

北太平洋柔鱼渔场资源与海洋环境关系的季节性变化

唐峰华^{1,2}, 樊伟^{1,2}, 伍玉梅^{1,3}, 史赞荣¹, 岳冬冬¹, 崔雪森^{1,3*}

(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,渔业资源遥感信息技术重点开放实验室,上海 200090; 3.科学技术部国家遥感中心渔业遥感部,上海 200090)

摘要:利用我国 2002—2012 年 5—11 月北太平洋鱿钓渔业的生产资料,结合同期卫星遥感反演技术获取的海表温度(SST)、海水叶绿素(Chl-a)、海流等数据,运用产量重心法和广义加性模型(GAM),分析了北太平洋公海柔鱼渔场渔获量变化与海洋环境关系的季节性变化。研究结果显示北太平洋柔鱼 5—6 月渔场重心位于中、东部渔场,在 168°~171°E、38°~39°N 的范围;7—11 月集中在西部渔场,重心位于 150°~160°E、40°~44°N 的范围,渔场重心伴随着明显的季节性变化。通过 GAM 模型综合分析发现整个渔汛期的北太平洋柔鱼渔场最适 SST 范围为 14~19 °C;最适 Chl-a 范围为 0.22~0.55 mg·m⁻³;集中的经度范围为 154°~157°E;集中出现的纬度范围为 41°~44°N。柔鱼活动呈现每年北上索饵洄游和南下活动产卵洄游,与环境因素的关系表现出不同的特征,尤其是 SST 相关性最好,从 5 月到 9 月 SST 与渔场重心的关系在北上时呈正相关,从 9 月到 11 月南下时为负相关,呈现明显的季节性变化。另外海流对渔场的影响甚为重要,高产渔场一般位于黑潮、亲潮交汇区域的黑潮前锋、亲潮向背一侧附近,随着暖、寒流的此消彼长而变化。

关键词:柔鱼渔场;北太平洋;海洋环境;海表温度;GAM 模型

中图分类号:S931.3

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2015)03-0242-08

doi: 10.13254/j.jare.2014.0365

Seasonal Changes of Relationship Between Marine Environment and Squid Fishing Resources in North Pacific Ocean

TANG Feng-hua^{1,2}, FAN Wei^{1,2}, WU Yu-mei^{1,3}, SHI Yun-rong¹, YUE Dong-dong¹, CUI Xue-sen^{1,3*}

(1.Key Laboratory of East China Sea & 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 Laboratory of Fishery Remote Sensing and Information, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; 3.Department of Fisheries Remote Sensing National Remote Sensing Center of China, Shanghai 200090, China)

Abstract: The relationship of marine environment and squid fishing fluctuation in North Pacific Ocean was analyzed with the method of production gravity center and generalized additive model(GAM), through the surface temperature, sea chlorophyll and ocean current data got by satellite remote sensing inversion technology, and the statistic of boat fishing in the North Pacific from 2002 to 2012. The results showed that gravity center of fisheries was located in the eastern and central fishing grounds in May and June. The range was 168°~171°E, 38°~39°N. Gravity center of fisheries was located in western traditional fishing grounds from July to November with range of 150°~160°E, 40°~44°N. Gravity center of fisheries had obvious seasonal changes. GAM module analysis indicated that appropriate sea surface temperature scope of high squid fisheries was 14~19 °C. The appropriate chlorophyll concentration scope of high squid fisheries was 0.22~0.55 mg·m⁻³. The distribution range was 154°~157°E in longitude, and 41°~44°N in latitude. There was a feeding migration to north and spawning migration to south every year, its relationship with environmental factors showed different characteristics, especially the best correlation of sea surface temperature. The gravity center of fisheries and sea surface temperature were positively correlated during the northward migration from May to September, while negatively correlated during the south migration from September to November. It showed obvious seasonal changes. Current also had an important impact on fisheries. Under the interaction of Kuroshio and Oyashio, high catch fishing grounds usually located in the forward of Kuroshio and nearby the northern side of Oyashio, with the shift of warm and cold current changing.

Keywords: fisheries of neon flying squid; North Pacific Ocean; marine environment; sea surface temperature (SST); GAM model

收稿日期:2014-12-23

基金项目:国家科技支撑计划项目(2013BAD13B01);国家“863”计划项目(2012AA092303);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资助项目(2012T07)

作者简介:唐峰华(1982—),男,助理研究员,研究方向为海洋生态和渔业遥感学研究。E-mail: f-h-tang@163.com

*通信作者:崔雪森 E-mail: cui1012@sh163.net

卫星遥感在海洋渔业的应用从单一要素已进入多元分析及综合应用阶段,利用遥感信息可以获得影响海洋理化和生物过程的一些参数,如海表温度、叶绿素浓度、海洋锋面的位置及水团的运动趋势等,通过对环境因素的分析,可以实时、快速地推测、判断和预测相关渔场^[1]。北太平洋巴特柔鱼(*Ommastrephes bartramii*),中文简称柔鱼,广泛分布于三大洋,目前规模性开发利用的海域主要在北太平洋公海^[2],我国于 1994 年进行规模性开发,年产量为 3 万~10 万 t,是我国远洋渔业的重要组成部分,渔场一般分布于黑潮与亲潮交汇混合区域以及混合水向东延伸的亚极海锋面混合区^[3]。虽然早期国内外学者对其渔场形成与海洋环境关系的研究较多,如 Murata 等^[4]、Yatsu 等^[5]、Nagasawa 等^[6]、沈新强等^[7]、陈新军等^[8-10],而且也有利用广义可加模型(GAM)来研究北太平洋柔鱼资源状况的报道^[11-13],主要集中在不同月份的情况分析,但是由于 2002 年中日渔业协定生效的影响,我国渔船退出日本专属经济区,至今只在北太平洋公海海域(145°~180°E、38°~46°N)进行鱿钓生产作业,所以 20 世纪 90 年代的生产数据对研究目前的渔场资源与环境关系有一定的干扰,而且作为一年生的软体动物,柔鱼群体结构时刻更新,资源密度及群体结构状况易受海况变化、捕捞水平等因素影响,年间波动较大^[14]。针对这样的现状,本研究利用 2002—2012 年近十几年的北太平洋柔鱼生产统计数据,结合同期卫星遥感反演获取的海洋环境数据,采用 GAM 模型对柔鱼渔获量与主要环境因子变量(海表温度、叶绿素、海流及空间位置)的季节性变化关系进行了分析,为我国北太平洋公海海域后期的鱿钓生产作业和渔情预报提供技术支持和保障。

1 材料和方法

1.1 作业海域和生产数据来源

生产资料包括作业日期、空间位置、日产量,由中国远洋渔业分会鱿钓工作组提供,具体来源于北太平洋鱿钓船上的生产信息日报。图 1 为作业渔场,主要集中在北太平洋的公海海域,空间位置范围为:145°~180°E、38°~46°N,作业时间为每年的 5—11 月,其中 5—6 月渔汛期初期作业的船只较少,一般集中在中、东部渔场,将 5—6 月视一个单独的季节分析。

1.2 海洋环境数据来源

北太平洋公海作业海域海表温度(SST)、叶绿素 a 数据来源于 NASA 水色遥感网站(<http://oceans.gsfc.nasa.gov/>),海流数据运用 HYCOM 模式计算得来。数据覆盖的空间位置为 145°~180°E、38°~46°N,空间分辨率为 0.5°×0.5°,时间分辨率为月,时间跨度范围 2002—2012 年。

1.3 模型及数据处理方法

(1)利用单位捕捞努力量(Catch Per Unit Effort, t·d⁻¹),表示北太平洋柔鱼的资源丰度^[15]:

$$CPUE = \frac{C}{D} \quad (1)$$

式中: C 为捕捞量(t); D 为总作业天数(d)。

(2)利用产量重心法研究中心渔场的空间变化^[16]。对生产统计资料进行数据标准化处理,按式(2)计算渔获量重心。

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

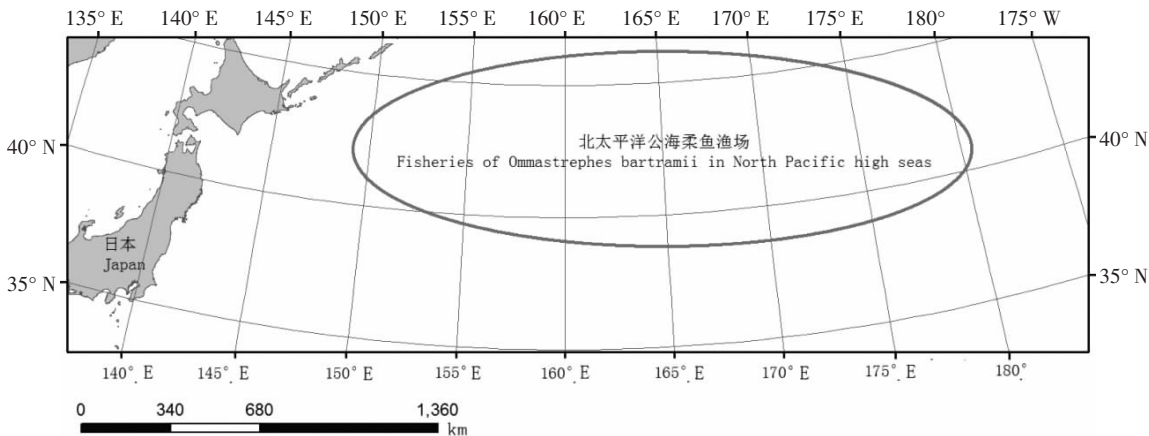


图 1 中国远洋渔业北太平洋公海鱿钓作业渔场

Figure 1 Fishing grounds of neon flying squid in North Pacific Ocean of China pelagic fishery

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

式中: X 、 Y 分别为产量重心的经、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 天的产量。

(3) 广义加性模型 (Generalized additive models, GAM) 最早由 Hastie 等^[17]提出, 是在广义线性模型和加性模型的基础上发展而来的, 是一种非参数化的多元线性回归方法, 非参数函数可通过数据平滑技术处理得到, 其中由于叶绿素数据变化幅度较大, 为了使数据更加平稳和消弱模型的共线性和异方差性, 将其转化成对数函数的形式。

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^[18], 其表达式如下:

$$\ln(cpue+0.01) = s(sst) + s(\ln(chl+0.01)) + s(longitude) + s(latitude) + \varepsilon \quad (4)$$

为防止取对数时零值出现, 先将 $CPUE$ 和 $Chl-a$ 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; $Longitude$ 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) 将所有年份的渔获量进行 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 分辨率的累计与海流叠加, 将所有海流数据均值化与所有渔获量的叠加平面展示, 矢量箭头一般按均匀格点分布, 适合表现局部小范围的海流大小和方向; 流线一般以非封闭的密集的光滑曲线形式存在, 适合表现大尺度的海水输送方向和流场态势。

2 结果与分析

2.1 渔获量的概况

2002—2012 年我国北太平洋公海海域的鱿钓年

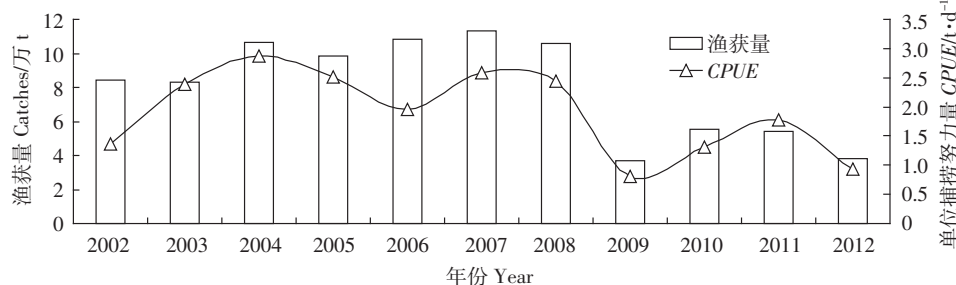


图 2 2002—2012 年我国北太平洋柔鱼的渔获量与 $CPUE$ 分布

Figure 2 Distribution of fish catch and $CPUE$ of neon flying squid in North Pacific Ocean in 2002—2012

渔获量有一定的幅度波动, 图 2 为各年度渔获量和 $CPUE$ 的分布, 其中渔获量最高的是 2007 年达到 11.31 万 t, 最低的则是 2009 年的 3.68 万 t。 $CPUE$ 分布区间为 $0.81 \sim 2.87 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$, 所有年份平均 $CPUE$ 为 $1.90 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

2.2 渔场重心的季节变化

通过产量重心法计算发现 (图 3), 北太平洋渔场 5—6 月渔场重心在 $168^\circ \sim 171^\circ \text{E}$ 、 $38^\circ \sim 39^\circ \text{N}$ 的范围内, 为中东部渔场; 而 7—11 月则集中在 $150^\circ \sim 160^\circ \text{E}$ 、 $40^\circ \sim 44^\circ \text{N}$ 的范围, 为传统的西部渔场, 其中 8—10 月渔场重心的范围相对集中, 渔场在此时间段内变化相对稳定。

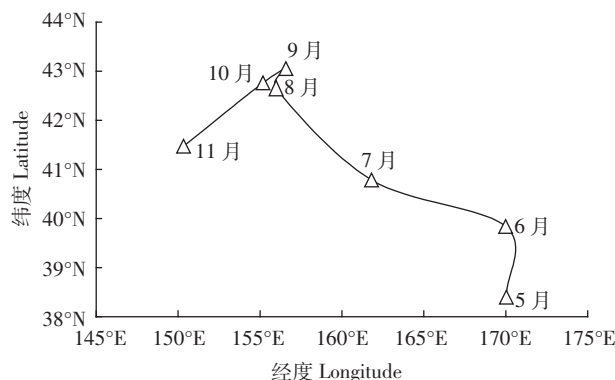
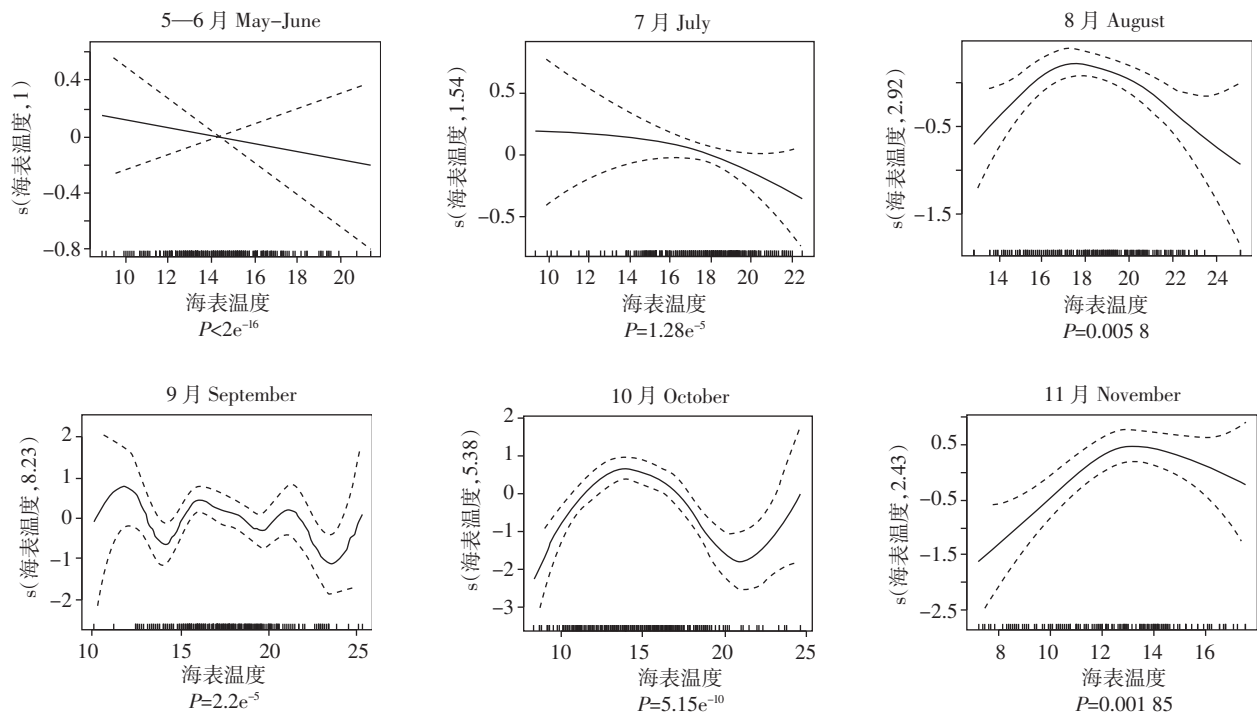


图 3 北太平洋柔鱼渔场重心的季节变化趋势

Figure 3 Seasonal variation trend of gravity center of neon flying squid in North Pacific Ocean

2.3 海表温度与渔获量的季节性分布

通过对各月份的 SST 与渔获量的广义回归拟合得到, 两者相关性具有明显季节性分布。如图 4 所示, 其中 5—6 月的最适合生产的 SST 范围为 $12 \sim 17^\circ \text{C}$; 7 月为 $14 \sim 20^\circ \text{C}$; 8 月为 $15 \sim 22^\circ \text{C}$; 9 月为 $14 \sim 21^\circ \text{C}$; 10 月为 $13 \sim 18^\circ \text{C}$; 11 月为 $10 \sim 15^\circ \text{C}$ 。渔场最适合生产的 SST 范围随着季节变化, 具有先上升 (5—8 月) 后下降 (9—11 月) 的明显规律。通过北太平洋柔鱼渔场各月份 SST 的显著检验系数来看, 回归都显著 ($P < 0.05$),



虚线表示 95%一致性界限上下限的置信区间;实线表示环境因子与渔获量分布关系拟合曲线。下同

图 4 渔场各月份渔获量与 SST(°C)的 GAM 模拟

Figure 4 GAM simulation of fishery catches and sea surface temperature (°C) in each month

表示了 SST 随季节变化与渔获量有密切的相关性。

2.4 叶绿素 a 浓度与渔获量的季节性分布

通过对各月份的 Chl-a 浓度与渔获量的广义回归拟合得到,两者的关系并没有显示出明显的季节性变化。如图 5 所示,其中 5—6 月的最适合生产的 Chl-a 浓度范围为 0.20~0.40 mg·m⁻³;7 月为 0.20~0.50 mg·m⁻³;8 月为 0.20~0.40 mg·m⁻³;9 月为 0.10~0.60 mg·m⁻³;10 月为 0.20~0.60 mg·m⁻³;11 月为 0.10~0.50 mg·m⁻³。通过系数显著性检验,发现各月份在渔获量上的回归均显著($P<0.05$),根据以上每月最适合生产的 Chl-a 分布范围,虽然没有呈现明显的季节变化,但是当月渔获量分布与各月份内的 Chl-a 浓度有一定关系。

2.5 海流与渔获量的分布

北太平洋柔鱼渔场的位置由黑潮第三、四、五分支与亲潮第三、四、五分支及其延续体相互作用而形成,由于冷、暖水势力在交汇处形成流隔,冷水以舌形嵌入暖水中,舌锋缘处流隔丰富,等温线密集,水温水平梯度较大,所以一般在亲潮寒流向背一侧,是渔获量密集的区域。

2.6 整个渔汛期的最适环境因子

将整个渔汛期的环境因子与所有对应渔获量利

用 GAM 模型进行回归(图 6),综合分析发现北太平洋柔鱼渔场的最适 SST 为 14~19 °C;最适 Chl-a 浓度为 0.22~0.55 mg·m⁻³;集中经度为 154°~157°E;集中纬度为 41°~44°N。通过整个渔汛期渔获量与海洋环境的 GAM 在回归模型中经 F 检验(表 1)为均显著($P<0.01$)。

表 1 整个渔汛期渔场环境因子与渔获量 GAM 模拟的检验系数值和显著性

Table 1 Inspection coefficient value and significance for GAM simulation of fish production and environmental factors

渔场 Fishing grounds	环境因子 Environment	F 检验 F -test	P 值 P -value
北太平洋公海 High seas in North Pacific Ocean	海表温度 SST	11.60	2e ⁻¹⁶ ***
	叶绿素 a 浓度 Chl-a	3.50	0.002 47 **
	经度 Longitude	5.68	9.16e ⁻⁸ ***
	纬度 Latitude	40.59	2e ⁻¹⁰ ***

3 讨论

3.1 柔鱼渔获量的年际变化

从图 2 可知,2002—2008 年柔鱼渔获量维持在一个较高水平区间,而 2009—2012 年渔获产量较低,最低为 2009 年产量仅 3.68 万 t,CPUE 也仅为

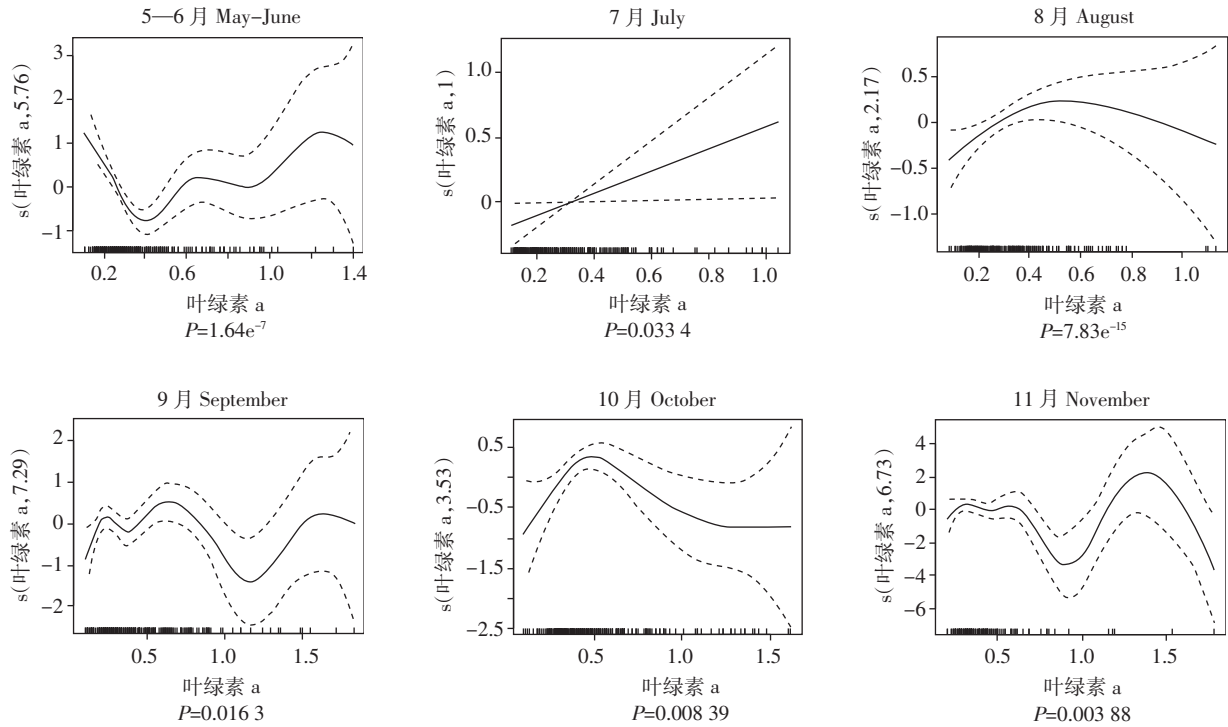


图 5 渔场各月份渔获量与 Chl-a 浓度($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)的 GAM 模拟

Figure 5 GAM simulation of fishery catches and chlorophyll a concentration ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) in each month

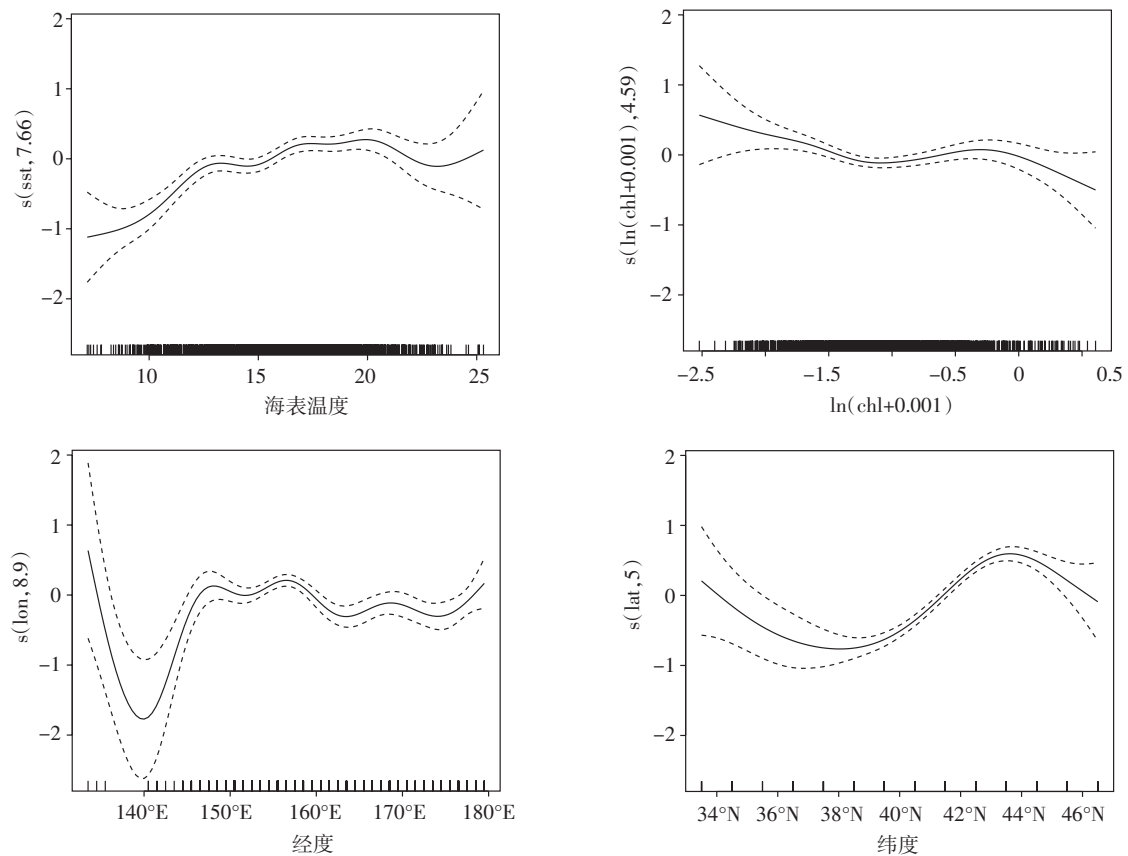


图 6 整个渔汛期渔场渔获产量与环境因子的 GAM 模拟结果

Figure 6 GAM simulation results of fish production and environmental factors in fisheries

$0.81 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 。造成渔场柔鱼资源量年际变化最重要的因子之一就是海流,黑潮势力的强弱及其与亲潮交汇的此消彼长对柔鱼资源分布和渔场的形成均会产生影响^[2]。黑潮、亲潮海流的强弱变化,使得在不同年份同一海区的海表温度差异显著、升温的缓急程度也不相同,从而影响渔期的迟早和长短。王文字等^[19]利用地理信息系统和遥感技术研究表明,黑潮、亲潮两大海流的交汇引起的海水温度和浮游生物的变化,是柔鱼渔场空间格局形成的关键因素。日本学者 Kano^[20]绘制了 2001 年黑潮流向的位置,黑潮逆流区表层以下观测到小范围不规则水流的存在,造成了中层水域的温度波动。正如 1998 年黑潮势力强,渔汛提前,且柔鱼分布偏北,渔场稳定获得高产^[21]。

另外渔获量的大小取决于渔期的迟早和渔期的持续时间。Sugimoto 等^[22]发现黑潮大弯曲时柔鱼卵输送到孵化场的比率要高,但黑潮入侵导致的觅食环境恶劣可能造成生存率会下降。由于黑潮大蛇行与亲潮交汇时势力偏弱,渔汛期渔场的流隔不明显,位置波动较大,不利于柔鱼生长和集群。2009 年黑潮出现的情况跟上述 2001 年类似,当年渔汛旺期 8—10 月传统作业渔场的 SST 比往年偏低约 1°C ,水温偏低导致该海区渔汛期变短,大部分柔鱼潜入较深水层捕捞难度增大^[23],可能是产量大幅下滑的一个因素。而 2011 年 3 月的日本海啸造成福岛核泄漏事故使渔汛期缩短,潜在危险增大等,也是造成最近几年产量低下的一个原因^[24]。而早期 2002—2008 年产量正常或较高,说明其资源量丰富,渔汛期来得早,持续时间较长。根据 Murata 等^[25]估算,柔鱼的自然死亡系数为 0.07,表明其可捕捞资源量较大;20 世纪 80 年代流刺网渔业的高强度捕捞,渔获率高达 0.8 左右,其资源未出现过捕捞的现象,只不过上下波动而已。但现在转变为灯光诱钓,以人工手钓为主,作业方式有了巨大的改变,渔获量也有了较大的变动。有学者认为资源量下降是高度捕捞所引起^[26],出现波动的原因是由于自然因子还是捕捞过度,还是两者共同的作用,有待更深入的研究。

3.2 渔场海洋环境的季节性变化

通过 GAM 模型的综合分析显示,5—6 月份暖水势力较弱导致海水温度较低,渔获产量普遍较低;随着 7、8 月份暖水北上,柔鱼也北上洄游,渔场多位于暖水区一侧,柔鱼高产区 SST 相应也较高;9 月份冷暖水势力均衡,柔鱼渔场分布较广,冷水域和暖水域都有分布;10、11 月份冷水势力增强南下,柔鱼渔场

多位于冷水一侧,因此冷水区渔获产量较高,而高温的暖水区则渔获产量就较低;可见渔获产量与 SST 的关系与冷暖水系的消长变化相当一致。从 Chl-a 浓度(图 5)分析看,5—11 月份 Chl-a 浓度同渔获产量的关系没有明显的季节变化,分布在 $0.10 \sim 0.60 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 范围内,但不同月份有一定差异,虽然不是主要预测指标,但可用 Chl-a 的分布情况来辅助水温用于分析暖寒流交汇区域的变化情况。

从渔获量与经度和纬度的关系分析(图 3),渔获量与纬度的关系较密切,5—6 月在中东部海域随着水温上升,重心逐步向北移动;7 月份以后渔场重心转移到传统西部渔场,经度在 160°E 左右,渔获高产海域主要位于 $40^\circ \sim 41^\circ\text{N}$ 线附近;8 月份重心向西北方向移动,渔获量随纬度的升高而增大;9 月份重心向东北方向移动, 42°N 以北海域渔获量随纬度升高而增大;10 月份重心向西南移动, 42°N 以北海域渔产量随纬度降低而增加;11 月份随着冷水势力增强,渔场重心继续向西南移动,渔获量随纬度的降低而增大。可见中心渔场在空间上表现出一定的季节性变化。

本研究用模型对各季度(5—11 月份)的柔鱼产量和有关的环境变量 SST、Chl-a 浓度、经度、纬度进行数据分析,不但得到了各月份中心渔场的海洋环境适合区间,而且对整个渔汛期进行综合分析得到了整个渔汛期的最适 SST 为 $14 \sim 19^\circ\text{C}$;最适 Chl-a 浓度为 $0.22 \sim 0.55 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$;集中经度为 $154^\circ \sim 157^\circ\text{E}$;集中纬度为 $41^\circ \sim 44^\circ\text{N}$ 。之前相关文献,如陈新军等^[12]、田思泉等^[13]、樊伟^[27]的报道中并未提及整个渔汛期的最适环境范围,但本研究对各月份的研究结果与他们基本接近。

3.3 GAM 模型在渔场分析中的优势和局限

GAM 模型可将多个环境变量综合起来进行分析,本研究通过柔鱼 CPUE 结合 SST、Chl-a 及时空变化等影响因子的相关关系开展分各季度和总体的定量分析,尽管缺少形式上的推理过程,但是模拟的结果和实际生产还是比较接近的,可信度较好($P < 0.05$)。因为一般在分析渔业资源时,数据量都较大,影响渔业资源的变量众多,渔业数据的分布形式也很难确定,因此把 GAM 模型应用在渔业上相对具有很大优势。但不足的是 GAM 模型缺少因子交互效应,如年与月的交互效应、年份与经度的交互效应等^[28],在模型运用上有待进行更深入的提高。因此持续增加海洋环境数据的收集和丰富分析模型功能,将有益于进一

步揭示环境因子与渔获量的关系。

4 结论

研究利用 GAM 模型不但对各季度北太平洋柔鱼渔场 CPUE 与 SST、Chl-a 和空间位置的关系进行分析,而且对整个渔汛期做了综合模拟,得到了总体的最适 SST 为 14~19℃;最适 Chl-a 浓度为 0.22~0.55 mg·m⁻³;集中经度为 154~157°E;集中纬度为 41°~44°N。柔鱼活动呈现每年北上索饵洄游和南下活动与环境因素的关系表现出不同的特征,尤其是 SST 相关性最紧密,SST 与渔场重心的关系在北上洄游时呈正相关,南下时为负相关。另外海流对渔场的影响甚为重要,高产渔场一般位于黑潮、亲潮交汇区域的黑潮前锋、亲潮向背一侧附近,随着暖、寒流的此消彼长而变化。

致谢: 本文得到中国远洋渔业分会鱿钓工作组的大力支持,谨致谢忱!

参考文献:

- [1] 于杰,李永振.海洋渔业遥感技术及其渔场渔情应用进展[J].南方水产,2007,3(1):62-68.
YU Jie, LI Yong-zhen. Recent progress on remote sensing technology for marine fisheries in China[J]. *South China Fisheries Science*, 2007, 3(1): 62-68. (in Chinese)
- [2] 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,2005:124-156.
WANG Rao-geng, CHEN Xin-jun. Economy soft fish resources and fishing in the world ocean[M]. Beijing: China Ocean Press, 2005: 124-156. (in Chinese)
- [3] 高崇义.日本海和西北太平洋我国鱿钓渔业渔场与海洋环境的关系[J].远洋渔业,1996(3):11-17.
GAO Chong-yi. The sea of Japan and the Pacific northwest China squid fishing grounds to the marine environment[J]. *Pelagic Fishery*, 1996(3): 11-17. (in Chinese)
- [4] Murata M, Hayase S. Life history and biological information on flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the North Pacific Ocean[J]. *Bull Int North Pacific Fish Commun*, 1993, 53: 147-182.
- [5] Yatsu A, Watanabe T. Interannual variability in neon flying squid abundance and oceanographic conditions in the Central North Pacific Ocean, 1982-1992[R]. Tokyo: Bull Natl Res Inst Far Seas Fish, 1996, 33: 123-138.
- [6] Nagasawa K, Mori J, Okamura H. Parasites as biological tags of stocks of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the North Pacific Ocean[C]//Okutani, T. (Ed.), Contributed papers to international symposium on large pelagic squids. Tokyo: Japan Marine Fishery Resources Research Center, 1998: 49-64.
- [7] 沈新强,樊伟,崔雪森.西北太平洋柔鱼渔场分布与水温关系的研究[J].海洋水产研究,2004,25(3):10-14.
SHEN Xin-qiang, FAN Wei, CUI Xue-sen. Study on the relationship of fishing ground distribution of *Ommastrephes Bartrami* and water temperature in the Northwest Pacific Ocean[J]. *Marine Fisheries Research*, 2004, 25(3): 10-14. (in Chinese)
- [8] 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[J].上海水产大学学报,1997,6(4):263-267.
CHEN Xin-jun. An analysis on marine environment factors of fishing ground of *Ommastrephes Bartrami* in Northwestern Pacific[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 1997, 6(4): 263-267. (in Chinese)
- [9] 陈新军,田思泉.西北太平洋海域柔鱼的产量分布及作业渔场与表温的关系研究[J].中国海洋大学学报,2005,35(1):101-107.
CHEN Xin-jun, TIAN Si-quan. Study on the catch distribution and relationship between fishing ground and surface temperature for *Ommastrephes Bartrami* in the Northwestern Pacific Ocean[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2005, 35(1): 101-107. (in Chinese)
- [10] 陈新军,田思泉.西北太平洋海域柔鱼渔场分析探讨[J].渔业现代化,2001(3):3-6.
CHEN Xin-jun, TIAN Si-quan. Analysis discussion of neon flying squid in Northwest Pacific Ocean[J]. *Journal of Fisheries Modernization*, 2001(3): 3-6. (in Chinese)
- [11] 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.
FAN Wei, CUI Xue-sen, SHEN Xin-qiang. Study on the relationship between the neon flying squid, *Ommastrephes bartrami*, and ocean environment in the Northwest Pacific Ocean[J]. *High Technology Communication*, 2004(10): 84-89. (in Chinese)
- [12] 陈新军,田思泉.西北太平洋柔鱼资源丰度时空分布的 GAM 模型分析[J].集美大学学报(自然科学版),2006,11(4):295-300.
CHEN Xin-jun, TIAN Si-quan. Temp-spatial distribution on abundance index of nylon flying squid *Ommastrephes bartrami* in the north-western pacific using generalized additive models[J]. *Journal of Jimei University (Natural Science)*, 2006, 11(4): 295-300. (in Chinese)
- [13] 田思泉,陈新军,冯波,等.西北太平洋柔鱼资源丰度与栖息环境的关系及其时空分布[J].上海海洋大学学报,2009,18(5):586-592.
TIAN Si-quan, CHEN Xin-jun, FENG Bo, et al. Spatiotemporal distribution of abundance index for *Ommastrephes bartrami* and its relationship with habitat environment in the Northwest Pacific Ocean[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, 18(5): 586-592. (in Chinese)
- [14] 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]. *Bulletin of the Japan Sea Regional Fisheries Research Laboratory*, 1978, 29: 179-199.
- [15] 化成君,张衡,伍玉梅,等.中东太平洋金枪鱼延绳钓中心渔场的时空变化[J].生态学报,2014,33(5):1243-1247.
HUA Cheng-jun, ZHANG Heng, WU Yu-mei, et al. Spatiotemporal patterns of fishing grounds of tuna longline fishery in the mid-eastern Pacific Ocean[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(5): 1243-1247. (in Chinese)
- [16] 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.
- NIU Ming-xiang, LI Xian-sen, DAI Fang-qun, 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. (in Chinese)
- [17] Hastie T J, Tibshirani R J. Generalized additive models[M]. New York: Chapman and Hall, 1990.
- [18] 朱国平, 朱小艳, 徐治瑛, 等. 基于 GAM 模型分析夏秋季南奥克尼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.
- ZHU Guo-ping, ZHU Xiao-yan, XU Yi-ying, 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. (in Chinese)
- [19] 王文宇, 周成虎, 邵全琴, 等. RS/GIS 支持下的柔鱼中心渔场时空动态迁移研究[J]. 高技术通讯, 2003, 11: 90-93.
- WANG Wen-yu, ZHOU Cheng-hu, SHAO Quan-qin, et al. An application of RS/GIS on study on the migration dynamics of *Ommastrephes Bartrami*[J]. *High Technology Letters*, 2003, 11: 90-93. (in Chinese)
- [20] Kano Y. Monthly ocean report (108)[R]. Tokyo: Japan Meteorological Agency, 2001: 10.
- [21] 王志联, 徐启春, 刘秦玉. 北太平洋 SST 的时空分布特征及其与黑潮大弯曲和 El-Nino 的关系[J]. 青岛海洋大学学报, 1993, 23(3): 1-8.
- WANG Zhi-lian, XU Qi-chun, LIU Qin-yu. The space and time characteristics of SST in the northern Pacific and its relationship to Kuroshio meander and El-Nino event[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1993, 23(3): 1-8. (in Chinese)
- [22] Sugimoto T, Kobayashi M. Numerical studies on the influence of the variations of the Kuroshio path on the transport of fish eggs and larvae [J]. *Geodjournal*, 1988, 16(1): 113-117.
- [23] 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[J]. 海洋技术, 2011, 30(2): 7-12.
- TANG Feng-hua, CUI Xue-sen, FAN Wei, et al. The study on relationship of neon flying squid yield in North Pacific Ocean with marine environment by remote sensing[J]. *Ocean Technology*, 2011, 30(2): 7-12. (in Chinese)
- [24] 唐峰华, 王锦龙, 刘丹彤, 等. 日本福岛核泄漏典型人工放射性核素在北太平洋柔鱼渔场的分布[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(10): 2066-2071.
- TANG Feng-hua, WANG Jin-long, LIU Dan-tong, et al. Artificial radionuclide distribution in the North Pacific neon flying squid caused by Fukushima nuclear leak[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(10): 2066-2071. (in Chinese)
- [25] Murata M, Yasuhiko S. Source property value of *Ommastrephes bartrami* in the Northwest Pacific Ocean[R]. North Water Research Report, 1982: 1-10.
- [26] 沈建华, 韩士鑫, 崔雪森, 等. 北太平洋巴特柔鱼渔业 2001 年低产原因分析[J]. 水产学报, 2003, 27(4): 350-357.
- SHEN Jian-hua, HAN Shi-xin, CUI Xue-sen, et al. An explanation on poorer harvest of flying squid in the North Pacific in 2001[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27(4): 350-357. (in Chinese)
- [27] 樊 伟. 卫星遥感渔场渔情分析应用研究——以西北太平洋柔鱼渔业为例[D]. 上海: 华东师范大学博士论文, 2004.
- FAN Wei. A study application of satellite remote sensing in marine fishing-ground analysis and fishing condition forecasting: A case of *Ommastrephes bartrami* fisheries in Northwest Pacific Ocean[D]. Shanghai: Doctoral Dissertation of East China Normal University, 2004. (in Chinese)
- [28] William A, Walsh, Pierre K. Generalized additive model and regression tree analysis of blue shark (*Prionace Glauca*) catch rates by the Hawaii-based commercial longline fishery[J]. *Fisheries Research*, 2001, 53: 115-131.