

文章编号: 1000-0615(2019)06-1507-11

DOI: 10.11964/jfc.20180511297

黄河口渔业资源底拖网调查采样断面数对 资源量指数估计的影响

孟新翔¹, 王晶¹, 张崇良^{1,2}, 薛莹^{1,2}, 徐宾铎^{1,2*}, 任一平^{1,2}

(1. 中国海洋大学水产学院, 山东青岛 266003;

2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东青岛 266237)

摘要: 为查明采样强度对多种类渔业调查中资源量指数估计的影响, 实验根据2013年8月、10月和2014年2月、5月黄河口渔业资源底拖网调查数据, 选取短吻红舌鲷、方氏云鲷、矛尾虾虎鱼、枪乌贼、口虾蛄、日本鳎和小型鳀鲱鱼类为调查目标, 利用计算机模拟方法, 以相对估计误差(REE)、相对偏差(RB)、变异系数(CV)和准确度变化率(ACR)等为评价指标, 研究了调查样本量对不同种类资源量指数估计的影响。结果显示, 各种类资源量指数估计的REE、CV和ACR随断面数增加均逐渐降低并趋于稳定; 除在断面数3减到1时, 日本鳎、口虾蛄和方氏云鲷等个别种类RB绝对值增大外, 其他RB不存在一致性的增大或减小趋势。研究表明, 由于不同种类的分布存在时空差异, 不同种类需要的调查断面数不同; 当目标种类数量空间分布变异较小时, 减少调查断面数对采样精确度影响较小, 反之则需要更多调查断面数。对于多种类渔业资源调查, 需要综合权衡各目标种类来确定最适调查断面数。

关键词: 资源量指数; 采样努力量; 计算机模拟; 黄河口

中图分类号: S 932

文献标志码: A

渔业资源科学调查可以获取高质量的生物学和生态学数据, 但其调查成本高。因此, 科学的调查设计和优化十分必要, 它影响着调查成本、数据质量和数据分析方法^[1-2]。最优调查设计, 即在一定的调查需求、预算成本条件下, 调查目标估计准确度和精确度最高, 或者调查成本最低, 而实现调查效益最大化^[3-4], 同时减少对脆弱生态环境和衰退渔业种群的影响。

近年来, 国内外学者在渔业资源调查设计及优化等方面已开展较多研究。众多研究表明, 采样方法的精度随采样目的不同而不同。例如, Pooler等^[5]以西弗吉尼亚州卡邦河贝类为例, 研究了简单随机采样和系统采样预测贝类空间分布的效果, 并比较了不同大小样方对估计精度的影响。Cabral等^[6]研究了简单随机采样、分层

随机采样、系统采样和适应性采样等不同采样设计对底栖无脊椎种类丰度估计的影响。Zhao等^[7]以底层鱼类群落物种丰富度和生物多样性指数为指标, 比较了简单随机采样、系统采样和分层随机采样预测底层鱼类群落分布的效果。Xu等^[8]基于单个物种、种类群资源量指数和物种多样性指数多个调查目标, 对海州湾渔业资源调查采样努力量进行了优化。王晶等^[9]以短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)、矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)的平均体长、平均体质量为调查指标, 优化了黄河口鱼类底拖网调查采样断面数。

黄河口水域是黄渤海渔业生物重要的产卵场、栖息地和育肥场。近年来, 由于受到过度捕捞、海洋污染等人类活动的影响, 黄河口水域渔业资源结构发生了变化, 渔业资源向小型低质化、低

收稿日期: 2018-05-25 修回日期: 2018-08-31

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303050)

通信作者: 徐宾铎, E-mail: bdxu@ouc.edu.cn

龄化方向演变^[10-13],短吻红舌鳎、矛尾虾虎鱼、方氏云鳎(*Pholis fangi*)和小型鳀鲱鱼类以及枪乌贼(*Loligo sp.*)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)和日本鳎(*Charybdis japonica*)等无脊椎动物种类成为该海域优势种类^[14-19]。开展黄河口水域渔业资源养护和管理,需要开展必要的科学调查以查明资源状况。然而,高强度的底拖网调查对衰退渔业种群和生态环境会产生一定影响。因此,优化调查采样设计对于开展渔业资源科学调查十分必要。

为了探究调查采样强度对资源量指数估计的影响,本实验根据黄河口水域4个航次调查数据,研究了不同种类资源量指数估计随底拖网调查采样断面数的变化,以期为黄河口及其邻近水域渔业资源调查站位设计提供参考,同时也为河口区渔业资源的养护和管理提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 数据来源

实验数据来源于2013年8月(夏季)、10月(秋季)、2014年2月(冬季)、5月(春季)在黄河口水域进行的渔业资源底拖网调查,调查范围为37°3′~38°2′N、118°6′~119°8′E海域。采用整群抽样设计共设置5条断面,断面3沿黄河入海口方向,调查站位以断面-序号命名,共18个站位(图1)。调查船为260 kW底拖网单拖渔船,拖网网口周长30.6 m,网囊网目20 mm,拖拽时网口扩张宽度约为8 m。每站设计拖拽时间0.5 h,拖速3 kn。根据《海洋调查规范》^[20],进行渔获样品的保存、生物学测定和分析处理。各站位调查数据为拖速3 kn、拖网时间1 h的单位网次渔获质量(kg/h)。

1.2 分析方法

目标种类选择 选取黄河口水域的矛尾虾虎鱼、短吻红舌鳎、方氏云鳎、日本鳎、口虾蛄、枪乌贼和小型鳀鲱鱼类[包括鳀(*Engraulis japonicus*)、青鳞小沙丁鱼(*Sardinella zunasi*)、赤鼻棱鳀(*Thrissa kammalensis*)、中颌棱鳀(*Thrissa mustax*)、斑鳀(*Clupanodon punctatus*)和黄鲫(*Setipinna taty*)]等作为调查目标种类,以其资源量指数(平均单位网次渔获质量)作为调查采样优化目标。各种类的空间分布变异用其单位网次渔获质量变异系数衡量(表1)。

模拟流程 黄河口水域环境受黄河径流

冲淡水的影响,生物分布一般以黄河入海口为辐射中心,由河口向外发生变化,呈辐射状分布,本实验中的断面调查设计符合整群抽样断面间差异小,断面内差异大的特点^[9]。本次计算机模拟研究中,利用整群抽样获取样本估计的资源量指数,具有较好的代表性,能够反映目前该海域渔业资源的实际状况。

以目标种类的各站位单位网次渔获质量调查数据作为反映其渔业资源空间分布状况的“真值”。应用Bootstrap重抽样方法从原始“真值”数据中随机选取一定断面数的样本,得到模拟调查数据,根据模拟数据计算目标种类资源量指数,并分析其资源量指数估计值与调查断面数的关系。模拟研究流程图如图2所示。

本实验中断面设计属于整群抽样设计,目标种类资源量指数“真值”或模拟值的均值、方差和变异系数应用以下公式计算^[21]:

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

式中, n_j 为第 j 断面中调查站位数, a 为调查断面数, $V_{j,k}$ 为 j 断面中第 k 站位的单位网次渔获质量。

$$\text{方差: } S^2 = \frac{1}{a-1} \sum_{j=1}^a (\bar{V}_j - V^{\text{true}})^2$$

$$\text{变异系数: } CV = S/V^{\text{true}}$$

式中, a 为断面数, \bar{V}_j 为第 j 断面的平均单位网次渔获质量, S 为调查或重抽样模拟单位网次渔获质量的标准差。

调查设计表现评价 应用相对估计误差(relative estimation error, REE)评价资源量指数估计值的精确度和准确度,比较资源量指数模拟值与“真值”之间的差异^[4, 22]:

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

应用相对偏差(relative bias, RB)评估资源量指数估计的准确度,比较资源量指数模拟值偏离“真值”的情况,计算公式如下^[8]:

$$\text{RB}(\%) = \frac{\sum_{i=1}^R V_i^{\text{estimated}} - V^{\text{true}}}{V^{\text{true}}} \times 100\%$$

式中, $V_i^{\text{estimated}}$ 是根据第 i 次模拟抽样数据计算的资源量指数模拟值, V^{true} 是根据原始调查数据计算的各种类资源量指数“真值”, R 是模拟次数(本研究中 $R=1\ 000$)。

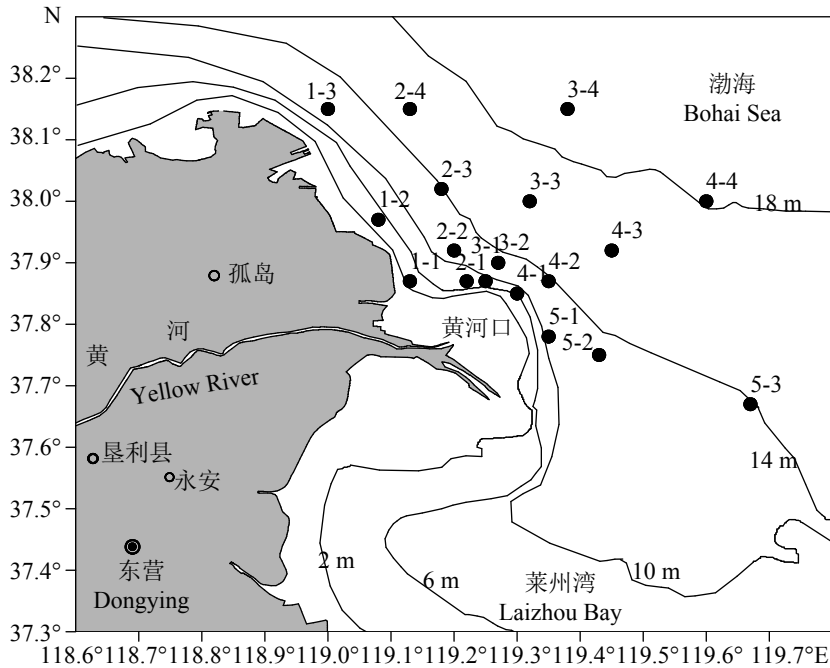


图 1 黄河口水域渔业资源底拖网调查站位

Fig. 1 Sampling stations of bottom trawl survey in the Yellow River estuary

表 1 黄河口水域各季节不同种类单位网次渔获质量的变异系数

Tab. 1 Coefficient of variation of relative abundance indices of selected species/groups in four seasons in the Yellow River estuary

种类 species	8月 Aug.	10月 Oct.	2月 Feb.	5月 May
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	1.700	0.449	1.015	0.880
方氏云鲷 <i>Pholis fangi</i>	2.015		1.504	0.206
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	1.834	0.849	0.411	0.800
枪乌贼 <i>Loligo sp.</i>	0.410	0.621		0.241
日本蟳 <i>Charybdis japonica</i>	2.351	1.404	1.922	2.430
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	1.238	0.761	1.081	1.441
鳀鲱鱼类 small-sized fish species in Clupeidae and Engraulidae	1.820	0.931		1.035

准确度变化率(accuracy change rate, ACR)是准确度统计量(如REE或RB)的变化量与样本量变化的比值^[23],

$$ACR = (V_{size1} - V_{size2}) / (Size2 - Size1)$$

式中, Size 1、Size 2代表2个不同的样本量, V_{size1} 、 V_{size2} 是不同样本量对应的准确度统计量值, 本研

究中选取REE值。

应用准确度变化率确定样本量继续增加但未显著提高参数估计准确度时的样本量。本实验中样本量变化取值1。选取ACR值为4的标准线作为参考线^[24], 最接近此线的Size2即为该调查目标种类的最适样本量。

2 结果

2.1 相对估计误差

不同季节不同种类资源量指数估计值的REE值变化差异较大, 但其随断面数的增加, REE均呈下降趋势且趋于稳定(图3)。

对于各种类资源量指数估计值, 其REE值随断面数的变化存在季节差异。短吻红舌鲷资源量指数估计值的REE值冬、春季变化范围较大, 夏、秋季较小; 矛尾虾虎鱼资源量指数估计值的REE值夏季变化范围较大, 春、秋季较小, 冬季最小; 方氏云鲷资源量指数估计值的REE值在夏、冬季变化范围较大, 春季的变化范围较小; 鳀鲱鱼类资源量指数估计值的REE值在春、夏和秋季的变化范围较小, 不同季节差异较小; 日本蟳资源量指数估计值的REE值在冬、春季变化范围较大, 夏、秋季较小; 口虾蛄资源量指数估计值的REE值在冬、春季变化范围较大, 夏、秋季

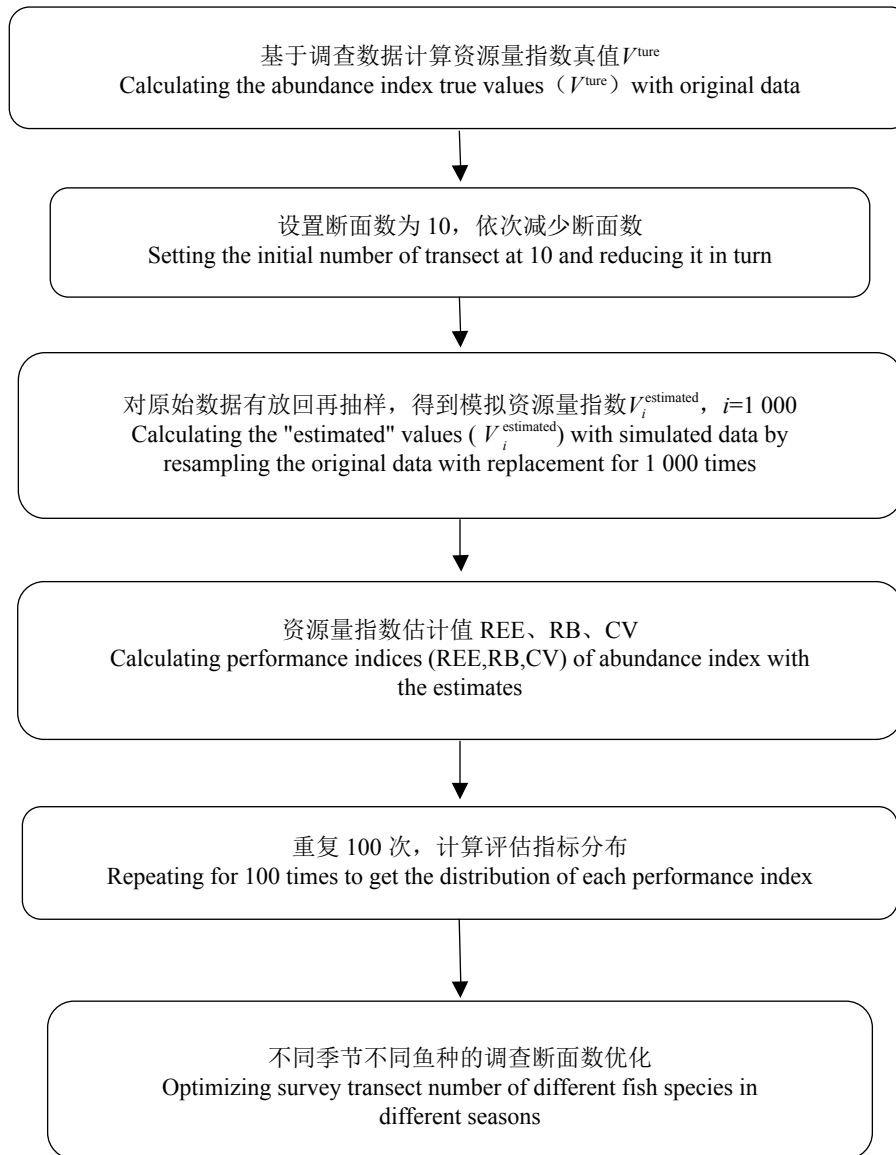


图 2 基于资源量指数指标的调查断面数优化计算机模拟流程图

Fig. 2 Flowchart of the computer simulation to optimize the numbers of transect for the cluster sampling with abundance index as a survey objective

较小；枪乌贼资源量指数估计值的REE值除冬季外变化范围较小，不同季节差异较小。

在相同季节，不同种类资源量指数估计值的REE值变化范围不同。总体分析，夏季鳃鲱鱼类、口虾蛄、秋季短吻红舌鳎、冬季矛尾虾虎鱼、春季方氏云鳎和枪乌贼的资源量指数估计值REE值较低且变化范围较小。

2.2 相对估计偏差

各种类资源量指数估计值偏离“真值”的程度、变化范围在不同季节有所不同。对于各种类资源量指数估计值，其RB绝对值的变化范围随

断面数的增加均呈现下降趋势。除在调查断面较少时，日本鳎、夏秋季鳃鲱鱼类和夏季矛尾虾虎鱼资源量指数RB高于0，以及口虾蛄、夏季方氏云鳎、秋季矛尾虾虎鱼和春季短吻红舌鳎、矛尾虾虎鱼资源量指数RB低于0外，其他无一致性的高于或低于0的变化趋势(图4)。

2.3 变异系数

在各季节中，各种类资源量指数估计值的CV变化趋势一致，均随断面数增加呈下降趋势，总体变化范围为0.07%~2.21%(图5)。矛尾虾虎鱼资源量指数估计值的CV值变化范围为0.12%~1.48%；

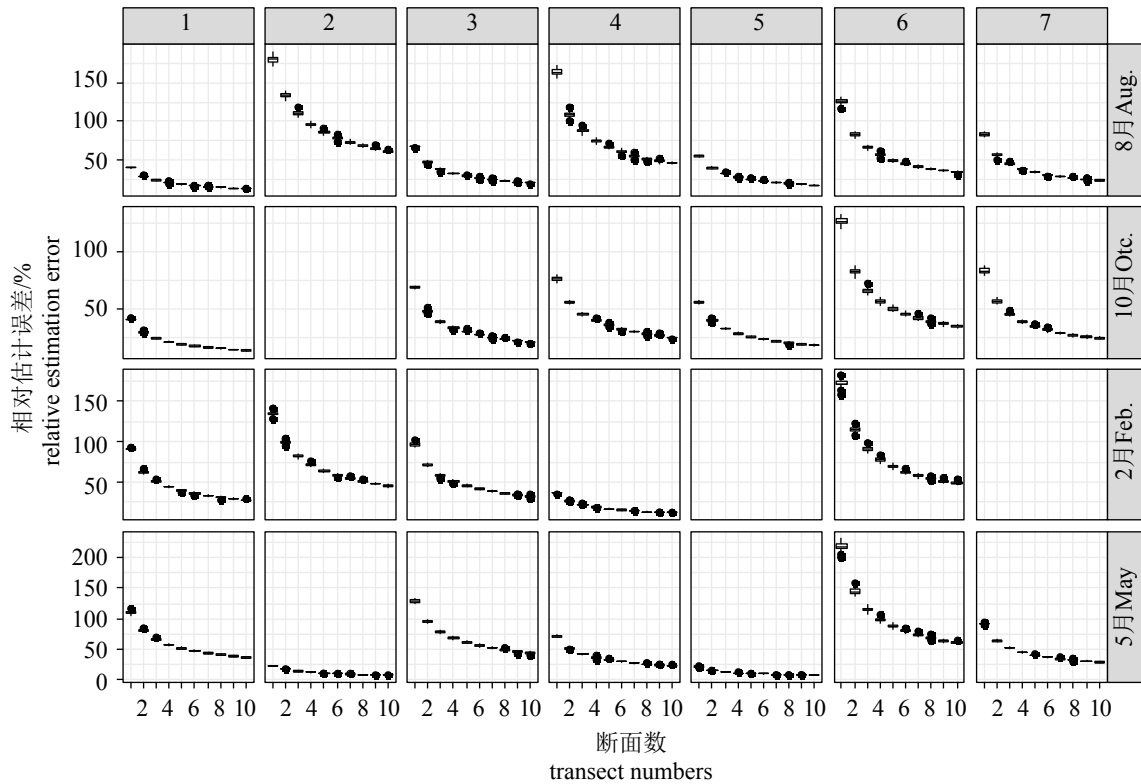


图3 不同季节资源量指数相对估计误差随断面数的变化

1. 短吻红舌鲷; 2. 方氏云鲷; 3. 口虾蛄; 4. 矛尾虾虎鱼; 5. 枪乌贼; 6. 日本鲷; 7. 鳀鲱鱼类

Fig. 3 Changes of relative estimation errors of abundance indices with transect numbers in four seasons

1. *Cynoglossus joyneri*; 2. *Pholis fangi*; 3. *Oratosquilla oratoria*; 4. *Chaeturichthys stigmatias*; 5. *Loligo* sp.; 6. *Charybdis japonica*; 7. small-sized fish species in Clupeidae and Engraulidae

短吻红舌鲷的CV值变化范围为0.12%~1.25%; 方氏云鲷的CV值变化范围为0.07%~2.21%; 鳀鲱鱼类的CV值变化范围为0.23%~0.98%; 日本鲷的CV值变化范围为0.32%~1.97%; 枪乌贼的CV值变化范围为0.07%~0.59%; 口虾蛄的CV值变化范围为0.19%~1.44%(图5)。

2.4 准确度变化率

在不同季节, 各种类资源量指数估计值的准确度变化率ACR值不同, 但其随断面数增加均逐渐降低并趋于稳定(图6)。例如, 短吻红舌鲷资源量指数估计的最适断面数在秋、冬、春和夏季分别为4、6、5和8。

日本鲷、夏季的短吻红舌鲷、矛尾虾虎鱼以及方氏云鲷除外的春季各种类资源量指数估计所需断面数最多, 为7~10个; 口虾蛄、鳀鲱鱼类以及短吻红舌鲷和矛尾虾虎鱼除外的夏季其他种类所需断面数次之, 为4~6个, 其中鳀鲱鱼类最适断面数在不同季节间无变化; 枪乌贼资

源量指数估计所需断面数最少, 为3~5个(图6)。

2.5 原始数据变异系数与REE值关系

选取断面数为10和1时对应模拟值的REE值, 表示资源量指数估计值REE值的最小值和最大值。不同种类REE值与对应原始数据的变异系数CV(表1)密切相关, 随着CV的增大REE值增大(图7)。

3 讨论

本实验各种类资源量指数估计值精确度均表现出随调查断面数的增加而提高的趋势, 且对于不同的种类和季节, 相对估计误差等指标随断面数的变化表现出不同变化规律, 资源量指数估计所需最适断面数也不相同。这主要与各种类具有不同的空间分布特征及其季节变化有关。

本实验基于资源量指数指标进行调查设计, 由于不同种类时空分布呈现季节变化, 针对某一

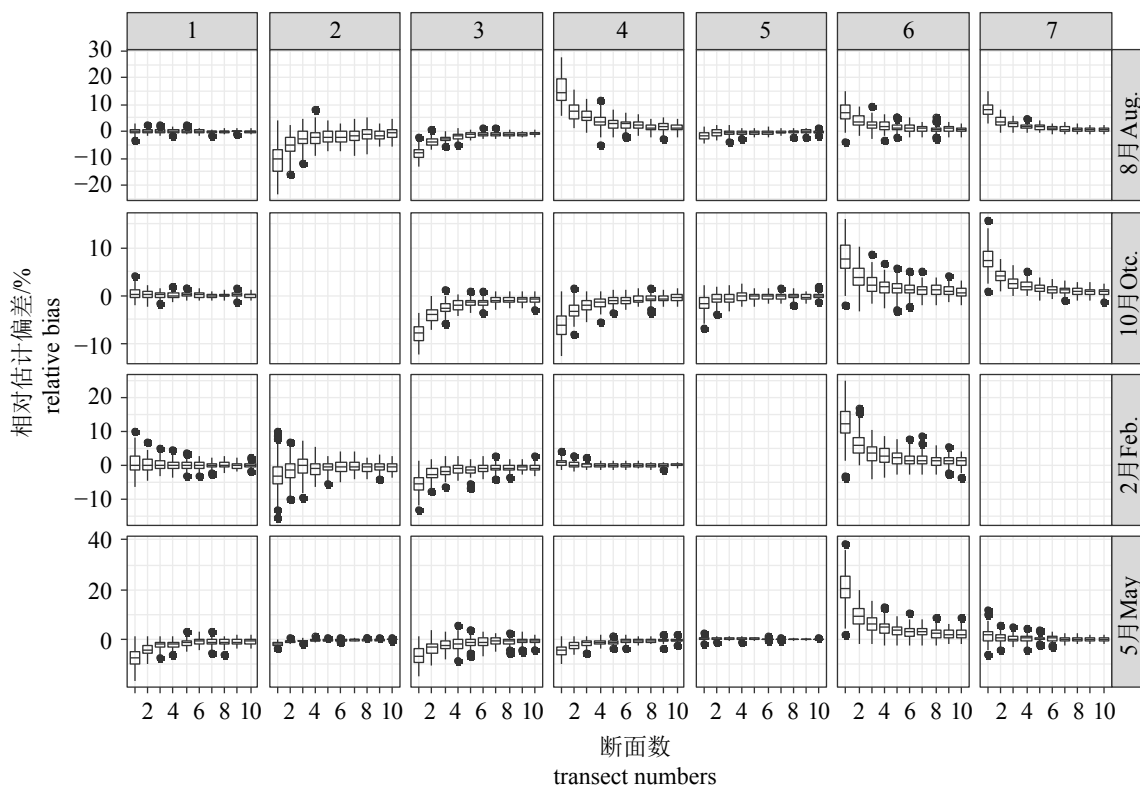


图4 不同季节资源量指数相对估计偏差随着断面数的变化

1. 短吻红舌鲷; 2. 方氏云鲷; 3. 口虾蛄; 4. 矛尾虾虎鱼; 5. 枪乌贼; 6. 日本鲷; 7. 鳀鲱鱼类

Fig. 4 Changes of relative biases (RB) of abundance indices with transect numbers in different seasons

1. *Cynoglossus joyneri*; 2. *Pholis fangi*; 3. *Oratosquilla oratoria*; 4. *Chaeturichthys stigmatias*; 5. *Loligo* sp.; 6. *Charybdis japonica*; 7. small-sized fish species in Clupeidae and Engraulidae

目标确定的断面数,可能不一定适用于其他目标。例如,在春季,对黄河口及其邻近水域渔业资源状况进行调查,调查断面数为9即可满足调查需要(图6),而对方氏云鲷、矛尾虾虎鱼、短吻红舌鲷和鳀鲱鱼类等鱼类资源状况进行调查时,断面数为6即可满足调查需要,调查断面数从9减少到6时,其资源量指数REE值平均范围从8.14%~40.76%增加到9.95%~46.98%,表明减少样本量仍然可以产生相对较高的精确度和估计准确度。同一种类不同季节资源量指数估计所需最适断面数也不相同,如短吻红舌鲷所需断面数为4~8个,而鳀鲱鱼类在各个季节中所需最适断面数均为6(图6)。

当调查种类不同时,由于不同物种空间分布上存在差异,调查样本量优化存在差异。在各季节中,日本鲷资源量指数估计值的REE值比鳀鲱鱼类、枪乌贼等种类的变化范围大,其所需断面数多,为7~10个(图3,图6)。目标种类原始数据空间分布变异系数与其REE值密切相关,

在断面数相同的情况下,空间分布变异系数越高,其REE值就越高,表明了总体变异性对抽样的影响(图7)。

整群抽样误差主要来源于目标总体的变异效应,其总体方差可以分解为群间方差和群内方差^[25]。应用Bootstrap重抽样方法在抽取断面数较小时,对于日本鲷资源量指数出现高估,而口虾蛄、方氏云鲷、秋季矛尾虾虎鱼和春季短吻红舌鲷资源量指数出现低估,这可能主要与其数量分布的断面间差异较大有关。由于生物栖息地偏好和研究区域的环境异质性,很多生物呈稀疏、簇生、斑块状或聚集分布,在断面间出现较高差异性,比如定居性种类的口虾蛄^[26]。针对此种情况,整群采样调查效果下降,可以采用两阶段抽样设计和基于优化抽样设计的自适应抽样方法^[27-30]。对于多种类渔业资源调查,确定合适的调查设计需要考虑抽样精度、捕捞渔具的捕捞效率、目标群体的时空分布、调查采样成本、渔业种类重要性以及拖网调查对资

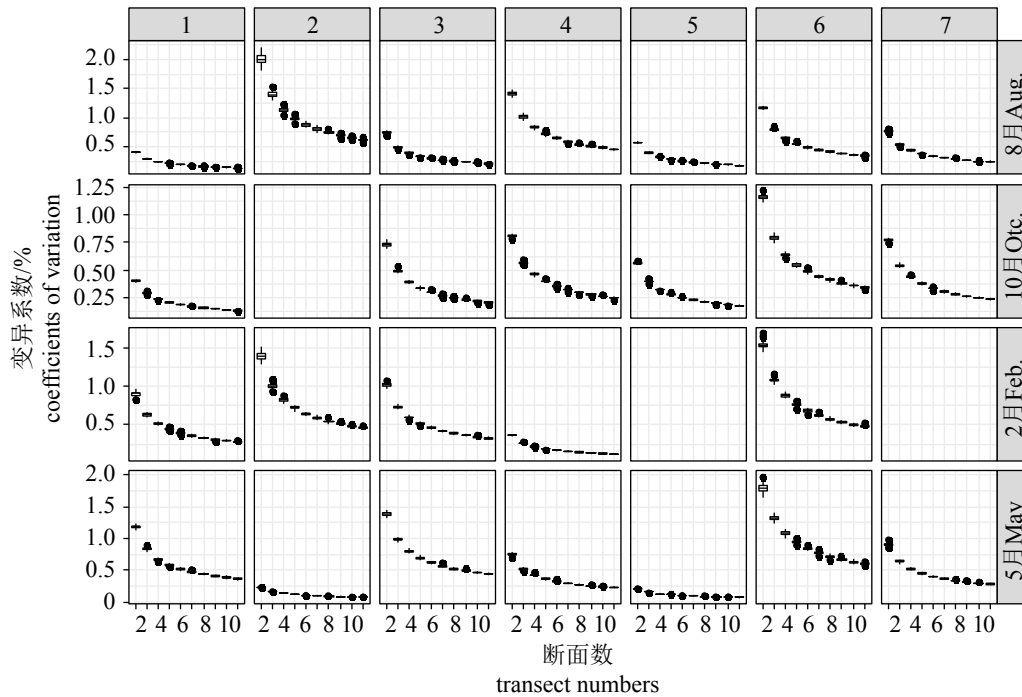


图 5 不同季节各指标的变异系数(CV)值随着断面数的变化

1. 短吻红舌鲷; 2. 方氏云鲷; 3. 口虾蛄; 4. 矛尾虾虎鱼; 5. 枪乌贼; 6. 日本鲷; 7. 鲷鲱鱼类

Fig. 5 Changes of coefficients of variation of abundance indices with transect numbers in four seasons

1. *Cynoglossus joyneri*; 2. *Pholis fangi*; 3. *Oratosquilla oratoria*; 4. *Chaeturichthys stigmatias*; 5. *Loligo* sp.; 6. *Charybdis japonica*; 7. small-sized fish species in Clupeidae and Engraulidae

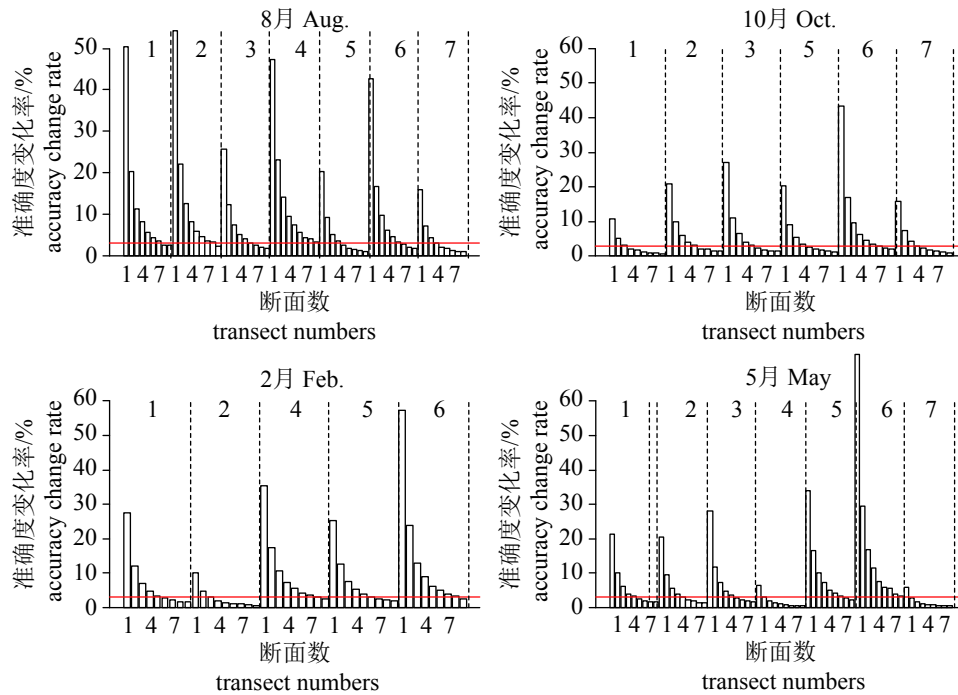


图 6 准确度变化率随样本量的变化

1. 短吻红舌鲷; 2. 矛尾虾虎鱼; 3. 鲷鲱鱼类; 4. 方氏云鲷; 5. 口虾蛄; 6. 日本鲷; 7. 枪乌贼. 图中横线代表ACR=4

Fig. 6 Accuracy change rate of REE with sample size

1. *Cynoglossus joyneri*; 2. *Chaeturichthys stigmatias*; 3. small-sized fish species in Clupeidae and Engraulidae; 4. *Pholis fangi*; 5. *Oratosquilla oratoria*; 6. *Charybdis japonica*; 7. *Loligo* sp. The horizontal line represents ACR equal to 4

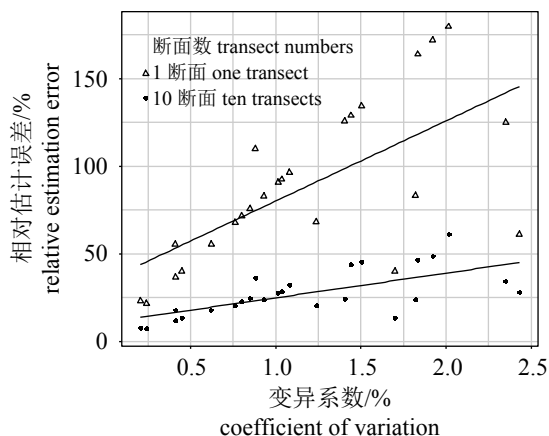


图7 相对估计误差(REE)值与原始数据变异系数(CV)值的关系

Fig. 7 Relationship between the relative estimation error (REE) and the coefficient of variation (CV) of original survey data

源和环境的不利影响等因素^[18, 31]。由于不同物种分布的时空异质性, 采用自适应抽样设计是否合适仍需进一步研究。

当渔业资源调查不以资源量指数指标进行调查设计时, 所需调查样本量与其不同。王晶等^[9]基于鱼类个体大小指标, 对黄河口鱼类底拖网调查断面数进行了优化, 其研究表明各断面有较好的代表性, 较少断面仍可获取准确度和精确度较高的平均体长和平均体质量等数据。Xu等^[32]基于群落指标对海州湾海域进行分层方案以及站位数优化, 结果表明, 海州湾海域调查站位数可由24优化为18, 并且由于采样量减少对精确度造成的影响, 可以通过不同的分层方案来补偿。

对于数量分布空间变异较小的种类, 当断面数增加到一定程度时, 增加断面数对资源量指数估计精确度的影响较小, 减小样本量仍可以获得相对较高的精确度和准确度; 对于数量分布空间变异较大的种类, 应增加调查断面数以减小物种空间分布差异对采样精度的影响。在调查设计中很难确定一个最优的调查方案来满足所有的调查目标, 如果调查经费充足, 满足所需断面数最大的调查设计可为该海域的最优调查设计。因此, 在调查中应针对不同的调查目标综合考虑, 调查断面设计应该首先满足最重要的目标, 然后通过一些指标评价这种调查设计在满足其他调查目标方面的可行性。

参考文献:

- [1] Rivoirard J, Simmonds J, Foote K G, *et al.* Geostatistics for estimating fish abundance[M]. Oxford:Blackwell Science Ltd, 2000.
- [2] Stein A, Ettema C. An overview of spatial sampling procedures and experimental design of spatial studies for ecosystem comparisons[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2003, 94(1): 31-47.
- [3] Simmonds E J, Fryer R J. Which are better, random or systematic acoustic surveys? A simulation using North Sea herring as an example[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1996, 53(1): 39-50.
- [4] Liu Y, Chen Y, Cheng J H. A comparative study of optimization methods and conventional methods for sampling design in fishery-independent surveys[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2009, 66(9): 1873-1882.
- [5] Pooler P S, Smith D R. Optimal sampling design for estimating spatial distribution and abundance of a freshwater mussel population[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 2005, 24(3): 525-537.
- [6] Cabral H N, Murta A G. Effect of sampling design on abundance estimates of benthic invertebrates in environmental monitoring studies[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2004, 276: 19-24.
- [7] Zhao J, Cao J, Tian S Q, *et al.* Evaluating sampling designs for demersal fish communities[J]. *Sustainability*, 2018, 10(8): 2585.
- [8] Xu B D, Zhang C L, Xue Y, *et al.* Optimization of sampling effort for a fishery-independent survey with multiple goals[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, 187(5): 252.
- [9] 王晶, 徐宾铎, 张崇良, 等. 黄河口鱼类底拖网调查采样断面数的优化[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(5): 931-938.
Wang J, Xu B D, Zhang C L, *et al.* Sample size optimization for cluster design of bottom trawl fish surveys in the Yellow River estuary[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(5): 931-938(in Chinese).
- [10] 焦玉木, 田家怡. 黄河三角洲附近海域浮游动物多样性研究[J]. *海洋环境科学*, 1999, 18(4): 33-38.
Jiao Y M, Tian J Y. Zooplankton diversity around the Huanghe River Delta[J]. *Marine Environmental Science*, 1999, 18(4): 33-38(in Chinese).
- [11] 邓景耀, 金显仕. 莱州湾及黄河口水域渔业生物多样性

- 性及其保护研究[J]. 动物学研究, 2000, 21(1): 76-82.
- Deng J Y, Jin X S. Study on fishery biodiversity and its conservation in Laizhou Bay and Yellow River estuary[J]. Zoological Research, 2000, 21(1): 76-82(in Chinese).
- [12] Jin X S. Long-term changes in fish community structure in the Bohai Sea, China[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 59(1): 163-171.
- [13] 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.
- 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(in Chinese).
- [14] 刘健, 张崇良, 薛莹, 等. 黄河口两种鱼类资源密度不同估算方法的比较[J]. 中国水产科学, 2017, 24(4): 845-852.
- Liu J, Zhang C L, Xue Y, *et al.* Comparative study on two methods for estimating fishery resource density for two species from Yellow River Estuary[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(4): 845-852(in Chinese).
- [15] 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.
- Zheng L. Preliminary study of fish community structure in Yellow River Estuary waters[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014(in Chinese).
- [16] 赵晓娟, 邱盛尧, 乔凤琴, 等. 山东北部沿海幼鱼种类组成特征的研究[J]. 水产科学, 2011, 30(10): 597-602.
- Zhao X J, Qiu S Y, Qiao F Q, *et al.* Composition of juvenile in the northern coast of Shandong Province[J]. Fisheries Science, 2011, 30(10): 597-602(in Chinese).
- [17] 高慧良, 黄六一, 李龙, 等. 黄河口海域春季和夏季须子网渔获物组成分析[J]. 渔业现代化, 2016, 43(2): 62-67.
- Gao H L, Huang L Y, Li L, *et al.* Analysis on the catch composition of Xuzi net at Yellow River estuary in spring and summer[J]. Fishery Modernization, 2016, 43(2): 62-67(in Chinese).
- [18] 丛旭日, 李凡, 吕振波, 等. 莱州湾蟹类的群落结构特征[J]. 海洋渔业, 2015, 37(5): 419-426.
- Cong X R, Li F, Lü Z B, *et al.* Community structure of crab in Laizhou Bay[J]. Marine Fisheries, 2015, 37(5): 419-426(in Chinese).
- [19] 李敏, 纪毓鹏, 徐宾铎, 等. 黄河口及邻近水域小型鳀鲱鱼类数量分布及其与环境因子的关系[J]. 海洋学报, 2016, 38(10): 52-61.
- Li M, Ji Y P, Xu B D, *et al.* Spatio-temporal distribution of small-sized fish species in Clupeidae and Engraulidae and its relationships with environmental factors in Huanghe River Estuary and its adjacent waters[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2016, 38(10): 52-61(in Chinese).
- [20] 国家质量监督检验检疫总局. 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查: GB/T 12763.3-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Specifications for oceanographic survey-part 6: marine biological survey: GB/T 12763.3-2007[S]. Beijing: China Standards Press, 2007.
- [21] 金勇进, 杜子芳, 蒋妍. 抽样技术[M]. 4版. 北京: 中国人民大学出版社, 2015.
- Jin Y J, Du Z F, Jiang Y. Sampling technique[M]. 4th ed. Beijing: China Renmin University Press, 2015(in Chinese).
- [22] Chen Y. A Monte Carlo study on impacts of the size of subsample catch on estimation of fish stock parameters[J]. *Fisheries Research*, 1996, 26(3-4): 207-223.
- [23] 刘勇. 渔业资源评估抽样调查方法的理论探讨与研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2012.
- Liu Y. Theoretical study on the sampling methods of survey for fishery stock estimation[D]. Shanghai: East China Normal University, 2012(in Chinese).
- [24] Jardim E, Ribeiro P J Jr. Geostatistical assessment of sampling designs for Portuguese bottom trawl surveys[J]. *Fisheries Research*, 2006, 85(3): 239-247.
- [25] 杨清. 整群抽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.
- Yang Q. On the affecting factors of cluster sampling errors and its solutions[J]. Journal of Jiangxi University of Finance and Economics, 2000(3): 50-52(in Chinese).
- [26] 吴强, 陈瑞盛, 黄经献, 等. 莱州湾口虾蛄的生物学特征与时空分布[J]. 水产学报, 2015, 39(8): 1166-1177.
- Wu Q, Chen R S, Huang J X, *et al.* Fishery biology characteristics, temporal and spatial distribution of *Oratosquilla oratoria* in Laizhou Bay, Bohai Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(8): 1166-1177(in Chinese).

- [27] Thompson S K. Adaptive cluster sampling[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1990, 85(412): 1050-1059.
- [28] Yu H, Jiao Y, Su Z M, *et al.* Performance comparison of traditional sampling designs and adaptive sampling designs for fishery-independent surveys:a simulation study[J]. *Fisheries Research*, 2012, 113(1): 173-181.
- [29] Brown J A. A comparison of two adaptive sampling designs[J]. *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, 1999, 41(4): 395-403.
- [30] Liu Y, Chen Y, Cheng J H, *et al.* An adaptive sampling method based on optimized sampling design for fishery-independent surveys with comparisons with conventional designs[J]. *Fisheries Science*, 2011, 77(4): 467-478.
- [31] Rusak J A, Montz P K. Sampling requirements and the implications of reduced sampling effort for the estimation of annual zooplankton population and community dynamics in north temperate lakes[J]. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2009, 7(7): 535-544.
- [32] Xu B D, Ren Y P, Chen Y, *et al.* Optimization of stratification scheme for a fishery-independent survey with multiple objectives[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 34(12): 154-169.

Effects of sampling transect number on estimation of abundance index for bottom trawl surveys of fisheries resources in the Yellow River estuary

MENG Xinxiang¹, WANG Jing¹, ZHANG Chongliang^{1,2},
XUE Ying^{1,2}, XU Binduo^{1,2*}, REN Yiping^{1,2}

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

2. Laboratory for Marine Fishery Science and Food Production Processes; Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China)

Abstract: Fishery-independent survey is commonly used for collecting high quality biological and ecological data and provides vital parameters for fish stock assessment and management. For fishery-independent surveys, low cost and high precision as a result of reduced sample size may lead to a much greater reduction of survey mortality for the already depleted fishery populations and the ecosystem of fragile estuarine habitats, so that optimization of sampling design is essential for acquiring cost-effective sampling efforts. Computer simulation is usually applied to evaluating sampling designs in identifying an optimal sampling effort to achieve the goals of a survey program. In this study, the effect of sample size on estimation of abundance index was examined for fishery species including *Cynoglossus joyneri*, *Pholis fangi*, *Chaeturichthys stigmatias*, *Loligo* sp., *Oratosquilla oratoria*, *Charybdis japonica* and small-sized fish species in Clupeidae and Engraulidae in a cluster sampling survey based on the data collected from bottom trawl surveys conducted in August, October 2013 and February, May 2014 in the Yellow River estuary and its adjacent waters. The relative estimation error (REE), relative bias (RB), coefficient of variation (CV), and accuracy change rate (ACR) were used to measure the performances (accuracy and precision) of different sampling efforts. In general, these indices including REE, CV and ACR showed similar trends, decreasing with sample size initially and then becoming stable after certain sample sizes during all the four seasons. Most of RB did not show consistently increasing or increasing trends with sampling size. The absolute value of RB of *C. japonica*, *O. oratoria* and *P. fangi* etc showed an obvious increase when the sample size reduced from 3 to 1. The optimal sampling efforts were different for the selected species because the target species had different spatial variabilities. The effects of reducing sampling effort on the precision of abundance index estimation were low when the species had low spatial variabilities. Therefore, the optimal sampling effort for multiple species fishery resources surveys should consider the spatial and temporal distribution patterns of the target species.

Key words: abundance index; sampling effort; computer simulation; Yellow River estuary

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

Funding projects: Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201303050)