

西北太平洋渔业资源调查采样设计比较

张 焯¹, 赵 静¹, 叶旭昌¹, 刘志良², 马 金^{1,3,4}

(1. 上海海洋大学 海洋生物资源与管理学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 船舶管理中心, 上海 201306; 3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306)

摘要: 为兼顾调查成本和调查效果并实现多目标远洋渔业资源调查, 根据2021—2023年西北太平洋渔业资源调查数据, 以澳洲鲈、日本鲭和远东拟沙丁鱼的相对资源量以及总相对资源量为调查目标, 使用Kriging插值法模拟调查目标的空间分布, 利用计算机模拟方法比较了简单随机抽样(Design 1)、系统抽样(Design 2)、基于层面分配方法的分层随机抽样(Design 3)和基于层资源量分配方法的分层随机抽样(Design 4)等4种采样设计对调查目标的评估效果, 以相对误差(Relative estimation error, REE)和相对偏差(Relative bias, RB)衡量评估效果的精度, 采用准确度变化率(Accuracy change rate, ACR)对调查站点数进行选择。结果显示, 4种采样设计对调查目标的评估精度不同, 表现为Design1 < Design2 < Design3 < Design4。Design1、Design3和Design4的REE值随站点数量增加而降低, Design2的REE值随站点数量增加波动较大。Design4对日本鲭、远东拟沙丁鱼和总相对资源量的评估精度更高, 但高估了日本鲭的相对资源量。当采用Design4进行模拟采样时, 综合考虑所有调查目标, 28个站位为最适调查站位数量。结果表明, 分层随机抽样(Design4)可优先作为西北太平洋渔业资源调查采样设计方案。

关键词: 多目标渔业资源调查; 采样设计; 计算机模拟; 西北太平洋

中图分类号: S 932.4 **文献标志码:** A

渔业资源调查是研究鱼类生长特征^[1]、种群分布^[2]、生物多样性以及渔业资源变动^[3-4], 掌握渔业资源现状的重要途径^[5], 对渔业资源管理措施或政策的制定与调整有重要意义^[6]。渔业资源调查可分为渔业资源科学调查和渔业生产调查^[7], 其中, 渔业资源科学调查易受调查成本、调查方法、调查范围、调查周期等因素影响^[8-9], 远洋渔业资源科学调查尤为突出。远洋渔业资源调查通常距离远、站点跨度大、费用高, 优化调查设计方案, 提升调查的精确度和准确度具有重要实践意义^[10]。

西北太平洋区域是世界粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)统计的所有区域中产量最高的区域^[11]。澳洲鲈(*Scomber australasicus*)、日本鲭(*Scomber japonicus*)和远东拟沙丁鱼(*Sardinops*

melanostictus)是西北太平洋重要经济鱼种, 且日本鲭和远东拟沙丁鱼也是北太平洋渔业委员会(The North Pacific Fisheries Commission, NPF)的优先管理物种^[11]。近年来, 我国在西北太平洋海域开展了渔业资源科学调查, 并分析了主要经济鱼种资源变动等^[12-13], 但对该海域科学调查站位设计方案尚未开展研究。本研究以西北太平洋澳洲鲈、日本鲭和远东拟沙丁鱼等的相对资源量以及总体相对资源量为调查目标, 运用计算机模拟方法进行不同采样设计的抽样调查精度比较, 以期优化现行西北太平洋渔业资源调查方案和远洋渔业资源调查设计提供研究参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据来源于2021—2023年“淞航”号调查船

收稿日期: 2024-04-28 修回日期: 2024-06-21

基金项目: 农业农村部全球渔业资源调查监测评估(公海渔业资源综合科学调查)专项(D-8025-23-1002)

作者简介: 张 焯(2001—), 男, 硕士研究生, 研究方向为采样设计。E-mail: 643743675@qq.com

通信作者: 马 金, E-mail: jma@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

在西北太平洋开展的渔业资源综合调查,调查时间为2021—2023年6—8月。调查海域为 $148^{\circ}\text{E}\sim 164^{\circ}\text{E}$ 、 $35^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$,共设70个综合调查站点,调查站点栅格经纬度大小为 $2^{\circ}\times 1^{\circ}$,其中2021年渔业资源拖网站点42个,2022年36个,2023年39个(图1)。“淞航”号船长85.00 m,宽14.96 m,平均拖速4~6 kn,每个站点拖网1~2 h。调查网具为四

片式中层单囊拖网,网口周长434 m,网具总长度97.1 m。渔获物进行种类鉴别后冷冻保存,带回实验室进行生物学分析,按照拖网时间1 h和拖速5 kn进行数据标准化处理,得到各调查站点目标鱼种的相对资源量及总相对资源量(kg/h),以目标鱼种相对资源量和总相对资源量为调查目标进行模拟研究。

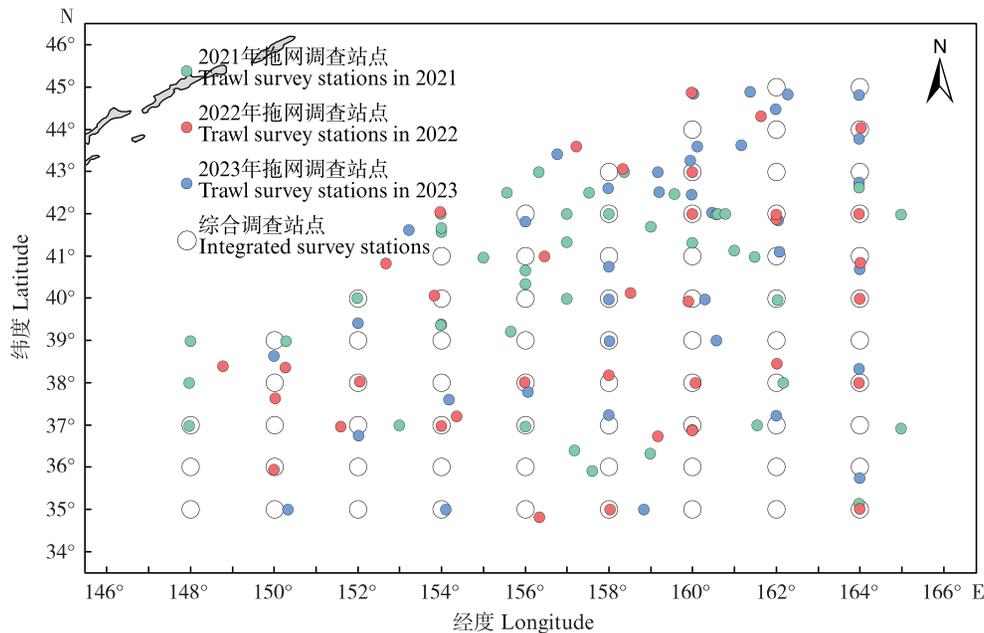


图1 2021—2023年西北太平洋调查站点空间分布

Fig. 1 Sampling stations in Northwest Pacific Ocean from 2021 to 2023

1.2 模拟过程

本研究通过Kriging插值法获得调查目标的资源分布情况作为模拟抽样的总体,以70个综合调查站点为总体潜在调查站点(图1),采用简单随机抽样(Simple random sampling, SRS)、系统抽样(Systematic sampling, SYS)和分层随机抽样(Stratified sampling, StS)对“总体”进行重抽样(1 000次)。选择相对误差(Relative estimation error, REE)和相对偏差(Relative bias, RB)评价各抽样方法对调查目标的抽样估计准确度和偏离情况,使用REE的均值计算准确度变化率(Accuracy change rate, ACR),通过比较评价指标的数值区间分布来评价各采样设计的抽样表现^[14]。

1.2.1 抽样总体的获取

由于在2021年和2022年的调查中,未将获取的鲱进行日本鲱和澳洲鲱的区分,同时2021—2023年的总相对资源量和远东拟沙丁鱼的相对资源量空间分布特征较为相似(图2),因此将

2023年4种调查目标的空间分布作为抽样总体。采用Kriging插值法获得澳洲鲱、日本鲱、远东拟沙丁鱼的相对资源量及总相对资源量在调查海域的“真实”分布情况,并假设该总体能够代表调查时该海域调查目标的“真实”分布,以此作为“真值”进行模拟抽样,比较不同采样设计的抽样精确度与准确度。

1.2.2 采样设计

本研究比较了SRS、SYS和StS在估计各目标鱼种相对资源量及总相对资源量的表现。

SRS:每次抽样从70个潜在调查站点中随机抽取 n 个站点,进行不放回抽样,相应采样设计为Design 1。

SYS:按调查船航行路线对潜在调查站点进行编号,随机抽取站点 m 作为起点,再按照固定间隔 $k=70/n$ 从总体中抽取 n 个站点(若 k 不为整数,则对 k 向下取整),进行环形系统抽样,相应采样设计为Design 2。

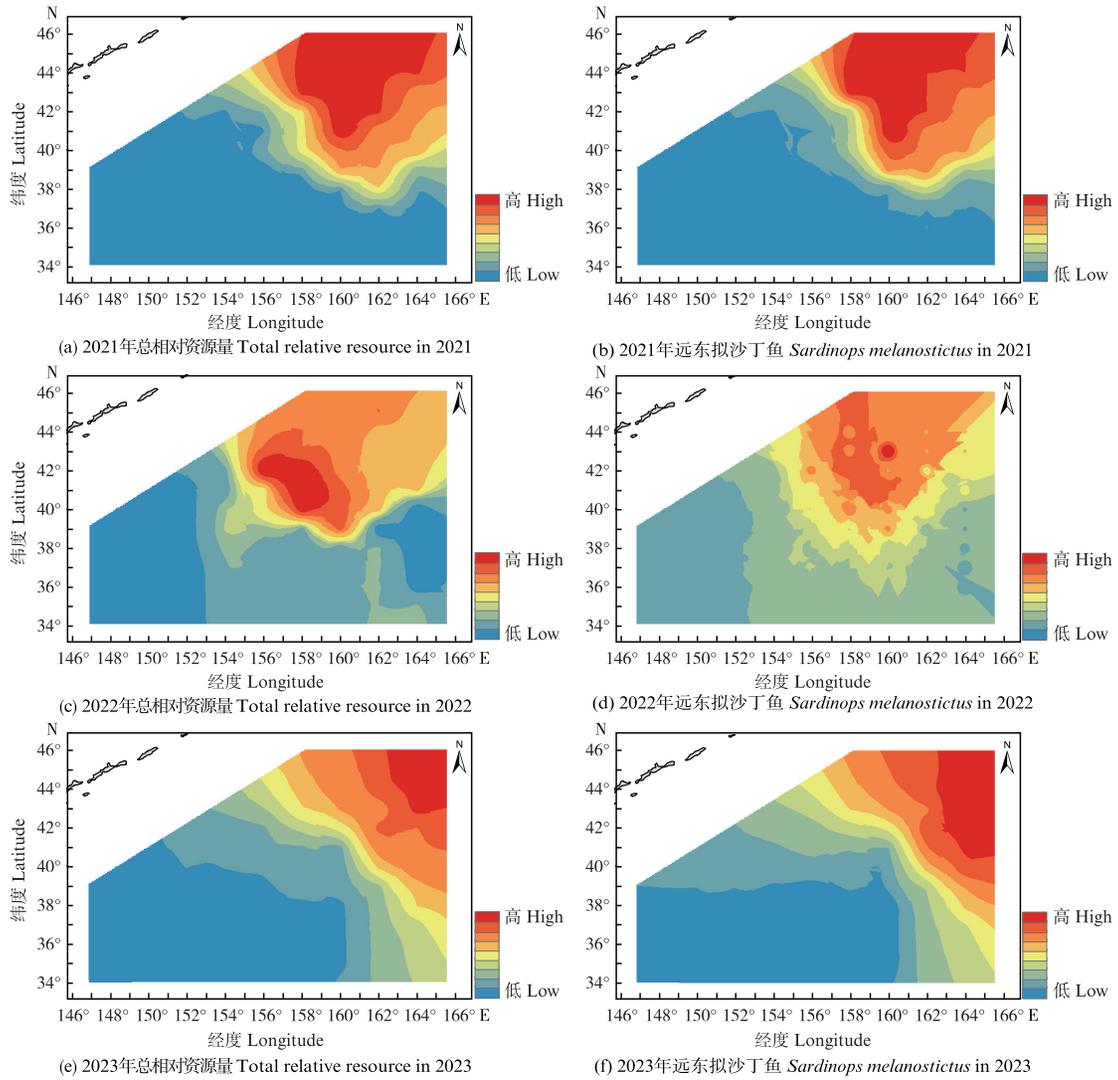


图2 2021—2023年总相对资源量和远东拟沙丁鱼相对资源量空间分布
 Fig. 2 Spatial distribution of total relative abundance and the relative abundance of *Sardinops melanostictus* in 2021–2023

StS:根据各目标鱼种相对资源量及总相对资源量的空间分布特征,按照层间异质性大、层内异质性小的分层原则将调查水域划分为3层(相对资源量由高到低分别为A、B、C,图3),为了保证具有统计意义,每层最少分配3个采样站点。

采样站点按照每层包含的潜在站点数量比例进行分配,即层内的调查站点数与层面积成正比,相应采样设计为Design 3。

采样站点按照每层的相对资源量比例进行分配,即层内的调查站点数与层相对资源量成正比,若分配的站点数超过该层总站点数量,则将超出部分的站点数按照相对资源量比例分配给其他层,相应采样调查设计为Design 4。

1. 2. 3 评价指标

采用相对误差 REE^[15-16]评价采样估计值的准确度和精密性,REE 可以反映相对资源量估计值和“真实值”之间的差异情况。采用相对偏差 RB^[17]评价采样估计值的偏差,RB 可以反映估计值与“真实值”的偏离情况,可以反映采样估计值对总体均值的高估和低估情况。REE 值越小,RB 值越趋近于0,采样设计效果越好^[16]。

REE 与 RB 的计算公式:

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

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^N V_i^{estimated}}{N} - V^{true} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $V_i^{\text{estimated}}$ 为采样设计第 i 次模拟抽样调查的估计值均值; V^{true} 为目标鱼种相对资源量和总相对

资源量“真实”值的均值; N 为模拟次数, 本研究中 $N=1\ 000$ 。

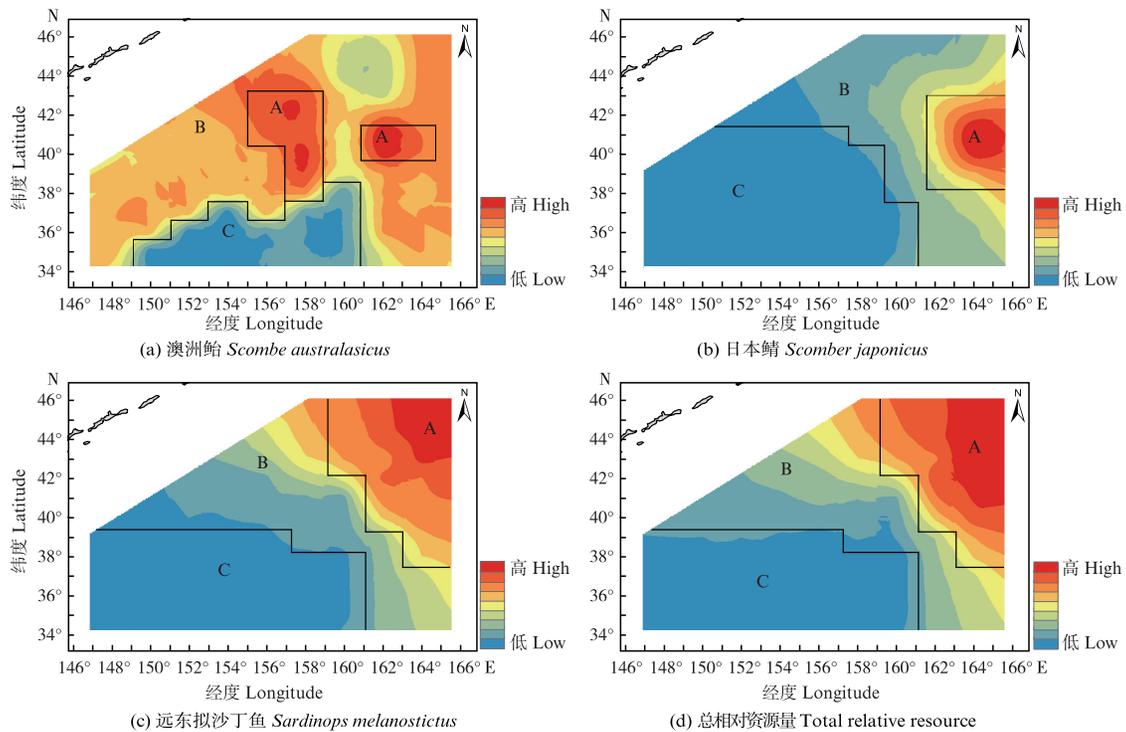


图3 目标鱼种相对资源量及总相对资源量预测分布及分层示意图

Fig. 3 Stratified schematic diagram illustrating the predicted distribution of the total relative abundance and the relative abundance of target species

基于1 000次重抽样的REE均值来计算准确度变化率(Accuracy change rate, ACR), 以此作为衡量REE变化量与站点数量变化的比值^[15]。由于传统ACR计算方法为使用某一站点数对应的准确度统计量值与上一站点数对应的准确度统计量值进行计算以确定准确度的变化, 考虑到系统抽样的REE存在随站点数量增加而呈现波动的情况^[18-19], 导致在某些站点数量虽然ACR的值较大, 但实际其准确度可能并未显著增加。因此, 本研究ACR的计算方式在参考相关研究的基础上进行了优化^[15,20]。

$$ACR = \frac{REE_n - REE_{\min}}{S_{\min} - S_n} \quad (3)$$

式中: S_n, S_{\min} 为不同站点数, S_n 大于 S_{\min} , 且 S_{\min} 为站点数在 $[3, n-1]$ 区间内REE最小值对应的站点数; REE_n, REE_{\min} 为不同站点数对应的1 000次REE均值, 选取ACR值为0.2作为确定REE显著降低的标准线。

1.2.4 抽样过程

(1) 对抽样总体分别进行不同采样设计的重

抽样, 站点数量为3~50(分层随机抽样为9~50), 进行连续抽样。根据模拟数据计算不同采样设计下的各评价指标数值。(2) 重复上述过程1 000次, 计算不同采样设计的REE和RB, 以此比较不同采样设计的表现。(3) 在1 000次循环抽样结果基础上, 使用1 000次REE的均值计算ACR, 以确定各采样设计最优站点数。

2 结果

2.1 不同采样设计的相对误差

总体来看, 简单随机抽样和分层随机抽样对4种调查目标总体估计的REE变化趋势一致, 均随站点数量的增加而降低, 且2种分层随机抽样的REE小于简单随机抽样(图4)。总体上, 系统抽样对4种调查目标总体估计的REE呈降低趋势, 但在个别抽样站点数量(如23、35)存在陡增现象, 当抽样间隔 k 相同时, 站点数量越多, REE越低。

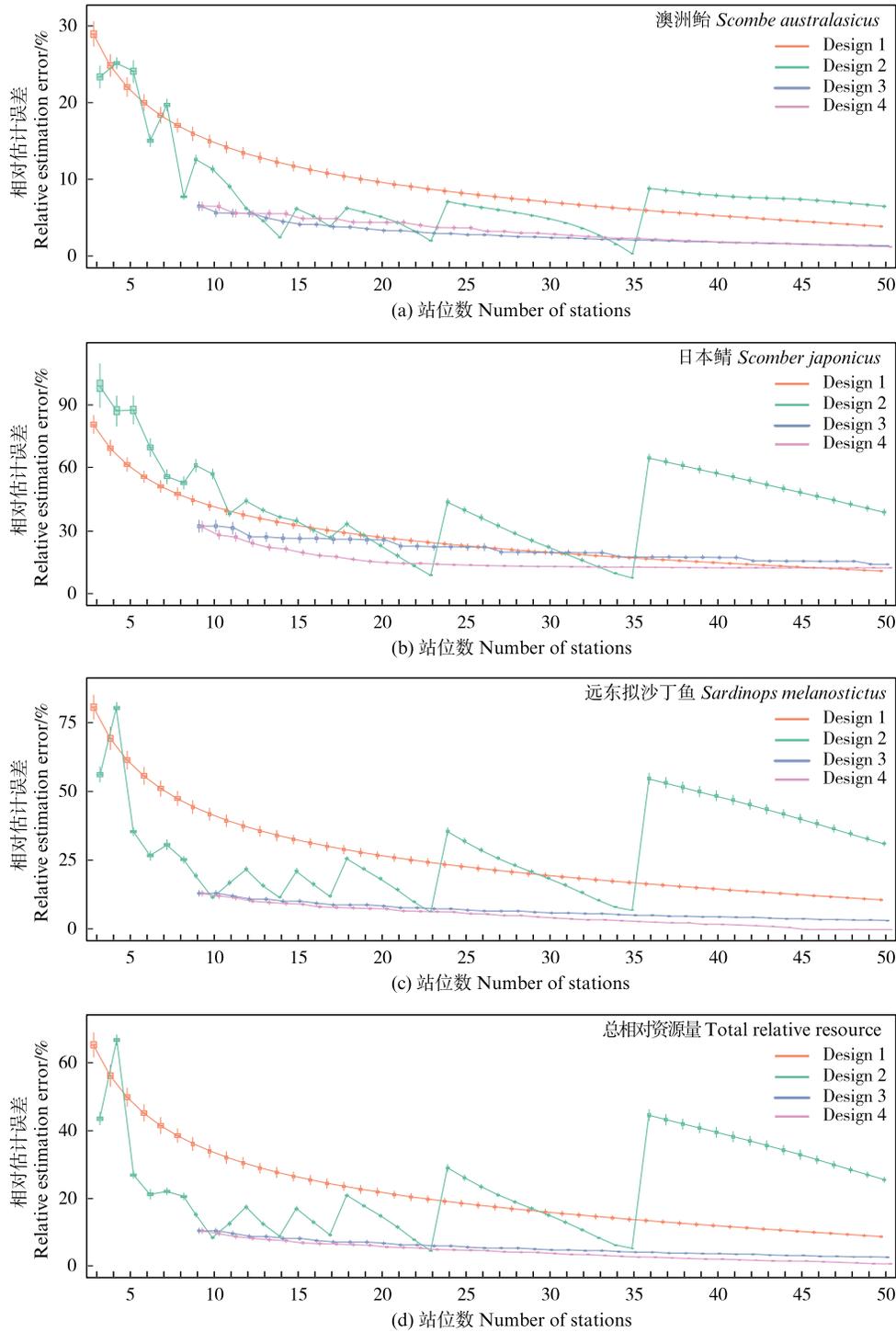


图4 不同采样设计对各调查目标抽样相对误差(REE)变化趋势
 Fig. 4 REE values of the different sampling designs based on different objectives

对于不同调查目标,4种采样设计的表现不同。当以澳洲鲈相对资源量为调查目标时,分层随机抽样的REE值较小,当抽样站点数<35时,Design 3的REE值最小,当抽样站点数>35时,Design 3和Design 4的REE值趋于一致(图4a)。当以日本鲭相对资源量为调查目标时,Design 4

的REE值最小,当抽样站点数达到20后,REE值变化幅度降低;Design 3的REE值呈阶段式下降趋势,当抽样站点数达到30后,REE值略高于Design 1(图4b)。当以远东拟沙丁鱼相对资源量和总相对资源量为调查目标时,分层随机抽样的REE值均较小,且Design 4的REE值小于Design 3

(图 4c、4d)。

2.2 不同采样设计的相对偏差

当以澳洲鲈、远东拟沙丁鱼的相对资源量和总相对资源量为调查目标时,4种采样设计的RB值在-5%~5%的数值范围内围绕0值上下波动,均为无偏估计(图5)。除Design 2外,其余3种采样设计的RB值分布区间随站点数的增加逐渐减小,Design 2的RB值则在-5%~5%的数值范围内

波动变化(图 5a、5c、5d)。当以日本鲭的相对资源量为调查目标时,Design 1和Design 2的RB值在-10%~10%的数值范围内围绕0值上下波动,为无偏估计,分层随机抽样的RB值均在8%~16%的数值范围内围绕12%上下波动,表明分层随机抽样高估了日本鲭的相对资源量,且随站点数量的增加RB值分布区间逐渐减小,Design 4的RB值总体小于Design 3(图 5b)。

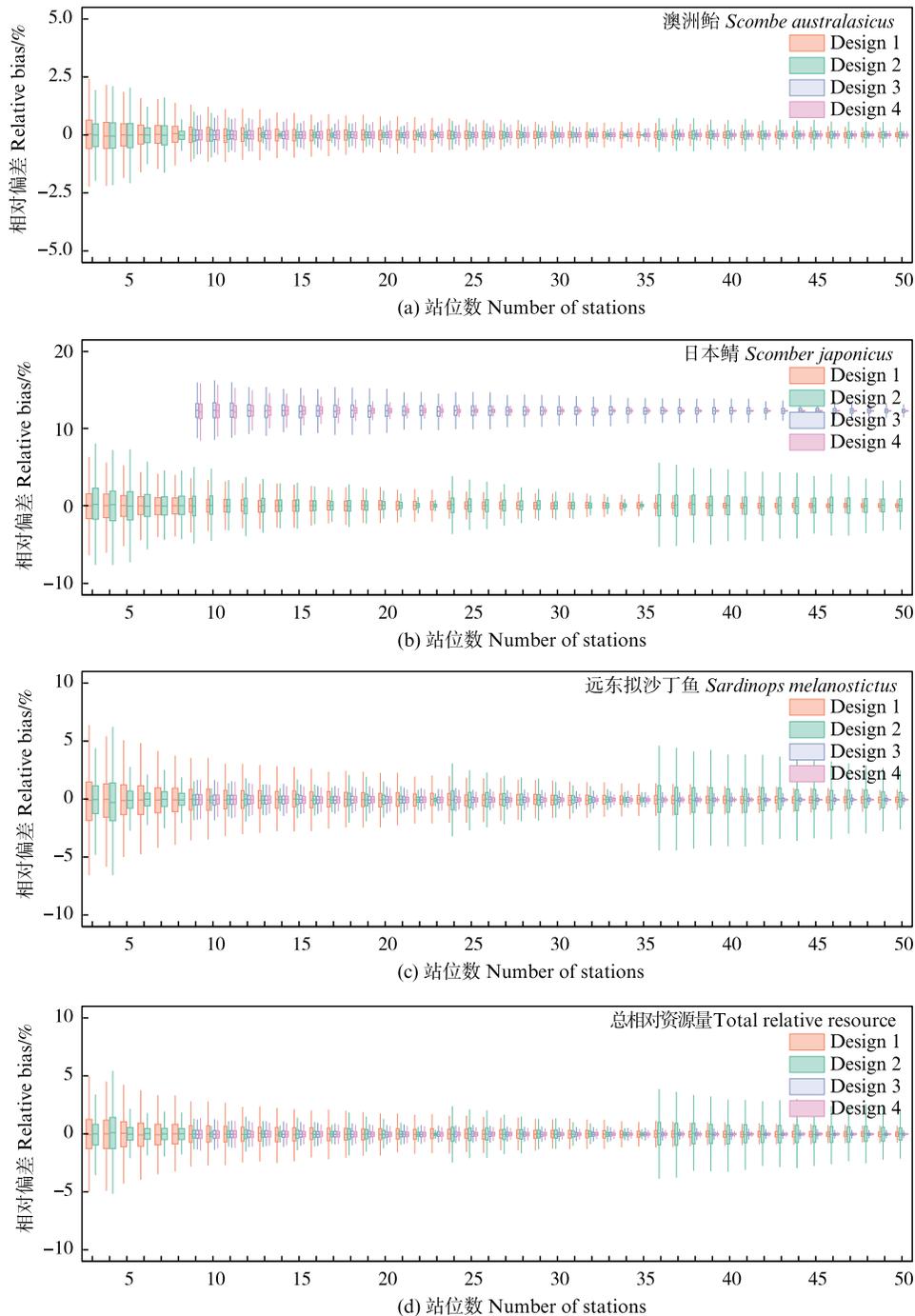


图5 不同采样设计对各调查目标抽样相对偏差(RB)变化趋势

Fig. 5 RB values of the different sampling designs based on different objectives

2.3 准确度变化率

Design 1 的 ACR 均大于 0, 并随抽样站点数量的增加而降低(图 6a、6b、6c、6d), 表明 Design 1 的抽样精度随抽样站点数量的增加而提升; Design 1 在估计澳洲鲈相对资源量且抽样站点数量为 30 时, ACR 达到标准值 0.2, 在估计其他调查目标时, ACR 均未达到 0.2。Design 2 的 ACR 在抽样站点数量达到 35 时, ACR 达到 0.2, 并且在抽样站点大于 35 后 ACR 均为负值(图 6e、6f、6g、6h), 表明在站点数达到 35 后, 继续增加站点数量并不能达到更好的抽样效果。Design 3 在估计澳洲鲈相对资源量和总相对资源量时, 在站点数为 20 和

37 时, ACR 达到 0.2, 表明在站点数量达到 20 和 37 时, REE 下降趋势减缓(图 6i、6l); 在估计日本鲭和远东拟沙丁鱼相对资源量时, ACR 值趋近于 0 值(图 6j、6k), 表明随抽样站点数量增加 Design 3 的抽样精度呈现平滑上升趋势。除澳洲鲈外, Design 4 在估计日本鲭、远东拟沙丁鱼相对资源量和总相对资源量时, ACR 随抽样站点数增加呈下降趋势(图 6m、6n、6o、6p), 在抽样站点数量分别为 26、18 和 20 时 ACR 首次达到 0.2, 表明在抽样站点数量分别达到 26、18 和 20 时 Design 4 的抽样精度上升趋势减缓。

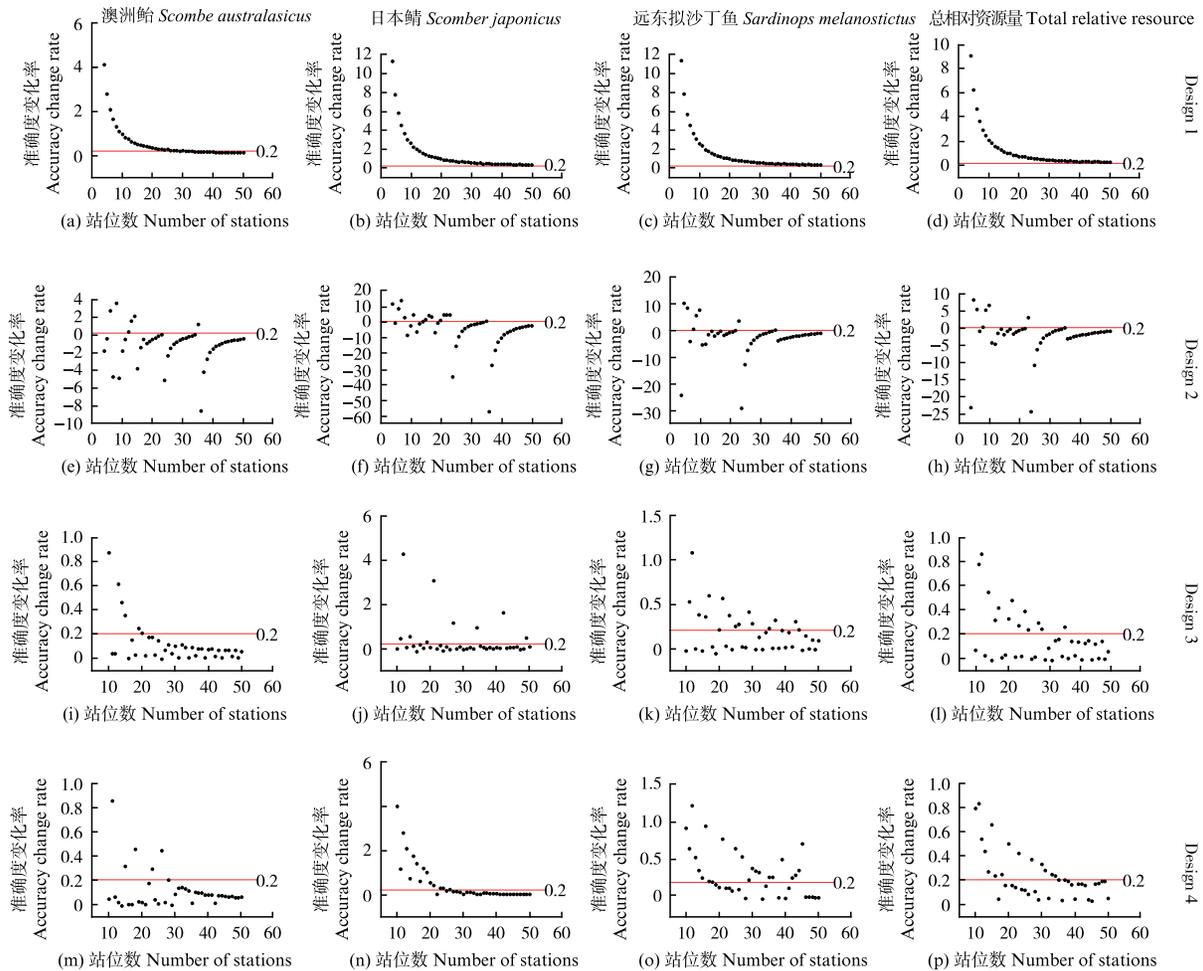


图 6 不同采样设计的 ACR 值随样本量的变化

Fig. 6 Changes in accuracy change rate (ACR) of different sampling designs with different sampling stations

2.4 最优采样设计

当对不同调查目标模拟抽样时, Design 4 的 REE 值较小且最为稳定, 最优采样设计可选择为 Design 4。当 Design 4 对不同的调查目标进行模

拟抽样时, 最适调查站点数量存在不同(表 1), 当以 ACR=0.2 为评价标准并综合考虑 REE 变化规律时, 在保证一定采样精确度和准确度的前提下, 最适调查站点数量可选择为 28。

表1 Design 4的REE范围及最优站点数
Tab. 1 REE range of Design 4 and the optimal sampling stations for each survey objective

调查目标 Survey objectives	REE范围 Range of REE	最优调查站点数 Optimal sampling stations	最优调查站点数时的REE REE of optimal sampling stations
澳洲鲈 <i>Scomber australasicus</i>	1.20~6.51	28	3.01
日本鲭 <i>Scomber japonicus</i>	12.27~31.97	26	13.33
远东拟沙丁鱼 <i>Sardinops melanostictus</i>	0.06~13.16	18	7.85
总相对资源量 Total relative abundance	0.71~10.44	20	5.68

3 讨论

本研究以多个鱼种相对资源量以及总相对资源量为调查目标,比较了4种采样设计在不同调查目标下的抽样表现。研究发现,相比简单随机抽样和系统抽样,分层随机抽样的模拟抽样表现较好。简单随机抽样是最简单的抽样方法,其他抽样方法在某种程度上包含简单随机抽样。本研究中简单随机抽样的REE、RB随抽样站点数的增加而降低,但抽样精度相对不高,这与相关研究^[21]结果一致。由于大洋环境变化剧烈,鱼类分布受到温度、海流等环境因素的影响而呈现集群分布^[19],简单随机抽样的完全随机性会导致估计误差较大,因此在多数情况下并不适用^[22]。

系统抽样可以覆盖调查区域范围,并能兼顾随机性,常被作为初始调查方案,但在某些调查努力量范围内,其调查精度存在波动^[15,17,20],本研究系统抽样也发现相同结果。系统抽样调查精度波动与抽样间隔存在关系,系统抽样采用连续抽样,抽样间隔 k 采取向下取整,当 k 减小时,REE出现急剧增加的现象;当 k 不变时REE随站点数量的增加呈现下降趋势。例如当抽样站点数达到23和35后,系统抽样REE出现陡增的波动,抽样站点数23和35则分别对应 k 为3和2时最大站

点数。鱼类会根据环境变化选择合适的栖息地导致其时空分布的不均匀^[23-24],当 k 减小,系统抽样的空间覆盖率下降,抽样站点分布与鱼类分布存在空间错位,导致其抽样精度下降;当 k 相同时,随站点数量的增加,站点空间覆盖率增加,其抽样精度升高。

分层随机抽样的估计效果比简单随机抽样和系统抽样精度高,这与相关研究^[25-26]结果一致。两种分层随机抽样在不同调查目标下的估计效果并不相同,根据一般抽样理论,基于层面积大小分配方式的采样设计往往表现更好。在本研究中,日本鲭、远东拟沙丁鱼相对资源量和总相对资源量各站点差异较大,总体方差均较大。以日本鲭、远东拟沙丁鱼相对资源量和总相对资源量为调查目标时,基于层资源量大小分配方式的Design 4表现更好,这可能是由层内各站点调查目标相对资源量的差异所导致。对于日本鲭、远东拟沙丁鱼相对资源量和总相对资源量来说,A层和B层的相对资源量方差较大(表2),当以相对资源量大小分配站点时(Design 4),抽样误差相对Design 3更低。澳洲鲈相对资源量在A层、B层、C层各站点间的差异很小(表2),满足层内异质性小的分层原则,因而基于层内站点数量的分配方式(Design 3)表现更好。

表2 各层不同调查目标值的方差
Tab. 2 Variance of different sampling objectives in the different stratum

调查目标 Survey objectives	A层 Stratum-A	B层 Stratum-B	C层 Stratum-C	总体 Total
澳洲鲈 <i>Scomber australasicus</i>	0.047 0	0.074 3	0.012 8	0.558 7
日本鲭 <i>Scomber japonicus</i>	897.091 2	22.064 4	0.391 0	813.812 4
远东拟沙丁鱼 <i>Sardinops melanostictus</i>	1 830.057 0	993.998 2	0.112 4	6 941.720 5
总相对资源量 Total relative abundance	2 248.528 0	1 083.006 0	27.739 1	8 572.700 8

以日本鲭相对资源量为调查目标时,Design 4对日本鲭存在高估现象,这可能与日本鲭的空间分布较为集中有关^[27-28]。当以日本鲭为调查对象

时,A层的潜在站点数量占比为14.29%,层内在站点总资源量占日本鲭总资源量65.64%,这就造成A层抽样站点数量对估计结果的影响较大。

Design 4 按照各层资源量比例进行站点数量分配,A层分配更多的站点使调查精度更高,由于日本鲭分布相对集中,A层分配更多的站点导致分层随机抽样对日本鲭相对资源量存在高估。因此,分层随机抽样的分层方式和站点分配原则还需进一步优化^[29]。总体来看,Design 4 的估计效果稳定且精度较高,但对于不同调查目标,Design 4 最适的抽样调查站点数量存在不同(表 1)。当以澳洲鲈、日本鲭、远东拟沙丁鱼、渔业资源总体为调查对象时,最适调查站点数量分别为 28、26、18、20,最大值为 28。在调查站点数量为 28 时,Design 4 对 4 种调查目标的调查精度均相对较好。当以多目标进行采样设计比较时,很少出现某一种采样方案对各调查目标的估计皆最优^[20],虽然 Design 4 对日本鲭相对资源量存在一定程度的高估,但能够满足大部分调查目标的要求,因此,Design 4 可作为西北太平洋渔业资源调查多目标的最优采样设计。

4 不足与展望

在各目标鱼种及总相对资源量真值获取上,本研究使用了 Kriging 插值法,并未考虑环境及其他因素对物种分布的影响,存在一定的局限性。联合物种分布模型和广义加性模型可以分析不同物种之间的相互作用及其对其分布产生的影响,并提供更准确的预测结果^[30-31],在未来研究中可以考虑使用这些方法获得“真值”并进行不同采样设计比较;在近海海域及江湖流域通常以影响物种分布的环境因素对研究区域进行分层^[29,32],但大洋环境因素年际变化大^[33-34],温度、盐度均易受到洋流及热带气旋等影响^[35],如何更合理分层也还需进一步探讨。

参考文献:

- [1] 柳昊,张文超,李文甲,等. 黄海中部夏季鳀鱼卵、仔稚鱼分布与早期生长特征[J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33(1): 172-185.
LIU H, ZHANG W C, LI W J, et al. Distribution and early growth characteristics of anchovy eggs, larvae and juveniles in the central Yellow Sea in summer[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2024, 33(1): 172-185.
- [2] 王淼娣,王雪辉,杜飞雁,等. 基于 LBB 方法估算北部湾竹筴鱼种群参数[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(1): 212-222.
WANG M D, WANG X H, DU F Y, et al. Estimation of the population parameters of *Trachurus japonicus* in the Beibu Gulf based on the LBB method [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(1): 212-222.
- [3] 鲁红月,汪金涛,张畅. 基于产卵场海表面温度的太平洋褶柔鱼冬生群资源评估[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(3): 650-657.
LU H Y, WANG J T, ZHANG C. Stock assessment of winter-spawning cohort for *Todarodes pacificus* based on the sea surface temperature in the spawning ground [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(3): 650-657.
- [4] 孙菁煜,戴小杰,朱江峰,等. 淀山湖鱼类多样性分析[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(5): 454-459.
SUN J Y, DAI X J, ZHU J F, et al. Analysis of the fish species diversity in Dianshan Lake[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2007, 16(5): 454-459.
- [5] ZHAO J, YANG K E, MA J. Optimization of sampling effort for different fishery groups in the Yangtze river estuary, China [J]. Marine and Coastal Fisheries, 2022, 14(4): e10214.
- [6] STARR R M, CARR M, MALONE D, et al. Complementary sampling methods to inform ecosystem-based management of nearshore fisheries [J]. Marine and Coastal Fisheries, 2010, 2(1): 159-179.
- [7] HOWARD R A, CIANNELLI L, WAKEFIELD W W, et al. Comparing fishery-independent and fishery-dependent data for analysis of the distributions of Oregon shelf groundfishes [J]. Fisheries Research, 2023, 258: 106553.
- [8] SCHEIRER K, CHEN Y, WILSON C. A comparative study of American lobster fishery sea and port sampling programs in Maine: 1998-2000 [J]. Fisheries Research, 2004, 68(1/3): 343-350.
- [9] ZHAO J, CAO J, TIAN S Q, et al. Evaluating sampling designs for demersal fish communities [J]. Sustainability, 2018, 10(8): 2585.
- [10] 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.
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.
- [11] SHI Y C, ZHANG X M, HE Y R, et al. Stock assessment using length-based Bayesian evaluation method for three small pelagic species in the northwest Pacific ocean [J]. Frontiers in Marine Science, 2022, 9: 775180.
- [12] 刘思源,张衡,杨超,等. ENSO 事件下西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭栖息地协同变化特征[J]. 海洋学报, 2024, 46(1): 39-52.
LIU S Y, ZHANG H, YANG C, et al. Exhibit covariation characteristics in the habitat changes of *Sardinops*

- melanostictus* and *Scomber japonicus* in the northwestern Pacific Ocean under ENSO event [J]. *Haiyang Xuebao*, 2024, 46(1): 39-52.
- [13] 蔡锴, 周雨霏, 麻秋云, 等. 西北太平洋鲱的资源养护和管理研究[J]. *中国水产科学*, 2024, 31(4): 439-453. CAI K, ZHOU Y F, MA Q Y, et al. Research on the conservation and management for chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2024, 31(4): 439-453.
- [14] 马金. 基于计算机模拟的河口渔业资源抽样调查设计比较与优化——以长江口为例[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020. MA J. Simulation-based evaluation of sampling design for different fishery groups in estuary: a case study in the Yangtze estuary [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] CAO J, CHEN Y, CHANG J H, et al. An evaluation of an inshore bottom trawl survey design for American lobster (*Homarus americanus*) using computer simulations [J]. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 2014, 46: 27-39.
- [18] MA J, TIAN S Q, GAO C X, et al. Evaluation of sampling designs for different fishery groups in the Yangtze River estuary, China [J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2020, 38: 101373.
- [19] MA J, LI B, ZHAO J, et al. Environmental influences on the spatio-temporal distribution of *Coilia nasus* in the Yangtze River estuary [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2020, 36(3): 315-325.
- [20] 张国晟, 王晶, 张崇良, 等. 基于多目标鱼种资源量指数估计的不同采样设计比较[J]. *水产学报*, 2021, 45(5): 700-715. ZHANG G S, WANG J, ZHANG C L, et al. Comparison of sampling designs of fishery-independent survey in estimating abundance indices of multiple target species [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(5): 700-715.
- [21] 金勇进, 杜子芳, 蒋妍. 抽样技术[M]. 2版. 北京: 中国人民大学出版社, 2008. JIN Y J, DU Z F, JIANG Y. Sampling technique [M]. 2nd ed. Beijing: China Renmin University Press, 2008.
- [22] 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.
- [23] 刘思源, 张衡, 杨超, 等. 基于最大熵模型的西北太平洋远东拟沙丁鱼和日本鲭栖息地差异[J]. *上海海洋大学学报*, 2023, 32(4): 806-817. LIU S Y, ZHANG H, YANG C, et al. Differences in habitat distribution of *Sardinops melanostictus* and *Scomber japonicus* in the northwest Pacific based on a maximum entropy model [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2023, 32(4): 806-817.
- [24] 周荣, 方星楠, 余为, 等. 厄尔尼诺和拉尼娜事件下西北太平洋柔鱼栖息地时空分布差异[J]. *上海海洋大学学报*, 2022, 31(4): 984-993. ZHOU M, FANG X N, YU W, et al. Difference of spatio-temporal distribution of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean under the El Niño and La Niña events [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2022, 31(4): 984-993.
- [25] 潘邵媛, 王学昉, 田思泉, 等. 不同采样设计对长江口海洋环境监测效果影响的评价[J]. *海洋环境科学*, 2021, 40(3): 435-441. PAN S Y, WANG X F, TIAN S Q, et al. Evaluation of the effect of different sampling designs on marine environmental monitoring in the Yangtze River Estuary [J]. *Marine Environmental Science*, 2021, 40(3): 435-441.
- [26] 潘邵媛, 王学昉, 田思泉, 等. 长江口中华鲟保护区海洋环境监测浮标站点的优化设计[J]. *海洋学报*, 2021, 43(4): 55-64. PAN S Y, WANG X F, TIAN S Q, et al. The design of the stations of marine environmental monitoring buoys in the Chinese sturgeon nature reserve in the Changjiang River Estuary [J]. *Haiyang Xuebao*, 2021, 43(4): 55-64.
- [27] 刘思源, 张衡, 杨超, 等. 西北太平洋远东拟沙丁鱼与日本鲭种群动态特征及其与环境因子关系研究进展 [J]. *大连海洋大学学报*, 2023, 38(2): 357-368. LIU S Y, ZHANG H, YANG C, et al. Relationship between stock dynamics and environmental variability for Japanese sardine (*Sardinops sagax*) and chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific Ocean: a review [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2023, 38(2): 357-368.
- [28] 刘彦琳. 基于GAM和MaxEnt的西北太平洋公海日本鲭渔场形成机制及潜在栖息地分布研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2023. LIU Y L. Based on GAM and MaxEnt the formation mechanism and potential habitat distribution of *Scomber japonicus* fisheries in the high seas of the Northwest Pacific Ocean [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2023.
- [29] WANG J, XU B D, ZHANG C L, et al. Evaluation of alternative stratifications for a stratified random fishery-independent survey [J]. *Fisheries Research*, 2018, 207:

- 150-159.
- [30] ZHANG C L, XU B D, XUE Y, et al. Evaluating multispecies survey designs using a joint species distribution model[J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2020, 5 (3): 156-162.
- [31] 张涛, 赵天亚, 栾静, 等. 基于物种分布模型分析环境因子对海州湾偶见种资源分布的影响[J]. *海洋学报*, 2023, 45(7): 69-78.
- ZHANG T, ZHAO T Y, LUAN J, et al. Analysis of the influence of environmental factors on the distribution of occasional species in the Haizhou Bay based on species distribution model[J]. *Haiyang Xuebao*, 2023, 45 (7) : 69-78.
- [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.
- [33] 王雅萌, 陈芑, 陈新军. 气候变化下西北太平洋大海洋生态系海表面温度特征分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2021, 30(5): 874-883.
- WANG Y M, CHEN P, CHEN X J. Characteristics of sea surface temperature for large marine major ecosystems in the northwest Pacific under climate change[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, 30(5): 874-883.
- [34] 余为, 温健. 洪堡洋流系统内重要渔业资源对气候和海洋环境变化的响应研究进展[J]. *上海海洋大学学报*, 2022, 31(3): 620-630.
- YU W, WEN J. Review on the response of important fishery resources to the climatic and environmental variability in the Humboldt Current System[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2022, 31(3): 620-630.
- [35] 谢晓丽. 基于 Argo 资料的西北太平洋上层温盐对热带气旋的三维响应特征分析[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2022.
- XIE X L. Analysis of three-dimensional temperature and salinity response to tropical cyclones in the northwest Pacific observed by Argo floats[D]. Zhanjing: Guangdong Ocean University, 2022.

Comparison of sampling designs for fishery resource surveys in Northwest Pacific Ocean

ZHANG Ye¹, ZHAO Jing¹, YE Xuchang¹, LIU Zhiliang², MA Jin^{1,3,4}

(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Ship Management Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China)

Abstract: This study aimed to develop a multi-objective distant-water fisheries survey scheme that balances survey cost and effectiveness. Based on the survey data from 2021 to 2023 in Northwest Pacific Ocean, the relative abundance distribution of *Scomber australasicus*, *Scomber japonicus*, *Sardinops melanostictus* was simulated using Kriging interpolation, and assume relative resource as their 'true' values. The effectiveness of the Simple random sampling (Design 1), Systematic sampling (Design 2), Stratified random sampling based on stratum area size allocation method (Design 3), and Stratified random sampling based on fishery resource biomass allocation method (Design 4) was assessed through computer simulation. Two indicators, Relative estimation error (REE) and Relative bias (RB) were used to evaluate the accuracy of the assessment effects, and the number of sampling stations was selected using the Accuracy change rate (ACR). The results showed that the estimation accuracy of the four sampling designs were different. In general, Design 4 had the highest accuracy, followed by Design 3, Design 2 and Design 1. The REE values of target species abundance index estimation of Design 2 fluctuated with the increasing number of sampling stations. Design 4 exhibited higher accuracy in estimating the abundance index of *S. japonicus*, *S. melanostictus* and the total fishery resources. However, Design 4 demonstrated an overestimation in estimating the abundance index of Chub mackerel. Using Design 4 for simulated sampling, and considering all objectives, the optimal number of sampling stations could be set at 28. In conclusion, the Stratified sampling method (Design 4) can be prioritized as the survey station design approach for the Northwest Pacific Ocean fishery resource survey.

Key words: multi-objective fishery resources survey; sampling design; computer simulation; Northwest Pacific Ocean