

# 利用 $\Delta$ -分布模型法评估调查数据带有极端值的 渔业生物的平均资源密度

袁兴伟 姜亚洲 程家骅\*

(中国水产科学研究院东海水产研究所 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090)

**摘 要** 海洋生物的空间分布具有不均匀性, 从而造成底拖网调查数据频数分布显著偏斜。偶尔出现的极端值, 会直接影响资源密度均值和方差的估计。作者根据东海区渔业资源监测调查数据库中资料, 利用  $\Delta$ -分布模型法和调查设计法分别估算了 2005 年夏季的太平洋褶柔鱼 *Todarodes pacificus*、2007 年春季的鳀鱼 *Engraulis japonicus* 以及 2008 年秋季的竹荚鱼 *Trachurus japonicus* 的平均资源密度。结果表明, 利用  $\Delta$ -分布模型法对 3 种鱼类资源密度均值的估算值均低于调查设计法, 且  $\Delta$ -分布模型法对资源密度均值进行估算时的标准误差也相对较小。因此, 针对调查数据中出现极端值的情况, 如果资源密度对数转换后服从正态分布, 那么利用  $\Delta$ -分布模型法对资源密度均值进行估算是一种稳健的评估方法, 值得在渔业评估上进行推广。

**关键词** 底拖网调查 平均资源密度 调查设计法  $\Delta$ -分布模型法 评估效能  
**中图分类号** S931 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)01-0001-07

## Estimating the average stock density with dominating large catches based on $\Delta$ -distribution model

YUAN Xing-wei JIANG Ya-zhou CHENG Jia-hua\*

(East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences,  
Key Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090)

**ABSTRACT** Due to the patchy spatial distribution of marine biota, data collected from bottom trawlers exhibit a skewed distribution with many zero catches and some very large catches. A common problem in the analyses and interpretation of skewed survey data is that, a single immense catch may account for 50% or more of the total catch during the survey. These extreme values not only greatly affect the estimate of the means but also of the variance. Based on the data collected from the bottom trawl survey conducted in the East China Sea, we estimated the average stock density of *Todarodes pacificus* in summer 2005, *Engraulis japonicus* in spring 2007, and *Trachurus japonicus* in autumn 2008 by employing two methods, namely the  $\Delta$ -distribution method and the design-based method. The results revealed that the estimators of the means and the standard er-

中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金中国水产科学研究院东海水产研究所 2008T03 和科技部公益性项目共同资助

\* 通讯作者。E-mail: ziyuan@sh163.net, Tel: (021)65680301

收稿日期: 2010-03-18; 接受日期: 2010-05-13

作者简介: 袁兴伟(1982-), 男, 助理研究员, 主要从事渔业资源评估方面的研究。E-mail: xwyuanhust@sina.com, Tel: (021)65803266

rors of stock density for the three populations based on the  $\Delta$ -distribution were obviously lower than those based on the design-based method. It was concluded that the mean and the standard error would be overestimated using the design-based method. The  $\Delta$ -distribution was more reasonable when the survey data follow lognormal distribution. Therefore,  $\Delta$ -distribution is a robust estimating method and is suggested to be widely usable in further studies.

**KEY WORDS** Bottom trawl survey Mean of stock density Design-based method  
 $\Delta$ -Distribution model Estimator efficiency

底拖网调查是渔业资源调查评估中最常用的方法之一(Gunderson 1993)。由于海洋生物的分布具有不均匀性,从而造成底拖网调查数据的频数分布显著偏斜。底拖网调查数据有两个显著特点:一是部分调查站位无目标鱼种出现,调查数据为零值;二是少数站位的资源密度较其他站位高出数倍,造成数据的频数分布极度偏斜。这些零值或极高值将直接影响评估结果的精确度,是利用底拖网调查数据进行资源密度评估时不可忽视的问题。渔业调查数据可分为两种:第1种是某一网次出现极大值,即该极大渔获量至少占全部渔获量的50%,且为次极大渔获量的数倍;第2种是渔获量频数的分布高度偏斜,但是没有出现极大值。其中,第2种情况是最常见的(Pennington 1996)。

底拖网调查数据的处理与分析,国际上存在两种方法,即基于调查设计的方法(Cochran 1977;Thompson 1997)和基于模型的方法(Taylor 1953;Aichison 1957;Pennington 1983;Smith 1988)。基于调查设计的方法是根据调查取样策略的不同设计而相应地采用不同的数据分析方法,它是直接利用调查取样数据计算调查区域的平均资源密度。而对于模型法,国外学者发展了包含零值在内的 $\Delta$ -分布模型。Pennington(1983、1986、1996)和Smith(1988、1990)对 $\Delta$ -分布模型法在处理渔业资源调查数据方面做了大量的研究。在国内,李凡等(2008)应用该方法评估了我国黄海区小黄鱼和银鲳的资源量。

针对没有极端值出现的情况,袁兴伟等(2009)以2005年东海区刺鲳为例,比较分析了分别利用调查设计法和 $\Delta$ -分布模型法对其评估结果的差异性,即使用调查设计法评估的平均资源密度小于使用 $\Delta$ -分布模型法的估值。如果出现极端值,利用调查设计法计算出来的方差非常大,根据样本数据服从对数正态分布的特点,引入 $\Delta$ -分布模型法评估出现极端值时的平均资源密度。结合东海区渔业资源底拖网调查资料,发现有一定数量的鱼种在某一网次中出现极大值,即调查数据中的第1种情况,这些极大值通常被称为极端值。就这些值提出了不同的处理方式,国外一些学者(Halliday *et al.* 1981;Bates 1987;Harding 1987;Smith 1981)提出以下假设,即摒弃这些极端值(Outlier),或者使用截尾平均数(Trimmed mean)和温塞平均数(Winsorized mean)以消除样本均值受到极端值的影响。虽然这些极端值会导致管理时的不确定性,但是它们反映了鱼类的真实空间分布特征,因此不能被摒弃,故有必要对此类型问题做出进一步探讨和研究。作者选定3种在特殊月份具有该种分布类型的渔业生物种类,即太平洋褶柔鱼 *Todarodes pacificus*、鲷鱼 *Engraulis japonicus* 和竹荚鱼 *Trachurus japonicus*,其中,前二者的极端值占全部渔获值的71.54%和63.21%,非零值部分对数转化后服从正态分布。第3种鱼的极端值占全部渔获值的95.58%,对数转换后不服从正态分布。比较 $\Delta$ -分布模型法与传统的调查设计法对其资源密度的评估结果,找出两种方法的差异,为以后我国渔业研究者更加准确地估算资源量提供方法上的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查数据

采用的数据取自于东海区渔业资源监测调查数据库。调查船为底拽双拖渔轮,功率为183.25kW/艘,网具为100目 $\times$ 4m,网囊网目为2.5cm,平均拖速为2 nmile/h。调查范围为27°00'~34°00'N、禁渔区线以东~127°00'E,站点以0.5° $\times$ 0.5°栅格状均匀设置,调查时间分别为2005年夏季(太平洋褶柔鱼 *T. pacificus*)、

2007 年春季(鳀鱼 *E. japonicus*)以及 2008 年秋季(竹荚鱼 *T. japonicus*),调查船只通常是在 24h 昼夜不间断地进行调查的,每站位渔获随机取样 1 箱(15kg/箱),不足 1 箱全取,带回实验室鉴定种类、称重各种类的渔获量、进行渔业生物学测定,原则上每站拖曳时间设定为 1h,不足 1h 或超过 1h 均标准化为单位小时渔获量(kg/h)。

数据处理采用 SPSS 15.0 统计软件。

## 1.2 平均资源密度的估算

### 1.2.1 基于调查设计法的平均资源密度估算

$$\text{平均资源密度}(\bar{\rho}) : \bar{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n} \quad (1)$$

式中, $\rho_i$  为第  $i$  站的资源密度(kg/h), $n$  为调查站位数总数。

### 1.2.2 基于 $\Delta$ -分布模型法的平均资源密度估算

$\Delta$ -分布考虑到了调查数据经常包含很大比例的零观察值,也考虑到了非零值在内的对数正态分布(Gunderson 1993)。根据对数正态分布的性质,可以进一步给出  $\Delta$ -分布的均值和方差的最小方差无偏估计值(McConnaughey *et al.* 1992)。其基本方法和计算式如下:

设  $\rho_i$  为第  $i$  站的资源密度(kg/h),当  $\rho_i \neq 0$  时,按  $y_i = \ln \rho_i$  进行自然对数转换。 $\Delta$ -分布的均值( $c$ )和方差的最小方差无偏估计值( $d$ )计算式见 Aichison(1957),Pennington(1996)。

$$c = \frac{m}{n} \exp(\bar{y}) g_m\left(\frac{s^2}{2}\right) \quad (2)$$

$$d = \frac{m}{n} \exp(2\bar{y}) \left\{ g_m(2s^2) - \left(\frac{m-1}{n-1}\right) g_m\left(\frac{m-2}{n-1} s^2\right) \right\} \quad (3)$$

式中, $n$  为调查站位总数; $m$  为渔获量为非零值的站位数; $\bar{y}$  为  $y_i$  的样本均值; $\rho_i$  为未转化的单个站位的资源密度, $s^2$  为  $y_i$  的样本方差; $g_m(t)$  为  $m$  和  $t$  的函数,其计算公式为:

$$g_m(t) = 1 + \frac{m-1}{m} t + \sum_{j=2}^{\infty} \frac{(m-1)^{2j-1}}{m^j \prod_{i=2}^j (m+2j-3)} \cdot \frac{t^j}{j!} \quad (4)$$

式(4)为一超几何分布函数。利用无穷级数的收敛性,可知随着  $j$  值的增大, $g_m(t)$  趋近于一常数。而  $\text{var}(c)$  的最小方差无偏估计值(McConnaughey *et al.* 1992)为:

$$\text{var}_{\text{est}}(c) = \frac{m}{n} \exp(2\bar{y}) \left\{ \frac{m}{n} g_m^2\left(\frac{s^2}{2}\right) - \left(\frac{m-1}{n-1}\right) g_m\left(\frac{m-2}{n-1} s^2\right) \right\} \quad (5)$$

### 1.2.3 $\Delta$ -分布模型法的评估效能

由于  $c$  是最小方差无偏估计,则  $\text{var}(c) \leq \text{var}(\bar{\rho})$ ,通常以“效能”来表达,即  $\Delta$ -分布模型法相对调查设计法的评估效能(Smith 1988)为:

$$\eta = \frac{\text{var}(c)}{\text{var}(\bar{\rho})} \times 100\% \quad (6)$$

式中, $\text{var}(c)$  为  $\Delta$ -分布模型法评估均值的方差, $\text{var}(\bar{\rho})$  为调查设计法评估均值的方差。显然, $\eta$  值越小,说明模型的评估效果越好。令  $\delta = \frac{m}{n}$ ,则  $\text{var}(\bar{\rho})$  的计算式(Pennington 1996)为:

$$\text{var}(\bar{\rho}) = \delta \frac{\exp(2\mu + \sigma^2)}{n} [\exp(\sigma^2) - \delta] \quad (7)$$

而  $c$  的方差的近似值(Pennington 1996)等于:

$$\text{var}(c) = \frac{\exp(2\mu + \sigma^2)}{n} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n m^2 \binom{n}{m} \delta^m (1-\delta)^{n-m} [\exp(\sigma^2/m) g_m(\sigma^2/2m) - 1] + \delta(1-\delta) \right\} \quad (8)$$

式中, $\mu$  为非零值资源密度经自然对数转化后的总体均值, $\sigma^2$  为非零值资源密度经自然对数转化后的总体

方差。

## 2 结果

### 2.1 资源密度分布

2005年夏季调查的110个站位中,出现太平洋褶柔鱼的有63个,出现率为57.27%。其中,有49个站位的资源密度小于1.00kg/h,13个站位的资源密度介于1.00~5.00kg/h之间,1个站位的资源密度为97.92kg/h。极大值是次极大值的21.77倍,且占总体的71.54%。目标鱼种没有出现的站位的资源密度以零计算(下同)。取6个实数点0、1、2、3、4、5,将数据分为7组,其所代表的资源密度依次为0、0~1.00、1.00~2.00、2.00~3.00、3.00~4.00、4.00~5.00kg/h和大于5.00kg/h,其中,各组区间值包含上限而不包含下限(下同)。频数分布如图1-a所示。

2007年春季调查的112个站位中,出现鲷鱼的有51个,出现率为45.54%。其中,有38个站位的资源密度小于0.70kg/h,12个站位的资源密度介于1.10~4.00kg/h之间,1个站位的资源密度为56.36kg/h。极大值是次极大值的14.09倍,且占总体的63.21%。拟选取5个实数点0、1、2、3、4,将数据分为6组,其所代表的资源密度依次为0、0~1.00、1.00~2.00、2.00~3.00、3.00~4.00、4.00~5.00kg/h和大于5.00kg/h。频数分布如图1-b所示。

2008年秋季调查的71个站位中,出现竹荚鱼的有29个,出现率为40.86%。其中,有19个站位的资源密度小于1.00kg/h,9个站位的资源密度介于1.00~17.00kg/h之间,1个站位的资源密度为 $1.04 \times 10^3$ kg/h。极大值是次极大值的62.05倍,且占总体的95.58%。拟选取6个实数点0、1、2、3、4、5,将数据分为7组,其所代表的资源密度依次为0、0~4.00、4.00~8.00、8.00~12.00、12.00~16.00、16.00~20.00kg/h和大于20.00kg/h。频数分布如图1-c所示。

以上3种鱼除出现一定比例的零值外,其空间分布有一个共同特征,即在出现的站位中,有一个站位的资源密度非常大,而其余站位的资源密度相对较小。

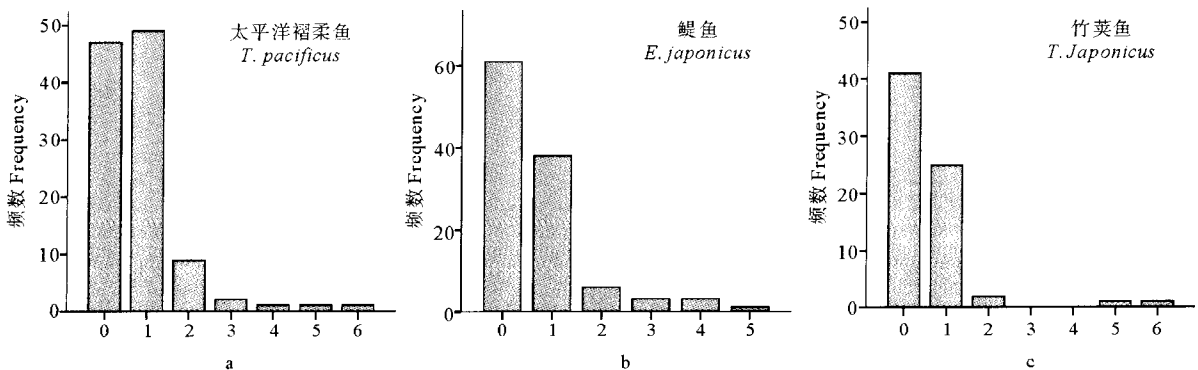


图1 东海区太平洋褶柔鱼、鲷鱼、竹荚鱼资源密度的频数分布

Fig. 1 Frequency distribution of stock density of *T. pacificus*, *E. japonicus*, and *T. japonicus* in the East China Sea

由图1可见,太平洋褶柔鱼、鲷鱼和竹荚鱼的资源密度在频数分布上极不均匀,且三者的资源密度频数分布明显偏斜,分散性比较大,离散分布的少数高密度值形成极不对称的右长尾。经SPSS中的单样本Kolmogorov-Smirnov正态性检验发现,三者的双尾渐进显著性概率均小于0.05,这表明,拖网调查数据均不服从正态分布。

### 2.2 调查设计法和 $\Delta$ -分布模型法资源密度均值的估算差异

由于太平洋褶柔鱼、鲷鱼和竹荚鱼的资源密度频数分布具有明显的右偏性,根据 $\Delta$ -分布模型法的要求,对

调查数据中的非零值取自然对数。图 2 展示了 3 种类资源密度(非零值部分)通过自然对数转换后的分布情况。之所以出现负值,是因为其相应的资源密度小于 1kg/h。利用 SPSS 中的单样本 Kolmogorov-Smirnov 正态性检验(表 1),发现其双尾渐进显著性概率依次为 0.45、0.50 和 0.02,前二者的概率值均大于 0.05,认为取自然对数后太平洋褶柔鱼和鲷鱼的非零值资源密度服从正态分布。而竹荚鱼的显著性概率值小于 0.05,认为取自然对数后竹荚鱼不服从正态分布。

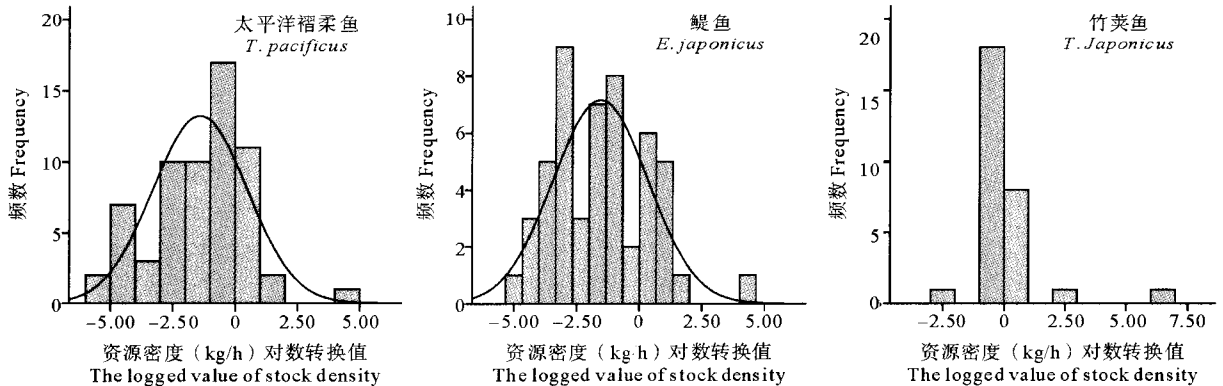


图 2 东海区太平洋褶柔鱼、鲷鱼和竹荚鱼资源密度样本自然对数值的分布

Fig. 2 The logarithms-transformed distribution of stock density of *T. pacificus*, *E. japonicus*, and *T. japonicus* in the East China Sea

表 2 给出了基于  $\Delta$ -分布模型法和基于调查设计法对太平洋褶柔鱼、鲷鱼和竹荚鱼的平均资源密度的估值结果以及  $\Delta$ -分布模型法的评估效能。利用  $\Delta$ -分布模型法评估上述 3 种鱼的平均资源密度明显低于利用调查设计法评估的平均资源密度值,其相对比值依次为 1.55、1.48 和 6.52。而利用  $\Delta$ -分布模型法得出的标准误差( $se_d$ )均小于调查设计法的标准误差( $se_s$ ),且  $[\text{var}_{est}(c)]^{1/2}$  均小于  $se_d$ 。

表 1 单样本 Kolmogorov-Smirnov 检验

Table 1 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

种名 Species	太平洋褶柔鱼 <i>T. pacificus</i>	鲷鱼 <i>E. japonicus</i>	竹荚鱼 <i>T. japonicus</i>
样本数 N Number of samples	63	51	29
双尾渐进显著性概率 Asymp. Sig. (2-tailed)	0.45	0.50	0.02

表 2 东海区太平洋褶柔鱼、鲷鱼和竹荚鱼资源密度的均值估计、标准误差及效能

Table 2 Estimators of the mean and the standard errors, relative efficiency of  $\bar{\rho}$  and  $c$  on the stock density of *T. pacificus*, *E. japonicus*, and *T. japonicus* in the East China Sea

	$n$	$m$	$\bar{\rho}$	$se_c$	$se_d$	$c$	$[\text{var}_{est}(c)]^{1/2}$	$\eta(\%)$
太平洋褶柔鱼 <i>T. pacificus</i>	110	63	1.24	0.89	0.59	0.80	0.30	28.94
鲷鱼 <i>E. japonicus</i>	112	51	0.80	0.61	0.50	0.54	0.22	29.29
竹荚鱼 <i>T. japonicus</i>	71	29	15.26	14.58	3.07	2.34	1.33	

$n$ : 总站位数;  $m$ : 渔获量为非零值的站位数;  $\bar{\rho}$ : 样本均值(kg/h);  $se_c$ : 样本标准误差;  $se_d$ : 基于对数正态模型的标准误差;  $c$ :  $\Delta$ -分布模型法的均值;  $[\text{var}_{est}(c)]^{1/2}$ : 均值  $c$  的标准误差;  $\eta$ : 效能

$n$ : total number of survey stations;  $m$ : number of nonzeros;  $\bar{\rho}$ : sample mean;  $se_c$ : sample standard error;  $se_d$ : standard error based on a lognormal model;  $c$ : estimate of the mean based on a lognormal model;  $[\text{var}_{est}(c)]^{1/2}$ : its estimated standard error;  $\eta$ : efficiency

### 3 讨论

在我国东海区底拖网调查中,调查站点为  $0.5^\circ\text{N} \times 0.5^\circ\text{E}$  栅格状均匀分布且覆盖整个评价海域,因生物的空间分布具有不均匀性,往往个别站点出现一定极端值。以太平洋褶柔鱼为例,它主要栖居的海域环境为岛屿

周围、半岛外海海域附近、大陆架边缘和陡倾海岸边缘,最集中地分布在日本列岛周围海域,其他水域相对稀少(郑元甲等 2003)。如果使用算术平均值估算均值,考虑到算术平均数对极端值的敏感性,则相应的方差将会非常大,因此评估的精度也比较低。

理论上,可以通过增加调查站位个数(获取更多的样本数)以减弱极端值对均值和方差估计值的影响,但渔业资源调查耗费较大,增加调查站位个数往往是不可行的(Gunderson 1993)。当渔业调查数据中出现极端值时,使用调查设计法来估算资源密度均值存在两个弊端。首先,在调查设计法中利用算术平均值求出来的均值对极端值非常敏感,进而导致估算效能较差,通常使估算均值明显高于真实值,且估算均值的方差比较大。其次,极端值的出现导致渔业调查数据频数分布显著偏斜,调查设计法估算的均值的分布不是正态的,进而无法计算均值估值的置信区间(Pennington 1996)。 $\Delta$ -分布模型法则在一定程度上克服了调查设计法的上述两种弊端。利用其对资源密度均值进行估算时的方差相对较小,因此它是一种相当稳健的评估方法(Pennington 1991; Conquest *et al.* 1996)。

针对渔业数据中出现的极端值, $\Delta$ -分布模型法把它们视为鱼类空间分布的真实反映,在数据分析过程中没有将其丢弃,而是作为对数正态分布的一部分,通过对数转化后,降低这些极端值所占的权重(调查设计法估算均值时赋予每个资源密度值相等权重),从而导致了 $\Delta$ -分布模型法估算出来的均值小于调查设计法。在没有极端值出现、但渔业调查数据的频数分布仍明显偏斜的情况下,利用 $\Delta$ -分布模型法对均值的估值高于调查设计法。Pennington(1996)认为出现这种现象与该种分布类型的中位数小于均值有关,致使调查设计法的估算效能较差,其估算值明显低于真实值。这种观点已在渔业相关研究领域中得到验证(李凡等 2009; 袁兴伟等 2009)。

从根本上讲,各种模型的估算结果仅能在不同程度上接近于事实,但均不能真实地反映事实。各种模型均有其特定的适用范围。在对有极端值出现的渔业调查数据评估的过程中, $\Delta$ -分布模型法虽较调查设计法有更高的估算效能,但在其使用过程中也存在一定局限性,当样本量较小时,调查数据对数转换后未必服从正态分布,则不能适用该方法进行均值估算。

对于上述不同年份的3种鱼类的渔获量值,之所以随着平均资源密度比值 $\bar{\rho}/c$ 的减小, $\Delta$ -分布模型法的评估效能逐步提高,是因为 $\bar{\rho}/c$ 值越大,则用调查设计法计算的误差就越大,从而导致 $\text{var}(c)/\text{var}(\bar{\rho})$ 越小,即相对效能值也越低。虽然竹荚鱼是中上层鱼类,但我们这里讨论的侧重点是方法上的研究。

由于2008年秋季的竹荚鱼资源密度非零值部分取对数后不服从正态分布,则无法利用 $\Delta$ -分布模型法来准确评估其均值和效能。针对类似于2008年秋季的竹荚鱼的例子,即渔获量中非零值部分取对数后不服从正态分布,该如何评估其资源密度的均值,是我们今后需要进一步研究的问题。

## 参 考 文 献

- 李凡,李显森,赵宪勇. 2008. 底拖网调查数据的Delta-模型分析及其在黄海小黄鱼和银鲈资源分布评估中的应用. 水产学报,32(1): 145~151
- 郑元甲,陈雪忠,程家骅,王云龙,沈新强,陈卫忠,李长松. 2003. 东海大陆架生物资源与环境. 上海:上海科技出版社,694~698
- 袁兴伟,姜亚洲,严利平. 2009. 东海区刺鲃资源密度不同估算方法的差异比较. 海洋渔业,31(1): 10~15
- Aichison, J., and Brown, A. C. 1957. The lognormal distribution, with special reference to its uses in economics. Cambridge University Press, 176~179
- Bates, R. D. 1987. Estimation of egg production, spawner biomass and egg mortality for walleyes pollock, *Theragrachalcogramma*, in Shelikof Strait from ichthyoplankton surveys during 1981. NMFS Alaska Fish. Sci. Cent., Seattle, 192: 87~20
- Blackwood, L. G. 1991. The quality of mean and variance estimates for normal and lognormal data when the underlying distribution is misspecified. J. Chemometrics, 5: 263~271
- Cochran, W. G. 1977. Sampling techniques, 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley and Sons
- Gunderson, D. R. 1993. Surveys of fisheries resources. New York: John Wiley and Sons, 1~31
- Halliday, R. G., and Koeller, P. A. 1981. A history of Canadian groundfish trawling surveys and data usage in ICNAF divisions 4TVWX. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 58: 27~41
- Harding, G. C., Pringle, J. D., Vass, W. P., Pearre, S., and Smith, S. J. 1987. Vertical distribution and daily movements of larval lobsters *Homarus*

- americanus* over Browns Bank, Nova Scotia. Mar. Ecol. Prog. Ser. 41: 29~41
- Hiroaki, O., and Hiroshi, S. 2006. Japanese longline CPUE for bigeye tuna in the Indian Ocean up to 2004 standardized by GLM applying gear material information in the model. IOTC-WPTT-17, 16
- Jolly, G. M., and Hampton, I. 1990. A stratified random transect design for acoustic surveys of fish stocks. Can. J. Fish Aquat. Sci. 47: 1 282~1 291
- McConnaughey, R. A., and Conquest, L. L. 1992. Trawl survey estimation using a comparative approach based on lognormal theory. Fish. Bull. 91: 107~118
- Myers, R. A., and Pepin, P. 1990. The robustness of lognormal-based estimators of abundance. Biometrics, 46: 1 185~1 192
- Otto, R. S. 1986. Management and assessment of eastern Bering Sea king crab stocks. Can. Spec. Publ. Aquat. Sci. 92: 83~106
- Pennington, M. 1983. Efficient estimators of abundance, for fish and plankton surveys. Biometrics, 39: 281~286
- Pennington, M. 1986. Some statistical techniques for estimating abundance indices from trawl surveys. Fish. Bull. 84: 519~525
- Pennington, M. 1991. On testing the robustness of lognormal-based abundance estimators. Biometrics, 47: 1 623
- Pennington, M. 1996. Estimating the mean and variance from highly skewed marine data. Fish. Bull. 94: 498~505
- Smith, S. J. 1981. STRAP: A user-oriented computer analysis system for groundfish research trawl survey data. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1 030, 66
- Smith, S. J. 1988. Evaluating the efficiency of the  $\Delta$ -distribution mean estimator. Biometrics, 44: 485~493
- Smith, S. J. 1990. Use of statistical models for the estimation of abundance from groundfish yrawl design data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47: 894~903
- Stefansson, G. 1996. Analysis of groundfish survey abundance data; combing the GLM and delta approaches. ICES Journal of Marine Science, 53: 577~588
- Taylor, C. C. 1953. Nature of variability in trawl catches. Fishery Bulletin, 54: 145~166
- Thompson, M. E. 1997. Theory of sample designs. London; Chapman and Hall