



采样设计对估计矛尾虾虎鱼体长-体质量关系参数 b 的影响

程文¹, 纪毓鹏^{1,2,3}, 薛莹^{1,2,3}, 张崇良^{1,2,3},
徐浩⁴, 任一平^{1,2,3}, 徐宾铎^{1,2,3*}

(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;

3. 海州湾渔业生态系统教育部野外科学观测研究站, 山东 青岛 266003;

4. 青岛市海洋减灾中心, 山东 青岛 266071)

摘要: 为了查明采样季节和样本量对估计鱼类体长-体质量关系参数的影响, 实验基于2013—2014年在黄河口水域调查获得的矛尾虾虎鱼体长、体质量数据, 采用计算机模拟重抽样方法, 结合在不同季节开展渔业资源调查的实际情况, 模拟设置了15种采样设计方案, 选取相对估计误差和相对偏差这两个指标, 比较了不同采样设计对估计矛尾虾虎鱼体长-体质量关系参数 b 的影响。结果显示, 增加样本量可有效提高其体长-体质量关系参数 b 的估计精度。不同季节数据对参数估计精度具有不同影响, 应用多季节调查采样数据估计参数精度往往优于单季节采样。夏季数据对矛尾虾虎鱼体长-体质量关系参数估计尤为重要。方案9(夏-冬季方案)在样本量达到540尾时, 相对估计误差为2.08%, 相对偏差的绝对值为0.71%, 在相同样本量下该设计方案表现最好。研究表明, 在估计黄河口矛尾虾虎鱼等鱼类体长-体质量关系参数时, 应保证获得一定样本量的对参数估计具有较大影响的季节性的生物学数据。

关键词: 矛尾虾虎鱼; 渔业资源科学调查; 采样设计; 样本量; 体长-体质量关系; 计算机模拟

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

渔业资源评估对于渔业资源管理十分重要, 长期有效的资源调查是实现资源评估与管理的基本前提^[1]。渔业资源科学调查是获得准确可靠的渔业资源评估数据的主要来源^[2], 能够客观地反映一定时空尺度下目标种群资源分布、生物学特征或群落物种丰富度等信息, 为渔业管理决策提供可靠的数据基础^[3]。在渔业资源调查中, 样本量影响鱼类群落特征和生物量的估计精度^[4]。样本量越大, 数据代表性越好, 估计结果与鱼类种

群或群落真实情况越接近^[5]。但高强度的调查会增加不必要的人力、物力的投入, 并且会对所调查种群带来额外的捕捞死亡和生境破坏^[6]。合理有效的调查应在平衡成本、海上现场状况等条件下获取高代表性的样本^[7-8]。

体长、体质量是鱼类种群的基本生物学特征, 反映了鱼类个体生理状态以及种群结构的变化^[9-10], 也是鱼类适应环境变化的重要生活史特征^[11]。体长-体质量关系在渔业资源评估中非常重要, 它可

收稿日期: 2021-02-27 修回日期: 2021-05-08

资助项目: 国家重点研发计划(2019YFD0901205, 2018YFD0900904); 山东省支持青岛海洋科学与技术试点国家实验室重大科技专项(2018SDKJ0501-2)

第一作者: 程文(照片), 从事渔业资源调查采样设计研究, E-mail: 1003070931@qq.com

通信作者: 徐宾铎, 从事渔业资源和生态学、调查采样设计、渔业生物多样性等研究, E-mail: bdxu@ouc.edu.cn



以估算给定长度组的平均体质量,并估计鱼类种群的健康状态^[12]。结合年龄数据,可以提供鱼类种群的种群组成、成熟期、鱼类寿命、死亡率、增长率以及生产信息^[12]。体长-体质量关系参数估计的准确与否直接影响资源评估和管理^[13-15]。

目前国内针对鱼类体长-体质量关系参数估计的研究,涉及了季节的参数估计和全年参数估计。刘勇等^[16]分析比较了小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)产卵期对体长-体质量关系参数的影响,提出异速生长因子在预测小黄鱼产卵时期的指示作用。袁思剑等^[17]研究了山东近海黄鲛鲷(*Lophius litulon*)体长-体质量关系的时空差异。对于长期的渔业资源调查,体长-体质量关系估计参数多为年平均值,数据通常不能仅来自某个特定的季节或时间。栾静等^[18]分析了海州湾方氏云鳎(*Enedrias fangi*)体长-体质量关系的年际变化。渔业资源调查的样本代表性对于鱼类体长-体质量关系参数的估计尤为重要。合理有效的采样设计方案可以保证最大化利用调查数据信息,从而使调查综合效益最大化^[19-21];不仅可以有效地缩减调查成本,对于渔业资源的养护和管理也具有重要意义。

本实验以黄河口优势种矛尾虾虎鱼(*Chaemrichthys stigmatias*)的体长-体质量关系研究为例,通过计算机模拟重抽样方法,研究不同采样设计对估计体长-体质量关系参数 b 的影响,以期合理估计鱼类体长-体质量关系参数提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

矛尾虾虎鱼生物学测定数据来源于2013年6—8月和10月及2014年2、4—5月在黄河口及其邻近水域进行的渔业资源底拖网调查,共24个调查站位(图1)。调查所用船只底层拖网渔船,功率为260 kW,所用拖网网具网口周长30.6 m,拖曳时网口扩张宽度约为8 m,囊网网目20 mm。原则上每站拖曳时间设定0.5 h,拖速2~3 kn。按照《海洋调查规范第6部分:海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007)^[22],对渔获物样品进行保存,并带回实验室对矛尾虾虎鱼在内的渔获种类进行生物学测量,获得体长、体质量等生物学数据。

调查中矛尾虾虎鱼在春季(2014年4—5月)、夏季(2013年6—8月)、秋季(2013年10月)、冬季(2014年2月)的生物学测量数量分别为220、

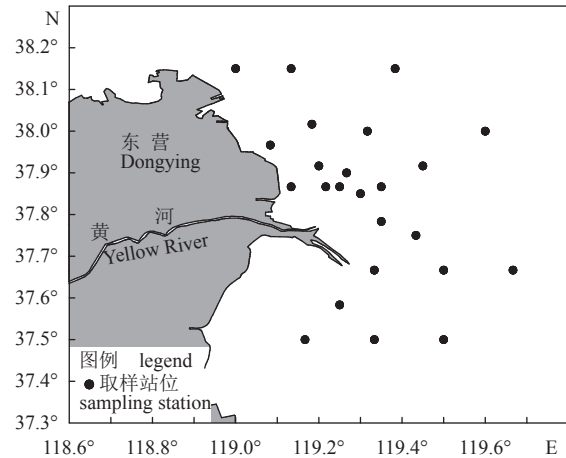


图1 黄河口及其邻近海域底拖网调查站位

Fig. 1 Sampling stations of bottom trawl survey in the Yellow River estuary and its adjacent waters

831、253和569尾,共1 873尾。

1.2 体长-体质量关系

矛尾虾虎鱼体长-体质量关系采用幂指数函数关系拟合^[23]:

$$W = a \times L^b$$

式中, W 为鱼类体质量(g), L 为鱼类体长(mm); a 、 b 为模型参数,其中参数 a 为条件因子,参数 b 为异速生长因子^[14]。

1.3 模拟研究

本研究以估计矛尾虾虎鱼全年体长-体质量关系参数 b 为调查采样目标,研究不同采样季节和样本量对参数 b 估计的影响。

根据样本来源季节的不同,设置了15种采样设计方案(表1)。方案5~15按季节分层抽样,各个季节的样本量所占比例相同。假设当前调查采样能够反映矛尾虾虎鱼体长、体质量等生物学信息,基于原始数据计算的全年体长-体质量关系参数 b 可作为“真值”。

计算机模拟流程:①根据调查获得的矛尾虾虎鱼体长、体质量原始数据拟合其体长-体质量关系参数 b 作为“真值”;②依据各抽样调查方案中样本来源季节设置的不同,从不同季节中等比例有放回式随机抽取样本组成模拟调查样本,模拟样本量的设置范围为60~1 800尾,以60尾作为间隔;在各样本量下均随机重复抽样1 000次,计算1 000次模拟数据拟合的矛尾虾虎鱼体长-体质量关系参数 b 的平均值;③计算评价指标相对估计误差(relative estimation error, REE)和相对偏

表 1 采样设计方案的设置

采样设计方案 sampling design scheme	采样季节 season of sampling	各季节样本量所占比例 proportion of sample size in each season
1	春季 Spr.	1
2	夏季 Sum.	1
3	秋季 Aut.	1
4	冬季 Win.	1
5	春季、夏季 Spr., Sum.	1/2、1/2
6	春季、秋季 Spr., Aut.	1/2、1/2
7	春季、冬季 Spr., Win.	1/2、1/2
8	夏季、秋季 Sum., Aut.	1/2、1/2
9	夏季、冬季 Sum., Win.	1/2、1/2
10	秋季、冬季 Aut., Win.	1/2、1/2
11	春季、夏季、秋季 spr., sum., aut.	1/3、1/3、1/3
12	春季、夏季、冬季 Spr., Sum., Win.	1/3、1/3、1/3
13	春季、秋季、冬季 Spr., Aut., Win.	1/3、1/3、1/3
14	夏季、秋季、冬季 Sum., Aut., Win.	1/3、1/3、1/3
15	春季、夏季、秋季、冬季 Spr., Sum., Aut., Win.	1/4、1/4、1/4、1/4

差 (relative bias, RB); ④重复步骤②~③100次, 获得 REE、RB 的分布, 以对模拟结果进行评估分析。具体流程如图 2 所示。

本研究中的数据分析和计算机模拟过程均通过 R (version3.6.3)^[24] 统计软件完成。

1.4 评价指标

选取相对估计误差和相对偏差作为衡量体长-体质量关系参数估计的评价指标。

相对估计误差, 用来评价估计值的精度和准确度^[6-7], 公式:

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

相对偏差, 可用于评价调查估计值的准确度及偏离真值的情况^[7], 公式:

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

式中, REE 为各采样设计方案下计算参数 b 估计的相对估计误差, RB 是计算参数 b 估计的相对偏差, Y^{true} 是根据原始调查数据计算的矛尾虾虎鱼的体长-体质量关系参数 b 的“真值”, $Y_i^{\text{estimated}}$ 是根据第 i 次模拟抽样数据计算的矛尾虾虎鱼体长-

体质量关系参数 b 的“模拟值”, R 是模拟次数 (本研究中取 1 000 次)。

2 结果

2.1 估计体长-体质量关系参数 b 的相对估计误差

不同采样设计方案下矛尾虾虎鱼异速生长因子 b 估计值的 REE 值变化差异较大, 但随着样本量的增加, REE 值均呈现下降且逐渐稳定的趋势。不同抽样设计方案, REE 值变化范围不同。方案 2、5、8、9、10、11、12、14 和 15 的 REE 值变化范围为 1.2%~7.3%, 方案 6 与方案 13 的 REE 值在 10.0% 左右波动, 其余采样设计方案 REE 值的变化范围均大于 10.0%, 其中方案 1 的 REE 值变化范围为 17.2%~18.1%。方案 5 的 REE 值变化范围为 1.0%~6.4%, 方案 9 的 REE 值变化范围为 1.2%~5.0%, 这两个方案在各采样设计方案中 REE 值较低 (图 3)。

2.2 估计体长-体质量关系参数 b 的相对偏差

参数 b 偏离“真值”的情况在不同的采样设计方案中有所不同。随着样本量的增加, 所有的采样设计方案表现出相同的变化趋势, RB 值绝对值变化范围逐渐减小, 在某一值附近波动。不同方案之间, RB 值的分布范围存在差异。方案 5 和 9 的 RB 值绝对值基本小于 1.0%, 方案 2、8、11、12、14 和 15 的 RB 值绝对值基本小于 5.0%, 方案 10 和 13 的 RB 值绝对值在 10.0% 以内, 其他采样设计方案 RB 值绝对值均大于 10.0%。除方案 2 和 9 的 RB 值大于 0, 表现为较小的正偏差外, 其余各采样设计方案 RB 值均小于 0, 表现出不同程度的负偏差。方案 5 在样本量达到 600 尾时, RB 值基本稳定在约 -0.1%, 方案 9 在样本量达到 540 尾时, RB 值基本稳定在约 0.7% (图 4)。

3 讨论

不同采样设计方案下, 矛尾虾虎鱼体长-体质量关系异速生长因子 b 的相对估计误差均随着样本量增加而逐渐减小并趋于稳定。随着样本量的增加, RB 值绝对值的变化范围逐渐减小并趋于稳定, 但不同方案均存在不同程度的偏差。本研究是将全年的调查数据拟合的参数 b 作为“真值”, 大多数的采样设计方案都出现了负偏差, 说明以上采样设计方案存在明显偏离“真值”的情况, 存

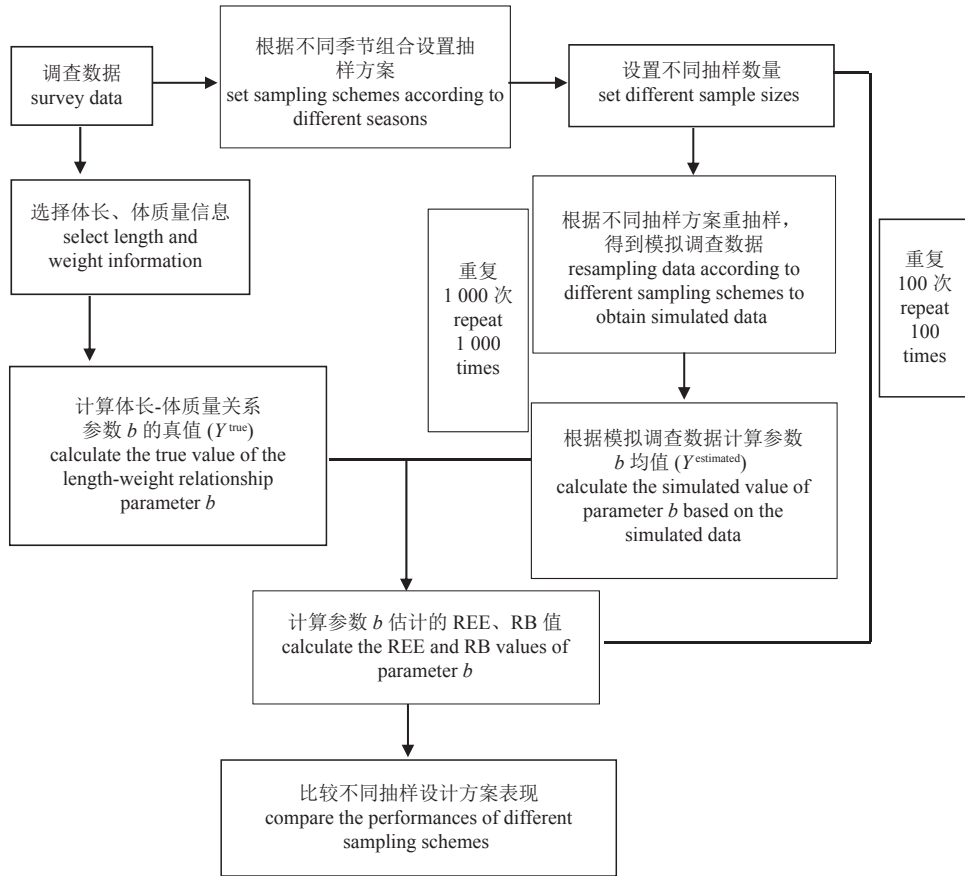


图 2 不同抽样设计方案对矛尾虾虎鱼体长-体质量关系参数 b 估计影响的模拟流程

Fig. 2 Flowchart of the simulation study on effect of sampling design schemes on the estimation of length-weight relationship parameter b of *C. stigmatias*

在低估。样本来源季节数较多的设计方案，其 REE 值和 RB 值绝对值的变化范围通常小于单个季节的变化范围。

采样季节的选择对矛尾虾虎鱼体长-体质量关系参数的估计精确度有很大影响。如单季节的方案中，方案 2 (夏季) 的估计精度高，而方案 1 (春季) 估计精度低。除方案 2 外，单个季节的采样设计方案的 REE 值和 RB 值绝对值在相同样本量下均高于多季节的采样设计方案，表明只在单个季节进行采样对于估计参数 b 往往精确度不够。在多季节组合的设计方案中，包含有夏季数据的方案往往有较好的表现。因此，夏季数据对获得矛尾虾虎鱼体长-体质量关系参数 b 的高精度估计更重要。在各采样设计方案中，当样本量较小时，箱型图的四分位距 (interquartile range, IQR) 较大，小提琴图的琴箱较“窄”，表明样本量较小时，模拟结果分布较为分散，精确度较低。随着样本量增加，箱型图的 IQR 逐渐减小，小提琴的琴箱逐渐变“宽”，表明在样本量越大时，模拟结果的分布

愈加集中，精确度越高。这也符合抽样设计的基本理论^[1, 25]。

综合比较各采样设计方案的表现，在相同样本量下，方案 9 中参数估计值 REE 值和 RB 值的绝对值都较小。因此，在无法全年采样的情况下，在夏季和冬季两个季节开展调查，保证样本量达到 540 尾左右就可较好地估计矛尾虾虎鱼体长-体质量关系参数 b 。

基于春季模拟采样数据估计参数 b 的采样设计方案表现较差，表明春季数据不能很好地反映矛尾虾虎鱼全年的体长-体质量关系情况。矛尾虾虎鱼为 1 年生鱼类，3 月达到性成熟，春季 4—5 月为繁殖期^[26]，繁殖期间的雌鱼由于生殖怀卵，通常会出现相同体长情况下，体质量较大的“异常值”，雌性矛尾虾虎鱼的生殖怀卵导致的体质量不成比例的增加，造成体型发生变化，会对估计体长-体质量参数 b 造成较大影响^[27]。春季调查数据中存在的相同体长下体质量较大的异常数据可能是造成模拟研究中春季采样设计方案表现差的原因。

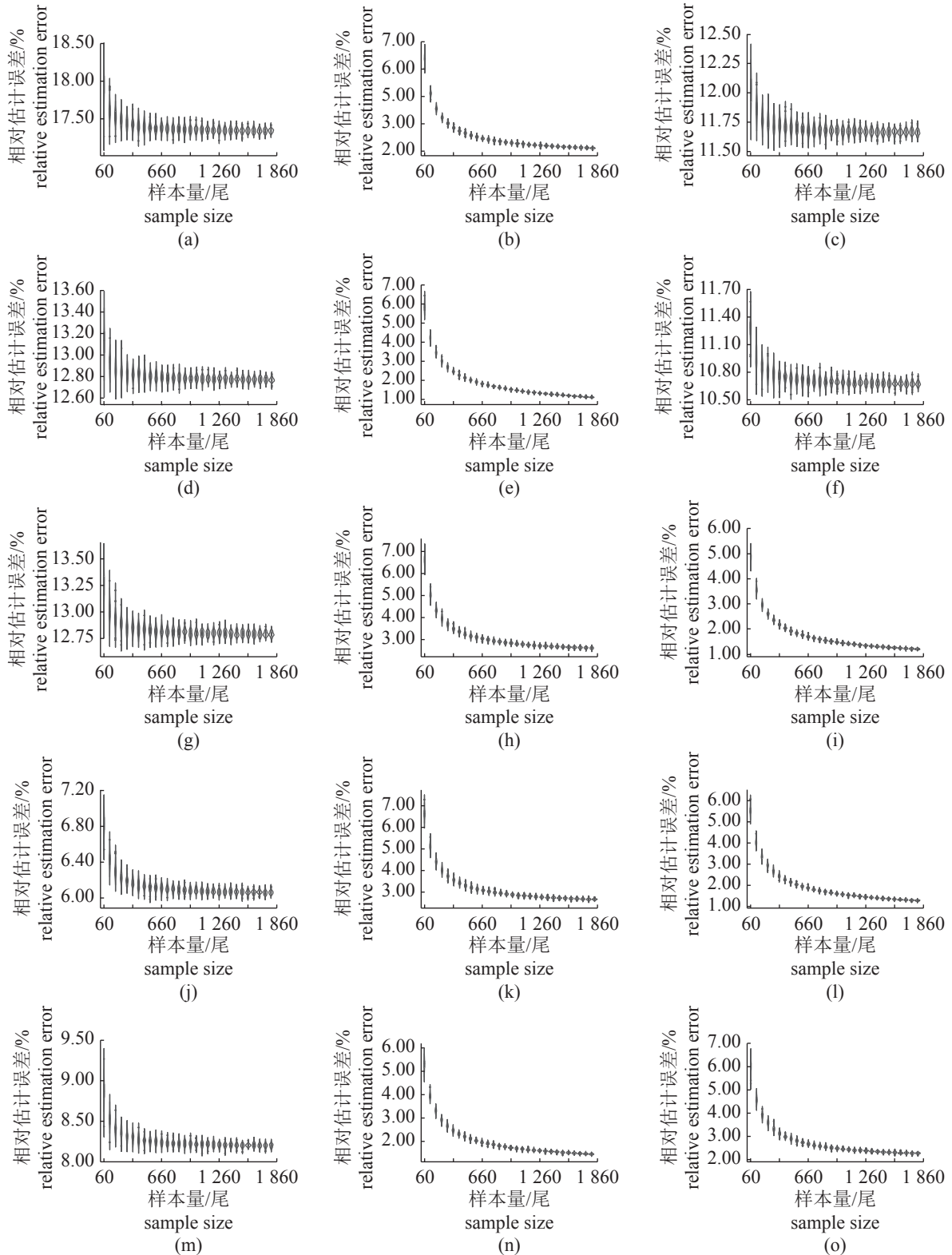


图 3 不同采样设计方案下体长-体质量关系参数 b 估计值的 REE 值与样本量的关系

(a)-(o) 分别代表采样设计方案 1~15, 下同

Fig. 3 Relationship between estimation REE of parameter b of length-weight relationship and sample size under different sampling design schemes

(a)-(o) represent sampling design schemes 1-15 respectively, the same below

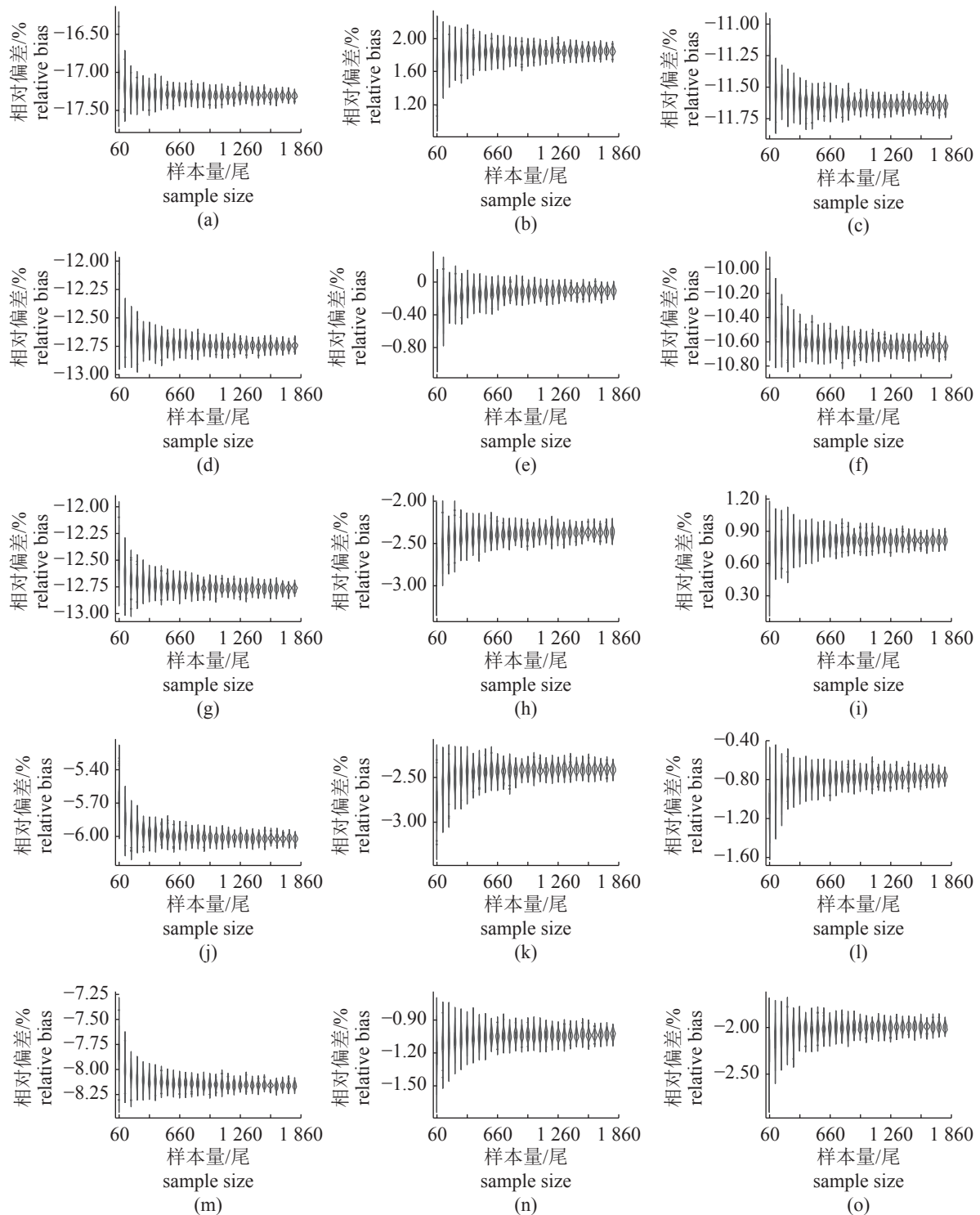


图4 不同采样设计方案下体长-体质量关系参数 b 估计值 RB 值与样本量的关系

Fig. 4 Relationship between estimation RB of parameter b of length-weight relationship and sample size under different sampling design schemes

夏季黄河口及其邻近水域水温升高, 黄河径流携带大量的营养物质入海, 使得该海域营养盐丰富, 为饵料生物的生存提供了良好环境, 河口附近大量的多毛类、涟虫类等底栖生物为底栖食

性虾虎鱼类提供了丰富的饵料^[28], 是矛尾虾虎鱼幼鱼良好的索饵场。夏季矛尾虾虎鱼体长、体质量的分布范围较宽, 包括了不同体长、体质量的个体, 因此夏季采样对于估计矛尾虾虎鱼体长-体

质量关系影响较大。

矛尾虾虎鱼作为 1 年生的鱼类, 其繁殖季节个体体质量的变异对于其体长-体质量关系参数估计具有较大影响。不同鱼类生活史及繁殖季节存在差异。鱼类生理生长条件的不同^[29]会导致应用不同季节数据对于拟合其体长-体质量关系参数的影响不同。采样设计对于估计不同生活史类型鱼类体长-体质量关系参数的影响需要进一步研究。此外, 鱼类体型对于估计鱼类体长-体质量关系也可能存在影响, 采样设计对估计其他类似体型的物种或体型差异较大的物种的体长-体质量关系参数的影响还需要进一步研究。本研究中黄河口及其邻近水域矛尾虾虎鱼仅有 1 年的调查数据, 不同采样设计对估计其体长-体质量关系的影响是否存在年间差异还需要进一步研究。本研究以黄河口及其邻近海域的矛尾虾虎鱼为例, 提出了不同采样设计对鱼类体长-体质量关系参数估计影响的模拟流程, 分析了在保证一定精确度下, 拟合其体长-体质量关系参数估计所需样本量, 研究结果也可为其其他相关研究提供参考。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] Cochran W G. Sampling techniques[M]. New York: Wiley, 1977.
- [2] Jardim E, Ribeiro P J. Geostatistical assessment of sampling designs for Portuguese bottom trawl surveys[J]. *Fisheries Research*, 2007, 85(3): 239-247.
- [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] Angermeier P L, Smogor R A. Estimating number of species and relative abundances in stream-fish communities: effects of sampling effort and discontinuous spatial distributions[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1995, 52(5): 936-949.
- [5] 王家启, 戴小杰, 王坤, 等. 淀山湖鱼类生物多样性调查样本量的优化设计[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(1): 291-298.
- Wang J Q, Dai X J, Wang K, *et al.* Optimal design of sample size for estimating species richness of fishes in Dianshan Lake, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(1): 291-298 (in Chinese).
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Le Cren E D. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*)[J]. *Journal of Animal Ecology*, 1951, 20(2): 201-219.
- [10] Andersen K H, Jacobsen N S, Farnsworth K D. The theoretical foundations for size spectrum models of fish communities[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2015, 73(4): 575-588.
- [11] Wootton R J. The evolution of life histories: theory and analysis[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 1993, 3(4): 384-385.
- [12] Bolger T, Connolly P L. The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition[J]. *Journal of Fish Biology*, 1989, 34(2): 171-182.
- [13] Pauly D. Fishbyte section editorial[J]. *Naga: The International Center for Living Aquatic Resources Management Quarterly*, 1993, 16(2-3): 26.
- [14] Froese R, Thorson J T, Reyes Jr R B. A Bayesian approach for estimating length-weight relationships in fishes[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2014, 30(1): 78-85.
- [15] Kimmerer W. Open water processes of the San Francisco Estuary: from physical forcing to biological responses[J]. *San Francisco Estuary and Watershed Science*, 2004, 2(1): Article 1.
- [16] 刘勇, 程家骅, 陆健健. 利用Bootstrap统计方法探讨体长-体重关系中的幂指数对小黄鱼产卵期的指示作用[J]. *渔业科学进展*, 2011, 32(2): 1-6.
- Liu Y, Cheng J H, Lu J J. Testing of power b in exponential relationship between body-length and weight of

- small yellow croaker as spawning indicator by Bootstrap method[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2011, 32(2): 1-6 (in Chinese).
- [17] 衷思剑, 麻秋云, 刘淑德, 等. 基于线性混合效应模型的黄鲮鳊体长体重关系的时空差异[J]. *中国水产科学*, 2018, 25(6): 1299-1307.
Zhong S J, Ma Q Y, Liu S D, *et al.* Linear mixed-effects models for estimating spatiotemporal variations of length-weight relationships for *Lophius litulon*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(6): 1299-1307 (in Chinese).
- [18] 栾静, 徐宾铎, 薛莹, 等. 海州湾方氏云鳎体长与体重分布特征及其关系[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(6): 1323-1331.
Luan J, Xu B D, Xue Y, *et al.* Size distribution and length-weight relationships in *Pholis fangi* in Haizhou Bay[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(6): 1323-1331 (in Chinese).
- [19] 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.
- [20] Rivoirard J, Simmonds J, Foote K G, *et al.* Geostatistics for estimating fish abundance[M]. Oxford: John Wiley and Sons, 2008.
- [21] 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.
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 (in Chinese).
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 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: 6-17.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. GB/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey-part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007: 6-17 (in Chinese).
- [23] Ricker W E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations[M]. Ottawa: The Blackburn Press, 1975: 191-382.
- [24] R Core Team. R: a language and environment for statistical computing[M]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012.
- [25] Lohr S L. Sampling: design and analysis[M]. California: Duxbury Press, 2009.
- [26] 邓维德. 矛尾虾虎鱼 (*Chaeturichthys stigmatias*) 生长与繁殖的初步研究 [D]. 昆明: 云南大学, 2010.
Deng W D. A preliminary study of growth and reproduction of *Chaeturichthys stigmatias*[D]. Kunming: Yunnan University, 2010 (in Chinese).
- [27] 董婧, 王冲, 唐明芝, 等. 黄海区玉筋鱼体长和体重的关系[J]. *水产科学*, 2004, 23(10): 9-11.
Dong J, Wang C, Tang M Z, *et al.* Relationship between body length and body weight of *Pacific sand lance* in the Yellow Sea[J]. *Fisheries Science*, 2004, 23(10): 9-11 (in Chinese).
- [28] 韩东燕. 胶州湾主要虾虎鱼类摄食生态的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
Han D Y. Study on feeding ecology of dominate gobiid fishes in Jiaozhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013 (in Chinese).
- [29] 詹秉义. 渔业资源评估 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 261-262.
Zhan B Y. Fish stock assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 261-262 (in Chinese).

Effect of sampling design on the estimation of length-weight relationship parameter b of *Chaemrichthys stigmatias*

CHENG Wen¹, JI Yupeng^{1,2,3}, XUE Ying^{1,2,3}, ZHANG Chongliang^{1,2,3},
XU Hao⁴, REN Yiping^{1,2,3}, XU Binduo^{1,2,3*}

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

2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes,

Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China;

3. Field Observation and Research Station of Haizhou Bay Fishery Ecosystem, Ministry of Education, Qingdao 266003, China;

4. Qingdao Marine Hazard Mitigation Service, Qingdao 266071, China)

Abstract: The length-weight relationship of fish stock is one of the commonly used formulas in fishery ecology study. The length-weight relationship is significant for the assessment of fishery resources. It is often used to estimate the average weight of a given length and estimate the status of the fish stock. The accuracy of the estimates of length-weight relationship parameters for fish stock affects the stock assessment and management. Data obtained with different sampling design may have influence on the estimation of length-weight relationship parameter b of *Chaemrichthys stigmatias*. In order to find out the affect of sampling season and sample size on the length-weight relationship parameters, this study based on the biological data on the length and weight of *C. stigmatias* obtained from fishery-independent surveys conducted between 2013 and 2014 in the Yellow River Estuary, examined the influence of sampling designs on the estimation of parameter b of the length-weight relationship of *C. stigmatias* by using a computer simulation study. Based on the actual situation of fishery resources survey in different seasons, 15 sampling design schemes were simulated, and then the influence of different sampling designs on the estimated body length-weight relationship parameter b was compared by selecting two indexes, namely, relative estimation error and relative deviation. The results showed that the estimation accuracy of the length-weight relationship parameter can be effectively improved with the sample size increasing. The length and weight data in different seasons showed different impacts on the estimation accuracy of the parameter, and the data in summer were particularly important in improving the accuracy and precision of estimation of length-weight relationship parameter b for *C. stigmatias*. The precision and accuracy of parameter estimates based on the data from more seasons were usually higher than those using data in a single season. Scheme 9 (sampling in summer and winter) performed the best at the same sample size among all the fifteen sampling design schemes. The relative estimation error of parameter b of the length-weight relationship was 2.08%, and the absolute value of the relative bias was 0.71% for scheme 9 at the sample size of 540 individuals. The study indicated that enough biological data from representative seasons that have a great effect on the estimation of the parameter should be obtained when we estimate the length-weight relationship for fish populations like *C. stigmatias* in the Yellow River estuary. In this paper, using *C. stigmatias* as an example, the influence of sampling design on the estimation of length-weight relationship parameter was explored, which would provide a reference for the estimation of length-weight relationship parameter of other fish stocks.

Key words: *Chaemrichthys stigmatias*; fishery-independent survey; sampling design; sample size; length-weight relationship; computer simulation

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

Funding projects: National Key R & D Program of China (2019YFD0901205, 2018YFD0900904); Marine S & T Fund of Shandong Province for Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao) (2018SDKJ0501-2)