

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.14516

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

唐峰华^{1,2}, 史赞荣¹, 朱金鑫³, 吴祖立¹, 伍玉梅^{1,2}, 崔雪森^{1,2}

1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090;
2. 中国水产科学研究院 东海水产研究所 渔业资源与遥感信息技术重点开放实验室, 上海 200090;
3. 中国水产舟山海洋渔业公司, 浙江 舟山 316101

摘要: 根据 2010—2013 年 11—12 月日本海太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)的渔获生产数据, 并结合遥感获取的海洋环境数据, 利用渔获量重心法、地统计插值和数理统计方法, 分析了太平洋褶柔鱼的资源丰度与渔获量重心的时空变化及其与主要环境因子(海表温度、叶绿素浓度、海流)之间的关系。研究表明, 渔场重心每年稍有差异, 经度重心集中在 132°20'E 附近; 纬度重心集中在 36°30'N 和 37°30'N 两个位置附近。GAM 模型显示, 日本海太平洋褶柔鱼渔场的最适海表温度为 16~18℃; 最适叶绿素 a 浓度为 0.37~0.45 mg/m³。海洋环境与单位捕捞努力渔获量(CPUE)的回归方程的显著性检验表明, 除了叶绿素 a 浓度呈一般显著外, 海表温度和空间因子在 CPUE 上的回归均极显著($P < 0.01$), 符合统计意义。4 年间渔场的适宜环境范围有所差异, 推断主要是日本海海域对马暖流、东朝鲜暖流与里曼寒流相互交汇的强弱作用力引起的, 也有不同年份季风的强弱不同以及全球气候变化的因素存在。每一年的渔场海洋环境因子稍有差别, 对其资源量的影响巨大。

关键词: 日本海; 太平洋褶柔鱼; 海洋环境; 海表温度; 叶绿素 a 浓度

中图分类号: S932.4

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)05-1036-08

太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)属头足纲(Cephalopoda), 枪形目(Teuthoidea), 柔鱼科(Ommastrephidae), 褶柔鱼属, 为暖温带种, 主要的捕捞渔场分布在西太平洋的 21°N~50°N 海域, 即黄海、东海、日本海以及日本太平洋沿岸, 为这些海域最重要的经济渔业资源之一, 也是世界上头足类最早被大规模开发利用的种类之一^[1-2]。渔场主要位于日本海中南部海域, 靠日本列岛一侧为对马海流、东朝鲜暖流和里曼寒流相互交汇形成流隔, 为太平洋褶柔鱼聚集索饵形成创造了条件^[3]。早在 18 世纪中叶, 日本就开发利用了其沿岸水域的主要经济头足类。1990 年开始, 我国鱿钓船在日本海正式进行商业性生产。但由于后期专属经济区(EEZ)的划定, 目前我国有 30~50 艘

鱿钓船以配额制的方式于每年的 11—12 月在日本海中南部海域进行生产, 取得了显著的经济与社会效益, 是我国远洋渔业生产的重要组成部分。国外学者对日本海太平洋褶柔鱼渔场与海洋环境关系进行了较多研究, 如 Bower 等^[4]、Yamamoto 等^[5]、Choi 等^[6]和 Sakurai 等^[7]分别对日本海太平洋褶柔鱼的幼体成长生活习性、产卵繁殖、洄游路线等分布情况与环境条件的关系进行了报道。但目前对其中心渔场的变化规律方面国内研究甚少, 缺乏对其渔场环境的相关研究, 只有早期陈新军^[8]对其生物学特征作过浅析。所以本研究根据 2010—2013 年日本海中南部太平洋褶柔鱼渔场的生产数据, 结合遥感信息技术手段获取的同期海洋环境数据, 分析了太平洋褶柔

收稿日期: 2014-11-20; 修订日期: 2015-01-09.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAD13B01); 国家 863 计划项目(2012AA092303).

作者简介: 唐峰华(1982-), 男, 助理研究员, 从事海洋生态与渔业遥感学研究. E-mail: f-h-tang@163.com

通信作者: 崔雪森, 副研究员. Tel: 021-65682395; E-mail: cuixuesen@eastfishery.ac.cn

鱼的单位捕捞努力量渔获量(CPUE)分布、渔场重心的时空变化及其与主要环境因子(海表温度、叶绿素 a 浓度和海流)之间的关系, 弥补国内在日本海渔场的研究空白, 并提供作业渔场的动态变化, 为企业生产和太平洋褶柔鱼的渔场渔情预报提供参考。

1 材料与方 法

1.1 作业海域和生产数据来源

生产数据由中国水产舟山海洋渔业公司提供, 内容包括作业日期、经纬度、日渔获量(时间为 2010—2013 年), 调查范围为: 36°N~39°N、130°E~138°E(图 1)。

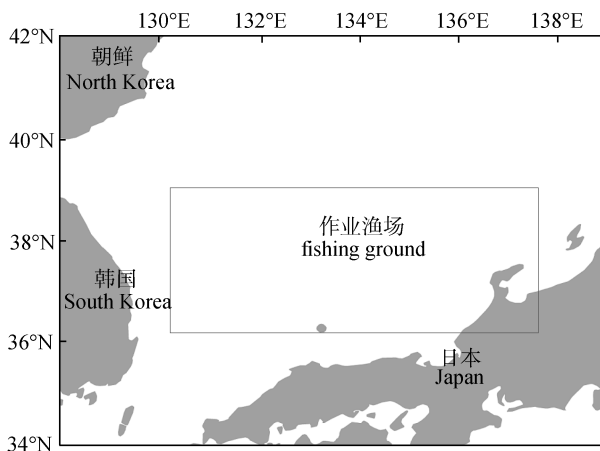


图 1 日本海太平洋褶柔鱼渔场区域

Fig.1 Fishing ground of *Todarodes pacificus* fisheries in the Sea of Japan

1.2 海洋环境数据来源

海表温度(SST)、叶绿素 a 浓度数据来自 NASA 水色遥感网站(<http://oceans.gsfc.nasa.gov>), 海流资料由来自 HYCOM 模式计算得来, 空间分辨率为 9 km。研究海域为 36°N~39°N、130°E~138°E, 时间跨度范围为 2010—2013 年。

1.3 数据处理及模型介绍

(1) 利用单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE, t/d), 表示太平洋褶柔鱼的资源丰度^[9]:

$$CPUE = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (1)$$

式中, CPUE 为单位捕捞努力量渔获量; C_i 为第 i 天的渔获量(t); n 为总天数。

(2) 利用渔获量重心法研究中心渔场的空间变化^[10]。利用上述公式(1)对生产统计资料进行数据标准化后, 再按下式计算渔获量重心:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (2)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (3)$$

式中 X 、 Y 分别为渔获量重心的经、纬度; X_i 为第 i 天中心点的经度, Y_i 为第 i 天中心点的纬度; C_i 为第 i 天的渔获量。

(3) 将渔获量与海洋环境因子(海表温度、叶绿素)关系用广义加性模型(generalized additive models, GAM) 拟合^[11], 通过对非参数函数的拟合来估计因变量和自变量之间的关系而扩展, 是一种非参数化的多元线性回归方法, 非参数函数通过数据平滑技术处理得到, 函数按照非参数化的形式给予估计, 类似线性模型中的回归系数, 通过局部加权平滑或样条平滑得到。

建立以 CPUE 为非独立变量、以主要的环境因子为解释变量的 GAM 模型^[12], 其表达式如下:

$$\lg(CPUE+0.01) \sim S(SST) + S[\lg(chl-a + 0.01)] + S(longitude) + S(latitude) + \varepsilon \quad (4)$$

为防止零值出现, 采用 CPUE 加上 0.01, 再进行对数化处理, 其中 S 为自然立方样条平滑(natural cube spline smoother); SST 为海表温度; chl-a 为叶绿素浓度, 为防止叶绿素浓度出现零值, 采取加上 0.01 和对数化的处理; longitude 为经度; latitude 为纬度; ε 为误差项; 将 GAM 模拟结果中上、下 95% 的置信区间虚线离实线最接近的区间定义为渔场最适环境范围。

(4) 将海表温度、叶绿素 a 浓度数据、海流数据和渔获数据按 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 网格重新抽取, 并根据空间位置进行匹配, 利用统计学软件 SPSS16.0 对环境数据与渔获数据的关系进行统计分析^[13]。为

了能直观表现环境数据与渔获量数据的关系，将环境数据以等值线方式显示，将渔获量数据进行分级处理，并将两者相叠加展示。

2 结果与分析

2.1 渔获量的概况和渔场重心

年渔获量由于受到限额捕捞，总渔获量一般在 2000 余吨，2010—2013 年每年 CPUE 稍有差异，最高是 2013 年，为 2.11 t/d；最低是 2010 年，仅有 1.65 t/d，4 年平均 CPUE 为 1.91 t/d(图 2)。各年度渔汛期渔场重心主要集中在 132.10°E~132.40°E、36.9°N~37.2°N(图 3)。其中 2010 年重心最北，2011 年往东南方向偏移，2012 年又往西北方向偏移，2013 又往东南方向转。

2.2 渔获量与海表温度的分布

由图 4 可知，2010—2011 年 SST 相对较高，2012—2013 年 SST 相对较低。其中 2010 年中心渔场的 SST 为 17~20℃；2011 年为 16~19℃；2012 年为 15~17℃；2013 年为 14~16℃。

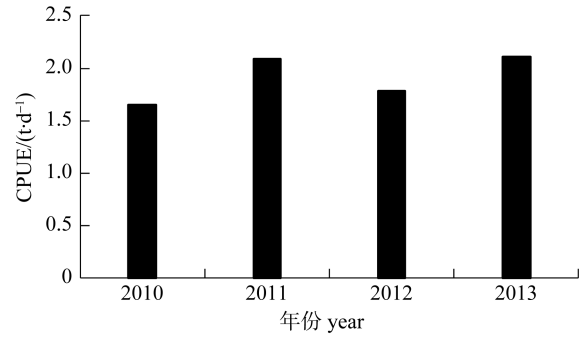


图 2 各年度份渔场的 CPUE 分布

Fig.2 Distribution for CPUE of fisheries in each year

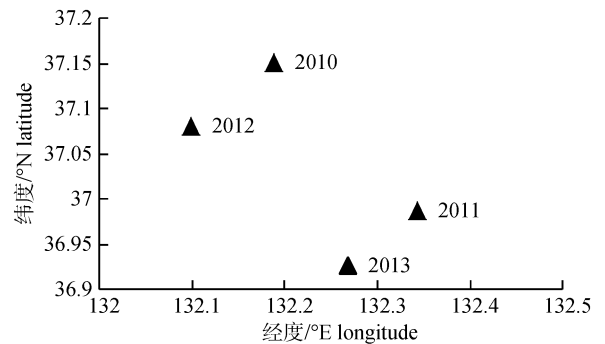


图 3 各年度渔场重心的变化

Fig.3 Change for gravity center of annual fisheries

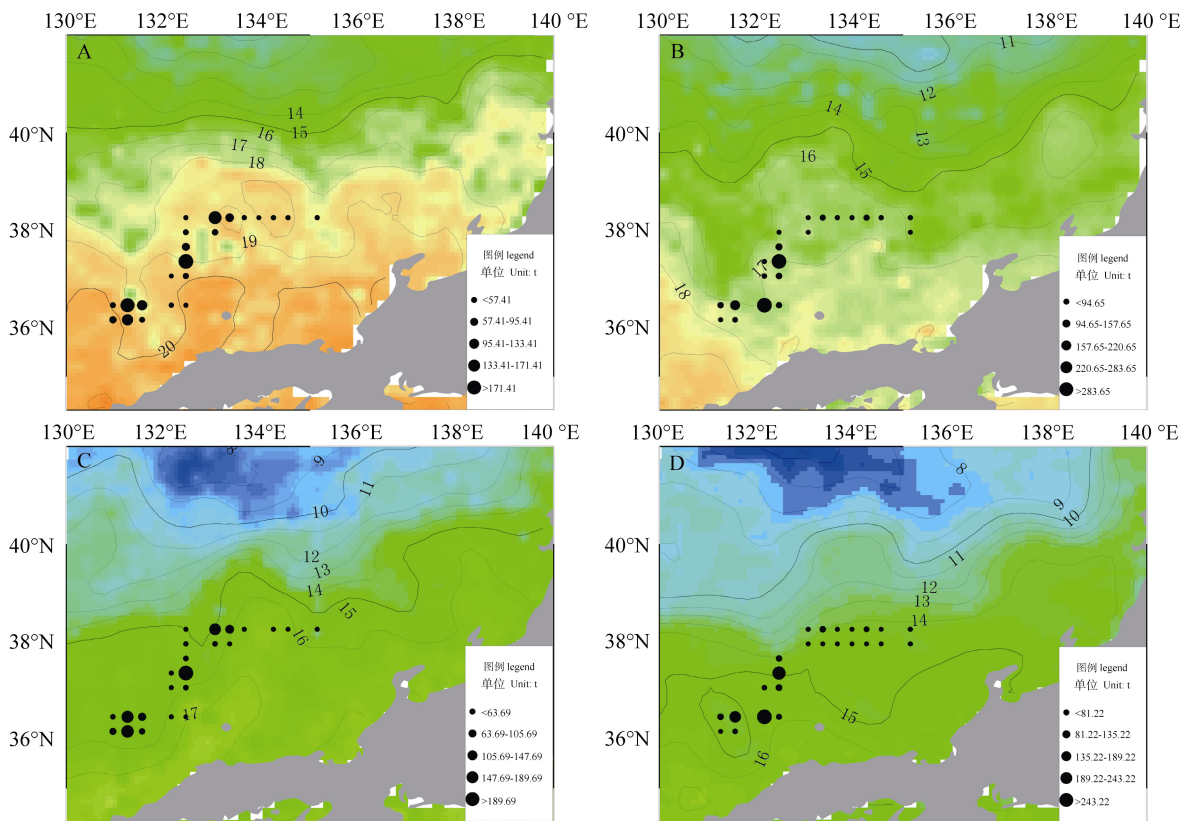


图 4 海表温度和渔获量的分布叠加

Fig.4 Stack distribution of sea surface temperatures and catches

2.3 渔获量与海表叶绿素的分布

由图 5 可知, 2010 年中心渔场的 chl-a 浓度为 0.10~0.20 mg/m³; 2011 年为 0.40~0.50 mg/m³; 2012 年为 0.30~0.50 mg/m³; 2013 年为 0.20~0.40 mg/m³。唯有 2010 年 CHL-a 浓度相对较低, 其他年份相对较高。

2.4 渔获量与海流的分布

将 2010—2013 年 11—12 月海流的月平均值分布与渔获量叠加(图 6), 发现 2010—2011 年流隔较明显, 位置靠北, 说明这两年对马暖流和东朝鲜暖流较强; 而 2012—2013 年流隔不明显, 位置靠南, 说明里曼寒流较强。图 6 中渔场一般根部在暖寒流交汇区的暖水侧, 寒、暖流交汇形成

的流隔为渔场的形成创造了饵料充足、水环境舒适的有利条件。

2.5 GAM 模型分析

通过 GAM 模型分析发现(图 7), 日本海太平洋褶柔鱼渔场的最适 SST 为 16~18℃; 最适 chl-a 浓度为 0.37~0.45 mg/m³; 经度集中在 132°20'E 附近; 纬度集中在 36°30'N 和 37°30'N 这两个位置附近。

渔场与海洋环境的 GAM 在回归模型中经 *F* 检验其 *P* 值均小于 0.05, 除了叶绿素 a 浓度与渔获量呈现一般显著外, 其他因子在 CPUE 上均极显著 ($P < 0.01$, 表 1)。GAM 模型调整后的决定系数 R^2 为 0.422, 解释偏差(deviance explained)为 50.2%。

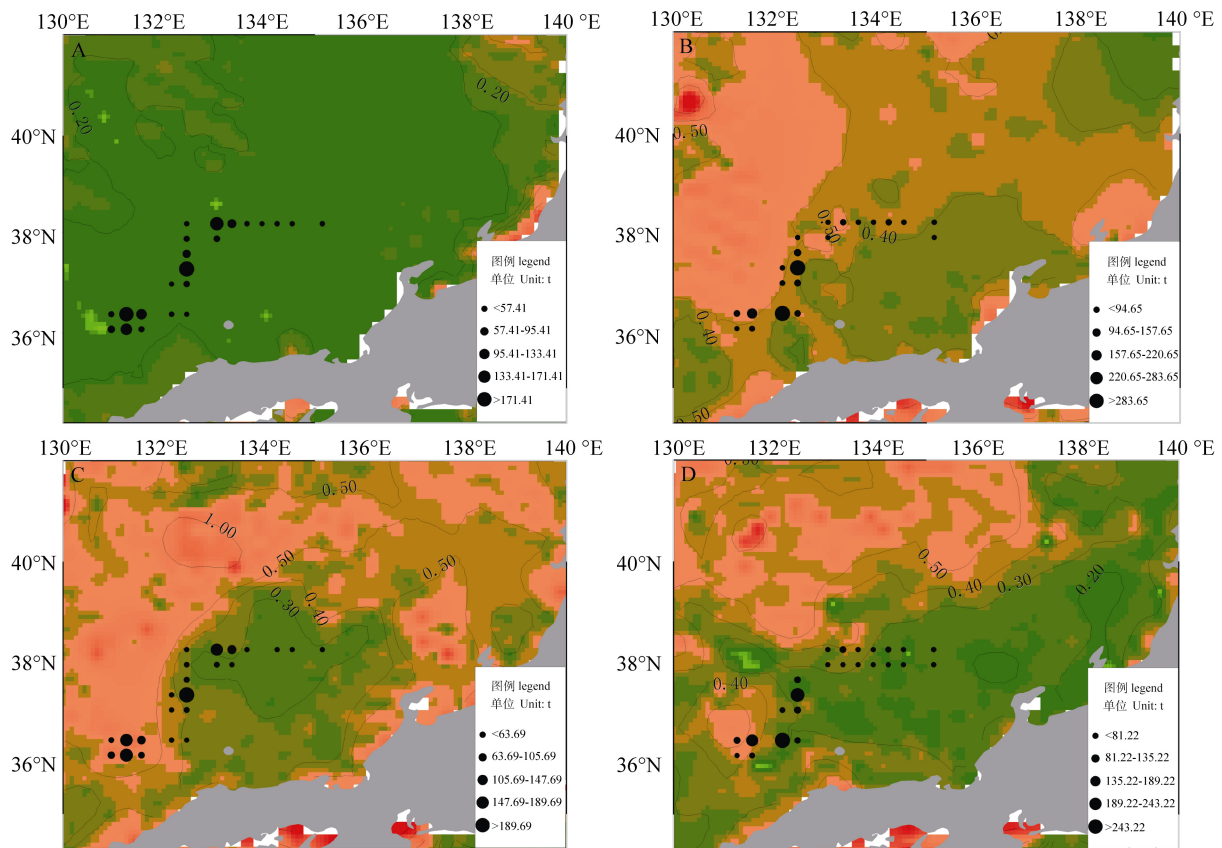


图 5 叶绿素 a 浓度和渔获量的分布叠加

Fig.5 Stack distribution of Chlorophyll a concentration and catches

表 1 渔场环境因子与渔获量 GAM 模拟的检验系数值和显著性

Tab.1 Inspection coefficient value and significance for GAM simulation of fish production and environmental

环境因子 environment	有效自由度 effective degrees of freedom	<i>F</i> 检验 <i>F</i> -test	<i>P</i>
海表温度 SST	3.681	6.859	6.31e ⁻⁰⁵ **
叶绿素 a chl-a	5.938	0.108	0.0453 *
经度 longitude	7.494	14.09	2e ⁻¹⁶ **
纬度 latitude	7.244	30.87	2e ⁻¹⁶ **

注: *表示差异显著($P < 0.05$); **表示差异极显著($P < 0.01$).

Note: * denotes significant difference ($P < 0.05$); ** denotes extremely significant difference ($P < 0.01$).

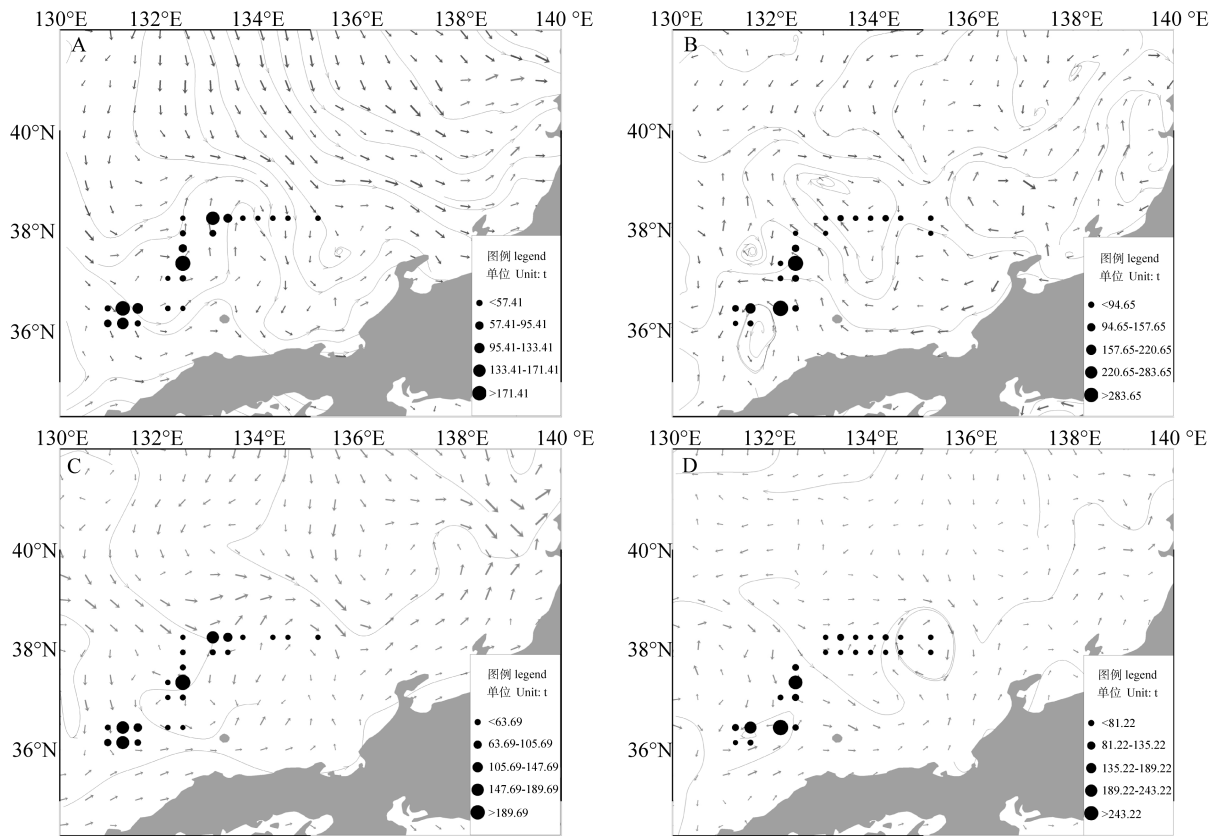


图 6 海流和渔获量的分布叠加

Fig.6 Stack distribution of current and catches

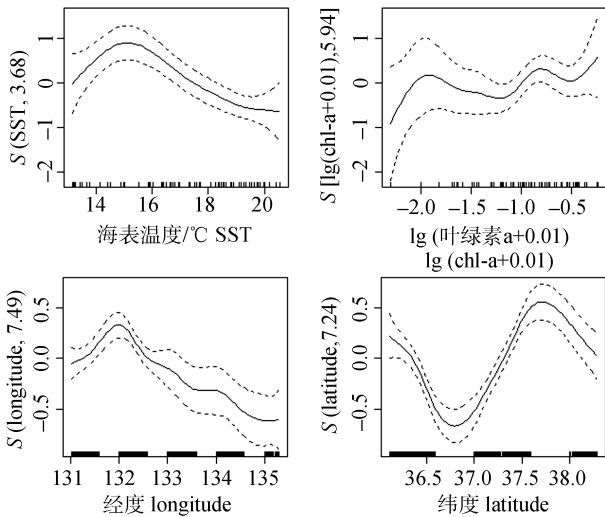


图 7 日本海太平洋褶柔鱼渔场渔获量与环境因子的 GAM 模拟结果

Fig.7 GAM simulation results of fish production and environmental factors in fisheries of *Todarodes pacificus*

3 讨论

3.1 环境因子与生活习性的关系

本研究的太平洋褶柔鱼冬生群是中国大陆鱿

钓船的传统捕捞对象,主要捕捞区域为 36°N~39°N、132°E~136°E 的日本海偏中南部海域,可能是其索饵和繁殖的场所(研究样本个体偏大,达到成熟期),因日本海列岛众多,具体的洄游路线和其生活习性密切相关。有研究表明^[14]太平洋褶柔鱼虽然是大洋性种类,但其主要栖居的海域环境为岛屿周围、海岸大陆架边缘,底质为砂砾、碎贝壳混杂的场所,涡流和上升流海域,或大洋水系与沿岸水系交替的海域,以及深水散射层明显的海域。太平洋褶柔鱼还能作较长距离的水平洄游,包括生殖洄游、索饵洄游和越冬洄游等^[15]。不同产卵种群洄游模式不同,但太平洋褶柔鱼在洄游过程中,是典型的集群洄游,略呈辐射状,作短距离的移动^[16]。

在头足类整个生命周期中,生活适温范围很广,通过 GAM 模型来模拟渔场渔获量与主要环境因子的关系来看,在日本海中南部渔场海域其最适 SST 为 16~18°C; 最适 Chl-a 浓度为 0.37~0.45 mg/m³; 经度集中在 132°20'E 附近; 纬度集中在 36°30'N 和

37°30'N 这两个位置附近。根据作业现场反应, 白天钓线放很长才能钓到, 而且渔获率低; 一般都是晚上开启集鱼灯作业, 钓线放得短, 生产效率高, 具有明显的昼夜垂直活动, 范围从表层至 300 m 左右, 白天多在中下层, 夜间多在中上层或直接浮于水面。有学者研究^[17]显示, 稚仔及成体都有栖居表层和中上层的习性, 其水平洄游和垂直活动与不同水系、不同水团所形成的锋区以及温跃层有密切关系。在日本海和其太平洋海岸, 幼仔的漂移和分散的活动路线与黑潮主轴的移动路径甚为吻合^[18]。

3.2 适宜环境范围差异分析

研究结果中 2010—2011 年 SST 相对较高, 2012—2013 年 SST 相对较低; chl-a 浓度在 2010 年较低, 其他年份相对较高, 造成渔场各年度主要适宜环境范围差异的原因, 主要与每年寒、暖流的强弱有关。对照图 6 海流的分布, 2010—2011 年对马暖流和东朝鲜暖流明显较强, 而后面 2 年暖流相对较弱, 海流的强弱表现决定了 SST 的高低走向。在日本海局部海域, 柔鱼群集中在暖水团和冷水团的交汇处, 当冷水团从底层上升, 会迫使其上浮, 造成渔获良机。太平洋褶柔鱼的幼体被认为是“黑潮系种”, 其与黑潮水系的关系比成体更密切, 特别是在主要营浮游生活的啄乌贼期, 凭靠黑潮暖流、对马暖流和东朝鲜暖流的运载, 从南向北散布, 几乎紧贴着暖流的主轴, 稚仔的漂移方向和路径会随着暖流流向和流径的变化而变化^[19]。另外不同年份季风的强弱不同, 以及全球气候变化造成的局部海洋环境差别大也是重要因素, 其也能影响太平洋褶柔鱼资源状况和渔获量的高低^[20]。

渔场主要位置位于日本海中南部海域, 靠近日本西侧海域, 对马岛渔场、隐歧岛等日本列岛一侧渔场。温度是影响海洋生物尤其是柔鱼类活动最重要的环境因子之一^[21], 目前国内对日本海太平洋褶柔鱼的渔场环境研究甚少, 主要集中在我国东海海域。如李建生等^[22]发现东海太平洋褶柔鱼四季生活海域的表层水温为 13.63~28.38℃, 生物量较高区域的表层水温为 22~26℃。杨林林

等^[23]研究表明, 太平洋褶柔鱼生殖群体春、夏、秋、冬 4 个季节在东海均有分布, 生殖群体的分布范围均较广, 集中在东海外海受台湾暖流和黑潮控制的水域。而本研究的区别在于研究对象位于日本海中南部海域, 分析发现, 日本海太平洋褶柔鱼渔场 SST 大致区间为 14~20℃, 最适海表温度为 16~18℃(GAM 模拟结果), 明显低于东海海域的渔场水温, 且其垂直水温变化更明显。研究认为 2010—2013 年每年太平洋褶柔鱼基本以性成熟个体为主, 但每年渔获量稍有波动, 尽管目前还不能完全了解其繁殖群体的资源量增减的主要原因, 但 Sakurai 等^[24]分析了 20 世纪中日本海西南海域和东北海域 20 多年间秋季太平洋褶柔鱼稚仔鱼密度指数与单位捕捞努力渔获量的关系, 发现资源量与稚仔个体数量的出现情况基本上呈正相关。每年的渔场海洋环境不同, 导致其渔场的资源量和渔获量的变化巨大。

4 结论

研究仅对日本海中南部海区 2010—2013 年 4 年的日本海太平洋褶柔鱼渔业的渔获量统计资料与主要环境因子关系进行研究, 发现其中心渔场的分布与空间的经纬度、海表温度、叶绿素、海流等有一定的联系, 并通过 GAM 模型模拟出了渔场最适的海表温度和叶绿素 a 浓度范围, 分别为 16~18℃和 0.37~0.45 mg/m³, 以及集中的时空范围, 其中经度分布在 132°20'E 附近; 纬度分布在 36°30'N 和 37°30'N 这两个位置附近。研究为我国相关渔业生产单位提供了渔场变化规律和渔情信息, 弥补了国内外在日本海海洋环境与渔场关系方面的空白。

参考文献:

- [1] Wang Y G, Chen X J. World's oceans soft fish resources and its economy fishery[M]. Beijing: China Ocean Press, 2005: 160-180.[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: 160-180.]
- [2] Song H T, Ding T M, Xu K D. Economic Cephalopod Resource of East China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2009: 24-31.[宋海棠, 丁天明, 徐开达. 东海经济头足类资源[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 24-31.]

- [3] Zheng Y J, Chen X Z, Cheng J H, et al. Biological Resources and The Environment of East China Sea Continental Shelf [M]. Beijing: China Ocean Press, 2003: 694–703.[郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003: 694–703.]
- [4] Bower J R, Nakamura K, Mori K, et al. Distribution of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) paralarvae near the Kuroshio off southern Kyushu, Japan[J]. Mar Biol, 1999, 135(1): 99–106.
- [5] Yamamoto J, Masuda S, Miyashita K, et al. Investigation on the early stages of the ommastrephid squid *Todarodes pacificus* near the Oki Islands (Sea of Japan)[J]. Bull Mar Sci, 2002, 71: 987–992.
- [6] Choi K, Lee C, Hwang K, et al. Distribution and migration of Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, in the southwestern part of the East(Japan) Sea[J]. Fish Res, 2008, 91(2/3): 281–290.
- [7] 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 J Mar Sci, 2000, 57: 24–30.
- [8] Chen X J. Studies on some biological parameters of *Todarodes pacificus* in the central-southern Japan Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1997, 4(5): 29–32.[陈新军. 浅析日本海中南部海域太平洋褶柔鱼的一些生物学特性[J]. 中国水产科学, 1997, 4(5): 29–32.]
- [9] Kuo W Y, Hsueh J L, Yi C et al. Using remote-sensing data to detect habitat suitability for yellowfin tuna in the western and central Pacific Ocean[J]. Int J Remote Sens, 2012, 33(23): 7507–7522.
- [10] Niu M X, Li X S, Dai F Q, et al. Characteristics of Chilean jackmackerel (*Trachurus japonicus*) resource and Surface temperature in west fishing ground off shore waters of Chile[J]. Marine Environmental Science, 2010, 29(3): 373–377.[牛明香, 李显森, 戴芳群, 等. 智利外海西部渔场智利竹筴鱼资源与海表温度分布特征[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(3): 373–377.]
- [11] Fan W, Cui X S, Shen X Q. North Pacific squid fishing grounds relationship with environmental factors[J]. High Technology, 2004(10): 84–89.[樊伟, 崔雪森, 沈新强. 西北太平洋巴特柔鱼渔场与环境因子关系研究[J]. 高技术通讯, 2004(10): 84–89.]
- [12] Zhu G P, Zhu X Y, Xu Y Y, et al. The spatiotemporal distribution on fishing grounds for Antarctic krill around the South Orkney Islands in austral summer-autumn and its relation to environmental factors based on a generalized additive model[J]. Chinese Journal of Polar Research, 2012, 24(3): 266–273.[朱国平, 朱小艳, 徐怡瑛, 等. 基于 GAM 模型分析夏秋季南奥克兰群岛南极磷虾渔场时空分布及与环境因子之间的关系[J]. 极地研究, 2012, 24(3): 266–273.]
- [13] Yang S L, Ma J J, Wu Y M, et al. Study on the reconstruction of Pacific temperature arena with Argo data based on the Kriging methods[J]. Marine Fisheries, 2008, 30(1): 13–18.[杨胜龙, 马军杰, 伍玉梅, 等. 基于 Kriging 方法 Argo 数据重构太平洋温度场研究[J]. 海洋渔业, 2008, 30(1): 13–18.]
- [14] Zhang H Y, Hu F. Spatial heterogeneity of *Todarodes pacificus* in East China Sea in winter[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(11): 1299–1302.[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.]
- [15] Rosa A L, Yamamoto J, Sakirai 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]. Mar Sci, 2011, 68(6): 1114–1121.
- [16] Song H, Yamashita N, Kidokoro H, et al. Comparison of growth histories of immature Japanese common squid *Todarodes pacificus* between the autumn and winter spawning cohorts based on statolith and gladius analyses[J]. Fish Sci, 2012, 78(5): 785–790.
- [17] Hideaki K, Yasunori S. Effect of water temperature on gonadal development and emaciation of Japanese common squid *Todarodes pacificus* (Ommastrephidae)[J]. Fish Sci, 2008, 74: 553–561.
- [18] Kasahara S. Description of offshore squid angling in the Sea of Japan, with special reference to the distribution of common squid (*Todarodes pacificus* Steenstrup) and on the techniques for forecasting fishing conditions[J]. Bull Japan Sea Rag Fish Res Lab, 1978, 29: 179–199.
- [19] Yamamoto J, Shimura T, Ryosuke U, et al. Vertical distribution of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) paralarvae near the Oki Islands, southwestern Sea of Japan[J]. Mar Biol, 2007, 153(1): 7–13.
- [20] Goto T, Kidokoro H, Kasahara S. Changes in the distribution and abundance of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda, Ommastrephidae) paralarvae in the southwest Sea of Japan with changing stock levels[J]. Fish Sci, 2002, 68(1): 198–201.
- [21] Tang F H, Jin S F, Zhang S M, et al. Study for marine environmental elements on spatio-temporal distribution of neon flying squid in the north Pacific fishing ground[J]. China Environmental Science, 2014, 34(8): 2093–2100.[唐峰华, 靳少非, 张胜茂, 等. 北太平洋柔鱼渔场时空分布与海洋环境要素的研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34(8): 2093–

- 2100.]
- [22] 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.[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.]
- [23] Yang L L, Jiang Y Z, Cheng J H. Spatial distribution of mature stock of Pacific squid, *Todarodes pacificus* and its relation to environment factors in the East China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(7): 1825–1833.[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.]
- [24] Sakurai Y, Bower J R, Nakamura Y, et al. Effects of temperature on development and survival of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) paralarvae[J]. Am Malacol Bull, 1996, 13(1/2): 89–95.

Influence of marine environment factors on temporal and spatial distribution of Japanese common squid fishing grounds in the Sea of Japan

TANG Fenghua^{1,2}, SHI Yunrong¹, ZHU Jinxin³, WU Zuli¹, WU Yumei^{1,2}, CUI Xuesen^{1,2}

1. Key Laboratory of East China Sea and Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture; East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;
2. Key and Open Laboratory of Remote Sensing Information Technology in Fishing Resource, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;
3. China Aquatic Products Zhoushan Marine Fisheries Corporation, Zhoushan, 316101, China

Abstract: Because of changing fishing grounds for Japanese common squid, this study analyzed marine environment data retrieved from remote sensing information technology, production data of fishing catches in Japan Sea from November to December in 2010–2013 were analyzed to determine resource abundance, change of time and space of fishing ground centroids, and the relationships with influential environmental factors. The analyzed fisheries were located in the central and southern sea waters in the Sea of Japan. Using a production-centered method, statistical interpolation, and mathematical statistics, a Generalized additive models (GAM) model was established based on Catch per Unit Effort (CPUE) as the dependent variable and main environmental factors as the explanatory variables. Previous studies showed that the fishery centroids slightly differ every year, concentrated around 132°20'E and between 36°30'N and 37°30'N. The model also showed that optimal sea surface temperature of Japanese common squid fishing grounds was 16–18°C, and optimal chlorophyll a concentration was 0.37–0.45 mg/m³. Regression analysis between CPUE and marine environmental data indicated that sea surface temperature and the spatial distribution factor on the CPUE were highly significant; in addition, chlorophyll a concentration was not significant. Sea surface temperature was relatively high in 2010–2011 but lower in 2012–2013. Chlorophyll a concentrations were lower in 2010 than in other years. Current partition was more apparent from 2010–2011; in the north, the Tsushima warm current and east North Korea warm current were strong from 2010–2011. Current partition was not obvious from 2012–2013, when the Rimán cold current was stronger in the south. The scope of environmental differed over 4 years, which included Tsushima warm current; when the east North Korea warm current and Rimán cold current flowed across each other, favorable conditions were provided for fishery formation. Different factors affected monsoon intensity and global climate in different years. Each year, the ocean fishery environmental factors were slightly different, and the influence on fishery resources was difficult to estimate.

Key words: Sea of Japan; Japanese common squid (*Todarodes pacificus*); marine environment; sea surface temperature; chlorophyll a concentration

Corresponding author: CUI Xuesen. E-mail: cuixuesen@eastfishery.ac.cn