

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.18188

南海北部近海竹荚鱼资源密度的概率分布型特征

晏然^{1,2}, 范江涛^{1,2}, 陈作志¹, 蔡研聪¹, 张魁¹, 许友伟¹, 徐姗楠¹

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部外海渔业开发重点实验室, 广东 广州 510300;
2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306

摘要: 竹荚鱼(*Trachurus japonicus*)是中国南海北部近海主要渔获物之一, 其空间分布具有非均匀性。根据2014—2017年南海北部近海两个周期(2014—2015年为第1周期, 2016—2017年为第2周期)的底拖网调查数据, 以单位捕捞努力量(catch per unit effort, CPUE)表征资源密度, 采用柯尔莫可洛夫-斯米洛夫检验(Kolmogorov-Smirnov, K-S test)探索了11种概率分布特征。结果表明, 南海北部陆架区竹荚鱼不具明显的概率分布特征, 而北部湾海域竹荚鱼资源密度服从对数正态分布型且第二周期较第一周期更为显著。同时, 采用基于对数正态理论模型法(对数正态模型与 Delta 模型)与调查设计法(均值法)对该海域进行资源密度估值比较, 发现基于对数正态理论模型更切合竹荚鱼资源密度结构分布特征, 而在对数正态理论模型中 Delta 模型法更适用于该物种资源密度估值。

关键词: 竹荚鱼; 资源密度; 概率分布型; 南海北部近海

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)01-0091-08

竹荚鱼(*Trachurus japonicus*)属鲈形目(Perciformes), 鲈科(Carangidae), 是一种暖水性中上层鱼类, 喜集群, 是中国南海海域灯光围网和底拖网的主要捕捞对象之一^[1-3], 年捕捞量为2.5万t, 占全国该鱼种总产量的68%^[4]。

在南海区, 基于底拖网的扫海面积法是调查和评估竹荚鱼等近海中上层鱼类的主要方法之一。但该方法的前提是假设底拖网调查数据服从某种特定概率分布类型, 该概率分布型是竹荚鱼生物特征与其特定的生态环境长期相互作用的结果。此前国内外学者采用泊松分布^[5]、Gamma^[6]分布、Delta分布^[7-10]等多种分布模型进行渔业采样数据布局的探索, 均取得较好成效, 但近些年来有关南海鱼类空间分布型特征的相关研究鲜见报道。因此, 摸清竹荚鱼的空间分布模型不仅可以进一步揭示生物的生态特征^[11], 而且对该鱼种资源评估、抽样调查及其管理具有重要的科学意义。

1 材料和方法

1.1 数据来源

数据来自2014—2017年“北渔60011”单船底拖网8个航次的季节性调查数据(2014年夏季(7—8月)、秋季(10—11月); 2015年冬季(1—2月)、春季(4—5月); 2016年夏季(7—8月)、秋季(10—11月); 2017年冬季(1—2月)、春季(4—6月), 调查船主机功率441 kW, 作业范围在16.5°N~23.5°N, 106.5E~120.5°E, 调查范围为200 m等深线以浅南海北部大陆架海域(图1)。由于调查数据来自于同一条船, 同一调查网具, 因此以名义CPUE作为表征相对资源密度指标^[12]。

$$CPUE=Y/T \quad (1)$$

式中, Y 为该站点的渔获产量(kg), T 为该站位拖网时长(h)。

收稿日期: 2018-06-01; 修订日期: 2018-07-31.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201403008); 农业财政专项“南海北部近海渔业资源调查”(2014-2018); 广东省促进海洋经济发展专项资金(GDME-2018E004); 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2015TS22).

作者简介: 晏然(1993-), 男, 硕士研究生, 主要从事渔业资源空间分析研究. E-mail: harbinyanran@qq.com

通信作者: 徐姗楠, 女, 博士, 副研究员, 主要从事渔业资源和海洋生态研究. E-mail: xushannan@scsfri.ac.cn

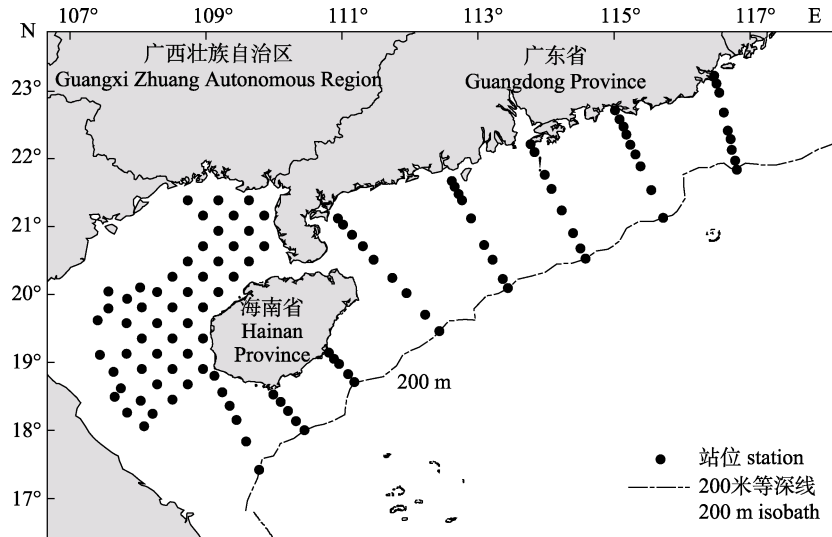


图 1 南海北部近海竹荚鱼渔业资源调查站点图

Fig. 1 Site map for jack mackerel resources survey in the offshore water of northern South China Sea

1.2 方法

本研究将 2014—2017 年数据按照调查周期进行合并, 2014—2015 年 1~4 航次为第一周期, 2016—2017 年 5~8 航次为第二周期。同时, 考虑到北部湾海域和南海北部陆架区的海洋环境差异性^[13], 将样本数据分为 4 组(表 1)。

表 1 本研究样本分类数据

Tab. 1 Sample classification data in the present study

| 时间 time | 北部湾样本数/网 sample size in Beibu Gulf | 陆架区样本数/网 sample size in shelf area |
|-------------------------------------|--|--|
| 第一周期(2014—2015) the first cycle | 132 | 158 |
| 第二周期(2016—2017) the second cycle | 111 | 177 |

根据 4 组调查数据, 选择可能适合总体布局的 11 种连续性空间结构分布模型(均匀分布、几何分布、正态分布、对数正态分布、指数分布、Gamma 分布、瑞利分布、卡方分布、泊松分布、逻辑斯蒂分布、柯西分布), 各分布函数参数相应采用矩法、极大似然法和最小二乘法进行估算。以 Kolmogorov-Smirnov 为理论依据, 采用 R 计算假设分布检验统计量 D 和 P 值, 找出样本数据拟合最优概率分布型(D 值较小)以及在显著性 $P > 0.05$ 条件下可被接受的概率模型。

$$D = \max |F_n(x) - F_0(x)| \quad (2)$$

式 2 中, $F_n(x)$ 为样本累计概率函数, $F_0(x)$ 为真实分布函数。

同时, 为进一步分析对数正态概率型分布情况, 采用均方根误差(root mean square error, RMSE) 和相关系数(R^2) 指标进行分析和评价。

2 结果与分析

2.1 资源密度分布

2.1.1 水平分布 根据 2014—2017 年南海北部两个周期的调查数据(图 2), 第一周期竹荚鱼资源密度介于 0~70.6 kg/h, 平均值为 4.5 kg/h, 丰度高值区主要位于北部湾中西部海域, 低值区主要位于雷州半岛东西海域。北部湾资源密度介于 0~70.6 kg/h, 平均值为 7.6 kg/h; 而在陆架区资源密度介于 0~18.3 kg/h, 平均为 1.8 kg/h。第二周期竹荚鱼资源密度介于 0~130.0 kg/h, 平均值为 7.5 kg/h, 丰度高值区主要位于海南岛西部近海, 低值区主要位于雷州半岛西部和北部湾北部海域。北部湾资源密度介于 0~130 kg/h, 平均值为 11.5 kg/h; 在陆架区资源密度介于 0~37.7 kg/h, 平均值为 4.9 kg/h。

2.1.2 垂直分布(沿水深分布) 如图 3 所示, 从整体来看, 两周期南海北部近海竹荚鱼资源高密度区主要分布于 10~100 m 水层, 平均为 7.4 kg/h, 北部湾资源密度与陆架区相比较。另一方面, 北部湾竹荚鱼资源分布在水深 100 m 以内, 第一

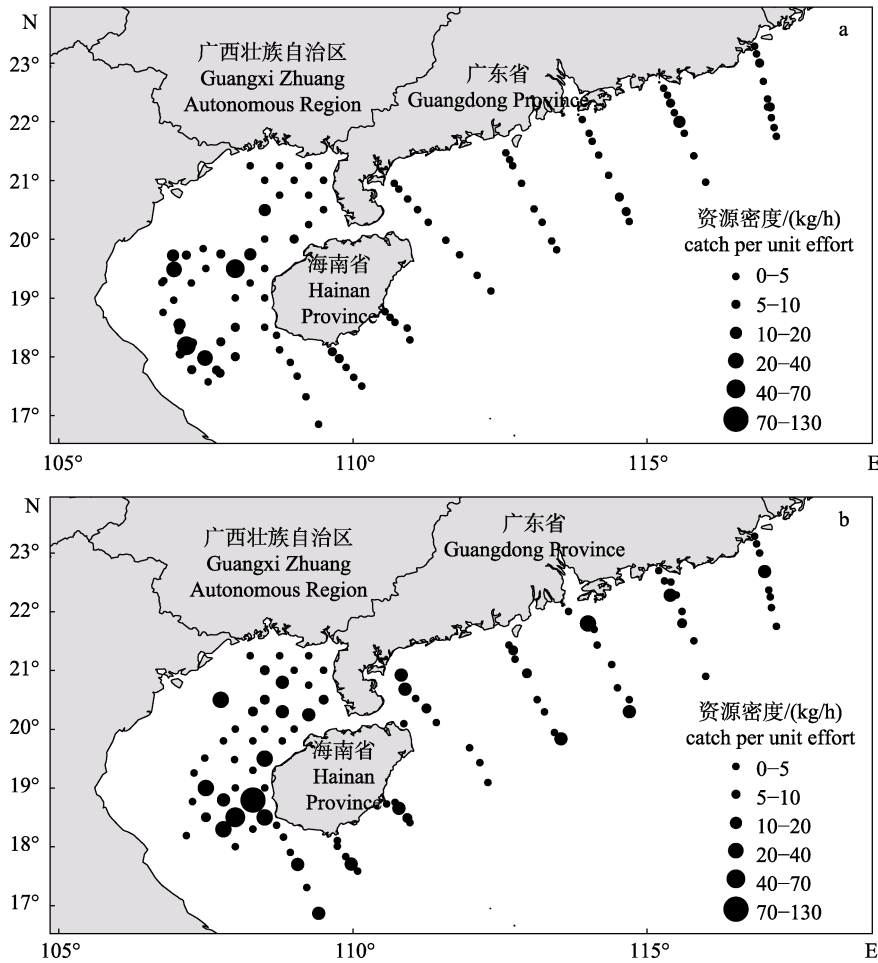


图 2 南海北部第一周期(2014–2015, a)与第二周期(2016–2017, b)竹荚鱼资源密度水平分布图
 Fig. 2 Horizontal distribution of *Trachurus japonicus* density of resources in the first cycle (2014–2015, a) and the second cycle (2016–2017, b) in the offshore water of northern South China Sea

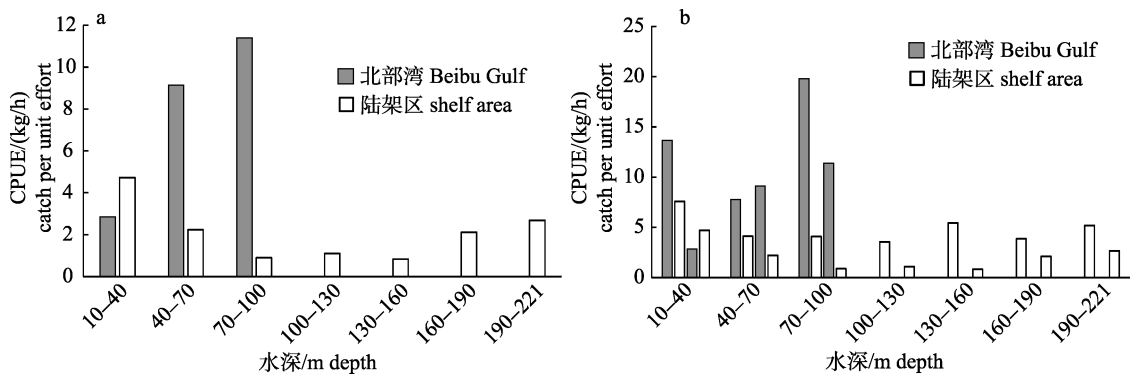


图 3 南海北部第一周期(2014–2015, a)与第二周期(2016–2017, b)竹荚鱼资源密度水深分布图
 Fig. 3 Depth of distribution of *Trachurus japonicus* in the first cycle (2014–2015, a) and the second cycle (2016–2017, b) in the offshore water of northern South China Sea

周期竹荚鱼资源密度介于 2.8~11.6 kg/h, 密度高值区主要分布于 70~100 m; 第二周期竹荚鱼资源密度介于 7.8~19.8 kg/h, 密度高值区也主要分布

于 70~100 m。

陆架区水深在 10~221 m 范围内, 第一周期竹荚鱼资源密度介于 0.8~5.0 kg/h, 密度高值区主要

分布于 10~40 m、190~221 m; 第二周期竹荚鱼资源密度介于 3.4~7.6 kg/h, 资源密度在各水层分布较为均匀, 最高值分布在 10~40 m。

2.2 资源密度概率分布型

通过对 4 组样本 11 种概率模型假设性检验(表 2), 仅有北部湾第一周期与第二周期的样本数据通过对数正态分布型假设检验($P>0.05$), 其他概率分布模型均未通过。另外, 根据假设拟合优度检验, D 值均小于相应的临界值($D_{132, 0.05}=0.12$, $D_{111, 0.05}=0.13$), 拟合优度较好。因此, 北部湾海域竹荚鱼资源密度最优概率分布型服从对数正态分布可被接受。

根据上述结果, 采用调查设计常用的均值法(arithmetic average model, AM)和基于对数正态理论模型法[对数正态分布法(lognormal model, LM)、Delta 分布法(Delta model, DM)]进行底拖网资源

估值差异性比较(表 3)。各模型公式见参考文献[14]。

从两周期各评估结果来看, 均值法估值较大, 对数正态法估值居中且两者估值结果相差不大, 而 Delta 法估值结果较小。从方差和变异系数来看, 数值均服从 $AM>LM>DM$ 。

2.3 理论与实际分布情况

如图 4 所示, 根据对数正态分部理论, 通过 R 软件统计分析了北部湾第一周期和第二周期竹荚鱼资源密度理论与实际分布情况。同时, 结合均方根误差(root mean square error, RMSE)和相关系数(R^2)分析了两周期空间结构分布型情况(表 4)。结果显示, 第二周期 RMSE 比第一周期小; 而第二周期 R^2 比第一周期高且第一周期理论与实际分布具有一定的滞后性, 相关性为负。总之, 第二周期竹荚鱼资源密度实际分布更接近其理论对数正态布局。

表 2 竹荚鱼资源密度概率分布假设性检验
Tab. 2 The hypothesis test of probability distribution of *Trachurus japonicus* density

| 概率分布型 probability distribution | 北部湾 Beibu Gulf | | | | 陆架区 shelf area | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|------|--------------------------|------|-------------------------|------|--------------------------|------|
| | 第一周期 the first cycle | | 第二周期 the second cycle | | 第一周期 the first cycle | | 第二周期 the second cycle | |
| | D | P | D | P | D | P | D | P |
| 均匀分布 uniform distribution | 0.55 | 0.00 | 0.56 | 0.00 | 0.35 | 0.00 | 0.59 | 0.00 |
| 几何分布 geometric distribution | 0.33 | 0.00 | 0.39 | 0.00 | 0.47 | 0.00 | 0.23 | 0.00 |
| 正态分布 normal distribution | 0.51 | 0.00 | 0.51 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.50 | 0.00 |
| 对数正态分布 lognormal distribution | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.51 | 0.18 | 0.00 | 0.11 | 0.03 |
| 指数分布 index distribution | 0.37 | 0.00 | 0.32 | 0.00 | 0.18 | 0.00 | 0.33 | 0.00 |
| gamma 分布 gamma distribution | 0.99 | 0.00 | 0.98 | 0.00 | 0.94 | 0.00 | 0.91 | 0.00 |
| 瑞利分布 Rayleigh distribution | 0.45 | 0.00 | 0.43 | 0.00 | 0.37 | 0.00 | 0.41 | 0.00 |
| 卡方分布 Chi square distribution | 0.98 | 0.00 | 0.97 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 泊松分布 Poisson distribution | 0.59 | 0.00 | 0.74 | 0.00 | 0.54 | 0.00 | 0.56 | 0.00 |
| 逻辑斯蒂分布 Logistics distribution | 0.50 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.50 | 0.00 |
| 柯西分布 Cauchy distribution | 0.58 | 0.00 | 0.72 | 0.00 | 0.45 | 0.00 | 0.52 | 0.00 |

注: $P>0.05$ 表示通过显著性检验。

Note: $P>0.05$ denotes passing the test of significance.

表 3 北部湾各竹荚鱼底拖网评估模型比较
Tab. 3 Comparison of evaluation models of *Trachurus japonicus* bottom trawling in Beibu Gulf

| 模型 model | 第一周期 the first cycle | | | 第二周期 the second cycle | | |
|----------|--|-------------|---------|--|-------------|---------|
| | 资源密度均值/(kg/h) mean density of resources | 方差 variance | 变异系数 CV | 资源密度均值/(kg/h) mean density of resources | 方差 variance | 变异系数 CV |
| AM | 7.28 | 586.89 | 3.33 | 7.75 | 842.19 | 3.74 |
| LM | 6.08 | 113.13 | 1.75 | 5.12 | 85.43 | 1.81 |
| DM | 3.71 | 8.26 | 0.78 | 3.07 | 7.34 | 0.88 |

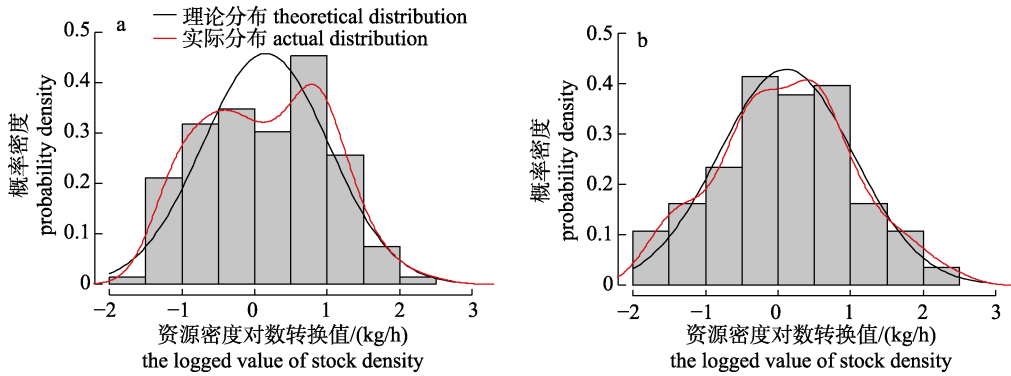


图 4 北部湾第一周期(2014—2015, a)和第二周期(2016—2017, b)竹荚鱼资源密度理论与实际分布情况

Fig. 4 The probability distribution of *Trachurus japonicus* density in the first cycle (2014—2015, a) and the second cycle (2016—2017, b) in Beibu Gulf

表 4 北部湾竹荚鱼资源密度一般统计概况与评价
Tab. 4 General statistics and evaluation of *Trachurus japonicus* density in Beibu Gulf

| 周期 cycle | 均值 mean | 众数 mode | 中位数 median | 均方根误差 RMSE | 相关系数 R^2 |
|-----------------------|---------|---------|------------|------------|------------|
| 第一周期 the first cycle | 8.4 | 1.9 | 1.4 | 8.50 | -0.10 |
| 第二周期 the second cycle | 10.6 | 0.5 | 1.2 | 9.33 | 0.30 |

3 讨论

3.1 资源密度时空分布特征

竹荚鱼属中上层暖水性鱼类, 其产卵、索饵、集群等生物学特征常伴随海洋环境的季节性变化做出响应。根据两周期竹荚鱼资源密度分布结果, 北部湾远高于陆架区, 其空间结构呈对数正态分布, 资源密度主要分布于海南岛西部及湾口, 而陆架区资源密度分布于近岸和陆架边缘。海水深浅直接影响着各水文要素的时空变化, 特别是温度、盐度、透明度、流速等, 水深越深, 变化越小^[15], 而湾口和陆架边缘水深分别在 60~100 m 和 200 m 左右, 是北部湾和陆架区最深的海域, 因此其稳定的水文条件为竹荚鱼提供了良好的栖息场所。从海流来看, 北部湾与陆架区流系各具一定的温度盐度特征, 进入北部湾表层的水团盐度较高^[15-16], 可能在海南岛西北部交汇形成“流隔”, 产生涡流和上升流, 进而将下层营养盐带到上层, 促进浮游生物生长, 竹荚鱼多在此集群索饵。而在陆架区, 近岸上升流和广东沿岸流的作用下的高初级生产力为竹荚鱼提供了孕育和生长的场所^[17-18]。

另外, ENSO 期间海洋环境会发生异于平常时期的变化, 通过分析各时期 SSTA3.4[(国家海洋大气局提供同期对应月份的 Nino3.4 区的连续 3 个月平均海表温距平(Sea Surface Temperature Anomaly, SSTA) 序列 (<http://www.cpc.noaa.gov>)], 发现第一周期包含 1 个强厄尔尼诺事件和 1 个弱厄尔尼诺事件, 第二周期存在两个弱拉尼娜事件。厄尔尼诺期间, 东北季风减弱, 近海表温升高, 黑潮入侵加剧, 南海北部近岸初级生产力下降, 不利于竹荚鱼索饵育肥, 拉尼娜时期则相反^[19]。同时根据图 2 和表 4, 发现无论是在资源密度方面, 还是在空间结构布局方面, 北部湾第二周期均优于第一周期。由此推测, 竹荚鱼空间分布结构显著程度可能与资源丰度和 ENSO 事件及其强度相关。

综上所述, 生物种群的空间分布特征是种群本身生物学特征与其环境因素相互综合作用的结果^[11]。如果某一环节被干扰和破坏, 其所服从的分布特征也必将改变。与南海北部陆架区相比, 北部湾海域生态环境相对稳定, 在竹荚鱼种群与之长期适应情况下, 其对数正态分布结构更为明显。

3.2 对数正态分布理论与空间分布结构

由表 4 发现, 均值总大于众数和中位数, 两周期对数正态曲线均呈正偏, 因而可通过对数正态曲线特性解释北部湾竹荚鱼分布和变动规律。竹荚鱼空间分布较为分散, 资源密度在均值以下占据了大部分空间, 资源密度较低的渔场出现概率较高; 另一方面, 在均值以上曲线呈负相关并

趋近 X 轴,说明资源密度较高的渔场出现概率较低。由此可以认为,北部湾竹荚鱼渔场空间分布总是从“低密”到“较密”再到“高密”,密度越大,出现概率越低。而在陆架区,竹荚鱼的空间结构特征均不显著。分析认为这可能与陆架区地质构造、水文特征复杂且调查站点设计较少有关。因此,在今后的近海调查中,应相应增设调查站位使陆架区站位布局更为均匀,同时获取近海底拖网商业生产数据扩大样本容量。

3.3 模型法与调查设计法比较

底拖网是渔业资源调查的一种有效手段。目前,国际上主要采用基于调查设计法^[13, 20-21]和模型法^[5-10]两种方法对底拖网调查数据进行处理和分析。基于调查设计法根据调查策略的不同设计,采用不同的数据分析方法。其中,底拖网扫海面积法是资源评估最常用的手段之一,实际上生物资源大多呈斑块状分布^[14],但该方法的假设前提是资源密度在评估海区是均匀分布的,与实际偏差较大。在模型法方面,陈敦隆等^[11]发现黄海太平洋磷虾(*Euphasia Picifica*)呈 P-E 空间结构分布,同时其概率分布特征与温盐季节性变化和生殖习性密切相关。陈正兴等^[23]发现对数正态理论对南海近海底层鱼类具有普适性,同时经本研究证实,对数正态理论也适用于竹荚鱼这一中上层经济物种,从而为南海近海渔业的相关研究提供了相应参考。

通过对调查设计法和模型法进行比较,多项研究表明模型法评估结果误差相对较小,估算效能较高且更接近实际^[7-9, 11, 23]。同时,从竹荚鱼资源评估结果看(表 3),调查设计法(AM)变异系数较高,方差较大,估值偏大,估算效能不如模型法(LM, DM)。造成这一结果的原因可能是底拖网调查设计中,一些调查站位往往不出现目标鱼种,另一些站点则出现高渔获值,而均值法对极值非常敏感^[24],造成评估结果较实际值偏大。模型法视极端值为真实情况,依据竹荚鱼实际分布结构特征进行资源评估的结果更接近真实值。同时,从方法的优劣性和稳健性来看,方差和变异系数大小均服从 $AM > LM > DM$,表明均匀分布的假设并不符合竹荚鱼资源密度实际分布,采用对数正

态理论模型更加切合数据的分布类型。同时,在基于对数正态理论模型中,Delta 模型稳健性最优,该结论已在其他海域国内外多位学者研究中得到验证^[7-9, 24-28]。因此,在今后北部湾竹荚鱼调查研究当中,宜采用 Delta 模型,在其生态特征、采样和资源评估等方面设计出合理的应用。

参考文献:

- [1] Zhu Y D, Zhang C L, Cheng Q T. Fishes of the South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1962: 213-423. [朱元鼎, 张春霖, 成庆泰. 南海鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 1962: 213-423.]
- [2] Yang L, Zhang X F, Tan Y G, et al. Analysis on the catch composition of light-purse seine in the northern South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2009, 5(6): 65-70. [杨吝, 张旭丰, 谭永光, 等. 南海北部灯光围网渔获组成分析[J]. 南方水产科学, 2009, 5(6): 65-70.]
- [3] Wang X F, Feng B, Lu H S. Catch composition and species diversity of the bottom trawl fishery in the northern South China Sea in 2008[J]. Fishery Modernization, 2010, 37(1): 47-51. [王学锋, 冯波, 卢伙胜. 2008 年南海北部拖网渔获组成及其多样性分析[J]. 渔业现代化, 2010, 37(1): 47-51.]
- [4] Zhao X W, Cui L F, Li S M, et al. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016: 45-48. [赵兴武, 崔利锋, 李书民, 等. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 45-48.]
- [5] Brodie W B, Wells R. Northwest Atlantic fisheries organization scientific research document[C]. Dartmouth: NAFO Index of Meeting Document, 1985: 85-106.
- [6] Smith S J. A comparison of estimators of location for skewed populations with application to ground fish trawl surveys[J]. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 1981, 58: 154-163.
- [7] 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.]
- [8] Yuan X W, Jiang Y Z, Cheng J H. Estimating the average stock density with dominating large catches based on Δ -distribution model[J]. Progress in Fishery Sciences, 2011, 32(1): 1-7. [袁兴伟, 姜亚洲, 程家骅. 利用 Δ -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.]

- [9] 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 the 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.]
- [10] Pennington M. Some Statistical Techniques for Estimating Abundance Indices from Trawl Surveys[M]. Woods Hole: Northwest Atlantic Fisheries Organization, 1985.
- [11] Chen D L, Meng T X, Zhou B B. Studies on the spatial distribution pattern of an important food organism—Pacific Euphausiid (*Euphasia Picifica*) Hansen, in the Yellow Sea by means of spatial probability distribution pattern of biological population[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1981(1): 3-12. [陈敦隆, 孟田湘, 周彬彬. 应用生物种群空间概率分布型研究黄海重要饵料生物——太平洋磷虾 *Euphasia Picifica* Hansen 的空间分布型[J]. 海洋湖沼通报, 1981(1): 3-12.]
- [12] Nishida T, Chen D G. Incorporating spatial autocorrelation into the general linear model with an application to the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) longline CPUE data[J]. Fisheries Research, 2004, 70(2-3): 265-274.
- [13] Jia X P, Li C H, Lin Z L, et al. Fishery Ecological Environment and Fishery Resources in Beibu Gulf[M]. Beijing: Science Press, 2003. [贾晓平, 李纯厚, 林昭进, 等. 北部湾渔业生态环境与渔业资源[M]. 北京: 科学出版社, 2003.]
- [14] 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.]
- [15] Chen X J. Fishery Resources and Fisheries[M]. Beijing: China Ocean Press, 2014. [陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2014.]
- [16] Sun D R. A study on fishery resources and sustainable fishery development in the Beibu Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008. [孙典荣. 北部湾渔业资源与渔业可持续发展研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.]
- [17] Shu Y Q, Wang Q, Zu T T. Progress on shelf and slope circulation in the northern South China Sea[J]. Science China Earth Sciences, 2018, 48(3): 276-287. [舒业强, 王强, 俎婷婷. 南海北部陆架陆坡流系研究进展[J]. 中国科学: 地球科学, 2018, 48(3): 276-287.]
- [18] Jiang R, Wang Y S. A preliminary ecological modeling study on response of the East Guangdong coastal ecosystem to summer coastal upwelling[J]. Ecological Science, 2017, 36(1): 25-34. [江睿, 王友绍. 粤东沿岸生态系统对夏季沿岸上升流响应的生态模型初探[J]. 生态科学, 2017, 36(1): 25-34.]
- [19] Lin Z T. The study on distribution of the primary productivity north and west of the South China Sea[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2017. [林智涛. 南海北部与西部初级生产力影响因子探究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2017.]
- [20] Brus D J, de Gruijter J J. Design-based versus model-based estimates of spatial means: Theory and application in environmental soil science[J]. Environmetrics, 1993, 4(2): 123-152.
- [21] Thompson M. Theory of Sample Surveys[M]. London: CRC Press, 1997.
- [22] Su F Z, Zhou C H, Shao Q Q, et al. GIS spatio-temporal analysis of fishery resources in East China Sea[J]. High Technology Letters, 2001, 11(5): 60-63. [苏奋振, 周成虎, 邵全琴, 等. 东海区鱼类资源变化 GIS 时空分析[J]. 高技术通讯, 2001, 11(5): 60-63.]
- [23] Chen Z X, Li H Q. The pattern of probability distribution on the density of demersal fishes stock in the northern continental shelf of the South China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 1987, 11(2): 159-166. [陈正兴, 李辉权. 南海北部大陆架底层鱼类资源密度概率分布型的研究[J]. 水产学报, 1987, 11(2): 159-166.]
- [24] Pennington M. Estimating the mean and variance from highly skewed marine data[J]. Fishery Bulletin, 1996, 94: 498-505.
- [25] Smith S J. Use of statistical models for the estimation of abundance from groundfish trawl survey data[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1990, 47(5): 894-903.
- [26] McConaughy R A, Conquest L L. Trawl survey estimation using a comparative approach based on lognormal theory[J]. Fishery Bulletin, 1993, 91(1): 107-118.
- [27] Syrjala S E. Critique on the use of the delta distribution for the analysis of trawl survey data[J]. ICES Journal of Marine Science, 2000, 57(4): 831-842.
- [28] Huang L M, Li J, Zhang Y Z, et al. Current fishery resource assessment in the Minjiang River Estuary and its neighboring waters[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(5): 142-148. [黄良敏, 李军, 张雅芝, 等. 闽江口及附近海域渔业资源现存量评析[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(5): 142-148.]

The probability distribution of the jack mackerel (*Trachurus japonicus*) density in the offshore of the northern South China Sea

YAN Ran^{1,2}, FAN Jiangtao^{1,2}, CHEN Zuozhi¹, CAI Yancong¹, ZHANG Kui¹, XU Youwei¹, XU Shannan¹

1. Key Laboratory of Open-Sea Fishery Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: The jack mackerel (*Trachurus japonicus*) is one of the main catches in the northern South China Sea, and its spatial distribution is non-uniform. According to the two cycles of bottom trawl survey data in the northern South China Sea from 2014 to 2017 (2014–2015 is the first cycle, 2016–2017 is the second cycle), resource density is characterized by the catch per unit effort (CPUE). The Kolmogorov-Smirnov test (K-S test) was used to explore 11 probability distribution features. The results showed that the continental shelf area of the northern South China Sea had no obvious probability distribution, while the jack mackerel resource density in the Beibu Gulf obeys the lognormal distribution pattern, and the second cycle is more significant than the first cycle. At the same time, using a lognormal theory model (lognormal model and delta model) and an investigative design method (arithmetic method) to compare the estimation of the resource density within a certain area, we found that the lognormal model is more fit to describe the distribution characteristics of the density structure of jack mackerel, and the delta model is more suitable to estimate the jack mackerel resource density.

Key words: *Trachurus japonicus*; resource density; probability distribution; northern South China Sea

Corresponding author: XU Shannan. E-mail: xushannan@scsfri.ac.cn