPUE 数据(表 1)来源于

加贺敏树等^[10],已通过广义加性模型进行了标准化处理,时间为 2004—2015 年。SST 数据来自 IRI/LDEO 气候数据资料库(<http://iridl.ldeo.columbia.edu/>),时间范围为 2004—2015 年,空间范围为 28°~45°N, 125°~145°E,时间分辨率为月,空间分辨率为 1°×1°。

2.2 关键因子选取

根据以往研究^[11]显示,太平洋褶柔鱼冬生群体产卵场主要分布在 28°~35°N, 125°~130°E 海域,产卵月份为每年的 12 月至翌年 3 月;索饵场为 28°~45°N, 125°~145°E,索饵期为 6—11 月。通过对 2004—2015 年太平洋褶柔鱼冬生群体产卵场与索饵场范围内每个点每月的 SST 时间序列值和 CPUE 序列值做相关性分析,选出与 CPUE 显著相关且相关系数大于 0.5 的集中分布点的区域和月份,作为影响太平洋褶柔鱼冬生群体资源量变动的因子^[21]。

2.3 基于环境因子的剩余产量模型

由 Schaefer 模型可知,CPUE 和捕捞努力量之间的线性关系为

$$\frac{Y_t}{f_t} = a - bf_t, \quad (1)$$

$$U_t = \frac{Y_t}{f_t}, \quad (2)$$

式中, Y_t 为 t 年的年渔获量; f_t 为年标准捕捞努力量; U_t 为 t 年的标准 CPUE; a 、 b 为参数。

假设渔获量观测值 Y 和预测值 \hat{Y} 的差与标准捕捞

表 1 2004—2015 年太平洋褶柔鱼冬生群渔业资源统计数据(渔获量和捕捞努力量)及 1 月产卵场和 9 月索饵场的平均 SST

Tab. 1 Summary of catch effort and CPUE data of *Todarodes pacificus* winter fish and monthly SST of January and September from 2004 to 2015

年份	渔获量/万t			CPUE/t·网次 ⁻¹	捕捞努力量/网次	1月SST/°C	9月SST/°C
	日本	韩国	总计				
2004	142 837	70 773	213 610	1.18	181 025	18.53	25.58
2005	117 196	68 174	185 370	1.07	173 242	18.82	25.52
2006	89 025	77 021	166 046	0.83	200 055	17.69	25.31
2007	188 312	78 287	266 599	1.68	158 689	18.67	26.83
2008	138 713	66 756	205 468	1.59	129 225	18.99	26.24
2009	139 825	73 301	213 126	1.60	133 203	18.49	25.55
2010	145 301	75 922	221 223	1.23	179 856	18.23	26.95
2011	185 849	103 703	289 552	1.55	186 807	18.13	26.09
2012	110 869	71 145	182 014	1.24	146 785	18.52	25.50
2013	140 011	87 761	227 772	1.23	185 180	17.83	26.55
2014	134 218	82 763	216 981	1.15	188 679	18.21	25.78
2015	96 894	86 451	183 344	0.81	226 350	17.74	24.74

努力量的比值, 即 CPUE 的年间波动 Δu_t (CPUE 残差的观测值), 是由太平洋褶柔鱼冬生群产卵场和索饵场的 SST 变化引起的。并尝试建立相关模型:

$$\Delta u_t = G(T_t) + \eta, \quad (3)$$

式中, $G(T_t)$ 表示由 t 年产卵场和索饵场 SST 导致的 CPUE 波动, T 表示 SST, η 为常数。根据 CPUE 残差与 SST 的散点图, 确定式(3)的具体形式, 并检验其显著性。由式(1)、式(2)和式(3), 可得到渔获量变动与 SST 关系模型:

$$\hat{Y}_t = Y_t + \hat{\Delta u}_t f_t = a f_t - b f_t^2 + [G(T_t) + \eta] f_t, \quad (4)$$

式中, $\hat{\Delta u}_t$ 指由式(3)计算得到的 Δu_t 的预测值。

3 结果

3.1 相关性分析及关键区域选择

通过 2.2 节中关键因子的选取, 发现与历年 CPUE 相关系数最大, 最显著的 SST 点主要集中分布在 1 月海域和 9 月海域 (表 2), 2 月和 10 月有部分海域显著, 但海域面积较小, 本文暂不考虑。因此分别选取 1 月海域, 9 月海域作为本文的研究区域, 该区域的平均 SST 作为影响太平洋褶柔鱼资源量变动的产卵场和索饵场环境指标, 如图 1。

表 2 关键海区 SST 与 CPUE 相关系数与显著分析的结果

Tab. 2 Correlation coefficient and significance analysis results between SST at the key sea area and the CPUE

位置	月份	相关系数 r	显著性 p
28°~35°N, 125°~130°E	1月	0.603	0.038
28.5°~30.5°N, 127.5°~128.5°E	2月	0.576	0.048
31°~38°N, 128°~132°E	9月	0.609	0.036
33.5°~34.5°N, 130.5°~131.5°E	10月	0.542	0.045

3.2 资源量变动

2004–2015 年 CPUE 整体波动幅度剧烈, 最高值为 2007 年 1.68 t/网次, 2015 年达到最低为 0.81 t/网次。在 2006–2007 年期间, CPUE 呈大幅度上升; 2007 年以后总体呈下降趋势, 从 2007 年的 1.68 t/网次下降至 2015 年的 0.81 t/网次 (图 2)。产卵场关键区域 1 月 SST 的差异不超过 2°C, 最高为 2008 年的 18.99°C, 最低为 2006 年 17.69°C, SST 总体变动与 CPUE 的变化呈显著相关性 ($r=0.603$)。同样在 2004–2015 年期间索饵场关键区域 9 月 SST 总体差异不超过 2.5°C, 2010 年达到最高为 26.95°C, 2015 年最低为 24.74°C, 并且与 CPUE 的变化呈现显著相关 ($r=0.609$) (图 2)。

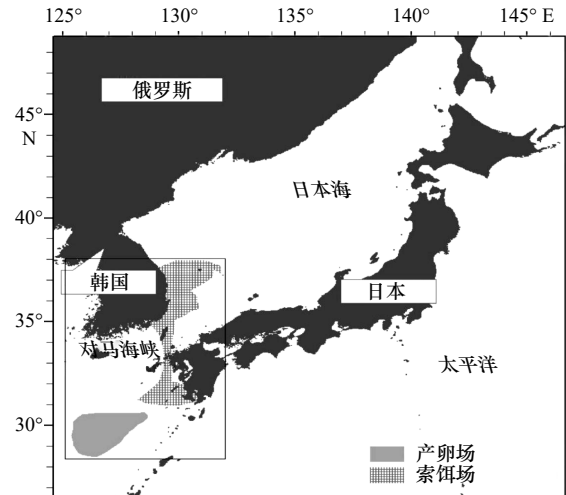


图 1 太平洋褶柔鱼冬生群产卵场和索饵场关键区域分布

Fig. 1 Distribution of key areas in the spawning and feeding grounds of the winter fishes of the *Todarodes pacificus*

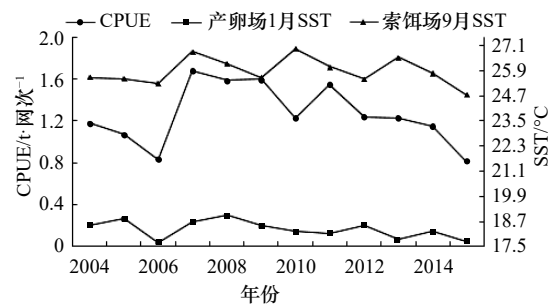


图 2 2004–2015 年太平洋褶柔鱼冬生群渔业渔获量及 1 月产卵场和 9 月索饵场的平均 SST

Fig. 2 Annual catch of the winter fishes of the *Todarodes pacificus* and monthly SST of January spawning ground and September feeding ground from 2004 to 2015

3.3 基于水温因子的剩余产量模型建立

通过运用 DPS 软件估算的 Schaefer 模型参数 a 、 b 的值分别为 2.634 12 和 0.000 007 874。则 CPUE 与捕捞努力量的关系如图 3。

假设 CPUE 年间波动受到产卵场与索饵场 SST 的影响, 即 CPUE 残差与产卵场和索饵场 SST 有关, 分别建立剩余产量模型。

(1) 基于产卵场 SST 的剩余产量模型。即只考虑产卵场 SST 因子, 加入 CPUE 的年间波动, 图 4 为 CPUE 残差与 1 月海域平均 SST 的散点图。进一步判断 CPUE 残差与 SST 是否呈线性关系, 通过相关线性分析可得到斜率和截距分别为 0.000 630 7 和 -0.011 55, 即方程数学表达式为

$$\Delta u_t = -0.011 55 + 0.000 630 7 T_t, \quad (5)$$

根据图 4 和公式(5)中的斜率为 0.000 630 7 与

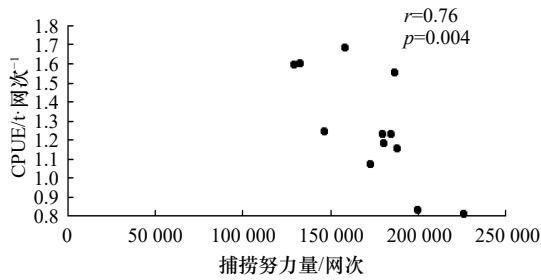


图3 CPUE与捕捞努力量的关系

Fig. 3 Scatter plots of CPUE and fishing effort

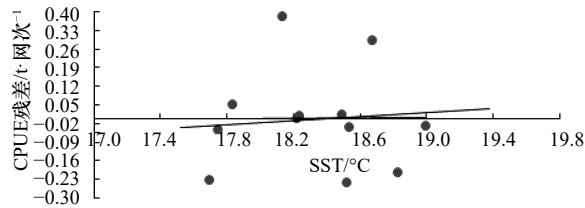


图4 CPUE残差与1月产卵场平均SST关系的散点图和拟合曲线

Fig. 4 Scatter plot and fitted quadratic curve of residual of CPUE against monthly SST of spawning field in January

0 无明显差异, 并经过皮尔逊相关性检验得出 $r=0.001$, $p=0.997$ 即可判断 SST 与 CPUE 残差不存在显著的线性关系, 与本文模型建立的假设条件不符。因此, 本文暂先不考虑建立基于产卵场 SST 的剩余产量模型。

(2) 基于索饵场环境因子的剩余产量模型。即只考虑索饵场 SST 因子, 加入 CPUE 的年间波动, 图 5 为 CPUE 残差与 9 月海域的平均 SST 的散点图。同样通过对散点图的观察, 二者呈现一定的线性关系, 通过相关线性分析可得到斜率和截距分为 0.156 2 和 -4.044 13, 通过皮尔逊相关性检验得出 $r=0.545$, $p=0.027$ 即方程数学表达式为

$$\Delta u_t = -4.044 13 + 0.156 2T_2. \quad (6)$$

令 $\Delta u_t = 0$, 可得到 SST 为 25.89°C, 当索饵场 SST 高于 25.89°C, CPUE 残差大于 0; SST 低于 25.89°C,

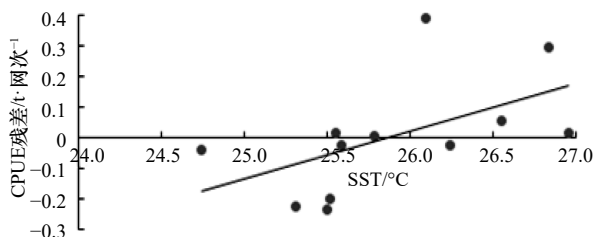


图5 CPUE残差与9月索饵场平均SST关系的散点图和拟合曲线

Fig. 5 Scatter plot and ground quadratic curve of residual of CPUE against monthly SST of feeding field in September

CPUE 残差小于 0。因此 Schaefer 模型的数学表达式为

$$\hat{Y}_t = -1.410 01f_t - 0.000 007 874f_t^2 + 0.156 2T_2f_t. \quad (7)$$

由该模型预测的太平洋褶柔鱼冬生群体渔获量与观测渔获量如图 6 所示。

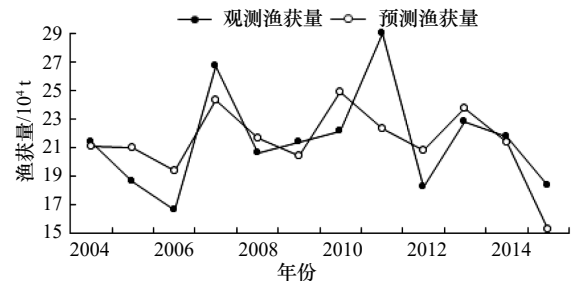


图6 太平洋褶柔鱼冬生群渔业渔获量的观测值与预测值

Fig. 6 Observed and predicted annual catches of the winter fishes of *Todarodes pacificus*

3.4 模型验证

利用 2004–2015 年的渔业数据和索饵场 SST 数据建立太平洋褶柔鱼冬生群剩余产量模型, 通过该模型对 2004–2015 年的渔获量进行预测, 将预测值与观测值进行比较, 判断其相对误差。由于相对误差并非判断模型的最优指标, 于是将利用该模型计算的预测值与观测值进行相关性分析, 并检验其显著性(表 3)。

表3 基于索饵场 SST 因子的太平洋褶柔鱼冬生群剩余产量模型的验证结果

Tab. 3 The verification result of the surplus production model of the winter fishes of *Todarodes pacificus* based on the SST factor of the feeding ground

相对误差平均值/%	相关系数 r	显著性 p
10.17	0.651	0.029

4 分析与讨论

4.1 基于环境因子的渔获量变动模型

本研究假设产卵场和索饵场 SST 是导致太平洋褶柔鱼冬生群体 CPUE 产生年间波动的环境因子, 通过相关性分析选取 1 月产卵场和 9 月索饵场的 SST 为特征指标, 捕捞努力量为常数, 进一步建立 CPUE 的年间波动与产卵场和索饵场 SST 因子的线性关系。发现产卵场 SST 与 CPUE 残差不存在显著的线性关系, 与本文模型建立的假设条件不符。因此, 本文暂先不考虑建立基于产卵场 SST 的剩余产量模型; 索饵场 SST 与 CPUE 的年间波动存在显著的线性关系(图 5, 公式(6)), 建立了基于索饵场 SST 的剩余产

量模型, 并对该模型进行验证, 发现该模型的预测效果良好(表3)。

通过对本文的研究结果进行分析, 发现本文研究结果与以往的研究结果存在一定的差异。通常认为, 太平洋褶柔鱼冬生群作为一种寿命较短的中上层头足类, 产卵场和索饵场 SST 是影响其资源量的重要环境因子^[8], 如唐峰华等^[17]等研究发现在黑潮暖流和对马暖流所控制的水域水温较高, 其资源数量相对较大; 方舟和陈新军^[11]也发现东海外海也是太平洋褶柔鱼冬生群体的越冬场和产卵场, 冬季该物种在外海深水海域进行越冬产卵; 在春季随着水温上升, 进行向北索饵。由此可见 SST 对太平洋褶柔鱼冬生群体产卵、索饵等整个生活史过程都具有十分重要的影响, 进而对资源的补充量产生较大的影响。而本文研究结果则只显示了索饵场 SST 对太平洋褶柔鱼冬生群体渔获量具有较为显著的影响, 而产卵场 SST 对其渔获量没有明显作用, 分析其原因可能有以下几点: (1) 产卵场 SST 对太平洋褶柔鱼冬生群体渔获量没什么显著性影响, 可能和数据序列长短有关, 通常随着收集数据越来越多, 显著性可能增强。(2) 适宜的产卵场温度有助于产卵, 提高卵的密度。但是还有许多其他相关因素, 比如开口饵料不足、溶解氧浓度过高过低等都会造成卵的成活率下降, 进而对其每年的渔获量产生影响。(3) 通过相关研究表明^[7-8], 太平洋褶柔鱼繁殖后的亲体损耗大, 濒临死亡, 缺乏长距离的迁移能力。对该群体的渔业实际情况进行调查, 发现捕捞的太平洋褶柔鱼主要为上一年的生殖群体, 只包含极少数的未产卵的当年生幼体。由此可见, 对于一年生的太平洋褶柔鱼冬生群体, 其产卵场的温度可能更多的影响其次年的渔获量和资源量。(4) 索饵场 SST

对其渔获量产生较大影响, 主要是由于索饵场的鱼群年龄体型比较大, 相对比较成熟, 对生存环境具有较大的主动趋向性, 选择有利于自身觅食生长的温度环境, 所以在适宜温度的索饵场范围内, 太平洋褶柔鱼冬生群死亡率相对较低, 所以每年的渔获量总体上保持比较稳定。综合这几点原因, 我们可以发现, 索饵场 SST 因子对该群体的每年的资源量及渔获量影响较大。此外结合表3的指标数据, 发现基于索饵场 SST 因子的太平洋褶柔鱼冬生群体剩余产量模型的精度比较高, 通过该模型预测的每年渔获量可信度较高。

4.2 模型优点与不足

本文建立的渔获量变动模型与传统 Schaefer 模型的不同之处在于, 考虑了环境因素, 即索饵场 SST 对资源量及渔获量的影响。而本研究建立的模型目的是分析索饵场 SST 对 CPUE 波动的影响, 间接反映了索饵场的 SST 对太平洋褶柔鱼补充量影响, 所以本研究建立基于环境因子的剩余产量模型在一定程度上是可行的。但本文研究也存在一定的不足: (1) 本文数据序列相对较短, 可能导致产卵场 SST 因子对其 CPUE 变动的的影响不显著; (2) 关于产卵场 SST 因子是否对该群体次年渔获量有较大的影响并没有进行深入研究; (3) 依据前人研究发现 CPUE 的变化是各种因素相互作用的结果, 气候变化^[13]、饵料、盐度、海流等环境因素也会影响到其资源丰度^[20, 22]。因此, 太平洋褶柔鱼资源丰度的预测是一项非常复杂工作, 在今后的研究中, 除了对产卵场 SST 因子是否对该群体次年渔获量有较大的影响进行深入研究之外, 也要把更多的环境因子考虑加入到模型中, 结合物理海洋学等学科, 开展个体生态模型的研究, 为太平洋褶柔鱼冬生群资源的管理和预测提供科学依据。

参考文献:

- [1] 张硕, 李莉, 陈新军. 基于海表温因子的太平洋褶柔鱼冬生群资源丰度预测模型比较[J]. 水产学报, 2018, 42(5): 704-710.
Zhang Shuo, Li Li, Chen Xinjun. A comparative study on forecasting model of the stock abundance index for the winter-spawning cohort of *Todarodes pacificus* in the Pacific Ocean based on the factor of SST[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(5): 704-710.
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Statistics Database[DB/OL]. ()[2018-03-12]. Rome: FAO. <http://faostat3.fao.org/>
- [3] 陈新军, 刘必林, 王尧耕. 世界头足类[M]. 北京: 海洋出版社, 2009.
Chen Xinjun, Liu Bilin, Wang Yaogeng. World Cephalopods[M]. Beijing: China Ocean Press, 2009.
- [4] 中国海洋渔业资源编写组. 中国海洋渔业资源[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990: 127-128.
China Marine Fisheries Resources Compilation Group. Marine Fishery Resources of China[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1990: 127-128.
- [5] Murata M. Population assessment, management and fishery forecasting for the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*[C]//Caddy J F. Marine Invertebrate Fisheries: Their Assessment and Management. New York: Wiley, 1989: 613-636.
- [6] 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.
- [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.

- Wang Yaogeng, Chen Xinjun. World Oceanic Economic Soft Fish Resources and Their Fisheries[M]. Beijing: China Ocean Press, 2005.
- [8] 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.
Dong Zhengzhi. The World's Oceanic Economy Cephalopod Biology[M]. Ji'nan: Shandong Science and Technology Press, 1991.
- [9] 董正之. 黄海太平洋褶柔鱼资源现状与开发[J]. 海洋科学, 1996(6): 34-38.
Dong Zhengzhi. On the present status and exploratory problems of resource of *Todarodes pacificus* in the Yellow Sea[J]. Marine Sciences, 1996(6): 34-38.
- [10] 加賀敏樹, 山下紀生, 岡本俊, 等. 太平洋褶柔冬生群体的资源评估[R]. 北海道水产研究所, 中央水产研究所, 日本海水产研究所, 西海水产研究所, 2016: 663-669.
Minshu K, Katsuyuki Y, Jun O, et al. Resource assessment of the Pacific Pleistocene group[R]. Hokkaido Fisheries Research Institute, Central Fisheries Research Institute, Japan Sea Fisheries Research Institute, West Sea Fisheries Research Institute, 2016: 663-669.
- [11] 方舟, 陈新军. 太平洋褶柔鱼渔业资源及渔场学研究进展[J]. 海洋渔业, 2018, 40(1): 102-116.
Fang Zhou, Chen Xinjun. Review on fishery of Japanese flying squid *Todarodes pacificus*[J]. Marine Fisheries, 2018, 40(1): 102-116.
- [12] Rosa A L, Yamamoto J, Sakurai Y. Effects of environmental variability on the spawning areas, catch, and recruitment of the Japanese common squid, *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae), from the 1970s to the 2000s[J]. ICES Journal of Marine Science, 2011, 68(6): 1114-1121.
- [13] Sakurai Y, Kiyofuji H, Saitoh S 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] Ackman R G, Tocher C S, McLachlan J. Marine phytoplankter fatty acids[J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1968, 25(8): 1603-1620.
- [15] Leporati S C, Pecl G T, Semmens J M. Cephalopod hatchling growth: the effects of initial size and seasonal temperatures[J]. Marine Biology, 2007, 151(4): 1375-1383.
- [16] Forsythe J W. Accounting for the effect of temperature on squid growth in nature: from hypothesis to practice[J]. Marine and Freshwater Research, 2004, 55(4): 331-339.
- [17] 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 Fenghua, Shi Yunrong, Zhu Jinxin, 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.
- [18] 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 Jiansheng, Yan Liping. Quantity distribution of *Todarodes pacificus* and its relation with environment in the East China Sea[J]. Marine Fisheries, 2004, 26(3): 193-198.
- [19] 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 Linlin, Jiang Yazhou, Cheng Jiahua. 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.
- [20] 胡飞飞, 陈新军. 太平洋褶柔鱼秋生群资源补充量预报模型研究[J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35(6): 64-69.
Hu Feifei, Chen Xinjun. Study on forecasting model of recruitment for the autumn-spawning group of *Todarodes pacificus*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2015, 35(6): 64-69.
- [21] 易炜, 陈新军, 余为. 基于环境因子的西北太平洋秋刀鱼剩余产量模型建立[J]. 广东海洋大学学报, 2017, 37(4): 55-60.
Yi Wei, Chen Xinjun, Yu Wei. Surplus production model for *Cololabis saira* in the Northwest Pacific Ocean based on the environmental factors[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2017, 37(4): 55-60.
- [22] 张寒野, 胡芬. 冬季东海太平洋褶柔鱼的空间异质性特征[J]. 生态学杂志, 2005, 24(11): 1299-1302.
Zhang Hanye, Hu Fen. Spatial heterogeneity of *Todarodes pacificus* in East China Sea in winter[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(11): 1299-1302.

Study on residual yield model of winter fishes of *Todarodes pacificus* based on water temperature factors

Xie En'ge^{1,6}, Chen Xinjun^{1,2,3,4,5}, Wang Jintao^{1,2,3,4,5}, Lei Lin^{1,2,3,4,5}, Wu Qiaer^{1,6}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 5. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 6. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Water temperature is one of the important factors affecting the growth, reproduction and supplement of the winter fishes of *Todarodes* in the Pacific. According to the fishery data of the Pacific winter *Todarodes* from 2004 to 2015 and its habitat environment data, including the January spawning ground (28°–35°N, 125°–130°E) and the September feeding ground (31°–38°N, 128°–132°E) sea surface temperature (SST), a surplus production model based on SST factor was established to analyze the effect of SST on the resources of the winter migrating fish population of the North Pacific *Todarodes*. By verifying the indicators of the model of the surplus production model, this study find that the model has higher prediction accuracy. The results show that the resources and catches of the winter fishes of *Todarodes pacificus* are mainly affected by the SST of the feeding ground, but the spawning ground SST has no significant effect on its catch in the current year. Therefore, it is recommended to strengthen the research on whether the SST factor of the spawning ground may affect the catch and resources of the next year, and the fishery management department should also determine its maximum sustainable yield according to the state of the marine environment every year, and the management plan should be adjusted in real time.

Key words: winterfishes of *Todarodes pacificus*; SST; surplus production model; spawning ground; feeding ground