

# 南海鸞乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)

## 资源评估的新方法\*

冯 波 颜云榕 张宇美 易木荣 卢伙胜

(广东海洋大学水产学院 湛江 524025)

**摘要** 为了解南海鸞乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)资源量与分布状况,本研究利用建立在灯光罩网船上的北斗星通渔业信息采集网络,搜集南海鸞乌贼生产数据,并根据灯光罩网作业特点,创建了光诱资源量评估模型,使用克里金插值法,绘制出南海鸞乌贼的分布密度图,估计其总资源量和年可捕量。研究表明,鸞乌贼在南海有着广泛的分布,以 110.5°–111.5°E、11°–12°N 之间的海域和 115.5°–116.5°E、9.5°–11.5°N 之间的海域资源密度最高,在 4 t/km<sup>2</sup> 以上;以 112°–112.5°E、14.5°–15°N 之间的海域和 113°–115°E、15°–16.5°N 之间的海域单位努力量渔获量(CPUE)最高,达 1 kg/(kW·d·km<sup>2</sup>) 以上。根据克里金插值法估算,在南海 108°–118°E、9°–20°N 之间的 359 个渔区,鸞乌贼资源量为 204.94 万 t,总可捕量为 99.40 万 t。评估认为,南海鸞乌贼资源开发潜力大,是未来南沙渔业开发的主要种类。

**关键词** 鸞乌贼;资源;灯光罩网;光诱模型;南海

中图分类号 S931 文献标识码 A 文章编号 1000-7075(2014)04-0001-06

鸞乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)隶属柔鱼科(Ommastrephidae),广泛分布在印度洋、太平洋的赤道和亚热带海域,其中,在南海和印度洋西北部的数量较大。目前,对该资源的评估多为声学评估:1998–1999年,东南亚渔业发展中心的调查认为,菲律宾西部海域鸞乌贼资源量为 28.3 万 t(张鹏等,2010);2000年,中国大陆的声学调查认为,南海中部鸞乌贼资源量为 36.7 万 t,南海南部为 16 万 t(贾晓平等,2004);张引(2005)<sup>1)</sup>根据台湾地区 1998 年的声学调查数据推测,南海外海鸞乌贼资源量为 150 万 t。声学评估需要对回波信号进行识别,筛选出有效的目标信号,判断结果易出现误差(陈刚等,2003),因无其他评估方法作对照,评估结果仍有较大的不确定性。2011年,随着基于北斗星通南沙渔业生产信息采集

网络的建立,取得了大范围南海鸞乌贼的生产实时监测数据,对南海鸞乌贼的资源分布有了更深入细致的了解。本研究利用近几年所积累的南海灯光罩网船生产监测数据,提出了光诱模型评估资源量的新方法,绘制了南海鸞乌贼的密度分布图,推算了其总资源量和可捕量,为南海深海渔业的发展提供了参考依据。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 数据来源

为了解南沙灯光罩网船的生产情况,2011年,广东海洋大学南海渔业资源监测与评估中心,着手建立了基于北斗星通的南海渔业生产信息采集网络,在 28 艘灯光罩网船上安装了北斗渔业信息采集器。生

\*国家自然科学基金(41376158)、国家科技支撑项目(2012BAD18B01)、广东省海洋渔业科技推广专项(A201108H01)、教育部特色专业建设重点项目(527001006)和广东海洋大学大学生创新实验项目(1056613038)共同资助。冯波, E-mail: fengb@gdou.edu.cn

通讯作者:卢伙胜,教授, E-mail: luhsh@gdou.edu.cn

收稿日期:2013-09-30, 收修改稿日期:2014-02-19

1) 张引. 南海产南鱿资源之渔业声学研究. 2005, 台湾大学海洋研究所学位论文, 1–87

产渔船利用北斗导航卫星的短信功能,每天向岸上的数据服务器发送渔业生产信息,实现了从以往单艘科研船的短期站点调查到数艘生产渔船长期大范围监测的突破。本研究利用 2011 至 2013 年 2-7 月,3 年间所收到的 1420 条渔业监测信息,每条信息都包含了船名、作业地点、作业日期、各鱼种产量、主机功率等数据。

### 1.2 资源量的估算方法

对南海鳶乌贼资源量的评估,需要经过作业过程分析、数据处理、克里金插值法应用和总资源量估算等流程,如图 1 所示。首先,在作业过程分析中,需要说明灯光罩网作业的流程,然后建立光诱评估模型,估算出作业海域的资源密度;根据光诱影响的面积,将监测数据整理成按渔区汇总的鳶乌贼资源平均密度( $t/km^2$ )和 CPUE[ $kg/(kW \cdot d \cdot km^2)$ ]两张表格;使用克里金插值法(Kriging)测算(杜世通, 2004)出研究海

域内的鳶乌贼资源密度与 CPUE 的状况;最后根据以上测算的密度分布,估算出南海  $108^{\circ}-118^{\circ}E$ 、 $9^{\circ}-20^{\circ}N$  之间海域鳶乌贼的总资源量和可捕量。

### 1.3 灯光罩网作业过程

光诱评估模型的建立是资源量评估的关键。建立模型,需要了解整个灯光罩网作业的过程。灯光罩网船驶入渔场后,会根据海流和风浪的强弱,抛下降落伞状的水锚,使渔船对水移动停止,渔船随海流漂移。然后,展开船舷两侧的 4 个支撑臂,待天黑后,19:00 左右,打开渔船上方的全部集鱼灯,约 2-3 h 后,将网衣四角通过绳索引导至 4 个支撑臂顶端,使网衣撑开呈矩形。接下来,逐步熄灯,并点亮船舷两侧中部的 4 盏集鱼灯,诱使鱼群向渔船集中,随后关闭船舶上方全部灯光,鱼群即上浮,这时乘势拉开网衣四角的活扣,网衣随沉子迅速下沉,约 5 min 到达下沉深度(约 40 m)后,开始收括纲,绞进网衣和网囊,在甲

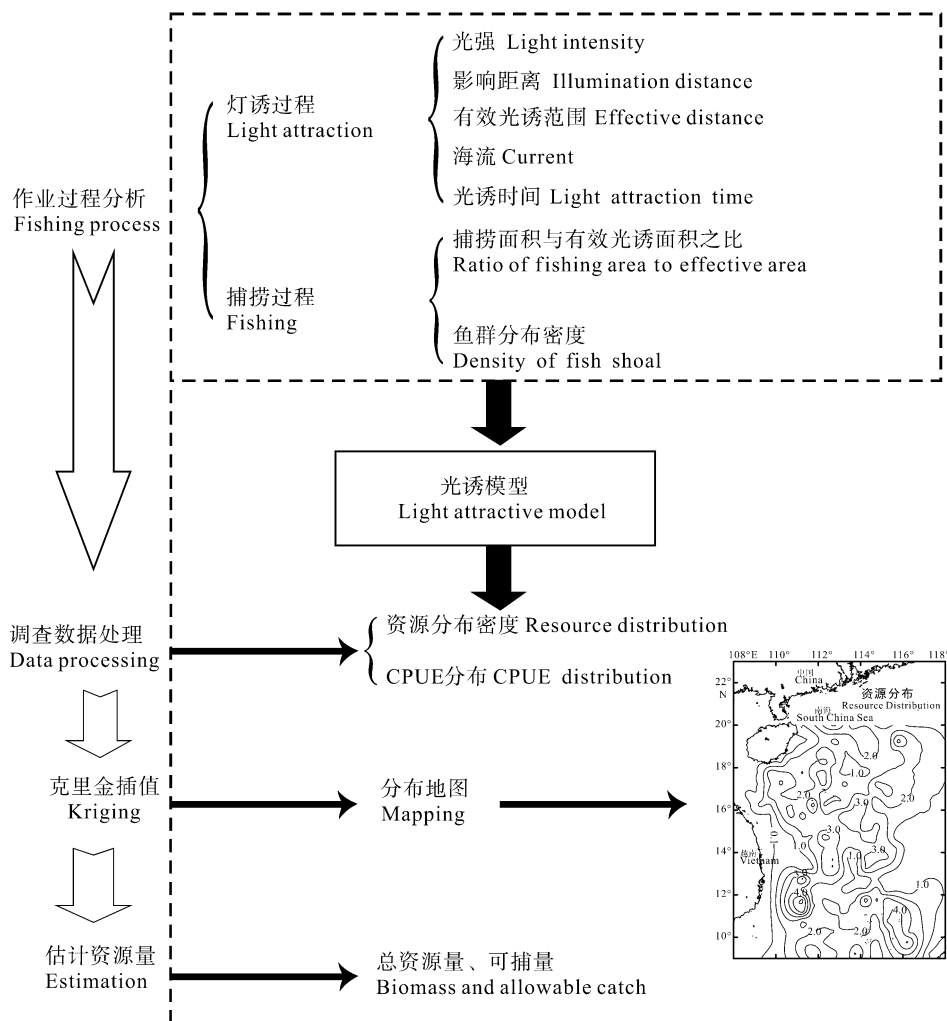


图 1 评估流程

Fig.1 Estimation process

板上卸下渔获物, 分拣入舱。再重新整理展开网衣, 准备下一网次的捕捞。整个放网、起网过程的动作非常快, 在 30 min 内完成。罩网作业一直持续到 05:00 停止。整个晚上可操作 10-12 网, 相比灯光围网的每晚两网, 作业效率极高。

1.4 光诱评估模型

在光诱过程中, 鳶乌贼受光线吸引从深水及远处向光源游动、靠拢并集中。2010 年 6 月, 在海上观察发现, 水下光场分为有效光诱区和受光影响区(图 2), 鳶乌贼从远处的受光影响区游入有效光诱区, 然后逗留在有效光诱区, 绕船游动并随船移动, 从外围进入有效光诱区的鳶乌贼源源不断, 最后形成大的群体。

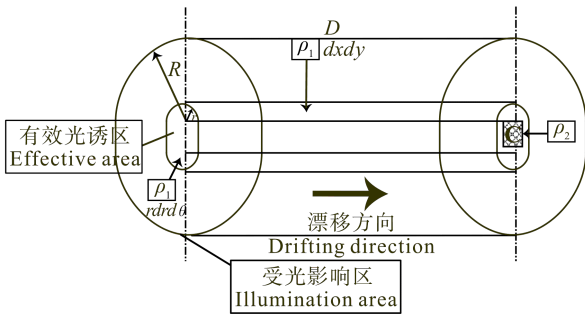


图 2 光诱捕捞过程

Fig.2 Process of light attraction fishing

假设鳶乌贼在未受光吸引时, 在海水里均匀分布,

资源密度为  $\rho_1(t/km^2)$ 。从开灯到撑开网衣的第一阶段, 有效光诱区域内的鳶乌贼质量为:

$$M_1 = \rho_1[\pi r^2 + 2rD + d_1(D + 2r)] \quad (1)$$

(1)式中,  $d_1$  为船侧灯排长度,  $r$  为有效光诱区半径,  $D$  为漂移距离。

从受光影响区游入有效光诱区的鳶乌贼质量, 采用二重积分来计算, 其中两个半圆环合并计算为:

$$M_2 = \iint \rho_1 f(r) r dr d\theta = \rho_1 \int_0^{2\pi} \left[ \int_r^R f(r) r dr \right] d\theta \quad (2)$$

(2)式中,  $R$  为受光影响区半径。鳶乌贼从受光影响区游入有效光诱区, 符合与距离相关的概率函数  $f(r)$ 。概率函数  $f(r)$  是与距离相关的指数衰减函数, 在  $r$  处的概率为 1, 而在  $R$  处的概率为  $10^{-6}$ 。

渔船漂移时, 由船两侧和上下方受光影响区之矩形区域, 游入有效光诱区的鳶乌贼的质量计算为:

$$M_3 = 2 \iint \rho_1 f(y) dx dy + 2 \iint \rho_1 f(x) dx dy = 2\rho_1 \int_0^D \left[ \int_r^R f(y) dy \right] dx + 2\rho_1 \int_0^{d_1} \left[ \int_r^R f(x) dx \right] dy \quad (3)$$

(3)式中,  $f(x)$ 、 $f(y)$  是与  $f(r)$  相同的概率函数。

从熄灯到捕捞的第一阶段, 假设进入有效光诱区的鳶乌贼均匀混合, 熄灭时未出现扩散, 其分布密度为:

$$\rho_2 = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{\pi r^2 + 2d_1 r} \quad (4)$$

将(1)-(3)代入(4)得:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\pi r^2 + 2rD + d_1(D + 2r) + \int_0^{2\pi} \left[ \int_r^R f(r) r dr \right] d\theta + 2 \int_0^D \left[ \int_r^R f(y) dy \right] dx + 2 \int_0^{d_1} \left[ \int_r^R f(x) dx \right] dy}{\pi r^2 + 2d_1 r} \quad (5)$$

$$\text{捕捞产量 } C = a\rho_2 \quad (6)$$

(6)式中的  $a$  为罩网面积, 该海区的资源密度估算成:

$$\rho_1 = \frac{\pi r^2 + 2d_1 r}{\pi r^2 + 2rD + d_1(D + 2r) + \int_0^{2\pi} \left[ \int_r^R f(r) r dr \right] d\theta + 2 \int_0^D \left[ \int_r^R f(y) dy \right] dx + 2 \int_0^{d_1} \left[ \int_r^R f(x) dx \right] dy} \cdot \frac{C}{a} \quad (7)$$

根据(7)式, 计算按渔区汇总的鳶乌贼密度分布表格, 然后用 Surfer9.0 软件之克里金插值功能计算出各渔区内的  $\rho_1$ 。

总资源量  $B$  的估算为:

$$B = \sum \rho_1 A_i \quad (8)$$

(8)式中  $A_i$  为渔区面积

最大可持续产量  $MSY$ 、年可捕量  $Y_{0.1}$  计算按王迎宾等(2010)的公式:

$$MSY = 0.5B, Y_{0.1} = 0.97MSY \quad (9)$$

CPUE 分布密度  $\gamma$ , 按下式(10)计算:

$$\gamma = \frac{CPUE}{\pi R^2 + 2RD' + d_1(D' + 2R)} \quad (10)$$

(10)式中 CPUE 的单位为  $kg/(kW \cdot d)$ ;  $D'$  表示一个晚上渔船漂移的距离, 按 5 海里计算。

因作业海区的不同, 作业船只的大小有很大差别。在  $14^\circ N$  以北的中、西沙群岛海域作业的灯光罩网船多为中小型船只, 以粤阳西 96230 为参照; 在  $14^\circ N$  以南的南沙群岛海域作业的灯光罩网船多为大型船只, 以粤电白 46333 为参照。头足类能感受  $0.011 x$  的

弱光(钱卫国等, 2006), 这里定义有效光诱区的水下照度  $10I_x$ , 受光影响区的水下照度边界为  $0.01I_x$ , 光场计算按钱卫国等(2006)提出的公式。以第一网的产量作为计算依据, 通常第一网的光诱时间为 3 h, 南海 3-5 月外海表面平均流速约为 0.5 kn。表 1 为模型计算参数。

## 2 结果

克里金插值统计发现, 南海鳶乌贼在  $108^{\circ}$ - $118^{\circ}$ E、 $9^{\circ}$ - $20^{\circ}$ N 之间海域内的 359 个渔区都有分布, 总资源量约为 204.94 万 t。资源密度分布如图 3 所示, 鳶乌贼在西沙中部和南部、中沙北部和中部、南沙西北部

表 1 模型参数  
Tab.1 Model parameters

模型参数 Model parameters	渔船 Fishing vessel	
	粤阳西 96230 Yueyangxi 96230	粤电白 46333 Yuedianbai 46333
主机功率 Machine power(kW)	261	750
灯光功率 Light power(kW)	160	460
灯排长 Length of light row (m)	22.7	32
灯高 Height of light (m)	6.3	11
网具主尺度 Net size (m)	210×59.2	300×65.4
光诱影响半径 $R$ Illumination radius(m)	442.1	917.2
光诱有效半径 $r$ Effective radius(m)	74.2	155.1
3 h 漂移距离 $D$ Distance of 3-hour drifting(m)		2778
10 h 漂移距离 $D'$ Distance of 10-hour drifting(m)		9560

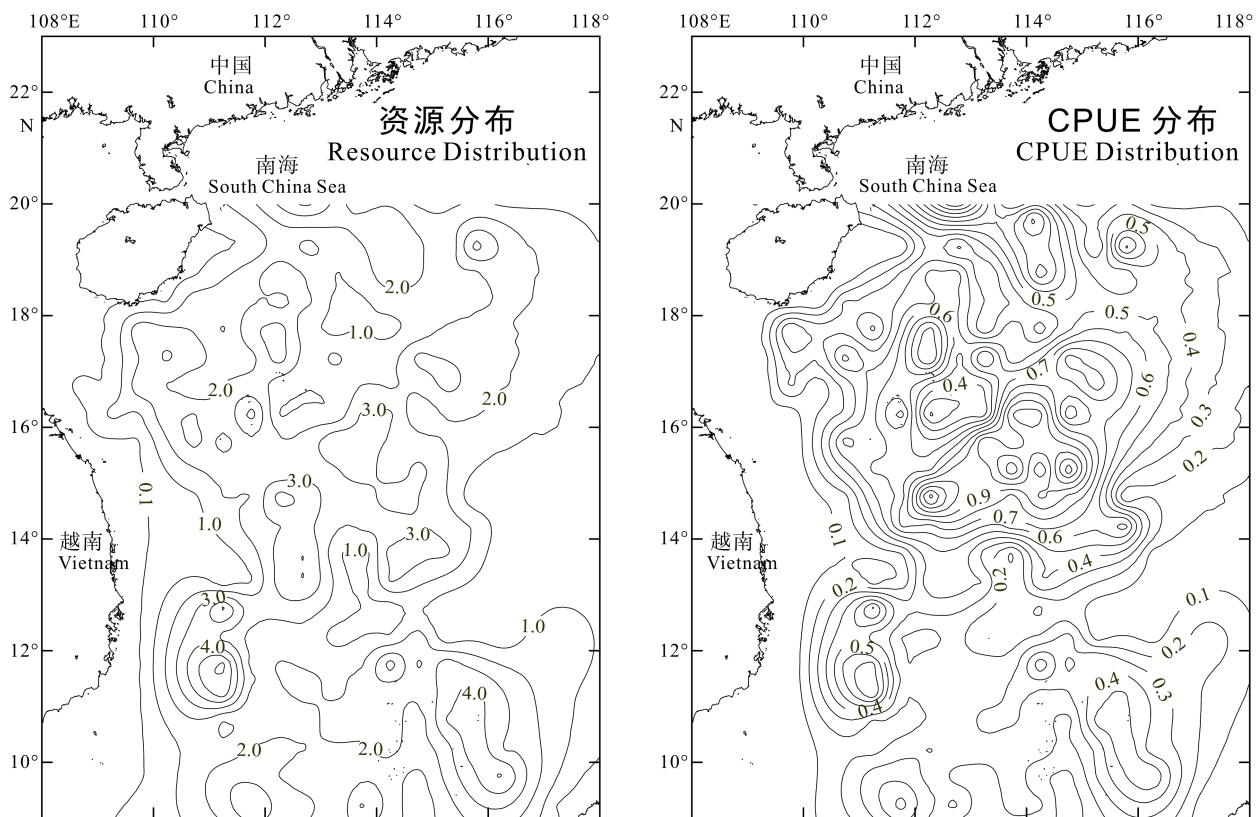


图 3 南海鳶乌贼资源密度( $t \cdot km^{-2}$ )与 CPUE [ $kg \cdot (kW \cdot d \cdot km^2)^{-1}$ ]分布  
Fig.3 Distribution of resource and CPUE of *Sthenoteuthis oualaniensis* in South China Sea

和中部等海域都有广泛分布,其中 110.5°–111.5°E、11°–12°N 之间的海域和 115.5°–116.5°E、9.5°–11.5°N 之间的海域的密度最高,达到 4 t/km<sup>2</sup> 以上; CPUE 分布基本与资源密度分布相似,其中, 112°–112.5°E、14.5°–15°N 之间的海域和 113°–115°E、15°–16.5°N 之间的海域的 CPUE 较高,平均在 1 kg/(kW·d·km<sup>2</sup>) 以上。

### 3 讨论

在本研究中,按密度分布推算得出的总资源量为 204.94 万 t, 年可捕量为 99.40 万 t, 比张引<sup>1)</sup>估算的鳶乌贼资源量 150 万 t 大。由于克里金插值估算的南海东、西两侧的数值偏低,所以按密度分布计算的结果仍显得保守。若以 CPUE 分布来推算,在 105 个具有经济开发价值渔区的年可捕量则为 39.20 万 t, 较按密度推算的年可捕量低些。按本研究的密度分布估计, 9°–12°N 间的南沙海域的鳶乌贼资源量为 63.07 万 t。2012 年,我国在南海的鳶乌贼产量约为 3.5 万 t, 其中来自南沙灯光罩网船的产量约为 6100 t<sup>2)</sup>。可见,南沙海域的鳶乌贼资源开发潜力很大,是我国未来南沙渔业开发的主要种类。

在本研究中,分别以粤阳西 96230 和粤电白 46333 的参数代替其他所有船的参数。实际上,各个灯光罩网船的灯光布置是不一样的,光场分布可能存在较大的差别。故本研究的算法,可能会使评估结果出现较大的误差。更精确的算法应该是,根据各个船的光场分布进行分析和计算。地理分布若能采用考虑鳶乌贼栖息环境条件的协克里金(CoKring)插值技术(石朋等, 2005),可以提高分布估计的精度。此外,目前靠近越南、菲律宾这两侧海域的调查数据还是空白,将来若能补充到这两个海域的调查数据,可使对南海鳶乌贼资源的分布与资源量的评估结果更加准确。

通过对南海渔船生产的经济学分析发现, 300 kW 以上的灯光罩网渔船每千瓦产值低于 250 kW 左右的渔船的产值<sup>2)</sup>。近年来,在南沙作业的灯光罩网渔船主机功率和灯光功率分别在 300 kW 和 400 kW 以上,作业时,在海上形成了强大的光场,但它们的集鱼效率,并未随着功率的增长而增长。例如,在本研究中,粤阳西 96230 和粤电白 46333 的  $\rho_2 / \rho_1$  分别为 31.977 和 17.111, 粤电白 46333 的船较大,但集鱼效果却不如粤阳西 96230。灯光功率大一些,集鱼灯安置得高一些,会扩大有效光诱面积,但臂杆却又不能为了扩大罩网面积无限延伸,这样就造成能源的浪费。今后,通过对本模型的扩展研究,还可对灯光罩网船的灯光配置、合适作业间距、生产成本效益等进行分析,为合理地安排好灯光罩网生产提供更合理的建议。

特别致谢 上海海洋大学钱卫国副教授在光场计算方面提供的帮助。

### 参 考 文 献

- 王迎宾, 虞聪达, 俞存根, 等. 浙江南部外海底层渔业资源资源量与可捕量的评估. 集美大学学报, 2010, 14(2): 8–12
- 石朋, 芮孝芳. 降雨空间插值方法的比较与改进. 河海大学学报, 2005, 33(4): 361–365
- 张鹏, 杨咨, 张旭丰, 等. 南海金枪鱼和鳶乌贼资源开发现状. 南方水产, 2010, 6(1): 68–74
- 杜世通. 地质统计学方法概要. 油气地球物理, 2004, 2(4): 31–38
- 陈刚, 陈卫忠. 渔业资源评估中声学方法的应用. 上海海洋大学学报, 2003, 12(1): 40–44
- 贾晓平, 李永振, 李纯厚. 南海专属经济区和大陆架渔业生态环境与渔业资源. 2004, 北京: 科学出版社, 389–394
- 钱卫国, 孙满昌. 大型专业鱿钓渔船合适作业间距的研究. 大连水产学院学报, 2006, 21(4): 311–315

(编辑 刘丛力)

1) 张引. 南海产南鱿资源之渔业声学研究. 2005, 台湾大学海洋研究所学位论文, 1–87

2) 卢伙胜. 2012 年南海渔业生产统计年报. 2013, 广东海洋大学技术报告, 1–21

## A New Method to Assess the Population of *Sthenoteuthis oualaniensis* in South China Sea

FENG Bo, YAN Yunrong, ZHANG Yumei, YI Murong, LU Huosheng

(Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025)

**Abstract** In this study we evaluated the biomass and distribution of *Sthenoteuthis oualaniensis* in South China Sea based on the data collected by Bdstar Navigation fishery information collection network that was mounted on the light falling net vessels. Considering the operation process of the light falling vessel, we built a light fishing stock assessment model and introduced a probability function to calculate the sweeping area and the biomass of *S. oualaniensis*. We then used kriging method to predict the density of *S. oualaniensis* and the CPUE. We subsequently generated a map of the distribution of *S. oualaniensis* and estimated the total biomass and the allowable catch. Our analysis showed that *S. oualaniensis* were widely distributed in South China Sea with high density ( $4 \text{ t/km}^2$ ) in the area of  $110.5^\circ\text{--}111.5^\circ\text{E}$ ,  $11^\circ\text{--}12^\circ\text{N}$  and  $115.5^\circ\text{--}116.5^\circ\text{E}$ ,  $9.5^\circ\text{--}11.5^\circ\text{N}$ ; in the area of  $112^\circ\text{--}112.5^\circ\text{E}$ ,  $14.5^\circ\text{--}15^\circ\text{N}$  and  $113^\circ\text{--}115^\circ\text{E}$ ,  $15^\circ\text{--}16.5^\circ\text{N}$ , the value of CPUE was as high as  $1 \text{ kg}/(\text{kW}\cdot\text{d}\cdot\text{km}^2)$ . The results of Kriging interpolation suggested that in the area of  $108^\circ\text{--}118^\circ\text{E}$ ,  $9^\circ\text{--}20^\circ\text{N}$  there was a biomass of 2.05 million tons and an allowable catch of 994,000 tons in 359 fishing areas. The annual allowable catch could be 392,000 tons in 105 fishing areas inferred from CPUE. We assessed that there were 630,700 tons of *S. oualaniensis* in the area of Nansha Islands and it could be one of the future target species in the deep-sea fisheries. Here we only provided a crude estimate because all the parameters in our model were obtained by the sample vessels. To make an accurate estimate, further investigation will be needed on fishing vessels and fishing ground. It was found that the enhanced machine and light power did not necessarily increase the fishing efficiency. Although a higher light power could enlarge the illuminated area, davits could not support a larger falling net. Moreover, our model could also be used to assess the light arrangement, practice distance, and cost effectiveness in light fisheries.

**Key words** *Sthenoteuthis oualaniensis*; Biomass; Light falling net; Light attractive model; South China Sea