

厄尔尼诺-南方涛动现象对中西太平洋鲣鱼围网渔场的影响

周甦芳^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 上海 200090; 2. 华东师范大学 地理系, 上海 200062)

摘要:厄尔尼诺-南方涛动现象(El Niño Southern Oscillation)是引起全球气候变化的最强烈的海-气相互作用现象,对世界渔业生产具有重要影响。本研究利用1982~2001年Niño 3.4区海表温度与中西太平洋(20°N~20°S, 120°E~150°W)鲣鱼围网单位捕捞努力量渔获量经度重心的关系,就厄尔尼诺-南方涛动现象对中西太平洋鲣鱼围网渔场变动的影响进行分析研究。结果表明,厄尔尼诺-南方涛动现象对中西太平洋鲣鱼围网渔场的空间分布有显著影响,厄尔尼诺发生时,鲣鱼围网单位捕捞努力量渔获量经度重心随着暖池的东扩而东移,拉尼娜发生时则随着暖池向西收缩而西移。同时,Niño 3.4区海表温度与鲣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 $r = 0.186$, $P < 0.01$),因此,可将Niño 3.4区海表温度作为预报、预测中西太平洋鲣鱼围网渔场位置的一个重要指标。

关键词:厄尔尼诺-南方涛动现象;中西太平洋;鲣鱼围网渔场;单位捕捞努力量渔获量经度重心
中国分类号:S914;S931 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2005)06-0739-06

中西太平洋海域(指20°N~20°S, 120°E~150°W)是金枪鱼良好的围网渔场^[1-3],目前在该海域从事围网作业的船只主要来自日本、韩国、中国台湾省等。捕捞的金枪鱼种类以鲣鱼(*Katsuwonus pelamis*)和黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)为主,其中鲣鱼的比例占绝对优势。2004年7~9月本项目的调查结果表明,即使是在主捕黄鳍金枪鱼的季节,鲣鱼的渔获比例也高达70.5%,这与据太平洋共同体秘书处(SPC)数据统计得出的比例70%以上相符^[4,12]。鲣鱼是高度洄游鱼类^[1],相关标志放流^[2]研究发现,鲣鱼个体的小范围移动受水温、饵料、盐度等影响具有高度的可变性,但鲣鱼群体的大范围移动主要受海洋环境大尺度变化(如厄尔尼诺引起的海洋环境的变化)的影响。

厄尔尼诺-南方涛动(El Niño Southern Oscillation,以下简称厄尔尼诺现象)是迄今为止发现的引起全球气候年际变化的最强烈的海-气相互作用现象^[5-6],气象和海洋学家把赤道太平洋东部和中部海表温度大范围持续异常增暖的现象,称为厄尔尼诺

(El Niño);反之,称为拉尼娜(La Niña)。在发生厄尔尼诺现象期间,赤道太平洋的气压、海面高度、海流、温跃层、营养盐、碳循环、初级生产力等渔场的环境发生明显改变^[7-9],从而引起鱼类资源密度的空间变化。许多研究表明,厄尔尼诺现象对太平洋的金枪鱼渔业有显著影响^[1,10-11]。如Li^[10]研究了厄尔尼诺现象对南太平洋长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)的影响,Lehody等^[11]通过研究美国船队在西太平洋的围网捕捞数据表明,厄尔尼诺现象对西太平洋的金枪鱼围网有显著影响。鉴于中国远洋金枪鱼围网渔业刚刚起步的现实,为进一步提高中国对该海域金枪鱼渔场变动的预测水平,本研究着重分析厄尔尼诺现象对中西太平洋鲣鱼围网渔场的影响,以期探索掌握中西太平洋鲣鱼围网渔场变动的中长期预测指标,从而更好地服务于中国的远洋渔业生产与管理。

1 材料与方法

1.1 数据来源

中西太平洋鲣鱼围网数据来自SPC,以经纬度

收稿日期:2004-12-08; 修订日期:2005-04-08。

基金项目:国家“863”高技术研究发展项目(2003AA637030)。

作者简介:周甦芳(1972-),女,副研究员,在读博士,从事海洋渔业遥感与GIS研究, Tel:021-65680117, E-mail:dhysqah@public4.sta.net.cn

1) Adam Langley, Miki Ogura, John Hampton. Stock assessment of skipjack tuna in the western and central Pacific Ocean. SCTIS16 working paper, SKJ-1, 2003.

2) Sibert J R, John Hampton, Fournier D A. Skipjack movement and fisheries interaction in the western Pacific. Proceedings of the Second FAO Expert Consultation on Interactions of Pacific Ocean Tuna Fisheries, 1995.

5°×5°为统计单位的分月统计资料,包括年、月、作业经度、作业纬度、分品种产量和作业天数(捕捞努力量)等数据,时间自1982年1月至2001年12月(<http://www.spc.org.nc>)。温度数据是美国国家气象局(NOAA)的气候预报中心(Climate Prediction Center)提供的1982年1月至2001年12月Niño 3.4区的月平均海表温度(SST)与海表温度距平(SSTA)序列(<http://www.cpc.nasa.gov>)。

1.2 数据处理

1.2.1 厄尔尼诺现象指标的定义及计算 长期以来,确定厄尔尼诺现象的指标一直是世界海洋和气象学界研究的重要课题之一。以前大多采用Niño3区(90°W~150°W,5°N~5°S)的海温作为反映厄尔尼诺现象的指标。但Trenberth^{[12],1)}等许多科学家认为,Niño 3.4区(120°W~170°W,5°N~5°S,图1)更接近西太平洋暖池,水温更高,而且更能反映赤道中太平洋地区的对流活动,因此比Niño 3区更有代表性。经过1年多的研究,NOAA于2003年9月30日发布了厄尔尼诺现象的定义¹⁾,Niño 3.4区的温度距平连续3个月超过+0.5℃为厄尔尼诺;连续3个月低于-0.5℃为拉尼娜。NOAA将这一定义作为厄尔尼诺现象指标每月发布对厄尔尼诺现象的监测和预测信息²⁾。作者采用Niño 3.4区的海表温度研究厄尔尼诺现象与中西太平洋鲷鱼围网渔场的关系。

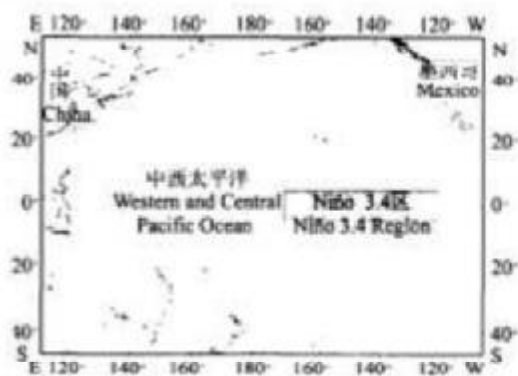


图1 中西太平洋和Niño 3.4区范围示意图

Fig.1 Western and Central Pacific Ocean and Niño 3.4 region

1.2.2 计算单位捕捞努力量渔获量经度重心G

单位捕捞努力量渔获量(CPUE)反映不同汛期、

不同渔场资源群体资源量的大小和密度,是表示资源密度的主要指标。为表示鲷鱼资源密度在经度上的变化,以下列公式计算单位捕捞努力量渔获量经度重心G:

$$G_j = \sum L_i (C_{ij} / E_{ij}) / \sum (C_{ij} / E_{ij})$$

式中, L_i 为区域*i*的中心经度, C_{ij} 为*j*月在区域*i*的鲷鱼总产量, E_{ij} 为*j*月在区域*i*的捕捞努力量(天数)。

计算所得的G值不考虑鲷鱼资源密度在纬度上的变化,结果为经度坐标值。

1.2.3 计算相对变异系数(标准离差率) 为比较Niño 3.4区月平均海表温度与单位捕捞努力量渔获量经度重心这两个变量的离散程度,需计算相对变异系数(标准离差率),计算公式^[14]:

$$CV = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} / \bar{x} \times 100\%$$

式中,CV表示相对变异系数, x 为Niño 3.4区月平均海表温度或单位捕捞努力量渔获量经度重心, $\bar{x}$ 为Niño 3.4区月平均海表温度平均值或单位捕捞努力量渔获量经度重心平均值, n 为样本数量($n=240$)。

将CV作为衡量Niño 3.4区月平均海表温度与单位捕捞努力量渔获量经度重心摆动幅度的指标,如果CV值接近,表示这两个变量摆动幅度相似。

2 结果与分析

2.1 厄尔尼诺现象对中西太平洋鲷鱼围网渔场空间分布的影响

图2是Niño 3.4区海表温度距平值与中西太平洋鲷鱼围网单位捕捞努力量渔获量经度重心时间序列图。根据NOAA的定义,1982~2001年共发生了6次厄尔尼诺(1982/1983,1986/1987,1991/1992,1993,1994/1995,1997/1998)和5次拉尼娜(1983/1984,1984/1985,1988/1989,1995/1996,1998/2000)。自1990年以来厄尔尼诺现象发生频率加快,往往厄尔尼诺刚结束,拉尼娜便接踵而至。1982~2001年间发生了2次强厄尔尼诺(1982/1983和1997/1998),其中1997/1998的厄尔尼诺是20世纪最强烈的一次厄尔尼诺。中西太平洋鲷鱼围网渔场的空间分布受厄尔尼诺现象影响明显。厄

1) NOAA announces definition for EL Niño and La Niña. <http://oceanic.state.gov/alamahad/www03100303.html>.

2) El Niño/Southern oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ens_advisory.

厄尔尼诺年份,鲉鱼单位捕捞努力量渔获量经度重心明显东移,东移到 160°E 以东,最东可至 177°E (1997年8月)。拉尼娜年份,单位捕捞努力量渔获量经度重心西移,一般西移至 160°E 以西,最西到 143°E (1989年4月)。一次厄尔尼诺和拉尼娜过程,经度重心东西摆动幅度可达近30个经度(1995/1996拉尼娜和1997/1998厄尔尼诺)。1998年以前,拉尼娜期间和通常情况下,单位捕捞努力量渔获量经度重心一般回到 160°E 以西,但在1998年下半年,厄尔尼诺突然结束,拉尼娜开始时,单位捕捞努力量渔获量经度重心并没有回到常规的 160°E 以西的拉尼娜渔场,而在 165°E 左右摆动。

热带西太平洋是全球海洋温度最高的海域,海水表面温度常年高于 28°C ,被称为西太平洋暖池,热带东太平洋在信风的作用下,生成了巨大的涌升流,形

成称为冷舌的低温、高盐、高初级生产力的条带区域。暖池和冷舌在暖池边缘生成一个强烈的辐合区,是浮游植物与微型浮游动物聚集的重要区域,是许多大型鱼类的索饵场,也是鲉鱼的良好索饵场,经常形成良好的围网渔场^[11,15]。在赤道太平洋地区,温跃层的深度由西向东逐渐抬升。暖池高温、低盐且初级生产力较低,但它是鲉鱼的主要产卵区域,鲉鱼在该区域的热带岛屿附近饵料丰富的海区(包括马绍尔群岛和中美洲的热带海域)常年产卵。太平洋的西部和中部均有仔鱼分布,主要集中在 145°W 以西、 $20^{\circ}\text{S}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 等赤道附近水域。鲉鱼常聚集在温跃层以上的混合水层中,摄食量很大,常作长距离的索饵洄游。围网渔船捕捞的多为游泳于7~8 m深水层的鲉鱼鱼群,渔获物中多数为年龄在9个月左右、体长约35 cm的鲉鱼^[1]。

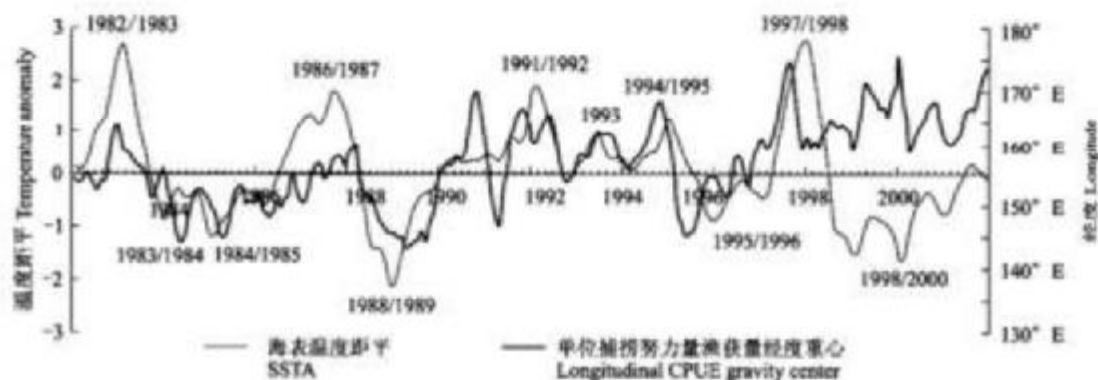


图2 Niño 3.4区海表温度距平与中西太平洋鲉鱼围网单位捕捞努力量渔获量经度重心时间序列图(3个月滑动平均)

Fig.2 Sea surface temperature anomaly (SSTA) of Niño 3.4 region and longitudinal gravity center of CPUE time series (smoothed by a three-month moving average)

厄尔尼诺发生时,西太平洋暖池向东扩展,原先覆盖在赤道西太平洋的暖水层变薄。同时,赤道东太平洋的涌升流减弱,暖水逐步占据了赤道中、东太平洋地区,赤道中、东太平洋的水温升高、温跃层变浅。海表温度和温跃层等的变化引起鲉鱼栖息区域的明显改变。据文献^[11]报道,通过标志放流等研究发现,鲉鱼的栖息区域随着暖池的东扩而向东扩展,使得厄尔尼诺期间,西太平洋暖池区鲉鱼资源密度相对下降。同时,暖池和冷舌间形成的辐合区随着暖池的东扩而向东移动^[16],在该辐合区形成的鲉鱼高产渔场随之向东移动。因此,厄尔尼诺发生时,鲉鱼单位捕捞努力量渔获量经度重心东移。拉尼娜

事件过程则相反,此时西太平洋暖池向西收缩,覆盖在赤道西太平洋的暖水层变厚,同时,暖池与冷舌间的辐合区随着暖池向西收缩,鲉鱼在暖池区的资源密度增加,渔场随之西移。因此,拉尼娜发生时,单位捕捞努力量渔获量经度重心西移。

当然,影响鲉鱼索饵行为的除了上述提到的暖池移动引起的海水温度和温跃层的变化等因素外,还有一个很重要的因素就是饵料的丰度状况。用海岸带水色扫描仪(CZCS)和宽视场水色扫描仪(SeaWiFS)获取的海洋水色卫星图反演的叶绿素a浓度图中^[7]可清楚地看到,1998年以前,在通常情况和拉尼娜现象下,赤道东太平洋存在一个叶绿素a含

量较高的冷性水舌,可一直向西延伸到 160°E,而从菲律宾到 160°E 的暖池一般初级生产力较低。在通常情况和拉尼娜现象下,160°E 附近易形成良好的渔场,因此,单位捕捞努力量渔获量经度重心一般回到 160°E 以西。而通过 SeaWiFS、热带大气海洋观测阵列 (Tropical Atmosphere Ocean Array, 简称 TAO) 等观测发现,1998 年 6 月厄尔尼诺突然结束前,1998 年 5 月东太平洋偏东信风恢复,上升流加强,在 165°E 附近的赤道太平洋地区浮游植物激增^[8-9]。且其后的 1999~2001 年,165°E 附近的赤道太平洋地区叶绿素 a 含量一直比 1997 年厄尔尼诺爆发前高。因此,在 1998 年下半年,厄尔尼诺突然结束,拉尼娜开始时,单位捕捞努力量渔获量经度重心并没有回到常规的 160°E 以西的拉尼娜渔场,而在 165°E 左右摆动。

2.2 Niño 3.4 区海表温度与鳀鱼单位捕捞努力量渔获量经度重心的关系

Niño 3.4 区海表温度与鳀鱼单位捕捞努力量渔获量经度重心有明显的相关关系,Niño 3.4 区海表温度升降幅度与单位捕捞努力量渔获量经度重心的东西摆动幅度基本相似。厄尔尼诺期间,Niño 3.4 区海表温度升高,鳀鱼单位捕捞努力量渔获量经度重心东移。拉尼娜期间则相反。两者之间呈显著的相关关系 (Pearson 相关系数 $r = 0.186$, $P < 0.01$, $n = 240$)。且 Niño 3.4 区海表温度升降与单位捕捞努力量渔获量经度重心的东西摆动的标准离差率分别为 4.71% 和 4.21% 相当接近,两者的波动形状非常相似 (图 3)。因此,可将 Niño 3.4 区海表温度作为预测预报鳀鱼渔场空间分布变化的一个重要指标。

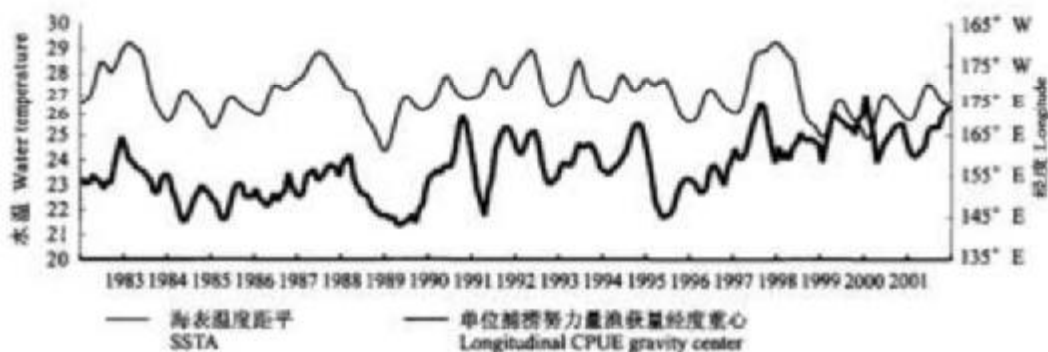


图3 Niño 3.4 区海表温度与中西太平洋鳀鱼围网单位捕捞努力量渔获量经度重心时间序列图(3个月滑动平均)
Fig.3 Sea surface temperature of Niño 3.4 region and longitudinal gravity center of CPUE time series (smoothed by a three-month moving average)

位于赤道中太平洋的 Niño 3.4 区接近西太平洋暖池,Niño 3.4 区海表温度的上升和下降对应着暖池的东扩和西缩。厄尔尼诺发生时,暖池向东扩展,Niño 3.4 区海表温度升高,鳀鱼单位捕捞努力量渔获量经度重心东移。拉尼娜发生时则相反。如 1995/1996 年拉尼娜从 1995 年 9 月开始,1996 年 3 月结束。Niño 3.4 区海表温度从 26℃ 降低到 1996 年 2 月的最低点 25.8℃,单位捕捞努力量渔获量经度重心从 153.6°E 向西回摆到 148.8°E。1997/1998 厄尔尼诺,从 1997 年 5 月开始到 1998 年 6 月突然结束。温度最低点为 28.6℃,到 1997 年 11 月到达最高点 29.3℃,比常年偏高 2.8℃,其后下降到 1998 年 5 月的 28.4℃,仍比常年偏高 0.7℃。单位捕捞努力量

渔获量经度重心向东最远移动到 177°E,且一直在 160°E 以东。1995/1996 年拉尼娜和 1997/1998 厄尔尼诺期间,经度重心东西摆动幅度最大达到近 30 个经度。作者应用 NOAA 的全球月平均海表温度和 SPC 的金枪鱼围网渔获数据制作了鳀鱼 CPUE 和等温线分布图,图 4 选取的是 1996 年第 1 季度(拉尼娜期间)、1997 年第 1 季度(通常情况)、1998 年第 1 季度(厄尔尼诺期间)的鳀鱼 CPUE 和等温线分布情况。从拉尼娜到通常情况再发展到厄尔尼诺的过程中鳀鱼 CPUE 和等温线的变化情况,较为直观地反映了暖池东扩以及中、东太平洋海表温度升高、CPUE 经度重心东移的变化。1996 年第 1 季度 28℃、29℃等温线(暖池边缘)比常年偏西,平均 CPUE 较高的渔场集

中在西部,大致在 160°E 以西。1997 年第 1 季度平均 CPUE 较高的渔场在 180°E 以西的 28~29 °C 等温线附近。1998 年第 1 季度,西太平洋的暖池一直向东到东太平洋沿岸,160°E 以东的大部分渔场的 CPUE 比 1997 年、1996 年第 1 季度高。这充分说明了厄尔尼诺过程中,中、东太平洋(包括 Niño 3.4 区)海表温度的升高与 CPUE 经度重心东移的变化是基本一致的。

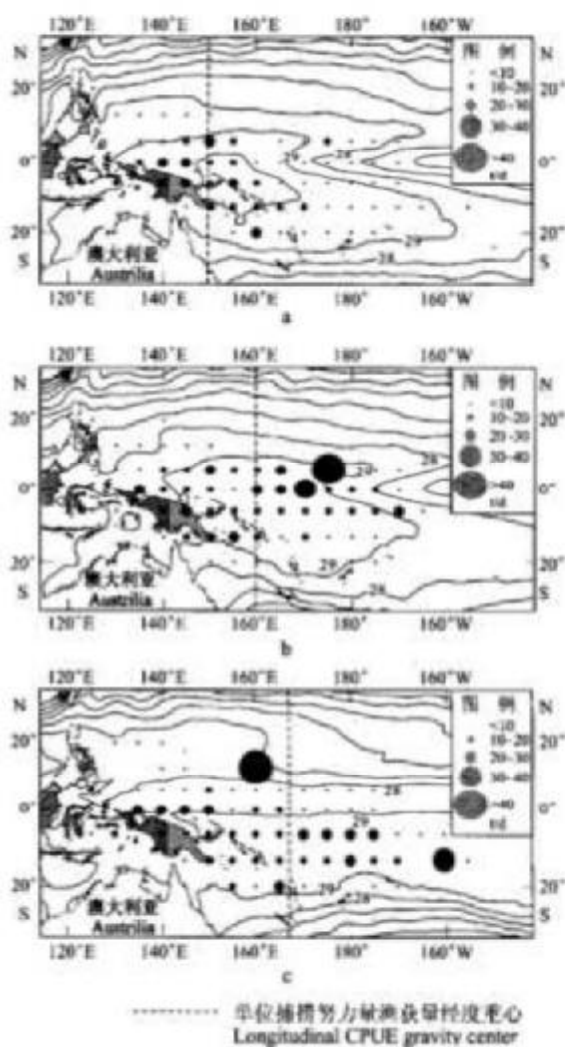


图4 中西太平洋鲣鱼围网单位捕捞努力量与平均海面温度分布图
a: 1996 年第 1 季度(拉尼娜期间); b: 1997 年第 1 季度(过渡情况); c: 1998 年第 1 季度(厄尔尼诺期间)。

Fig.4 Distribution of skipjack tuna CPUE and mean sea surface temperature in the Western and Central Pacific

a: During the first quarter of 1996 (La Niña period). b: During the first quarter of 1997 (transitional period). c: During the first quarter of 1998 (El Niño period).

3 结语

厄尔尼诺现象影响赤道太平洋的海洋环境如海表温度、温跃层、营养盐、初级生产力的分布和水平,引起鲣鱼资源量的变动和鲣鱼鱼群在水平方向和垂直方向上的移动。将 Niño 3.4 区海表温度作为反映厄尔尼诺现象的指标,通过分析其与鲣鱼单位捕捞努力量渔获量经度重心的关系,对厄尔尼诺现象对中西太平洋的鲣鱼渔场在经度分布方面的影响做了初步研究,但尚未涉及厄尔尼诺现象对鲣鱼资源量的影响,有待进一步研究。

随着卫星、海洋观测技术的发展和海洋观测系统(如 TAO)的建立和完善,人们能够监测厄尔尼诺现象的发生、发展过程以及它对赤道太平洋海洋环境的影响。通过海气耦合动力学模式、统计模式、物理海洋/统计大气模式等提前预报厄尔尼诺现象的发生和发展^[17],如 NOAA 可提前一年预测 Niño 3.4 区海表温度,并且时间越接近精度越高^[4]。因此,运用 Niño 3.4 区的海表温度结合叶绿素等初级生产力分布情况进行中西太平洋鲣鱼围网中心渔场的中长期预测和分析预报,理论上不仅可行,而且实践中便于远洋渔业生产指挥部门掌握与应用。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王 宇. 世界金枪鱼渔业资源开发利用研究[M]. 北京:海洋出版社,2000.
- [3] Jose Angel Trigueros-Salmeron, Sofia Ortega-Garcia. Spatial and seasonal variation of relative abundance of the skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus, 1758) in the Eastern Pacific (EPO) during 1970 - 1995[J]. Fish Res, 2001, 49: 227 - 232.
- [4] Bertugnac M, Campbell H F, Hampton J, et al. Maximizing resource rent from the western and central Pacific tuna fisheries[J]. Mar Res Econ, 2001(15): 151 - 177.
- [5] 陈纪平. ENSO—热带海洋和大气中和谐的海气相互作用现象[J]. 海洋科学进展, 2002, 20(003): 1 - 8.
- [6] 崔盘茂,江吉喜,张人禾. ENSO 监测和预测研究[M]. 北京:气象出版社,2000.
- [7] Fedorov A V, Philander S G. Is El Niño changing? [J]. Science, 2000, 288(5473): 1997 - 2002.
- [8] Daniela Turk, Mehdi M J, Bualacchi A J, et al. Remotely sensed biological production in the Equatorial Pacific[J]. Science, 2001, 293: 471 - 474.
- [9] Chavez F P, Strutton P G, Friederich G E, et al. Biological and

- chemical response of the equatorial Pacific Ocean to the 1997-98 El Niño[J]. *Science*, 1999, 286(5447): 2126-2131.
- [10] Hsuehjung Lu, Kuo-Tien Lee, Cheng Hsin Liao. On the relationship between EL Niño/Southern oscillation and South Pacific albacore[J]. *Fish Res.* 1998, 39: 1-7.
- [11] Lebedy P, Bertignac M, Hampton J, et al. EL Niño Southern oscillation and tuna in the Western Pacific[J]. *Nature*, 1997, 389(10): 715-717.
- [12] Trenberth K E. The definition of EL Niño[J]. *Bull Amer Meteorol Soc*, 1997, 78: 2771-2777.
- [13] 宇田道隆. 海洋漁場学[M]. 東京: 恒星社厚生閣發行所, 1963.
- [14] 李春喜, 王志和, 王文林. 生物统计学(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [15] 郑利荣. 海洋漁場学[M]. 台北: 徐氏基金会出版, 1986.
- [16] Picaut J, Isaradilen M, Menkes C, et al. Mechanism of the zonal displacements of the Pacific Warm Pool: Implications for ENSO[J]. *Science*, 1996, 274(5292): 1486-1489.
- [17] 钱维宏. ENSO 预报模式及其改进的进展[J]. 海洋预报, 1996, 13(3): 1-12.

Impacts of the El Niño Southern Oscillation on skipjack tuna purse-seine fishing grounds in the Western and Central Pacific Ocean

ZHOU Su-fang^{1,2}

(1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; 2. Geography Department, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: ENSO (EL Niño/Southern Oscillation) episodes are the largest coupled ocean-atmosphere phenomena causing global climate change on inter-annual timescales. ENSO episodes have enormous effects on marine fisheries. Skipjack dominates the catch of the purse seine in the Western and Central Pacific Ocean. Skipjack has a certain range of habitable or preference temperature. During ENSO episodes, sea surface temperature of the equatorial Pacific will vary greatly, which may be an important environmental factor affecting the skipjack population of the Western and Central Pacific Ocean. This study focuses on the effect of ENSO on the spatial distribution of skipjack tuna based on the relationship between sea surface temperature of Niño 3.4 region and the longitudinal gravity center of CPUE of skipjack tuna purse-seine fishing in the Western and Central Pacific Ocean (20°N-20°S, 120°E-150°W) from 1982 to 2001. Preliminary results indicate that ENSO episodes affect the spatial distribution of skipjack tuna significantly. During El Niño periods, the warm waters of the warm pool extend far to the east, and the sea surface temperature of the Niño 3.4 region ascends sharply and the longitudinal gravity center of CPUE shifts eastward. Conversely, during La Niña the warm pool is confined to the extreme west of the equatorial Pacific, and the sea surface temperature of the Niño 3.4 region descends and the longitudinal gravity center of CPUE shifts westward. There is significant relationship between the surface temperature of the Niño 3.4 region and the longitudinal gravity center of CPUE time series (Pearson's coefficient $r = 0.186$, $P < 0.01$). This evidence of ENSO-related zonal displacement of skipjack tuna distribution can allow the prediction of favorable fishing grounds in advance according to the correlation.

Key words: EL Niño Southern Oscillation; the Western and Central Pacific Ocean (WCPO); skipjack purse-seine fishing grounds; longitudinal gravity center of CPUE