



## 南极海冰变动对西南大西洋阿根廷滑柔鱼资源丰度及空间分布的影响

刘赫威<sup>1</sup>, 余为<sup>1,2,3,4,5\*</sup>, 陈新军<sup>1,2,3,4,5</sup>, 汪金涛<sup>1,2,3,4,5</sup>, 张忠<sup>1,2,3,4,5</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

3. 上海海洋大学, 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;

4. 上海海洋大学, 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306;

5. 上海海洋大学, 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

**摘要:** 为了探究南极海冰覆盖范围、不同水层海水温度对西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔场的影响, 本实验根据 2013—2018 年 1—6 月中国鱿钓科学技术组提供的西南大西洋阿根廷滑柔鱼公海渔场捕捞数据、南极海冰覆盖范围数据以及作业渔场 5、55、95 和 195 m 水层海水温度数据, 以单位捕捞努力量渔获量 (CPUE) 表征资源丰度展开分析研究。结果发现, 阿根廷滑柔鱼的捕捞量、CPUE、南极海冰覆盖范围与不同水层海水温度均有明显的年间及月间变化。相关分析法表明, 南极海冰覆盖范围与 CPUE 在年间与月间变化上均为正相关; 海冰覆盖范围与 5 m 海水温度在年间与月间变化上均为负相关, 而与 95 m 海水温度在月间变化上呈正相关。依据频率分布法估算了不同海水深度阿根廷滑柔鱼各月适宜和最适温度范围, 不同深度的各月最适温度范围占渔场总面积比例与海冰覆盖范围呈正相关关系, 推测海冰覆盖范围会影响不同深度的栖息地适宜比例, 并进一步影响阿根廷滑柔鱼资源丰度。研究表明, 南极海冰覆盖范围变化会显著影响阿根廷滑柔鱼渔场内不同水层的水温, 进而影响其渔场的分布及资源丰度。

**关键词:** 阿根廷滑柔鱼; 南极海冰; 资源丰度; 海水温度; 西南大西洋

中图分类号: S 931

文献标志码: A

阿根廷滑柔鱼 (*Illex argentinus*) 是大洋性浅海种<sup>[1-2]</sup>, 生长迅速, 整个种群几乎由单一世代组成, 产卵后死亡, 其广泛分布于 22°~54°S 的西南大西洋大陆架和大陆坡海域, 其中在 35°~52°S 间的资源最为丰富<sup>[3]</sup>。根据阿根廷滑柔鱼的体型大小、产卵时间及产卵区域等可将其分为 4 类种群<sup>[4]</sup>, 其中分布在公海海域的南部巴塔哥尼亚种群是我国渔船的重要捕捞对象<sup>[5]</sup>。已

有研究表明, 阿根廷滑柔鱼的渔场形成及其资源量与海洋环境变化关系密切<sup>[6]</sup>, 其渔场的分布主要受巴西暖流 (Brazil Current, BC) 与马尔维纳斯寒流 (Malvinas Current, MC) 影响<sup>[7-8]</sup>, 其产卵活动发生在两海流共同影响的辐合带, 而摄食活动则发生在来自南方温度较低的 MC<sup>[9-10]</sup>。陈新军等<sup>[5,11]</sup>, 刘必林等<sup>[12]</sup> 探究了海表面温度与叶绿素 a 对阿根廷滑柔鱼渔场的影响, 陈芃等<sup>[10]</sup> 利

收稿日期: 2019-11-21 修回日期: 2020-05-20

资助项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0901405); 国家自然科学基金 (41906073); 上海市自然科学基金 (19ZR1423000)

第一作者: 刘赫威 (照片), 从事渔业海洋学研究, E-mail: yuwei806326@163.com

通信作者: 余为, E-mail: wyu@shou.edu.cn



用最大熵模型分析了海洋表面温度、海表面高度与叶绿素 a 对阿根廷滑柔鱼的影响程度。这些研究都分析了环境因子对阿根廷滑柔鱼的影响, 并且较好地预测了阿根廷滑柔鱼资源丰度的变化, 但基于海洋表面温度等环境因子对 2018 年阿根廷滑柔鱼资源丰度的预测出现了偏差。

南极海冰覆盖范围 (sea ice extent) 是指南极地区海冰浓密集度 (sea ice concentration) 超过 15% 的区域面积。已有研究表明, 南极海冰覆盖范围或海冰面积的变化会导致洋流的变化<sup>[13-15]</sup> 及海洋温度的变化<sup>[16-17]</sup>。Massom 等<sup>[18]</sup> 评估了南极海冰在生物学方面的影响, 强调了热力学与动力学的重要性, 并指出不断变化的海冰覆盖范围对生态系统的结构和功能具有直接的和间接的区域性影响, 且迄今为止最显著的影响发生在南极半岛地区。由于阿根廷滑柔鱼的栖息地距南极半岛较近, 且目前国内外将南极海冰覆盖范围与栖息在南极大陆及周围海域外的生物联系起来进行生物与环境关系分析的研究甚少。因此, 本实验假设南极海冰在影响 MC 的同时对阿根廷滑柔鱼栖息海域的不同水层温度产生影响并最终影响阿根廷滑柔鱼的资源丰度。在阿根廷—乌拉圭共同渔业区 (Argentine-Uruguayan Common Fishing Zone, AUCFZ) 的调查发现, 阿根廷滑柔鱼出现在海洋的最深深度为 280 m, 最浅深度为 70 m<sup>[19]</sup>。此外有研究表明, 海表面温度会对阿根廷滑柔鱼渔场产生影响<sup>[5]</sup>。因此, 本实验选择 5、55、95 和 195 m 深处水温探究不同深度的海温对阿根廷滑柔鱼渔场的影响, 以期增加阿根廷滑柔鱼渔情预报的准确性。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

阿根廷滑柔鱼的捕捞数据来自上海海洋大学鱿钓科学技术组, 时间分辨率为月, 空间分辨率为 0.5°×0.5°, 数据时间为 2013—2018 年。研究分析的阿根廷滑柔鱼渔场主要分布在 41°~49°S, 55°~61°W 的阿根廷及马尔维纳斯群岛专属经济区外的公海海域。

环境数据为南极海冰覆盖范围以及阿根廷滑柔鱼渔场水深为 5、55、95 和 195 m 的海水温度数据。其中南极海冰覆盖范围数据来自美国国家冰雪数据中心 ([https://nsidc.org/data/seaice\\_](https://nsidc.org/data/seaice_)

<https://www.china-fishery.cn>

<http://apdrc.soest.hawaii.edu/las/v6/constrain?var=17428>), 时间分辨率为天, 单位为 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>。不同水层海水温度的数据来自亚太数据研究中心 (<http://apdrc.soest.hawaii.edu/las/v6/constrain?var=17428>), 时间分辨率为月, 单位为摄氏度 (°C), 空间分辨率为 0.5°×0.5°。

### 1.2 分析方法

(1) 定义经纬度 0.5°×0.5°为一个渔区, 使用单位捕捞努力量渔获量 (catch per unit effort, CPUE) 作为指示阿根廷滑柔鱼资源丰度的指标<sup>[20]</sup>, 单位为 t/d, 其计算公式:

$$CPUE_{ymij} = \frac{\sum C_{ymij}}{\sum E_{ymij}}$$

式中,  $\sum C_{ymij}$  为单位渔区内的总渔获量, 单位为 t;  $\sum E_{ymij}$  为单位渔区内的总捕捞努力量, 单位为 d;  $y$  为年份;  $m$  为月份;  $i$  为经度;  $j$  为纬度。

(2) 计算 2013—2018 年 1—6 月各年和月的平均 CPUE 和捕捞量并绘制成图, 分析其年间及月间变化。同时将 CPUE 与南极海冰覆盖范围的各年、各月平均值进行相关性分析。

(3) 计算渔区范围内的水深为 5、55、95 和 195 m 的海水温度年平均值和月平均值, 将其与海冰覆盖范围进行相关性分析, 分析海冰覆盖范围的年间及月间变化是否会影响不同水层海水温度。

(4) 依据频率分布法, 将不同深度的海水水温按照区间进行划分, 统计各区间内捕捞努力量的大小, 据此计算阿根廷滑柔鱼各月适宜的海水温度分布范围 (捕捞努力量分布较多的海水温度) 以及最适宜的海水温度 (捕捞努力量最高时对应的海水温度)。以各月适宜的海水温度范围表征适宜的阿根廷滑柔鱼栖息地分布, 计算各月适宜栖息地分布面积占渔场的比例, 并选取海冰覆盖范围最高 (2014) 与最低 (2017) 的 2 年, 比较其最适宜栖息地分布面积占渔场的比例及渔场内不同水层海水温度的空间分布情况。依据海冰覆盖范围的高低将进行分析的 6 年数据分成 2 类, 即较高的年份 (2013—2015 年) 和较低的年份 (2016—2018 年), 绘制不同水层海水温度对应的两类栖息地适宜比例的箱型图, 比较其结果。

## 2 结果

### 2.1 CPUE、捕捞量的变化及海冰覆盖范围与CPUE的关系

CPUE与捕捞量有明显的年间和月间变化(图1)。CPUE在2013年较低,到2014年达到最高为16.93 t/d,随后逐渐下降至2016年的3.46 t/d,2016—2018年基本未发生变化,而1—6月的月间整体变化趋势为上升。捕捞量的年间变化与CPUE相似,月间变化从1月至3月逐渐上升,3月到6月逐渐下降。

海冰覆盖范围也具有明显的年间与月间变化。在2013—2015年,海冰覆盖范围较高,最高的2014年达到了 $12.73 \times 10^6 \text{ km}^2$ ;2015—2017年逐年下降,2017—2018年稍有上升,最低海冰覆盖范围为2017年的 $10.70 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。海冰覆盖范围在月间变化上表现为1—2月稍有下降,2—6月逐月上升。研究表明,南极海冰覆盖范围与CPUE的年间变化和月间变化都呈正相关(图2)。

其中CPUE与海冰覆盖范围年间变化的相关系数为0.761,相关性极显著( $P < 0.01$ )。这说明南极海冰覆盖范围与阿根廷滑柔鱼资源丰度的年际变化趋势在一定程度上相同。CPUE与海冰覆盖范围月间相关性不显著,但两者变化趋势一致,呈现逐月增加的态势。

### 2.2 南极海冰覆盖范围与不同水层海水温度的关系

海水深度为5、55、95和195 m时的海水温度均具有明显的年间与月间变化。不同水层海水温度的年间变化差别不大,而月间变化有显著差别(表1)。

海水深度为5 m时,海水温度在2013—2014年降低,2014—2018年逐年上升,2014年最低,2018年最高;海水深度为55 m时,海水温度在2013—2015年基本不变,在2015—2017年降低,2017—2018年上升,2017年最低,2018年最高;海水深度为95 m时,2013—2015

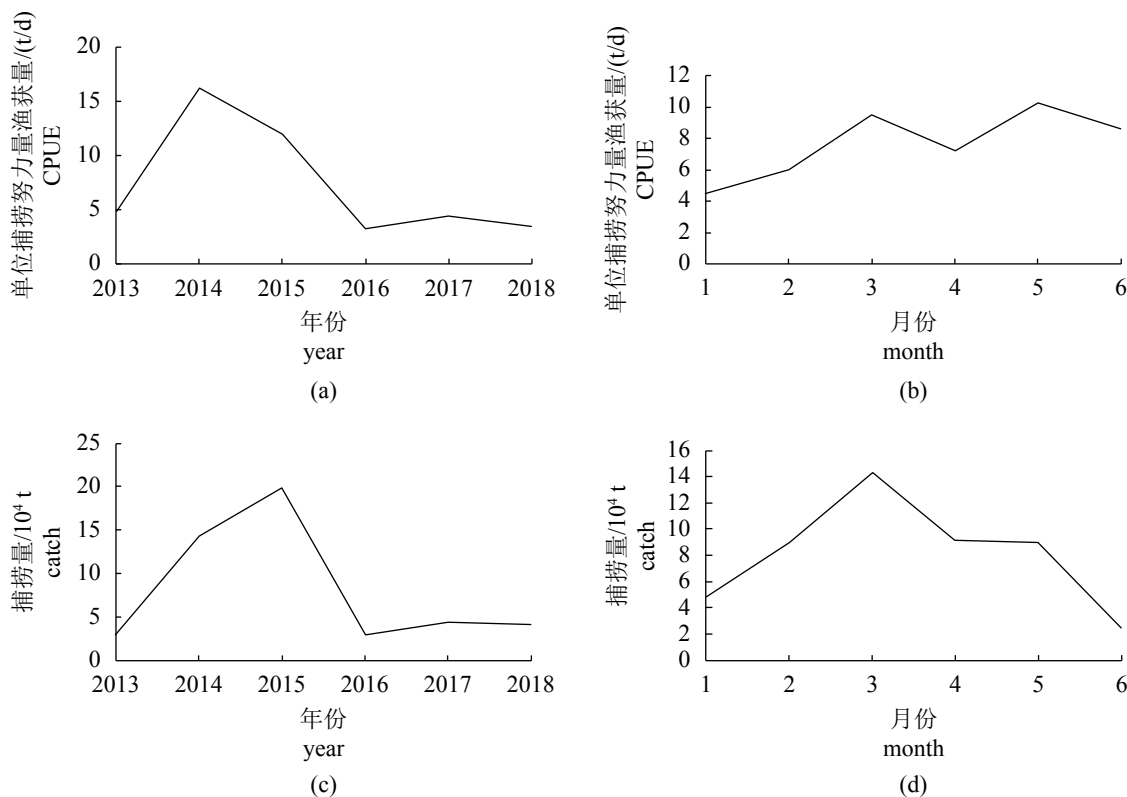


图1 单位捕捞努力量渔获量、捕捞量的年际及月际变化

(a)(b)分别为单位捕捞努力量渔获量的年际和月际变化;(c)(d)分别为捕捞量的年际和月际变化

Fig. 1 Interannual and monthly changes in CPUE and catch

(a)(b) Interannual and monthly changes in CPUE; (c)(d) interannual and monthly changes in catch

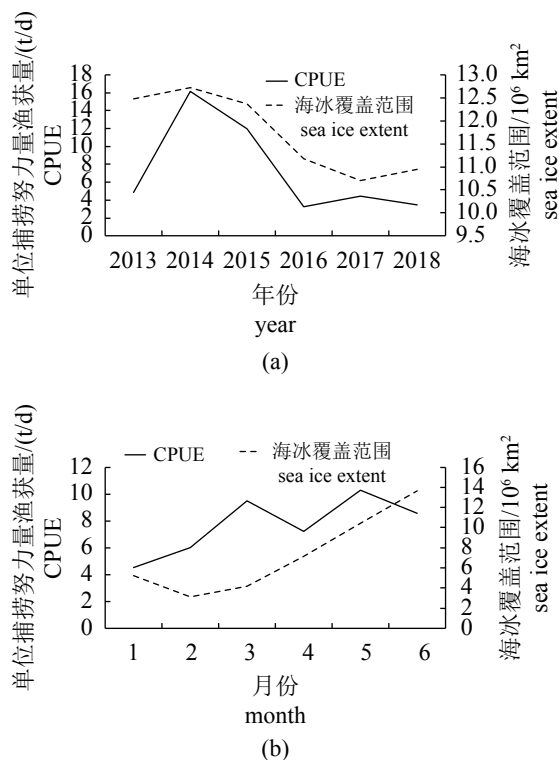


图2 海冰覆盖范围与CPUE的年间变化(a)、  
月间变化(b)对比

Fig. 2 Comparison of variations in annual (a) and  
monthly (b) sea ice extent and CPUE

年的温度略有上升, 2015—2017年逐年降低, 2017—2018年升高, 2017年最低, 2018年最高; 海水深度为195 m时, 水温在2013—2015年逐年上升, 2015—2017年下降, 2017—2018年上升, 2017年最低, 2018年最高(图3)。

海水深度为5 m时, 1—2月海水温度升高, 2—6月温度逐月下降, 6月温度最低, 2月温度最高; 海水深度为55 m时, 1—2月海水温度降低, 2—5月温度逐月升高, 5—6月温度降低, 6月温度最低, 5月温度最高; 海水深度为95 m时, 1—2月海水温度下降, 2—6月温度升高, 2月温度最低, 6月温度最高; 海水深度为195 m时, 海水温度变化趋势与海水深度为95 m处一致, 1月温度最低, 2月温度最高(图3)。

在年间变化上, 南极海冰覆盖范围与5 m海水温度的相关系数为-0.848, 呈显著负相关( $P < 0.05$ ), 而当深度为55、95和195 m时, 两者相关性不显著(图3)。

在月间变化上, 南极海冰覆盖范围与5 m海水温度的相关系数为-0.989, 呈显著负相关( $P <$

0.01); 南极海冰覆盖范围与95 m海水温度的相关系数为0.883, 二者呈显著正相关( $P < 0.05$ )。当深度为55 m, 195 m时, 二者相关性不显著(图3)。

### 2.3 极端年份海冰覆盖范围以及适宜栖息地比较

统计各冰层不同温度区间内捕捞努力量的大小(图4), 捕捞努力量高低代表栖息地的适宜程度(捕捞努力量越高, 栖息地越适宜), 依据统计结果计算不同年份、不同月份及不同水层海水温度的栖息地适宜比例(适宜栖息地占渔场面积的百分比)。选取海冰覆盖范围最高的一年: 2014年, 以及海冰覆盖范围最低的一年: 2017年, 统计2年不同月份、不同海水深度的最适宜温度, 并根据最适宜温度计算其栖息地适宜比例。结果显示, 海水深度为5 m时, 2014年3—6月栖息地适宜比例高于2017年; 海水深度为55、95和195 m时, 2014年的栖息地适宜比例整体明显高于2017年(图5)。

以2014年和2017年捕捞努力量最高的3月为代表, 探究此2年阿根廷滑柔鱼渔场内不同水层海水温度的空间分布情况。在水深为5和55 m时, 2014年3月渔场内的温度低于2017年3月, 在2014年与2017年, 水深为95与195 m温度分布相似且2014年3月的低温区域面积大于2017年3月(图6)。

此外, 将2013—2018年分为海冰覆盖范围较高的2013—2015年, 以及海冰覆盖范围较低的2016—2018年, 分别统计两个类别中的适宜栖息地的年间分布并绘制箱型图(图7)。结果发现, 海冰覆盖范围与栖息地适宜比例的年间变化呈正相关, 即时间分辨率为年时, 海冰覆盖范围越大, 阿根廷滑柔鱼的栖息地适宜比例越高。表明, 南极海冰覆盖范围的变化会影响不同水层海水温度, 导致阿根廷滑柔鱼栖息地适宜比例及渔场位置的改变, 并进一步影响其资源丰度。

## 3 讨论

### 3.1 南极海冰对生物和环境的影响

南极海冰覆盖范围在年间与月间变化上都与阿根廷滑柔鱼CPUE呈正相关。在南极海冰对南极磷虾(*Euphausia superba*)影响的研究中, 曾



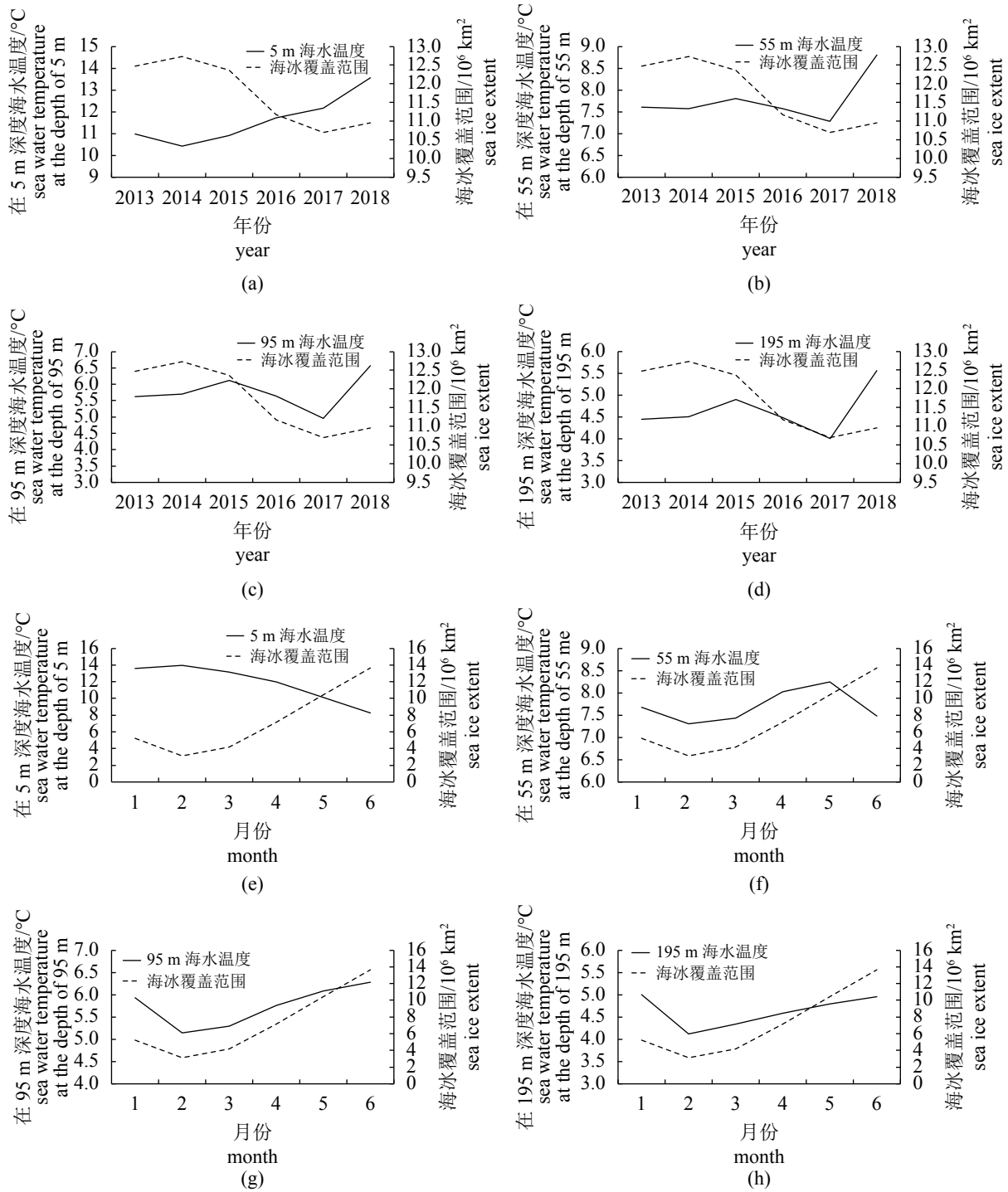
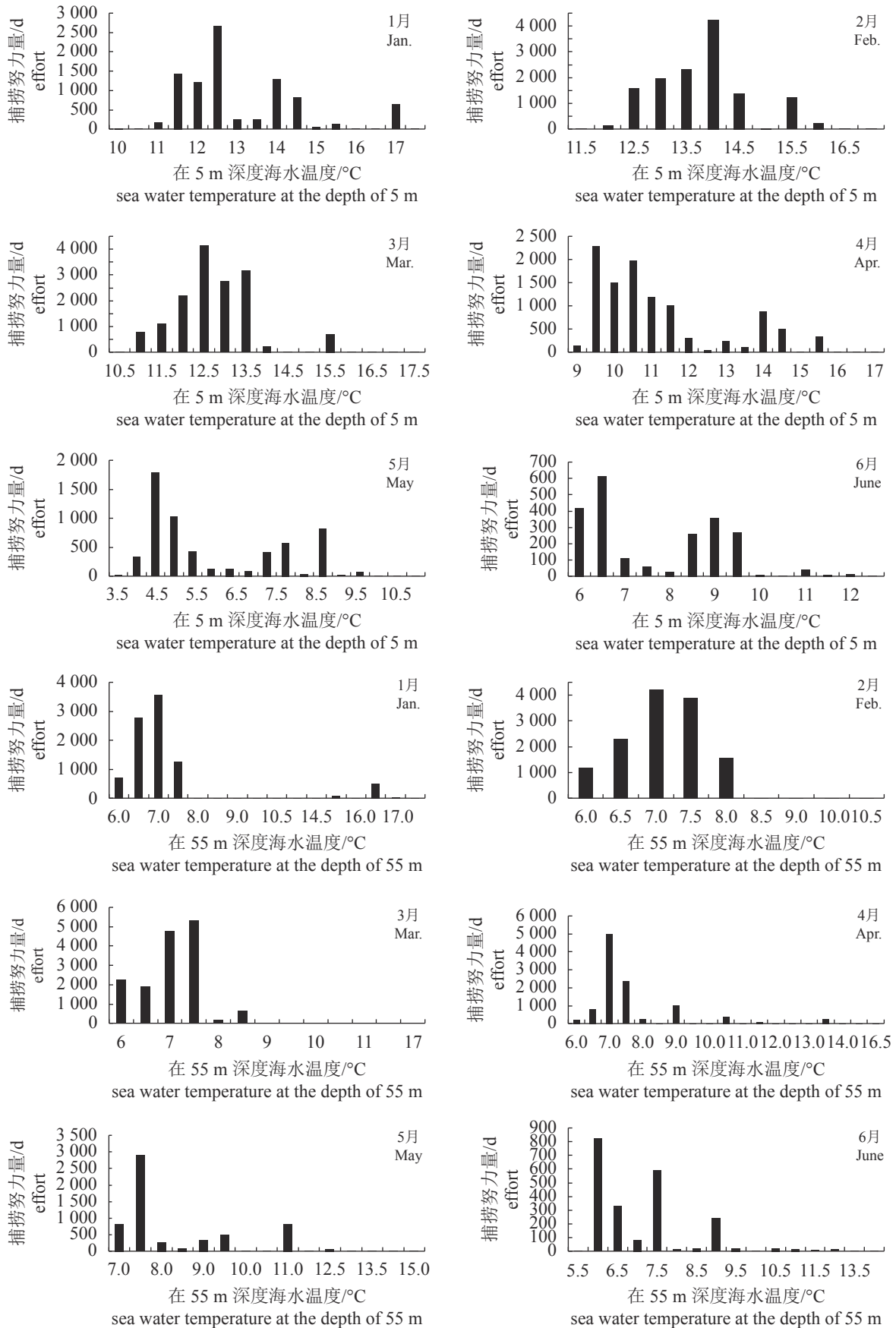


图 3 海冰覆盖范围与不同水层海水温度年间与月间变化对比

Fig. 3 Comparison of variations in annual and monthly sea ice extent and sea water temperature at different depths

使用海冰面积<sup>[21]</sup>、海冰浓度<sup>[22]</sup>等作为描述南极海冰变化的指数, 但与本研究结果不同, 海冰面积与南极磷虾资源丰度呈负相关。研究结果的对比可能说明, 不同物种对南极海冰变化的响应机制不同或南极海冰对南极大陆周围及附

近生物与对距南极大陆较远生物的作用机制不同。在研究南极海冰对海冰覆盖范围内生物的影响时, 可以将海冰浓度与生物数据进行匹配, 得到经纬度对应的生物环境数据, 可以更直观地探究生物与环境的关系, 得到的结果更具有



(图4 Fig. 4)

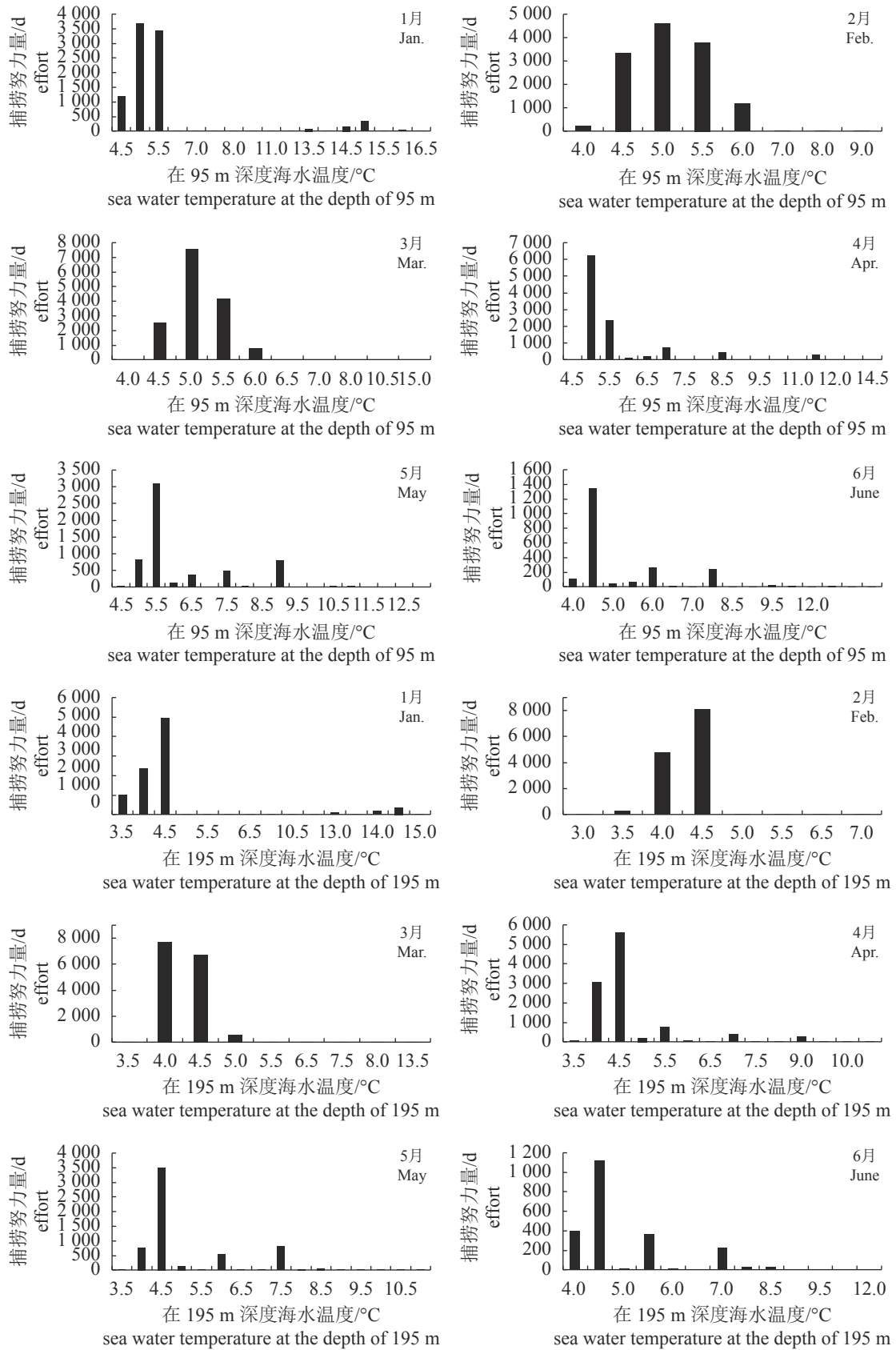


图 4 1—6 月不同海水深度捕捞努力量与水温的关系

Fig. 4 Relationship between fishing effort and sea water temperature at different depths from January to June

表 1 1—6月不同海水深度适宜温度范围

Tab. 1 Suitable temperature range for different sea water depths from January to June

水深 depth	月份 month	适宜温度/℃ suitable temperature range
5 m	1月	11.5~12.5
	2月	12.5~14.0
	3月	12.0~13.5
	4月	9.5~11.5
	5月	8.0~8.5
	6月	6.0~6.5
55 m	1月	6.5~7.5
	2月	6.5~7.5
	3月	6.0~7.5
	4月	7.0~7.5
	5月	7.0~7.5
	6月	6.0~7.5
95 m	1月	5.0~5.5
	2月	4.5~5.5
	3月	4.5~5.5
	4月	5.0~5.5
	5月	5.0~5.5
	6月	5.5
195 m	1月	4.0~4.5
	2月	4.0~4.5
	3月	4.0~4.5
	4月	4.0~4.5
	5月	4.0~4.5
	6月	4.0~4.5

科学性。在探究南极海冰对海冰覆盖范围外生物的影响时，只能使用宏观的海冰覆盖范围等指数进行研究。Gersonde等<sup>[23]</sup>通过对硅藻和放射虫的定量研究，估算了印度洋、大西洋、太平洋的夏季海温及海冰分布，研究阿根廷滑柔鱼资源丰度与南极海冰关系时，使用大西洋的海冰覆盖范围作为环境参数可能会得到更科学的结果。

曾有学者对生活在南极大陆附近的南大洋头足类进行生物与环境的关系探究，研究指出，海洋酸化可能会对海洋生物<sup>[24]</sup>包括头足类<sup>[25-26]</sup>产生较大影响，尤其是头足类夏季受精卵的孵化率<sup>[27]</sup>。而南大洋冷水层的扩张和海冰面积的增大将增加南大洋的碳吸收能力<sup>[28]</sup>并减少大气与海洋间的二氧化碳交换<sup>[29]</sup>，导致海洋酸性增强。南极海冰覆盖范围的变化是否为海洋酸化的最主要影响因子以及海洋酸化对阿根廷滑柔鱼的影响程度还需要进一步探究。

在探究南极海冰对南极大陆之外环境的影响时，马丽娟等<sup>[30]</sup>、程彦杰等<sup>[31]</sup>用南极海冰北界与南极海冰涛动指数 (Antarctica sea-ice oscillation index, ASOI) 作为指示南极海冰变化的参数，探究其对大洋环境的影响。由南极海冰引起的南极绕极波列 (Antarctic circumpolar wave, ACW)<sup>[32]</sup>与南极耦极子 (Antarctic dipole, ADP)<sup>[33]</sup>会引起全球范围的大尺度气候变化。南极海冰变化在造

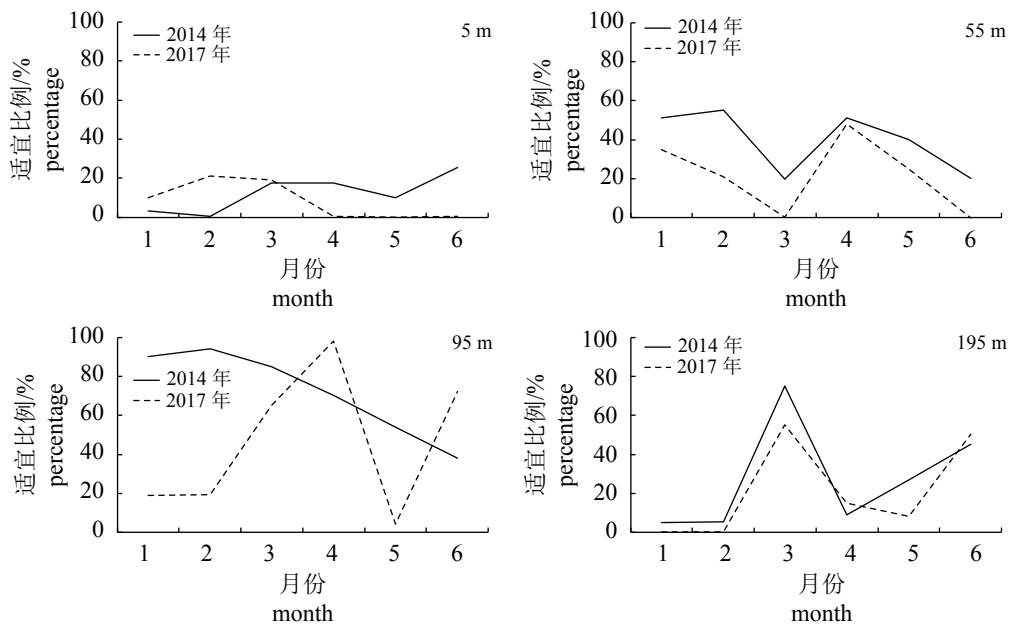


图 5 2014 年与 2017 年 1—6 月不同海水深度栖息地适宜比例

Fig. 5 Percentage of suitable habitat for different sea water depths from January to June in 2014 and 2017



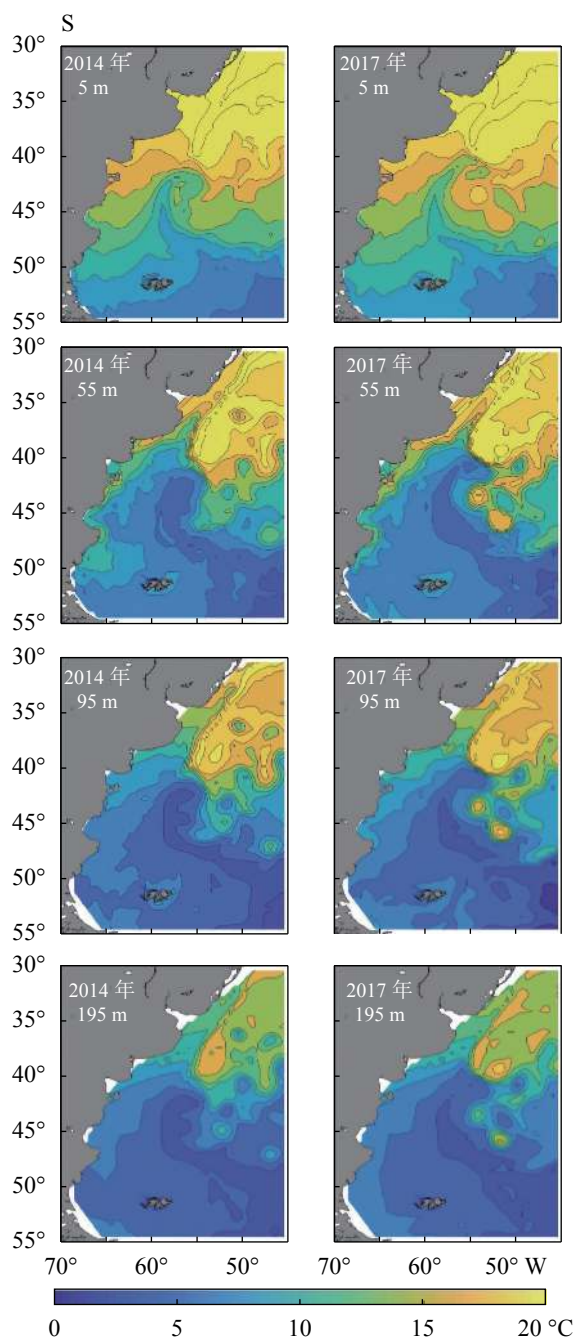


图6 2014年3月与2017年3月不同水层海水温度空间分布图

Fig. 6 Spatial distribution maps of SWT for different sea water depths in March 2014 and March 2017

成全球气候变化的同时, 由于海洋盐度结构的相关变化, 会导致热盐线的变化<sup>[34]</sup>, 热盐线的改变会对部分海洋生物的分布及洄游等产生巨大影响。

Ludescher等<sup>[35]</sup>指出, 南极海冰覆盖范围由前些年的逐年上升, 到2014年开始逐年下降, 可能是南极海冰维持低覆盖范围的转折点。南

极海冰是否会维持低覆盖范围以及阿根廷滑柔鱼是否会根据本研究正相关的结果保持较低的资源丰度还需要进一步验证。

### 3.2 阿根廷滑柔鱼资源丰度与环境关系

西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔场的形成主要受BC以及MC影响<sup>[7-10]</sup>, 有研究表明BC与MC的变化会引起水域海水温度的变化<sup>[7]</sup>, 而海水温度变化会导致阿根廷滑柔鱼的资源丰度发生变化。研究者曾利用栖息地指数模型<sup>[5]</sup>、最大熵模型<sup>[10]</sup>、神经网络与GAM综合模型<sup>[36]</sup>对影响阿根廷滑柔鱼资源丰度的环境因素进行分析, 探究对阿根廷滑柔鱼资源丰度影响最大的环境因子。本实验分析了不同水层海水温度对阿根廷滑柔鱼的影响, 确定了阿根廷滑柔鱼在5、55、95和195 m水深时的适宜温度范围, 并计算出不同年份的栖息地适宜比例。有学者指出, 每年的3—8月阿根廷滑柔鱼更偏好水深为80~280 m和温度为4~10 °C的海水(亚南极水)<sup>[19]</sup>。相比之下, 在11—12月时阿根廷滑柔鱼更偏好浅层深度(70~90 m)和底部温暖的海水。不同季节的阿根廷滑柔鱼栖息水层及水层温度变化的影响还需要进一步探究。

Brunetti等<sup>[37-38]</sup>依据阿根廷滑柔鱼体型大小、索饵场以及产卵场的时空分布等, 将阿根廷滑柔鱼分为4个种群, 分别为布宜诺斯艾利斯—巴塔哥尼亚北部群体(Bonaerensis-North patagonic stock, BNS)、南部巴塔哥尼亚群体(south Patagonic stock, SPS)、夏季产卵群体(summer spawning stock, SSS)和春季产卵群体(spring spawning stock, SPSS)。按照其划分, SPS的产卵场主要分布在42~47°S的大陆坡中部, 产卵季节在4—8月; SSS的产卵场主要分布在MC控制下44°S附近陆坡, 产卵季节在12月至翌年2月; BNS的产卵场主要分布在38°S附近陆坡, 产卵季节在7—9月; SPSS的产卵场主要分布在BC控制下的24~34°S之间的陆坡, 产卵季节在7—11月。刘岩等<sup>[39]</sup>、唐议<sup>[40]</sup>指出, 中国鱿钓渔船在西南大西洋公海作业的1月至2月中下旬, 渔场的阿根廷滑柔鱼主要以SSS为主, 2月中旬之后渔场中则有部分SPS补充进入, 所以本实验的阿根廷滑柔鱼主要种群为SSS和SPS。而在阿根廷专属经济区内作业的阿根廷籍鱿钓渔船捕捞对象为全部的4个种群, 对2013—2018年南极海冰覆盖范围与阿根廷总捕捞量(作业方式包括鱿钓

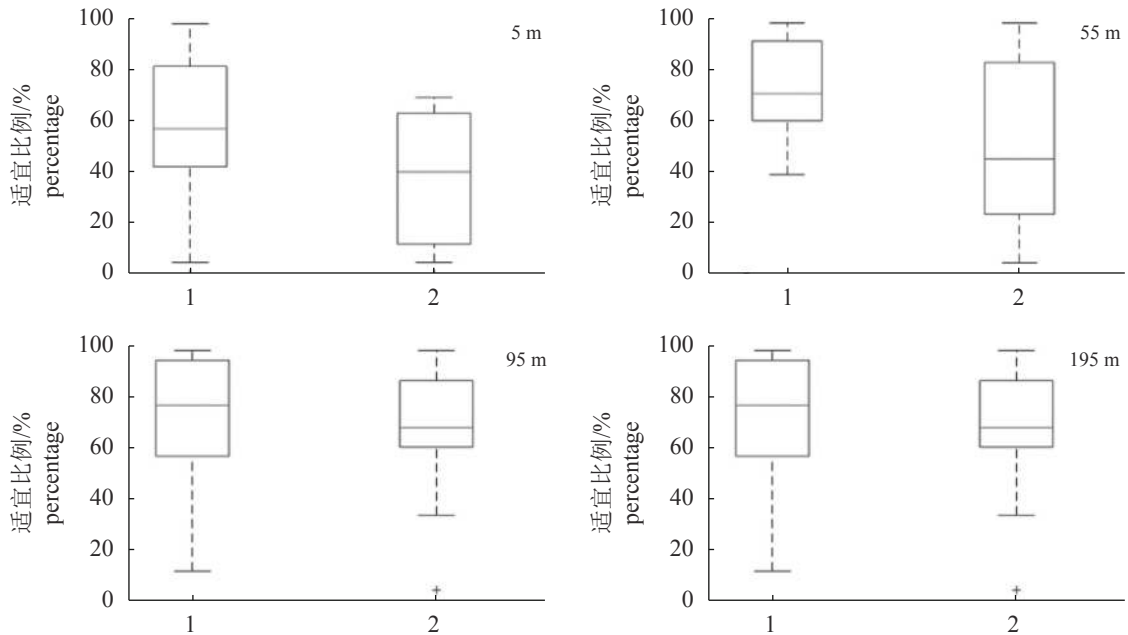


图 7 栖息地适宜比例年间变化

1. 2013—2015 年，海冰覆盖范围较高；2. 2016—2018 年，海冰覆盖范围较低

Fig. 7 Variations in percentage of suitable habitats from 2013 to 2018

1. 2013—2015 with high sea ice coverage; 2. 2016—2018 with low sea ice coverage

与拖网) 年间变化进行分析 (图 8), 得到相关系数为 0.807, 为显著正相关 ( $P < 0.05$ )。结果说明, 南极海冰覆盖范围与阿根廷滑柔鱼资源丰度的年间变化呈正相关的结论可能适用于全部 4 个种群。具体 4 个种群对海冰覆盖范围变化的不同响应机制还需要进一步研究和分析。

大尺度的气候变化也会对头足类的资源丰度产生影响, Dawe 等<sup>[41]</sup>的研究发现, 北大西洋涛动 (north Atlantic oscillation, NAO) 会对栖息在北大西洋的短鳍鱿鱼 (*I. illecebrosus*) 产生影响。Chang 等<sup>[42]</sup>的研究结果表明, 南极涛动 (Antarc-

tic oscillation, AAO) 会在滞后 2 年的条件下影响阿根廷滑柔鱼的资源丰度。这说明大尺度气候变化可能不会直接影响一年生的头足类, 而是通过影响其他生物及非生物因素间接影响头足类。

本实验在研究南极海冰覆盖范围与不同水层海水温度对阿根廷滑柔鱼渔场位置及资源丰度的影响时, 使用年和月作为时间分辨率进行了分析, 而忽略了南极海冰变动的季节性变化<sup>[30]</sup>, 对受南极海冰变动影响的不同水层海水温度作为环境因子进行研究, 但没有考虑南极海冰可能引起的其他环境因子变化, 如海水盐度、叶绿素 a 浓度、海表面高度等。此外, 本研究探讨了南极海冰变动对阿根廷滑柔鱼渔场的影响, 但没有分析南极海冰变动是否会对阿根廷滑柔鱼的渔期产生影响。为完善阿根廷滑柔鱼的渔情预报并提高预报的准确性, 未来研究还需进一步掌握各类时空分辨率环境变化 (包括高分辨率的气候条件变化, 中等分辨率的涡流变化等) 对阿根廷滑柔鱼的影响。

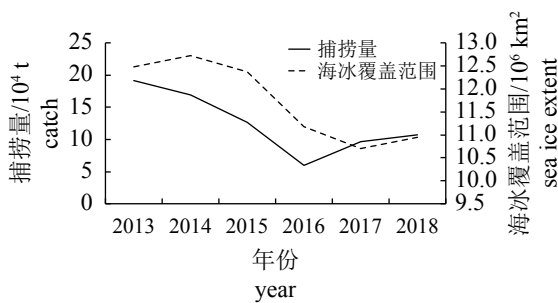


图 8 海冰覆盖范围与阿根廷滑柔鱼总捕捞量的年间变化

Fig. 8 Annual variation of sea ice extent and catch of *I. argentinus* in Argentina

参考文献 (References):

[ 1 ] Brunetti N E, Elena B, Rossi G R, et al. Summer distribution, abundance and population structure of *Illex*

- argentinus* on the Argentine shelf in relation to environmental features[J]. *South African Journal of Marine Science*, 1998, 20(1): 175-186.
- [2] Ivanovic M L, Brunetti N E. Food and feeding of *Illex argentinus*[J]. *Antarctic Science*, 1994, 6(2): 185-193.
- [3] 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.
- Wang Y G, Chen X J. Resources and fisheries of the economic oceanic squid in the world[M]. Beijing: China Ocean Press, 2005: 240-264 (in Chinese).
- [4] Hatanaka H. Growth and life span of short-finned squid *Illex argentinus* in the waters off Argentina[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1986, 52(1): 11-17.
- [5] 陈新军, 陆化杰, 刘必林, 等. 利用栖息地指数预测西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔场[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(3): 431-438.
- Chen X J, Lu H J, Liu B L, et al. Forecasting fishing ground of *Illex argentinus* by using habitat suitability model in the southwest Atlantic[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, 21(3): 431-438(in Chinese).
- [6] Waluda C M, Trathan P N, Rodhouse P G. Influence of oceanographic variability on recruitment in the *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) fishery in the South Atlantic[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, 183: 159-167.
- [7] Legeckis R, Gordon A L. Satellite observations of the Brazil and Falkland currents—1975, 1976 and 1978[J]. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 1982, 29(3): 375-401.
- [8] Olson D B, Podestá G P, Evans R H, et al. Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas Currents[J]. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 1988, 35(12): 1971-1990.
- [9] Sacau M, Pierce G J, Wang J J, et al. The spatio-temporal pattern of Argentine shortfin squid *Illex argentinus* abundance in the southwest Atlantic[J]. *Aquatic Living Resources*, 2005, 18(4): 361-372.
- [10] 陈芑, 陈新军. 基于最大熵模型分析西南大西洋阿根廷滑柔鱼栖息地分布[J]. 水产学报, 2016, 40(6): 894-902.
- Chen P, Chen X J. Analysis of habitat distribution of Argentine shortfin squid (*Illex argentinus*) in the southwest Atlantic Ocean using maximum entropy model[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(6): 894-902(in Chinese).
- [11] 陈新军, 刘金立. 巴塔哥尼亚大陆架海域阿根廷滑柔鱼渔场分布及与表温的关系分析[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(6): 19-24.
- Chen X J, Liu J L. Preliminary analysis on the relationship between the distribution of fishing ground of *Illex argentinus* and SST in the Patagonian shelf[J]. *Marine Fisheries Research*, 2004, 25(6): 19-24(in Chinese).
- [12] 刘必林, 陈新军. 2001年西南大西洋阿根廷滑柔鱼产量分布与表温关系的初步研究[J]. 海洋渔业, 2004, 26(4): 326-330.
- Liu B L, Chen X J. Preliminary study on the relationship between the distribution of production of *Illex argentinus* and SST in the Southwest Atlantic Ocean in 2001[J]. *Marine Fisheries*, 2004, 26(4): 326-330(in Chinese).
- [13] 马丽娟, 陆龙骅, 卞林根. 南极海冰北界涛动指数及其与我国夏季天气气候的关系[J]. 应用气象学报, 2007, 18(4): 568-572.
- Ma L J, Lu L H, Bian L G. Antarctic Sea-ice extent Oscillation index with the relationship between ASEOI and synoptic climate in summer of China[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2007, 18(4): 568-572(in Chinese).
- [14] Anthony R E, Aster R C, McGrath D. Links between atmosphere, ocean, and cryosphere from two decades of microseism observations on the Antarctic Peninsula[J]. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2017, 122(1): 153-166.
- [15] Godfred S, Christopher R, Simmonds I. An analysis of Antarctic Sea-ice and extratropical cyclone associations[J]. *International Journal of Climatology*, 2015, 16(12): 1315-1332.
- [16] 陈锦年, 褚健婷, 许兰英. 南极气候和海冰的时空变化特征及其与太平洋海温场的关系[J]. 海洋学报, 2003, 25(6): 39-47.
- Chen J N, Chu J T, Xu L Y. Spatio-temporal characteristics of Antarctic temperature and sea ice and their relationship[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2003, 25(6): 39-47(in Chinese).
- [17] Jacka T H, Budd W F. Detection of temperature and sea-ice-extent changes in the Antarctic and Southern Ocean, 1949-96[J]. *Annals of Glaciology*, 1998, 27: 553-559.
- [18] Massom R A, Stammerjohn S E. Antarctic sea ice change and variability—physical and ecological implications[J]. *Polar Science*, 2010, 4(2): 149-186.
- [19] Bazzino G, Quiñones R A, Norbis W. Environmental associations of shortfin squid *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) in the Northern Patagonian Shelf[J]. *Fisheries Research*, 2005, 76(3): 401-416.
- [20] 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(in Chinese).
- [21] 陈峰, 陈新军, 刘必林, 等. 海冰对南极磷虾(*Euphausia superba*)资源丰度的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2011, 42(4): 495-499.
- Chen F, Chen X J, Liu B L, *et al.* Effect of sea ice on the abundance index of Antarctic krill *Euphausia superba*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(4): 495-499(in Chinese).
- [22] 戴立峰, 张胜茂, 樊伟. 南极磷虾资源丰度变化与海冰和表温的关系[J]. *极地研究*, 2012, 24(4): 352-360.
- Dai L F, Zhang S M, Fan W. The abundance index of Antarctic krill and its relationship to sea ice and sea surface temperature[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2012, 24(4): 352-360(in Chinese).
- [23] Gersonde R, Crosta X, Abelmann A, *et al.* Sea-surface temperature and sea ice distribution of the Southern Ocean at the EPILOG last glacial maximum—a circum-Antarctic view based on siliceous microfossil records[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2005, 24(7-9): 869-896.
- [24] Constable A J, Melbourne-Thomas J, Corney S P, *et al.* Climate change and Southern Ocean ecosystems I: how changes in physical habitats directly affect marine biota[J]. *Global Change Biology*, 2014, 20(10): 3004-3025.
- [25] Xavier J C, Raymond B, Jones D C, *et al.* Biogeography of cephalopods in the Southern Ocean using habitat suitability prediction models[J]. *Ecosystems*, 2016, 19(2): 220-247.
- [26] Rodhouse P G K. Role of squid in the Southern Ocean pelagic ecosystem and the possible consequences of climate change[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2013, 95: 129-138.
- [27] Rosa R, Trubenbach K, Pimentel M S, *et al.* Differential impacts of ocean acidification and warming on winter and summer progeny of a coastal squid (*Loligo vulgaris*)[J]. *Journal of Experimental Biology*, 2014, 217(4): 518-525.
- [28] Bakker D C E, De Baar H J W, Bathmann U V. 1997. Changes of carbon dioxide in surface waters during spring in the Southern Ocean[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1997, 44(1-2): 91-127.
- [29] Stephens B B, Keeling R F. The influence of Antarctic sea ice on glacial–interglacial CO<sub>2</sub> variations[J]. *Nature*, 2000, 404(6774): 171-174.
- [30] 马丽娟, 陆龙骅, 卞林根. 南极海冰的时空变化特征[J]. *极地研究*, 2004, 16(1): 29-37.
- Ma L J, Lu L H, Bian L G. Spatio-temporal character of Antarctic sea ice variation[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2004, 16(1): 29-37(in Chinese).
- [31] 程彦杰, 卞林根, 陆龙骅. 南极海冰涛动与ENSO的关系[J]. *应用气象学报*, 2002, 13(6): 711-717.
- Cheng Y J, Bian L G, Lu L H. Antarctic sea-ice oscillation and its relationship with ENSO[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2002, 13(6): 711-717(in Chinese).
- [32] White B W, Peterson R G. An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent[J]. *Nature*, 1996, 380(6576): 699-702.
- [33] Yuan X J, Martinson D G. Antarctic Sea ice extent variability and its global connectivity[J]. *Journal of Climate*, 2000, 13(10): 1699-1717.
- [34] Shin S I, Liu Z Y, Otto-Bliesner B L, *et al.* Southern Ocean sea-ice control of the glacial North Atlantic thermohaline circulation[J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(2): 1096.
- [35] Ludescher J, Yuan N M, Bunde A. Detecting the statistical significance of the trends in the Antarctic sea ice extent: an indication for a turning point[J]. *Climate Dynamics*, 2018, 53(5): 237-244.
- [36] Wang J T, Chen X J, Chen Y. Projecting distributions of Argentine shortfin squid (*Illex argentinus*) in the Southwest Atlantic using a complex integrated model[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2018, 37(8): 31-37.
- [37] Brunetti N E, Ivanovic M, Rossi G, *et al.* Fishery biology and life history of *Illex argentinus*[M]//Okutani T. Contributed Papers to International Symposium on Large Pelagic Squids. Tokyo: Japan Marine Fishery Resources Research Center, 1998: 217-231.
- [38] Brunetti N E, Ivanovic E, Louge E, *et al.* Reproductive biology and fecundity of two stocks of the squid (*Illex argentinus*)[J]. *Frente Marítimo*, 1991(8): 73-84.
- [39] 刘岩, 张秀梅, 周游, 等. 2011年西南大西洋拖网渔获物阿根廷滑柔鱼生物学分析[J]. *南方水产科学*, 2012, 8(3): 39-47.
- Liu Y, Zhang X M, Zhou Y, *et al.* An analysis of biological characteristics of Argentine shortfin squid *Illex argentinus* collected by trawl in southwest Atlantic in 2011[J]. *South China Fisheries Science*, 2012, 8(3): 39-47(in Chinese).
- [40] 唐议. 西南大西洋鱿钓作业渔获物——阿根廷滑柔鱼生物学分析[J]. *海洋渔业*, 2002, 24(1): 14-19.
- Tang Y. Analysis on biological characteristics of the



- catch of squid jigging in the southwest Atlantic[J]. *Marine Fisheries*, 2002, 24(1): 14-19(in Chinese).
- [41] Dawe E G, Colbourne E B, Drinkwater K F. Environmental effects on recruitment of short-finned squid (*Illex illecebrosus*)[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, 57(4): 1002-1013.
- [42] Chang K Y, Chen C S, Wang H Y, *et al.* The Antarctic Oscillation index as an environmental parameter for predicting catches of the Argentine shortfin squid (*Illex argentinus*) (Cephalopoda: Ommastrephidae) in southwest Atlantic waters[J]. *Fishery Bulletin*, 2015, 113(2): 202-212.

## Influence of Antarctic sea ice variation on abundance and spatial distribution of Argentine shortfin squid *Illex argentinus* in the southwest Atlantic Ocean

LIU Hewei<sup>1</sup>, YU Wei<sup>1,2,3,4,5\*</sup>, CHEN Xinjun<sup>1,2,3,4,5</sup>, WANG Jintao<sup>1,2,3,4,5</sup>, ZHANG Zhong<sup>1,2,3,4,5</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;

4. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

5. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Antarctic sea ice variation can have direct or indirect effects on the environments and a variety of marine organisms. The Sea Ice Extent was considered as an index to indicate the changes in Antarctic sea ice, and in this study, its impacts on fishing ground of Argentine shortfin squid *Illex argentinus* in the Southwest Atlantic Ocean were explored. In this study, the catch per unit effort (CPUE) was used to indicate squid abundance, and we evaluated the influences of sea ice extent and sea water temperature at different depths on stock variations of *I. argentinus*, based on the fishery data from January to June during 2013-2018 obtained from the Chinese squid-jigging Science and Technology Group as well as the sea ice extent data and the sea water temperature data of 5 m, 55 m, 95 m and 195 m depth on the fishing ground. The results indicated that the catch, CPUE, sea ice extent, sea water temperature at different depths exhibited significant annual and monthly variations. The correlation analysis suggested that Antarctic sea ice extent was positively correlated with CPUE on an annual and monthly scale. Sea ice extent was negatively correlated with annual and monthly sea water temperature at the depth of 5 m, but was positively correlated with sea water temperature at the depth of 95 m. Based on the histogram analysis, the monthly suitable and the most preferred sea water temperature for *I. argentinus* were evaluated at different depths. Positive relationship was found between the monthly percentages of suitable temperature at different depths accounting for the whole fishing ground and the sea ice extent, suggesting that the sea ice extent would affect the proportions of suitable habitats at different depths and further affect the abundance of *I. argentinus*. Our findings indicated that sea ice extent would have significant impacts on sea water temperature at different depths, and would further affect the fishing ground distribution and also squid abundance.

**Key words:** *Illex argentinus*; Antarctic sea ice; abundance; sea water temperature; the southwest Atlantic Ocean

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

**Funding projects:** National Key R&D Program of China (2019YFD0901405); National Natural Science Foundation of China (41906073); Natural Science Foundation of Shanghai (19ZR1423000)