

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.17080

黄河口鱼类底拖网调查采样断面数的优化

王晶¹, 徐宾铎¹, 张崇良¹, 薛莹¹, 任一平^{1,4}, 万荣^{2,3,4}

1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306;

3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

4. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266000

摘要: 优化调查采样设计方案, 利用有限的调查成本获取准确可靠的渔业资源数据, 对于开展独立于渔业的科学调查十分重要。根据 2013 年 8、10 月和 2014 年 2、5 月在黄河口及其邻近水域进行的渔业资源底拖网调查数据, 选取短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)和矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)作为目标鱼种, 以其平均个体体长、平均个体体重为调查采样优化目标, 利用计算机模拟方法对黄河口水域的渔业资源底拖网调查生物学数据进行再抽样, 以平均体长、平均体重估计值的相对估计误差(REE)、相对偏差(RB)和变异系数(CV)作为优化评价指标, 对基于整群抽样方法的黄河口及邻近海域的调查采样断面数进行优化。结果表明, 对于目标鱼种的平均体长、平均体重指标, 模拟估计值的 REE、RB 和 CV 均随着断面数的减少不断增加, 调查断面数少于 3 时, 各指标的变化幅度较大。断面数由 5 减少至 3, REE 值平均增加 2%, RB 值平均增加 0.13%, CV 值平均增加 1.95%, 同时渔获量降低近 40%。因此, 断面数为 3 可视为黄河口及邻近海域可接受的最优调查断面数。

关键词: 黄河口; 底拖网调查; 采样设计优化; 最优断面数; 计算机模拟

中图分类号: S932

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)05-0931-08

渔业资源调查对于获得准确可靠的渔业资源评估和管理的基础数据十分重要。与渔业调查相比, 开展独立于渔业的科学调查, 成本高、代价大, 而且容易受到现场情况制约, 在很大程度上依赖于调查采样设计的合理性和准确性。不同的调查采样设计在获得调查水域渔业资源种类组成及其群落结构时, 往往会产生各个方面和不同层次的偏差^[1-2], 不仅影响获取样本的数量和重量, 在一定程度上也影响调查数据的处理和分析^[3-5]。因此, 科学合理的调查采样设计, 能够获取准确可靠的渔业资源数据, 有效节约海上调查成本, 使调查数据信息和调查综合效益最大化^[6-7]。同时, 调查采样设计优化可以降低高强度底拖网调查对生态系统和较低种群水平渔业资源的负面效应, 对于

渔业资源养护也十分重要。

整群采样(cluster sampling)是先把总体中的样本单位合并成更大的样本单元, 这种大的样本单元被称作“群”, 然后以群作为采样单位, 用随机采样方法从总体的群中抽取群作为样本, 对群中所有基本单位都进行调查的采样方法^[8]。应用整群采样时, 要求每个群都有较好的代表性, 即群内各单元的差异大, 群间差异小。整群采样操作简单方便、花费少; 其缺点也很明显, 若不同的群之间差异较大, 由此而引起的采样误差往往大于简单随机采样和分层采样^[9-10]。由于黄河口及其邻近水域理化环境特征主要是受黄河径流冲淡水的影响, 河口海域理化环境一般以河口为辐射中心, 由河口向外发生变化。生物的分布受环境

收稿日期: 2017-03-06; 修订日期: 2017-05-04.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303050).

作者简介: 王晶(1990-), 女, 博士研究生, 主要从事渔业资源与生态学研究. E-mail: wangjing9_1@sina.cn

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

因素的影响,呈辐射状分布^[11],断面内不同站位间差异较大,不同断面间相近,符合整群采样的特点。

以往大多数调查采样的目标多是估计目标种群资源量指数,为了提高资源量指数估计值精度,根据调查采样目标种群的分布格局和变异情况,确定最优的调查采样设计和采样努力量^[7, 12-23]。

在海洋生态系统中,物种个体大小反映了其处在生活史的不同阶段,其生长、繁殖和生存能力与个体大小息息相关^[24];同时,大个体捕食小个体的食物网关系^[25],决定了基于鱼类个体大小的指标对于群落结构稳定性具有一定的指示作用。在具有渔业捕捞活动的海域,个体较大的鱼种类通常是渔业捕捞活动的目标鱼种;网具的选择性使得大个体鱼类具有较高的捕获率;同时,大个体鱼类通常潜在增长率较低,较高的捕捞死亡率对其影响较大^[26-27]。因此,基于鱼类个体大小的指标能够灵敏地反映渔业捕捞强度对生态系统的影响^[28-29],在渔业资源评估与管理中具有重要意义。

本研究以短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)和矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)的平均体长、平均体重为优化指标,对黄河口及邻近水域渔业资源底拖网调查采样断面数进行优化,以期在确保指标估计值准确度、精确度以及调查效果的前提下降低采样努力量、调查采样成本以及对调查海域鱼类资源和生态系统的负面影响。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据来源于 2013 年 8 月、10 月和 2014 年 2 月、5 月在黄河口及其邻近水域进行的 4 个航次渔业资源底拖网季度调查。调查以黄河入海口为中心,呈辐射状设置 5 条断面,中间 3 条断面各设置 4 个站位,两侧断面各设置 3 个站位,共计 18 个站位(图 1)。调查海域水深范围是 5~20 m。调查船功率 260 kW,拖网网口周长 30.6 m,拖曳时网口宽度约 8 m,囊网网目 20 mm。原则上每站位拖曳 0.5 h,拖速 2~3 kn。调查所获渔获物样品全部带回实验室,进行生物学测定和分析处理。采

用随机取样方法进行生物学信息测定,各站位样品数不少于 50 尾,不足 50 尾时全部测定,获取目标鱼种的全部体长和体重数据,参照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)^[30]的要求,短吻红舌鲷以全长代替体长。

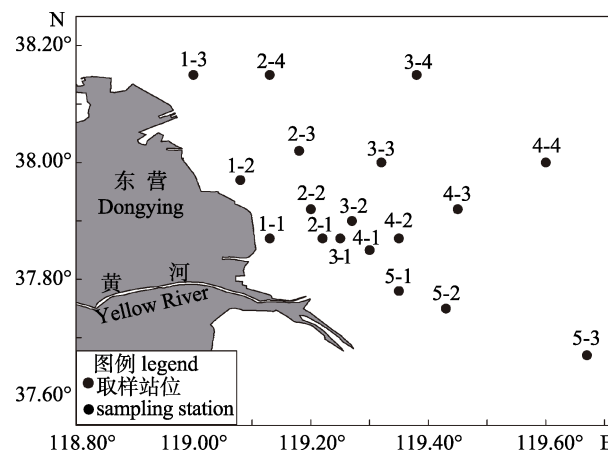


图 1 黄河口及其邻近水域渔业资源底拖网调查站位
Fig. 1 Sampling stations of bottom trawl survey in the Yellow River estuary and its adjacent waters

1.2 分析方法

1.2.1 模拟流程 以目标鱼种的平均个体体长和平均个体体重作为估计目标,对黄河口及其邻近水域渔业资源底拖网调查断面数进行优化。本研究主要探究断面设置的优化,不涉及各断面内站位的优化。本次模拟再抽样的前提假设包括:(1)当前在黄河口及邻近水域进行的渔业资源调查能反映目前该海域的渔业资源的真实时空分布;(2)利用原始调查数据获得的平均体长、平均体重能够代表该调查海域目标鱼种的平均体长、平均体重的“真值”。数据处理和模拟研究流程如图 2 所示。

调查断面设计为整群采样方法,各鱼种平均个体体长和平均个体体重的“真值” Y^{true} 计算公式^[8]如下:

$$Y^{\text{true}} = \frac{\sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^{n_j} Y_{j,k}}{\sum_{j=1}^a n_j}$$

式中, n_j 为第 j 个断面中目标鱼种总尾数, a 为断面数, $Y_{j,k}$ 为 j 断面中第 k 尾鱼的体长或体重。

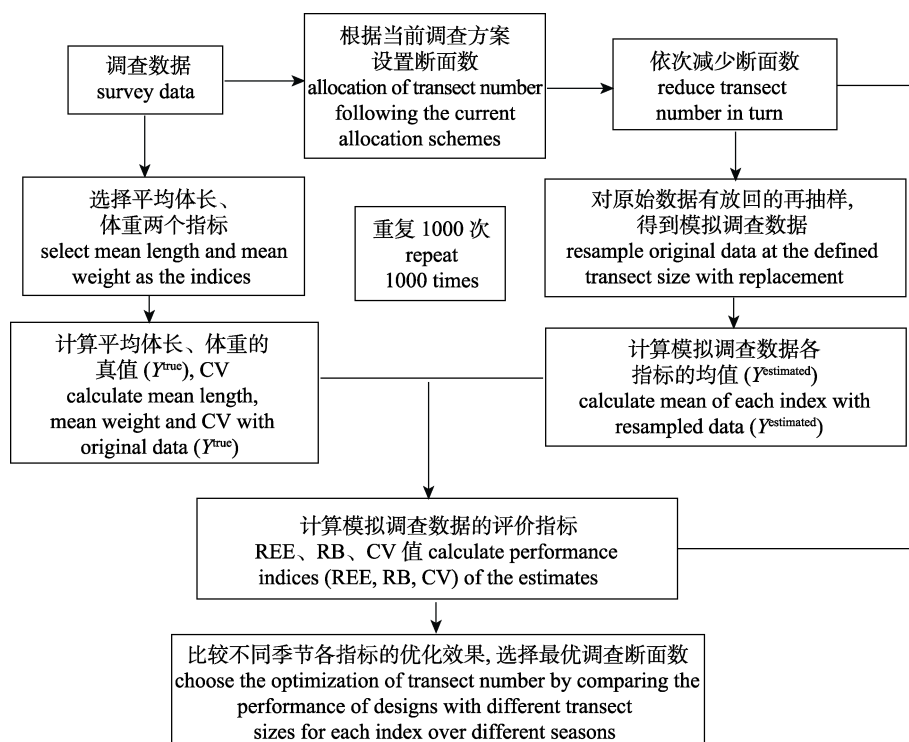


图 2 基于鱼类个体大小指标的调查断面数优化流程图

Fig. 2 Flowchart of the simulation to optimize the numbers of transects for the cluster sampling with size index of a fish population as a survey purpose

原始“真值”的方差: $S^2 = \frac{1}{a-1} \sum_{j=1}^a (\bar{Y}_j - Y^{\text{true}})^2$

原始“真值”的变异系数: $CV = S / Y^{\text{true}}$

式中, a 为断面数, $\bar{Y}_j$ 为第 j 个断面的平均体长或平均体重, S 为总体标准差^[8-9]。

1.2.2 目标鱼种选择 选取黄河口及其邻近水域的优势种短吻红舌鲷及矛尾虾虎鱼作为目标鱼种进行断面数优化。本研究中调查目标为所选鱼种的平均体长和平均体重。

1.2.3 调查设计的表现评价 应用相对估计误差 (relative estimation error, REE) 评价平均体长、平均体重估计值的精度和准确度^[7, 31]。

$$REE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R (Y_i^{\text{estimated}} - Y^{\text{true}})^2 / R}}{Y^{\text{true}}} \times 100\%$$

应用相对偏差 (relative bias, RB) 评价调查估计值的准确度及偏离真值的情况^[31]。

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^R Y_i^{\text{estimated}} / R - Y^{\text{true}}}{Y^{\text{true}}} \times 100\%$$

式中, Y^{true} 是根据原始调查数据计算的各鱼种的

平均体长、平均体重“真值”, $Y_i^{\text{estimated}}$ 是根据第 i 次再抽样数据计算的平均体长、平均体重的“模拟值”, R 是模拟次数 (本研究中取 1000 次)。

变异系数 (coefficient of variation, CV), 可用于评价再抽样过程中模拟值的离散变异情况。

$CV = SD / Y^{\text{mean}}$, 式中, SD 和 Y^{mean} 分别为 R 次模拟再抽样数据计算的平均体长、平均体重“模拟值”的标准差和均值。

2 结果与分析

2.1 相对估计误差 (REE 值)

在 4 个月中, 两种目标鱼种平均体长和平均体重估计值的 REE 值变化范围差异较大, 短吻红舌鲷平均体长估计值的 REE 值变化范围是 1.3%~14.8%, 平均体重估计值的 REE 值变化范围是 7.1%~41.3%; 矛尾虾虎鱼平均体长估计值的 REE 值变化范围为 1.2%~10.6%, 平均体重估计值的 REE 值变化范围是 5.0%~24.3% (图 3)。

不同估计值的 REE 值变化范围差异较大, 但总体变化趋势一致。随着调查断面数从 5 减少到

1, 2 种目标鱼种的平均体长、平均体重指标的 REE 值均增大。调查断面数从 5 个减少到 4 个时, 各指标的 REE 值保持稳定基本不变; 调查断面依次减少到 3 个时, REE 值略有增大, 但增加幅度小; 调查断面数依次减少到 1 个时, REE 值增大, 同时增加幅度也增大(图 3)。

2.2 相对估计偏差(RB 值)

在 4 个月中, 短吻红舌鲷和矛尾虾虎鱼的平均体长、平均体重估计值的 RB 值的总体变化范围是-3.4%~3.6%, RB 绝对值随着断面数从 5 减少到 1 时均增大, 绝对值变化范围 0~3.6%, 不存在一致性增大或减小趋势(图 4), 表明模拟采样

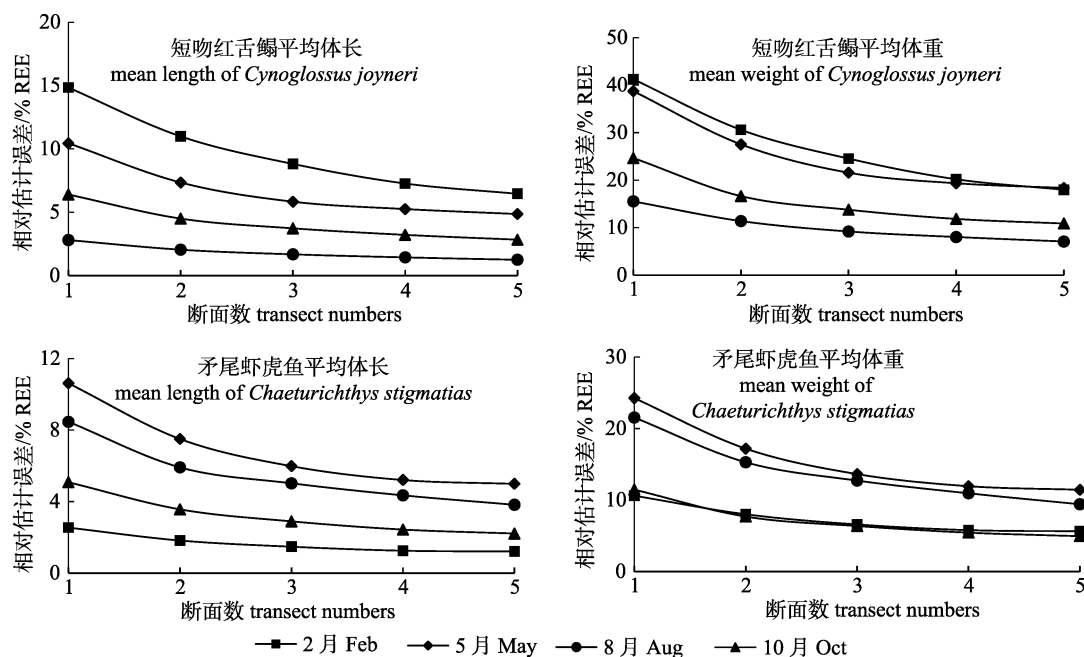


图 3 不同月份各指标的相对估计误差(REE)值随着断面数的变化

Fig. 3 Changes of relative estimation errors (REE) with transect numbers in different months

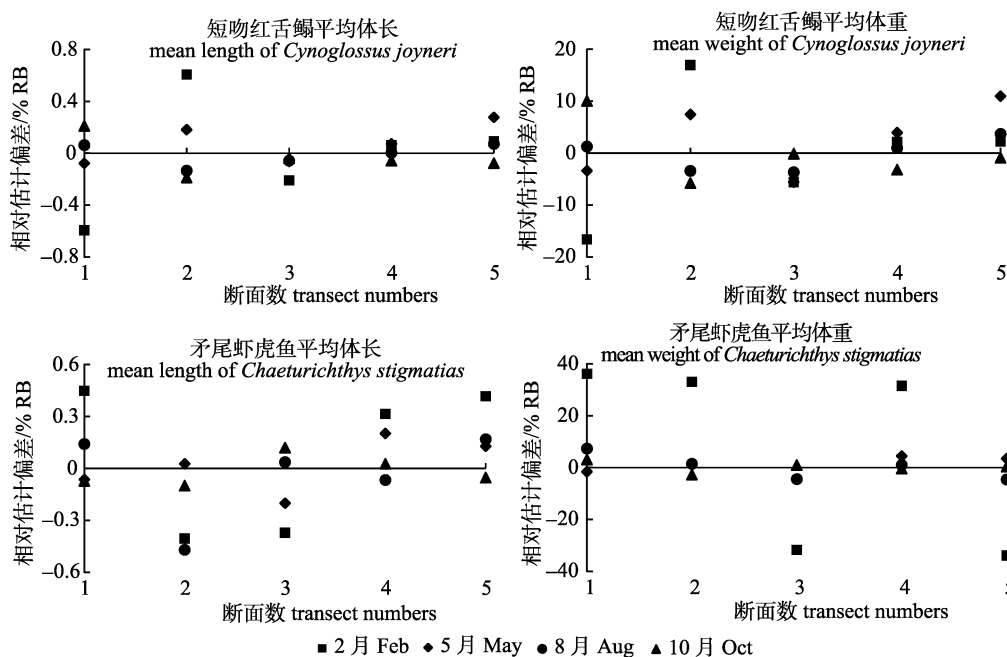


图 4 不同月份各指标的相对估计偏差(RB)值随着断面数的变化

Fig. 4 Changes of relative biases (RB) with transect numbers in different months

的估计值为无偏估计。

2.3 变异系数(CV 值)

4 个月中 2 种目标鱼种的平均体长、平均体重估计值的 CV 值变化趋势一致。随断面数增加, CV 值均呈下降趋势, 总体变化范围为 1.1%~

41.9%(图 5)。短吻红舌鲷平均体长估计值的 CV 值变化范围是 1.3%~14.9%, 平均体重估计值的 CV 值变化范围是 7.1%~41.9%; 矛尾虾虎鱼平均体长估计值的 CV 值变化范围是 1.1%~10.6%, 平均体重估计值的 CV 值变化范围是 4.4%~24.3%。

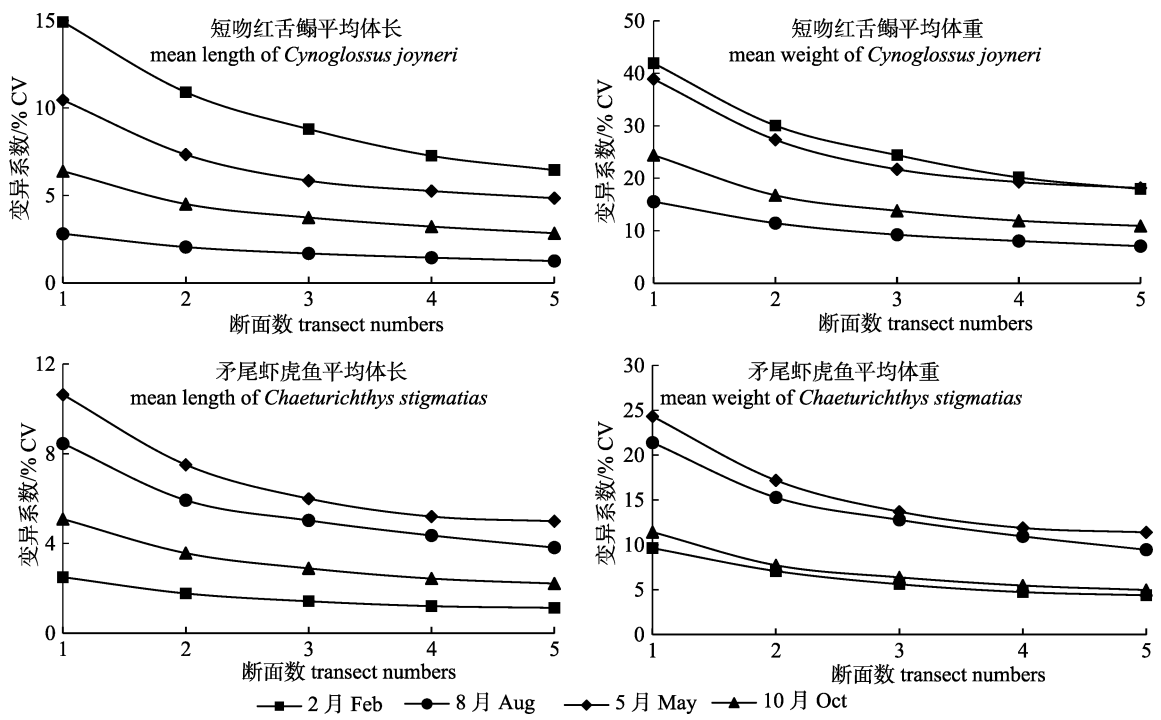


图 5 不同月份各指标的变异系数(CV)值随着断面数的变化

Fig. 5 Changes of coefficients of variation (CV) with transect numbers by species and seasons

选取断面数为 1 和 5 时对应模拟值的 REE 值, 分别为各指标 REE 值的最大值(max)和最小值(min)。REE 值与对应的原始数据 CV 值呈显著的线性关系(max: $R^2 = 0.9652$; min: $R^2 = 0.9088$), 随着 CV 值的增大, REE 值增大(图 6)。

2.4 最优断面数确定

表 1 为断面数从 5 减少到 3 时, 4 个月份中目标鱼种底拖网调查渔获量的降低率以及模拟估计值的 REE 值的变化情况。断面数从 5 减少到 3, 即减少 40.0%的采样努力量, 调查采样渔获量降低 40%左右。同一月份, 短吻红舌鲷和矛尾虾虎鱼的平均体长、体重估计值的 REE(%)值的增加量以及渔获量的降低率(%)不同; 同种鱼类的相同指标在不同月份中的变化也不同。断面数从 5 减少到 3, REE 值增加量范围是 0.3%~6.5%, 平均增加

2.0%, 而渔获量平均降低 40.0%左右。因此, 对于获取目标鱼种的平均体长、平均体重指标, 断面数为 3 可视为黄河口及其邻近水域底拖网调查可接受的最优断面数。

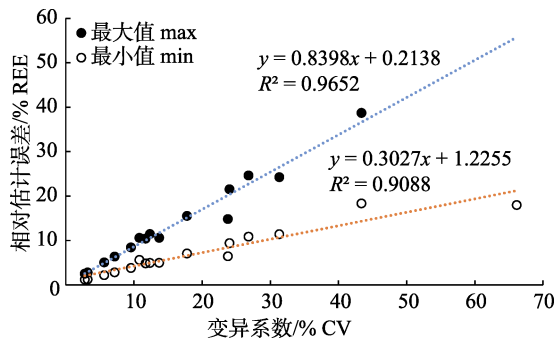


图 6 不同月份相对估计误差(REE)值与原始数据变异系数(CV)值的关系

Fig. 6 The relationship between the relative estimation error (REE) and the coefficient of variation (CV) of original survey data

表 1 断面数从 5 减少到 3 时各指标 REE 值以及渔获量的变化
Tab. 1 Changes in the REE and catch biomass when transect numbers decreased from 5 to 3

种类 species	2 月 February			5 月 May			8 月 August			10 月 October			%
	渔获量	REE	REE	渔获量	REE	REE	渔获量	REE	REE	渔获量	REE	REE	
	catch	-W	-L	catch	-W	-L	catch	-W	-L	catch	-W	-L	
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	-39.3	6.5	2.3	-40.7	3.6	1.0	-38.5	2.2	0.4	-42.8	2.9	0.9	
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	-41.0	1.2	0.3	-43.6	2.3	1.0	-39.1	3.3	1.2	-37.4	1.4	0.7	

3 讨论

由于黄河口及其邻近水域理化环境特征主要受黄河径流冲淡水的影响,其理化环境一般以河口为辐射中心,由河口向外逐渐发生变化^[32]。黄河口及其邻近水域渔业资源在各调查断面间差异小,同一断面各站位间差异大,渔业资源分布特征符合整群抽样的特点^[8, 33]。本模拟研究中,利用整群抽样获取样本估计鱼类的平均体长、平均体重,具有较好的代表性。

在 4 个月中,目标鱼种的平均体长、平均体重估计值的 REE 值变化趋势相同,随着断面数的增加而不断减小,在断面数达到 3 时,REE 值趋向稳定(图 3),这符合抽样学理论^[9, 34]。RB 值较小,且无一致性偏差,说明在黄河口及其邻近水域设置 3 个断面就可以满足基于体长和体重信息的精确度要求。

由整群抽样的特点可知,整群抽样的误差主要来源于总体的变异效应。总体变异程度的不同对抽样过程的影响不同,总体的变异越大,相同样本含量的抽样得到的抽样误差就会越大^[33]。本研究中原始数据变异系数(CV 值)与相对估计误差(REE 值)呈正相关(图 6),表明了总体变异性对抽样的影响。短吻红舌鲷的平均体长、平均体重估计值的 REE 值均是 2 月最高,8 月最低,这与短吻红舌鲷的个体大小在不同断面的分布有关。分析表明,在 2 月,1、3 断面未出现短吻红舌鲷,造成其体长、体重分布在不同断面间差异大;在 8 月,短吻红舌鲷分布较为均匀。矛尾虾虎鱼的平均体长、平均体重的 REE 值在 5 月最高,2 月最低。在 5 月,断面 2 中未出现矛尾虾虎鱼;在 2 月,各断面间矛尾虾虎鱼分布均匀,且平均体长、体重断面间差异小。

渔业资源调查对于获得渔业资源评估和管理的基础数据十分重要,对于有多个调查目标的渔业资源调查,需要综合考虑确定合适的调查设计以满足各指标要求。本研究以鱼类平均体长、平均体重为目标进行调查设计优化,而对于以资源量指数、群落指标等为调查目标的渔业资源调查,其设计优化则需要进一步研究。对于资源衰退、生态脆弱的近岸海域,应在满足调查目标要求的同时尽可能地降低采样对渔业资源种类和生态系统的影响。在某些情况下,采样努力量的小幅减少,则会大大降低调查采样成本,以及对资源的负面影响^[22]。黄河口及其邻近水域生态环境极为脆弱^[35],作为重要的鱼类产卵、育幼场,在这一地区降低采样努力量,可在一定程度上降低调查采样对鱼类资源造成的影响。

参考文献:

[1] Jardim E, Ribeiro J P. Geostatistical assessment of sampling designs for Portuguese bottom trawl surveys[J]. Fish Res, 2007, 85(3): 239-247.

[2] Wang Y G, Ye Y, Milton D A. Efficient designs for sampling and subsampling in fisheries research based on ranked sets[J]. ICES J Mar Sci, 2009, 66: 928-934.

[3] Stein A, Ettema C. An overview of spatial sampling procedures and experimental design of spatial studies for ecosystem comparisons[J]. Agric Ecosyst Environ, 2003, 94(1): 31-47.

[4] Rivoirard J, Simmonds J, Foote K, et al. Geostatistics for Estimating Fish Abundance[M]. Oxford: Blackwell Science, 2008.

[5] Wang J, Jiao Y, Ren Y P, et al. Comparative study on two computing methods for estimating Shannon-Wiener diversity index[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(8): 1257-1263. [王晶, 焦燕, 任一平, 等. Shannon-Wiener 多样性指数两种计算方法的比较研究[J]. 水产学报, 2015, 39(8): 1257-1263.]

[6] Simmonds E J, Fryer R J. Which are better, random or sys-

- tematic acoustic surveys? A simulation using North Sea her-
ring as an example[J]. ICES J Mar Sci, 1996, 53(1): 39–50.
- [7] Liu Y, Chen Y, Cheng J. A comparative study of optimization methods and conventional methods for sampling design in fishery-independent surveys[J]. ICES J Mar Sci, 2009, 66(9): 1873–1882.
- [8] Jin Y J, Du Z F, Jiang Y. Sampling Technique[M]. 4th edition. Beijing: China Renmin University Press, 2015: 107–132. [金勇进, 杜子芳, 蒋妍. 抽样技术[M]. 第4版. 北京: 中国人民大学出版社, 2015: 107–132.]
- [9] Lohr S. Sampling: Design and Analysis[M]. California: Duxbury Press, 2009.
- [10] Nelson G A. Cluster sampling: a pervasive, yet little recognized survey design in fisheries research[J]. Trans Am Fish Soc, 2014, 143(4): 926–938.
- [11] Tucker H. Mathematical Methods in Sample Surveys[M]. World Scientific, 1998.
- [12] Zhai L, Xu B D, Ji Y P, et al. Spatial pattern of fish assemblage and the relationship with environmental factors in Yellow River Estuary and its adjacent waters in summer[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(9): 2852–2858. [翟璐, 徐宾铎, 纪毓鹏, 等. 黄河口及其邻近水域夏季鱼类群落空间格局及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2852–2858.]
- [13] Jolly G M, Hampton I. A stratified random transect design for acoustic surveys of fish stocks[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1990, 47(7): 1282–1291.
- [14] Ault J S, Diaz G A, Smith S G, et al. An efficient sampling survey design to estimate pink shrimp population abundance in Biscayne Bay, Florida[J]. N Am J Fish Manag, 1999, 19(3): 696–712.
- [15] Firman J C, Jacobs S E. A survey design for integrated monitoring of salmonids[C]//Proceedings of the First International Symposium on Geographic Information Systems (GIS) in Fishery Science. Seattle: Fishery GIS Research Group, 2001: 242–252.
- [16] Mcquinn I H, Simard Y, Stroud T W, et al. An adaptive, integrated “acoustic-trawl” survey design for Atlantic cod (*Gadus morhua*) with estimation of the acoustic and trawl dead zones[J]. J Mar Sci, 2005, 62(1): 93–106.
- [17] Mcgarvey R, Mayfield S, Byth K, et al. A diver survey design to estimate absolute density, biomass, and spatial distribution of abalone[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2008, 65(9): 1931–1944.
- [18] Liu Y, Chen Y, Cheng J, et al. An adaptive sampling method based on optimized sampling design for fishery-independent surveys with comparisons with conventional designs[J]. Fish Sci, 2011, 77(4): 467–478.
- [19] Smith S G, Ault J S, Bohnsack J A, et al. Multispecies survey design for assessing reef-fish stocks, spatially explicit management performance, and ecosystem condition[J]. Fish Res, 2011, 109(1): 25–41.
- [20] Cao J. An evaluation of an inshore bottom trawl survey design for American lobster (*Homarus americanus*) using computer simulations[J]. J Northw Atlant Fish Sci, 2014, 46: 27–39.
- [21] Zhao J, Zhang S Y, Lin J, et al. A comparative study of different sampling designs in fish community estimation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(4): 1181–1187. [赵静, 章守宇, 林军, 等. 不同采样设计评估鱼类群落效果比较[J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1181–1187.]
- [22] Xu B, Ren Y, Chen Y, et al. Optimization of stratification scheme for a fishery-independent survey with multiple objectives[J]. Acta Oceanol Sin, 2015, 34(12): 154–169.
- [23] Xu B, Zhang C, Xue Y, et al. Optimization of sampling effort for a fishery-independent survey with multiple goals[J]. Environ Monit Assess, 2015, 187(5): 252.
- [24] Li B, Cao J, Chang J H, et al. Evaluation of effectiveness of fixed-station sampling for monitoring American lobster settlement[J]. N Am J Fish Manag, 2015, 35(5): 942–957.
- [25] Reiss M J. The Allometry of Growth and Reproduction[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- [26] Pope J G, Shepherd J G, Webb J, et al. Successful surf-riding on size spectra: the secret of survival in the sea[J]. Philos Trans Royal Soc, 1994, 343: 41–49.
- [27] Jennings S, Reynolds J D, Mills S C. Life history correlates of responses to fisheries exploitation[J]. Proc Royal Soc Lond B, 1998, 265: 333–339.
- [28] Jennings S, Greenstreet S P, Reynolds J D. Structural change in an exploited fish community: a consequence of differential fishing effects on species with contrasting life histories[J]. J Anim Ecol, 1999, 68: 617–627.
- [29] Shin Y J, Rochet M J, Jennings S, et al. Using size-based indicators to evaluate the ecosystem effects of fishing[J]. ICES J Mar Sci, 2005, 62(3): 384–396.
- [30] Blanchard J L, Dulvy N K, Jennings S, et al. Do climate and fishing influence size-based indicators of Celtic Sea fish community structure[J]. ICES J Mar Sci, 2005, 62(3): 405–411.
- [31] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People’s Republic of China. GB/T 2763.6-2007, specifications for oceanographic survey - part 6: marine biological survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2007. [中国国家质量监督检验检疫总局. GB/

- T 12763.6-2007, 海洋调查规范第 6 部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [32] Chen Y. A Monte Carlo study on impacts of the size of sub-sample catch on estimation of fish stock parameters[J]. *Fish Res*, 1996, 26: 207–223.
- [33] Zhu L B, Zhang F G. Some natural environment characteristics and distribution of seawater types in the Yellow River Estuary and its nearby coastal in summer 1989[J]. *Studia Marine Sinica*, 1994, 35: 23–31. [朱兰部, 张法高. 1989 年夏季黄河口及其附近海域某些自然环境特征及水型分布[J]. *海洋科学集刊*, 1994, 35: 23–31.]
- [34] Yang Q. Study on the influencing factors and treatment of cluster sampling error[J]. *Journal of Jiangxi University of Finance and Economics*, 2000(3): 50–52. [杨清. 整群采样误差的影响因素及其处理方法研究[J]. *江西财经大学学报*, 2000(3): 50–52.]
- [35] Cochran W G. *Sampling Techniques*[M]. New York: John Wiley, 2007.
- [36] Ji D W. Study on the Yellow River Estuary environment status and its influencing factors[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006. [纪大伟. 黄河口及邻近水域生态环境状况与影响因素研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.]

Sample size optimization for cluster design of bottom trawl fish surveys in the Yellow River estuary

WANG Jing¹, XU Binduo¹, ZHANG Chongliang¹, XUE Ying¹, REN Yiping^{1,4}, WAN Rong^{2,3,4}

1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

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

3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China;

4. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes; Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266000, China

Abstract: Fishery-independent surveys are essential for collecting high-quality data to support the stock assessments and management of regular fisheries. In general, such programs are more costly and time-consuming than commercial fishery-dependent programs. Thus, considerable interest exists in using computer simulations to optimize methods for obtaining high-quality data with limited sampling effort. Currently, high intensity fishery-independent bottom trawl surveys may negatively affect and disturb fish populations and the ecosystem of fragile estuarine habitats. These areas support many important fishery species; however, they are also among the most extensively affected and threatened aquatic environments due to fishing pressure and environmental stressors such as coastal development. In this study, we developed computer simulations to evaluate and optimize sampling of mean body length and weight of target fish species in a cluster sampling survey. For use in simulations, bottom trawl surveys were conducted in the Yellow River estuary and its adjacent waters during 2013 (August, October) and 2014 (February, May) to collect abundance and biological-trait data on red tongue sole (*Cynoglossus joyneri*) and finespot goby (*Chaeturichthys stigmatias*). The relative estimation error (REE), relative bias (RB), and coefficient of variation (CV) were used to measure the performance (accuracy, precision, and efficiency) of sampling schemes. These indices increased for simulated data when the number of sampling sections decreased. In the current survey design, a reduction in sampling-section number from five to three would reduce sampling effort by 40%, while increasing REE by only ~2% in about 40% of the catches. Thus, three sections are acceptable for surveys designed to obtain size-based indicators. This study also showed that sampling-effort optimization may vary between different survey objectives. Therefore, a post-survey analysis will improve fishery-independent survey designs based on specific survey goals, thereby yielding more effective survey data.

Key words: Yellow River estuary; bottom trawl survey; experimental design optimization; optimal transect number; computer simulation

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