

## 中国大陆阿根廷滑柔鱼鱿钓渔业 CPUE 标准化

陆化杰<sup>1</sup>, 陈新军<sup>1,2,3\*</sup>, 曹杰<sup>1</sup>, 李纲<sup>1,2,3</sup>,  
田思泉<sup>1,2,3</sup>, 刘必林<sup>1,2,3</sup>, 方舟<sup>1</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可持续发展省部共建教育部重点实验室, 上海 201306)

**摘要:** 阿根廷滑柔鱼是我国重要的头足类渔业之一, 单位捕捞努力量渔获量(CPUE)标准化是对其资源进行评估的重要内容。研究根据 2000—2010 年中国大陆在西南大西洋的鱿钓产量统计数据和卫星遥感获得的海洋环境数据(表温, 表温水平梯度, 海面高度, 叶绿素浓度), 利用广义线性模型(general linear model, GLM)和广义加性模型(generalized additive model, GAM)对中国大陆西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业 CPUE 标准化。GLM 模型结果表明, 年、纬度、表温以及交互项年与纬度对 CPUE 影响最大。GAM 模型研究结果则表明年、月、经度、纬度、表温、海面高度以及交互项年与纬度、年与经度对 CPUE 影响较大。根据 AIC 准则, 包含上述 8 个显著变量的 GAM 模型为最佳模型, 对 CPUE 的解释率为 49.20%。高 CPUE 出现在夏季表温为 12~16 °C、海面高度为 -20~20 cm 和 46.5°~48.5°S 范围内。研究表明, GAM 模型较 GLM 模型更适合用于西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业 CPUE 标准化。

**关键词:** 阿根廷滑柔鱼; CPUE 标准化; 广义线性模型; 广义加性模型; 中国大陆

**中图分类号:** S 937

**文献标志码:** A

阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)是大洋性浅海种, 广泛分布在 22°~54°S 的西南大西洋大陆架及大陆坡海域, 其中以 35°~52°S 资源尤为丰富<sup>[1]</sup>。阿根廷滑柔鱼最高年产量超过 100 万 t, 但年间波动大<sup>[2]</sup>, 如何对其资源量进行评估是一个重要的内容。单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)通常作为表示鱼类资源丰度的相对指数, 是对渔业资源进行评估的基础内容之一<sup>[3-4]</sup>。未去除影响因素的 CPUE 称为名义 CPUE(nominal CPUE)<sup>[5]</sup>, 影响名义 CPUE 因素有很多, 如时间和空间要素(年、月、经度、纬度)、捕捞能力(渔船吨位和马力、渔具、助渔设备等)及海洋环境条件(如表温 SST)等。因此, 如何对名义 CPUE 进行标准化, 排除外界因素对 CPUE 的影响和干扰, 使之真实反映渔业资源的丰度变

化<sup>[6]</sup>, 从而减少资源评估中的误差和不确定性, 是确切掌握西南大西洋阿根廷滑柔鱼资源变动的重要问题之一。广义线性模型(GLM)通常被用于 CPUE 标准化<sup>[7]</sup>。但由于 CPUE 和环境因素等影响因子间的关系很可能是非线性的<sup>[8-9]</sup>, 广义加性模型(GAM)被用来处理这些非线性问题<sup>[10]</sup>。一些学者对西南大西洋阿根廷滑柔鱼资源丰度与海洋环境的关系进行了一些研究<sup>[11-13]</sup>, 并利用其部分海域的渔业数据对其 CPUE 标准化进行了一些研究<sup>[14]</sup>, 但针对中国大陆西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业 CPUE 标准化的研究尚未见公开报道。本实验根据 2000—2010 年中国大陆鱿钓船在西南大西洋生产数据, 并结合时空、海洋环境等因子, 应用 GLM 和 GAM 模型对该渔业 CPUE 进行标准化, 为西南大西洋阿根廷滑柔鱼

收稿日期:2011-11-23 修回日期:2012-12-01

资助项目:国家自然科学基金项目(41276156); 国家“八六三”高技术研究发展计划(2010AA092303); 上海科委重大项目(12231203900); 国家发改委产业化专项(2159999); 大洋渔业资源可持续发展教育部重点实验室开放基金

通信作者:陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

资源评估提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 渔业数据

商业性生产数据来源于中国远洋渔业协会上海海洋大学鱿钓技术组建立的西南大西洋阿根廷滑柔鱼生产数据库,时间为2000—2010年。数据字段包括日期、经度、纬度、产量、作业次数。时间分辨率为天,空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (定义为1个渔区)。由于中国大陆在西南大西洋生产渔船参数基本一致,因此本研究在数据分析时忽略其影响。

### 1.2 海洋环境数据来源

海洋环境数据包括表层温度(sea surface temperature, SST)、海平面高度(sea surface height, SSH)和叶绿素(*Chl-a*)。其中, SST数据来源于 <http://iridl.ldeo.columbia.edu>, 空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ ; SSH和*Chl-a*数据都来源于 <http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/las/servlets/dataset>, 空间分辨率分别为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 和 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 。3个海洋环境数据时间跨度均为2000—2010年,空间范围均为 $35^\circ \sim 55^\circ \text{S}$ ,  $45^\circ \sim 70^\circ \text{W}$ 。

### 1.3 渔业统计数据和环境数据的匹配

由于产量数据、SST、SSH、*Chl-a*空间分辨率不同,因此需要转化以达到统一。

CPUE定义为每艘船每天的捕捞产量,第*i*年、*l*月、*k*经度*j*纬度(分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ )对应的月均CPUE定义为

$$CPUE_{i,l,k,j} = \frac{\sum Catch_{i,l,k,j}}{\sum E_{i,l,k,j}} \quad (1)$$

式中,  $\sum Catch_{i,l,k,j}$ 为第*i*年、*l*月、*k*经度*j*纬度( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ )总产量,  $\sum E_{i,l,k,j}$ 为对应的总作业次数<sup>[15]</sup>。

SST转化公式如下:

$$SST_{i,l,k,j} = \frac{\sum_{x=1}^n SST_x}{n} \quad (2)$$

式中,  $SST_{i,l,k,j}$ 为*i*年、*l*月、*k*经度、*j*纬度( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ )平均SST,  $SST_x$ 为*i*年、*l*月、*k*经度、*j*纬度中的某个SST数据<sup>[16]</sup>。

表面温度水平梯度GSST由SST计算而来,*k*纬度*j*经度GSST计算公式如下<sup>[17]</sup>:

$$GSST_{k,j} = \sqrt{\frac{(SST_{k-1,j} - SST_{i+1,j})^2 + (SST_{k,j-1} - SST_{k,j+1})^2}{2}} \quad (3)$$

由于SSH和*Chl-a*分辨率小于产量分辨率( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ),因此不需要转化,直接引用对应的数据。

### 1.3 统计分析

**GLM模型** GLM模型假设响应变量的期望值与解释变量呈线性关系<sup>[18]</sup>,例如: $g(\mu_i) = X_i^T \beta$ ,式中 $g$ 为链接函数, $\mu_i = E(Y_i)$ , $X_i$ 为第*i*个响应变量的解释变量, $\beta$ 为模型估计参数, $Y_i$ 为第*i*个响应变量。本研究假设CPUE服从对数正态分布,因此GLM模型表示为:

$$\begin{aligned} \text{Ln}(CPUE_{i,j,k,l} + 1) = & k + \alpha_1 year_i + \alpha_2 month_l + \\ & \alpha_3 lon_k + \alpha_4 lat_j + \alpha_5 SST + \alpha_6 SSH + \\ & \alpha_7 chla + \alpha_8 interactions + \varepsilon_{i,j,k,l} \end{aligned} \quad (4)$$

式中,CPUE为每艘船每天的捕捞产量;*interactions*为交互项,表示时间与空间解释变量的交互效应; $\alpha_1 \sim \alpha_8$ 为模型参数; $\varepsilon$ 为误差项,假设其服从正态分布。GLM模型中,将时间(年、月)、空间(经度、纬度)、环境(SST、SSH、*Chl-a*)因素作为解释变量,其中变量年、月、经度、纬度为分类离散变量,其它变量为连续变量。CPUE加上常数1,再作对数变换后,作为响应变量,以解决CPUE为0的情况<sup>[19-20]</sup>。

**GAM模型** GAM模型为GLM模型的延伸,可以用来表示响应变量和解释变量的非线性关系,即:

$$g(\mu_i) = \alpha + \sum_{i=1}^m f_i(x_i) + \varepsilon_i \quad (5)$$

式中, $g$ 为链接函数, $\mu_i = E(Y_i)$ , $x_i$ 为第*i*个响应变量的解释变量, $\beta$ 为模型估计参数, $Y_i$ 为第*i*个响应变量, $f_i$ 为平滑函数。GAM模型表示为:

$$\begin{aligned} \text{Ln}(CPUE_{i,j,k,l} + 1) = & s(year_i) + s(month_l) + \\ & s(lon_k) + s(lat_j) + s(SST) + s(SSH) + \\ & s(chla) + (interactions) \end{aligned} \quad (6)$$

解释变量依次加入GAM模型,得到包含不同个数解释变量的GAM模型。选取AIC值最小的为最佳模型<sup>[19]</sup>。AIC值的计算如下:

$$AIC = -2 \text{Ln} l(p_1, \dots, p_m, \sigma^2) + 2m \quad (7)$$

式中, $m$ 为方程中参数的个数<sup>[21]</sup>。

本研究所有统计分析均用R语言统计软件处理。

## 2 结果

### 2.1 解释变量 $\text{Ln}(\text{CPUE} + 1)$ 的统计分布检验

K-S 检验显示,  $\text{Ln}(\text{CPUE} + 1)$  趋向于服从正

态分布( $\mu = 2.22, \sigma = 1.06$ , 图 1-a)。  $\text{Ln}(\text{CPUE} + 1)$  的数据点在正态 q-q 图中基本形成一条直线(图 1-b), 说明  $\text{Ln}(\text{CPUE} + 1)$  基本服从正态分布, 运用 GLM 和 GAM 模型进行分析数据是合适的。

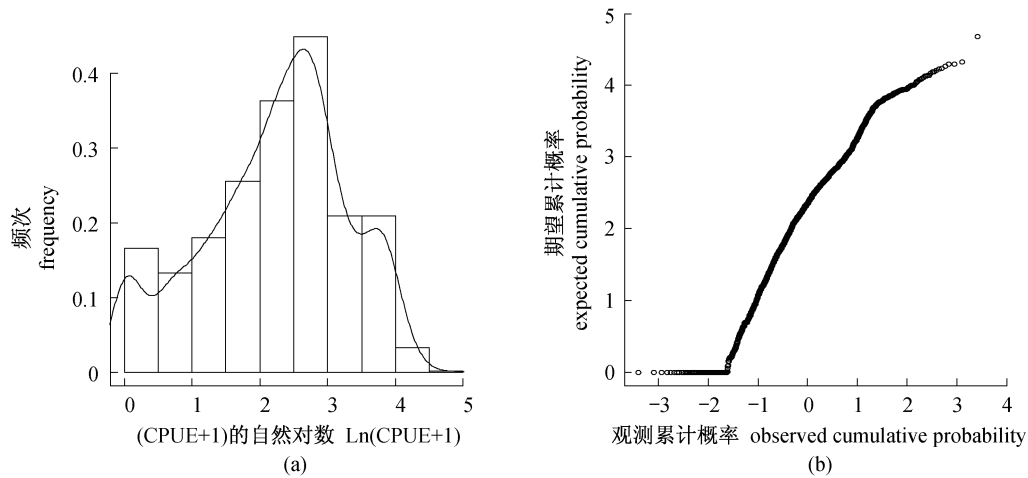


图 1 2000—2010 年西南大西洋阿根廷滑柔鱼  $\text{Ln}(\text{CPUE} + 1)$  的频次分布及其检验

(a)  $\text{Ln}(\text{CPUE} + 1)$  的频次分布; (b)  $\text{Ln}(\text{CPUE} + 1)$  的正态 p-p 图。

Fig. 1 The  $\text{Ln}(\text{CPUE} + 1)$  distribution for the Chinese squid jigging fishery in the southwest Atlantic Ocean from 2000 to 2010 and its distribution tests

(a) frequency distribution of  $\text{Ln}(\text{CPUE} + 1)$ ; (b) normal p-p plot of  $\text{Ln}(\text{CPUE} + 1)$ .

### 2.2 GLM 模型分析

GLM 模型显著性变量的检验见表 1。  $t$  检验的结果表明, 年、纬度、SST 以及交互项年与纬度 ( $\text{year}_i \times \text{lat}_j$ ) 均为显著性变量, 对 CPUE 的影响极显著 ( $P < 0.01$ ); 经度、SSH、GSST、Chl-a、年和经

度 ( $\text{year}_i \times \text{lon}_j$ ) 月和纬度 ( $\text{month}_i \times \text{lat}_j$ ) 及月与经度 ( $\text{month}_i \times \text{lon}_k$ ) 的交互效应为不显著变量, 对 CPUE 的影响不显著 ( $P > 0.05$ )。因此, 选择 4 个显著性解释变量进入 GLM 模型 (包括 3 个解释变量和 1 个交互项变量) 对 CPUE 进行标准化。

表 1 西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业收获率 GLM 模型显著性变量的检验  
Tab. 1 Test of the significant variables in the generalized linear model (GLM) fitted to the *I. argentinus* catch rate data in the Chinese squid jigging fishery in the southwest Atlantic Ocean

偏差来源 source	估计值 estimates	标准误差 SD	$t$	$P$
无效 NULL	-2.161E+03	4.438E+02	-4.870	0.357 6
年 year	1.075E+00	2.211E-01	4.859	<0.001
月 month	6.373E-01	6.123E-01	1.041	0.537 1
经度 longitude	5.334E+00	9.406E+00	0.567	0.921 4
纬度 latitude	-3.828E+01	6.889E+00	5.556	<0.001
海表温度 SST	1.033E-01	1.581E-02	6.532	<0.001
表温水平梯度 GSST	3.138E-02	5.123E-02	0.613	0.540 2
海表面高度 SSH	8.764E-04	2.100E-03	0.417	0.371 3
叶绿素 a Chl-a	-7.633E-02	3.436E-02	-2.221	0.026 5
年 × 纬度 year × latitude	-1.905E-02	3.435E-03	-5.544	<0.001
月 × 纬度 month × latitude	-6.088E-03	9.606E-03	-0.634	0.526 3
年 × 经度 year × longitude	-2.635E-03	4.693E-03	-0.561	0.154 6
月 × 经度 month × longitude	-4.875E-03	1.228E-02	-0.397	0.691 5

### 2.3 GAM 模型分析

依次将各个解释变量和交互项按不同顺序逐一加入 GAM 模型,经过多次运算及 AIC 值比对,最终得到年、月、经度、纬度、SST、SSH 以及交互项年与纬度( $year_i \times lat_j$ )、年与经度( $year_i \times lon_k$ )均为显著性变量,对 CPUE 的影响极显著( $P < 0.01$ );GSST、Chl-a、月和纬度( $month_l \times lat_j$ )以及月与经度( $month_l \times lon_k$ )的交互效应为不显著变量,对 CPUE 的影响不显著( $P > 0.05$ )。因此最优的 GAM 模型为:

$$\begin{aligned} \text{Ln}(CPUE_{i,j,k,l} + 1) = & s(year_l) + s(month_k) + \\ & s(lon_j) + s(lat_i) + s(SST) + s(SSH) + \\ & s(year_l, lat_j) + s(year_l, lon_k) \end{aligned}$$

该模型作为对 CPUE 总偏差的解释为 49.20%。其中,变量年对 CPUE 的影响最大,解释了 35.7% 的总偏差;随后,依次是月(3.70%),经度(2.90%),年与经度的交互效应(2.80%),纬度(1.50%),年与纬度的交互效应(1.30%),SST(0.70%)和 SSH(0.60%)(表 2)。

表 2 西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业收获率 GAM 模型拟合结果的偏差分析及最适 GAM 模型

Tab.2 Summary of analysis of deviance for generalized additive model(GAM) and goodness-of-fit statistics for the GAMs fitted to the *I. argentinus* catch rate data for the Chinese squid jigging fishery in the southwest Atlantic Ocean

模型 models	自由度 df	F	P	R <sup>2</sup>	解释偏差/% explained deviation	AIC
无效 NULL						
+ 年 + year	9.981	84.85	<0.001	0.352 6	35.7	3 887.85
+ 月 + month	3.998	22.92	<0.001	0.388 2	39.4	3 804.89
+ 经度 + longitude	3.545	21.91	<0.001	0.417 2	42.3	3 732.94
+ 纬度 + latitude	8.827	4.271	<0.001	0.428 8	43.8	3 709.06
+ 海表温度 + SST	4.175	4.765	0.000 655	0.435 3	44.5	3 694.15
+ 海表面高度 + SSH	5.890	2.168	0.044 721	0.439 8	45.1	3 686.84
+ 年 × 经度 + year × longitude	27.000	2.698	<0.001	0.4578	47.9	3 664.94
+ 年 × 纬度 + year × latitude	16.711	2.142	0.004 64	0.472 4	49.2	3 618.93

### 2.4 时间效应对 CPUE 的影响

年对 CPUE 影响方面,2000—2003 年,CPUE 呈逐年下降的趋势,下降趋势相对缓和,到 2004 年 CPUE 陡然下降至最低点。2004 年以后,CPUE 呈现逐年增加的趋势,至 2008 年达到 11

年间的最高值,此后直至 2010 年,CPUE 急剧下降(图 2-a)。月对 CPUE 影响方面,1—3 月 CPUE 呈现缓慢增加的趋势,至 3 月份左右达到最大值,此后 CPUE 开始下降,至 4 月以后,CPUE 变化趋势相对平缓,但有上升的趋势(图 2-b)。

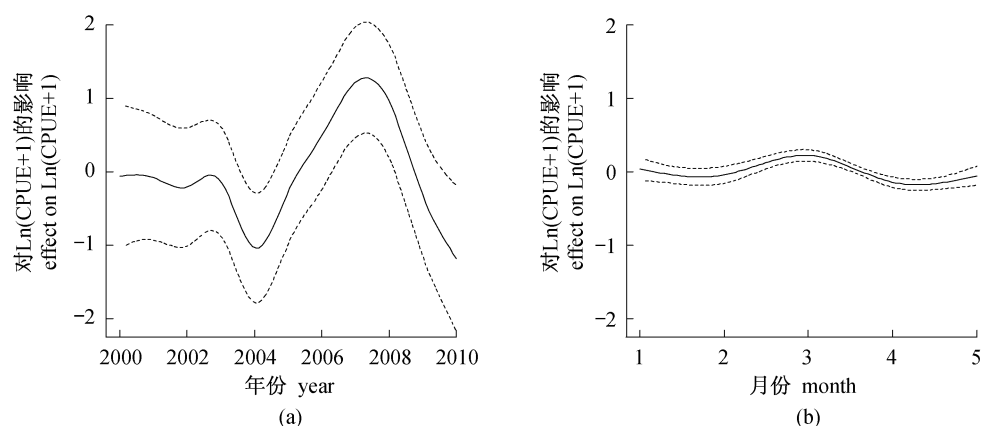


图 2 年(a)和月(b)效应对西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业 CPUE 的影响

Fig.2 Effects of year(a) and month(b) on *I. argentinus* CPUE derived from the GAM analysis in the southwest Atlantic Ocean

### 2.5 空间效应的影响

空间因素方面,在  $40^{\circ} \sim 45^{\circ}\text{S}$ , CPUE 呈现波动上升的趋势,并在  $45^{\circ}\text{S}$  附近出现峰值,此后随着纬度的增加,CPUE 则呈现缓慢下降的趋势,在  $46.5^{\circ}\text{S}$  出现最小值; $46.5^{\circ} \sim 48.5^{\circ}\text{S}$ , CPUE 开始缓慢上升; $48.5^{\circ} \sim 51^{\circ}\text{S}$ ,随着生产位置的南移,CPUE 开始缓慢下降; $51^{\circ} \sim 52.5^{\circ}\text{S}$ ,CPUE 基本保持不变;但  $52.5^{\circ}\text{S}$  以南海域,CPUE 则急剧下降(图 3-a)。经度对 CPUE 影响,随着经度的增加,CPUE 呈现逐步增加的趋势(图 3-b)。

### 2.6 环境因子的影响

环境因素方面,SST 在  $5 \sim 12^{\circ}\text{C}$ ,随着 SST

升高,CPUE 呈上升趋势; $12 \sim 16^{\circ}\text{C}$  随着 SST 升高,CPUE 也上升,但坡度相对变缓;SST 在  $16 \sim 18^{\circ}\text{C}$ ,CPUE 变化相对稳定;SST 在  $18 \sim 23^{\circ}\text{C}$ ,CPUE 则出现较大坡度的增加。总体而言,SST 在  $12 \sim 16^{\circ}\text{C}$ ,随着 SST 的增加,CPUE 呈现增加趋势(图 4-a)。

SSH 对 CPUE 的影响,当  $\text{SSH} < -50\text{ m}$  时,随着 SSH 增加,CPUE 呈现减小的趋势;当 SSH 在  $-50 \sim -20\text{ cm}$  时,随着 SSH 增加,CPUE 呈现缓慢增加的趋势;SSH 在  $-20 \sim 20\text{ cm}$  时,CPUE 相对稳定,基本没有变化(图 4-b)。

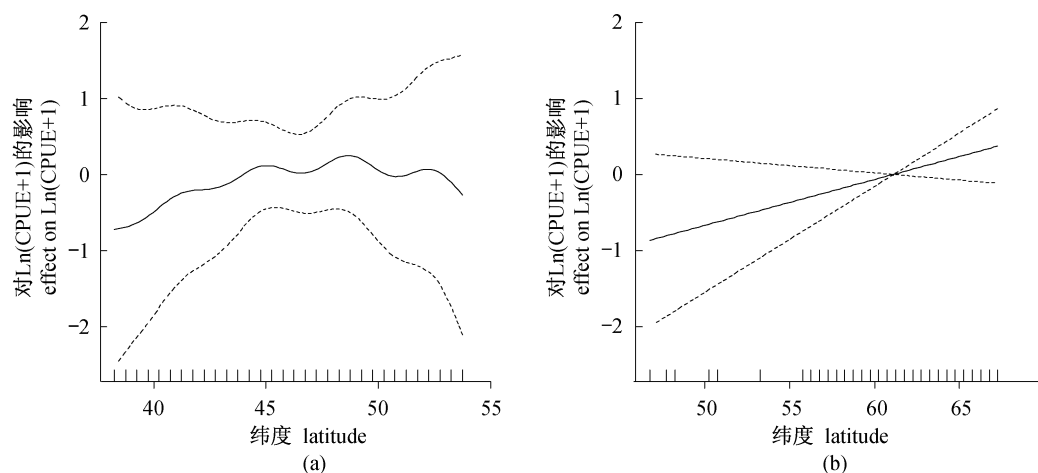


图 3 纬度 (a) 和经度 (b) 效应对西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业 CPUE 的影响

Fig. 3 Effects of latitude (a) and longitude (b) on *I. argentinus* CPUE derived from the GAM analysis in the southwest Atlantic Ocean

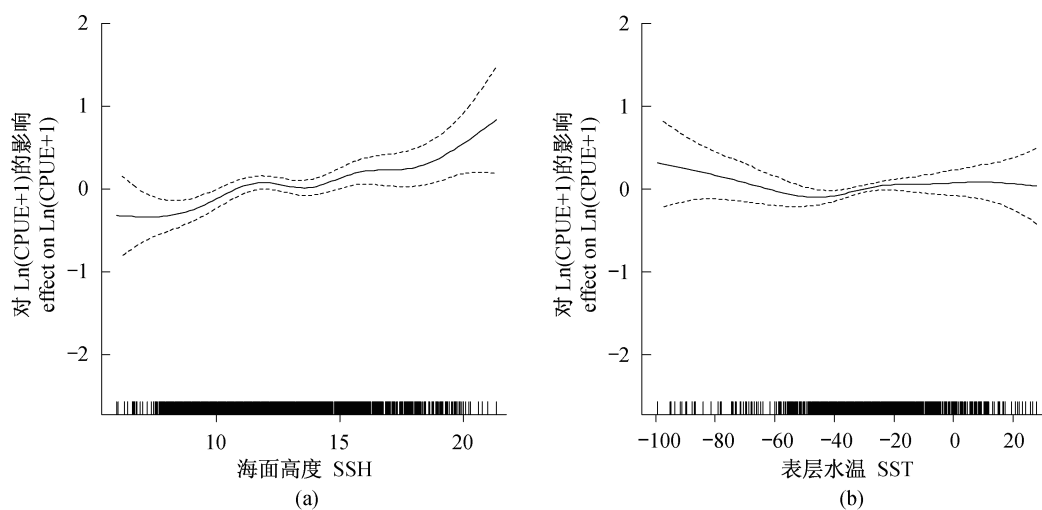


图 4 SST (a) 和 SSH (b) 效应对西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业 CPUE 的影响

Fig. 4 Effects of SST (a) and SSH (b) on *I. argentinus* CPUE derived from the GAM analysis in the southwest Atlantic Ocean

## 2.7 名义 CPUE 和标准化 CPUE 比较

**年均 CPUE 比较** 除了 2004 年和 2009 年以外,其他年份经 GLM 模型标准化后的 CPUE 明显低于或接近名义 CPUE,2000—2003 年标准化后的 CPUE 变化趋势和名义 CPUE 变化趋势相近,但波动较小(图 5-a)。2005—2008 年,标准化后的 CPUE 变化趋势和名义 CPUE 都增加,但两者变化趋势差别很大,标准化后的 CPUE 大幅小于名义 CPUE。2008—2009 年,标准化后的 CPUE 变化趋势与名义 CPUE 变化趋势相反。

2009 年以后,二者变化趋势相同,都呈减小趋势。

2000—2010 年,GAM 标准化的 CPUE 和名义 CPUE 变化趋势几乎相同。2000—2002 年间,CPUE 呈下降趋势;2002—2003 年则呈上升趋势;2004 年是达到最低值;2004—2008 年呈现急剧上升趋势,并于 2008 年达到最高水平,然后开始急剧下降。GAM 模型标准化后的 CPUE 都小于或接近名义 CPUE,并呈现波动较名义 CPUE 小的特点(图 5-b)。

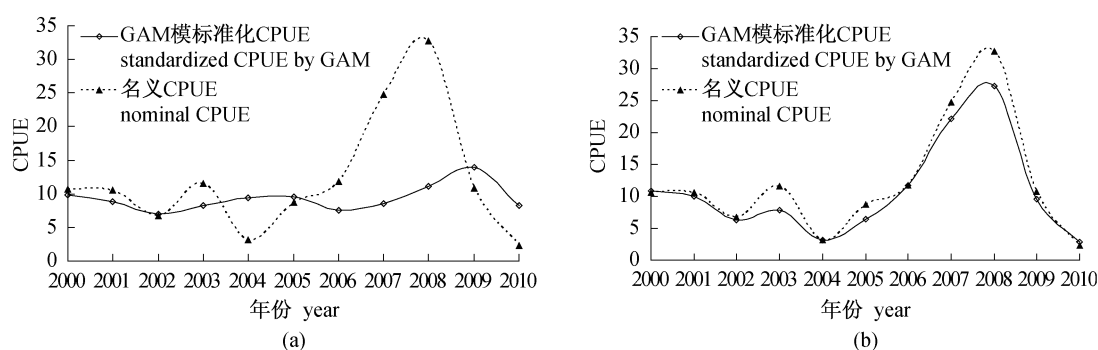


图 5 2000—2010 年西南大西洋阿根廷滑阿根廷滑柔鱼渔业年均名义 CPUE 与 GLM 模型 (a) 和 GAM 模型 (b) 标准化后 CPUE 的关系

Fig. 5 Relationship between annual nominal CPUE and standardized CPUE by GLM (a) and GAM (b) of the Chinese squid jigging fishery in the southwest Atlantic Ocean from 2000 to 2010

**月均 CPUE 比较** 除了 2004 年 1—5 月标准化后的月均 CPUE 比期间名义月均 CPUE 高以外,其余时间段内标准化的 CPUE 都低于或者接近对应的名义 CPUE,其中 2007—2009 年,标准化后的 CPUE 大幅小于对应的名义 CPUE

(图 6-a)。

2000—2010 年,标准化后的月均 CPUE 比名义月均 CPUE 都低,且二者变化趋势完全相同,只是标准化后的 CPUE 波动趋势相对平缓(图 6-b)。

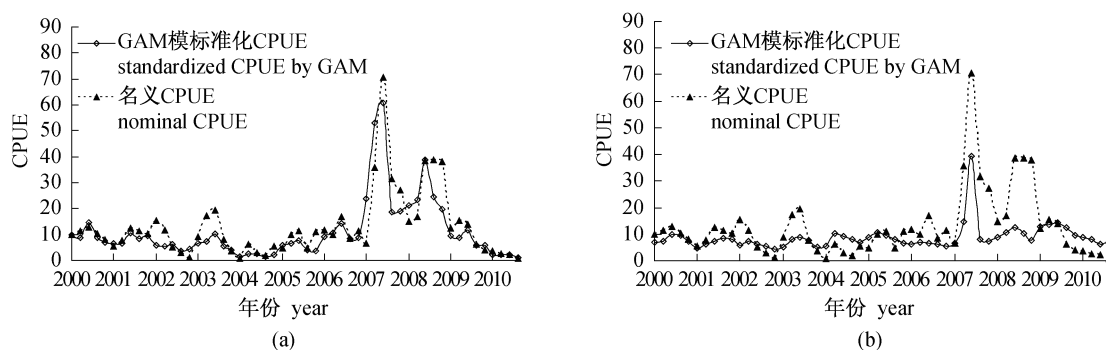


图 6 2000—2010 年西南大西洋阿根廷滑阿根廷滑柔鱼渔业月均名义 CPUE 与 GLM 模型 (a) 和 GAM 模型 (b) 标准化后 CPUE 的关系

Fig. 6 Relationship between monthly nominal CPUE and standardized CPUE by GLM (a) and GAM (b) of the Chinese squid jigging fishery in the southwest Atlantic Ocean from 2000 to 2010

### 3 讨论

#### 3.1 时间因素对 CPUE 影响

GLM 和 GAM 研究结果都表明,作业年份对 CPUE 影响最大, GAM 分析得到变量“年”对 CPUE 变化的解释率为 35.7%。2000—2010 年,出现两个比较明显的波动,2000—2004 年下降,并在 2004 年 4 月降至历史最低水平(每船年均 CPUE 为 3.086 t/d),2005—2008 年则逐步增加,2008 年达到历史最高水平(每船年均 CPUE 为 27.336 t/d)。2009—2010 年则又下降。整体而言,2000—2010 年,标准化后的 CPUE 基本呈现 4~5 年 1 个循环的特点与 Chen 等<sup>[22]</sup>对中国台湾 1995—2005 年西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业 CPUE 标准化研究结果相同(其中 2000—2005 年 CPUE 标准化结果完全相同),也与 Arkhipkin 等<sup>[23]</sup>对福克兰岛海域 1989—1999 年阿根廷滑柔

鱼渔业 CPUE 标准化结果相同。

月对 CPUE 影响明显(图 2-b)。1—3 月, CPUE 呈现基本缓慢增加的趋势,至 3 月份左右达到最大值,3 月以后, CPUE 开始下降,但 4—5 月间变化趋势相对缓和。从 GAM 模型标准化月平均 CPUE 结果来看,2000—2010 年 3 月份的月平均 CPUE 都是处于当年最高水平(图 7)。这种现象可能和中国大陆鱿钓船捕获的阿根廷滑柔鱼群体有关。中国大陆鱿钓船主要于 1—6 月在西南大西洋公海海域生产,其中 1—3 月主要捕捞秋生群(即巴塔哥尼亚种群,SPS,占 74.77%),但 3 月在捕获的群体中已经出现少许冬生群(即布宜诺斯艾利斯-巴塔哥尼亚北部种群,BNS,占 13.59%),此后随着时间推移,4—6 月则主要捕捞冬生群(即布宜诺斯艾利斯-巴塔哥尼亚北部种群,BNS,占 90.94%)<sup>[24]</sup>。不同群体的同时捕获可能是造成 3 月 CPUE 最高的主要原因。

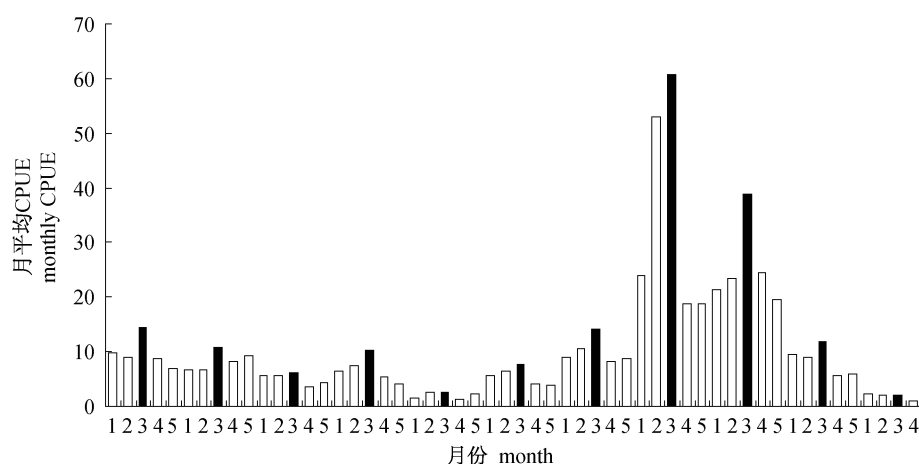


图 7 2000—2010 年 GAM 标准化月均 CPUE 分布

Fig.7 The distribution of monthly standardized CPUE by GAM from 2000 to 2010

#### 3.2 空间因素对 CPUE 影响

研究结果表明,在 40°~48°S 海域, GAM 标准化 CPUE 基本随着纬度增加呈现波动增加的趋势,并在 46.5°~48.5°S 海域达到峰值,这和王尧耕等<sup>[2]</sup>结论相同。不同纬度范围 CPUE 变化可能和捕捞群体的洄游特性有关。阿根廷滑柔鱼主要分为 4 个不同的群体,即南巴塔哥尼亚种群(SPS)、布宜诺斯艾利斯-巴塔哥尼亚群(BNS)、夏季产卵群(SPS)和南巴西群(SBS)(又称春季产卵群)<sup>[25]</sup>。中国大陆鱿钓船主要捕捞 SPS 和 BNS<sup>[24]</sup>。研究表明,SPS 群体通常在 28~38°S 之间孵化<sup>[26-28]</sup>,1—4 月以后,开始向南洄游至

48~52°S 海域,并在此海域停留至 4—6 月,达到性成熟后,重新回到大陆坡边缘开始向北洄游到产卵场<sup>[11]</sup>。而中国大陆鱿钓船则基本在 3 月以后逐步转移至南部海域生产,此时正好处于 SPS 群体聚集于该海域, CPUE 可能因此会提高。同样, BNS 则通常于每年 6—7 月聚集在巴西与福克兰海流汇合的 30~37°S 大陆架海域<sup>[27-28]</sup>, 仔稚鱼于夏季(1—3 月)和秋季(4—6 月)向南洄游到 46~47°S 海域进行觅食<sup>[29]</sup>,这种高集群、大密度的洄游会对 CPUE 产生正面影响。

标准化的 CPUE 随着经度的增加由西向东逐步增加,可能是阿根廷滑柔鱼本身的洄游行为在

空间上的间接反映。

### 3.3 海洋环境对 CPUE 影响

阿根廷滑柔鱼分布与海洋环境关系密切, SST 是其中一个重要的影响因子。通常认为不同海域、不同生长阶段, 阿根廷滑柔鱼生长的最适 SST 不完全相同。陈新军等<sup>[11]</sup>认为, 2000 年阿根廷滑柔鱼产量较高海域的 SST 范围为 7 ~ 14 °C; 陈新军等<sup>[12]</sup>通过研究得到, 2001 年高产区最适 SST 为 9 ~ 10 °C; 还有研究表明 2002 年巴塔哥尼亚海域高产海域 SST 为 12 ~ 15 °C<sup>[30]</sup>。陆化杰等<sup>[13]</sup>认为, 2006 年 1—3 月西南大西洋阿根廷滑柔鱼中心渔场 SST 范围为 11 ~ 13 °C, 4—6 月为 8 ~ 11 °C。本研究表明, 2000—2010 年间, 当 SST 在 12 ~ 16 °C, 随着 SST 的增加, CPUE 呈现增加趋势, 与上述研究结果相同。Chen 等<sup>[22]</sup>通过研究认为夏季(1—3 月)高 CPUE 的 SST 通常介于 10 ~ 15 °C, 冬季(7—9 月)则在 7 ~ 10 °C。由于中国大陆鱿钓船主要于夏、秋季在西南大西洋生产, 因此本研究结果与其夏季研究结果基本相同。

本研究认为, 高 CPUE 出现在 SSH 为 -20 ~ 20 cm 时, CPUE 值相对稳定。陆化杰等<sup>[13]</sup>认为, 2006 年阿根廷滑柔鱼中心渔场分布在海面高度距平值(SSHA = 0)海域。张炜等<sup>[31]</sup>认为, 阿根廷滑柔鱼产量较高海域所对应的 SSH 范围为 -20 ~ 0.4 cm。这也基本验证了本研究结果。

### 3.4 GLM 和 GAM 模型对比

GLM 模型认为, 年、纬度、SST 以及交互项年与纬度( $year_i \times lat_j$ )为显著性变量, 对 CPUE 的影响极为显著( $P < 0.01$ )。而 GAM 模型则认为年、月、经度、纬度、SST、SSH 以及交互项年与纬度( $year_i \times lat_j$ )、年与经度( $year_i \times lon_k$ )均为显著性变量, 均对 CPUE 的影响极显著( $P < 0.01$ )。由于 GAM 分析得到的影响变量较多, 且包含 GLM 模型的分析结果, 因此 GAM 似乎更适合西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业的 CPUE 标准化研究。

根据研究结果, 对于年均 CPUE, GLM 和 GAM 模型标准化后的 CPUE 年间波动都较名义 CPUE 波动小, 但 GLM 标准化后的 CPUE 变化趋势明显和名义 CPUE 变化趋势存在差异, 且 2004 年和 2009 年结果较名义 CPUE 大(图 5-a)。而 GAM 模型得到的 CPUE 变化趋势基本和名义 CPUE 变化趋势相同, 且数值都较名义 CPUE 小。对于月平均 CPUE, GLM 得到的结果 CPUE 和名

义 CPUE 变化趋势基本相似, 但 2002 年 3—5 月、2004 年 1—5 月、2009 年 4—5 月和 2010 年 1—4 月结果 CPUE 都比名义 CPUE 大。而 GAM 模型标准化后的月均 CPUE 变化趋势完全和名义 CPUE 变化趋势相近, 且除个别月份以后, GAM 模型标准化后的 CPUE 都较名义 CPUE 小。

从统计学来看, GLM 模型只能针对响应变量的期望值与解释变量呈线性关系的 CPUE 标准化中, 而影响鱿钓渔业的很多因素和 CPUE 之间都呈非线性关系<sup>[32]</sup>, 而 GAM 模型则可以处理这种非线性关系, 同时, GAM 模型中各个解释变量都是独立的, 互不影响, 用于西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业 CPUE 标准化更加准确。综上所述, GAM 模型较 GLM 模型更加适用于西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业 CPUE 标准化。

### 参考文献:

- [1] Castellanos Z A. Una nueva especie de calamar argentino *Ommastrephes argentinus* sp. nov. (Mollusca, Cephalopoda) [J]. Neotropica, 1960, 6 (20):55 - 58.
- [2] 王尧耕, 陈新军. 世界大洋性经济柔鱼资源及其渔业[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 190 - 194.
- [3] Hilborn R, Walters C J. Quantitative fisheries stock assessment choice, dynamics and uncertainty [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [4] Nishida T, Chen D G. Incorporating spatial autocorrelation into the general linear model with an application to the yellow fin tuna (*Thunnus albacares*) longline CPUE data [J]. Fisheries Research, 2004, 70(2 - 3):265 - 274.
- [5] Maunder M N, Starr P J. Fitting fisheries models to standardized CPUE abundance indices [J]. Fisheries Research, 2003, 63(1):43 - 50.
- [6] Maunder M N, Punt A E. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches [J]. Fisheries Research, 2004, 70(2 - 3):141 - 159.
- [7] Venables W N, Ripley B P. GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of the theory for applications in fisheries research [J]. Fisheries Research, 2004, 70(2):319 - 337.
- [8] Bigelow K A, Boggs C H, He X. Environmental effects on swordfish and blue shark catch rates in the US North Pacific longline fishery [J]. Fisheries Oceanography, 1999, 8(3):178 - 198.
- [9] Damalas D, Megalofonou P, Apostolopoulou M.



- Environmental, spatial, temporal and operational effects on swordfish (*Xiphias gladius*) catch rates of eastern Mediterranean Sea longline fisheries [ J ]. Fisheries Research, 2007, 84(2) : 233 - 246.
- [ 10 ] Chambers J M, Hastie T J. Statistical Models [ M ]. London: Chapman and Hall, 1997.
- [ 11 ] 陈新军, 刘必林, 王跃中. 2000 年西南大西洋阿根廷滑柔鱼产量分布及其与表温关系的初步研究 [ J ]. 湛江海洋大学学报, 2005(1) : 29 - 34.
- [ 12 ] 陈新军, 赵小虎. 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 ]. 大连水产学院学报, 2005(3) : 222 - 228.
- [ 13 ] 陆化杰, 陈新军. 2006 年西南大西洋鱿钓渔场与表温和海面高度距平值的关系 [ J ]. 大连水产学院学报, 2008(3) : 230 - 234.
- [ 14 ] Chen C S, Chiu T S. Standardising the CPUE for the *Illex argentinus* fishery in the Southwest Atlantic [ J ]. Fisheries Science, 2009, 75(5) : 265 - 272.
- [ 15 ] 田思泉, 陈新军. 不同名义 CPUE 计算法对 CPUE 标准化的影响 [ J ]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(2) : 240 - 245.
- [ 16 ] 李纲, 陈新军, 田思泉. 我国东、黄海鲈鱼灯光围网渔业 CPUE 标准化研究 [ J ]. 水产学报, 2009, 33(7) : 1050 - 1059.
- [ 17 ] 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.
- [ 18 ] Guisan A, Edwards T C, Hastie T. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene [ J ]. Ecological Modelling, 2002, 57: 89 - 100.
- [ 19 ] Howell E A, Kobayashi D R. El Niño effects in the Palmyra Atoll region: oceanographic changes and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) catch rate variability [ J ]. Fisheries Oceanography, 2006, 15 : 477 - 489.
- [ 20 ] Campbell R A. CPUE standardization and the construction of indices of stock abundance in a spatially varying fishery using general linear models [ J ]. Fisheries Research, 2004, 70: 209 - 227.
- [ 21 ] Imai C, Sakai H, Katsura K. Growth model for the endangered cyprinid fish *Tribolodon nakamurai* based on otolith analysis [ J ]. Fisheries Science, 2002, 68 : 843 - 848.
- [ 22 ] Chen C S, Chiu T S, Haung W B. The spatial and temporal distribution patterns of the argentine short-finned squid, *Illex argentinus*, abundances in the southwest atlantic and the effects of environmental influences [ J ]. Zoological Studies, 2007, 46(1) : 111 - 122.
- [ 23 ] Arkhipkin A I, Middleton D A J. Inverse patterns in abundance of *Illex argentinus* and *Loligo gahi* in Falkland waters: possible interspecific competition between squid? [ J ]. Fisheries Research, 2002, 59 : 181 - 196.
- [ 24 ] 陆化杰, 陈新军. 利用耳石研究西南大西洋阿根廷滑柔鱼年龄、生长及种群结构 [ J ]. 水产学报, 2012, 36(7) : 1049 - 1056.
- [ 25 ] 陆化杰, 陈新军, 刘必林. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业生物学研究进展 [ J ]. 广东海洋大学学报, 2010, 30(4) : 91 - 98.
- [ 26 ] Haimovici M, Vidal E A G, Perze J A A. Larvae of *Illex argentinus* from five surveys on continental shelf of southern Brazil [ J ]. Marine Science Symposia, 1995, 199: 414 - 424.
- [ 27 ] Haimovici M, Brunetti N E, Rodhouse P G. *Illex argentinus* [ R ]. Rome: FAO Fisheries Technical Paper No. 376. 1998: 27 - 58.
- [ 28 ] Carvalho G R, Nigmatullin C M. Stock structure analysis and species identification [ R ]. Rome: FAO Fisheries Technical Paper No. 376. 1998: 199 - 232.
- [ 29 ] Arkhipkin A I. Intrapopulation structure of winter-spawned Argentine shortfin squid, *Illex argentinus* (Cephalopoda, Ommastrephidae), during its feeding period over the Patagonian Shelf [ J ]. Fishery Bulletin, 2000, 98: 1 - 13.
- [ 30 ] 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(1) : 19 - 24.
- [ 31 ] 张炜, 张健. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔场与主要海洋环境因子关系探讨 [ J ]. 大连水产学院学报, 2008(4) : 471 - 475.
- [ 32 ] Tian S Q, Chen X J, Chen Y, et al. Standardizing CPUE of *Ommastrephes bartramii* for Chinese squid-jigging fishery in Northwest Pacific Ocean [ J ]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2009, 27(4) : 729 - 739.

## CPUE standardization of *Illex argentinus* for Chinese Mainland squid-jigging fishery in the southwest Atlantic Ocean

LU Huajie<sup>1</sup>, CHEN Xinjun<sup>1,2,3\*</sup>, CAO Jie<sup>1</sup>, LI Gang<sup>1,2,3</sup>, TIAN Siquan<sup>1,2,3</sup>, LIU Bilin<sup>1,2,3</sup>, FANG Zhou<sup>1</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:** *Illex argentinus* is one of the most important squid-jigging fishery of Chinese Mainland in Southwest Atlantic Ocean. It is necessary to standardize the catch per unit effort (CPUE) in the stock assessment. Generalized linear models (GLM) and generalized additive models (GAM) were used to standardize catch per unit effort (CPUE) of *Illex argentinus* for Chinese squid-jigging fishery in the southwest Atlantic Ocean based on the production data from 2000 to 2010 collected by Chinese Squid-jigging Technology Working Group and the environmental variables including sea surface temperature (SST), sea surface height (SSH) and chlorophyll-a (*Chl-a*). The GLM analysis indicated that the importance of four variables ranked by decreasing magnitude: Year, Latitude, Year  $\times$  Latitude and SST. However, the GAM showed that the model including Year, Month, Longitude, Latitude, SST, SSH, Year  $\times$  Latitude and Year  $\times$  Longitude was the optimal model based on AIC and could explain 49.20% of the variance in nominal CPUE. GAM analysis indicated that high CPUEs were found in the area between 46.5° and 48.5°S at SST ranging from 12 °C to 16 °C and SSH ranging from -20 to 20 cm in summer. In this study, GAM tended to be more suitable than GLM in analysis of CPUE.

**Key words:** *Illex argentinus*; CPUE; generalized linear model (GLM); generalized additive model (GAM); Chinese Mainland

**Corresponding author:** CHEN Xinjun. E-mail: xjchen@shou.edu.cn