

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.20069

2015年超强厄尔尼诺事件对西北太平洋柔鱼渔场变动的影响

陈杭徽¹, 吴晓雪¹, 范江涛², 余为^{1,3,4}, 陈新军^{1,3,4}, 钱卫国⁵

1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;
2. 农业农村部外海渔业开发重点实验室, 广东 广州 510300;
3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 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;
5. 浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316022

摘要: 为研究超强厄尔尼诺事件对西北太平洋海域柔鱼(*Ommastrephes bartarmii*)资源量变动的影响, 并分析柔鱼栖息地在极端气候条件下的变化规律, 根据上海海洋大学鱿钓科学技术组提供的中国柔鱼生产捕捞数据, 比较2008年正常气候年份与2015年超强厄尔尼诺年份的单位捕捞努力量渔获量(CPUE)、产量、捕捞努力量以及渔场纬度重心(LATG)的变化; 利用栖息地适宜性指数模型对西北太平洋柔鱼栖息地的海表温度(SST)、光合有效辐射范围(PAR)和海表面高度距平(SSHA)3个关键环境因子进行分析。渔业数据时间为2008年和2015年9—11月, 数据覆盖范围为36°N~48°N、150°E~170°E。结果发现, 相对于2008年正常年份, 2015年超强厄尔尼诺事件下的CPUE明显降低, 且LATG向南偏移; 此外, 2015年适宜的SST和PAR范围均显著降低, 导致适宜的栖息地面积与正常年份相比大幅减少; 最适宜的SST和PAR等值线向南偏移, 导致有利的栖息地纬度位置向南移动。研究认为, 2015年超强厄尔尼诺事件发生时, 柔鱼渔场环境不适于柔鱼生长, 适宜栖息地面积减少且向南移动, 导致该年份柔鱼资源丰度骤减, 渔场向南偏移。

关键词: 柔鱼; 超强厄尔尼诺事件; 栖息地适宜性指数; 时空变动; 西北太平洋

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)10-1243-11

柔鱼(*Ommastrephes bartarmii*)作为一年生短生命周期的大洋洄游性头足类种类, 广泛分布于北太平洋的中心渔场145°E~145°W、35°~50°N的黑潮与亲潮交汇区^[1], 其群体按季节性地理位置可分为秋生东部种群、秋生中部种群、冬春生西部种群和冬春生中东部种群^[2]。世界头足类资源的开发利用在近几年间迅速增长, 中国自1994年开始在北太平洋海域商业化捕捞柔鱼, 该种类一直为中国远洋渔业中的重点捕捞对象, 且捕捞对象以冬春生群体为主, 其作业渔场分布于西北太平洋海域150°~170°E、36°~48°N范围内, 产量

约占中国鱿钓总产量的65%以上^[1,3]。柔鱼在西北太平洋海域内多依赖于暖水团, 由于黑潮与亲潮交汇的海域内物理和生物环境极为复杂, 且受大尺度气候条件影响较大, 因此柔鱼渔场的变动极为剧烈^[3-5]。国内外学者研究表明, 柔鱼渔场的资源丰度和空间分布受海洋环境条件的影响, 如陈新军等^[6]采用灰色关联度法和多元线性模型分析得出产卵场和索饵场的表温状况对柔鱼资源丰度有明显影响。樊伟等^[7]通过GAM模型拟合计算出叶绿素浓度与柔鱼产量的关系。余为等^[8]应用信息增益方法分析了各环境因子对渔场的影响程

收稿日期: 2020-04-01; 修订日期: 2020-04-08.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0901405); 农业农村部外海渔业开发重点实验室开放基金资助项目(LOF 2019-01); 国家自然科学基金青年科学基金项目(41906073); 上海市自然科学基金项目(19ZR1423000); 上海市水产高峰一流学科资助项目(Fisheries A).

作者简介: 陈杭徽(1999-), 学士, 研究方向为渔业资源与渔场. E-mail: 1035451292@qq.com

通信作者: 余为, 讲师, 主要从事渔业海洋学研究. E-mail: wyu@shou.edu.cn

度等。此外,影响渔场丰度和空间分布的环境因子还包括内海表面高度(SSH)^[8]、海表面高度距平(SSHA)、产卵场和索饵场内的海表温度距平(SSTA)、叶绿素 a 含量^[9]等,对其资源丰度和空间分布具有显著的影响。

除了各环境因子外,气候异常变化对柔鱼生长和渔场的分布同样具有显著影响。中尺度的厄尔尼诺和拉尼娜现象为气候系统中最强的年际气候信号^[10],其变化对柔鱼渔场的时空分布具有调控作用。例如 Chen 等^[11]和余为等^[12]研究发现拉尼娜现象可能使柔鱼渔场重心北移,且柔鱼产卵场海域温度上升对其生长繁殖不利,减少其资源补充量;而厄尔尼诺现象则使柔鱼渔场重心往南移动,产卵场水温变化与正常年份大致相同且幅度较小,该气候条件有利于柔鱼产卵孵化,因此产卵场环境有利于资源补充。厄尔尼诺事件分为弱厄尔尼诺、中强度厄尔尼诺、强厄尔尼诺和超强厄尔尼诺事件,超强度的厄尔尼诺对柔鱼渔场变动影响极为明显^[10]。2015 年太平洋海域发生了超强厄尔尼诺现象,但目前国内外学者评估 2015 年超强厄尔尼诺事件对头足类的影响研究较少。因此本研究利用中国远洋渔业数据中心提供的鱿钓渔业数据,对比分析了 2008 正常气候年份和 2015 年超强厄尔尼诺年份柔鱼的资源丰度、栖息地以及渔场环境的变化,据此探讨超强厄尔尼诺事件对柔鱼渔场变动的的影响与机理,为柔鱼渔场的合理开发和利用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

本次研究的渔业数据来自上海海洋大学中国远洋渔业数据中心。有记录的超强厄尔尼诺事件只发生在 1982、1997 和 2015 年,而 1982 年中国尚未开始柔鱼渔业,1997 年柔鱼渔业处于初始开发阶段,渔业数据相对粗糙,2000 年后国内捕捞产业的生产数据管理逐渐规范,2008 年和 2015 年中国的捕捞生产数据详细,适合作为案例进行对比研究。渔业数据时间为 2008 年和 2015 年 9—11 月,数据覆盖范围为 36°~48°N、150°~170°E。生产数据内容包括作业位置、作业时间、作业次

数、捕捞努力量和渔获量等,各年原始数据记录均超过 1 万条。数据时间分辨率为月,空间分辨率为 0.5°×0.5°。

环境数据包括 SST、PAR 和 SSHA,时间和空间范围覆盖本研究海域。SST 数据来源于美国国家海洋和大气管理局(NOAA)(<https://www.ncdc.noaa.gov/oisst/data-access>), PAR 数据来源于 OceanWatch 数据库(<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/thredds/catalog.html>), SSHA 数据来源于夏威夷大学环境数据中心的卫星海洋数据科学小组(<http://apdrc.soest.hawaii.edu/data/data.php>),所有环境数据空间分辨率转化为 0.5°×0.5°并与渔业数据进行匹配。厄尔尼诺、正常气候以及拉尼娜事件利用尼诺指数来表征,尼诺指数依据 Niño 3.4 区海表温距平值(SSTA)来获取,其数据来自美国 NOAA 气候预报中心(https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)。

1.2 分 析 方 法

计算 2008 和 2015 年 9—11 月不同渔区内的单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE),单位为 t/dt·d-1。定义经纬度 0.5°×0.5°为一个渔区,计算公式为^[13-14]:

$$CPUE_{ymij} = \frac{\sum Catch_{ymij}}{\sum Effort_{ymij}}$$

式中, $\sum Catch_{ymij}$ 为一个渔区内的总渔获量; $\sum Effort_{ymij}$ 为总捕捞努力量, y 为年份; m 为月份; i 为经度; j 为纬度。

计算 2008 年和 2015 年 9—11 月各月渔场纬度重心(latitudinal gravity center, LATG),计算公式如下^[15]:

$$LATG_m = \frac{\sum (Latitude_{i,m} \times CPUE_{i,m})}{\sum CPUE_{i,m}}$$

式中, Latitude 为纬度, CPUE 为单位捕捞努力量渔获量; i 为渔区, m 为月份。

根据美国 NOAA 对厄尔尼诺事件的定义,在 Niño 3.4 区(5°N~5°S, 120°~170°W),连续 5 个月 SSTA 的滑动平均值超过+0.5 °C 则为发生一次厄尔尼诺事件;根据 <https://ggweather.com/enso/oni>。

htm 的划分标准, 当尼诺指数(oceanic Niño index, ONI)连续超过 3 个月大于或等于 2.0, 则认定为超强厄尔尼诺事件。因此 2015 年为超强厄尔尼诺年份, 2008 年属于正常气候年份。

分析对比 2008 年和 2015 年 9—11 月各月单位捕捞努力量渔获量(CPUE)、渔场纬度重心(LATG)、渔获量(catch)和捕捞努力量(effort)的数据, 并分别绘制 CPUE、LATG、Catch 和 Effort 的月间分布图, 评估并对比 2008 年和 2015 年各变量的月间变化关系。同时, 计算海表温度(SST)、海面高度距平(SSHA)和光合有效辐射(PAR), 绘制西北太平洋海区柔鱼渔场内 2008 年与 2015 年 9—11 月 SSHA、PAR、SST 月间差值的空间分布图。

依据 Yu 等^[18]建立的柔鱼栖息地指数模型(habitat suitability index model, HSI), 绘制 2008 和 2015 年 9—11 月基于 SST、PAR、SSHA 的单因子适宜性指数值的月间分布图和各月份差值的空间分布图。再采用赋予权重的算术平均算法建立 HSI 最优模型, SST、PAR、SSHA 这 3 个因子的权重分别取 0.8、0.1、0.1^[16]。计算 2008 和 2015

年 9—11 月的 HSI 值, 并绘制出这两年适宜的栖息地范围(HSI>0.6)、不适宜的栖息地范围(HSI<0.2)和平均栖息地指数值的月间分布图, 以及绘制适宜的栖息地(HSI>0.6)的空间分布图。

依据栖息地指数模型得到柔鱼 9—11 月各月最适宜的 SST 和 PAR 值, 绘制渔场各月最适宜的 SST 和 PAR 等值线图。同时, 绘制 HSI 的空间分布图, 并在图中标出 HSI=0.6 和 HSI=0.8 的等值线, 对比分析 2008 年正常年份和 2015 年超强厄尔尼诺年份西北太平洋柔鱼栖息地空间位置的年间差异。

2 结果与分析

2.1 西北太平洋柔鱼资源与环境月间变化分析

由图 1 可知 2008 年 9—11 月 CPUE 月平均值呈递减趋势, 2015 年 9—11 月 CPUE 月平均值略微上升, 但总体上各月均值都低于 2008 年; 2008 年 9—11 月 catch 月平均值先上升后下降, 与 2015 年变化趋势一致, 但总体上均高于 2015 年; 2008 年 9—11 月 LATG 月平均值逐月降低, 而 2015 年

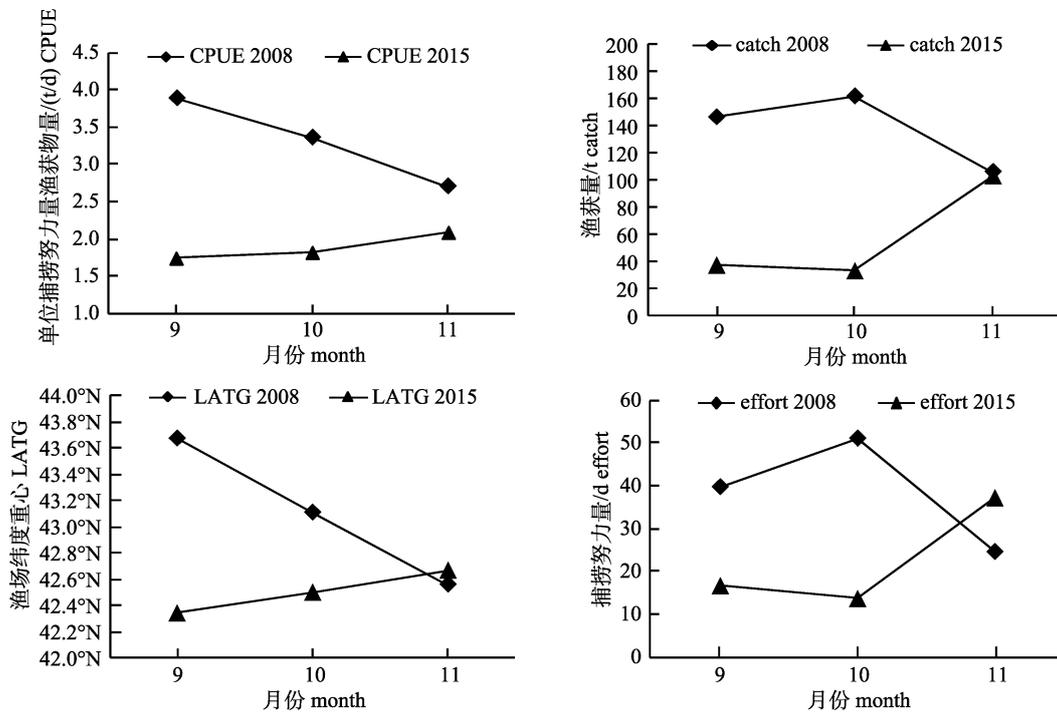


图 1 2008 年和 2015 年 9—11 月捕捞努力量渔获量(CPUE)、渔场纬度重心(LATG)、渔获量(catch)和捕捞努力量(effort)的月间分布图

Fig. 1 Monthly catch per unit effort (CPUE), latitudinal gravity center (LATG), catch and fishing effort of *Ommastrephes bartramii* from September to November in 2008 and 2015

呈上升趋势, 11 月的值高于 2008 年, 总体趋势仍是 2008 年显著高于 2015 年, 即超强厄尔尼诺年份相较于正常年份柔鱼渔场重心向南移动; effort 变化趋势与 catch 类似, 虽然 9—10 月 2008 年的 Effort 远大于 2015 年, 但在 11 月则略低于 2015 年。综上所述, 2008 年 9—11 月西北太平洋柔鱼的 CPUE、catch、effort 总体高于 2015 年, 且渔场纬度重心南移。

2.2 柔鱼栖息地指数模型结果分析

由图 2 可知 2008 年与 2015 年 9—11 月 SSHA

差值大多为负值, 9 月渔场内部分海域为正值, 10 月和 11 月正值部分较少, 主要集中于 36°~39°N; 2008 年与 2015 年 9—11 月 SST 差值绝大部分为正值, 尤其是九月份 40°~46°N、156°~164°E 海域内, SST 差值偏高。2008 年与 2015 年 9—11 月 PAR 差值大部分为正值, 主要体现在 9 月和 11 月, 在 9 月和 10 月越靠近西北方向海域, PAR 差值中正值越多。以上结果表明, 2008 年 SST 和 PAR 值要高于 2015 年, 而 SSHA2008 年要低于 2015 年。

由图 3 可知 2008 年 9—11 月基于 SST 的适宜

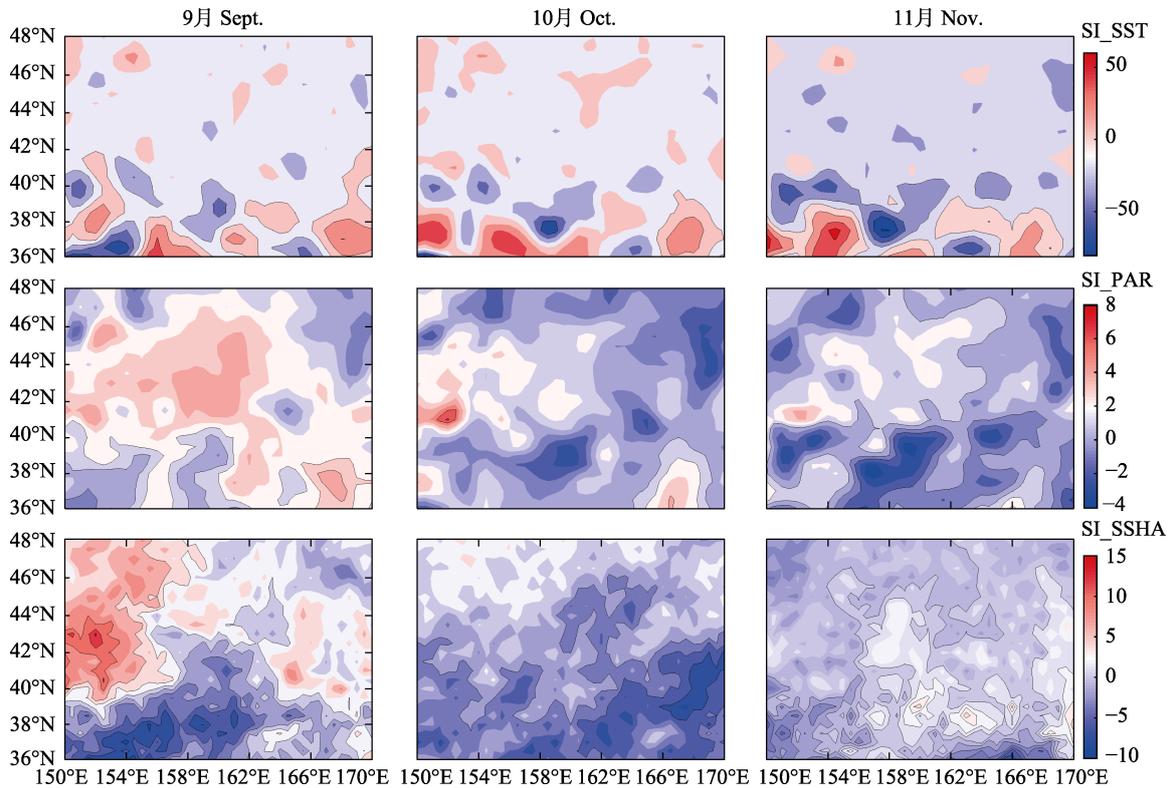


图 2 2008 年和 2015 年 9—11 月柔鱼渔场海表面高度距平(SSHA)、海表温度(SST)和光合有效辐射范围(PAR)月间差值的空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of monthly difference in SSHA, PAR and SST on the fishing ground of *Ommastrephes bartramii* from September to November in 2008 and 2015

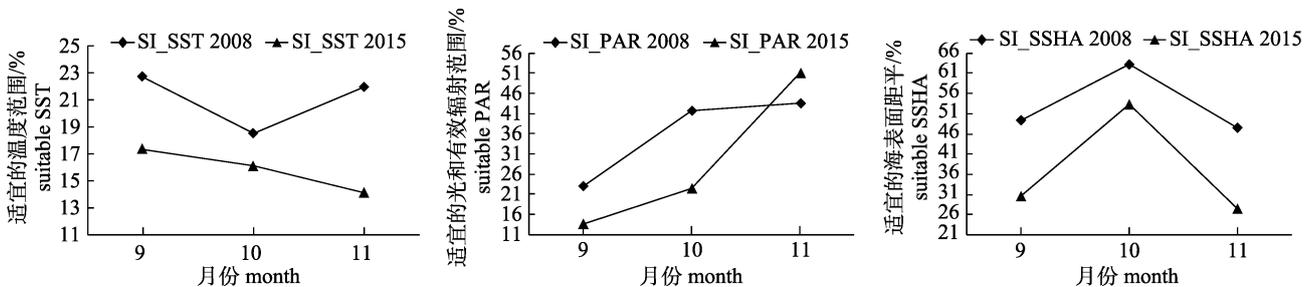


图 3 2008 年和 2015 年 9—11 月 SI_SST、SI_PAR、SI_SSHA 的月间分布图

Fig. 3 Monthly SI_SST, SI_PAR, SI_SSHA of *Ommastrephes bartramii* from September to November in 2008 and 2015

性指数值(SI_SST)先下降后上升, 2015 年呈下降趋势, 且 2008 年总体上高于 2015 年 2%~8%; 基于 PAR 的适宜性指数值(SI_PAR)在 2008 年和 2015 年均呈上升趋势, 除 11 月外 2008 年 PAR 值高于 2015 年; 基于 SSHA 的适宜性指数(SI_SSHA)呈先上升后下降的趋势, 同样 2008 年的值显著高于 2015 年。

由上述分析可知各环境因子的适宜性指数值均为 2008 年高于 2015 年, 这与 2008 年和 2015

年各月份单因子的适宜性指数差值的空间分布图(图 4)相一致, 由图 4 可以看出 2008 年与 2015 年 9—11 月 SI_SST、SI_PAR 和 SI_SSHA 月间差值在西北太平洋柔鱼渔场大部分海域中均为正值, 且大部分集中于北部海域。

由图 5 可以看出, 2008 年柔鱼渔场 9—11 月的栖息地适宜指数(HSI)平均值和适宜栖息地范围(HSI>0.6)均明显高于 2015 年; 相反, 2015 年

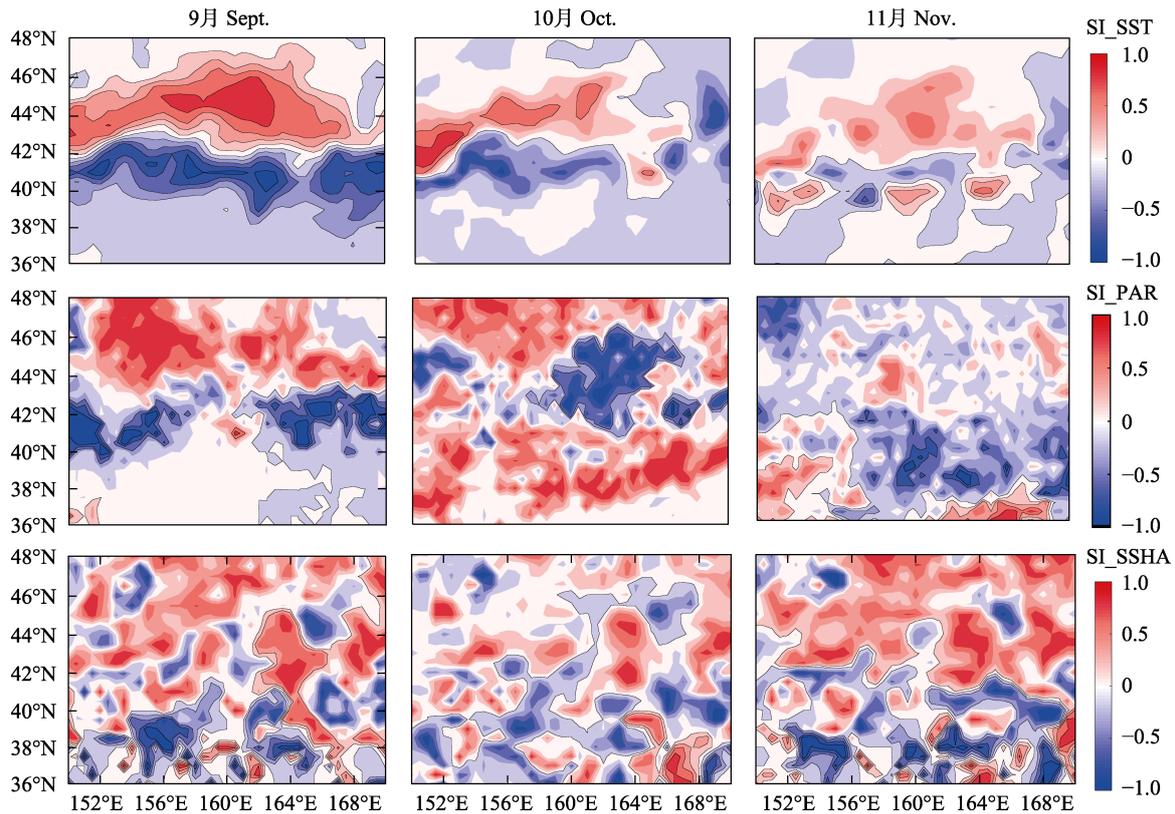


图 4 2008 年和 2015 年 9—11 月 SI_SST、SI_PAR、SI_SSHA 月间差值的空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution of monthly difference in SI_SST, SI_PAR, SI_SSHA on the fishing ground of *Ommastrephes bartramii* from September to November between 2008 and 2015

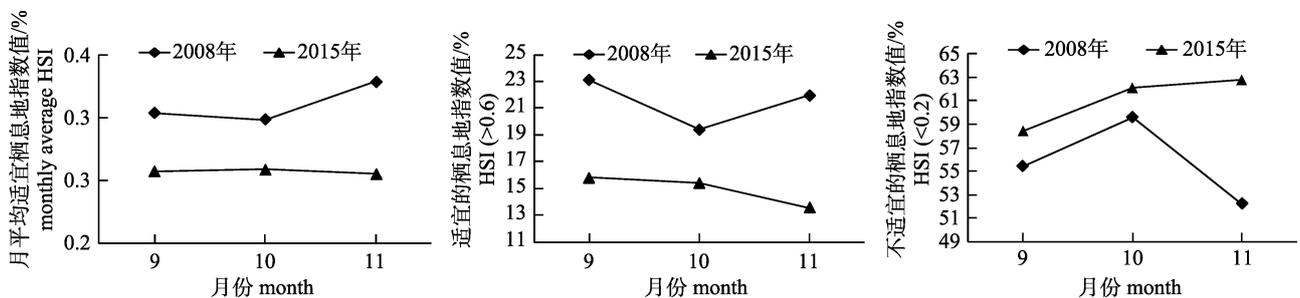


图 5 2008 年和 2015 年 9—11 月平均栖息地指数值, 适宜的栖息地指数范围(HSI>0.6)比例和不适宜的栖息地指数范围(HSI<0.2)比例的月间分布图

Fig. 5 Monthly average HSI, percentage of HSI>0.6 and percentage of HSI<0.2 on the fishing ground of *Ommastrephes bartramii* during September–November in 2008 and 2015

9—11 月的不适宜栖息地范围($HSI < 0.2$)都高于 2008 年相应值,这说明 2008 年的海域环境更适合柔鱼的栖息和生长。通过对比 2008 年与 2015 年 9—11 月适宜的栖息地($HSI > 0.6$)空间分布图(图 6),发现其结果与图 5 分析相一致,并且较为直观地展示了 2008 年该海域柔鱼的适宜栖息地面积高于 2015 年,且 2015 年相较于 2008 年渔场偏向南移。

2.3 超强厄尔尼诺事件对渔场环境与栖息地的影响

2015 年为超强厄尔尼诺事件的发生年,将其与 2008 年 9—11 月在渔场中最适宜 SST 等值线空间位置进行对比,3 个月中每月最适的 SST 值(9 月为 $17.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,10 月为 $15.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,11 月为 $12.9\text{ }^{\circ}\text{C}$)等值线如图 7 所示。通过比较发现,2015 年的 SST 等值线位置要比 2008 年更向南偏移。此外,2008 年

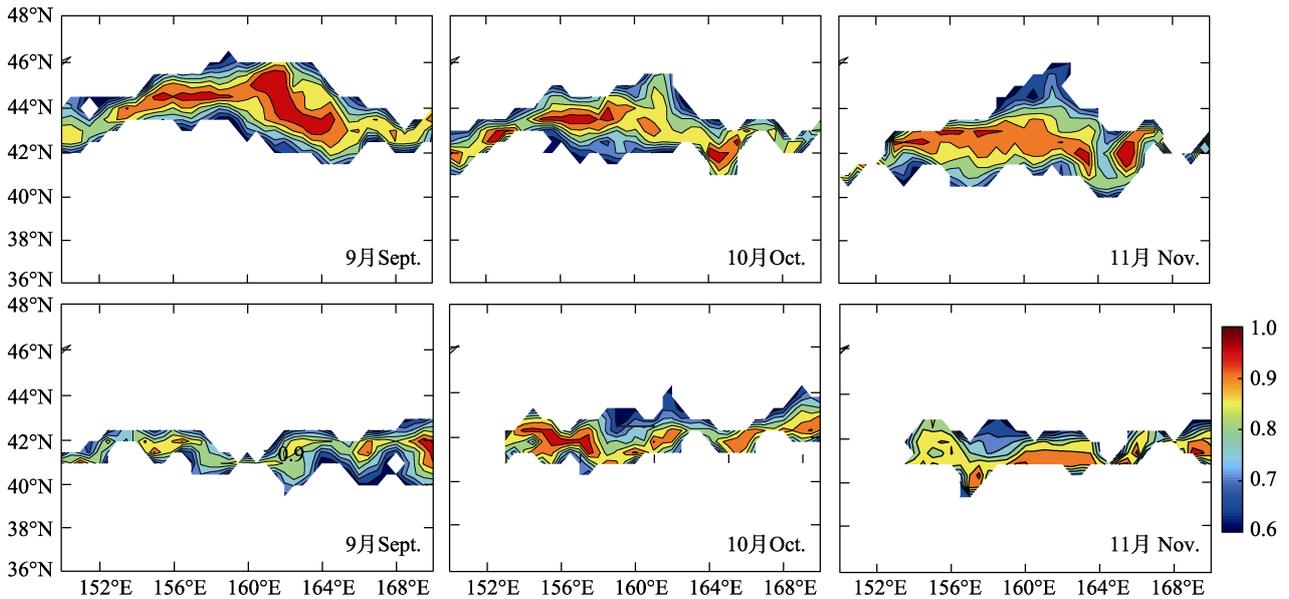


图 6 2008 年和 2015 年 9—11 月适宜栖息地($HSI > 0.6$)的空间分布图

Fig. 6 Spatial distribution of the areas with $HSI > 0.6$ in the Northwest Pacific Ocean during September–November in 2008 and 2015

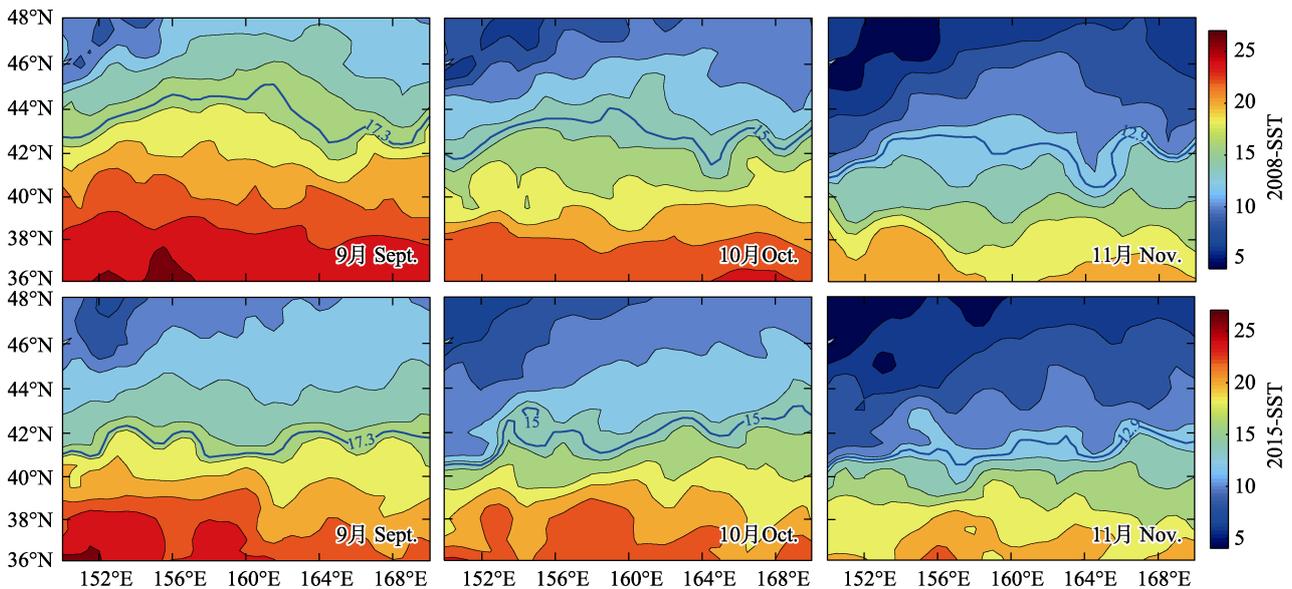


图 7 2008 年和 2015 年 9—11 月各月适宜的 SST 等值线空间分布图

Fig. 7 Spatial distribution of the contour lines of the most suitable sea surface temperature (SST) during September–November in 2008 and 2015

9—11 月柔鱼渔场内的温度要普遍高于 2015 年。

2008 年和 2015 年 9—11 月的 PAR 值和最适宜 PAR 等值线如图 8 所示。其中 2008 年 9 月 PAR 值明显高于 2015 年, 且覆盖区域也相对较广, PAR 值较高海域主要集中在东南方向, 且最适 PAR 等值线也较 2015 年偏北。10 月, 在 160°E 以西海域内(为柔鱼的中心渔场), 2008 年 PAR 等值线比 2015 年靠北, 且 PAR 值明显高于 2015 年。11 月

PAR 等值线位置相当, 但 2008 年研究海域内的 PAR 值总体上相对高于 2015 年。

图 9 为 2008 年和 2015 年 9—11 月 HSI 等值线空间分布图, 可以看出 2008 年适宜的柔鱼栖息地范围大于 2015 年, 且相较于 2015 年偏北移动。综上, 可以发现 2015 年超强厄尔尼诺年份柔鱼资源丰度、产量以及 SST 和 PAR 值均低于正常年份, 且柔鱼适宜的栖息地范围较小, 渔场范围向南移动。

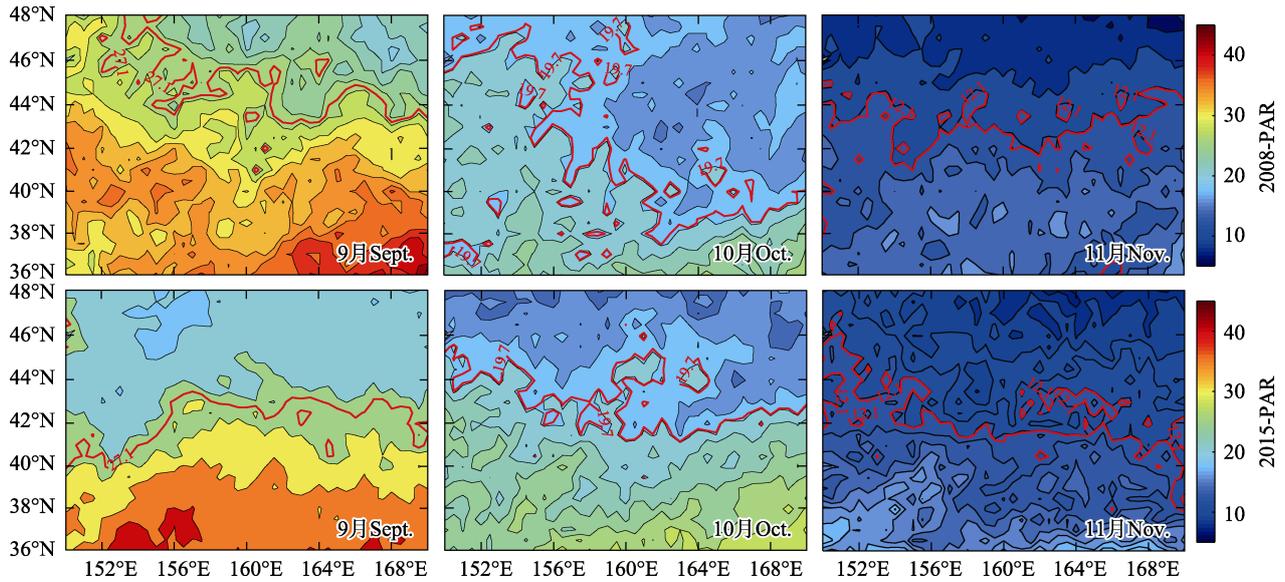


图 8 2008 年和 2015 年 9—11 月各月适宜的 PAR 等值线图

Fig. 8 Spatial distribution of the contour lines of the most suitable photosynthetically active radiation (PAR) during September–November in 2008 and 2015

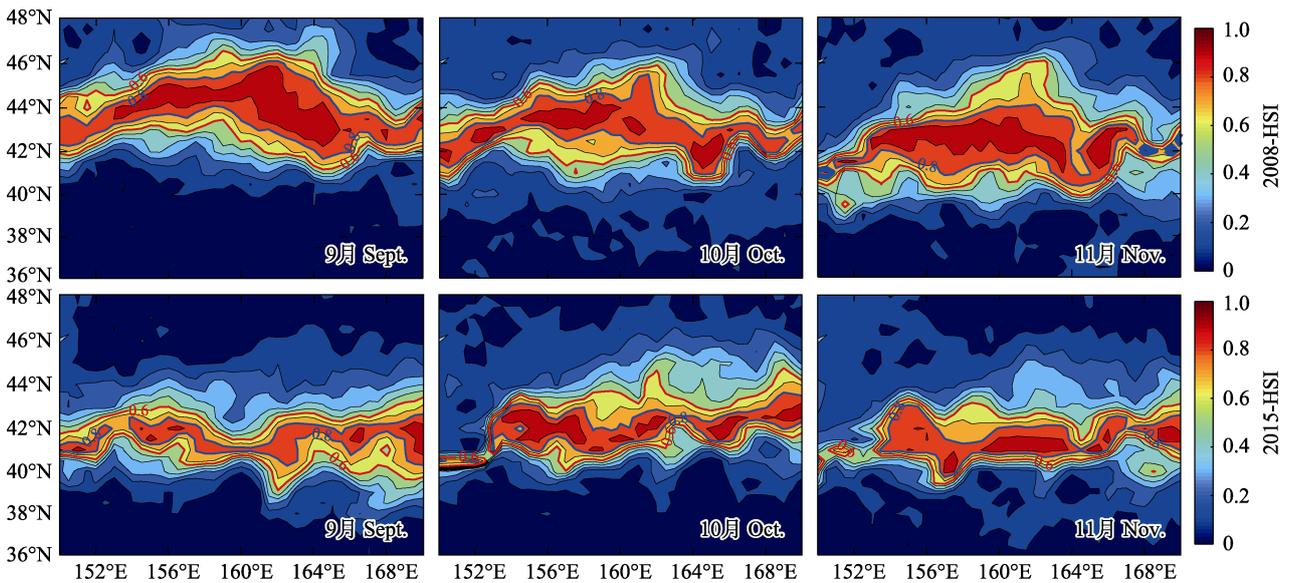


图 9 2008 年和 2015 年 9—11 月 HSI (HSI=0.6 和 HSI=0.8) 的等值线空间分布图

Fig. 9 Spatial distribution of the contour lines of HSI=0.6 and HSI=0.8 from September to November in 2008 and 2015

3 讨论

厄尔尼诺事件对西北太平洋鱼类的栖息地及渔场内的环境会产生显著影响。例如,管卫兵等^[17]通过分析长江口日本鳗鲡苗的历史数据发现,当以强厄尔尼诺事件为主时, SSTA 越大,则鳗鲡捕捞量就越低。周甦芳^[18]通过研究 Niño3.4 区的月平均 SST 和西太平洋鳀渔场 CPUE 的经度重心得出,在厄尔尼诺发生期间, Niño 3.4 区的月平均 SST 上升,西太平洋暖池向东扩展,赤道太平洋中、东部的水温升高,导致鳀 CPUE 经度重心将会向东偏移,即位于西北太平洋暖池的鳀数量将会明显减少。厄尔尼诺事件除了通过影响海域气候使得温度上升,导致该海域渔获量下降或栖息地面积减少外,还会因为其强度的不同导致渔场温度下降,从而影响渔业资源量及栖息地分布。郭爱等^[19]通过建立鲈(*Scomber japonicas*)的综合 HSI 模型发现,相对于中强度厄尔尼诺事件,超高强度的厄尔尼诺事件使得鲈主要作业的海域温度偏低, SSH 上升,从而导致鲈的适宜栖息地面积和 CPUE 明显偏小。但还有研究表明,海洋捕捞量会随着厄尔尼诺强度与持续时间的增加而增大,李菲萍等^[20]通过对广西北部湾捕捞产量的数据以及厄尔尼诺的强度、持续时间进行分析得出,捕捞产量的增长率与厄尔尼诺强度、持续时间呈正相关关系。因此,厄尔尼诺事件除了对柔鱼栖息地产生影响外,对其他不同海域的鱼类产生的影响也不相同。针对柔鱼,在不同强度的厄尔尼诺事件下,余为等^[12]研究发现,在弱强度、中强度、高强度的厄尔尼诺事件下都会使柔鱼渔场内水温偏低;各强度对适宜柔鱼生长的栖息地面积也不相同,相较于中等强度厄尔尼诺事件而言,弱厄尔尼诺和超强厄尔尼诺条件下柔鱼适宜栖息地面积均较高。还有研究认为,小尺度海洋环境变化如黑潮和亲潮,在两者交汇海域与柔鱼渔场有较好的相关性,且黑潮势力强时渔场北移,渔汛提前,亲潮势力强时渔场南移,渔汛滞后^[21]。此外,太平洋年代际涛动(PDO)给黑潮和亲潮提供了年代际气候背景^[10],因此,大尺度的气候与环境变化对柔鱼的资源分布也有着极强的影响。

由于不同尺度气候和海洋环境变化间的交互作用,拉尼娜年份的中心渔场作业范围较厄尔尼诺年份偏北 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ ^[22]。

海洋中不同的环境因子对柔鱼渔场的分布有显著影响^[5, 10, 23-24]。其中 SST 为主要影响因子,其余因子例如 SSTA、Chl-a、PAR、SSHA 等对柔鱼资源影响同样显著。例如,沈新强等^[24]研究认为水温对初级生产力的支配间接影响了渔场的分布,暖涡区的叶绿素 a 含量与盐度普遍高于冷涡区,为柔鱼提供丰富的饵料基础,因此北太平洋西部地区的中心渔场在暖涡区的东南边缘叶绿素 a 水平梯度最大。余为等^[8]在研究 SSTA 年间变化与 CPUE 分布的关系中发现,2009 年较低的水温不仅不利于柔鱼生长,还阻碍了北太平洋柔鱼从南往北的洄游,降低了作业渔场的柔鱼丰度,减少了渔获量。影响柔鱼资源丰度和空间分布的环境因子众多,但文章不可能将所有环境因子进行通盘考虑分析。因此,本研究在选择环境因子时,选择了较为关键的 3 个环境因子,分别是 SST、PAR 和 SSHA。其中, SST 是最为关键的环境因子,对柔鱼生理代谢影响极为重要; PAR 影响浮游植物的光合作用,从而影响水域内的初级生产力,与浮游生物密度关系密切,从而影响了柔鱼的饵料; SSHA 是渔场内的物理环境因子,可能对渔场内的饵料的辐射扩散等产生影响,也是影响柔鱼关键的因子之一^[8, 10, 12]。据此,本研究选择以上 3 个环境因子进行分析。

研究结果发现,2008 年各月 SST 高于 2015 年,这也证实了前人的研究结论,即较高的海表温度有利于柔鱼形成集群。此外, PAR 值要高于 2015 年,而 SSHA 则低于 2015。这也验证了较高的 PAR 值有利于光合作用,因而渔场内可形成较高的初级生产力,利于浮游生物的聚集,为柔鱼带来充足饵料资源;而较高的 SSHA 则不利于形成柔鱼渔场^[10]。通过对比研究发现,相对于正常气候年份 2008 年,2015 年发生的超强厄尔尼诺现象导致 SST 大面积降低, SSHA 缓慢上升, PAR 在 9—11 月间先上升后有所回落,从而使 CPUE 大体上低于正常年份;通过建立 HSI 模型,分析比较各

个环境因子的适应性指数, 验证了 2008 年更加适合柔鱼的生长繁殖; 再根据 3 个环境因子的权重得出 HSI, 分析其空间和月间分布图得出 2008 年柔鱼对该海域的适应性更强。因此, 2008 年正常气候年份柔鱼渔场内的环境条件对柔鱼的栖息与生长有利; 而 2015 年强厄尔尼诺事件发生时形成了不利的环境因素直接导致该年份的 CPUE 下降明显, 产量降低。在渔场分布上, 超强厄尔尼诺年份相对于正常年份的纬度重心偏南, 适宜 SST、PAR 以及 HSI 等值线空间分布图中也进一步验证 2008 年柔鱼的栖息地相对偏北且渔场范围更大。由此可见, 适宜的 SST 是判断柔鱼渔场资源是否丰富的关键, 同时, HSI 模型建立中如何确定不同环境因子的权重对研究栖息地的变动情况也十分重要。

由于本研究只采用了 3 个环境因子进行研究, 难免会遇到其他未考虑的因素对结果造成的影响, 如叶绿素 a 浓度、混合层深度等, 且外界因素如海况变化和海洋污染也会影响渔场的形成和分布, 从而给 HSI 模型带来偏差。在今后的研究中除了需要考虑其他环境因子的影响外, 还需要对渔场的海况等物理环境进行深入了解, 适当考虑海洋中水体污染对生物造成的不利影响, 使研究更为完善。

参考文献:

- [1] Cheng J H, Huang H L. Spatial and temporal analysis of ground *Ommastrephes bartramii* resources and its fishing in North Pacific Ocean[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(6): 507-512. [程家骅, 黄洪亮. 北太平洋柔鱼渔场的环境特征[J]. 中国水产科学, 2003, 10(6): 507-512.]
- [2] Ma J, Chen X J, Liu B L, et al. Review of fisheries biology of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the North Pacific Ocean[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(4): 563-570. [马金, 陈新军, 刘必林, 等. 北太平洋柔鱼渔业生物学研究进展[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(4): 563-570.]
- [3] Chen X J, Liu B L, Tian S Q, et al. Forecasting the fishing ground of *Ommastrephes bartramii* with SST-based habitat suitability modelling in northwestern Pacific[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2009, 40(6): 707-713. [陈新军, 刘必林, 田思泉, 等. 利用基于表温因子的栖息地模型预测西北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)渔场[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(6): 707-713.]
- [4] Chen X J. Development status of world cephalopod fisheries and suggestions for squid jigging fishery in China[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 321-330. [陈新军. 世界头足类资源开发现状及中国远洋鱿钓渔业发展对策[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 321-330.]
- [5] Chen X J. An approach to the relationship between the squid fishing ground and water temperature in the northwestern Pacific[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 1995, 4(3): 181-185. [陈新军. 西北太平洋柔鱼渔场与水温因子的关系[J]. 上海水产大学学报, 1995, 4(3): 181-185.]
- [6] Chen X J, Tian S Q, Xu L X. Analysis on changes of surface water temperature in the spawning and feeding ground of *Ommastrephes bartramii* and its relationship with abundance index in the Northwestern Pacific Ocean[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(2): 168-175. [陈新军, 田思泉, 许柳雄. 西北太平洋海域柔鱼产卵场和作业渔场的水温年间比较及其与资源丰度的关系[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(2): 168-175.]
- [7] Fan W, Cui X S, Shen X Q. Study on the relationship between the neon flying squid, *Ommastrephes bartramii*, and ocean environment in the northwest Pacific Ocean[J]. High Technology Letters, 2004, 14(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, 14(10): 84-89.]
- [8] Yu W, Chen X J, Yi Q, et al. Annual difference of abundance index and its influencing factors of *Ommastrephes bartramii* in traditional fishing grounds in the Northwest Pacific[J]. Marine Fisheries, 2013, 35(4): 373-381. [余为, 陈新军, 易倩, 等. 西北太平洋柔鱼传统作业渔场资源丰度年间差异及其影响因子[J]. 海洋渔业, 2013, 35(4): 373-381.]
- [9] Yatsu A, Chiba S, Yamanaka Y, et al. Climate forcing and the Kuroshio/Oyashio ecosystem[J]. ICES Journal of Marine Science, 2013, 70(5): 922-933.
- [10] Yu W. Response mechanism of winter-spring cohort of neon flying squid to the climatic and environmental variability in the northwest Pacific Ocean[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016. [余为. 西北太平洋柔鱼冬春生群对气候与环境变化的响应机制研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.]
- [11] Chen X J, Zhao X H, Chen Y. Influence of El Niño/La Niña on the western winter-spring cohort of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwestern Pacific Ocean[J]. ICES Journal of Marine Science, 2007, 64(6): 1152-1160.
- [12] Yu W, Chen X J. Variability in the potential habitat of win-

- ter-spring cohort of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2018, 40(3): 86-94. [余为, 陈新军. 西北太平洋柔鱼冬春生群体栖息地的变化研究[J]. *海洋学报*, 2018, 40(3): 86-94.]
- [13] Tian S Q, Chen X J, Feng B, et al. Spatio-temporal distribution of abundance index for *Ommastrephes bartramii* and its relationship with habitat environment in the Northwest Pacific Ocean[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, 18(5): 586-592. [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.]
- [14] Yu W, Chen X J, Yi Q. Relationship between spatio-temporal dynamics of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* and net primary production in the northwest Pacific Ocean[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2016, 38(2): 64-72. [余为, 陈新军, 易倩. 西北太平洋海洋净初级生产力与柔鱼资源量变动关系的研究[J]. *海洋学报*, 2016, 38(2): 64-72.]
- [15] Li G, Chen X J, Lei L, et al. Distribution of hotspots of chub mackerel based on remote-sensing data in coastal waters of China[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2014, 35(11-12): 4399-4421.
- [16] Chen X J, Gong C X, Tian S Q, et al. Estimated catch of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) based on habitat suitability index in northwest Pacific Ocean[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2013, 43(4): 29-33. [陈新军, 龚彩霞, 田思泉, 等. 基于栖息地指数的西北太平洋柔鱼渔获量估算[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2013, 43(4): 29-33.]
- [17] Guan W B, Ding H T, Dai X J, et al. Impact of El Niño-Southern Oscillation events on the catches of glass eel (*Anguilla japonica*) in the Yangtze Estuary[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2009, 28(1): 45-51. [管卫兵, 丁华腾, 戴小杰, 等. ENSO 对长江口日本鳗苗捕捞量的影响[J]. *台湾海峡*, 2009, 28(1): 45-51.]
- [18] 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. [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.]
- [19] Guo A, Zhang Y, Yu W, et al. Influence of El Niño and La Niña with different intensity on habitat variation of chub mackerel *Scomber japonicas* in the coastal waters of China [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2018, 40(12): 58-67. [郭爱, 张扬, 余为, 等. 两类强度厄尔尼诺和拉尼娜事件对中国近海鲈鱼栖息地的影响[J]. *海洋学报*, 2018, 40(12): 58-67.]
- [20] Li F P, Wu Z Q, Zhong Z J, et al. Impacts of the El Niño on the output of marine fishing in Guangxi[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2011(3): 62-68. [李菲萍, 吴志强, 钟志坚, 等. 厄尔尼诺现象对广西海洋捕捞产量的影响[J]. *海洋湖沼通报*, 2011(3): 62-68.]
- [21] Yu W, 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. [余为, 陈新军, 易倩. 不同气候模态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.]
- [22] Xu B, Chen X J, Tian S Q, et al. Effects of El Niño/La Niña on distribution of fishing ground of *Dosidicus gigas* off Peru waters[J]. *Journal of fisheries of China*, 2012, 36(5): 696-707. [徐冰, 陈新军, 田思泉, 等. 厄尔尼诺和拉尼娜事件对秘鲁外海茎柔鱼渔场分布的影响[J]. *水产学报*, 2012, 36(5): 696-707.]
- [23] Yu W, Chen X J. Influences of photosynthetically active radiation on abundance and distribution of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* in the Southeast Pacific Ocean off Peru[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2017, 39(11): 97-105. [余为, 陈新军. 东南太平洋秘鲁海域光合有效辐射对茎柔鱼资源丰度和空间分布的影响研究[J]. *海洋学报*, 2017, 39(11): 97-105.]
- [24] Shen X Q, Wang Y L, Yuan Q, et al. Distributional characteristics of chlorophyll a and relation to the fishing ground in the squid fishing ground of the northern Pacific Ocean[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(6): 118-123. [沈新强, 王云龙, 袁骐, 等. 北太平洋鱿鱼渔场叶绿素 a 分布特点及其与渔场的关系[J]. *海洋学报*, 2004, 26(6): 118-123.]

Impacts of the strong 2015 El Niño event on *Ommastrephes bartramii* fishing grounds in the Northwest Pacific Ocean

CHEN Hanghui¹, WU Xiaoxue¹, FAN Jiangtao², YU Wei^{1, 3, 4}, CHEN Xinjun^{1, 3, 4}, QIAN Weiguo⁵

1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Key Laboratory of Open-Sea Fishery Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, China;
3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China;
4. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;
5. School of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China

Abstract: The neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) is an ecologically and economically important squid species extensively distributed in the North Pacific Ocean. *O. bartramii* are short-lived (one year) species, so the abundance and distribution of this species are extremely sensitive to climatic and environmental variability. To evaluate the impacts of strong El Niño events on the *O. bartramii* stock in the Northwest Pacific Ocean and to examine *O. bartramii* fishing ground variations under anomalous climate conditions, we analyzed and compared the catch per unit effort (CPUE), catch, fishing effort, and latitudinal gravity center (LATG) of the fishing ground in 2008 and 2015 using data from the Squid-jigging Science and Technology Group of Shanghai Ocean University. The fishing ground in the Northwest Pacific Ocean lies between 36°–48°N and 150°–170°E. Three critical environment variables, the sea surface temperature (SST), anomalies in the sea surface height (SSHA), and the photo-synthetic active radiation (PAR), were also examined and incorporated into a habitat suitability index (HSI) model to compare habitat quality between 2008 and 2015. The results showed that the CPUE in 2015 with the strong El Niño event was much lower than that in 2008 with normal climatic conditions. The LATG in 2015 tended to move to the southern waters of the fishing ground. Moreover, the suitable areas of SST and PAR significantly decreased in 2015, leading to a dramatic decrease in suitable habitat. The latitudinal positions of the preferred SST and PAR for *O. bartramii* moved southward in 2015, resulting in a southward shift in the suitable habitat. Our findings suggest that the strong 2015 El Niño event impacted the spatial and temporal characteristics of the *O. bartramii* fishing ground in the Northwest Pacific Ocean. The environmental conditions in 2015 were not suitable for *O. bartramii* growth, and the suitable habitats decreased and moved to the south. This led to low squid abundance and a southward shift in the *O. bartramii* fishing grounds. Future investigations into the impacts of El Niño events should consider the intensity of the anomalous events.

Key words: *Ommastrephes bartarmii*; strong El Niño events; habitat suitability index; spatio-temporal variations; Northwest Pacific Ocean

Corresponding author: YU Wei. E-mail: wyu@shou.edu.cn