

文章编号: 1674-5566(2019)02-0290-08

DOI:10.12024/j.sou.20180902406

ENSO 现象对东南太平洋智利竹筴鱼资源丰度及其渔场变动的影响

杨香帅¹, 邹晓荣^{1,2,3,4}, 徐香香¹, 汪子安¹

(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. 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; 4. 农业部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

摘要: ENSO (El Niño-southern oscillation) 是目前全球已知的最大海-气相互作用现象, 对渔业生产具有重要影响。根据 2003—2016 年我国东南太平洋智利竹筴鱼渔捞日志资料, 结合 Niño 3.4 区海表温度距平值 (SSTA) 分析智利竹筴鱼渔场资源丰度和时空分布。结果表明: 智利竹筴鱼渔场重心变化与 ENSO 现象存在着显著相关性, Niño 3.4 区 SSTA 与经度重心的关联度为 0.700, 与纬度重心的关联度为 0.726, 与 CPUE 月间变化的关联度为 0.520, 与 CPUE 年间变化的关联度为 0.703。厄尔尼诺期间, 渔场重心存在向西北移动的趋势, 其 CPUE 高于正常月份平均值; 拉尼娜期间, 渔场重心存在向东南移动的趋势, 其 CPUE 低于正常月份平均值。

关键词: 智利竹筴鱼; 东南太平洋; 资源丰度; 空间变化; ENSO

中图分类号: S 931 **文献标志码:** A

智利竹筴鱼 (*Trachurus murphyi*) 是典型的中上层跨界洄游鱼类, 在整个南太平洋, 包括智利、秘鲁、厄瓜多尔专属经济区及毗邻的大洋性水域、西南太平洋的新西兰均有分布^[1-2]。由于资源丰富、生长快、繁殖力高等特点, 其捕捞量多年来一直处于世界前列, 2000 年后, 一度成为我国远洋渔业的重要目标鱼种之一和大型拖网渔船新的经济增长点^[3-6]。2010 年后, 捕捞产量急剧下降, 2012 年, 南太平洋区域渔业管理组织成立, 对其资源量进行配额管理。

国内外学者对智利竹筴鱼做了大量研究, 许永久等^[7]和阮行建等^[8]对其生物学特征进行了研究; 邹晓荣等^[9]对其开发和利用进行了分析; 张敏等^[10]和 CÁRDENAS 等^[11]对其种群遗传进行了研究; 李显森等^[12]、ZHANG 等^[13]和牛明香等^[14-15]对其中心渔场的时空变动进行了相关报道; 邹莉瑾等^[16]对其年龄与生长进行了研究; 牛明香等^[15]和杨嘉樑等^[17]对渔场和海表温度、叶绿素浓度关系进行了报道。RODHOUSE^[18]和 YAMAGATA 等^[19]认为全球气候异常导致渔场资

源丰度和时空位置发生变动, 其中以 ENSO 现象影响最为明显。但 ENSO 现象对东南太平洋智利竹筴鱼的影响却罕有报道。ENSO 现象是目前全球已知的最大海-气相互作用现象^[20], 在 ENSO 现象发生期间, 海洋中营养盐、海流、初级生产力、碳循环等环境因子发生改变^[21], 从而引起渔场资源丰度和时空位置发生变动。本文采用灰色关联度分析方法分析智利竹筴鱼渔场变动、资源丰度与 ENSO 现象的关系, 增加我国在南太平洋区域渔业管理组织的话语权并为生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

捕捞数据: 来自中国远洋渔业协会大型加工拖网项目技术组统计的 2003—2016 年 13 艘渔船 9 300 网次的生产数据, 内容包括生产时间、渔获量、起放网位置等。

海洋环境数据: ENSO 指标以 Niño 3.4 区 SSTA 来表示^[22-23]。数据来源于美国国家大气局

收稿日期: 2018-09-27 修回日期: 2018-12-09

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2012AA092301); 上海市重点学科建设项目(S30702)

作者简介: 杨香帅(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源。E-mail: 934804683@qq.com

通信作者: 邹晓荣, E-mail: xrzou@shou.edu.cn

(NOAA) 气候预报中心(www.oceanwatch.pifsc.noaa.gov/)。时间范围为 2003—2016 年。

1.2 数据处理与分析方法

1.2.1 ENSO 现象的定义

ENSO 现象是厄尔尼诺和拉尼娜现象的合称,暖现象被称为厄尔尼诺现象,冷现象被称为拉尼娜现象^[24]。根据 NOAA 发布的 ENSO 现象定义^[25],Niño 3.4 区的 SSTA 连续 3 个月滑动超过 +0.5 °C,就会被认为发生一次厄尔尼诺现象;SSTA 连续 3 个月滑动超过 -0.5 °C 就会被认为发生一次拉尼娜现象。

1.2.2 处理方法

依据各月的 SSTA 值,判断是否发生 ENSO 现象。

单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)用以表示资源密度的主要指标^[26],表达式为

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

式中: $\sum_{i=1}^n Catch_i$ 为从第 1 天到第 n 天的累积渔获量, $\sum_{i=1}^n Effort_i$ 为从第 1 天到第 n 天累积作业小时数,CPUE(t/h) 为单位捕捞努力量渔获量。

以 $2^\circ \times 2^\circ$ 空间分辨率分月进行数据统计,计算产量重心,公式^[27]为

$$X = \sum_{L_i} (C_{ij}/E_{ij}) / \sum (C_{ij}/E_{ij}) \quad (2)$$

$$Y = \sum_{B_m} (C_{mn}/E_{mn}) / \sum (C_{mn}/E_{mn}) \quad (3)$$

式中: X 为产量重心的经度; Y 为产量重心的纬度; L_i 为区域 i 的中心经度; B_m 为区域 m 的中心纬度; C_{ij} 为 j 月在区域 i 的智利竹筴鱼总产量,t; C_{mn} 为 n 月在区域 m 的智利竹筴鱼总产量,t; E_{ij} 为 j 月在区域 i 的捕捞努力量,h; E_{mn} 为 n 月在区域 m 的捕捞努力量,h。

1.2.3 分析方法

灰色关联度分析方法是根据系统各因素间或各系统行为间发展态势的相似或相异程度,来衡量关联程度的方法,对样本量没有特别要求,也不需要典型的分布规律^[28]。利用灰色关联度分析方法,范江涛等^[29]对西北太平洋柔鱼渔场变化与黑潮的关系进行了研究;刘峰等^[30]对小黄鱼形态性状和体质量的关系进行了调查;段丁毓等^[31]

对秘鲁鳀渔场和环境因子的关系进行了报道。

本文利用灰色关联度分析方法^[28]研究 ENSO 现象下东南太平洋智利竹筴鱼资源丰度和渔场时空变动规律,其具体算法如下:

(1) 假设系统行为序列

$$X_0 = [x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(n)] \quad (4)$$

$$X_1 = [x_1(1), x_1(2), x_1(3), \dots, x_1(n)] \quad (5)$$

.....

$$X_i = [x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n)] \quad (6)$$

.....

$$X_m = [x_m(1), x_m(2), x_m(3), \dots, x_m(n)] \quad (7)$$

式中: X_0 为母序列; X_i 为子序列; $x_i(n)$ 为因素 X_i 在 k 时刻的观测数据。

(2) 原始数据消除量纲值(或单位)

$$X_i' = X_i/x_i(1) = [x_i'(1), x_i'(2), \dots, x_i'(n)] \quad (8)$$

式中: $i=0, 1, 2, \dots, m$ 。

(3) 差序列的求值

$$\Delta_i(k) = |x_0'(k) - x_i'(k)| \quad (9)$$

$$\Delta_i = [\Delta_i(1), \Delta_i(2), \dots, \Delta_i(n)] \quad (10)$$

式中: $k=1, 2, \dots, n; i=0, 1, 2, \dots, m; \Delta_i(k)$ 为消除量纲值(或单位)后 Δ_i 在 k 时刻的观测数据。

(4) 极差的计算

$$M = \max_i \max_k \Delta_i(k) \quad (11)$$

$$m = \min_i \min_k \Delta_i(k) \quad (12)$$

式中: M 为最大差, m 为最小差。

(5) 关联系数计算

经数据变换的母序列 $\{X_0(t)\}$, 子序列 $\{X_i(t)\}$, 在时刻 $t=k$ 时母序列 $\{X_0(t)\}$ 和子序列 $\{X_i(t)\}$ 的关系系数 $\gamma_{0i}(k)$ 计算式为:

$$\gamma_{0i}(k) = (m + \zeta M) / (\Delta_i(k) + \zeta M) \quad (13)$$

式中: $\zeta \in (0, 1)$ 为分辨系数, $\gamma_{0i}(k)$ 为关联系数, $k=1, 2, \dots, n; i=1, 2, \dots, m$ 。

(6) 计算关联度

$$L_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma_{0i}(k); k=1, 2, \dots, n; i=1, 2, \dots, m \quad (14)$$

式中:分辨系数 γ 取 0.5, 母序列为 SSTA, 子序列分别为 CPUE 月间变化、CPUE 年间变化、渔场经度重心和渔场纬度重心。

2 结果

2.1 东南太平洋气候年际变化特征

根据 NOAA 官方定义, 本文将 2003—2016 年 4—8 月东南太平洋海况分为以下几种类型 (图 1): 当 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{SSTA} \leq 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 为正常月份; 2003 年 4—8 月、2004 年 4—6 月、2005—2006 年 4—8 月、2007 年 4—6 月、2008 年 7—8 月、2009 年 4—6 月、2010 年 4—5 月、2011 年 6 月、2012—2014 年 4—8 月、2016 年 6—7 月; 当月 $\text{SSTA} \geq 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 为厄尔尼诺月份: 2003 年 7—8 月、2009 年 7—8 月、2015 年 4—8 月、2015 年 4—5 月; 当月 $\text{SSTA} \leq -0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 为拉尼娜月份: 2007 年 7—8 月、2008 年 4—6 月、2010 年 6—8 月、2011 年 4—5 月和 7—8 月、2016 年 8 月。

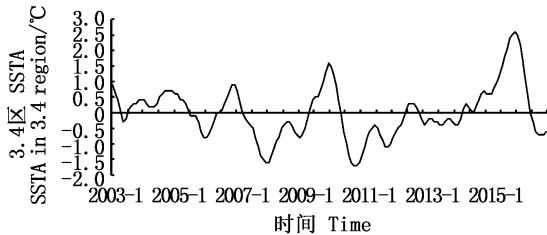


图 1 2003—2016 年 ENSO 时间序列分布图

Fig. 1 Time sequence change in ENSO index from 2003 to 2016

2.2 厄尔尼诺和拉尼娜现象对东南太平洋智利竹筴鱼渔场变动的的影响

厄尔尼诺和拉尼娜现象对东南太平洋智利竹筴鱼渔场变动的的影响如图 2 所示, 各年 4 月渔场主要分布在 $42^{\circ}\text{S} \sim 45^{\circ}\text{S}, 80^{\circ}\text{W} \sim 90^{\circ}\text{W}$; 5 月渔场主要分布在 $41^{\circ}\text{S} \sim 44^{\circ}\text{S}, 80^{\circ}\text{W} \sim 93^{\circ}\text{W}$; 6 月渔场主要分布在 $38^{\circ}\text{S} \sim 42^{\circ}\text{S}, 78^{\circ}\text{W} \sim 98^{\circ}\text{W}$; 7 月渔场主要分布在 $37^{\circ}\text{S} \sim 41^{\circ}\text{S}, 78^{\circ}\text{W} \sim 88^{\circ}\text{W}$; 8 月渔场主要分布在 $28^{\circ}\text{S} \sim 38^{\circ}\text{S}, 76^{\circ}\text{W} \sim 96^{\circ}\text{W}$ 。由于 9 月至翌年 3 月属于生产淡季, 作业较少, 数据不充足, 考虑到数据的连贯性, 本文选取 4 月至 8 月进行分析。结果表明 (图 3), ENSO 指数与智利竹筴鱼作业渔场经度重心关联度为 0.700, 与纬度重心关联度为 0.726。

2.3 厄尔尼诺/拉尼娜现象对东南太平洋智利竹筴鱼资源丰度的影响

2.3.1 厄尔尼诺/拉尼娜现象与 CPUE 月间变化关系

通过表 1 我们可以看出, 本文统计的 70 个月中, 正常月份数量为 46 个, 厄尔尼诺月份数量为 11 个, 拉尼娜月份数量为 13 个。正常月份平均 CPUE 为 8.40 t/h, 厄尔尼诺月份平均 CPUE 为 9.54 t/h, 拉尼娜月份平均 CPUE 为 6.51 t/h。厄尔尼诺月份 CPUE 值基本高于相邻年的同月份 CPUE 值, 拉尼娜月份 CPUE 值基本低于相邻年的同月份 CPUE 值。CPUE 月间变化与 ENSO 指数关联度为 0.520 (图 4)。

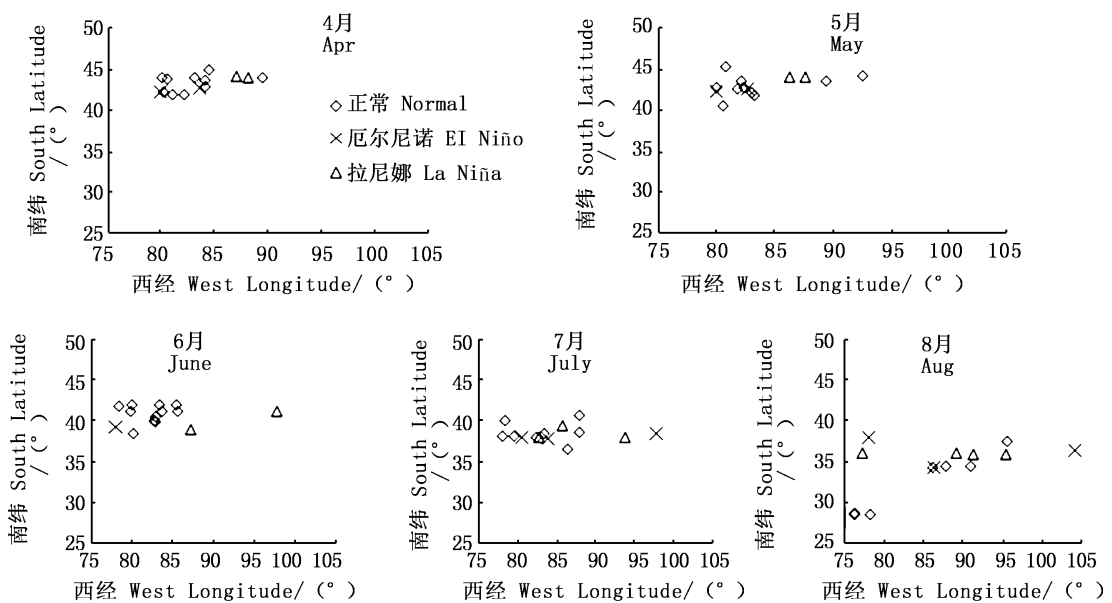


图 2 2003—2016 年各月份作业渔场重心变化图
Fig. 2 The month gravity change in fishing grounds from 2003 to 2016

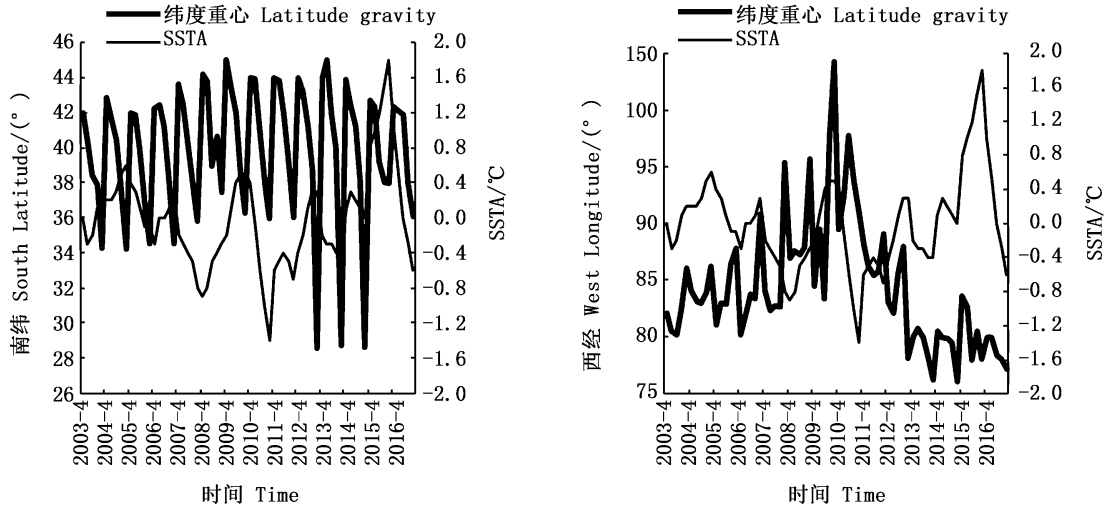


图3 ENSO 指数变化与渔场重心变化关系图

Fig.3 The relationship between ENSO index and fishing grounds gravity of production

表1 各月份 CPUE 统计

Tab.1 Statistics of the month CPUE t/h

年份 Year	月份 Month				
	4	5	6	7	8
2003	4.32	7.55	10.68	10.61	9.83
2004	4.85	9.08	9.47	12.24	10.67
2005	3.99	5.86	11.49	10.22	13.03
2006	9.79	14.84	11.55	13.65	9.33
2007	8.34	6.68	11.40	11.49	6.62
2008	6.89	10.49	12.09	11.44	9.52
2009	11.00	9.59	6.40	12.66	5.64
2010	6.96	6.93	4.54	2.85	4.65
2011	5.79	3.32	3.42	3.66	5.85
2012	4.34	4.42	8.04	5.74	7.48
2013	3.76	8.77	7.53	6.64	3.46
2014	4.86	7.12	9.02	9.06	6.46
2015	9.11	9.28	9.11	9.38	7.85
2016	8.69	8.22	6.82	5.24	6.05

注:厄尔尼诺月份加字符边框,拉尼娜月份为20%底纹
 Notes:Character border indicates EI Niño month, and 20% shade indicates La Niña month

2007(9.18 t/h)、2014(7.51 t/h)、2015(9.10 t/h)和2016年(7.32 t/h) CPUE 接近平均值(8.21 t/h)。2004(9.47 t/h)、2005(8.98 t/h)、2008(10.54 t/h)和2009年(9.76 t/h) CPUE 明显大于平均值(8.21 t/h)。CPUE 年间变化与 ENSO 指数关联度为0.703。

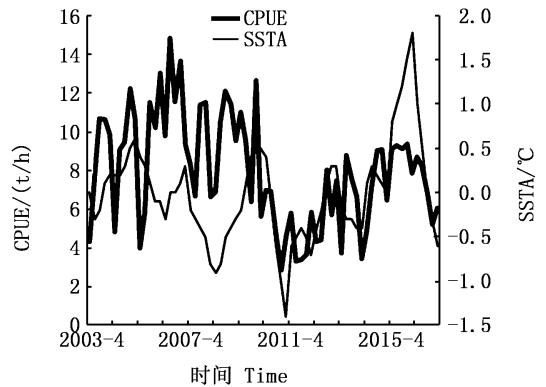


图4 ENSO 指数与 CPUE 月间变化关系图
 Fig.4 The relationship between ENSO index and month change of CPUE

2.3.2 厄尔尼诺/拉尼娜现象与 CPUE 年间变化关系

从 CPUE 年间变化来看(图5),2004—2006年、2009年、2015年为厄尔尼诺年,2007—2008年、2010—2011年为拉尼娜年,2016年厄尔尼诺和拉尼娜现象都有发生,其余年份为正常年。2011年平均 CPUE 最低,为4.22 t/h,2006年 CPUE 最高,为11.85 t/h。2010(5.58 t/h)、2012(4.50 t/h)和2013年(6.40 t/h) CPUE 明显低于2003—2016年 CPUE 平均值(8.21 t/h)。2003(8.07 t/h)、

3 讨论

3.1 ENSO 现象对东南太平洋智利竹筴鱼渔场空间分布的影响

ENSO 是目前全球已知影响最大的年际气候现象,虽然其海气耦合过程主要集中在赤道太平洋附近,但可以通过大气桥对远离赤道太平洋的其他海域造成非常明显的影响^[32-33]。

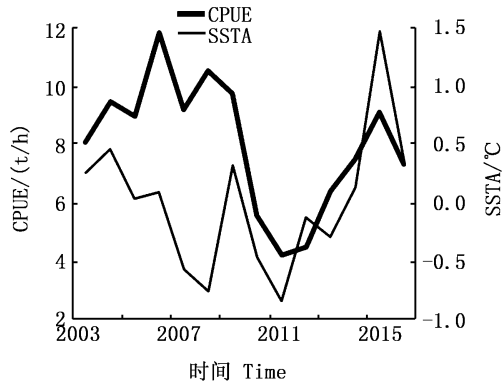


图5 ENSO指数与CPUE年间变化关系图

Fig.5 The relationship between ENSO index and inter annual change of CPUE

本文基于灰色关联度分析,可以看出东南太平洋智利竹筴鱼渔场重心变化与 ENSO 现象存在着明显相关性, ENSO 指数与智利竹筴鱼渔场经度重心关联度为 0.700,与纬度重心关联度为 0.726。各年 4—5 月智利竹筴鱼渔场纬度重心为 $41^{\circ}\text{S} \sim 45^{\circ}\text{S}$, 6—8 月渔场重心为 $28^{\circ}\text{S} \sim 42^{\circ}\text{S}$, 智利竹筴鱼渔场重心随着月份的增加向北移动,最北可至 28.57°S (2012 年 8 月), 翌年亦是如此,呈锯齿状波动。正常情况下,智利竹筴鱼渔场分布范围 $28^{\circ}\text{S} \sim 46^{\circ}\text{S}$, $76^{\circ}\text{W} \sim 96^{\circ}\text{W}$; 厄尔尼诺现象下,智利竹筴鱼渔场重心存在向西北移动的趋势,一般在 43°S 以北、 86°W 以西,最北可至 34.22°S (2004 年 8 月)、最西可至 77.97°W (2016 年 5 月); 拉尼娜现象下,智利竹筴鱼渔场重心存在向东南移动的趋势,一般在 35°S 以南、 97°W 以东,最南可至 42.73°S (2015 年 4 月)、最东可至 77.97°W (2015 年 6 月)。

渔场空间分布产生移动的原因,除了鱼类进行适温洄游以外,其饵料结构产生变化也是其主要原因。ANTONIO^[34]认为, ENSO 现象会对东南太平洋海域初级和次级生产力产生影响,当海洋环境受到 ENSO 影响时,秘鲁外海会形成上升流,导致初级生产力次级生产力丰富,形成一个更加有利于鱼群索饵的海域,因此造成其渔场空间分布的转移。

3.2 ENSO 现象对东南太平洋外海智利竹筴鱼渔场资源丰度的影响

我国捕捞智利竹筴鱼的月平均 CPUE 在 4 ~ 13 t/h, 绝大多数时间在 8 t/h 上下浮动。本文研究认为 ENSO 现象与智利竹筴鱼资源丰度存在着

显著性关系, CPUE 月间变化与 SSTA 关联度达到 0.520, CPUE 年间变化与 SSTA 关联度达到 0.703。厄尔尼诺发生期间, 82% (9 个月) 月份的 CPUE 高于历月平均值; 拉尼娜发生期间, 77% (10 个月) 月份低于历月平均值。

2010 年前, CPUE 值较高, 基本保持在 10 t/h 上下浮动, 而 2010 年以后 (包含 2010 年), CPUE 仅保持在 6 t/h 上下浮动, 呈现下降的趋势。统计的 70 个月中: 厄尔尼诺现象发生时, CPUE 高于正常月份平均值; 拉尼娜现象发生时, CPUE 低于正常月份平均值。

本文研究所用数据为我国大型拖网渔船在公海的商业捕捞数据, 缺少了沿海国专属经济区内的捕捞数据, 需要在今后的研究中, 对所得出的推论进行进一步验证。

参考文献:

- [1] 张衡, 张胜茂. 东南太平洋智利竹筴鱼渔场及单位捕捞努力量的时空分布 [J]. 生态学杂志, 2011, 30 (6): 1142-1146.
ZHANG H, ZHANG S M. Spatio-temporal distribution pattern of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) fishing grounds and catch yield per unit effort in Southeast Pacific Ocean [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30 (6): 1142-1146.
- [2] ARCOS D F, CUBILLOS L A, NÚÑEZ S P. The jack mackerel fishery and El Niño 1997-98 effects off Chile [J]. Progress in Oceanography, 2001, 49 (1/4): 597-617.
- [3] JORGE B C. The fishery for jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Northern Chile [D]. Russia: Oregon State University, 1981: 44-53.
- [4] 张衡, 樊伟. 2009 年秋冬东南太平洋智利竹筴鱼的渔业生物学特征 [J]. 海洋渔业, 2010, 32 (3): 340-344.
ZHANG H, FAN W. Biological characters of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the Southeast Pacific Ocean [J]. Marine Fisheries, 2010, 32 (3): 340-344.
- [5] 张敏, 邹晓荣, 季星辉, 等. 东南太平洋公海水域智利竹筴鱼探捕及其商业开发前景探讨 [J]. 水产学报, 2005, 29 (3): 386-391.
ZHANG M, ZOU X R, JI X H, et al. Discussion on exploratory fishing of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the open sea of the southeast Pacific and prospect of its commercial exploitation [J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29 (3): 386-391.
- [6] 方宇, 邹晓荣, 张敏, 等. 东南太平洋智利竹筴鱼栖息地指数的比较研究 [J]. 海洋渔业, 2010, 32 (2): 178-185.
FANG Y, ZOU X R, ZHANG M, et al. A comparative study on habitat suitability index of Chilean Jack Mackerel in

- Southeast Pacific Ocean [J]. *Marine Fisheries*, 2010, 32 (2): 178-185.
- [7] 许永久, 张敏. 东南太平洋智利竹筴鱼渔场浮游生物数量分布及与渔场关系[J]. *海洋渔业*, 2007, 29(4): 289-295.
- XU Y J, ZHANG M. Distribution of Plankton on *Trachurus murphyi* fishing grounds of the Southeast Pacific and its relationship with fishing grounds [J]. *Marine Fisheries*, 2007, 29(4): 289-295.
- [8] 阮行建, 邹晓荣, 张敏, 等. 东南太平洋智利竹筴鱼生物学特征与个体繁殖力研究[J]. *海洋通报*, 2017, 36(3): 333-339.
- RUAN X J, ZOU X R, ZHANG M, et al. Study on biological characteristics and individual fertility of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the Southeast Pacific Ocean [J]. *Marine Science Bulletin*, 2017, 36(3): 333-339.
- [9] 邹晓荣, 张敏, 张祖良. 东南太平洋南部公海智利竹筴鱼生产初探[J]. *海洋渔业*, 2001, 23(2): 64-68.
- ZHOU X R, ZHANG M, ZHANG Z L. A preliminary approach on fishing operation of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the Southern part of the Southeast Pacific Ocean [J]. *Marine Fisheries*, 2001, 23(2): 64-68.
- [10] 张敏, 许永久, 王成辉, 等. 智利竹筴鱼 3 群体遗传关系初步研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2009, 18(2): 212-217.
- ZHANG M, XU Y J, WANG C H, et al. Study on genetic relationship of three populations of Chilean jack mackerel, (*Trachurus murphyi*) from the Southern Pacific [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, 18(2): 212-217.
- [11] CÁRDENAS L, SILVA A X, MAGOULAS A, et al. Genetic population structure in the Chilean jack mackerel, *Trachurus murphyi* (Nichols) across the South-Eastern Pacific Ocean [J]. *Fisheries Research*, 2009, 99(2): 109-115.
- [12] 李显森, 戴芳群, 赵俊, 等. 智利外海渔场竹筴鱼资源分布特征[J]. *海洋水产研究*, 2004, 25(1): 20-27.
- LI X S, DAI F J, ZHAO J, et al. Resource distribution characteristics of Chilean jack mackerel in the fishing ground off Chile [J]. *Marine Fisheries Research*, 2004, 25(1): 20-27.
- [13] ZHANG H, ZHANG S M, CUI X S, et al. Spatio-temporal dynamics in the location of the fishing grounds and catch per unit effort (CPUE) for Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*, Nichols, 1920) from Chinese trawl fleets on the high seas of the Southeast Pacific Ocean, 2001-2010 [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2015, 31(4): 646-656.
- [14] 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 M X, LI X S, DAI F Q, et al. Characteristics of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) resource and surface temperature in west fishing ground offshore waters of Chile [J]. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(3): 373-377.
- [15] 牛明香, 李显森, 徐玉成. 智利外海竹筴鱼中心渔场时空变动的初步研究 [J]. *海洋科学*, 2009, 33(11): 105-109.
- NIU M X, LI X S, XU Y C. Preliminary study on spatio-temporal change of central fishing ground of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the offshore waters of Chile [J]. *Marine Sciences*, 2009, 33(11): 105-109.
- [16] 邹莉瑾, 张敏, 邹晓荣, 等. 东南太平洋公海智利竹筴鱼年龄与生长研究 [J]. *上海海洋大学学报*, 2010, 19(1): 61-67.
- ZOU L J, ZHANG M, ZOU X R, et al. Age and growth of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the high sea waters of Southeast Pacific [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2010, 19(1): 61-67.
- [17] 杨嘉樑, 黄洪亮, 刘健, 等. 智利竹筴鱼渔场海表温度及叶绿素浓度分布特征 [J]. *中国农业科技导报*, 2017, 19(10): 113-120.
- YANG J L, HUANG H L, LIU J, et al. Characteristics of Chilean jack mackerel fishing ground distribution and sea surface temperature and chlorophyll-a [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2017, 19(10): 113-120.
- [18] RODHOUSE P G. Managing and forecasting squid fisheries in variable environments [J]. *Fisheries Research*, 2001, 54(1): 3-8.
- [19] YAMAGATA T, SHIBAO Y, UMATANIT S I. Interannual variability of the Kuroshio Extension and its relation to the Southern Oscillation/El Niño [J]. *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, 1985, 41(4): 274-281.
- [20] 巢纪平. 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(3): 1-8.
- CHAO J P. ENSO: The harmonic ocean-atmosphere interaction in tropics [J]. *Advances in Marine Science*, 2002, 20(3): 1-8.
- [21] TURK D, MCPHADEN M J, BUSALACCHI A J, et al. Remotely sensed biological production in the equatorial Pacific [J]. *Science*, 2001, 293(5529): 471-474.
- [22] 陈洋洋, 陈新军. 厄尔尼诺/拉尼娜现象对中西太平洋鳁资源丰度的影响 [J]. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(1): 113-120.
- CHEN Y Y, CHEN X J. Influence of El Niño /La Niña on the abundance index of skipjack in the Western and Central Pacific Ocean [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(1): 113-120.
- [23] 余为, 陈新军, 易倩. 不同气候模式下西北太平洋柔鱼渔场环境特征分析 [J]. *水产学报*, 2017, 41(4): 525-534.
- YU WEI, CHEN X J, YI Q. Analysis of variations in the environmental conditions on the fishing ground of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwestern Pacific Ocean under different climate modes [J]. *Journal of Fisheries*

- of China, 2017, 41(4): 525-534.
- [24] 侯建华, 代滇, 龚美玲, 等. 厄尔尼诺与南方涛动事件对皖西地区降水的影响[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(5): 150-155.
HOU J H, DAI D, GONG M L, et al. The impact of Ep Nino-southern oscillation events on the precipitation in West Anhui[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(5): 150-155.
- [25] 钟姗姗, 何金海, 刘宣飞, 等. ENSO 十年际尺度变率的机制初探[J]. 热带海洋学报, 2004, 23(2): 28-36.
ZHONG S S, HE J H, LIU X F, et al. Possible mechanisms of ENSO ' S decadal variability [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2004, 23(2): 28-36.
- [26] 王从军, 邹莉瑾, 李纲, 等. 1999—2011 年东、黄海鲱资源丰度年间变化分析[J]. 水产学报, 2014, 38(1): 56-64.
WANG C J, ZHOU L J, LI G, et al. Analysis of the inter-annual variation of chub mackerel abundance in the East China Sea and Yellow Sea during 1999 - 2011 [J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(1): 56-64.
- [27] 周甦芳. 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[J]. 中国水产科学, 2005, 12(6): 739-744.
ZHOU S F. Impacts of the El Niño southern oscillation on skipjack tuna purse-seine fishing grounds in the Western and Central Pacific Ocean [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(6): 739- 744.
- [28] 陈新军. 灰色系统理论在渔业科学中的应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003:28-31.
CHEN X J. The application of grey system theory in fisheries science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 28-31.
- [29] 范江涛, 陈新军, 曹杰, 等. 西北太平洋柔鱼渔场变化与黑潮的关系[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(3): 378-384.
FAN J T, CHEN X J, CAO J, et al. The variation of fishing ground of *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific concerning with Kuroshio current [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(3): 378-384.
- [30] 刘峰, 楼宝, 陈睿毅, 等. 小黄鱼形态性状与体质量的灰色关联分析[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(1): 131-137.
LIU F, LOU B, CHEN R Y, et al. Analysis of grey relationship between morphological traits and body weight in the small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*) [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2017, 26(1): 131-137.
- [31] 段丁毓, 陈芄, 陈新军, 等. 基于灰色系统的秘鲁鳀资源量预测模型的构建[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(2): 284-290.
DUAN D Y, CHEN P, CHEN X J, et al. The construction of biomass forecasting model for the anchoveta (*Engraulis ringins*) by the grey system model [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(2): 284-290.
- [32] KLEIN S A, SODEN B J, LAU N C. Remote sea surface temperature variations during ENSO: evidence for a tropical atmospheric bridge. [J]. Journal of Climate, 1999, 12(412): 917-932.
- [33] ALEXANDER A M A, BLADÉ I, NEWMAN M, et al. The atmospheric bridge: The influence of ENSO teleconnections on air-sea interaction over the global oceans [J]. Journal of Climate, 2002, 15(16): 2205-2231.)
- [34] ANTONIO O M. Características del ambiente marino frente a la costa peruana [J]. Boletín IMARPE, 2000, 19(1/2): 179-204.

Effects of ENSO on abundance index and spatial-temporal change of Chilean jack mackerel in the Southeast Pacific Ocean

YANG Xiangshuai¹, ZOU Xiaorong^{1,2,3,4}, XU Xiangxiang¹, WANG Zian¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai 201306, China)

Abstract: ENSO are the largest coupled ocean-atmosphere phenomena. ENSO has enormous effects on marine fisheries. Spatial-temporal changes and abundance index of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) are analyzed, according to the statistical data of fishing yield of Chilean jack mackerel of Chinese fleets, and data of Niño 3.4 region sea surface temperature anomaly (SSTA) from 2003 to 2016. The result shows that there is significant correlation between ENSO and the fishing ground gravity of Chilean jack mackerel. The correlation degree between SSTA of the Niño 3.4 region and longitudinal gravity, latitude gravity, monthly change of CPUE and interannual change of CPUE are 0.700, 0.726, 0.520 and 0.703. During El Niño occurrence, fishing ground gravity moves northwest, the CPUE higher than the CPUE of normal month, while during La Niña occurrence, fishing ground gravity moves southeast, the CPUE lower than the CPUE of normal month.

Key words: Chilean jack mackerel; Southeast Pacific Ocean; abundance index; spatial-temporal change; ENSO