

许骆良,陈新军,汪金涛,等. 基于 Schaefer 模型的东南太平洋茎柔鱼资源评估和管理[J]. 海洋学报, 2015, 37(10): 49—58, doi: 10. 3969/j. issn. 0253-4193. 2015. 10. 005

Xu Luoliang, Chen Xinjun, Wang Jintao, et al. Stock assessment and management of *Dosidicus gigas* in the Southeast Pacific Ocean with Schaefer model[J]. Haiyang Xuebao, 2015, 37(10): 49—58, doi: 10. 3969/j. issn. 0253-4193. 2015. 10. 005

# 基于 Schaefer 模型的东南太平洋 茎柔鱼资源评估和管理

许骆良<sup>1,4</sup>, 陈新军<sup>1,2,3,4\*</sup>, 汪金涛<sup>1,2,3,4</sup>, 官文江<sup>1,2,3,4</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省部共建教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306)

**摘要:** 东南太平洋茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)是世界范围内最重要的经济头足类之一,也是我国鱿钓渔船的重要捕捞对象。本文根据 2003—2012 年中国大陆的渔业数据和 FAO 统计的东南太平洋茎柔鱼产量数据,利用 Schaefer 模型,基于贝叶斯统计方法,分基准方案和敏感性分析方案对东南太平洋茎柔鱼资源进行评估,并对其管理策略做了风险分析。结果表明,年渔获量和 CPUE 数据为贝叶斯资源评估模型提供了足够多的信息。2003—2012 年捕捞死亡率低于目标参考点  $F_{0.1}$ ,渔获量小于最大可持续产量,资源量大于目标参考点  $B_{msy}$ ,资源状况良好,未遭受过度捕捞。在基准方案下,最大可持续产量为 142.9 万吨,维持最大可持续产量的资源量为 214.7 万吨,此时的捕捞死亡率为 0.682;在敏感性分析方案下,最大的可持续产量为 152.5 万吨,维持最大可持续产量的资源量为 229.6 万吨,此时的捕捞死亡率为 0.691。决策分析和风险分析表明,当捕获率设定为 0.3 以下时,资源能够得到较好的养护,资源崩溃的可能性很低。将捕获率设定在 0.3 左右是最适的管理策略,此时的持续产量为 99 万吨左右。

**关键词:** 东南太平洋; 茎柔鱼; 资源评估; 管理

中图分类号: S931.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2015)10-0049-10

## 1 引言

茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)属枪形目、柔鱼科、茎柔鱼属<sup>[1]</sup>,其为大洋性浅海种,广泛分布在太平洋的东部海域,即加利福尼亚(37°~40°N)至智利(45°~47°S)以西的太平洋海域<sup>[2]</sup>。分布在秘鲁外海的茎柔鱼最早由日本鱿钓船开发。目前,从事该生产的国家和地区主要有日本、韩国、中国大陆和中国台湾地区等。

中国大陆于 2001 年首次组织鱿钓船在秘鲁外海茎柔鱼渔场进行其资源的探捕,2012 年我国茎柔鱼的作业渔船达 254 艘,产量高达 22.11 万吨。茎柔鱼已经成为我国鱿钓船的重要捕捞对象<sup>[3]</sup>,其产量超过我国远洋鱿钓总产量的 50% 以上。《南太平洋公海渔业资源养护和管理公约》于 2012 年 8 月 24 日正式生效,公约将茎柔鱼纳入管理目标,但学者对其资源评估和管理的研究相对不足。对茎柔鱼进行科学有效

收稿日期: 2015-04-04; 修订日期: 2015-07-20。

基金项目: 国家 863 计划(2012AA092303); 上海市研究生教育创新计划和国家科技支撑计划(2013BAD13B01)。

作者简介: 许骆良(1990—),男,安徽省宣城市人,主要从事渔业资源学研究。E-mail: xllxxxly@yeah.net

\* 通信作者: 陈新军,男,教授,研究方向为渔业资源与渔场学。E-mail: xjchen@shou.edu.cn

的资源评估已成为亟待解决的重要课题。为此,本研究根据 2003—2012 年中国大陆的渔业数据和 FAO 统计的东南太平洋茎柔鱼产量数据,利用 Schaefer 模型,基于贝叶斯统计方法,分基准方案和敏感性分析方案对东南太平洋茎柔鱼资源进行评估,并对其管理策略做了风险分析,其研究结果有助于指导茎柔鱼资源的科学管理和持续健康发展。

## 2 材料和方法

### 2.1 数据来源

渔业数据来源于中国远洋渔业协会鱿钓技术组,数据的时间跨度为 2003—2012 年。数据字段包括时间、经度、纬度、产量、平均产量。时间分辨率为天,空间分辨率为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 。

全球东南太平洋茎柔鱼产量数据来自于联合国粮农组织网站,时间跨度选取 2003—2012 年,数据见表 1 (<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/query/en>)。

### 2.2 数据预处理

使用 GLM 模型对渔业数据进行 CPUE 标准化处理,CPUE 数据来源于中国远洋渔业协会鱿钓技术组;环境数据包括海表面温度(SST),叶绿素  $a$  浓度(Chl  $a$ ),海表面盐度(SSS),海表面高度(SSH),海表面温度水平梯度(GSST),数据来源于哥伦比亚大学数据库网站 [http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.data\\_products.html](http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.data_products.html),将标准化的年 CPUE 数据作为东南太平洋茎柔鱼资源丰度指数。

表 1 东南太平洋茎柔鱼 CPUE 和产量

Tab. 1 The CPUE and capture of *Dosidicus gigas* in South-east Pacific Ocean

| 年份   | 渔获量/万吨 |          | 标准化 CPUE/ $t \cdot d^{-1}$ |
|------|--------|----------|----------------------------|
|      | 中国产量   | 全球产量     |                            |
| 2002 | 5.05   | 29.653 1 | —                          |
| 2003 | 8.01   | 30.470 7 | 4.230                      |
| 2004 | 20.56  | 74.752 6 | 7.939                      |
| 2005 | 8.63   | 72.624 1 | 4.754                      |
| 2006 | 6.20   | 80.572 4 | 5.631                      |
| 2007 | 4.64   | 62.731   | 3.282                      |
| 2008 | 8.07   | 81.089 2 | 4.395                      |
| 2009 | 6.44   | 58.495 3 | 4.232                      |
| 2010 | 13.99  | 77.307 5 | 5.516                      |
| 2011 | 25.06  | 87.146 3 | 3.474                      |
| 2012 | 22.11  | 92.745 3 | 3.536                      |

### 2.3 Schaefer 模型和似然函数

Schaefer 模型的表达式为:

$$B_t = B_{t-1} + rB_{t-1} \left(1 - \frac{B_{t-1}}{K}\right) - C_{t-1}, \quad (1)$$

$$I_t = qB_t e^{\epsilon_t} \epsilon_t \subset N(0, \sigma^2), \quad (2)$$

式中,  $B_t$  为  $t$  年的资源量,  $r$  为内禀自然增长率,  $K$  为环境最大容纳量,  $C_{t-1}$  为  $t-1$  年的渔获量,  $q$  为可捕系数。本研究假设  $B_0$  (即 2002 年的资源量) 为 300 万吨<sup>[4-5]</sup>。

假设观测误差服从对数正态分布, 则似然函数表

达式为:

$$L(I/\theta) = \prod_{t=2003}^{2012} \frac{1}{I_t \sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[\ln(I_t) - \ln(qB_t)]^2}{2\sigma^2}\right). \quad (3)$$

### 2.4 模型参数先验分布设定

在贝叶斯统计理论中, 设定参数的先验分布是必须的步骤。先验分布的设定将对参数的后验分布产生影响, 为了验证样本数据是否提供了足够的信息, 需要对先验分布进行敏感性检验, 操作方法是使用其它的分布来替代基准方案中参数的先验分布, 两

种情况下得到的参数的后验分布若有较大差异则表明数据没有提供足够的信息,后验分布受到了先验分布很大的影响<sup>[6]</sup>。先验分布分为有信息的(informative priors)先验分布和无信息的(non-informative priors)先验分布,在本研究中,相关参数的先验信息很少,采用均匀分布作为基准方案的先验分布比较合理。

根据其他种类头足类和其他海域的茎柔鱼的相关研究<sup>[7-9]</sup>,参数  $r$ 、 $K$ 、 $q$  的基准方案的先验分布设定为均匀分布  $r \sim U(0.01, 2.5)$ , 均匀分布  $K \sim U(100, 800)$ , 均匀分布  $q \sim U(0.000\ 1, 0.03)$ ; 敏感性检验方案的先验分布设定为正态分布  $r \sim N(1.19, 0.6^2)$ , 均匀分布  $K \sim U(100, 1\ 000)$ , 对数均匀分布  $\log(q) \sim U(-5, 0)$ 。

## 2.5 模型参数后验分布计算

利用 MCMC(蒙特卡洛马尔科夫链)计算模型参数  $r$ 、 $K$ 、 $q$ 。MCMC 迭代计算的初始值分别为:  $r = 1.19$ ,  $K = 300$ ,  $q = 0.02$ 。一共进行 20 000 次运算,前 10 000 次舍弃,后 10 000 次每 10 次保存一次结果。

## 2.6 生物学参考点估算

生物学参考点可分为目标参考点(target reference points, TRP)和限制参考点(limit reference point, LRP)。目标参考点的设置是为了达到渔业管理的目标,而限制参考点则是渔业管理中应该避免的状态<sup>[10]</sup>。通常渔业管理希望获得 MSY(Maximum Sustainable Yield, 最大可持续产量)的同时,保持渔业资源处在可持续的稳定状态,因此本文研究涉及到的生物学参考点有  $F_{MSY}$ 、 $B_{MSY}$ 、 $F_{0.1}$  和  $MSY$ 。 $F_{MSY}$  和  $B_{MSY}$  分别指渔业达到 MSY 水平时对应的捕捞死亡系数和生物量,  $F_{0.1}$  表示平衡渔获量和捕捞死亡系数关系曲线最大斜率的 10% 对应的捕捞死亡系数。

本研究将以  $F_{0.1}$  作为捕捞死亡系数的目标参考点  $F_{tar}$ , 以  $F_{MSY}$  作为限制参考点  $F_{lim}$ ; 将  $B_{MSY}$  作为资源量的目标参考点  $B_{tar}$ ,  $B_{MSY}/4$  作为限制参考点  $B_{lim}$ 。当捕捞死亡系数  $F$  大于  $F_{lim}$  时, 则说明该资源正在遭受过度捕捞(overfishing), 反之, 则没有遭受过度捕捞; 当其资源量小于  $B_{lim}$  时, 则说明该资源量水平很低, 已经处于过度捕捞状态(overfished), 反之则未处于过度捕捞状态。

## 2.7 确定备选管理策略

用控制收获率来作为茎柔鱼资源管理策略。控制收获率是一种捕捞控制规则, 它规定每年捕捞一定比例的资源量。备选的收获率分别设定为 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 和 0.8。未来第  $t$  年的捕捞量通过下式进行计算:

$$C_t = h_t \times B_t \times e^\epsilon, \quad (4)$$

式中,  $C_t$  表示第  $t$  年的捕捞量,  $h_t$  为设定的收获率,  $\epsilon$  为误差项,  $\epsilon \sim N(0, 1^2)$ 。

## 2.8 资源模拟管理效果评价及风险分析

假设管理策略实施从 2013 年开始, 持续 15 年, 到 2027 年管理结束。建立的效果评价和风险分析指标有:

- (1) 管理结束时的资源量, 即 2027 年的资源量期望值;
- (2) 管理结束当年的捕捞量, 即 2027 年的捕捞量期望值;
- (3) 管理期间最大的捕捞量差异, 即 15 年以来, 渔获量最大值减去渔获量最小值, 差异越大, 表明渔获量的持续稳定性越低;
- (4) 管理期间资源量最小值  $B_{min}$ ;
- (5) 管理期间的年平均捕捞量;
- (6) 管理结束当年, 即 2027 年资源量大于目标参考点的概率  $p(B_{2027} > B_{tar})$ ;
- (7) 管理结束当年, 即 2027 年资源量小于限制参考点的概率  $p(B_{2027} < B_{lim})$ 。

计算机模拟按照以下步骤进行: 在贝叶斯分析得到的  $r$ 、 $K$ 、 $q$  的后验分布中随机抽取一组数据, 计算 2012 年的资源量, 将 2012 年的资源量和备选收获率带入 Schaefer 模型中计算, 得到不同收获率下的 2013—2027 年每年的资源量, 重复以上步骤 1 000 次, 得到 1 000 组模拟值。利用以上 7 个指标对不同的备选管理措施进行分析。

## 3 结果

### 3.1 模型的后验参数分布及其估计值

贝叶斯方法估计的参数后验分布和估计值见图 1 和表 2。使用贝叶斯方法的优势在于可以有效地量化参数估计当中的不确定性。基准方案下的参数后验分布和敏感性分析方案下的后验分布变化较小, 说明数据提供了较丰富的信息。

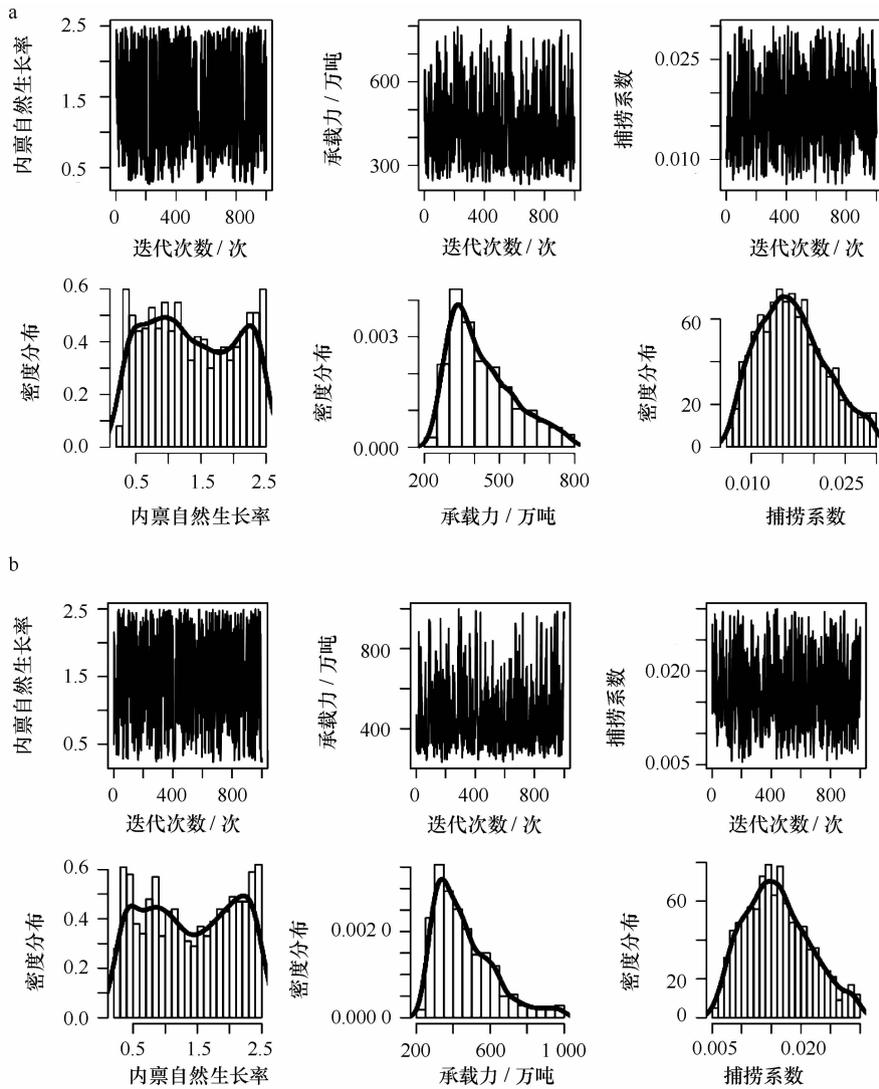


图 1 参数的模拟和后验分布

Fig. 1 Simulation and posterior distribution of parameters

a. 基准方案; b. 敏感性分析方案

a. standard scheme; b. sensitivity analysis scheme

表 2 模型相关参数的估计值

Tab. 2 The estimated values of parameters

| 参数          | 均值      | 标准差     | 变异<br>系数 | 2.5%<br>分位数 | 25%<br>分位数 | 50%<br>分位数 | 75%<br>分位数 | 97.5%<br>分位数 |
|-------------|---------|---------|----------|-------------|------------|------------|------------|--------------|
| 基准方案        |         |         |          |             |            |            |            |              |
| $r$         | 1.364   | 0.671   | 0.492    | 0.329       | 0.781      | 1.294      | 1.988      | 2.455        |
| $K$         | 429.432 | 128.463 | 0.299    | 261.582     | 330.225    | 396.550    | 510.050    | 733.815      |
| $q$         | 0.017   | 0.005   | 0.326    | 0.008       | 0.012      | 0.016      | 0.020      | 0.028        |
| 敏感性<br>分析方案 |         |         |          |             |            |            |            |              |
| $r$         | 1.382   | 0.700   | 0.506    | 0.296       | 0.770      | 1.369      | 2.037      | 2.460        |
| $K$         | 459.193 | 159.327 | 0.347    | 266.700     | 336.700    | 420.750    | 548.800    | 888.540      |
| $q$         | 0.016   | 0.005   | 0.341    | 0.007       | 0.012      | 0.016      | 0.020      | 0.028        |

### 3.2 资源量和生物学参考点

在基准方案下,最大的可持续产量为(142.865±85.996)万吨,维持最大可持续产量的资源量为(214.715±64.230)万吨,此时的捕捞死亡率为0.682。在敏感性分析方案下,最大的可持续产量为

(152.481±95.007)万吨,维持最大可持续产量的资源量为(229.597±79.662)万吨,此时的捕捞死亡率为0.691。2003—2012年茎柔鱼资源量远高于 $B_{tar}$ ,捕捞死亡率低于 $F_{tar}$ ,资源量的变动在20万吨以内,资源状况良好(表3,图2和图3)。

表3 两种方案下生物学参考点  
Tab.3 Biology reference points under two scenarios

| 参数        | 均值      | 标准差    | 变异系数  | 2.5%分位数 | 25%分位数  | 50%分位数  | 75%分位数  | 97.5%分位数 |
|-----------|---------|--------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 基准方案      |         |        |       |         |         |         |         |          |
| $B_{msy}$ | 214.715 | 64.230 | 0.299 | 130.792 | 165.100 | 198.250 | 255.025 | 366.907  |
| $MSY$     | 142.865 | 85.996 | 0.602 | 51.170  | 70.285  | 116.450 | 194.875 | 351.792  |
| $F_{0.1}$ | 0.614   | 0.302  | 0.492 | 0.148   | 0.351   | 0.582   | 0.895   | —        |
| $F_{msy}$ | 0.682   | 0.335  | 0.492 | 0.164   | 0.390   | 0.647   | 0.994   | —        |
| 敏感性分析方案   |         |        |       |         |         |         |         |          |
| $B_{msy}$ | 229.597 | 79.662 | 0.347 | 133.400 | 168.375 | 210.350 | 274.425 | 444.222  |
| $MSY$     | 152.481 | 95.007 | 0.623 | 51.436  | 72.082  | 124.650 | 209.250 | 378.212  |
| $F_{0.1}$ | 0.622   | 0.315  | 0.506 | 0.133   | 0.346   | 0.616   | 0.917   | —        |
| $F_{msy}$ | 0.691   | 0.350  | 0.506 | 0.148   | 0.385   | 0.685   | —       | —        |

备注:“—”为 $F_{0.1}$ 和 $F_{msy}$ 大于1的值,被剔除。

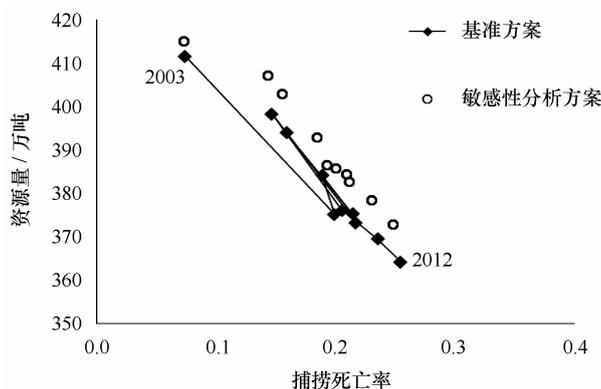


图2 2003—2012年东南太平洋茎柔鱼资源量和捕捞死亡率

Fig.2 The biomass and fishing mortality of *Disidicus gigas* in southeast Pacific during 2003—2012

### 3.3 管理决策指标

在设定的不同捕获率下,7个管理决策指标见表4。两种方案下,当捕捞死亡率超过0.7时,管理期间的平均捕捞量开始下降。在基准方案下,最大年平均捕捞量发生在捕获率为0.6~0.7之间,在敏感性分析方案下,最大年平均捕捞量发生在捕获率为0.5~

0.6之间。当捕捞死亡率低于0.3时, $P(B_{2027} < B_{lim})$ 的值很低,表明在此种策略下,资源被过度捕捞的概率很低。随着捕获率的升高,管理期间最大的产量差异逐渐升高,产量年间差异过高,不利于合理配置捕捞努力量和远洋渔业企业的运营管理(见表4)。

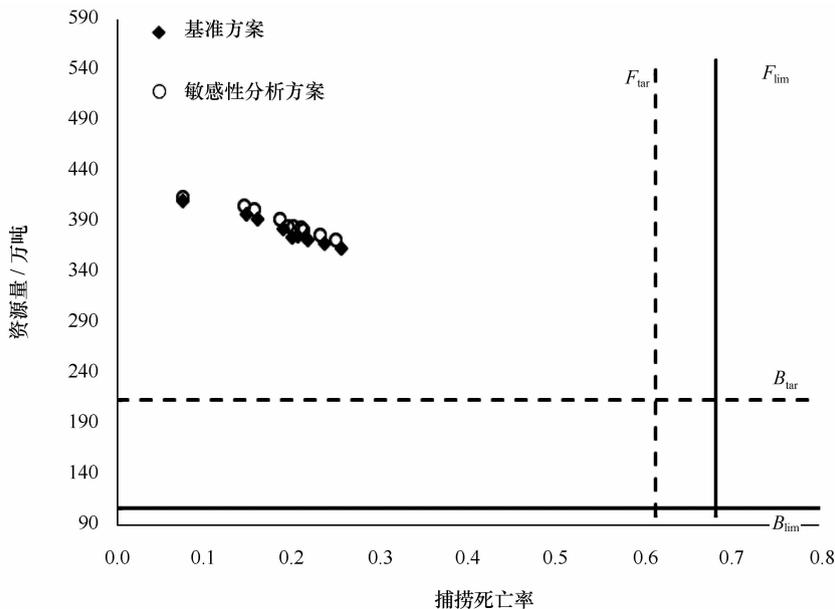


图 3 东南太平洋茎柔鱼资源量和捕捞死亡率与生物学参考点

Fig. 3 The comparison between biomass and fishing mortality with biology reference points of *Disidicus gigas* in southeast Pacific

表 4 两种方案下管理决策和风险分析指标

Tab. 4 Summary statistics of the estimated index for management and risk analysis under the two scenarios

| 捕获率     | 2027 年资源量/万吨 | 2027 年捕捞量/万吨 | 最大产量差异/万吨 | 平均捕捞量/万吨 | $B_{\min}$ | $P(B_{2027} > B_{msy})$ | $P(B_{2027} < B_{lim})$ |       |
|---------|--------------|--------------|-----------|----------|------------|-------------------------|-------------------------|-------|
| 基准方案    | 0.1          | 395.277      | 39.316    | 7.263    | 39.232     | 355.858                 | 0.995                   | 0.000 |
|         | 0.2          | 348.895      | 69.205    | 9.024    | 70.414     | 329.793                 | 0.978                   | 0.002 |
|         | 0.3          | 313.543      | 96.887    | 12.201   | 98.569     | 297.074                 | 0.923                   | 0.003 |
|         | 0.4          | 287.785      | 116.892   | 22.401   | 118.563    | 260.482                 | 0.868                   | 0.029 |
|         | 0.5          | 261.533      | 128.001   | 32.407   | 129.077    | 221.222                 | 0.748                   | 0.052 |
|         | 0.6          | 233.064      | 139.605   | 46.381   | 140.443    | 180.657                 | 0.673                   | 0.093 |
|         | 0.7          | 201.878      | 146.147   | 61.898   | 146.041    | 144.818                 | 0.549                   | 0.128 |
|         | 0.8          | 176.507      | 147.565   | 75.971   | 145.515    | 107.637                 | 0.464                   | 0.203 |
| 敏感性分析方案 | 0.1          | 389.722      | 38.972    | 8.755    | 39.515     | 342.548                 | 0.978                   | 0.000 |
|         | 0.2          | 346.711      | 69.342    | 13.186   | 71.455     | 320.622                 | 0.965                   | 0.003 |
|         | 0.3          | 321.655      | 96.496    | 17.392   | 99.267     | 299.665                 | 0.941                   | 0.011 |
|         | 0.4          | 281.890      | 112.756   | 24.396   | 115.159    | 254.776                 | 0.822                   | 0.023 |
|         | 0.5          | 267.033      | 133.517   | 39.988   | 134.443    | 219.790                 | 0.735                   | 0.038 |
|         | 0.6          | 239.723      | 143.834   | 52.601   | 143.551    | 181.809                 | 0.623                   | 0.079 |
|         | 0.7          | 205.336      | 143.735   | 66.292   | 143.448    | 141.564                 | 0.537                   | 0.150 |
|         | 0.8          | 179.945      | 143.956   | 79.300   | 142.782    | 110.353                 | 0.461                   | 0.205 |

## 4 分析和讨论

### 4.1 模型的选择

本研究中,我们选用了经典的剩余产量模型——Schaefer 模型对东南太平洋茎柔鱼的种群动态进行抽象模拟。目前,通过对茎柔鱼耳石,角质颞等硬组织读取轮纹可以推测茎柔鱼的年龄<sup>[11-12]</sup>,但其操作过程复杂,成本较高;茎柔鱼为一年生种群,种群年龄结构单一<sup>[13]</sup>,对茎柔鱼采用基于年龄的资源评估模型较为困难。茎柔鱼全年产卵、洄游范围广、洄游机制尚不清楚<sup>[14]</sup>,定义和区分产卵种群或地理种群比较困难,因此,对东南太平洋的茎柔鱼,目前无法使用复合种群的资源评估模型<sup>[15]</sup>。剩余产量模型虽然概念简单,但是很多情况下可以得到优于复杂模型的更好的评估结果,并且,剩余产量模型只需要产量数据和资源丰度指数数据即可进行模拟,模型参数较少。因此,选择剩余产量模型对东南太平洋茎柔鱼进行评估是合理的。

剩余产量模型的假设之一是在一定的时间内,环境相对稳定,鱼类的环境最大承载力保持不变,即参数  $K$  保持恒定<sup>[16]</sup>。在东南太平洋海域,包括水温在内的海洋环境年间变化大,并受到极端气候事件如厄尔尼诺或拉尼娜的影响<sup>[17]</sup>;对于头足类来说,尤其在其早期生活史阶段,环境对其的存活率影响极显著<sup>[18-19]</sup>。因此,东南太平洋茎柔鱼很难满足环境最大承载力保持不变这一假设。在今后的研究中,应考虑这一事实,将环境因子作为参数结合到剩余产量模型中去,打破参数  $K$  保持恒定这一假设,修改传统 Schaefer 模型,开发基于环境变量的剩余产量模型。

### 4.2 参数估计中贝叶斯方法的使用

使用普通的最大似然法只能得到被估计参数的一个固定值,无法对参数的不确定性进行分析。采用贝叶斯的方法得到参数的后验分布,可以轻易的利用计算机随机抽取参数值模拟管理过程,得到任意多组管理结果。利用贝叶斯的方法能够很好的量化资源评估中的不确定性。

贝叶斯方法存在的争议在于先验分布的选取,选择参数的先验分布可以依据以往的研究结果,也可以参考研究者的主观判断。一方面,我们希望先验分布能够提供可靠的信息,另一方面,先验分布若选择不

合理,会对参数估计结果产生较大影响,甚至出现错误结果。在本研究中,东南太平洋茎柔鱼资源评估方面的参考资料较少,信息不足,因此,在基准方案中,我们选择范围较大的均匀分布,减少先验分布对后验分布的影响,让数据提供足够多的信息。从后验分布来看,参数  $K$  和  $q$  基本满足正态分布,与先验的均匀分布相比发生了很大的改变,说明数据对参数估计提供了丰富的信息;敏感性分析方案下的后验分布与基准方案下的后验分布类似,说明先验分布对参数的影响较小。

### 4.3 东南太平洋茎柔鱼资源和渔业开发状况

根据本研究结果,2003—2012 年间,东南太平洋茎柔鱼的资源量保持在 364 万~415 万吨间,10 年以来的捕捞死亡率都在 0.3 以下,低于  $F_{tar}$ 。基准方案表明,资源的最大可持续产量为 142.9 万吨,2012 年全球产量为 10 年最高,为 92.75 万吨,未达到最大可持续产量。从这些结果上看,茎柔鱼的资源状况良好,渔业开发情况乐观,没有发生过度捕捞。但是自 2009 年以来,由于捕捞强度增加,捕捞死亡率逐年升高,资源量有持续降低的趋势。2003 年全球产量为 10 年最低,仅为 30.47 万吨,2007 年中国大陆产量为 4.64 万吨,为 10 年来最低;2011 年中国大陆产量为 25.06 万吨,占当年全球产量的 28%,产量和占比都为 10 年来最高(见图 4)。

本研究假设初始资源量为 300 万吨,不同的资源量初始值会对模型的结果有所影响,并且,本研究的资源丰度数据来自于中国大陆鱿钓渔船的生产数据,由于东南太平洋沿海国对于 200 海里专属经济区渔业资源具有排他性的开发权,中国大陆渔船的作业区域并没有涵盖整个东南太平洋渔场,这些因素增加了模型结果的不确定性。

### 4.4 管理决策分析

在基准方案下,生物学参考点  $F_{0.1}$  为 0.614,最大可持续产量为 142.865 万吨,管理策略和风险分析指标表明,当捕获率为 0.6 时,管理结束后资源有崩溃的可能性 [ $P(B_{2027} < B_{lim}) = 0.093$ ]。当捕获率设定为 0.3 以下时,资源能够得到较好的养护,管理结束后资源量高于  $B_{msy}$  的可能性较高,资源崩溃的可能性很低。保守的管理策略可将捕获率设定在 0.3 左右,此时的持续产量为 99 万吨左右。

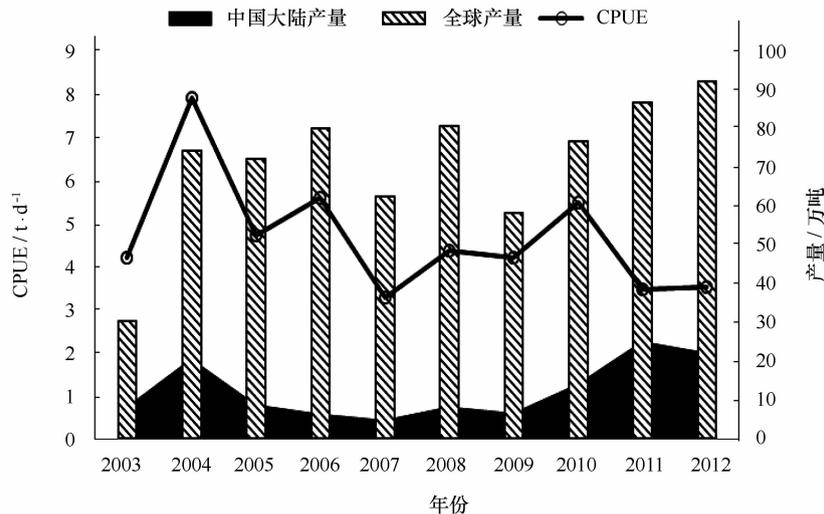


图4 东南太平洋茎柔鱼产量和 CPUE 走势

Fig. 4 The tendency of CPUE and yield of *Dosidicus gigas* in the Southeast Pacific Ocean

## 参考文献:

- [1] 董正之. 世界大洋经济头足类生物学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1991.  
Dong Zhengzhi. World ocean economic cephalopod biology[M]. Ji'nan: Shangdong Science and Technology Press, 1991.
- [2] Waluda C M, Yamashiro C, Elvidge C D, et al. Quantifying light-fishing for *Dosidicus gigas* in the eastern Pacific using satellite remote sensing[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 91(2): 129–133.
- [3] 陈新军, 赵小虎. 秘鲁外海茎柔鱼产量分布及其与表温关系的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(1): 65–70.  
Chen Xinjun, Zhao Xiaohu. Preliminary study on the catch distribution of *Dosidicus gigas* and its relationship with sea surface temperature in the offshore waters of Peru[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2006, 15(1): 65–70.
- [4] Alarcón-Muñoz R, Cubillos L, Gatica C. Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) biomass off central Chile: Effects on Chilean hake (*Merluccius gayi*) [J]. Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep, 2008, 49: 157–166.
- [5] Thomas R, Stewart I, Chu Dezhang, et al. Acoustic biomass estimation and uncertainty of Pacific hake and Humboldt squid in the Northern California current in 2009[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2011, 129(4): 2691–2691.
- [6] 李纲. 东、黄海鲷鱼资源评估及其管理策略风险分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2008.  
Li Gang. The stock estimation and manage strategy risk analyse of *Scomber japonicus* in East Sea and Yellow Sea[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2008.
- [7] Ichii T, Mahapatra K, Okamura H, et al. Stock assessment of the autumn cohort of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the North Pacific based on past large-scale high seas driftnet fishery data[J]. Fisheries Research, 2006, 78(2/3): 286–297.
- [8] 陈新军, 曹杰, 刘必林, 等. 基于贝叶斯 Schaefer 模型的西北太平洋柔鱼资源评估与管理[J]. 水产学报, 2011, 35(10): 1572–1581.  
Chen Xinjun, Cao Jie, Liu Bilin, et al. Stock assessment and management of *Ommastrephes bartramii* by using a Bayesian Schaefer model in the Northwestern Pacific Ocean[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(10): 1572–1581.
- [9] Nevárez-Martínez M O, Morales-Bojórquez E, Cervantes-Valle C, et al. Population dynamics of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the 2002–2008 fishing seasons off Guaymas, Mexico[J]. Fisheries Research, 2010, 106(2): 132–140.
- [10] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.  
Zhan Bingyi. Fishery stock assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [11] 刘必林, 陈新军, 方舟, 等. 利用角质颚研究头足类的年龄与生长[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(6): 930–936.  
Liu Bilin, Chen Xinjun, Fang Zhou, et al. Study of age and growth of cephalopod using their beaks[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(6): 930–936.
- [12] 马金, 刘必林, 陈新军, 等. 利用耳石鉴定头足类年龄与生长研究进展[J]. 海洋渔业, 2009, 31(3): 316–324.  
Ma Jin, Liu Bilin, Chen Xinjun, et al. Advances on using statolith to study age and growth of cephalopod[J]. Marine Fisheries, 2009, 31(3): 316–324.
- [13] 陈新军, 李建华, 刘必林, 等. 东太平洋不同海区茎柔鱼渔业生物学的初步研究[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(2): 280–287.  
Chen Xinjun, Li Jianhua, Liu Bilin, et al. Comparison of fishery biology for *Dosidicus gigas* from three different areas in the Eastern Pacific Ocean [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(2): 280–287.

- [14] 贡艺,李云凯. 基于内壳稳定同位素比值的秘鲁外海茎柔鱼洄游路径初探[C]//2013年中国水产学会学术年会. 合肥,2013.  
Gong Yi, Li Yunkai. A preliminary study on migration patterns of Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) off Peru based on the stable isotopic information in gladius[C]//The Academic Annual Meeting of China Society of Fishery in 2013. Hefei, 2013.
- [15] 官文江,高峰,李纲,等. 复合种群管理的风险评估——以日本鲈为例[J]. 生态学报,2014,34(13): 3682—3692.  
Guan Wenjiang, Gao Feng, Li Gang, et al. Risk evaluation for meta-population management: a case study using chub mackerel[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(13): 3682—3692.
- [16] Sails S B. Behavior of fisheries[J]. BioScience, 1993, 43(1): 57—58.
- [17] 徐冰,陈新军,田思泉,等. 厄尔尼诺和拉尼娜事件对秘鲁外海茎柔鱼渔场分布的影响[J]. 水产学报,2012,36(5): 696—707.  
Xu Bing, Chen Xinjun, Tian Siqun, et al. Effects of El Niño/La Niña on distribution of fishing ground of *Dosidicus gigas* off Peru waters[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(5): 696—707.
- [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 Wei, Chen Xinjun, Yi Qian, 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] 胡振明,陈新军,周应祺,等. 利用栖息地适宜指数分析秘鲁外海茎柔鱼渔场分布[J]. 海洋学报,2010,32(5): 67—75.  
Hu Zhenming, Chen Xinjun, Zhou Yingqi, et al. Forecasting fishing ground of *Dosidicus gigas* based on habitat suitability index off Peru[J]. Haiyang Xuebao, 2010, 32(5): 67—75.

## Stock assessment and management of *Dosidicus gigas* in the Southeast Pacific Ocean with Schaefer model

Xu Luoliang<sup>1,4</sup>, Chen Xinjun<sup>1,2,3,4</sup>, Wang Jintao<sup>1,2,3,4</sup>, Guan Wenjiang<sup>1,2,3,4</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Distance-water Fisheries Engineering Research Center, 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. Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** *Dosidicus gigas* is one of the important economic cephalopod in the world. It is widely distributed in the east of Pacific Ocean. Nowadays the yield of *Dosidicus gigas* occupies more than 50% of the total yield of squid in China mainland. In 2012, the yearly catch in China mainland reached 221.1 thousand tons, the number of fishing vessels are more than 250. It is necessary to assess the stock for making the fishery sustainable. Unfortunately little work is done in this field. The stock assessment and risk analysis of alternative management strategies for *Dosidicus gigas* in the Southeast Pacific Ocean were carried out by using a Bayesian Schaefer model, in which two scenarios, standard scenario and sensitivity analysis scenario, are considered. The Schaefer model was chosen because of the lack of age-data of *Dosidicus gigas* and also because the migration mechanism and stock structure of the squid was very complex which was not completely understood by us. In many cases, Schaefer model performed better than many other more complex models such as age-data based models or metapopulation model. For parameters  $K$  and  $q$  in standard scenario, the posterior distribution are approximately normal distributed. It is totally different with the prior distribution which is set to be uniform distribution. Compared with the two scenarios, the results of posterior distribution of the three parameters are similar. The study indicated that the data of yearly yield and CPUE provided sufficient information for the valuation of model parameters. Under standard scenario, the  $MSY$  (maximum sustainable yield) is 1.429 million tons. To maintain  $MSY$ , the biomass and fishing mortality should be 2.147 million tons and 0.682, respectively. Under sensitivity analysis scenario, the  $MSY$  is 1.525 million tons. To maintain  $MSY$ , the biomass and fishing mortality should be 2.296 million tons and 0.691, respectively. Under both scenarios, the fishing mortalities and yearly catches from 2003 to 2012 were lower than reference points  $F_{0.1}$  and  $MSY$ , and the biomass was greater than target reference point  $B_{msy}$ . Status of resource was good and it was not suf-

fering overexploiting or exploited. We set 7 indexes to evaluate alternative strategies and simulated 1 000 times for every single harvest rates from 0.1 to 0.8. Strategy and risk analysis indicated that when the harvest rate was up to 0.7, the average yearly catches would be decreasing. And when the harvest rate was set below 0.3, the resource could be well protected and the probability of resource collapse would be very low. It is concluded that the harvest rate of 0.3 appears to be the best management regulation and the *MSY* will attain at 990 thousand tons. The harvest rate from 2003 to 2012 were all below 0.3, it was a reason for us to be optimistic for this potential resource. However there were many uncertainty factors in the simulation which should be considered in future studies.

**Key words:** Southeast Pacific Ocean; *Dosidicus gigas*; stock assessment; fisheries management