

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16223

## 黄河口两种鱼类资源密度不同估算方法的比较

刘健, 张崇良, 薛莹, 徐宾铎, 任一平

中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003

**摘要:** 以黄河口海域矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)和短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)两种鱼类为例, 根据 2013、2014 年间 4 个季节月的调查数据, 将 $\Delta$ -分布模型法用于底拖网数据处理, 比较基于模型和基于调查设计的两种方法在估算平均资源密度方面的差异, 并初步探讨了影响 $\Delta$ -分布模型法评估效果因素。结果表明, 对于 8 月和 10 月的矛尾虾虎鱼调查数据, 模型法估计的资源密度值小于设计法的估计值, 根据其余 6 组数据计算的资源密度均为模型法更高, 数据量和数据分布特征可能是影响 $\Delta$ -分布模型评估结果的重要因素; 8 组数据计算所得方差模型法均明显低于设计法; 极大值和零值对 $\Delta$ -分布模型的评估结果有不同的影响。 $\Delta$ -分布模型是一个稳健的模型, 处理数据波动性更小, 估计值具有更高的精确度, 是一种适于底拖网数据处理和资源评估的模型。

**关键词:** 资源密度; 资源评估;  $\Delta$ -分布模型; 黄河口

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)04-0845-08

渔业资源的数量、空间变动及评估对渔业资源管理和可持续利用具有重要意义。平均资源密度是对海域总体资源状况评估的重要指标, 估算资源密度使用的数据常来自底拖网调查。渔业资源调查设计以及数据处理包括基于设计和基于模型两种方法, 设计法视调查海域内种群是固定的, 认为样本是其中的一组随机数据, 根据已获得调查数据通过算术平均推算估计值; 模型法将种群视为动态的, 认为种群符合某种分布, 而样本是种群分布中某一表现形式的反映, 在对调查数据分析时考虑其遵循的数据分布形式<sup>[1]</sup>。

渔业资源调查耗费巨大等特性决定了其大规模开展受到诸多的限制<sup>[2]</sup>, 而生物资源在海洋中的分布并不均匀, 所以即使是相对集中的调查也会受到影响进而出现某些站位取样值为零(简称零值)或者某些站位取样值是其他站位数倍(简称极大值)的情况。尽管极端值会对数据分析和资源管理带来不确定性, 但其是对生物资源在自然环境中

分布的真实反映, 不可随意剔除, 对调查数据进行模型化处理是减小其影响的一个可行方法<sup>[3]</sup>。 $\Delta$ -分布模型法是国际上广泛接受的渔业数据处理有效方法, 该方法通过对非零值的对数化处理来降低零值和极大值对总体均值估计的影响<sup>[4-11]</sup>。决定海洋资源状况的因素大多具有乘法效应<sup>[4]</sup>, Aitchison<sup>[5]</sup>等根据中心极限定理, 认为海洋数据可以使用对数正态分布的方法来处理<sup>[6]</sup>, 并在此基础上发展、提出了 $\Delta$ -分布模型法, 该模型也可用于其他生态学数据的处理。Pennington 等<sup>[3-4, 7-9]</sup>、Smith 等<sup>[10-11]</sup>验证 $\Delta$ -分布模型法的使用并研究其稳健性, 国内学者李凡等<sup>[12]</sup>、袁兴伟等<sup>[13-16]</sup>对 $\Delta$ -分布模型评估资源密度效果进行了相关研究。

矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)和短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)是黄河口及其邻近水域两种常见的优势种<sup>[17-19]</sup>, 具有重要的生态意义, 但调查数据显示其空间分布不均匀, 零值站位和极大值站位在调查过程中经常出现, 影响其

收稿日期: 2016-07-26; 修订日期: 2016-09-29.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201303050).

作者简介: 刘健(1993-), 男, 硕士生, 主要从事渔业资源与生态学研究. E-mail: 396387443@qq.com

通信作者: 徐宾铎, 副教授. E-mail: bdxu@ouc.edu.cn

资源状况的评估。

本文以 2013 年 8、10 月和 2014 年 2、5 月黄河口渔业资源底拖网调查数据为例,应用调查设计法(以下简称设计法)和 $\Delta$ -分布模型法(以下简称模型法)估算了该海域矛尾虾虎鱼和短吻红舌鲷两种鱼类资源密度,通过对两种方法所得结果比较,分析两者异同,并探讨了影响 $\Delta$ -分布模型评估效果的潜在因素,以期为更好利用该模型以及为渔业资源的评估、管理和可持续利用提供参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 数据来源

本文数据来源于 2013 年 8、10 月和 2014 年 2、5 月在黄河口及邻近海域进行的渔业资源底拖网调查。根据黄河口海域的特点,以黄河入海口为中心,呈辐射状设置 5 条断面,共 18 个站位(图 1)。调查船功率 260 kW,拖网网口周长 30.6 m,拖曳时网口宽度 8 m,囊网网目 20 mm。原则上每站位拖曳 0.5 h,拖速 2~3 kn。调查样品的处理、测定和分析均参照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)。

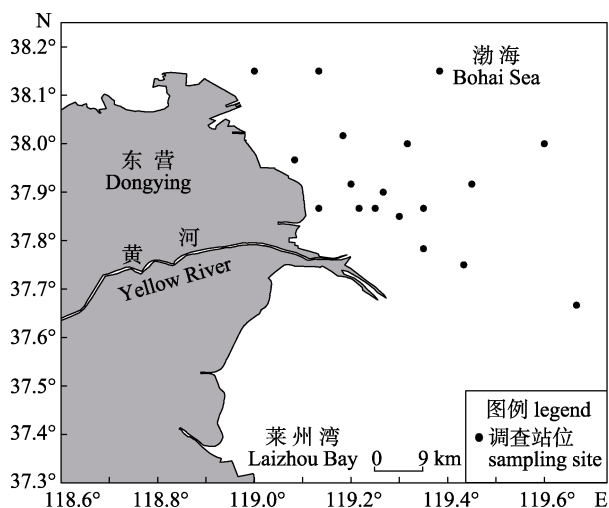


图 1 黄河口及邻近水域渔业资源底拖网调查站位  
Fig. 1 Sampling stations of bottom trawl survey in the Yellow River Estuary and its adjacent waters

### 1.2 底拖网调查数据的处理方法

**1.2.1 调查站位资源密度计算** 应用扫海面积法<sup>[20]</sup>计算各调查站位渔业资源密度,即根据各站位拖网的渔获量、拖网扫海面积以及不同种类的可捕

系数进行计算。本研究中拖速为 2 kn、拖网时间 1 h 的扫海面积是 0.03 km<sup>2</sup>。矛尾虾虎鱼和短吻红舌鲷均为底栖鱼类,本文中将其可捕系数定为 0.8<sup>[20]</sup>。

**1.2.2 基于调查设计的方法** 本研究中调查站位的断面设置属于整群抽样设计,其海域平均资源密度及其方差的计算按照整群抽样的计算公式<sup>[21]</sup>进行。

**1.2.3  $\Delta$ -分布模型法**  $\Delta$ -分布模型是一种包含零值在内的对数正态分布模型,它能较好地处理数据中的极端值。使用 $\Delta$ -分布模型的前提是数据的非零值部分符合对数正态分布,即数据的非零值经过自然对数转换后符合正态分布<sup>[5]</sup>。首先,对调查获得数据的非零值部分进行自然对数转换,对转换后的数据进行正态性检验。如果数据服从正态分布,则使用 $\Delta$ -分布模型对数据进行处理。

对矛尾虾虎鱼和短吻红舌鲷各季节的资源密度值进行自然对数转换,并进行单样本 Kolmogorov-Smirnov 正态性检验,以判断对数转换后的资源密度数据是否符合正态分布。

$\Delta$ -分布模型的均值  $\bar{\rho}_k$  (即所有站位平均资源密度的估算值)及其方差计算公式是 Aichison 等<sup>[5]</sup>于 1957 年提出, Hoyle<sup>[22]</sup>提出了其方差的最小无偏估计值计算方法。

**1.2.4 极大值的识别方法** 采用四分位数法识别数据中的极大值。定义  $Q_1$ 、 $Q_3$  分别为第 1、第 3 四分位数(即 25 和 75 百分位数),定义  $R$  为四分位极差,  $Q_3+1.5R$  为数据的上截断点,大于上截断点的数据为极大值<sup>[23]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 资源密度时空分布特征

矛尾虾虎鱼资源密度分布情况如图 2a 所示,矛尾虾虎鱼资源密度在黄河口及其邻近水域存在明显的时空变化。矛尾虾虎鱼广泛分布在调查海域,生物量高值区集中在河口及近岸水域。其资源密度频数分布直方图更直观地表现出其在空间分布上的不均匀性,资源密度的频数分布离散且明显右偏,零值和较小值占多数,少数大值形成偏斜的右长尾,不符合正态分布(图 3a)。在时间

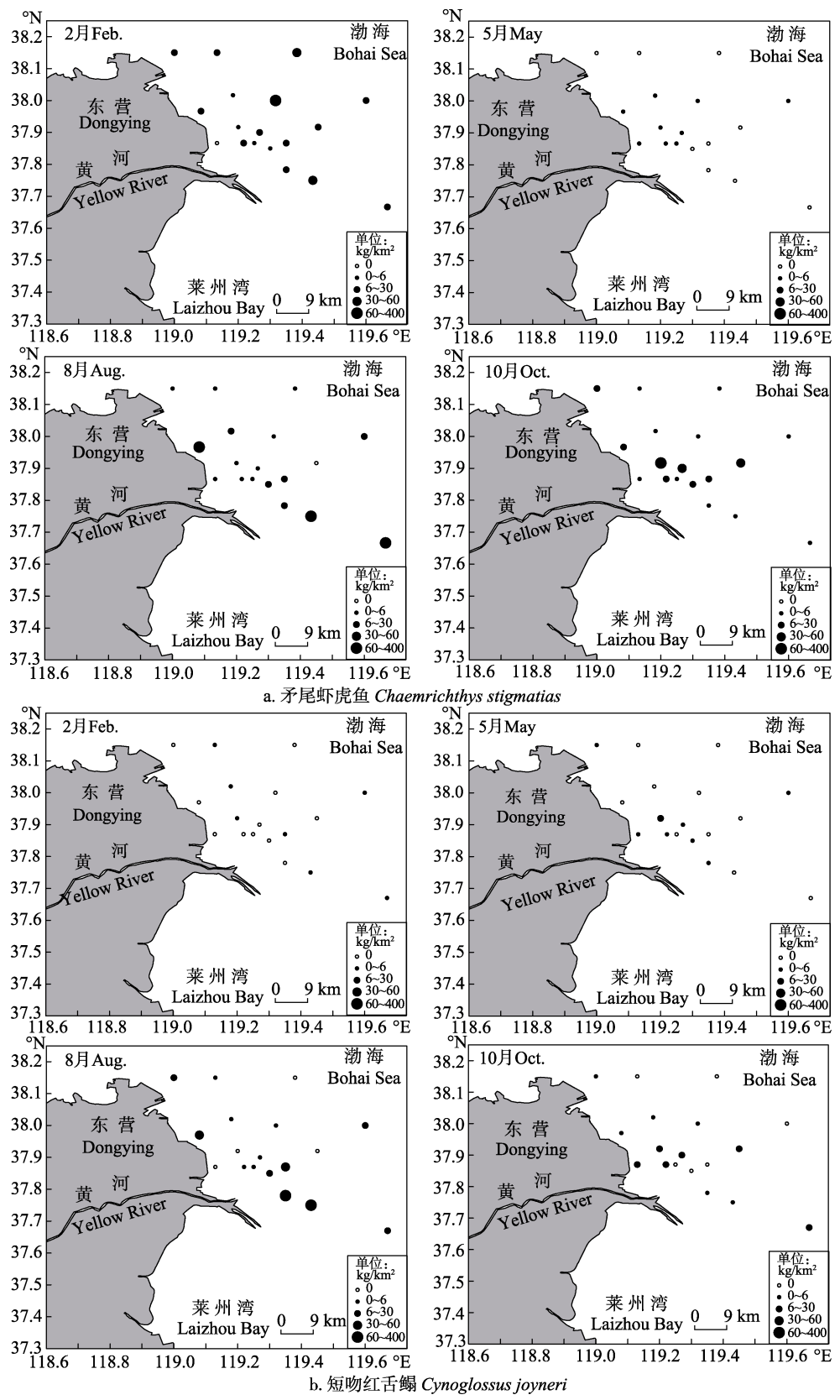


图 2 黄河口及其邻近水域矛尾虾虎鱼和短吻红舌鲷资源密度空间分布  
Fig. 2 Spatial distribution of resources density of *Chaemrichthys stigmatias* and *Cynoglossus joyneri* in the Yellow River estuary and its adjacent waters

变化上,2月、5月、8月和10月的平均资源密度分别为 $(19.50\pm5.06)$   $\text{kg}/\text{km}^2$ 、 $(0.75\pm0.27)$   $\text{kg}/\text{km}^2$ 、 $(37.55\pm21.27)$   $\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $(16.80\pm6.63)$   $\text{kg}/\text{km}^2$ ;5月份矛尾虾虎鱼密度明显低于其余月份,8月份其资源

密度出现峰值。5月零值站位数占总调查站位数50%,2月、8月零值站位数比例均为6%,10月无零值站位。根据四分位数法分析所得的数据中极大值分布情况如图4a所示,各月均有极大值出现。

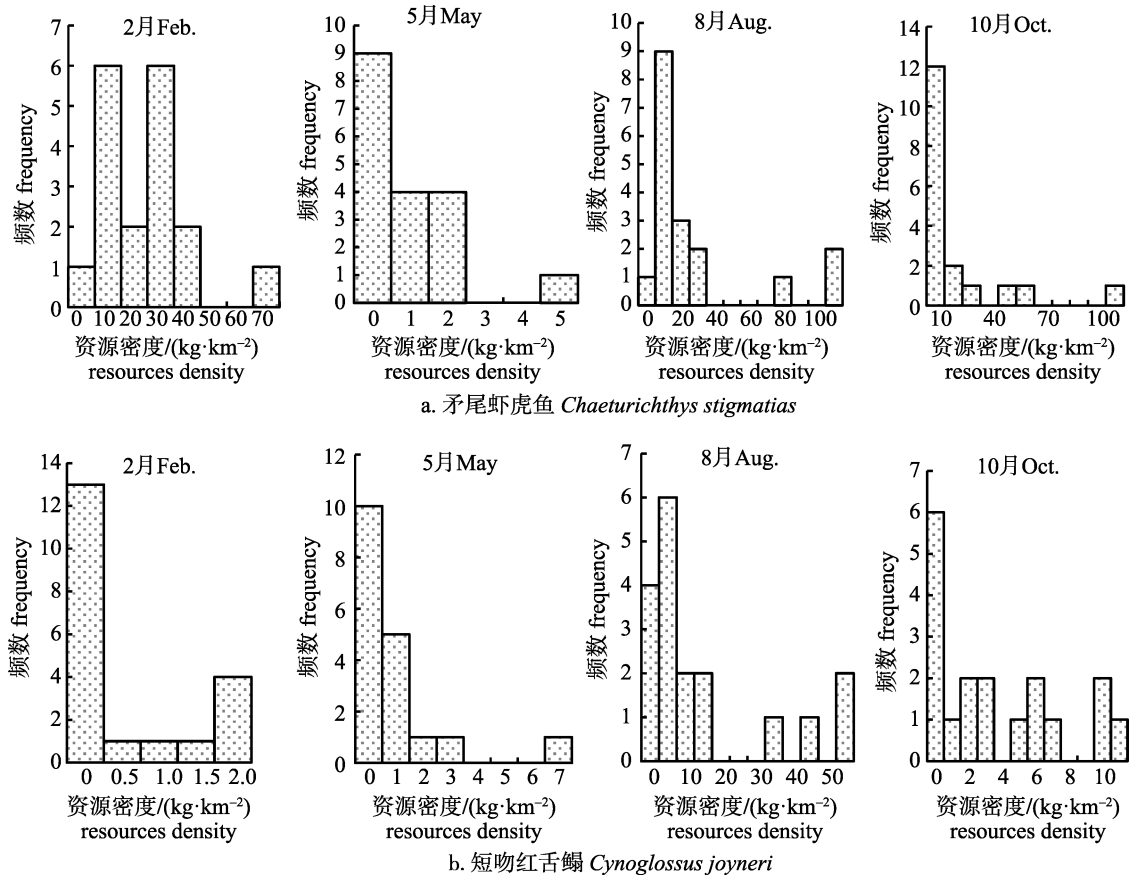


图 3 黄河口及其邻近水域矛尾虾虎鱼和短吻红舌鲷资源密度频数分布  
Fig. 3 Frequency distribution of resources density of *Chaemrichthys stigmatias* and *Cynoglossus joyneri* in the Yellow River estuary and its adjacent waters

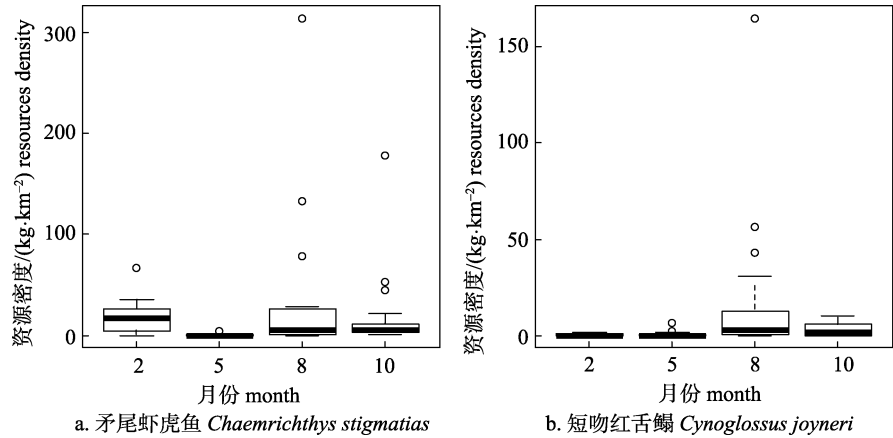


图 4 矛尾虾虎鱼和短吻红舌鲷资源密度极大值分布情况  
Fig. 4 Distribution of maximum for *Chaeturichthys stigmatias* and *Cynoglossus joyneri*

短吻红舌鲷各月资源密度分布情况如图 2b 所示。短吻红舌鲷在黄河口及其邻近水域的分布呈现出明显的空间异质性。资源密度调查数据中零值比例较高, 2 月、5 月、8 月和 10 月的零值站位比例分别为 61%、56%、22%和 33%。近河口区、河口区南部海域和北部沿岸区是其集中分布区域。其资源密度频数分布直方图明显右偏, 零值和极小值占多数, 少数大值形成右长尾, 不服从正态分布(图 3b)。在时间变化上, 8 月份的平均资源密度值明显高于其他月份。四分位数法计算的结果显示, 2 月、10 月数据中无极大值出现, 5 月、8 月分别有 2 个和 3 个极大值(图 4b)。

单样本 Kolmogorov-Smirnov 正态性检验表明, 两种鱼的 8 组数据正态性双侧渐进显著性概率( $P$ )范围为 0.114~0.996(表 1), 均大于 0.05, 说明其非零值经对数转换后在统计上服从正态分布, 符合使用  $\Delta$ -分布模型的条件, 可以使用  $\Delta$ -分布模型法对数据进行进一步的处理分析。

2.2 平均资源密度估计

表 2、表 3 是矛尾虾虎鱼和短吻红舌鲷各月平均资源密度、方差的最小无偏估计值和 95%置信区间。对于矛尾虾虎鱼 8、10 月数据, 模型法估计值低于设计法, 其中 10 月减小幅度为 17.28%;

表 1 矛尾虾虎鱼和短吻红舌鲷资源密度对数转换值单样本 Kolmogorov-Smirnov 正态性检验结果

Tab. 1 One-sample Kolmogorov-Smirnov tests for data normality of the resources density of *Chaeturichthys stigmatias* and *Cynoglossus joyneri*

| 月份<br>month | 调查站位数 $N$<br>numbers of sampling station | $N_1$ | $P_1$ | $N_2$ | $P_2$ |
|-------------|------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 2 月 Feb.    | 18                                       | 17    | 0.541 | 7     | 0.827 |
| 5 月 May     | 18                                       | 9     | 0.853 | 8     | 0.524 |
| 8 月 Aug.    | 18                                       | 17    | 0.996 | 14    | 0.114 |
| 10 月 Oct.   | 18                                       | 18    | 0.878 | 12    | 0.896 |

注:  $N_1$ 、 $N_2$  分别表示矛尾虾虎鱼和短吻红舌鲷调查数据中非零值站位数,  $P_1$ 、 $P_2$  分别表示其正态性双侧渐进显著性概率。  
Note:  $N_1$  and  $N_2$  mean the numbers of non-zero stations of *C. stigmatias* and *C. joyneri*, respectively, and  $P_1$  and  $P_2$  mean the rates of normality bilateral progressive significance.

对于其余 6 组数据, 模型法的平均资源密度估计值高于设计法, 其中短吻红舌鲷 2 月数据增幅最大为 19.61%。模型法的资源密度估计值方差在各月中表现出一致性, 均远低于设计法, 其中对于矛尾虾虎鱼 8 月、10 月以及短吻红舌鲷 5、8 月数据, 二者方差相差约 10 倍。模型法的置信区间远窄于设计法, 具有较高的精确度, 且设计法在多数情况下置信区间的下限为负值, 已无实际参考价值。

表 2 矛尾虾虎鱼平均资源密度不同方法计算结果  
Tab. 2 Mean resources density of *Chaeturichthys stigmatias* estimated with different methods

| 月份<br>month | 基于调查设计方法 design-based method |             |                | $\Delta$ -分布模型法 $\Delta$ -distribution model method |             |                | kg/km <sup>2</sup> |
|-------------|------------------------------|-------------|----------------|-----------------------------------------------------|-------------|----------------|--------------------|
|             | 均值 mean                      | 方差 variance | 95%置信区间 95% CI | 均值 mean                                             | 方差 variance | 95%置信区间 95% CI |                    |
| 2 月 Feb.    | 18.50                        | 57.88       | 3.59, 33.41    | 19.50                                               | 25.65       | 9.57, 29.42    |                    |
| 5 月 May     | 0.74                         | 0.35        | -0.42, 1.89    | 0.75                                                | 0.075       | 0.21, 1.28     |                    |
| 8 月 Aug.    | 38.05                        | 4621.68     | -95.20, 171.30 | 37.55                                               | 452.41      | -4.14, 79.23   |                    |
| 10 月 Oct.   | 20.31                        | 520.55      | -24.41, 33.41  | 16.80                                               | 43.90       | 3.81, 29.79    |                    |

表 3 短吻红舌鲷平均资源密度不同方法计算结果  
Tab. 3 Mean resources density of *Cynoglossus joyneri* estimated with different methods

| 月份<br>month | 基于调查设计的方法 design-based method |             |                | $\Delta$ -分布模型法 $\Delta$ -distribution model method |             |                | kg/km <sup>2</sup> |
|-------------|-------------------------------|-------------|----------------|-----------------------------------------------------|-------------|----------------|--------------------|
|             | 均值 mean                       | 方差 variance | 95%置信区间 95% CI | 均值 mean                                             | 方差 variance | 95%置信区间 95% CI |                    |
| 2 月 Feb.    | 0.51                          | 0.27        | -0.51, 1.53    | 0.61                                                | 0.09        | 0.04, 1.18     |                    |
| 5 月 May     | 0.71                          | 0.39        | -0.51, 1.93    | 0.74                                                | 0.03        | 0.63, 0.85     |                    |
| 8 月 Aug.    | 19                            | 1040.46     | -44.22, 82.22  | 19.27                                               | 107.03      | -1.00, 39.55   |                    |
| 10 月 Oct.   | 3.29                          | 2.18        | 0.40, 6.18     | 3.54                                                | 1.47        | 1.16, 5.92     |                    |

### 3 讨论

当底拖网调查数据中出现较多的零值和极大值时,通过将每一站位资源密度进行简单算术平均来估算海域平均资源密度的传统方法说服力下降,模型法探寻样本数据所服从的分布,将样本数据放到分布中进行分析,其受极端值影响小。 $\Delta$ -分布模型是一个稳健的模型,处理数据波动性更小,具有更高的稳定性<sup>[4, 6-11]</sup>。在本研究中,模型法给出的方差均明显小于设计法,给出的置信区间具有更高的精确度,说明 $\Delta$ -分布模型是一种适于底拖网调查数据处理和资源密度评估的模型。 $\Delta$ -分布模型是 Aitchison<sup>[5]</sup>根据中心极限定理发展起来的,认为对于任一海域,可以从中获得的数据是无限的,调查取样是抽取了一个数量为  $n$  的样本,当  $n$  无限大时,抽取样本服从正态分布。多数海洋调查数据符合对数正态分布,Myers 等<sup>[24]</sup>对 69 组海洋调查数据进行了检验,发现仅有 5 组不符合对数正态分布。极端值对资源评估的影响理论上可以通过增加调查站位的方法来降低,但由于渔业资源调查耗费巨大,通过增加调查站位数量来提高调查精度的方法很难实行<sup>[2]</sup>。

底拖网调查数据中的极大值包括两种情况,一种是某一站位渔获量占总渔获量的 50%以上,是次大渔获量的数倍;另一种情况下,数据同样右偏,却无决定性的极大值,这是底拖网调查数据中常见的情况。Pennington<sup>[4]</sup>研究表明,当数据中出现决定性的极大值时,使用  $\Delta$ -分布模型法估算的海域平均资源密度低于设计法,这是因为当决定性极大值出现时,会使数据严重右偏,而设计法处理数据时赋予每一数据相同的权重,所以其平均资源密度受极端值影响大,而模型法则能通过对数据的对数化处理来降低极大值影响,这一点在袁兴伟等<sup>[14]</sup>研究中也有所体现。本研究中 8 月、10 月的矛尾虾虎鱼数据,5 月、8 月的短吻红舌鲷数据,均出现了决定性的极大值(某单一站位最大渔获量分别占总渔获量的 48.52%、48.72%、50.92%和 48.25%),与设计法相比, $\Delta$ -分布模型法方差的减小幅度明显大于其余几组,这表明  $\Delta$ -模型法对极大值的敏感性远远小于设计法,能大幅

减小极大值带造成数据右偏的影响。对于矛尾虾虎鱼 8、10 月的数据,模型法求得的资源密度均值小于设计法,其中 10 月均值减小的幅度高于 8 月。进一步分析表明,10 月矛尾虾虎鱼的数据偏斜度最大,且其数据中最大值与上截断点的比值高于其余数据,这可能是造成 10 月均值减小幅度大的原因。增大其中某一组数据中的最大值,模型法估算的均值增幅小于设计法,表明在均值估计时,模型法在处理极大值时的稳定性方面优于设计法;但短吻红舌鲷 5、8 月数据模型法均值估计高于设计法估值,这可能与本次研究的调查站位总数偏少和数据组中数据分布特征有关。 $\Delta$ -分布模型法是基于对数正态分布模型发展起来的,偏少的数据量对于数据拟合正态分布会产生影响,偶然性增大,模型的说服力可能会下降。Smith<sup>[10]</sup>研究表明, $\Delta$ -分布模型法的效率与样本数据量、数据中零值的比例以及数据服从的对数正态分布的方差有关,并指出当样本数据量较小时, $\Delta$ -分布模型法较设计法并无优势。但 Smith<sup>[10]</sup>所应用的数据中渔获非零值的站位数均在 10 个以下,未涉及总站位数更大的情况,站位数对  $\Delta$ -分布模型法评估效率的影响有待进一步研究。5 月短吻红舌鲷数据中零值比例达 56%,其资源密度均值估计较多受极大值和零值的双重影响;在理论上极大值和零值对数据会产生相反的影响,这可能是导致模型法估值高于设计法的原因。但 8 月短吻红舌鲷数据中零值比例仅 22%,模型法估值仍高于设计法;受限于本次调查的数据量,数据分布特征对资源密度估计的影响还有待深入研究。

某一站位调查数据出现零值的情况可能有两种,一是该区域不是目标鱼种的栖息地,二是由于某些原因导致未能捕获到栖息于该地的目标种。在对海域整体资源密度进行评估时,要考虑资源生物在自然环境中分布的复杂性,进而选用适当的模型进行数据的处理分析。 $\Delta$ -分布模型将零值与非零值分开处理,是一种包含零值在内的模型。袁兴伟等<sup>[16]</sup>比较了零值处理的 5 种方法,认为  $\Delta$ -分布模型法是最优的方法。当样本数据中出现较多的零值时,设计法估算的平均资源密度偏低<sup>[4]</sup>。本研究中,零值数占总数据 1/3 以上

的数据共有4组,  $\Delta$ -分布模型法评估的资源密度均大于设计法, 进一步验证了  $\Delta$ -分布模型法在零值处理上的优势, 其中2月、10月短吻红舌鲷资源密度估值提高的程度要明显高于5月矛尾虾虎鱼和短吻红舌鲷, 这可能是由于前两组数据无极大值的影响, 而后两组数据受极大值和零值的综合影响。

矛尾虾虎鱼和短吻红舌鲷在黄河口北部沿岸海域、河口区以及南部海域分布较多。这可能是由于黄河水携营养盐等入海后, 在潮流和波浪等动力下, 向外海和沿岸扩散; 另外, 黄河口水域涨潮时潮流向东南流动, 落潮时由莱州湾流向外海<sup>[17]</sup>, 黄河水为其扩散海域带来了大量的营养盐, 使该海域饵料生物丰富, 为生物资源在此分布提供了条件。8月份两种鱼类的资源密度都显著高于其他月份, 有以下几方面的原因: 黄河入海径流量增加, 携带更多的营养物质; 水温升高, 更适于暖温性鱼类的生存; 调水调沙使得更多的泥沙入海, 造成河口水域浑浊度较高, 能够为一些鱼类提供躲避肉食鱼类捕食的场所<sup>[19]</sup>; 处于伏季休渔时期, 渔业资源生物在这时期得到了补充。矛尾虾虎鱼的资源密度在5月份显著低于平均值, 这可能是由于其产卵期为4月下旬至5月, 产卵后亲体相继死亡有关<sup>[25]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] Gregoire T G. Design-based and model-based inference in survey sampling: appreciating the difference[J]. Can J Forest Res, 2011, 28(10): 1429–1447.
- [2] Gunderson D R. Surveys of Fisheries Resources[M]. New York: John Wiley and Sons, 1993: 1–31.
- [3] Mcconnaughey R A, Conquest L L. Trawl survey estimation using a comparative approach based on lognormal theory[J]. Fish B-NOAA, 1993, 91(1): 107–118.
- [4] Pennington M. Estimating the mean and variance from highly skewed marine data[J]. Fish B-NOAA, 1996, 94(3): 498–505.
- [5] Aichison J, Brown A C. The Lognormal Distribution, with Special Reference to Its Uses in Economics[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1957: 176–179.
- [6] Finney D. On the distribution of a variate whose logarithm is normally distributed[J]. Suppl J Roy Stati Soc, 1941, 7(2): 151–161.
- [7] Pennington M. Efficient estimators of abundance, for fish and plankton surveys[J]. Biometrics, 1983, 39(1): 281–286.
- [8] Pennington M. Some statistical techniques for estimating abundance indices from trawl surveys[J]. Fish B-NOAA, 1986, 84: 519–525.
- [9] Pennington M, Pepin P. On testing the robustness of log-normal-based estimators[J]. Biometrics, 1991, 47(4): 1623–1624.
- [10] Smith S J. Evaluating the efficiency of the  $\Delta$ -distribution mean estimator[J]. Biometrics, 1988, 44(2): 485–493.
- [11] Smith S J. Use of statistical models for the estimation of abundance from groundfish trawl survey data[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1990, 47(5): 894–903.
- [12] LI F, Li X S, Zhao X Y. Bottom trawl survey data analysis based on Delta-distribution model and its application in the estimation of small yellow croaker and silver pomfret in Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(1): 145–151. [李凡, 李显森, 赵宪勇. 底拖网调查数据的Delta-模型分析及其在黄海小黄鱼和银鲷资源评估中的应用[J]. 水产学报, 2008, 32(1): 145–151.]
- [13] Yuan X W, Jiang Y Z, Yan L P. Comparison on difference of the stock density of *Psenopsis anomala* in the East China Sea by means of different estimating methods[J]. Marine Fisheries, 2009, 31(1): 10–15. [袁兴伟, 姜亚洲, 严利平. 东海区刺鲷资源密度不同估算方法的差异比较[J]. 海洋渔业, 2009, 31(1): 10–15.]
- [14] Yuan X W, Jiang Y Z, Cheng J H. Estimating the average stock density with dominating large catches based on  $\Delta$ -distribution model[J]. Marine Fisheries Research, 2011, 32(1): 1–7. [袁兴伟, 姜亚洲, 程家骅. 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[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(1): 1–7.]
- [15] Yuan X W, Liu Z L, Yang S L, et al. Comparative study on estimating stock density of *Larimichthys polyactis* in the East China Sea based on lognormal theory[J]. Marine Fisheries, 2012, 34(1): 15–22. [袁兴伟, 刘尊雷, 杨胜龙, 等. 基于对数正态分布理论上的小黄鱼三种资源密度估算方法比较[J]. 海洋渔业, 2012, 34(1): 15–22.]
- [16] Yuan X W, Yan L P, Liu Z L, et al. A performance comparison of stock density estimation of *Larimichthys polyactis* in the East China Sea using different models based on bottom trawl survey[J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(6): 20–26. [袁兴伟, 严利平, 刘尊雷, 等. 基于底拖网调查的东海区小黄鱼资源密度不同估算方法差异比较[J]. 南方水产科学, 2014, 10(6): 20–26.]
- [17] Wang C H, Cao W H, Zhang S C. Tidal current and its sediment transport capacity in Yellow River Estuary[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(10): 1256–1263. [王崇浩, 曹文洪, 张世奇. 黄河口潮流与泥沙输移过程的数值

- 研究[J]. 水利学报, 2008, 39(10): 1256–1263.]
- [18] Lü Z, Li F, Qu Y B, et al. Fish community diversity in the Huanghe estuary and its adjacent area in summer, 2010[J]. Marine Fisheries Research, 2013, 34(2): 10–18. [吕振波, 李凡, 曲业兵, 等. 2010 年夏季黄河口及邻近海域鱼类群落多样性[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(2): 10–18.]
- [19] Zheng L. Preliminary study of fish community structure in Yellow River Estuary waters[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014. [郑亮. 黄河口海域鱼类群落结构初步研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.]
- [20] Jin X S, Zhao X Y, Meng T X, et al. Biological Resources and Habitats of Huanghai and Bohai seas[M]. Beijing: Science Press, 2005: 19–20. [金显仕, 赵宪勇, 孟田湘, 等. 黄、渤海生物资源与栖息环境[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 19–20.]
- [21] Jin Y J, Du Z F, Jiang Y. Sampling Technology[M]. 4th edn. Beijing: China Renmin University Press, 2015: 111–119. [金勇进, 杜子芳, 蒋妍. 抽样技术: 第 4 版[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2015: 111–119.]
- [22] Hoyle F. Condensation of the planets[J]. Nature, 1968, 217(5127): 415–418.
- [23] Gong B, Ding H J. How to quickly identify extreme values in statistical analysis[J]. Statistics and Consultation, 2007(3): 14–15. [巩斌, 丁华军. 在统计分析中如何快捷识别极端值[J]. 统计与咨询, 2007(3): 14–15.]
- [24] Myers R A, Pepin P. The robustness of lognormal-based estimators of abundance[J]. Biometrics, 1990, 46(4): 1185–1192.
- [25] Deng W D. Growth and breeding study on *Chaemrichthys stigmatias*[D]. Yunnan: Yunnan University, 2010. [邓维德. 矛尾虾虎鱼生长与繁殖的初步研究[D]. 云南: 云南大学, 2010.]

## Comparative study on two methods for estimating fishery resource density for two species from Yellow River Estuary

LIU Jian, ZHANG Chongliang, XUE Ying, XU Binduo, REN Yiping

Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

**Abstract:** Fishery resource density is a key indicator for assessing resource status and is commonly estimated using bottom trawl survey data. Because of the non-uniform distribution of marine organisms, bottom trawl data always contain extreme values (zeros or very large values), which will affect the accuracy and precision of the estimate of resource density. In order to decrease the effect of extreme values on the estimation of resource density, the  $\Delta$ -distribution model was used when analyzing trawl survey data for *Chaeturichthys stigmatias* and *Cynoglossus joyneri* in the Yellow River estuary between 2013 and 2014. The estimate of the mean resources density using the model-based method and that using the designed-based method was compared, and the effect of the quantity and distribution of survey data on the results for the  $\Delta$ -distribution model method was also discussed. With respect to survey data for *C. stigmatias* in August and October, the density estimated using the model-based method was lower than that using the design-based method, while the densities estimated using the model-based method were higher than those using the design-based method for other data sets. The quantity and distribution characteristics of survey data might be important factors affecting assessment results using the  $\Delta$ -distribution model. Variance estimated using the model-based method was much less than that estimated using the design-based method for all data for the two species in different months. Zero and maximum-value data had different effects on the estimation of resource density using the  $\Delta$ -distribution model method; the model was robust when dealing with survey data with high stability and precision.

**Key words:** resources density; stock assessment;  $\Delta$ -distribution model; the Yellow River Estuary

**Corresponding author:** XU Binduo. E-mail: bdxu@ouc.edu.cn