

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180613001

http://www.yykxjz.cn/

陆尧, 陈新军, 汪金涛, 余景. 西北太平洋柔鱼适宜栖息地动态变化研究, 2019, 40(5): 19–25

Lu Y, Chen XJ, Wang JT, Yu J. Dynamics of suitable habitat of *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific Ocean. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(5): 19–25

西北太平洋柔鱼适宜栖息地动态变化研究*

陆尧^{1,6} 陈新军^{1,2,3,4,5} 汪金涛^{1,2,3,4,5①} 余景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. 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 广州 510300)

摘要 柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)是短生命周期种类,具有较高的经济价值和重要的生态地位,研究柔鱼资源对我国的远洋渔业发展有重要作用。本研究根据 2005~2016 年 8~10 月西北太平洋柔鱼渔业数据以及海表温度(Sea surface temperature, SST)数据,依据前人建立的柔鱼栖息地适宜性指数模型(Habitat suitability index, HSI)计算适宜柔鱼栖息地面积大小,并与柔鱼单位捕捞努力量渔获量(Catch per unit of fishing effort, CPUE)和渔获量进行相关性分析。研究发现,2015 年平均适宜栖息地(HSI>0.6)面积范围最大,达到 1087369 km²;2008 年平均适宜栖息地面积范围最小,仅为 618407.5 km²。所选区域内适宜栖息地分布能有效反映柔鱼的资源分布情况,但其适宜栖息地面积大小与渔获量和 CPUE 之间不存在显著相关性($P>0.05$)。其原因可能有:鱿钓渔船作业集中,导致单船渔获量不能表征实际 CPUE;大尺度的气候变化,特别是厄尔尼诺和拉尼娜现象会影响柔鱼资源量;黑潮与亲潮的变化也会影响柔鱼资源量。

关键词 西北太平洋;柔鱼;栖息地指数

中图分类号 S9 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2019)05-0019-07

柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)属大洋性鱿鱼类,主要分布在大洋温带和副热带海域,目前,商业性开发集中在北太平洋海域(余为等,2013)。在北太平洋,其柔鱼的商业性开发始于 1974 年,之后规模不断扩大。1993 年 1 月 1 日起,因公海大型流刺网被全面禁止,作业方式以钓捕为主(魏广恩等,2016)。我国于 1993 年开始对北太平洋柔鱼资源进行开发利用,是目前捕捞柔鱼最主要的国家和地区之一,年产量基

本上在 8~10 万 t (陈新军,2004)。柔鱼作为目前重要的大洋性经济柔鱼类,其在西北太平洋生态系统中具有重要地位。随着世界传统底层渔业产量普遍衰退,以及人类对海洋蛋白质需求在不断增加,柔鱼已成为重要的渔获对象(王尧耕等,2005)。

栖息地适应性指数模型(Habitat suitability index, HSI)最早由美国地理调查局国家湿地研究中心鱼类与野生生物署于 20 世纪 80 年代初提出,被用来描述

* 海洋局公益性行业专项(20155014)、上海市科技创新行动计划(14DZ1205000)和国家自然科学基金(NSFC31702343)共同资助 [This work was supported by Public Science and Technology Research Funds Projects of Ocean (20155014), Project of Shanghai Science and Technology Innovation (14DZ1205000), and National Natural Science Foundation of China (NSFC31702343)]. 陆尧, E-mail: 526973610@qq.com

① 通讯作者:汪金涛, E-mail: jtwang@shou.edu.cn

收稿日期:2018-06-13, 收修改稿日期:2018-07-18

野生动物的栖息地质量(朱宏达等, 2002)。近年来, HSI 模型也被应用于鱼类分布、中心渔场预报等方面(龚彩霞等, 2011)。栖息地的适宜程度或好坏, 通常可用指数来表达, 如 HSI(金龙如等, 2008)。HSI 取值范围一般为 0~1.0, 0 表示不适宜生境, 1.0 表示最适宜生境(Thomasma, 1981)。HSI 与其评价程序(Habitat evaluation procedures, HEP)被广泛运用于野生生物的栖息地质量评估, 其评估结果在日常自然资源管理与决策支持中得到广泛应用(Brooks *et al.*, 1997)。

本研究依据陈新军等(2009)利用表温因子建立的北太平洋柔鱼栖息地指数模型, 分析 2005~2016 年期间柔鱼适宜栖息地面积的变化情况, 寻找柔鱼资源丰度与适宜栖息地之间的关系, 探讨西北太平洋柔鱼资源量变化趋势及其影响因素, 为柔鱼资源可持续开发与管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

柔鱼渔业数据和单位捕捞努力量渔获量(Catch per unit of fishing effort, CPUE)来源于上海海洋大学鱿钓技术组。西北太平洋海域海表温度(Sea surface temperature, SST)来源于哥伦比亚大学(<http://iridl.ldeo.columbia.edu>), 空间范围为 39.5°~45.5°N, 150.5°~160.5°E, 数据时间为 2005~2016 年 8~10 月, 空间分辨率为 1°×1°, 时间分辨率为月。

单位捕捞努力量渔获量的计算公式:

$$CPUE = \frac{c}{n} \quad (1)$$

式中, c 为年捕捞量(t), n 为此年份在该区域内的作业船次。

表温水平梯度(Gradient of sea surface temperature, GSST)计算如图 1 所示。

$$\begin{array}{ccc} SST_{i+1, j-1} & SST_{i+1, j} & SST_{i+1, j+1} \\ SST_{i, j-1} & SST_{i, j} & SST_{i, j+1} \\ SST_{i-1, j-1} & SST_{i-1, j} & SST_{i-1, j+1} \end{array}$$

图 1 表温水平梯度计算示意图

Fig.1 Schematic diagram of GSST calculation

i 为该点的经度, j 为该点的纬度

$SST_{i, j}$ 处的水平梯度 $GSST_{i, j}$ 为

$$GSST_{i, j} = \sqrt{\frac{[(SST_{i, j-1} - SST_{i, j+1})^2 + (SST_{i+1, j} - SST_{i-1, j})^2]}{2}} \quad (2)$$

式中, i 为该点的经度, j 为该点的纬度。

1.2 研究方法

基于陈新军等(2009)建立的柔鱼栖息地指数模型, 利用 SST、GSST 计算柔鱼作业渔场区域 SST 和 GSST 的适应性指数模型(SI)(范江涛, 2016), 利用算术平均法(Arithmetic mean)计算最终 HSI。将 HSI 按 0~0.2、0.2~0.4、0.4~0.6、0.6~0.8 和 0.8~1 分成 5 个等级, 并计算各等级的作业渔场区域面积大小。计算方法如下: 纬度相隔 1 度的距离=111.1 km; 经度相隔 1 度的距离=111.1cosA (A 为纬度)(如: 北纬 60 度处, 经度相隔 1 度的距离=111.1cos60=55.55 km)。

某一 1.0°×1.0°单元的面积 s :

$$s = (a+b) \frac{h}{2} \quad (3)$$

$$= 111.1^2 [\cos A + \cos(A+1^\circ)] \frac{\cos 0.5^\circ}{2} \quad (4)$$

某一纬度栖息地面积 S_i :

$$S_i = ns \quad (5)$$

栖息地总面积 S :

$$S = \sum S_i \quad (6)$$

式中, a 、 b 分别为所选 1.0°×1.0°区域的南北边界纬线长度, h 为 a 、 b 两条纬线之间的距离。 n 为某一纬度栖息地单元栖息地个数。

栖息地指数大于 0.6 的海域, 认为是较为适宜渔业资源生长栖息繁衍的海域(丁琪等, 2015)。将渔获量、CPUE 与适宜栖息地面积进行相关性分析。

2 结果

2.1 适宜栖息地面积动态变化

2005~2016 年 8~10 月各月栖息地面积和年平均栖息地面积变化趋势各不相同(图 2)。8 月, HSI>0.8 的栖息地面积最高值出现在 2009 年, 为 110133.71 km²; 0.6<HSI≤0.8 的栖息地面积最高值在 2015 年, 为 304292.92 km²; 2010 年的 HSI>0.6 栖息地面积最大, 为 350528.2 km²; 2006 年的 HSI>0.6 栖息地面积最小, 为 167657.72 km²(图 2a)。

9 月, HSI>0.8 的栖息地面积最高值在 2010 年, 为 161362.66 km²。0.6<HSI≤0.8 的栖息地面积最高值在 2015 年, 为 306435.10 km²。2015 年的 HSI>0.6 栖息地面积区域最大, 为 403956.22 km²。2014 年 HSI>0.6 栖息地面积区域最小, 为 215227.54 km²(图 2b)。

10 月, HSI>0.8 的栖息地面积最高值在 2015 年, 其面积为 183042.28 km²。0.6<HSI≤0.8 的栖息地面积最高值在 2006 年, 其面积为 254218.01 km²。2012 年的 HSI>0.6 的栖息地区域最大, 为 375084.27 km²。2008 年的 HSI>0.6 的栖息地区域最小, 为 164425.37 km²。

(图 2c)。

年平均适宜栖息地面积变化趋势也存在较大幅度的波动。如 2015 年 HSI>0.6 的栖息地面积范围最大, 达到 1087369 km²; 2008 年 HSI>0.6 的栖息地面积范围最小, 仅为 618407.5 km²(图 2d)。

2.2 适宜栖息地面积与渔获量关系

2005~2016 年北太平洋柔鱼渔获量最高值出现在 2007 年, 该年的适宜栖息地面积在所有年份的平均值之上。2015 年的总渔获量最少, 但该年的适宜栖息地面积为所有年份中最高(图 3)。8~10 月适宜栖息

地面积以及年平均适宜栖息地面积分别与年渔获量进行相关性分析, 表明适宜栖息地面积与年渔获量之间没有显著相关性($P>0.05$)(表 1)。

2.3 适宜栖息地面积与 CPUE 关系

2007 年 CPUE 值最高, 该年的适宜栖息地面积在所有年份平均值之上; 2009 年 CPUE 值最低, 但该年的适宜栖息地面积较高(图 4)。8~10 月适宜栖息地面积以及年平均适宜栖息地面积分别与 CPUE 进行相关性分析, 表明适宜栖息地面积与 CPUE 之间没有显著相关性($P>0.05$)(表 2)。

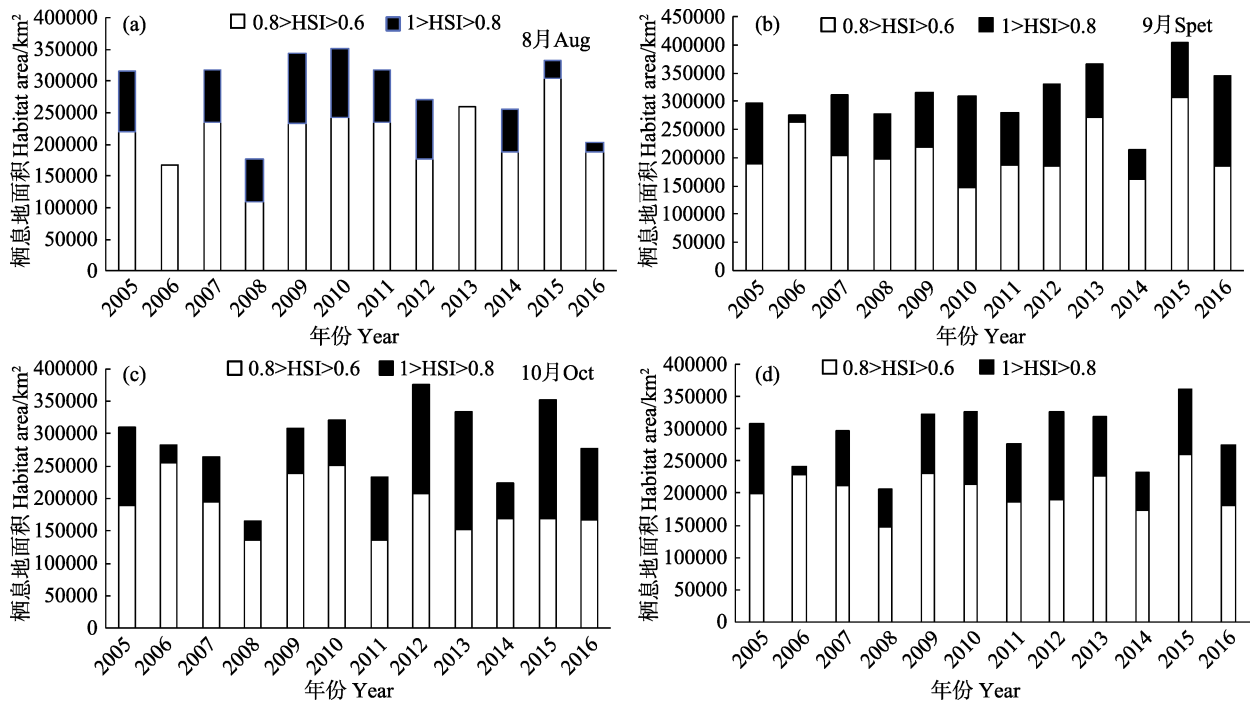


图 2 北太平洋柔鱼 2005~2016 年适宜栖息地面积变化

Fig.2 Changes of the suitable habitat area of *O. bartramii* during 2005~2016

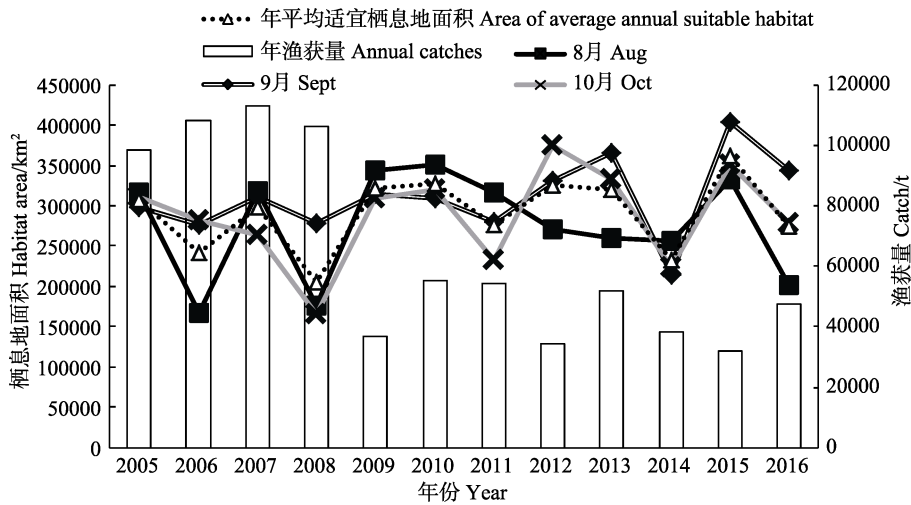


图 3 北太平洋柔鱼 2005~2016 年适宜栖息地面积及年渔获量变化趋势

Fig.3 Trends in the suitable habitat area, and the annual catch of *O. bartramii* during 2005~2016

表1 2005~2016年8~10月北太平洋柔鱼
适宜栖息地面积与年渔获量相关性

Tab.1 The correlation analysis between the suitable habitat area and annual catch of *O. bartramii* during 2005~2016

期间 Period	相关系数 r	显著水平 P
8月 August	-0.360	0.251
9月 September	-0.322	0.307
10月 October	-0.454	0.138
年平均 Annual average	-0.477	0.117

3 讨论与分析

鱼类栖息地指数分布通常能反映鱼类自身的分布趋势(陈新军等, 2013)。2016年8月和10月的栖息

地指数分布图显示, 8月, 在 $41.5^{\circ}\sim 43.5^{\circ}\text{N}$ 、 $150.5^{\circ}\sim 155.5^{\circ}\text{E}$, $43.5^{\circ}\sim 44.5^{\circ}\text{N}$ 、 $156.5^{\circ}\sim 159.5^{\circ}\text{E}$, $41.5^{\circ}\sim 43.5^{\circ}\text{N}$ 、 $161.5^{\circ}\sim 164.5^{\circ}\text{E}$ 这3个区间内, HSI 指数基本大于 0.6, 为较适宜柔鱼生存栖息的区域, 同一时期内的主要作业渔场在 $153^{\circ}\sim 156^{\circ}30'\text{E}$ 、 $41^{\circ}20'\sim 43^{\circ}30'\text{N}$ 附近海域(余为等, 2018), 其作业范围基本在所计算出的栖息地适宜海域(图 5); 10月, $40.5^{\circ}\sim 41.5^{\circ}\text{N}$ 、 $150.5^{\circ}\sim 151.5^{\circ}\text{E}$, $41.5^{\circ}\sim 42.5^{\circ}\text{N}$ 、 $152.5^{\circ}\sim 159.5^{\circ}\text{E}$, $39.5^{\circ}\sim 41.5^{\circ}\text{N}$ 、 $160.5^{\circ}\sim 164.5^{\circ}\text{E}$ 这3个区内 HSI 指数大于 0.6, 同一时期主要作业渔场在 $154^{\circ}\sim 157^{\circ}10'\text{E}$ 、 $41^{\circ}20'\sim 42^{\circ}40'\text{N}$ 附近海域(余为等, 2018), 其作业范围基本在栖息地适宜海域。因此, 认为适宜栖息地指数较高的区域为柔鱼资源丰度较高海域。

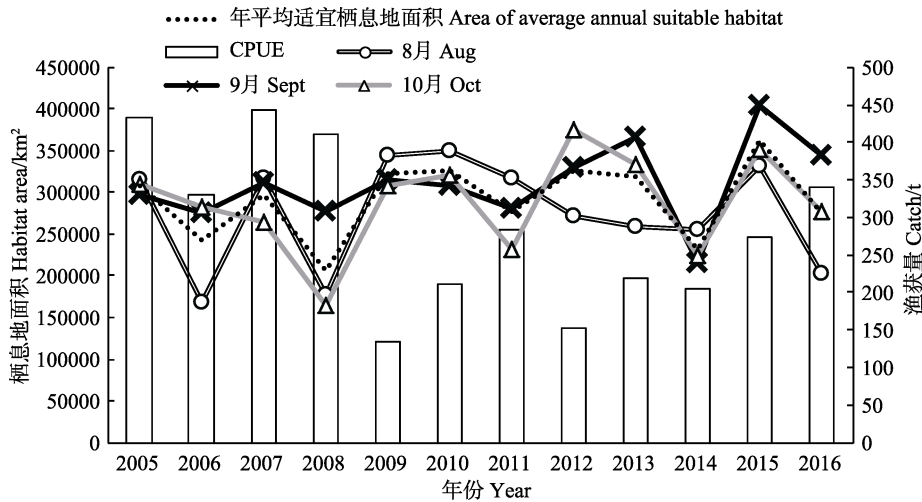


图4 2005~2016年适宜栖息地面积及 CPUE 变化趋势

Fig.4 Trends in the suitable habitat area and the annual catch per unit effort of *O. bartramii* during 2005~2016

表2 2005~2016年适宜栖息地面积同 CPUE 的相关关系
Tab.2 The correlation analysis between the suitable habitat area and annual single vessel catch of *O. bartramii* during 2005~2016

期间 Period	相关系数 r	显著水平 P
8月 August	-0.293	0.356
9月 September	-0.102	0.751
10月 October	-0.465	0.127
年平均 Annual average	-0.373	0.232

在时间变化趋势上, 本研究发现, 柔鱼适宜栖息地面积变化同鱼类资源丰度或渔获量变化的相关性不大(图 3 和图 4, 表 1 和表 2)。但 8 月, 渔场近一半区域的 $\text{HSI} < 0.6$ (图 5), 10 月, 渔场的 $\text{HSI} < 0.6$ 面积仅为整个渔场的八分之一(图 6), 同年 8 月的渔获量为 39291 t, 10 月渔获量为 155149 t, 因此, 在具体月份上, 适宜栖息地指数面积大小可以较好地反映柔鱼资源丰

度。我国北太平洋渔船的捕捞作业相对集中, 且船长通常利用经验去寻找渔场位置, 其误差较大, 因此, 作业位置与 HSI 的分布并不匹配; 同时, 相对集中的作用方式也可能导致单船平均产量偏低; 在某些年份, 如 2015 年的适宜栖息地面积最高, 但 2015 年的作业船只比往年减少 60 艘(农业部渔业局编制, 2016), 该年份的总渔获量大大减少。以上都是造成柔鱼适宜栖息面积变化没有反映其 CPUE 或渔获量变化趋势的因素。

另外, 大尺度的气候变化如厄尔尼诺和拉尼娜事件调控了大洋性头足类鱼类的渔场和产卵场的环境条件(Irvine *et al.*, 2011), 对其仔幼鱼群体和成鱼的栖息环境具有重要作用(Syamsuddin *et al.*, 2013; Tzeng *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2007)。Chen 等(2007)认为, 当厄尔尼诺事件发生时, 产卵场温度环境有利于增加柔鱼资源补充量, 并且其渔场会向南偏移; 而拉尼娜事

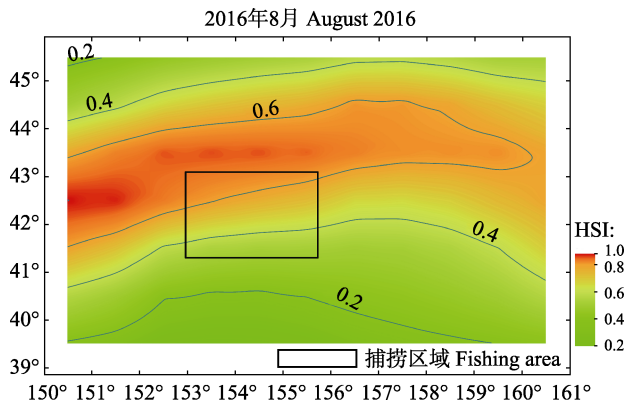


图 5 2016 年 8 月西北太平洋海域 HSI 分布
Fig.5 Distribution of HSI in the Northwest Pacific Ocean in August 2016

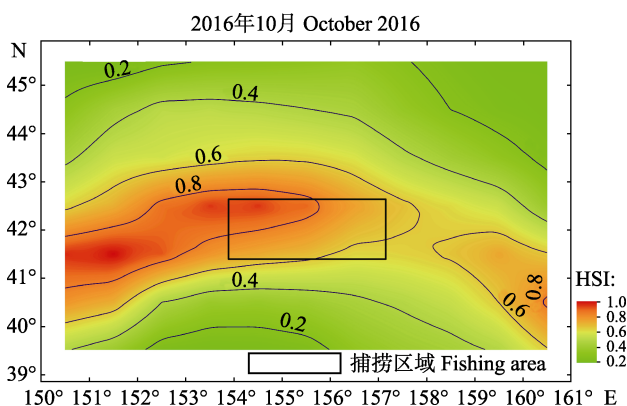


图 6 2016 年 10 月西北太平洋海域 HSI 分布
Fig.6 Distribution of HSI in the Northwest Pacific Ocean in October 2016

件发生时,则资源补充量减少且渔场向北转移,对渔获量产生影响。余为等(2018)研究认为,弱拉尼娜事件和正常气候条件下,柔鱼渔场范围内水温最高,适宜栖息面积显著增长;中等强度和高强度拉尼娜条件下,柔鱼渔场内平均水温较高,但适宜栖息面积较前两者显著减小;弱强度、中等强度和超高强度厄尔尼诺条件下,柔鱼渔场内水温均较低,适宜栖息地面积减少,且弱强度和超高强度厄尔尼诺条件下柔鱼适宜栖息面积均高于中等强度厄尔尼诺条件。2009 年为中等强度的厄尔尼诺年,2015 年为超强的厄尔尼诺年,2011 年为弱强度的拉尼娜年,2010 年为中等强度的拉尼娜年(余为等,2016)。本研究计算的 2009 年的适宜栖息地面积明显少于 2015 年,且 2009 年的柔鱼 CPUE 明显少于 2015 年,2010 年的 CPUE 明显少于 2011 年。本研究结果与前人研究结果基本一致。因此,在大尺度的环境变化下,中等强度下的厄尔尼诺现象会使柔鱼的适宜栖息地减小,且其 CPUE 会降低。中等强度下的拉尼娜现象会使 CPUE 降低。

柔鱼的传统作业渔场一般位于黑潮的第二分支

和亲潮的交汇处,且作业位置与黑潮和亲潮的相对强弱有关(陈新军等,1997)。2009 年 CPUE 是所选取年份中的最低值,为 134.7,该年总渔获量为 36763.7 t,也较少,但是该年适宜栖息地面积较大。余为等(2013)对 30°~45°N 140°~160°E(与本文研究区域相同)海域内的黑潮与亲潮研究发现,2009 年 7~11 月份黑潮势力比 2008 年平均偏南 2.8°,强度减弱,势力范围减小,同期亲潮冷水团向南入侵势力变强,温度降低。暖水势力减弱,冷水势力增强导致 2009 年柔鱼传统作业海域温度降低,柔鱼群体向北洄游受阻,使得作业海域的资源量减少,产量降低。

本研究所选取的栖息地模型是基于陈新军(2009)利用海表温度和海表温水平梯度这二项数据建立的模型。在 HSI 模型环境因子的选择上,柔鱼总会趋向适宜其生存的温度的海域生活,因此,海表温度与柔鱼的分布特征的相关性最为紧密(唐峰华等,2015)。表温水平梯度能够反映这一区域的温度变化情况,直接反应柔鱼资源的分布情况。研究发现,柔鱼的饵料由头足类、鱼类和甲壳类组成,种类较多(唐峰华等,2011;黄洪亮等,2002),且叶绿素 *a* 浓度与柔鱼饵料生物密切相关(余为等,2015)。可以看出,柔鱼处于较高的营养级位置,叶绿素浓度的变化对其分布的影响具有滞后性,且进入 10~11 月后,决定渔场位置和洄游路线的主要因子不再是食物,而是生理忍耐温度(Saitoh *et al*, 1986;崔雪森等,2018),使得该月份的叶绿素浓度不再成为影响柔鱼分布的显著因子,且本次研究选取的时间范围是 8~10 月,故不选择叶绿素作为模型构成因子。而其他像海面风场、高度、盐度等数据对柔鱼分布的影响较小。因此,在本次 HSI 模型选择了海表温度和海表温水平梯度数据进行建模。但缺少其他的环境因子仍可能造成与实际情况的偏差,在后续的研究中可以增加这一部分的研究。

参 考 文 献

- Brooks RP. Improving habitat suitability index models. *Wildlife Society Bulletin*, 1997, 25(1): 163-167
- Chen XJ, Gong CX, Tian SQ, *et al*. Estimated catch of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) based on habitat suitability index in Northwest Pacific Ocean. *Periodical of Ocean University of China*, 2013, 43(4): 29-33 [陈新军, 龚彩霞, 田思泉, 等. 基于栖息地指数的西北太平洋柔鱼渔获量估算. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2013, 43(4): 29-33]
- Chen XJ, Liu BL, Tian SQ, *et al*. Forecasting the fishing ground of *Ommastrephes bartramii* with SST-based habitat suitability modelling in Northwestern Pacific. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(6): 707-713 [陈新军, 刘必

- 林, 田思泉, 等. 利用基于表温因子的栖息地模型预测西北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)渔场. 海洋与湖沼, 2009, 40(6): 707–713]
- Chen XJ, Zhao XH, Chen Y. Influence of El Nino/La Nina on the western winter-spring cohort of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwestern Pacific Ocean. ICES Journal of Marine Science, 2007, 64(6): 1152–1160
- Chen XJ. Analysis of marine environmental factors formed by squid fishing grounds in the Northwest Pacific. Journal of Shanghai Fisheries University, 1997, 6(4): 263–267 [陈新军. 关于西北太平洋的柔鱼渔场形成的海洋环境因子的分析. 上海水产大学学报, 1997, 6(4): 263–267]
- Chen XJ. Fishery resources and fisheries. Beijing: China Ocean Press, 2004, 29–212 [陈新军. 渔业资源与渔场学. 北京: 海洋出版社, 2004, 29–212]
- Cui XS, Zhou WF, Tang FH, *et al.* The construction of habitat suitability index forecast model of *Ommastrephes bartramii* fishing ground based on constrained linear regression. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(1): 64–72 [崔雪森, 周为峰, 唐峰华, 等. 基于约束线性回归的柔鱼栖息地指数渔场预报模型构建. 渔业科学进展, 2018, 39(1): 64–72]
- Ding Q, Chen XJ, Wang JT. Comparison habitat suitability index model of *Lllex argentinus* and its application in to fishing ground forecasting. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(3): 8–13 [丁琪, 陈新军, 汪金涛. 阿根廷滑柔鱼(*Lllex argentinus*)适宜栖息地模型比较及其在渔场预报中的应用. 渔业科学进展, 2015, 36(3): 8–13]
- Fan JT, Chen ZZ, Zhang J, *et al.* *Sthenoteuthis oualaniensis* fishing grounds analysis based on marine environmental factors and different weight coefficients in the Zhongxisha and Xisha Islands, South China Sea. South China Fisheries Science, 2016, 12(4): 57–63 [范江涛, 陈作志, 张俊, 等. 基于海洋环境因子和不同权重系数的南海中沙西沙海域鳶乌贼渔场分析. 南方水产科学, 2016, 12(4): 57–63]
- Gong CX, Chen XJ, Gao F, *et al.* Review on habitat suitability index in fishery science. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(2): 260–269 [龚彩霞, 陈新军, 高峰, 等. 栖息地适宜性指数在渔业科学中的应用进展. 上海海洋大学学报, 2011, 20(2): 260–269]
- Huang HL, Zheng YJ, Cheng JH. Study on the biological characteristics of *Ommastrephes bartramii* in the North Pacific. Marine Fisheries, 2002, 24(1): 126–135 [黄洪亮, 郑元甲, 程家骅. 北太平洋海区柔鱼生物学特征研究. 海洋渔业, 2002, 24(1): 126–135]
- Irvine JR, Fukuwaka M. Pacific salmon abundance trends and climate change. ICES Journal of Marine Science, 2011, 68(6): 1122–1130
- Jin LR, Sun KP, He HS, *et al.* Research advances in habitat suitability index model. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(5): 841–846 [金龙如, 孙克萍, 贺红土, 等. 生境适宜度指数模型研究进展. 生态学杂志, 2008, 27(5): 841–846]
- Ministry of Agriculture Fisheries Bureau. China fisheries statistical yearbook. China Agriculture Press, 2016 [农业部渔业局编制. 中国渔业统计年鉴. 中国农业出版社, 2016]
- Saitoh S, Kosaka S, Iisaka J. Satellite infrared observations of Kuroshio warm-core rings and their application to study of Pacific saury migration. Deep Sea Research Part A Oceanographic Research Papers, 1986, 33(11–12): 1601–1615
- Syamsuddin ML, Saitoh SI, Hirawake T, *et al.* Effects of El Nino-Southern Oscillation events on catches of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the eastern Indian Ocean off Java. Fishery Bulletin, 2013, 111(2): 175–188
- Tang FH, Cui XS, Fan W, *et al.* Study on relationship of neon flying squid yield in North Pacific Ocean with marine environment by remote sensing. Ocean Technology, 2011, 30(2): 7–12 [唐峰华, 崔雪森, 樊伟, 等. 北太平洋柔鱼渔获量与海洋环境关系的遥感学研究. 海洋技术学报, 2011, 30(2): 7–12]
- Tang FH, Fan W, Wu YM, *et al.* Seasonal changes of relationship between marine environment and squid fishing resources in North Pacific Ocean. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2015(3): 242–249 [唐峰华, 樊伟, 伍玉梅, 等. 北太平洋柔鱼渔场资源与海洋环境关系的季节性变化. 农业资源与环境学报, 2015(3): 242–249]
- Thomasma LE. Standards for the development of habitat suitability index models. 1981
- Tzeng WN, Tseng YH, Han YS, *et al.* Evaluation of multi-scale climate effects on annual recruitment levels of the Japanese eel, *Anguilla japonica*, to Taiwan. PLoS One, 2012, 7(2): e30805
- Wang YG, Chen XJ. World oceanic economic squid resources and fisheries. Beijing: China Ocean Press, 2004: 29–212 [王尧耕, 陈新军. 世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业. 北京: 海洋出版社, 2005: 190–198]
- Wei GE, Chen XJ. Review on neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) resources and fishing ground in the North Pacific Ocean. Journal of Guangdong Ocean University, 2016, 36(6): 114–122 [魏广恩, 陈新军. 北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)资源渔场研究进展. 广东海洋大学学报, 2016, 36(6): 114–122]
- Yu W, Chen XJ. Analysis of environmental conditions and their influence on the abundance of neon flying squid in the Northwest Pacific Ocean. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(15): 5032–5039 [余为, 陈新军. 西北太平洋柔鱼栖息地环境因子分析及其对资源丰度的影响. 生态学报, 2015, 35(15): 5032–5039]
- Yu W, Chen XJ, Yi Q, *et al.* Annual difference of abundance index and its influencing factors of *Ommastrephes bartramii* in traditional fishing grounds in the Northwest Pacific. Marine Fisheries, 2013, 35(4): 373–381 [余为, 陈新军, 易倩, 等. 西北太平洋柔鱼传统作业渔场资源丰度年间差异及其影响因子. 海洋渔业, 2013, 35(4): 373–381]
- Yu W, Chen XJ, Yi Q, *et al.* Review on the early life history of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the North

- Pacific Ocean. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(5): 755–762 [余为, 陈新军, 易倩, 等. 北太平洋柔鱼早期生活史研究进展. 上海海洋大学学报, 2013, 22(5): 755–762]
- Yu W, Chen XJ, Yi Q. Relationship between spatio-temporal dynamics of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* and net primary production in the Northwest Pacific Ocean. Acta Oceanologica Sinica, 2016, 38(2): 64–72 [余为, 陈新军, 易倩. 西北太平洋海洋净初级生产力与柔鱼资源量变动关系的研究. 海洋学报, 2016, 38(2): 64–72]
- Yu W, Chen XJ. Variability in the potential habitat of winter-spring cohort of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific Ocean. Acta Oceanologica Sinica, 2018, 40(3): 86–94 [余为, 陈新军. 西北太平洋柔鱼冬春生群体栖息地的变化研究. 海洋学报, 2018, 40(3): 86–94]
- Zhu HD. Habitat use of six skinks in Southern Taiwan. Taipei: Sun Yat-Sen University, 2002: 8–9 [朱宏达. 南部地区六种石龙子科蜥蜴栖息地利用之研究. 台北: 中山大学, 2002: 8–9]

(编辑 冯小花)

Dynamics of Suitable Habitat of *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific Ocean

LU Yao^{1,6}, CHEN Xinjun^{1,2,3,4,5}, WANG Jintao^{1,2,3,4,5①}, YU Jing⁶

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

Abstract Neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) is a short-lived species with high economic value and important ecological status. The study of squid resources plays an important role in the development of Chinese offshore fisheries. Based on the data from the Northwest Pacific squid fishery and sea surface temperature (SST) data from August to October of 2005~2016, and the habitat suitability index (HSI) model established by the predecessors, the size of the squid's habitat was correlated with catch per unit of fishing effort (CPUE) and the catch. We found that the average area of suitable habitat (HSI>0.6) was the largest in 2015, reaching 1,087,369 km². In 2008, the average suitable habitat area was the smallest (618,407.5 km²). The suitable habitat distribution in the selected area can effectively reflect the resource distribution of the squid; however, there is no significant correlation between the size of the suitable habitat area and the catch and CPUE ($P>0.05$). The reasons may be as follows (1) the concentration of squid fishing vessels resulting in single-vessel catches that do not characterize the CPUE; (2) large-scale climate change, particularly El Niño and La Niña, affecting squid resources; (3) changes in Kuroshio and Tide also affect the amount of squid resources.

Key words Northwest Pacific; *Ommastrephes bartramii*; Habitat suitable index

① Corresponding author: WANG Jintao, E-mail: jtwang@shou.edu.cn