

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.16142

中西太平洋金枪鱼围网渔场变动的预报分析

杨晓明^{1, 2, 3, 4}, 戴小杰^{1, 2, 3, 4}, 田思泉^{1, 2, 3, 4}, 许柳雄^{1, 2, 3, 4}

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. 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306;
4. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306

摘要: 中西太平洋赤道海域是中国围网渔业最主要的作业海域。由于渔场存在年际间的剧烈变动, 掌握渔场时空变动的预报越来越重要。本研究通过上海开创公司围网2011–2014年的渔捞日志数据, 从Niño3.4指数和TAO数据(海洋表面温度和海表风)获得的海洋环境变量, 采用时滞相关分析方法, 探讨渔场变动和渔场环境变动的规律; 寻找合适的预报因子和延迟数; 建立回归预报模型。在2011–2014年各月海洋环境分布图和渔场中心分布图中, 发现渔场中心的变动和风场、温度场变动都有明显的关系。在时滞相关分析中发现: (1)中心渔场经度和180°E与165°E平均纬向风速异常成正相关, 相关系数分别达0.79和0.82, 前者滞后1月, 后者同步; 和180°E与165°E平均经向风速异常成负相关, 相关系数分别为-0.54和-0.41, 前者滞后2月, 后者同步; 和29°C等温线经度最大相关系数0.75, 同步; 和Niño3.4指数同步, 相关系数为0.47。(2)中心渔场纬度与180°E平均纬向风速异常、165°E平均经向风速异常都是正相关, 相关指数分别0.55和0.63, 延迟2个月和1个月; 而与该两处的纬向风速变异负相关, 相关性都低于0.5, 延迟3个月和同步; 和Niño3.4指数相关性不显著。(3)通过逐步最优回归拟合, 获得了中心渔场的回归方程分别为: $GC_Lon=137.534+2.36159UA_{165}+0.159159SST_{29}$, $GC_Lat=0.236156+0.51587UA_{165(t-1)}-1.12848VA_{165}$ 。在渔场经度模型中, 最优模型包括了165°E平均经向风速异常和29°C等温线经度值, 模型相关指数平方 R^2 为0.72; 而经度模型中, 最优模型包括了165°E平均经向风速异常和纬向风速异常, 其相关指数平方 R^2 为0.34。在预报模型预报结果中, 预报结果和实际值在经度和纬度上都存在2度以上误差, 产生差异原因是船队的在东部海域购买作业许可天数不够, 而西部有余所致; 模型的预报结果和中国租赁船队的渔场中心经度误差在0.5°以内, 纬度误差在1.5°左右, 较为理想。该研究发现了风速异常和温度线分布对渔场移动有显著性影响, 但风速变异较少获得关注, 尤其是位于165°E和180°E的纬向风速变异对渔场的影响超过了29°C等温线。这一发现可用于以后相关研究, 以及建立的预报模型的可供围网公司购买渔业许可参考使用。

关键词: 渔场变动; 金枪鱼围网; 时滞相关分析; 中西太平洋; 渔场预报

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)06-1417-09

中西太平洋赤道海域是中国围网渔业最主要的作业海域, 主要的渔获为鲣鱼(*Katsuwonus pelamis*)和黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)^[1-3], 渔场环境存在显著的改变(如 ENSO)会影响渔业资源的分布和鱼类洄游^[4-5]。对于中国远洋渔业公司而

言, 中西太平洋围网渔场都位于岛屿权利国专属经济区内, 中国渔船进入该海域作业, 需要提前购买岛屿国入渔证书, 在2014年该费用占中国围网船队生产成本中的约30%, 而且有不断上升趋势, 围网渔业企业面临严重的经济压力。准确预

收稿日期: 2016-05-11; 修订日期: 2016-06-08.

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(S2012AA092302); 农业部公海渔业研究财政专项(08-54); 上海市自然科学基金项目(11ZR1415500).

作者简介: 杨晓明(1972-), 男, 副教授, 主要研究方向渔业 GIS. E-mail: xmyang@shou.edu.cn

通信作者: 戴小杰, 教授. E-mail: xjdai@shou.edu.cn

报渔场的位置,对于企业充分利用资源,合理配置捕捞天数购买非常重要。本研究通过分析中国围网船队的渔捞日志资料,结合相关的渔业海洋环境数据集,探讨其资源空间变动的规律。

研究认为,围网鲣鱼资源密度最大区域位于太平洋暖池东侧的位置^[4,6],资源空间变异和 ENSO 事件之间存在显著的相关关系,有关文献显示^[4],海表 29℃等温线能够在 2 个月之前预示渔场移动;周甦芳等^[5]、沈建华等^[7]、郭爱^[8]的相关研究也指出了渔场中心和 Niño 事件的关系密切;黄逸宜^[9]、黄易德^[10]、李政纬^[11]、陈世泳^[12]采用中国台湾的围网数据,对渔场的影响环境因子和渔场关系做了相关的分析,都认为海表温度是关键因子,29℃等温线能够很好指示资源中心的经度移动。由于以前中国缺乏相关的长时间序列高时空分辨率的数据,已有的研究中基本采用的都是太平洋共同秘书处提供的尺度较大的 5°渔业

数据;中国台湾和美国的围网作业习惯和类型和中国大陆有一些差异,研究采用因子都是温度数据,都没有采用海洋风场因子进行相关分析。本研究基于这些研究基础,从数据获得的便捷性和有效性出发,尝试寻找到除海表温度外其他因子作为预报因子。首先,选择几个较容易获得的且能够表现渔业环境变异的常见观测的因子,(如风、温度等);其次,计算其与围网渔场中心的时间序列交互关系,获得相关系数和时滞关系;最后,构建出一种合理基于统计的回归模型。

1 材料与方法

1.1 材料来源

采用了 2011–2014 年上海开创公司的围网渔捞日志数据。该公司产量大约占中国围网渔船的一半产量。数据内容包括日期、详细的作业位置、各种渔获重量等(表 1)。

表 1 2011–2014 年中西太平洋上海公司围网渔船情况和产量
Tab. 1 Vessel information and catch of purse seine in western central Pacific Ocean from 2011 to 2014

年份 year	总产量/t total catch	渔船数 vessel number	渔船名称 vessel name	总计有效作业天数/d total fishing days
2011	46014	8	金汇 1, 2, 3, 6, 7 号 Lomalo, Lometo, Lojet	1456
2012	52632	9	增加金汇 8 号	1638
2013	56834	10	增加金汇 9 号	1991
2014	66458	10	增加金汇 18 号, 淘汰金汇 2 号	2053

美国热带大气海洋监测计划(Tropical Atmosphere Ocean Project, TAO)数据为美国国家海洋与大气局(NOAA)、日本科学技术厅(STA)和法国发展研究院(IRD)联合投资搭建的观测平台,在太平洋赤道南北,且位置固定的海洋环境监测设施。数据内容包括: SST、SSTa、U、V、Ua、Va、Time。海表温度(SST)和海表温度异常值(SSTa)的空间分辨率为 1°×1°,空间范围为 130°E–95°W, 9°N–11°S。U、V、Ua 和 Va 分别表示纬向(东西)风速、经向风速、纬向风速距平值和经向风速距平值,具体相关说明参照文献[13]。

海洋厄尔尼诺指数(Oceanic Niño Index, ONI)数据源于美国国家海洋与大气局气候预报中心提

供的同期对应月份的 Niño3.4 区(120°–170°W, 5°N–5°S)的月平均海表温度距平(SSTa)*。

1.2 数据处理

在本研究中,设定时间时滞最小单位为月,基于时滞相关分析方法^[14]研究各月经纬度和各环境因子的相互作用情况,从而确定出各环境因子对渔场中心位置作用的时效性。计算各相关因子中两个因子间在 12 个时滞期间的相关系数和显著性检验 *P* 值,从而获得最大相关系数和滞后时间(最大相关系数对应的滞后时间)。

29℃等温线的提取和矢量化。对 SST 数据,利用 Matlab 提取 29℃等温线坐标值。本研究中,选取

*http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml, [2015.3.19]

该等值线对应的纬度范围为(5°N–5°S)之间的经度的平均值。

从 TAO 数据中选取经度 165°E 和 180°E 两处(如 165°E, 表示位于 165°E, 纬度位于 5°N–5°S)的纬向风速、经向风速及其变异值, 计算获得其平均值。

根据渔捞日志资料, 以年-月组合为基本单位, 计算各月的渔场中心经纬度。并将各环境值与之配对, 形成最后的分析表单数据。

渔场中心计算方法参照文献[4–5, 8, 11–12], 其中有详细说明。

2 结果与分析

2.1 渔场中心分布

从图 1 中可以看出, 总体而言, 这 4 年的分布范围主要位于赤道±5°之间, 经度范围在 155°~175°E 之间; 都存在着明显的季节性东西向和南北向摆动, 并且东西方向更明显; 渔场中心的年际差异较大。除 2011 年外, 一年中基本都季节性按照西-东-西方式的摆动; 在 2011 年, 围网渔场中心全年都集中在太平洋西部区域的密克和巴新专属经济区内; 2012 年渔场中心东西向跨度最大, 第一季度在西部, 第二到第四季度都位于东部海域; 2013 年第一季度渔场中心首先在东部海域, 然后移动到西部; 第三季度回到东部, 全年各季度不断东西向往复摆动; 2014 年和 2011 年情况相反, 基本上全年渔场中心位于东部海域。可见, 很难通过季节变化来解释渔场中心的变动规律, 因此引入环境因子来研究渔场中心的移动规律十分必要。

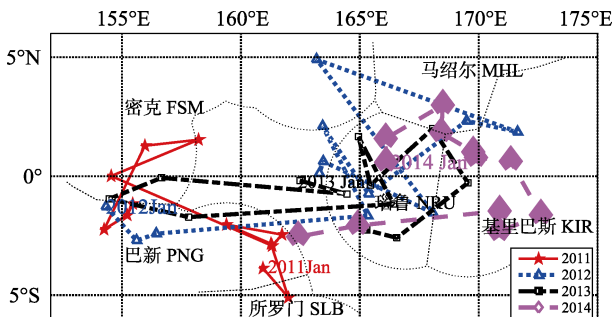


图 1 2011–2014 年围网渔场中心变动图

Fig. 1 The monthly fishing ground gravity center of purse seine from 2011 to 2014

2.2 中西太平洋赤道海域环境

绘制了 2011–2014 年该海域的温度场、风场及其距平值各月的空间分布图(由于篇幅所限, 以 10 月份为例, 见图 2), 观察这 4 年的海洋环境分布特征, 以及观察海洋环境空间分布的差异, 希望能够宏观初步获得 2011–2014 年渔场中心分布和海洋环境特征分布的定性关系。

2.2.1 风场要素的特征 风场要素的特征见图 2, 从 2011–2014 年的 4 幅图的上半部分(即平均值)的风场要素分布可以发现, 该区域 3 年的风向都是自东向西的盛行风向, 较难发现其中的差异和变化。风矢量分布都表现为东风为主。但从风场的变异图中(图 2 的 2011–2014 年的下半部分)可观察风矢量距平的方向和大小。2012 年中部(180°E 左右)是东风(西向)增强, 而西部(155°E 左右)是南向风偏西风增强; 而 2013 年在西部区域发生, 风场向南和向西风速增强; 2014 年和前面两年较大不同, 西部和中部的向东的风速显著增大, 尤其是西部区域。在风矢量距平图中, 在西部, 2013 年风矢量异常表现为向西增加, 而 2014 年风矢量异常为向东增加。

2.2.2 温度场要素的分布特征 从图 2 可风, 各年 10 月份的 29°C 等温线位置和形态中, 可以发现, 2011–2014 年形态相似, 呈现一个“<”形态, 由 3 个重要的边界点组成。在 5°N 附近边界 4 年的经度值分别为: 179°E–158°W–167°W–151°W; 处于赤道附近的中间点的边界变化为: 165°E–178°W–178°E–175°W; 在最南点 9°S 附件的 29°C 等温线边界分别为: 180°E–158°W–158°W–164°W。可见北中南三点并不一定同步。

2.2.3 Niño3.4 指数的变化 2011 年为一个很强的拉尼娜年, 东风增强明显, 海水温度降低明显, 是一个冷事件年份, Niño3.4 指数也远低于-0.5°C, 是一个强拉尼娜年。2012 年海水温度升高, 没有出现单一方向风速增强, 是一个冷事件后的回暖年份。2013 年从海温情况看, 为一个中等偏弱的冷事件年份(拉尼娜年), 海水表面温度较平均偏低, 东风较常年增强。虽然, 2014 年是第 1 季度在海洋尼诺指数上没有表现出暖事件发生, 但在海

洋环境场的变化上,具备了暖事件发生的准备条件,即东风减弱,西部海域温度开始升高,等温线向东移动;但发展非常缓慢,一直到第 4 季度,在 Niño3.4 区域温度才较平均年份高于 0.5℃,暖事件发生,即厄尔尼诺出现。

由图 3 可以发现,2011–2014 年每月的 Niño3.4 指数分布曲线显示,2011 年为较为明显的拉尼娜年份;2012 年和 2013 年都属于正常年份,虽然 2013 年表现出一些较弱的拉尼娜特征;2014 年为厄尔尼诺年。

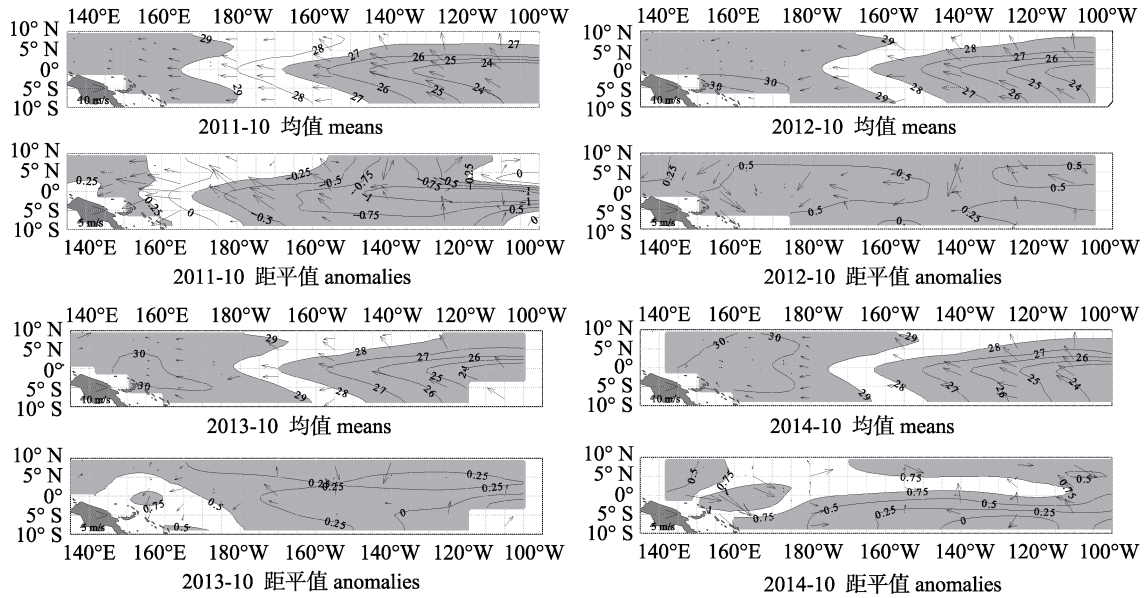


图 2 太平洋赤道海域的 2011–2014 年风速和海表面温度分布(以 10 月为例)
 数据来源位于太平洋赤道海域 TAO/TRITON 固定浮标数据,每个月图形中上图表示月平均分布,下图表示月距平均差异分布(平均值数据来自于 1971–2000 年 COADS 风速和 Reynolds 温度。
 Fig. 2 Wind vectors and sea surface temperatures (SSTs) from the TAO/TRITON mooring array in the Pacific equatorial waters for 2011–2014 (October as the example)
 Top panel shows monthly means; bottom panel shown monthly anomalies from the COADS wind climatology and Reynolds SST climatology (1971–2000).

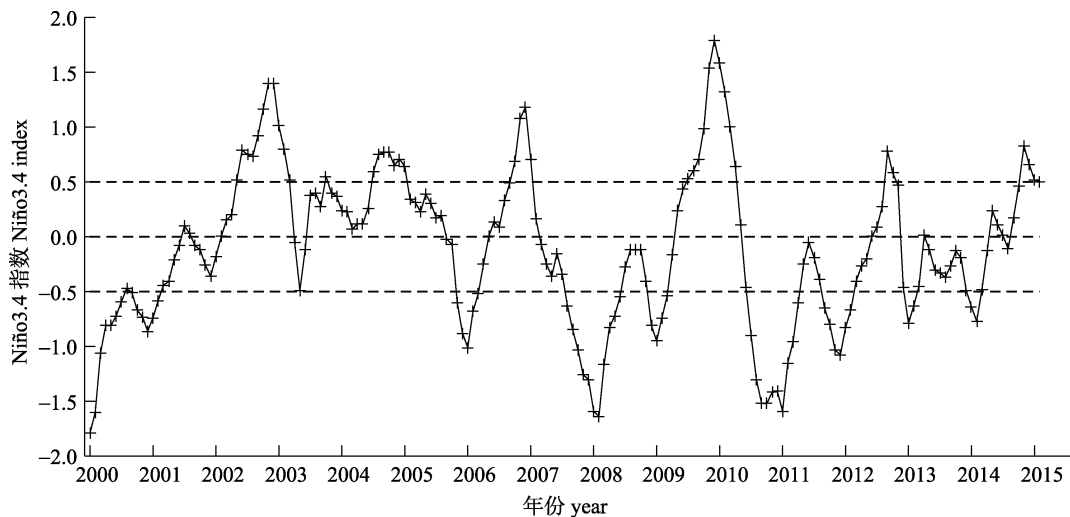


图 3 2000–2015 年 Niño3.4 指数时间序列分布图
 Fig. 3 Monthly Niño3.4 index from 2000 to 2015

2.3 对渔场中心位置产生影响的因素

结合渔场中心的时空分布特征, 可以发现渔场中心的变动和风场、温度场变动都有明显的关系。为了量化这些因子和渔场中心的关系, 本研究采用了时滞相关分析方法对该关系进行计算, 结果见表 2(仅列出通过显著性检验的因子)。

2.4 对渔场中心位置多元线性回归分析

利用 Matlab 的统计模块逐步回归 stepwise 函数, 构建最优模型, 最后得到最优模型结果如下:

$$GC\ Lon = 137.534 + 2.36159UA_{165_t} + 0.159159SST_{29_t} \quad (1)$$

式(1)中, GC_Lon 表示渔场中心的经度值, UA_{165_t}表示当月位于 165°E 处平均纬向风速变

异, SST_{29_t}表示当月 29°C 等温线边界所处纬度平均值(表 3, 表 4)。

方程(1)的性能参数分别为: $R^2=0.716035$, $P<0.001$, 通过显著性检验。

渔场中心纬度方程如下:

$$GC_Lat = 0.236156 + 0.51587 UA_{165_{(t-1)}} - 1.12848 VA_{165_t} \quad (2)$$

式(2)中: GC_Lat 表示渔场中心的纬度值, UA_{165_(t-1)}表示上月位于 165°E 处平均纬向风速变异, VA_{165_t}表示当月位于 165°E 处平均纬向风速变异。

方程(2)的回归方程参数分别为: $R^2=0.370155$, $P<0.001$, 高度显著。

表 2 各变量和时滞相关分析结果
Tab. 2 Each variable and time-lagged correlation analysis results

因变量 dependent variable	自变量 independent variable	时滞/月 time-lagged/month	相关系数 correlation coefficient
中心渔场经度 longitudinal gravity center	180°E 平均 UA mean zonal winds speed anomaly 180°E	-1	0.7931***
	165°E 平均 UA mean zonal winds speed anomaly 165°E	0	0.82***
	180°E 平均 VA mean meridional winds speed anomaly 180°E	-2	-0.5383***
	165°E 平均 VA mean meridional winds speed anomaly 165°E	0	-0.4125***
	29°C 等温线平均经度 mean longitudinal of 29°C isotherm	0	0.7449***
	Niño3.4 指数 Niño3.4 Index	0	0.4653***
	中心渔场纬度 latitudinal gravity center	180°E 平均 UA mean zonal winds speed anomaly 180°E	-2
165°E 平均 UA mean zonal winds speed anomaly 165°E		-1	0.6355***
180°E 平均 VA mean meridional winds speed anomaly 180°E		-3	-0.4348***
165°E 平均 VA mean meridional winds speed anomaly 165°E		0	-0.4078***

***: 表示 P 检验为高度显著(P<0.001).

***: Highly significant (P<0.001).

表 3 渔场中心经度预报方程参数和显著性检验
Tab. 3 Regression equation of longitude of fishing gravity parameter and significance test

变量 variable	系数 coefficient	t 检验 t-test	P
X ₁ (UA _{165_t})	2.36159	5.4307	0.0000***
X ₂ (VA _{165_t})	1.00845	0.8693	0.3896
X ₃ (UA _{180_(t-1)})	0.298833	0.3316	0.7419
X ₄ (VA _{180_(t-2)})	-0.190514	-0.3114	0.7570
X ₅ (SST _{29_t})	0.159159	2.2930	0.0268**
X ₆ (Niño3.4 Index _t)	-2.38446	-1.5739	0.1230

***: 表示 P 检验为高度显著(P<0.001). **: 表示 P 检验为显著(P<0.05).

***: Highly significant (P<0.001). **: Significant (P<0.05).

表 4 渔场纬度预报方程参数和显著性检验
Tab. 4 Regression equation of latitude of fishing gravity parameter and significance test

变量 variable	系数 coefficient	<i>t</i>	<i>P</i>
$X_1(UA_{165(t-1)})$	0.51587	2.7510	0.0087***
$X_2(VA_{165_t})$	-1.12848	-2.2628	0.0288**
$X_3(UA_{180(t-2)})$	0.298833	0.3316	0.7419
$X_4(VA_{180(t-3)})$	-0.190514	-0.3114	0.7570

***: 表示 *P* 检验为高度显著($P < 0.01$). **: 表示 *P* 检验为显著($P < 0.05$).

***: Highly significant ($P < 0.01$). **: Significant ($P < 0.05$).

2.5 结果验证

由于数据时间范围有限,本研究做回归计算时,使用了 2011 年 1 月到 2014 年 10 月的 46 个月的数据。获得拟合方程后,对未参与回归拟合计算的 2014 年的 11 和 12 月份进行计算,拟合结果和实际结果比较如表 5(类别 A 部分)。同时由于购买的捕捞天数的限制,尤其是 2014 年,渔场

大幅度东移,导致东部捕捞许可天数不足,而西部购买捕捞天数没完成,11 月渔船只能往西部作业。为了克服这种因素的影响,本研究使用不会受到捕捞天数不足影响的中国公司的租赁围网渔船(合计 9 艘)渔捞日志数据,选取其中 11 月和 12 月的数据,计算这些船队在这两个月的渔场中心的经纬度值(结果见表 5 类别 B 部分)。

表 5 回归方程拟合结果和误差
Tab. 5 Results from regression model and the errors

类别 type	年月 year-month	实际经度 longitude	预测经度 predict longitude	实际纬度 latitude	预测纬度 predict latitude	经度差 longitude difference	纬度差 latitude difference
A	2014-11	164.9198 E	167.0223 E	2.0759 S	0.1835 N	2.0025°	2.2594°
	2014-12	162.4030 E	164.9361 E	2.5449 S	0.4382 S	2.5331°	2.1067°
B	B2014-11	167.4756 E	167.0223 E	0.72934 S	0.1835 N	0.4533°	0.9128°
	B2014-12	164.5479 E	164.9361 E	2.11076 S	0.4382 S	0.3882°	1.6726°

注: A 类别的实际渔场中心为上海公司船只计算获得, B 类别为中国租赁船计算获得。

Note: Type A's actual longitude and latitude are calculated from Shanghai company's vessels, and type B's actual longitude and latitude are calculated from Chinese chart vessels.

从表 5 中可以看出,实际的渔场的经纬度和预报的经纬度间都存在 2° 的差异,误差较大。而采用租赁船队的获得的渔场中心,在经度上 2 个月的误差都小于 0.5°,较为理想;纬度上的误差稍大一些,在 1.0°~1.5°。本研究分析原因在于,租赁船队没有受到作业天数的限制,可以根据资源位置捕捞生产,但其他非租赁船队由于 2014 年全年基本都在东部生产(图 1),而导致年底东部作业天数不够,被迫转到西部海域。

3 讨论

3.1 渔场形成的关键性因子探析

在中西太平洋赤道附近海域,有关围网渔场形成的机理研究较多,该海域东部存在一个大范围的低营养盐-高水温的暖水团——暖池,受到

位于赤道中东、不断盛行的东风驱动下向西输送的丰富营养盐冷水团——冷舌^[5]的影响,在两个水团交汇处形成了一个非常明显的营养盐、海流锋面区域^[15-16]。这个锋面和交汇区域成为主要的渔场区域,通常用一个 29°C 等温线变化来表示暖池的移动^[4, 6]。

大部分研究都是基于海温指标、叶绿素和海面高度等^[4, 8-12, 17],而且大部分的研究也是基于环境指标和渔获物产量分布的统计分析研究。而且近年来围网作业由于 FAD 的广泛使用,作业方式和资源状况也有一些变化。

虽然,渔船和其他因子如溶解氧、叶绿素浓度、食物因子都是显著性因子^[18-20],但由于观测和获得难度较大,不利于预报,因此全部放弃,同时引入一个环境变动的驱动力因子——风矢量指

标。本研究发现该指标和渔场中心变动的相关性超过其他任何因子。从相关性的时间滞后性结果看, 当该海域的盛行东风在 180°E 较往年同期减弱时, 无法维持西向海流所需要的动力平衡, 海流会向东回流补充。1 个月后渔场中心西移, 风速变异的大小和渔场移动的距离的相关性达到近 80%。文献[4]从标记放流研究发现, 当厄尔尼诺发生时, 鳀鱼渔场中心向东移动 10 几个经度范围^[4]; 拉尼娜发生时, 向东移动也明显, 但移动范围小于厄尔尼诺^[4]。

从时间滞后关系来看, 与渔场经度的相关性最好的 165°E 处的东西风速, 时滞值为 0; 而 180°E 处的风速相关性很高, 时滞值为 -1。表示, 环境指标在前一个月发生变化后, 渔场的经度位置会随着发生相应的移动。这对于渔场的预报具有重要的现实意义。

3.2 “厄东拉西”问题

通常认为, 在厄尔尼诺发生年, 渔场中心东移, 且产量相对正常年份高^[5, 8]; 当拉尼娜年时, 渔场会向西移。而且通过标记放流的研究也发现, 半年的移动平均距离达 10 个经度^[4]。而且鳀鱼的游泳能力惊人, 在夜间能够进行长达 25~106 km 的洄游, 并在清晨回到栖息地^[21]。

本研究以中国围网作业数据为基础, 分析其在中西太平洋渔场上的变化。结果显示, 2011 年为拉尼娜年, 全年渔场中心位于西侧渔场; 2014 年全年位于东侧渔场; 2012 年和 2013 年, 在东侧和西侧渔场间移动。

然而这里有一个技术性问题, 如何确定厄尔尼诺或者拉尼娜发生。通常我们是采用 Niño3.4 指数方法来确定, 如文献[8]所述。然而, 通过 Niño3.4 值来确定该年归属于何种年份, 即如果采用此种方法, 将会发现 2014 年很难划分为厄尔尼诺年, 只能归结为正常年份。但从海洋环境场看, 具备了所有厄尔尼诺的特征, 渔场也表现出强烈的东移现象。

本研究的统计相关分析发现, Niño3.4 指数和渔场位置相关性远没有其他指标明显(表 2), 如在中西太平洋上东西向的风速的和渔场的经度相关

性达到 0.8 左右。文献[5]研究认为, Niño3.4 区海表温度与鳀鱼围网单位捕捞努力量渔获量经度重心有显著相关关系(Pearson 相关系数 $r=0.186, P<0.01$)。文献[8]计算 Niño3.4 指数和渔场经度中心的灰色关联度达 0.818, 高于本研究中的相关性的 0.44 结果。作者认为主要原因在文献[8]中渔业数据是 SPC 网站提供的分辨率为 5°×monthly 的数据, 空间尺度太大, 而本研究的数据虽然时间序列短些, 但数据空间分辨率很高, 更符合渔船生产实际。

3.3 29°C 等温线

根据围网渔场分布规律^[4, 12], 海洋表面水温的 29°C 等温线, 是围网渔业分布的标记线, 渔场移动和该等温线同步移动。在中西太平洋, 本研究的相关分析也证实了 29°C 等值线的位置和渔场位置有非常显著的相关性。

文献[4]认为, 渔场中心的移动是在 29°C 等温线的移动后 2 个月, 但本研究数据得到的相关性最好的时间是在当前月, 时滞值为 0 月。初步推测差异可能由于文献[4]计算时, 空间上只有经度(不同的纬度被综合到同一经度中), 采用的也是 5°网格数据, 而且是美国 20 世纪 80~90 年代的数据, 主要以捕捞自由群为主, 而中国的主要是以人工集鱼装置(FAD)群为主。文献[12]用中国台湾围网数据, 发现 29°C 等温线与渔场中心存在 1 个月的延迟现象, 且自由群影响最明显, FAD 最不明显。

李政纬等^[11]利用中国台湾多年数据, 认为 29°C 等温线与渔场中心无延迟现象, 最大相关性为 0.71。这与本研究结果相近。

3.4 预报方程

通常对围网渔场移动都简化为赤道上的东西向移动。本研究对渔场中心的纬度做了因子预测探索, 但从结果看误差较大。从预报因子选择上看, 基本都认为 29°C 等温线边界为较好的指示标记。本研究纬向风速变异对渔场经度的移动影响更大, 而且该因子能够较好观察和获得, 可以作为以后相关研究的重要考虑因子。

本研究认为, 通常情况下, 渔场中心耦合渔业资源中心; 而 2014 年的渔场中心和资源中心不

耦合, 原因来于其他因素。因此, 本研究提出的回归方程能够较好的耦合渔业资源中心, 未来可用于预报渔场中心的移动。

对于围网渔场的预报, 一些研究进行了有益的尝试, 如用遥感数据从栖息地指数角度入手^[8, 20], 利用动力模型能够预报更长时间的渔业资源分布概括^[22]等。但是这些数据获得成本和计算成本都很高。因此, 简单合理的统计模型将是很好的补充。

最后, 由于本研究所选用的渔捞日志数据时间长度也有限, 有些结果尚存局限。同时, 本研究采用的统计模型能够提前 1 个月进行预报, 如果结合海洋动力模型, 则能够实现提前 1 年以上对未来渔场位置进行预报, 这对渔业企业将更有经济意义。

参考文献:

- [1] Miao Z Q, Huang X C. Distant-water Tuna Fisheries[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Literature Press, 2003: 1–242. [苗振清, 黄锡昌. 远洋金枪鱼渔业[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2003: 1–242.]
- [2] Xie Y L. Status and Perspectives of the Western and Central Pacific Ocean tuna fisheries(1)[J]. Modern Fisheries Information, 2002, 17(9): 18–20. [谢营梁编译. 中西太平洋金枪鱼渔业的现状和展望(1)[J]. 现代渔业信息, 2002, 17(9): 18–20.]
- [3] Zhao R X, Miao S C. Stock status and catch of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the WCPO[J]. Modern Fisheries Information, 2005, 20(3): 12–14. [赵荣兴, 缪圣赐. 中西太平洋鲣鱼的资源状况及产量[J]. 现代渔业信息, 2005, 20(3): 12–14.]
- [4] Lehouday P, Bertignac M, Hampton J, et al. El Niño Southern Oscillation and tuna in the Western Pacific[J]. Nature, 1997, 389: 715–718.
- [5] Zhou S F, Shen J H, Fan W. Impacts of the El Niño Southern Oscillation on skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) purse-seine fishing grounds in the Western and Central Pacific Ocean[J]. Marine Fisheries, 2004, 26(3): 167–172. [周甦芳, 沈建华, 樊伟. ENSO 现象对中西太平洋鲣鱼围网渔业的影响分析[J]. 海洋渔业, 2004, 26(3): 167–172.]
- [6] Picaut J, Ioualalen M, Menkes C, et al. Mechanism of the zonal displacement of the Pacific warm pool: implications for ENSO[J]. Science, 1996, 274: 1486–1489.
- [7] Shen J H, Chen X D, Cui X S. Analysis on spatial-temporal distribution of skipjack tuna catches by purse seine in the Western and Central Pacific Ocean[J]. Marine Fisheries, 2006, 28(1): 13–19. [沈建华, 陈雪冬, 崔雪森. 中西太平洋金枪鱼围网鲣鱼渔获量时空分布分析[J]. 海洋渔业, 2006, 28(1): 13–19.]
- [8] Guo A. Preliminary study on the fluctuation of resources and fishing ground of skipjack for tuna purse seining in the WCPO[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2008. [郭爱. 中西太平洋金枪鱼围网鲣鱼渔况变动规律初步研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2008.]
- [9] Huang Y Y. The distribution of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) purse-seine catch and its relationship with sea surface temperature in Western and Central Pacific Ocean[D]. Jilong: Taiwan Ocean University, 1995. [黄逸宜. 中西太平洋鲣鱼围网渔业渔获分布及其与水温之关系[D]. 基隆: 台湾海洋大学, 1995.]
- [10] Huang Y D. A study on the spatio-temporal distribution of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) stock in Western and Central Pacific Ocean[D]. Jilong: Taiwan Ocean University, 2002. [黄易德. 中西太平洋正鲣资源时空分布特性的研究[D]. 基隆: 台湾海洋大学, 2002.]
- [11] Li Z W. ENSO impact on the purse-seine fishery of skipjack tuna in Western and Central Pacific Ocean[D]. Jilong: Taiwan Ocean University, 2005. [李政纬. ENSO 现象对中西太平洋鲣鱼围网渔况之影响[D]. 基隆: 台湾海洋大学, 2005.]
- [12] Chen S Y. A study on spatial-temporal distribution of fishing ground of skipjack in association with the surface temperature variability in Western and Central Pacific Ocean[D]. Jilong: Taiwan Ocean University, 2006. [陈世泳. 中西太平洋正鲣渔场推移与表面水温变异的关系[D]. 基隆: 台湾海洋大学, 2006.]
- [13] Soreide N N, McClurg D C, Zhu W H, et al. Distribution and Display of TOGA-TAO Buoy Data[R]. Brest: Proceedings of Oceans 94(Vol II), 1994: 444–448.
- [14] Chen Y G, Liu J S. Derivation and generalization of the urban gravitational model using fractal idea with an application to the spatial cross-correlation between Beijing and Tianjin[J]. Geographical Research, 2002, 21(6): 742–752. [陈彦光, 刘继生. 基于引力模型的城市空间互相关和功率谱分析: 引力模型的理论证明、函数推广及应用实例[J]. 地理研究, 2002, 21(6): 742–752.]
- [15] Eldin G, Rodier M, Radenac M H. Physical and nutrient variability in the upper equatorial Pacific associated with westerly wind forcing and wave activity in October 1994[J]. Deep Sea Res, 1997, 44(9–10): 1783–1800.
- [16] Flament P, Kennan S C, Knox R A, et al. The three-dimensional structure of an upper ocean vortex in the tropical Pacific ocean[J]. Nature, 1996, 383: 610–613.
- [17] Tseng C T, Sun C L, Yeh S Z, et al. Spatio-temporal distributions of tuna species and potential habitats in the Western and Central Pacific Ocean derived from multi-satellite data[J]. Int J Remote Sens, 2010, 31(17–18): 4543–4558.
- [18] Brill R W. A review of temperature and oxygen tolerance studies of tunas pertinent to fisheries oceanography, movement models and stock assessments[J]. Fish Oceanogr, 1994, 3(3): 204–216.
- [19] Lehouday P. The pelagic ecosystem of the tropical Pacific Ocean: dynamic spatial modelling and biological consequences of ENSO[J]. Prog Oceanogr, 2001, 49(1–4): 439–468.
- [20] Senina I, Sibert J, Lehouday P. Parameter estimation for basin-scale ecosystem-linked population models of large pelagic predators: application to skipjack tuna[J]. Prog Oceanogr, 2008, 78(4): 319–335.
- [21] Sibert J, Hampton J, Fournier D A, et al. An advection-reaction model for the estimation of fish movement parameters from tagging data, with application to skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*)[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1999, 56: 925–938.
- [22] Lehouday P, Senina I, Calmettes B, et al. Modelling the impact of climate change on Pacific skipjack tuna population and fisheries[J]. Climatic Change, 2013, 119(1): 95–109.

Forecasting fishing grounds for tuna purse seine fisheries in the Western and Central Pacific Ocean

YANG Xiaoming^{1,2,3,4}, DAI Xiaojie^{1,2,3,4}, TIAN Siquan^{1,2,3,4}, XU Liuxiong^{1,2,3,4}

1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China;
3. Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China;
4. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China

Abstract: The Western and Central Pacific Ocean (WCPO) purse seine fishery is an important part of Chinese oceanic fisheries. Forecasting the gravity center of a fishing ground with strong interannual change has become increasingly urgent. This study examined the relationship between a purse seine fishing ground, based on the 2011–2014 purse seine log sheet of the Shanghai Kaichuang Fishery Company, and the synchronous oceanic datasets such as Niño3.4 index, and the Tropical Atmosphere Ocean project (TAO). The latter data set provided sea surface temperature (SST) and sea surface wind (SSW). Data were analyzed using the time-lagged correlation method. We identified fishing ground variation induced by oceanic change, and the fields suitable for forecasting the fishing ground, along with their time-lagged number. A regression model was built and verified in this paper. A clear relationship between the fishing ground with SSW and SST was shown in the monthly maps of oceanic fields and fishing ground gravity centers for 2011–2014. In time-lagged correlation analysis results: (1) the correlation coefficient between the longitude of the gravity center with the mean zonal SSW anomaly of 180°E(UA_180), the UA of 165°E (UA_165), the meridian SSW anomaly of 180°E(VA_180), the VA of 165°E (VA_165), the 29°C SST isothermal longitude value (SST_29) and Niño3.4 index (Nino) was 0.79, 0.82, -0.54, -0.41, 0.75 and 0.47, respectively; and the lagged time was 1, 0, 2, 0, 0 and 0 months, respectively; (2) the correlation coefficient between the latitude of the gravity center with the UA of 180°E and 165°E was 0.55 and 0.63, respectively, and the lagged time was 2 and 1 months. The correlation coefficient with the VA_180 and VA_165 was negative and less than 0.5, and the lagged time was 2 months and synchronic. There was no significant relationship between Niño and the latitude position of the fishing ground. We found a regression equation of gravity longitude center (GC_Lon) and latitude center (GC_Lat): $GC_Lon=137.534+2.36159UA_165_t+0.159159SST_29_t$, $GC_Lat=0.236156+0.51587UA_165_{(t-1)}-1.12848VA_165_t$; and the model *R* square was 0.72 and 0.34, respectively. The longitude gravity center was much more reasonable than that of the latitude. The error gap between the reality and the predictive value from the models was more than 2° in longitude and latitude, mainly because there were delays when no fishing was permitted in the fishing ground in the east WCPO in November and December 2014. The difference in the central fishing ground between the model results and the Shanghai Kaichuang Fishery Company log sheets were reasonable: the longitude was less than 0.5° and the latitude was about 1.5°. This paper presents clear evidence that the change in fishing grounds followed variations in SST and SSW, and we believe that the influence of the SSW has not been focused on in this way before. We also discovered that the zonal wind speed anomaly at 165°E and 180°E longitude had the same effective influence on the fishing ground as a 29°C sea surface isotherm. These findings will advance related research into purse seine fishing grounds, and the forecasting models may assist purse seine companies in budgeting for their permitted fishing days.

Key words: fishing ground gravity center change; purse seine; time-lagged correlation analysis; Western and Central Pacific Ocean; forecast

Corresponding author: DAI Xiaojie. E-mail: xjdai@shou.edu.cn