

## 未来气候变化情景下西北太平洋柔鱼资源补充量预测

龚彩霞, 陈新军, 高峰, 余为

### Predicting the recruitment of neon flying squid in the northwest Pacific Ocean under climate change scenarios

GONG Caixia, CHEN Xinjun, GAO Feng, YU Wei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20200903170>

#### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

##### 西北太平洋柔鱼产卵场时空分布及最适水温范围的推测

Suitable environmental conditions for spawning ground affecting the abundance of neon flying squid in northwestern Pacific Ocean  
上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 448 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181202466>

##### 基于海表温度和光合有效辐射的西北太平洋柔鱼冬春生群体栖息地热点预测

Predicting the habitat hot spots of winter–spring cohort of *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean based on the sea surface temperature and photosynthetically active radiation  
上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 456 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181102442>

##### 基于不同阶数灰色系统模型的北太平洋柔鱼资源丰度预测

Prediction of abundance index of *Ommastrephes bartramii* in the North Pacific Ocean based on different order grey system models  
上海海洋大学学报. 2021, 30(4): 755 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200202920>

##### 西北太平洋柔鱼渔场重心变化及其与环境的关系

Variations of gravity centers of fishing ground for neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean and its relation with marine environment  
上海海洋大学学报. 2020, 29(6): 899 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190802770>

##### 西北太平洋柔鱼洄游重心年际变化及预测

Interannual variation and forecasting of *Ommastrephes bartramii* migration gravity in the northwest Pacific Ocean  
上海海洋大学学报. 2018, 27(4): 573 <https://doi.org/10.12024/jsou.20171102171>

文章编号: 1674-5566(2022)01-0223-10

DOI:10.12024/jsou.20200903170

## 未来气候变化情景下西北太平洋柔鱼资源补充量预测

龚彩霞<sup>1</sup>, 陈新军<sup>1,2,3</sup>, 高峰<sup>1,2,3</sup>, 余为<sup>1,2,3</sup>

(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教育部重点实验室, 上海 201306)

**摘要:** 结合 1996—2005 年西北太平洋柔鱼经验产卵场、推测产卵场和索饵场各月适宜水温面积占总面积的比例( $P_s$ ), 分析其与柔鱼单位捕捞努力量渔获量(catch per unite effort, CPUE)之间的相关关系, 选取统计关系显著的  $P_s$  与 CPUE 建立线性预报模型, 在 RCP4.5 和 RCP8.5 两种情景下, 对 2025、2055 和 2095 年柔鱼资源补充量进行预测。结果表明: 在气候变化下, 柔鱼经验产卵场适宜 SST 范围向北移动, 到 2095 年移动至经验产卵场最北缘, 1—4 月经验产卵场平均  $P_s$  呈下降趋势; 但变化不显著; 推测产卵场适宜 SST 范围向北移动, 到 2095 年移动至推测产卵场最北缘, 且已超过推测产卵场范围, 1—4 月推测产卵场平均  $P_s$  呈下降趋势, 变化显著; 索饵场适宜 SST 范围向北移动且有扩张趋势, 7—10 月索饵场平均  $P_s$  呈下降趋势, 变化显著。相关分析表明, 1996—2005 年 2 月和 3 月推测产卵场  $P_s$  与 CPUE 显著正相关。未来柔鱼 CPUE 呈下降趋势: 到 2025 年, 柔鱼 CPUE 为  $(208.87 \pm 5.46)$  t/艘; 到 2055 年, 为  $(198.00 \pm 47.92)$  t/艘; 到 2095 年, 为  $(154.35 \pm 48.72)$  t/艘。到 2095 年, 相比于 2000 年柔鱼 CPUE 最大下降 60.08%。建议采取兼容气候适应性的柔鱼资源养护管理措施。

**关键词:** 气候变化; 柔鱼; 资源补充量; 海表面温度; 西北太平洋

**中图分类号:** S 934 **文献标志码:** A

气候变化导致海洋物理生物化学环境发生改变, 海洋变暖、海平面上升、海洋酸化、海冰融化、低氧区扩散、初级生产力变化等使海洋物种分布和丰度发生改变, 进一步导致生态系统生物多样性变化以及全球生物量或捕捞潜力的重新分配<sup>[1-4]</sup>。在未来气候变化背景下, 世界渔业资源分布发生改变, 有些物种适应气候变化将成为“赢家”, 而有些物种不适应气候变化则成为“输家”。基于观测到的气候变化, 联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)认为, 全球气候系统出现了毋庸置疑的变暖趋势<sup>[5]</sup>。在全球气候变化背景下, 世界渔业资源可能重新分布, 海洋生态系统功能可能发生改变, 由此带来的社会经济和粮食安全等问题已受到广泛关注。

柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)作为北太平洋重要的经济种类且在生态系统中占据重要地位,

既为捕食者又为被捕食者, 其资源未来如何变动不仅受到各捕捞国的高度关注, 并已被北太平洋渔业委员会(North Pacific Fisheries Commission, NPFC)纳入管理范畴<sup>[6]</sup>。柔鱼资源量年间波动比较剧烈, 在其不同生活史阶段, 均受到海洋环境和气候变化的影响<sup>[1,7]</sup>。柔鱼是一年生种类, 全球气候变化和局部海洋环境变动对柔鱼资源丰度和分布的影响愈加突出<sup>[8-10]</sup>。近年来, 在未来气候变化下对柔鱼资源变动已开展了初步研究, 如: XU 等<sup>[11]</sup>对未来海洋表面温度升温(sea surface temperature, SST)0.5、1、2 和 4 °C 情况下柔鱼生境的变化情况进行了初步预估, 认为水温上升使柔鱼潜在生境有向北移动的趋势; ALABIA 等<sup>[12]</sup>对未来全球海洋变暖背景下 2025、2050 和 2100 年柔鱼栖息地变化进行了预估, 结果认为未来柔鱼栖息地减少, 同时向北移动。但在未来气候变化情景下对柔鱼资源量的预测研究较少, 未

收稿日期: 2020-09-08 修回日期: 2020-10-06

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD0901405); 国家自然科学基金(41876141); 上海市科技创新行动计划(19DZ1207502)

作者简介: 龚彩霞(1986—), 女, 博士, 研究方向为渔业海洋学。E-mail: cxgong@shou.edu.cn

通信作者: 高峰, E-mail: gaofeng@shou.edu.cn

来柔鱼栖息地可能向北移动及面积减少是否会影 响柔鱼资源量这一问题值得进一步研究,且柔 鱼资源补充量变动与柔鱼资源养护及渔业生产 息息相关,因此结合柔鱼历史渔业生产数据和 IPCC 气候变化数据,分析柔鱼资源补充量与产卵 场和索饵场环境关系,建立预报模型,并对未来 柔鱼资源补充量进行预测,以便得知柔鱼将在北 太平洋生态系统中成为气候“赢家”还是“输家”, 为柔鱼渔业资源管理提供科学支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 渔业数据

柔鱼渔业生产数据来源于中国远洋渔业数 据中心,时间为 1996—2005 年,数据包括年份、产 量、作业船数。单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)可以作为西北太平洋柔鱼资源 量丰度的指标<sup>[1]</sup>。根据前人的研究<sup>[13]</sup>结果,标准 化 CPUE 与名义 CPUE 相差不大,变化趋势趋基 本一致,故本研究采用名义 CPUE 作为柔鱼资源 丰度指标。CPUE 计算公式为

$$Y_i = \frac{\sum C_i}{\sum E_i} \quad (1)$$

式中: $Y_i$  为名义 CPUE, t/艘;  $\sum C_i$  为对应年份所 有渔船的总产量, t;  $\sum E_i$  为对应年份作业渔船总 数, 艘;  $i$  为年份。

### 1.2 气候变化数据

IPCC 第五次气候模式对比计划(Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5)模 拟不同典型浓度路径(Representative Concentration Pathways, RCPs)下未来气候变 化<sup>[14]</sup>。研究采用 CMIP5 模式中的全球海气耦合 气候模式(Community Earth System Model version 1, CESM1), CESM1 包含 RCP4.5 和 RCP8.5 两 种情景,分别代表温室气体中度排放情景和高度 排放情景。SST 数据来源于美国国家环境预报中 心([http://apdrc. soest. hawaii. edu/las/v6/ dataset? catitem=0](http://apdrc.soest.hawaii.edu/las/v6/dataset?catitem=0)),时间尺度为月,空间尺度为  $1^\circ \times 1^\circ$ 。

以往的研究<sup>[15]</sup>发现,西北太平洋柔鱼产卵场 位置为  $20^\circ\text{N} \sim 30^\circ\text{N}$  和  $130^\circ\text{E} \sim 170^\circ\text{E}$ ,时间为 1—4 月,在此定义为经验产卵场。王易帆等<sup>[16]</sup> 在此基础上通过理论统计推算认为,柔鱼最适产 卵场位置为  $20.5^\circ\text{N} \sim 27.5^\circ\text{N}$  和  $136.5^\circ\text{E} \sim 167^\circ$

$\text{E}$ ,时间为 1—3 月,在此定义为推测产卵场。可 以看出,柔鱼经验产卵场和推测产卵场在产卵位 置和产卵时间上有所差异,为便于与经验产卵场 各月进行对比分析,研究中将推测产卵场时间扩 大到 1—4 月。索饵场位置为  $35^\circ\text{N} \sim 50^\circ\text{N}$  和  $143^\circ\text{E} \sim 170^\circ\text{E}$ ,时间为 7—10 月。根据产卵场和 索饵场时空分布范围,研究利用 CESM1 中 1996—2005 年 1—4 月和 7—10 月的历史试验 SST 数据,同时计算十年平均 SST 值作为 2000 年 对应月份的 SST 数据。在 RCP4.5 和 RCP8.5 两 种情景下, CESM1 输出的未来气候变化 SST 数据 分为 2025 年、2055 年、2095 年 3 个时间段,并计 算 2021—2030 年、2051—2060 年、2091—2100 年 1—4 月以及 7—10 月的 10 年平均 SST 值分别作 为 2025 年、2055 年、2095 年对应月份的 SST 数 据。

### 1.3 方法

柔鱼为短生命周期种类,一生只产卵 1 次, 产卵后即死去<sup>[17]</sup>,因此每一代的资源量多少都完 全取决于上一代亲体所产生补充量以及补充量 在进入渔业之前的存活率<sup>[1]</sup>。以往的研究<sup>[15,18]</sup> 表明,柔鱼补充量的大小取决于产卵场适合水温 的范围,且柔鱼在索饵场的分布与 SST 密切相 关<sup>[19]</sup>,在一定程度上影响 CPUE,因此研究结合 产卵场和索饵场的环境变动来分析 CPUE 的变 化。根据前人的研究<sup>[16,20-22]</sup>结果,柔鱼经验产卵 场、推测产卵场及索饵场最适 SST 范围均有所不 同,经验产卵场(1—4 月)适宜 SST 为  $21 \sim 25^\circ\text{C}$ , 推测产卵场适宜 SST 为  $22.5 \sim 26^\circ\text{C}$ ,柔鱼索饵 期(7—10 月)适宜 SST 分别为  $14 \sim 19^\circ\text{C}$ (7 月)、  $17 \sim 22^\circ\text{C}$ (8 月)、 $16 \sim 21^\circ\text{C}$ (9 月)和  $13 \sim 19^\circ\text{C}$  (10 月)。分别计算 1996—2005 年各月柔鱼产卵 场或索饵场适宜 SST 范围占产卵场或索饵场总 面积的比例( $P_s$ ),同时计算未来气候变化下 2025、2055 和 2095 年各月柔鱼经验产卵场、推测 产卵场和索饵场的  $P_s$ ,并与 2000 年对应月份的  $P_s$  进行对比。 $P_s$  计算公式为

$$P_s = S_{\text{SST}}/S_s \quad (2)$$

式中: $S_{\text{SST}}$  为产卵场或索饵场适宜 SST 面积,  $\text{m}^2$ ;  $S_s$  为产卵场或索饵场总面积,  $\text{m}^2$ 。

利用方差分析(ANOVA)统计 1996—2005 年  $P_s$  的年际和季节变动,利用相关系数分析各月经 验产卵场、推测产卵场与索饵场  $P_s$ ,以及经验产

卵场、推测产卵场平均  $P_s$  与 CPUE 之间的关系。根据方差分析和相关系数分析的结果,选取在统计学上有意义的  $P_s$  作为预报因子,建立柔鱼资源量预报模型:

$$\ln(Y_i + 1) = a_0 + a_1P_1 + a_2P_2 + \varepsilon_i \quad (3)$$

式中: $Y_i$  为第  $i$  年的名义 CPUE; $P_1$  为经验产卵场或推测产卵场的  $P_s$ ; $P_2$  为索饵场的  $P_s$ ; $\varepsilon_i$  为误差项(均值为 0,方差恒定且服从正态分布)。

采用上述预报模型对 2000 年柔鱼 CPUE 进行模拟,同时对未来气候变化下 2025、2055 和

2095 年的柔鱼 CPUE 进行预报,并与 2000 年柔鱼 CPUE 进行对比。

## 2 结果

### 2.1 CPUE 变化

1996—2005 年西北太平洋柔鱼渔获量和 CPUE 年间波动较大(图 1)。2001 年柔鱼 CPUE 最低,为 189.8 t/艘;2004 年 CPUE 最高,为 502.5 t/艘。

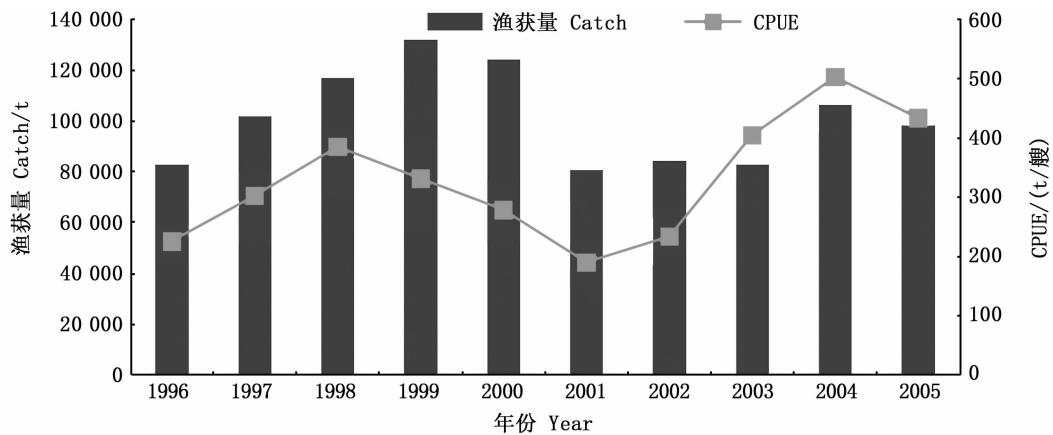


图 1 1996—2005 年西北太平洋柔鱼渔获量和 CPUE

Fig. 1 Catch and CPUE of *O. bartramii* in the northwestern Pacific Ocean from 1996 to 2005

### 2.2 适宜 SST 范围时空变化

在气候变化下,柔鱼产卵场和索饵场适宜 SST 范围时空发生改变。分别以 2 月产卵场和 8 月索饵场为例,在 RCP8.5 情景下,随着年份的增加,柔鱼产卵场和索饵场适宜 SST 范围均向北移动(图 2)。到 2095 年,柔鱼经验产卵场适宜 SST 范围已达到研究区域的最北缘(图 2a);推测产卵场适宜 SST 范围已超出其最北缘(图 2b);索饵场适宜 SST 范围向北扩张明显(图 2c)。

### 2.3 $P_s$ 变化

#### 2.3.1 产卵场和索饵场 $P_s$ 变化

1996—2005 年 1—4 月柔鱼经验产卵场  $P_s$  的变化范围为 40.27% (2003 年 3 月)~68.45% (1997 年 1 月),推测产卵场  $P_s$  的变化范围为 43.07% (2003 年 3 月)~85.30% (2000 年 1 月)。经验产卵场和推测产卵场 1—4 月平均  $P_s$

均呈逐渐降低趋势,且推测产卵场各月平均  $P_s$  比经验产卵场对应月份的平均  $P_s$  均高约 10% (图 3a)。经验产卵场  $P_s$  季节变动不显著 ( $F = 2.06, P > 0.05$ , ANOVA), 年际变动显著 ( $F = 3.60, P < 0.01$ , ANOVA); 推测产卵场  $P_s$  季节变动不显著 ( $F = 1.46, P > 0.05$ , ANOVA), 年际变动显著 ( $F = 2.66, P < 0.05$ , ANOVA), 表明不管是经验产卵场还是推测产卵场,  $P_s$  季节变动显著小于年际变动。7—10 月索饵场  $P_s$  的变化范围为 13.19% (2003 年 7 月)~29.30% (1997 年 8 月)。10 月平均  $P_s$  最高,为 23.13% ± 2.98%; 7 月平均  $P_s$  最低,为 18.72% ± 3.16% (图 3b)。索饵场  $P_s$  季节变动显著 ( $F = 5.68, P < 0.01$ , ANOVA), 年际变动不显著 ( $F = 1.22, P > 0.05$ , ANOVA), 表明季节变动显著大于年际变动。

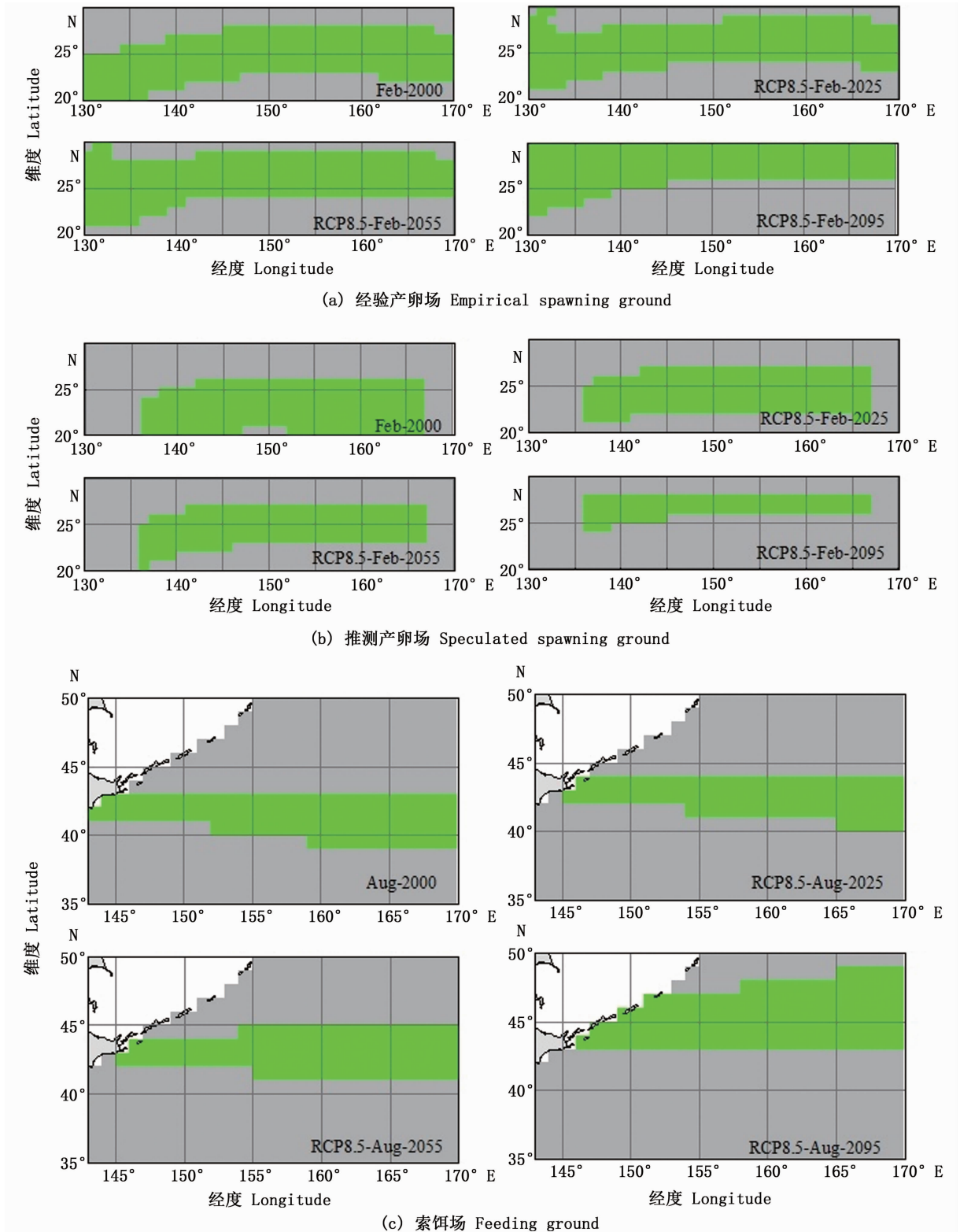


图 2 未来气候变化下 2 月柔鱼产卵场和 8 月索饵场  $P_s$  变化

Fig. 2 Variation of the  $P_s$  on spawning ground in February and feeding ground in August for *O. bartramii* under future climate change

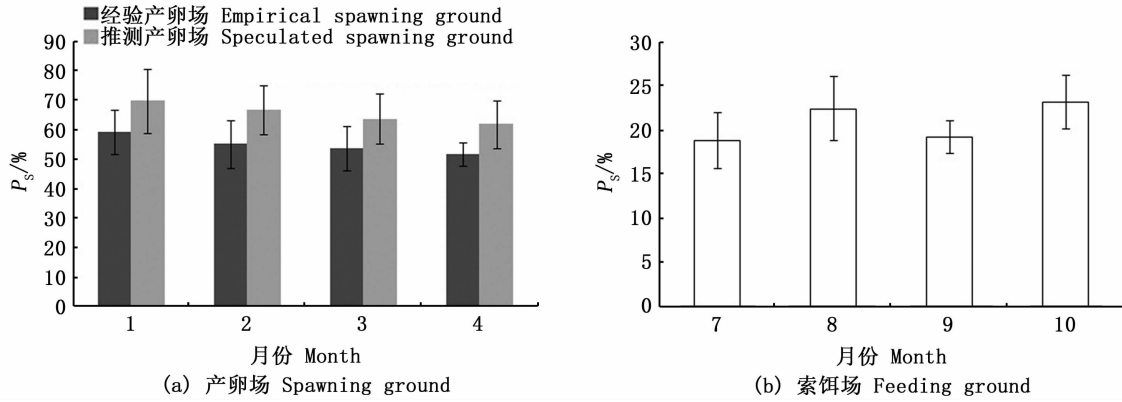


图3 1996—2005年西北太平洋柔鱼产卵场和索饵场场的平均 $P_s$ 变化

Fig. 3 Average  $P_s$  on spawning ground and feeding ground for *O. bartramii* in the northwestern Pacific Ocean from 1996 to 2005

### 2.3.2 未来产卵场和索饵场 $P_s$ 变化

在未来气候变化下,西北太平洋柔鱼经验产卵场1—4月的平均 $P_s$ 年代际变化整体均呈下降趋势(图4a),但变化不明显。ANOVA分析结果表明,在RCP4.5和RCP8.5两种情景下,2000、2025、2055和2095年经验产卵场平均 $P_s$ 年代际变化均不显著( $P > 0.05$ ),最大下降5.74%(RCP8.5情景下,2095年)。柔鱼推测产卵场1—4月的平均 $P_s$ 年代际变化整体均呈下降趋势(图4b),变化明显。ANOVA分析结果表明,在RCP4.5和RCP8.5两种情景下,2000、2025、2055和2095年推测产卵场平均 $P_s$ 年代际变化均显著( $P < 0.05$ ),RCP4.5和RCP8.5情景下, $P_s$ 最大分别下降11.63%和27.17%(2095年)。在RCP4.5情景下,西北太平洋柔鱼索饵场7—10月的平均 $P_s$ 年代际变化不明显(图4c)。ANOVA分析结果表明,在RCP4.5情景下,2000、2025、2055和2095年索饵场平均 $P_s$ 年代际变化不显著( $P > 0.05$ )。在RCP8.5情景下,相比于2000年,2095年索饵场平均 $P_s$ 明显增加,约8.55%(图4c)。ANOVA分析结果表明,在RCP8.5情景下,2000、2025、2055和2095年索饵场平均 $P_s$ 年代际变化显著( $P < 0.01$ )。

## 2.4 柔鱼CPUE预测

### 2.4.1 CPUE和 $P_s$ 的相关性分析

相关系数分析表明,柔鱼经验产卵场1—4月各月 $P_s$ 与CPUE均无显著相关性(1月: $r =$

$-0.39, P > 0.05$ ;2月: $r = -0.03, P > 0.05$ ;3月: $r = -0.10, P > 0.05$ ;4月: $r = -0.48, P > 0.05$ );经验产卵场1—4月各月 $P_s$ 与CPUE也均无显著相关性(1月: $r = -0.39, P > 0.05$ ;2月: $r = 0.26, P > 0.05$ ;3月: $r = 0.14, P > 0.05$ ;4月: $r = 0.06, P > 0.05$ )。柔鱼索饵场7—10月各月 $P_s$ 与CPUE均无显著相关性(7月: $r = -0.01, P > 0.05$ ;8月: $r = -0.16, P > 0.05$ ;9月: $r = -0.33, P > 0.05$ )。进一步分析发现,除2003年以外,推测产卵场2月和3月 $P_s$ 与CPUE均呈显著相关性( $P < 0.05$ ,图5)。

### 2.4.2 CPUE和 $P_s$ 的回归分析

根据ANOVA和相关性分析的结果,分别建立2个预报模型,第一个模型(M1)选取2月推测产卵场的 $P_s$ 作为自变量;第二个模型(M2)选取3月推测产卵场 $P_s$ 为自变量,CPUE作为因变量建立公式3。结果表明M1和M2在统计学上显著( $P < 0.05$ ,表1),说明推测产卵场2月和3月 $P_s$ 均与柔鱼CPUE呈正相关。

表1 柔鱼产卵场 $P_s$ 和CPUE的回归模型结果

Tab. 1 Regression model between  $P_s$  and CPUE of *O. bartramii*

模型 Model	线性回归方程 Linear regression model	回归参数 Parameters
M1	$\ln(Y+1) = 2.66 + 4.46P_1$	$r = 0.79, F = 10.68, P = 0.01$
M2	$\ln(Y+1) = 2.70 + 4.59P_1$	$r = 0.71, F = 6.98, P = 0.03$

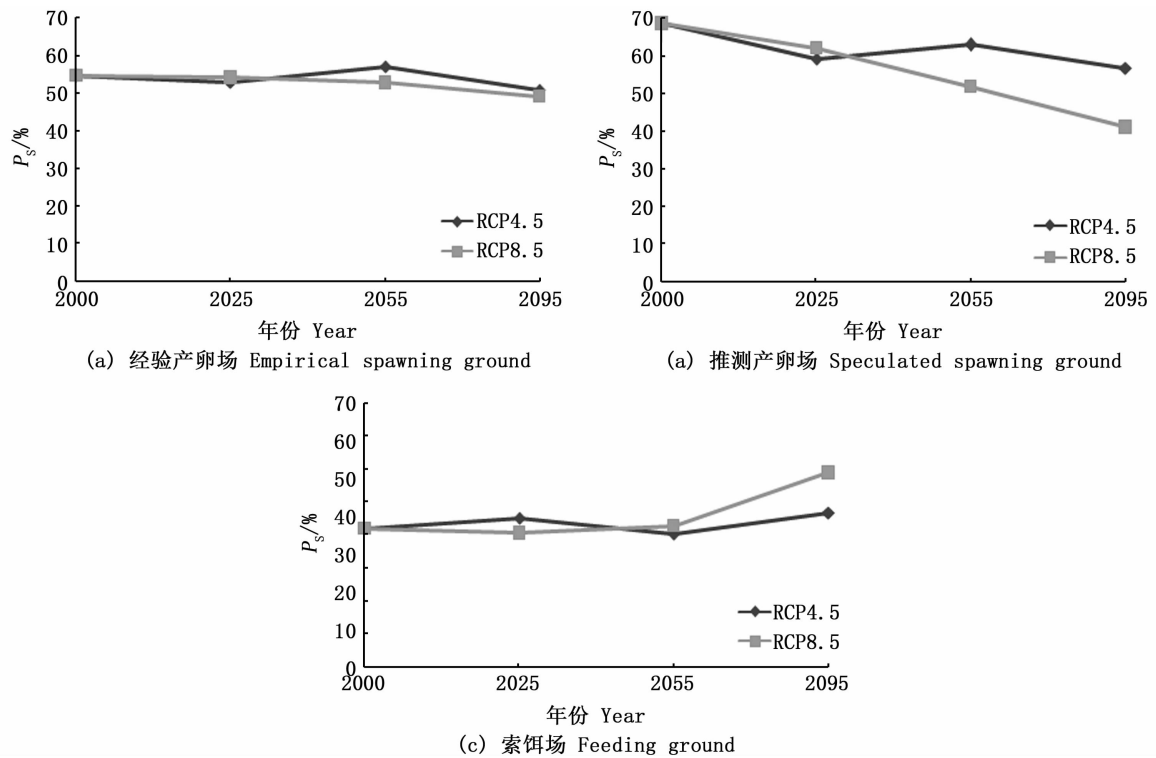


图 4 气候变化下西北太平洋柔鱼产卵场和索饵场平均  $P_s$  年代际变化  
 Fig. 4 Variation of the average  $P_s$  on spawning ground and feeding ground for *O. bartramii* in the northwestern Pacific Ocean under climate change

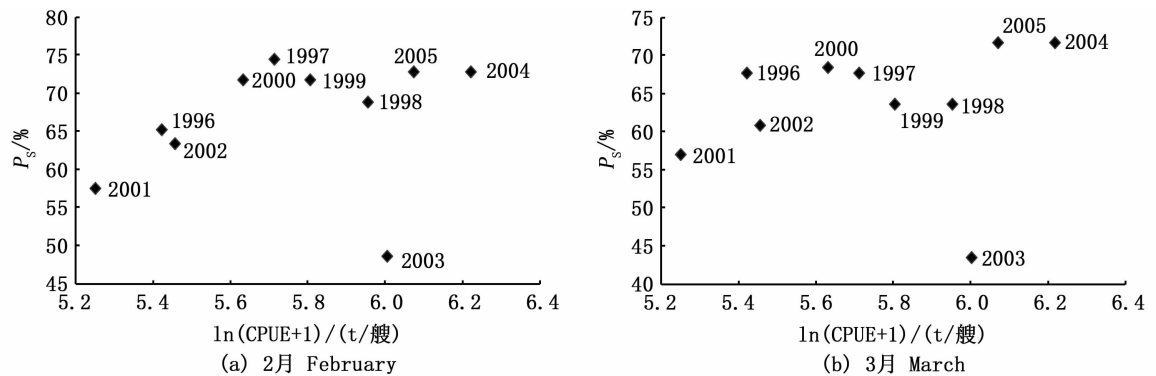


图 5 1996—2005 年西北太平洋柔鱼推测产卵场  $P_s$  与 CPUE 之间的关系  
 Fig. 5 Relation between the average  $P_s$  on speculate spawning ground and CPUE for *O. bartramii* in the northwestern Pacific Ocean from 1996 to 2005

2.4.3 未来气候变化下柔鱼 CPUE 预测

利用 M1 和 M2 分别对 2000、2025、2055 和 2095 年 CPUE 进行模拟和预测,结果表明,在未来气候变化背景下,柔鱼 CPUE 整体呈下降趋势(图 6):到 2025 年,为  $(208.87 \pm 5.46)$  t/艘;到 2055 年,为  $(198.00 \pm 47.92)$  t/艘;到 2095 年,为  $(154.35 \pm 48.72)$  t/艘。到 2055 和 2095 年,在不

同模型和不同气候变化情景下,预测的柔鱼 CPUE 差异较大;相同模型中,柔鱼 CPUE 在 RCP8.5 情景比 RCP4.5 情景下降幅度大。RCP8.5 情景下,到 2095 年,利用 M1 预测柔鱼 CPUE 下降幅度最大,相比于 2000 年柔鱼资源量下降 60.08%。

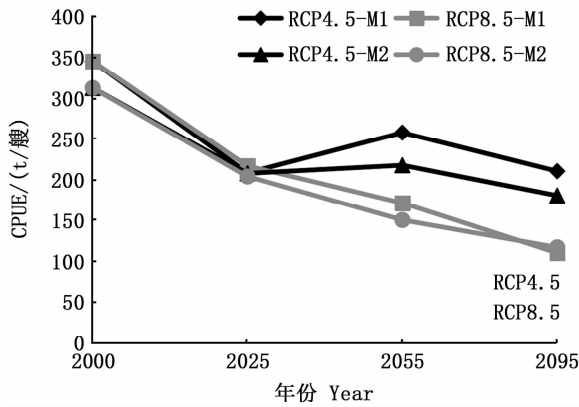


图6 未来气候变化下西北太平洋柔鱼 CPUE 变化

Fig. 6 Variation of CPUE for *O. bartramii* in the northwestern Pacific Ocean under future climate change

### 3 讨论

西北太平洋柔鱼种群资源量的大小在很大程度上取决于补充量的多少,补充量主要取决于早期生活史阶段的孵化和摄食条件<sup>[18]</sup>。该研究对柔鱼产卵场  $P_s$  与 CPUE 关系进行了验证,结果表明经验产卵场各月  $P_s$  与 CPUE 无显著关系,但推测产卵场 2 月和 3 月  $P_s$  与 CPUE 存在正相关关系(图 5),这与余为<sup>[13]</sup>、王易帆等<sup>[16]</sup>的研究结果相似。但 CAO 等<sup>[23]</sup>研究认为经验产卵场 2 月  $P_s$  与 CPUE 存在正相关关系,且索饵场 8—11 月  $P_s$  乘积的 4 次方根与 CPUE 有显著的负相关性,该研究结果表明经验产卵场和索饵场各月  $P_s$  及其平均值、以及索饵场各月  $P_s$  乘积的 4 次方根均与 CPUE 无显著关系,这可能与所选择的数据和方法不同有关。且假设 CAO 等<sup>[23]</sup>研究的关系成立,根据该研究中经验产卵场和索饵场  $P_s$  变化结果,未来经验产卵场  $P_s$  呈下降趋势(图 4a),而索饵场  $P_s$  呈上升趋势(图 4c),则在经验产卵场和索饵场环境的共同作用下,未来柔鱼 CPUE 预测结果仍然呈下降趋势,这与该研究结果趋于一致。

在气候变化下,未来柔鱼索饵场  $P_s$  呈上升趋势(图 4c),这可能是由于未来索饵场适宜 SST 面积向北扩张所致(图 2c)。经验产卵场 1—4 月  $P_s$  年代际变化不明显,而推测产卵场 1—4 月  $P_s$  年代际变化显著(图 4a 和 4b),这可能与产卵场适宜 SST 范围向北移动有关。经验产卵场适宜

SST 范围整体向北移动至最北缘(图 2a),而推测产卵场由于研究区域空间范围缩小,适宜 SST 面积减小(图 2b),导致  $P_s$  下降明显。

气候变化可能导致全球捕捞潜力的大规模再分配,高纬度地区平均增长 30%~70%,热带地区下降高达 40%<sup>[2]</sup>,在柔鱼产卵场和索饵场适宜 SST 面积均向北移的驱动下,未来柔鱼资源可能向北移动,从而在一定程度上增加高纬度地区的渔业资源量。研究<sup>[12,21]</sup>认为,未来柔鱼适宜栖息地范围可能缩小,这可能是导致柔鱼资源下降的原因之一。未来柔鱼资源下降则现有的捕捞能力有可能过剩,如不及时调整有可能会过度捕捞现象。全球渔业资源的重新分配将可能导致捕捞能力及渔获市场发生改变<sup>[24]</sup>,如更多的渔船可能随着资源北移而向北移动,渔船可能需要改造以适应北方海域环境,且渔船行驶距离增加使油耗等增加,捕捞成本可能提升,这可能导致渔获价格上升后最终转嫁给消费者等等。

在不同时空分布范围内,水温变暖会影响鱼类的新陈代谢、生长和分布等,但物种适应新环境的能力很难确定<sup>[25-26]</sup>。如未来柔鱼适宜 SST 范围可能发生改变导致  $P_s$  发生变化,未来柔鱼产卵场和索饵场分布范围可能发生改变,未来柔鱼产卵场  $P_s$  与 CPUE 之间的线性关系可能发生改变等等,使柔鱼资源补充量预测存在一定的不确定性。柔鱼资源补充量变化不仅受 SST 的影响,也与叶绿素、海表面高度、光合有效辐射等因子相关<sup>[27]</sup>,随着气候变化研究进展,未来可结合 IPCC 第六阶段耦合模式比较计划 CMIP6 的最新研究结果,深入探索不同环境因子综合作用下未来柔鱼的资源量预测研究。此外,柔鱼资源补充量变化还与仔稚鱼的对环境的适应能力、摄食条件有关<sup>[18]</sup>,也与非气候因素如捕捞活动等相关。在北太平洋生态系统中,未来柔鱼资源变动还与物种之间相互作用相关,如捕食者与被捕食者的变化等,因此未来柔鱼资源补充量的变动可基于生态系统模式进行预估。

渔业资源可持续发展关乎粮食安全、营养和民生大计<sup>[28]</sup>。柔鱼渔业资源受气候变化与人类捕捞压力的双重影响,NPFC 的主要职责和目的之一是采取养护管理措施以确保公约范围内渔业资源的长期可持续利用<sup>[6]</sup>,NPFC 的管理将对我国远洋鱿钓渔业的发展产生深远的影响。在



全球气候变化背景下,要实现柔鱼渔业资源可持续利用的目标,如何构建柔鱼渔业发展管理模式成为 NPFC 面临的难题。我国近海目前已采取的削减渔船数量、延长休渔期、设立海洋保护区等措施对海洋渔业资源发挥了重要作用<sup>[29]</sup>,但气候变化导致的海洋生物灭绝、资源量下降等给渔业资源管理带来新的挑战。因此,建议将气候变化纳入管理,通过 NPFC 的养护管理措施避免柔鱼的过度捕捞,同时在渔业中采取适应和减缓气候变化的措施,制定兼容气候适应性的柔鱼渔业发展管理模式。渔业中可采取一系列措施和方法来适应和减缓气候变化<sup>[30]</sup>,目前我国对大洋性鱿鱼渔业资源开发能力表现不足<sup>[31]</sup>,从长远发展的角度出发,柔鱼渔业中可采取以下措施:(1)对鱿钓船体进行修正,采用高效引擎和大螺旋桨,更好的渔船形状等方法使渔船减少排放;(2)使用消耗燃料少的渔具来替代鱿鱼吊机,减少温室气体排放;(3)鱿钓船上的灯全部采用 LED 灯来替代;(4)采取有效的渔业管理措施,减少捕捞努力量以减少燃料使用和温室气体排放。

#### 参考文献:

- [1] 曹杰. 西北太平洋柔鱼资源评估与管理[D]. 上海: 上海海洋大学, 2009.  
CAO J. Stock assessment and risk analysis of management strategies for neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific ocean[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2009.
- [2] CHEUNG W W L, LAM V W Y, SARMIENTO J L, et al. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change [J]. *Global Change Biology*, 2010, 16(1): 24-35.
- [3] CHEUNG W W L, DUNNE J, SARMIENTO J L, et al. Integrating ecophysiology and plankton dynamics into projected maximum fisheries catch potential under climate change in the Northeast Atlantic[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2011, 68(6): 1008-1018.
- [4] FERNANDES J A, CHEUNG W W L, JENNINGS S, et al. Modelling the effects of climate change on the distribution and production of marine fishes: accounting for trophic interactions in a dynamic bioclimate envelope model [J]. *Global Change Biology*, 2013, 19(8): 2596-2607.
- [5] IPCC. 气候变化 2014: 综合报告. 政府间气候变化专门委员会第五次评估报告第一工作组、第二工作组和第三工作组报告[R]. 日内瓦, 瑞士: IPCC, 2014:151.  
IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [R]. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014: 151.
- [6] 褚晓琳. 北太平洋渔业委员会养护管理举措及其对中国远洋鱿钓渔业的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(s2): 432-437.  
CHU X L. On the conservation and management measures of NPFC and its impact on distant-water squid jigging fisheries in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(s2): 432-437.
- [7] YU W, CHEN X J, YI Q, et al. Influence of oceanic climate variability on stock level of western winter-spring cohort of *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific Ocean [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2016, 37(17): 3974-3994.
- [8] 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.
- [9] ICHII T, MAHAPATRA K, SAKAI M, et al. Changes in abundance of the neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in relation to climate change in the central North Pacific Ocean [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2011, 441: 151-164.
- [10] IGARASHI H, ICHII T, SAKAI M, et al. Possible link between interannual variation of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) abundance in the North Pacific and the climate phase shift in 1998/1999 [J]. *Progress in Oceanography*, 2017, 150: 20-34.
- [11] XU J, CHEN X J, CHEN Y, et al. The effect of sea surface temperature increase on the potential habitat of *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific Ocean [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2016, 35(2): 109-116.
- [12] ALABIA I D, SAITOH SI, IGARASHI H, et al. Future projected impacts of ocean warming to potential squid habitat in western and central north pacific [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2016, 73(5): 1343-1356.
- [13] 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.  
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.
- [14] 赵宗慈, 罗勇, 黄建斌. 从检验 CMIP5 气候模式看 CMIP6 地球系统模式的发展[J]. *气候变化研究进展*, 2018, 14(6): 643-648.  
ZHAO Z C, LUO Y, HUANG J B. The detection of the CMIP5 climate model to see the development of CMIP6 earth system models [J]. *Climate Change Research*, 2018, 14(6): 643-648.
- [15] BOYLE P R, PIERCE G J, HASTIE L C. Flexible reproductive strategies in the squid *Loligo forbesi* [J]. *Marine Biology*, 1995, 121(3): 501-508.

- [16] 王易帆,陈新军. 西北太平洋柔鱼产卵场时空分布及最适水温范围的推测[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 448-455.  
WANG Y F, CHEN X J. Suitable environmental conditions for spawning ground affecting the abundance of neon flying squid in northwestern Pacific Ocean[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 448-455.
- [17] 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.  
WANG Y G, CHEN X J. The resource and biology of economic oceanic squid in the world[M]. Beijing: Ocean Press, 2005.
- [18] 余为,陈新军,易倩,等. 北太平洋柔鱼早期生活史研究进展[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(5): 755-762.  
YU W, CHEN X J, YI Q, et al. Review on the early life history of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the North Pacific [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(5): 755-762.
- [19] 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.  
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.
- [20] WALUDA C, RODHOUSE P, PODESTÀ G, et al. Surface oceanography of the inferred hatching grounds of *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) and influences on recruitment variability[J]. Marine Biology, 2001, 139(4): 671-679.
- [21] 龚彩霞. 未来气候变化背景下西北太平洋柔鱼资源变动[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.  
GONG C X. The dynamics of the Neon flying squid resource under climate change scenarios in the Northwest Pacific[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [22] 王韞沛,陈新军,余为. 西北太平洋柔鱼渔场重心变化及其与环境的关系[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(6): 899-909.  
WANG Y P, CHEN X J, YU W. Variations of gravity centers of fishing ground for neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean and relation with marine environment [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(6): 899-909.
- [23] CAO J, CHEN X J, CHEN Y. Influence of surface oceanographic variability on abundance of the western winter-spring cohort of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the NW Pacific Ocean[J]. Marine Ecology Progress Series, 2009, 381: 119-127.
- [24] SUMAILA U R, CHEUNG W W L, LAM V W Y, et al. Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries[J]. Nature Climate Change, 2011, 1(9): 449-456.
- [25] PÖRTNER H O, PECK M A. Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding [J]. Journal of Fish Biology, 2010, 77(8): 1745-1779.
- [26] DONELSON J M, MUNDAY P L, MCCORMICK M I, et al. Acclimation to predicted ocean warming through developmental plasticity in a tropical reef fish [J]. Global Change Biology, 2011, 17(4): 1712-1719.
- [27] 温健,陆鑫一,陈新军,等. 基于海表温度和光合有效辐射的西北太平洋柔鱼冬春生群体栖息地热点预测[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(3): 456-463.  
WEN J, LU X Y, CHEN X J, et al. Predicting the habitat hot spots of winter-spring cohort of *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean based on the sea surface temperature and photosynthetically active radiation [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(3): 456-463.
- [28] 刘红红,朱玉贵. 气候变化对海洋渔业的影响与对策研究[J]. 现代农业科技, 2019(10): 244-247.  
LIU H H, ZHU Y G. Impacts of climate change on marine fisheries and its countermeasures [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2019(10): 244-247.
- [29] 李祝,王松林,曾炜,等. 适应与减缓气候变化[M]. 北京: 科学出版社, 2019.  
LI Z, WANG S L, ZENG W, et al. Climate change adaptation and mitigation [M]. Beijing: Science Press, 2019.
- [30] FAO. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options[R]. Summary of the FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 627, Rome: FAO, 2018: 628.
- [31] 陈新军. 世界头足类资源开发现状及我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.  
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.

## Predicting the recruitment of neon flying squid in the northwest Pacific Ocean under climate change scenarios

GONG Caixia<sup>1</sup>, CHEN Xinjun<sup>1,2,3</sup>, GAO Feng<sup>1,2,3</sup>, YU Wei<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** The spawning ground of *Ommastrephes bartramii* is divided into empirical spawning ground and speculated spawning ground. By analyzing the correlation between the proportions of the appropriate sea surface temperature (SST) area in the total area ( $P_s$ ) in the empirical spawning ground, speculated spawning ground and feeding ground each month, a linear prediction model was established by selecting the month with significant statistical relationship between  $P_s$  and catch per unit fishing effort (CPUE). Under the two scenarios of RCP4.5 and RCP8.5, the recruitment of *O. bartramii* resources was predicted using this model and the  $P_s$  of the statistical significant months in 2025, 2055 and 2095. The results showed that the suitable SST range of the empirical spawning ground of *O. bartramii* would move northward under the climate change scenario, and would reach the northernmost edge of the empirical spawning ground in 2095. The average  $P_s$  of the empirical spawning ground between January and April decrease, but the change might not be significant. The suitable SST range of the speculated spawning ground also would move northward, reaching the northernmost edge of the speculated spawning ground in 2095, which is beyond the range of speculated spawning ground. The average  $P_s$  of the speculated spawning ground between January and April would decrease, and the change might be significant. The suitable SST range of the feeding ground moves northward and tends to expand. The average  $P_s$  of the feeding ground between July and October showed a downward trend with a significant change. The result of correlation analysis showed that there was a significant positive correlation between  $P_s$  and CPUE of speculated spawning ground in February and March. In the future, the CPUE of *O. bartramii* will decline. By 2025, the CPUE of *O. bartramii* will be (208.87 ± 5.46) ton per vessel. By 2055, it will be (198.00 ± 47.92) ton per vessel. By 2095, it will be (154.35 ± 48.72) ton per vessel. Decline of *O. bartramii* resources will be 60.08% in 2095 compared with 2000. It is suggested that proper measures compatible with climate change be adopted for sustainable development of *O. bartramii* fishery under the maintenance and management mode and framework of NPFC.

**Key words:** climate change; *Ommastrephes bartramii*; recruitment; sea surface temperature; northwest Pacific Ocean