doi: 10.3969/j.issn.1673-2227.2009.06.011

中、西沙海域 2种灯光作业渔船的捕捞特性及其技术效率分析

颜云榕[1,2], 冯 波[1,3], 卢伙胜[1]
(1. 广东海洋大学, 广东海洋大学南海渔业资源监测与评估中心, 广东 湛江 524088;
2. 中国科学研究院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 3. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

摘要: 根据 2008年渔港抽样调查数据, 应用随机生产边界法和方差分析对中、西沙海域作业的灯光围网船和灯光罩网船的捕捞能力进行了研究。结果表明, 灯光围网渔获物以颌圆鲹 (*Decapterus lajang*)、蓝圆鲹 (*Decapterus maruadsi*)、扁舵鲣 (*Auxis thazard*)、羽鳃鲐 (*Rastrelliger kanagurta*)、鲔 (*Euthynnus alleteratus*) 和大目金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 为主, 灯光罩网主要渔获种类为柔鱼 (*Ommastrephes* spp.)、蓝圆鲹和颌圆鲹。灯光围网船每网次产量 1.00~12.52 t, 平均 4.72 t; 单位功率网次产量 3.38~37.84 kg·kW^{-1}, 平均 16.96 kg·kW^{-1}。灯光罩网船单船网次产量 49.40~451.49 kg, 平均 179.87 kg; 单位功率网次产量 0.22~2.05 kg·kW^{-1}, 平均 0.77 kg·kW^{-1}。灯光围网船技术效率 34.7%~91.7%, 平均 69.4%。灯光罩网船技术效率 50.4%~92.1%, 平均 78.2%。方差分析表明, 影响灯光围网产量的主要因素是投网次数和作业渔区数; 影响灯光罩网产量的主要因素是投网次数和网衣长度。

关键词: 灯光罩网; 灯光围网; 随机生产边界法; 捕捞能力; 中、西沙海域
中图分类号: S 973.4 文献标志码: A 文章编号: 1673-2227-(2009)06-0059-06

Comparative analysis on fishing capability of two light attracting commercial fishing methods around Zhongsha and Xisha Islands sea areas, South China Sea

YAN Yunrong[1,2], FENG Bo[1,3], LU Huosheng[1]
(1. *Guangdong Ocean University; South China Sea Fisheries Resources Monitoring and Assessment Laboratory of Guangdong Ocean University, Zhanjiang* 524088, *China*; 2. *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao* 266071, *China*; 3. *College of Ocean Science, Shanghai Ocean University, Shanghai* 201306, *China*)

Abstract Based on the data sampled from some landing ports of Guangdong and Guangxi provinces in China in 2008, the stochastic production frontiers (SPF) and variance analysis were used to analyze the fishing capacity of the light attracting purse seining (LPS) and falling net (LFN) fishery around Zhongsha and Xisha Islands sea areas. The results showed that the main catch species of LPS were horse-mackerel (*Decapterus lajang*), Japanese scad (*D. maruadsi*), frigate tuna (*Auxis thazard*), Indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta*), Atlantic black skipjack (*Euthynnus alleteratus*) and juvenile bigeye tuna (*Thunnus obesus*). While for the LFN catch, squid, Japanese scad and horse-mackerel (*D. lajang*) accounted for most of the main catch species. Catch per net of LPS ranged from 1.00 to 12.52 t·net^{-1}, with an average catch of 4.72 t·net^{-1}. An LPS catch per power ranged from 3.38 to 37.84 kg·(net·kW)$^{-1}$, with an average catch of 16.96 kg·(net·kW)$^{-1}$. However, the catch per net of LFN was from 49.40 to 451.49 kg·net^{-1}, with an average catch of 179.87 kg·net^{-1}. An LFN catch per power was from 0.22 to 2.05 kg·(net·kW)$^{-1}$, with an average catch of 0.77 kg

收稿日期: 2009-06-29; 修回日期: 2009-09-20
资助项目: 农业部渔业局 2008年渔业资源调查专项 "中西沙渔业资源监测"
作者简介: 颜云榕 (1975-), 男, 讲师, 博士研究生, 从事渔业资源与生态学研究。E-mail: yanyr@gdou.edu.cn
通讯作者: 冯 波, E-mail: fengb@gdou.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

• (net kW)$^{-1}$. The technical efficiencies (Te) of LPS and LFN were 34.7% ~ 91.7% (average at 69.4%) and 50.4% ~ 92.1% (average at 78.2%), respectively. The variance analysis indicated that the main factors affecting the fishing Te of LPS were the number of nettings and the fishing zones. While for LFN, the factors were the shooting frequency and the net length.

Key words: light attracting purse seining fishery; light attracting falling net fishery; stochastic production frontiers; fishing capacity; Zhongsha and Xisha Islands sea areas

中越北部湾划界后，渔场面积缩小，导致近海捕捞压力加大，部分渔船转向中、西沙渔场作业寻求出路。中、西沙群岛海域位于中国南海中北部，渔业资源丰富，是中国的传统优良渔场①。在该海域作业的渔船主要来自南海 3省、区，作业方式以灯光围网和灯光罩网为主，另外有少量钓具、潜捕和刺网作业。受海况和南海北部休渔的影响，每年的作业时间集中在 2~ 5月。中国长期以来一直关注中、西沙渔场的渔业资源状况，多次派出监测船进行调查[1-7]，然而未对在该海域作业渔船的捕捞能力进行过研究。不了解当地的渔业生产状况就无法有效地实施渔业管理，长此以往必然威胁到渔业资源的可持续利用和岛礁生物多样性的保护。文章根据 2008年渔港调查数据，分析了在中、西沙群岛海域作业的灯光围网船和灯光罩网船的捕捞能力，以期为该渔业的有效管理和中、西沙群岛海域中上层渔业资源的合理开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

2008年 2~ 10月期间在广东闸坡、广西北海和海南临高、三亚等渔港，对在中、西沙海域灯光作业渔船的生产状况进行了详细的调查，共收集和整理出 2008年 2~ 5月该海域作业的 26艘灯光围网船的 715份渔捞记录和 16艘灯光罩网船的 771份渔捞记录。渔捞记录包含了主机功率、网具规格、作业时间、作业网次、作业位置、渔获种类和渔获产量等信息。

1.2 方法

分别计算出灯光围网和灯光罩网各渔区及渔获种类的单位捕捞努力量渔获量 (catch per unit effort, CPUE)，计算了 2种 CPUE: 单船网次产量 $CPUE_1$和单船单位功率网次产量 $CPUE_2$。

$$CPUE_1 = \frac{catch}{sets} \quad (1)$$

$$CPUE_2 = \frac{catch}{sets \times power} \quad (2)$$

式中 catch表示单船渔获量 (kg); sets表示投网次数; power表示主机功率数 (kW)。

采用广义线性模型 (generalized linear model, GLM) 对灯光围网船和灯光罩网船的产量和努力量数据进行了方差分析，分析影响生产效益的主要原因。广义线性模型如下:

$$C = \mu + P + S + L + G + A + \varepsilon \quad (3)$$

式中因变量为单船春季总产量 C, μ为全局平均值，自变量有主机功率 P、投网次数 S、灯光功率 L、网具规格 G, 作业渔区数 A, 残差 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$。自变量均为分类变量，按数值大小分成了不同的等级 (表 1和表 2)。

利用随机生产边界法[8] (stochastic production frontiers, SPF) 对灯光围网船和灯光罩网船的捕捞效率进行了评价。假定有劳动力、资本 2个投入因子，且生产函数满足 Cobb-Douglas形式，即:

$$Y_t = AL_t^a K_t^b T_t \quad (4)$$

式中 Y_t为时间 t内的总产出，L_t为时间 t内的劳动力的量，K_t为时间 t内的资本量，而 T_t为一种技术趋势。实际应用中，在分析截面数据 (cross-section data) 时，取 (4) 式的对数形式。

在计算 Cobb-Douglas生产边界时，采用如下方程:

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln(L) + \beta_2 \ln(K) + e \quad (5)$$

式中，Y、K 和 L 分别为产出、资本和劳动力，e为偏差。令 $X_0 = \ln Y$, $X_1 = \ln L$, $X_2 = \ln K$, 则 (5) 式可以转化为线性形式:

$$X_0 = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + e \quad (6)$$

再令 $X = (1, X_1, X_2)$, $C = (\beta_0, \beta_1, \beta_2)^T$, 则 (6) 式可写成

① 西、南、中沙渔业资源调查组. 西、中沙、南沙北部海域大洋性鱼类资源调查报告 [R]. 广州: 国家水产总局南海水产研究所, 1979.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 灯光围网自变量的分类

Tab. 1 Independent variable of light attracting purse seiners

主机功率 /kW main engine power	等级 level	投网次数 net setting	等级 level	网衣面积 /10^4 m^2 netting areas	等级 level	灯光功率 /10^4 kW light power	等级 level	渔区数 number of fishing zones	等级 level
≤200	1	≤15	1	≤10	1	≤15	1	1	1
201~300	2	16~30	2	10~15	2	>15	2	2	2
301~400	3	31~45	3	15~20	3	–	–	3	3
≥401	4	>45	4	>20	4	–	–	–	–

表 2 灯光罩网自变量的分类

Tab. 2 Independent variable of light attracting falling gears

主机功率 /kW main engine power	等级 level	投网次数 net setting	等级 level	网衣面积 /10^4 m^2 netting areas	等级 level	灯光功率 /10^4 kW light power	等级 level	渔区数 number of fishing zones	等级 level
≤200	1	≤200	1	≤150	1	≤200	1	≤5	1
201~250	2	201~300	2	151~200	2	201~250	2	6~10	2
251~300	3	301~400	3	>200	3	>250	3	>10	3
≥300	4	>400	4	–	–	–	–	–	–

$$X_0 = XC + e \quad (7)$$

现在的问题归结为如何根据样本点计算参数矢量 C 的估计值 $\hat{C}$, 使得产出的估计值大于实际值, 也即偏差项 $e \geqslant 0$, 即 $e = X\hat{C} - X_0 \geqslant 0$ (8)

同时还应保证偏差的平方和 $e'e$ 为最小。使前沿面与样本点最接近。因为 (8) 式中 $e \geqslant 0$, 所以不必求偏差的平方和最小, 而只求偏差和最小即可, 故问题可简化为一个二次线性规划:

$$\min Z = Le, \quad \text{s.t.} \quad X\hat{C} \geqslant X_0$$
$$\hat{C} \geqslant 0 \quad (9)$$

式中 $L = (1, 1, \cdots, 1)$。将 $e = X\hat{C} - X_0$ 代入 (9) 式, 则目标函数为

$$Z = L(X\hat{C} - X_0) \quad (10)$$

据此, 解这个线性规划问题, 就可以得到参数估计值 $\hat{C}$, 于是得到一个前沿生产函数。实际中, β_0 的估计值可能为负, 为了保证线性规划问题有可行解, 可令 $X = (-1, X_1, X_2)$, 此时计算出的 β_0 值就为正, 满足线性规划约束条件 $\hat{C} \geqslant 0$。各个投入单元的技术效率可以根据实际值和估计值的比值确定。

在运用 SPF对捕捞能力进行评估时, 以主机功率 ×灯光功率为固定投入要素 (资本因子), 以投网次数为可变投入要素 (劳动力因子), 应用 Cobb-Douglas生产函数计算了每艘渔船的技术效率。技术效率的计算采用了 COELI[9] 编写的 Frontier 4.1运算软件。

2 结果

2.1 CPUE计算结果

被调查的 26艘灯光围网船的单船产量在 25.03~229.73 t之间, 平均 100.77 t。$CPUE_1$ 在 1.00~12.52 t·网$^{-1}$, 平均 4.72 t·网$^{-1}$。其中海南三亚籍渔船的平均 $CPUE_1$ 为 4.41 t·网$^{-1}$, 海南临高籍渔船的平均 $CPUE_1$ 为 3.39 t·网$^{-1}$, 广东阳西籍渔船的平均 $CPUE_1$ 为 10.24 t·网$^{-1}$。$CPUE_2$ 为 3.38~37.84 kg·(网·kW)$^{-1}$, 平均 16.96 kg·(网·kW)$^{-1}$。其中海南三亚籍渔船的平均 $CPUE_2$ 为 10.12 kg·(网·kW)$^{-1}$, 海南临高籍渔船的平均 $CPUE_2$ 为 16.81 kg·(网·kW)$^{-1}$, 广东阳西籍渔船的平均 $CPUE_2$ 为 29.50 kg·(网·kW)$^{-1}$。

被调查的 16艘灯光罩网船的单船产量在 5.93

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

~ 130.03 t之间，平均 60.05 t。CPUE$_1$在 49.40~451.49 kg·网$^{-1}$，平均 179.87 kg·网$^{-1}$。其中广西籍渔船的平均 CPUE$_1$为 183.25 kg·网$^{-1}$，海南籍渔船的平均 CPUE$_1$为 169.74 kg·网$^{-1}$。CPUE$_2$在 0.22 ~ 2.05 kg·(网·kW)$^{-1}$，平均 0.77 kg·(网·kW)$^{-1}$。其中广西籍渔船的平均 CPUE$_2$为 0.83 kg·(网·kW)$^{-1}$，海南籍渔船的平均 CPUE$_2$为 0.62 kg·(网·kW)$^{-1}$。

2.2 渔获组成

统计 2种作业方式的渔获物发现，2008年春季灯光围网渔获物中产量超过 200 t的有颌圆鲹(*Decapterus lajang*)、蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*)、扁舵鲣(*Auxis thazard*)、羽鳃鲐(*Rastrelliger kanagurta*)、小鲔(*Euthynnus alleteratus*)和大目金枪鱼(*Thunnus obesus*)，分别占总渔获重量的 44.89%、22.46%、11.29%、6.83%、6.55%和 2.95%(图 1)。灯光罩网主要渔获种类为柔鱼(*Ommastrephes* spp.)、蓝圆鲹和颌圆鲹，分别占总渔获重量的 85.73%、4.43%和 4.43%(图 2)。

2.3 方差分析

GLM 对灯光围网作业的总方差解释率达到 84.2%。影响产量的最重要因素是投网次数($P < 0.01$)，这符合一般常识，有效投网次数越多，产量越高。其次是作业范围($P < 0.05$)，作业范围越大，寻找好渔场的概率越高，也表明其生产积极高。其他如主机功率、灯光功率和网具尺度对灯光围网作业的影响较小($P > 0.05$)(表 3)。

GLM 对灯光罩网作业的总方差解释率达到 98.9%。影响产量的最重要因素亦是投网次数($P < 0.01$)，有效投网次数越多，产量越高。其次是

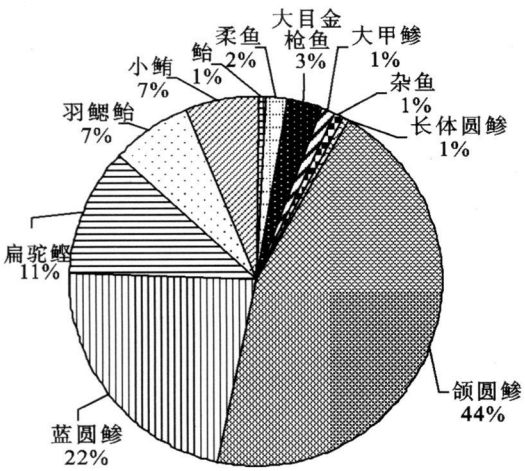

图 1 灯光围网渔获物组成

Fig. 1 Catch composition of light attracting purse seiners

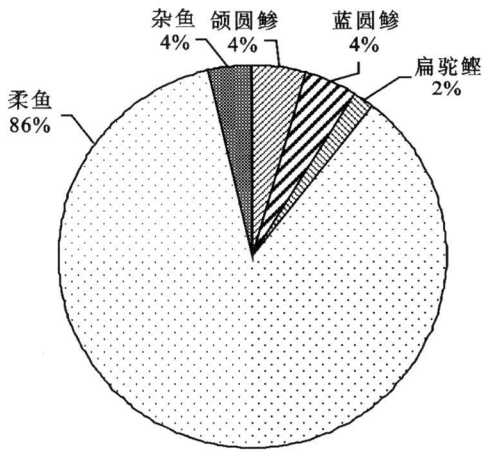

图 2 灯光罩网渔获组成

Fig. 2 Catch composition of light attracting falling gears

表 **3** 灯光围网作业的方差分析表

Tab. 3 Variance analysis of light attracting purse seiners

误差来源 source	Ⅲ类残差平方和 type Ⅲ sum of squares	自由度 degree of freedom	均方差 mean square	*F* 检验 *F* test	显著性 significance
μ	53 294.22	1	53 294.22	56.13	0.00
主机功率 power	6 083.19	3	2 027.73	2.14	0.15
投网次数 sets	20 873.44	3	6 957.82	7.33	0.00
灯光功率 light power	141.93	1	141.93	0.15	0.71
作业渔区数 area	16 692.29	3	5 564.10	5.86	0.01
网衣面积 netting size	57.56	3	19.19	0.02	0.99
误差 errors	11 392.89	12	949.41	–	–

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

网衣长度 ($P < 0.05$)，网衣长度越大，覆盖的面积越大，渔获的容量也越大。其他如主机功率、灯光功率和作业渔区数对灯光罩网作业的影响较小 ($P > 0.05$) (表 4)。

2.4 技术效率分析

Frontier 4.1软件计算结果显示灯光围网船作业的技术效率在 34.7% ~ 91.7%，平均 69.4%，其中海南三亚籍渔船 66.3%，海南临高籍渔船 68.6%，广东阳西籍渔船 78.0%。灯光围网船的技术效率与主机功率、灯光功率和作业次数等无直接的关系，而与 $CPUE_2$有关 ($R = 0.64$) (图 3)。灯光罩网船的技术效率在 50.4% ~ 92.1%，平均 78.2%。其中广西籍渔船平均 76.6%，海南籍渔船平均 82.9%，技术效率与 $CPUE_2$的相关系数 0.63 (图 4)。

3 讨论

3.1 SPF评价捕捞能力的优缺点

SPF是目前国际上比较推崇的一种新兴的计算捕捞能力的方法，在国内只见冯春雷等[8]用该方法评价了浙江省的海洋捕捞效率，不似数据包络分析法 (data envelopment analysis, DEA) 被广泛地使用[10]。SPF用来评价单艘渔船的捕捞能力在国内还是首次，主要面临投入单位的效率是否完全发

表 4 灯光罩网作业的方差分析表

Tab.4 Variance analysis of light attracting falling gears

误差来源 source	Ⅲ类残差平方和 type Ⅲ sum of squares	自由度 degree of freedom	均方差 mean square	F 检验 F test	显著性 significance
μ	6 163.77	1	6 163.77	106.19	0.00
主机功率 power	262.02	3	87.34	1.50	0.37
投网次数 sets	6 166.99	3	2 055.66	35.42	0.01
灯光功率 light power	264.26	2	132.13	2.28	0.25
网衣长度 net length	1 545.81	2	772.90	13.32	0.03
作业渔区数 area	301.91	2	150.96	2.60	0.22
误差 errors	174.13	3	58.04	–	–

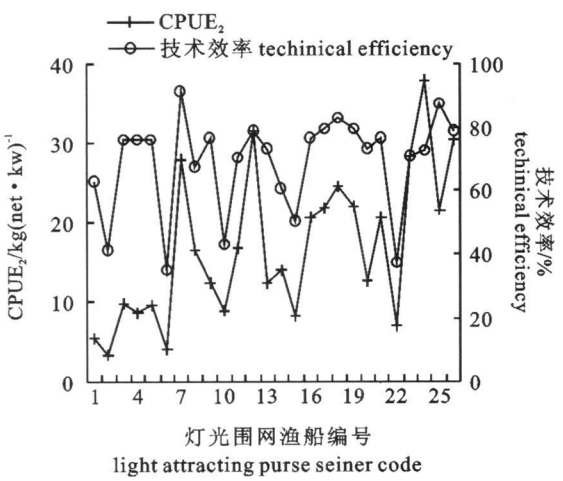

图 3 灯光围网船的单船产量与技术效率

Fig. 3 Single vessel yield and technique efficiency of light attracting purse seiners

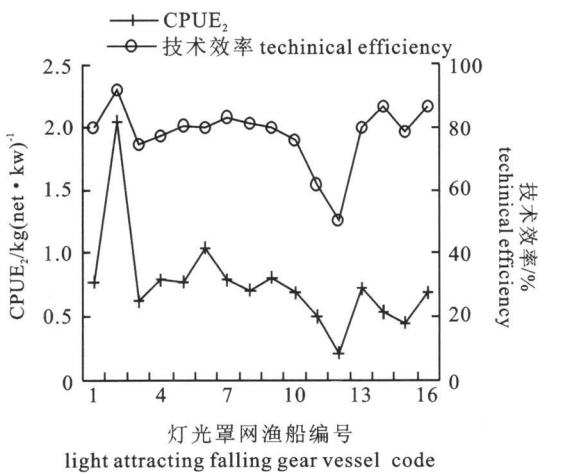

图 4 灯光罩网船的单船产量与技术效率

Fig. 4 Single vessel yield and technique efficiency of light attracting falling gears

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

挥，以及可变投入对产出的贡献度等问题[8]。该方法输出的结果简单，无法像 DEA 那样对多个投入和产出要素进行规划，不得不借助于方差分析手段对投入要素的贡献度进行解释。由于 SPF是基于生产函数的统计分析方法，将投入划分为资本投入和劳动力投入，如文章中将渔船的主机和灯源等作为资本投入，将投网次数作为劳动力投入。SPF分析问题直观实用，参数设置少，因此不失为值得推荐使用的方法。

3.2 2种作业技术效率出现差异的原因

中、西沙作业的灯光围网网周长度范围 480~850 m，网衣拉直长度 180~240 m；而灯光罩网周长范围 145~245 m。比较而言，围网作业面积和深度都比罩网大。灯光围网每晚作业 2~3次，平均灯光诱鱼时间 3~4 h，每次起网时间约 1 h；灯光罩网每晚作业 10~16次，除第一网次诱鱼时间较长外，其余灯光诱鱼时间都少于 30 min，每次起网时间约 20 min。

由于 2种作业过程存在差别，以致渔获组成有明显的不同。由图 3和图 4可知，灯光围网瞄准捕捞的是游泳速度比灯光罩网捕捞的柔鱼快得多的中上层鱼类，灯光围网作业技术要求高，下网动作快，起网时间长，不像灯光罩网那样操作简单，总体上技术效率比灯光罩网低。因此，要提高灯光围网的技术效率，就要提高瞄准捕捞技术，增加网次产量，并且利用探鱼仪等助渔设备，寻找到适宜的渔场。

3.3 中、西沙渔业资源的合理开发利用

中、西沙群岛海域蕴藏丰富的渔业资源，尤其是中上层渔业资源具有较大的开发潜力。但作业地点距离大陆远，无法像近海渔业那样方便地实施监控。除了中国渔民在此短期作业外，该海域还有大量越南渔民作业。因此，很有必要定期开展调查和监测，评估作业渔船的捕捞能力，对进入该海域的渔船进行控制，科学规划好总生产容量，为中、西沙渔业资源的可持续利用和生物多样性保护提供保障。

参考文献:

[1] 中国科学院南海海洋研究所．我国西沙、中沙群岛海域海洋生物资源调查研究报告集 [M]．北京：科学出版社，1978.

[2] 上海市水产研究所鱼类研究室．西沙群岛鱼类的调查 [J]．水产科技情报，1974 (10)：7-9.

[3] 谢由，何钢，梁汝铁，等．西、中沙渔场探捕技术与效果 [J]．水产科技情报，1988 (1)：8-11.

[4] 麦有攀，张光烂．中沙，南沙群岛礁盘深水域中下层鱼类资源开发利用技术研究 [J]．中国水产，1999 (3)：48-49.

[5] 孙典荣，林昭进，邱永松，等．西沙群岛重要珊瑚礁海域鱼类区系 [J]．南方水产，2005，1 (5)：18-25.

[6] 孙典荣，林昭进，邱永松．西沙群岛重要岛礁鱼类资源调查 [J]．中国海洋大学学报，2005，35 (2)：225-231.

[7] 孙典荣，邱永松，林昭进，等．中沙群岛春季珊瑚礁鱼类资源组成的初步研究 [J]．海洋湖沼通报，2006 (3)：85-92.

[8] 冯春雷，黄洪亮，陈雪忠．SPF理论及其在捕捞能力计算中的应用 [J]．上海水产大学学报，2007，16 (1)：48-53.

[9] COELLI T. A guide to Frontier Version 4.1: A computer program for stochastic frontier production and cost function estimation [Z] Armidale: University of New England，1996：1-33.

[10] 冯春雷，黄洪亮，陈雪忠．温州市张网捕捞能力的分析 [J]．海洋渔业，2006，28 (1)：59-65.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net