



温台渔场 3 种经济鱼类体长频次分布与 采样量间关系的比较

戴黎斌^{1,2,3}, 田思泉^{1,2,3,4}, 刘伟成^{5,6*}, 高春霞^{1,2,3,4},
王家启^{1,2,3}, 杜晓雪^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学, 中国远洋渔业数据中心, 上海 201306;

3. 上海海洋大学, 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;

4. 上海海洋大学, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

5. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江 温州 325005;

6. 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室, 浙江 温州 325005)

摘要: 为了量化和比较温台渔场 3 种经济鱼类体长频次分布与实际收集的观测样本之间的关系, 本研究基于收集的样本体长信息能够反映研究区域鱼种真实的体长组成信息这一假设, 根据春、夏两季在温台渔场采集的 3 种经济鱼类 (小黄鱼、银姑鱼和龙头鱼) 的体长数据, 利用计算机模拟方法设计了不同的样本量方案。利用均方差异值 (mean square difference, MSD) 来量化不同体长组数据之间的频次分布差异, t 检验来检测 3 个研究对象的平均体长是否存在季节性差异。结果显示, ①3 个研究对象的平均体长存在显著的季节性差异, 春季小黄鱼的平均体长 $[(135.20 \pm 19.62) \text{ mm}]$ 大于夏季小黄鱼 $[(123.90 \pm 19.47) \text{ mm}]$, 春季银姑鱼的平均体长 $[(105.00 \pm 46.84) \text{ mm}]$ 大于夏季银姑鱼 $[(86.14 \pm 21.60) \text{ mm}]$, 夏季龙头鱼的平均体长 $[(199.60 \pm 17.40) \text{ mm}]$ 要大于春季 $[(180.00 \pm 17.92) \text{ mm}]$ 。此外, 3 个研究对象的主要体长范围也具有季节性差异。鱼种间的生物学差异及其体长组成季节性差异会影响体长频次分布精度与不同样本量之间的关系; ②模拟研究中体长组个数的设置会影响体长频次精度的估计。当样本量较小时, MSD 值随体长组个数的增加而增加, 研究结果认为在有效样本量为 50 的假设前提下, 体长组设置为 10 组对于体长频次精度的估计更加有利。③体长频次分布的精度变化可作为设置有效样本量的依据。在基于单个站点 50 个样本量能够反映温台渔场 3 种经济鱼类真实体长结构的假设下, 根据研究结果, 建议将春季小黄鱼的采样量设置为 30~40 个, 春季银姑鱼的采样量设置为 42~48 个, 春季龙头鱼的采样量设置为 34~40 个。

关键词: 体长频次分布; 采样调查; 重采样方法; 采样量优化; 温台渔场

中图分类号: S 931

文献标志码: A

对常规的渔业资源评估和管理而言, 最基本的一个需求就是在特定时空尺度下有效、准

确地获取目标种群的样本特征信息^[1], 并进行相应的数据整合、统计分析, 以此来推断种群的

收稿日期: 2017-06-08 修回日期: 2017-09-27

资助项目: 浙江省渔业资源调查 (温台地区) (158053)

第一作者: 戴黎斌, 从事渔业资源评估和管理研究, E-mail: 644318716@qq.com

通信作者: 刘伟成 (照片), E-mail: lwch80@126.com



总体资源变动状况, 为渔业资源的长期利用和科学管理提供合理的理论基础和依据。科学性采样调查是渔业科学中重要的资料获取方式^[2], 通过有效样本的采集, 能够提供不同鱼类基础生物学信息的相对频次, 如体长、年龄、胃含物等。其中, 体长频次分布常被用来评估种群特征, 如年龄结构^[3]、繁殖、补充、生长和死亡率^[4]等。然而, 至今尚未有统一的方法和标准来准确描述目标种群体长频次分布的采样量^[5-6]。在一些资源调查和采样研究中, 采样量的选择多是源于个人经验而不是通过统计方法的估算^[6], 这会直接导致与特征估计值相关因素不确定性的增加以及采样精度的降低。

目前, 估计体长频次分布精度和有效采样量的相关研究大多基于重采样和计算机模拟方法^[5-7, 8-14], 本实验基于 2016 年温台渔场春夏季 2 航次的拖网资源调查, 以小黄鱼 (*Larimichthys*

polyactis)、银姑鱼 (*Pennahia argentata*) 和龙头鱼 (*Harpadon nehereus*) 为例, 使用重采样方法比较不同鱼种间体长频次精度和采样量间的关系, 为今后的资源调查与监测提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 调查信息

数据源于 2016 年春季和夏季 2 个航次的温台渔场资源拖网调查, 调查站点设计均遵从系统随机采样原则, 以平均网格化划分, 经纬度以 0.25°×0.25°为间隔。租用调查船为近海大型单船网板底拖网作业船 (总吨位 305 t, 主机马力 403 kW), 调查站点具体分布见 图 1。春季航次调查站点数为 20 个, 夏季航次为 24 个, 单个航次调查时长为 1 周, 详细拖网调查信息见表 1。

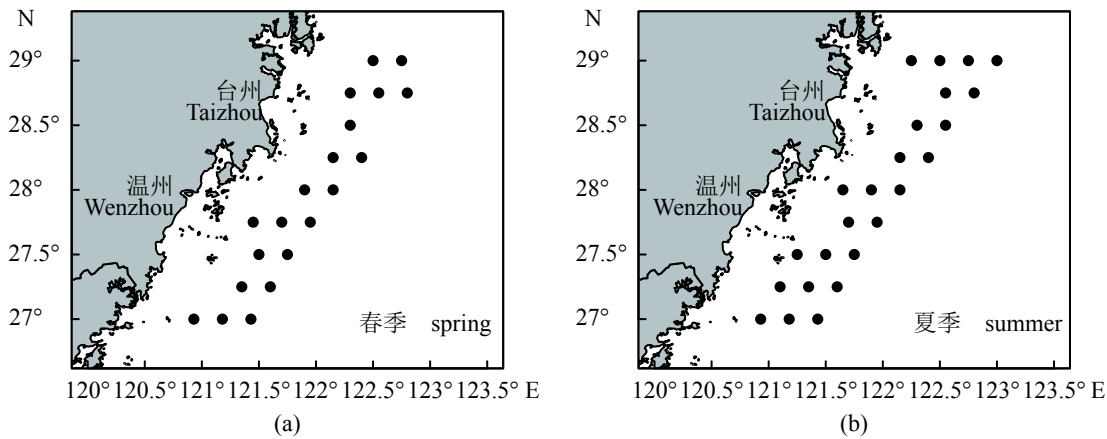


图 1 春 (a) 夏 (b) 季温台渔场资源调查站点分布

Fig. 1 Spatial distribution of survey stations in spring (a) and summer (b)

表 1 拖网调查信息

Tab. 1 Trawl survey information

航次 trip	调查日期 survey date	站点总数/个 total number of stations	平均拖网用时/min average towing duration	平均拖速/kn average towing speed	平均调查水深/m average survey depth
春季 spring	05.22—05.28	20	46.95	3.07	51.95
夏季 summer	08.05—08.11	24	37.42	3.20	48.26

1.2 现场采样方法及调查鱼种样本量信息

现场采样时, 在接近设定站位中心点约 2 n mile 处的位置下网, 朝中心点方向拖曳 0.5~1.0 h 后起网。起网结束后, 总渔获低于 60 kg, 全部取样, 超过 60 kg, 则对渔获进行分类后, 数量较少的种类全部取样, 数量较大的常见种随机

选取 50 尾用于生物学测定 (表 2), 其余只记录重量和数量信息。调查结束后, 在实验室内进行调查鱼种的基础生物学实验并记录体长信息。本研究选取温台渔场的 3 种主要经济鱼类作为研究对象, 其中春季小黄鱼共测量 349 尾 [体长 40~187 mm, 平均体长 (135.20±19.62) mm], 夏季小

黄鱼共测量 757 尾[体长 33~215 mm, 平均体长 (123.90±19.47) mm], 春季银姑鱼共测量 396 尾 [体长 30~209 mm, 平均体长 (105.00±46.94) mm], 夏季银姑鱼共测量 425 尾[体长 19~181 mm, 平均体长 (86.14±21.60) mm], 春季龙头鱼共测量

520 尾[体长 116~268 mm, 平均体长 (180.00±17.92) mm], 夏季龙头鱼共测量 841 尾[体长 103~265 mm, 平均体长 (199.60±17.40) mm]。此外, 使用 *t* 检验来检测春季和夏季的目标鱼种平均体长之间是否具有差异。

表 2 调查鱼种实际测定样本数量

Tab. 2 Actual measured sample size of target fish species

春季 spring					夏季 summer				
站点 stations		样本量/尾 sample sizes			站点 stations		样本量/尾 sample sizes		
经度/(°) longitude	纬度/(°) latitude	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	银姑鱼 <i>P. argentata</i>	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	经度/(°) longitude	纬度/(°) latitude	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	银姑鱼 <i>P. argentata</i>	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>
120.93	27.00	0	0	0	120.93	27.00	0	0	8
121.18	27.00	1	0	37	121.18	27.00	1	50(136)	40
121.43	27.00	3	50(197)	1	121.43	27.00	2	47	18
121.60	27.25	3	13	22	121.60	27.25	2	50(56)	50(58)
121.35	27.25	7	0	31	121.35	27.25	3	50(169)	29
121.50	27.50	0	19	13	121.10	27.25	6	0	50(64)
121.75	27.50	7	50(191)	2	121.25	27.50	11	31	3
121.95	27.75	24	35	50(58)	121.50	27.50	35	50(339)	50(65)
121.70	27.75	28	50(176)	47	121.75	27.50	30	48	44
121.45	27.75	0	21	0	121.95	27.75	50(57)	20	50(80)
121.90	28.00	6	0	5	121.70	27.75	50(282)	50(99)	44
122.15	28.00	40	44	50(53)	121.65	28.00	50(99)	26	50
122.40	28.25	9	9	50(87)	121.90	28.00	17	0	42
122.15	28.25	24	43	50(65)	122.15	28.00	50(103)	2	9
122.30	28.50	17	15	43	122.40	28.25	50(60)	0	50
122.80	28.75	0	3	25	122.15	28.25	50(110)	1	0
122.55	28.75	30	6	10	122.30	28.50	0	0	0
122.30	28.75	50(92)	33	43	122.55	28.50	50(60)	0	50(53)
122.50	29.00	50(129)	1	6	122.80	28.75	50(65)	0	50(55)
122.75	29.00	50(101)	4	35	122.55	28.75	50(269)	0	50(57)
					122.25	29.00	50(287)	0	50(52)
					122.50	29.00	50(276)	0	28
					122.75	29.00	50(257)	0	26
					123.00	29.00	50(60)	0	50(60)

注: 括号内数值为各站点采样量
Notes: The value in brackets represents the sample size of each station

1.3 模拟研究

研究假设实验测定的鱼种体长能够有效反
<https://www.china-fishery.cn>

映温台海域鱼类种群的体长结构, 通过比较不同单站点采样量下模拟体长频次与原始体长频
中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

次的相似度大小来研究体长频次分布与采样量间的关系。具体分析方法: 将春夏季 2 航次各鱼种的原始体长频次作为参考体长频次 A , 采取无放回重采样的方法, 将单站点不同采样量下的重采样样本汇总成模拟体长频次 B_i , 通过计算参考体长频次 A 与模拟体长频次 B_i 之间的均方差 (mean squared difference, MSD) 来体现实际体长频次与模拟体长频次之间的关系。 MSD 值可被用来描述 2 个体长频次组之间的相似度大小, MSD 值越小, 说明模拟体长频次分布与实际体长频次分布差异越小, 模拟采样精度越高^[15]。为了展现 MSD 与单站点采样量之间的关系, 以 2 个样本量为间隔, 从某一航次的全部站点中分别进行单站点采样量为 i (8、10、12、24……50) 的无放回重采样, 若某一站点实际采样量小于 i , 则全取, 反之, 则随机抽取 i 个样本, 全部站点的重采样样本即为模拟体长频次 B_i 。最后, 重复上述步骤 1 000 次, 求得单站点不同采样量下模拟体长频次分布与实际体长频次分布的 1 000 次平均均方差 ($\overline{MSD}$)。 MSD 和 $\overline{MSD}$ 计算公式:

$$MSD_i = \sum_{j=1}^S \sum_{j=1}^N \left(\frac{f_j - \hat{f}_j}{f_j} \right)^2 \quad (1)$$

$$\overline{MSD}_i = \frac{\sum_{i=1}^{1000} MSD_i}{1\ 000} \quad (2)$$

式中, MSD_i 为单站点采样量为 i 的 MSD 值, $\overline{MSD}$ 为单站点采样量为 i 的 1 000 次平均均方差, S 为站点总数, N 为体长组个数, f_j 为实际体长频次分布中第 j 个体长组的频率, $\hat{f}_j$ 为模拟体长频次分布中第 j 个体长组的频率。

2 结果

2.1 调查鱼类体长频次分布

根据体长频次直方图, 3 种经济鱼类在体长频次分布上多呈正态或偏态分布, 而春季航次银姑鱼的体长频次分布最为特别, 含有双峰 (图 2)。小黄鱼的体长频次主要集中在 110~140 mm, 且春夏季平均体长之间有显著性差异 ($t=9.29$, $P<0.05$), 春季的小黄鱼平均体长更大。银姑鱼的春夏季体长分布差异非常明显, 春季的双峰分布区间为 30~60 mm 和 120~170 mm, 而夏季的单峰

区间则恰好处于春季的双峰之间, 主要体长频次集中于 60~110 mm, 单尾 t 检验结果表明, 春季银姑鱼的平均体长要显著高于夏季平均体长 ($t=8.44$, $P<0.05$)。龙头鱼的春夏季平均体长也具有显著性差异 ($t=-19.54$, $P<0.05$), 夏季的龙头鱼体型更大, 体长频次主要分布在 180~230 mm, 而春季则集中于 160~210 mm。

2.2 不同采样量下体长频次分布的精度估计

通过计算不同采样量下 1 000 次 MSD 值得到的 MSD 分布趋势, 来体现春夏两航次各鱼种 MSD 值与采样量间的关系 (图 3)。总体而言, 各鱼种的 MSD 值呈负指数曲线形式, 随单站点采样量的增加而逐渐减小, 初始的 MSD 改变量要远高于后续的 MSD 改变程度, 直至趋近于零。相同鱼种间的 MSD 变化趋势具有季节上的差异性, 如在采样量相同的情况下, 春季小黄鱼和银姑鱼的 MSD 值要低于夏季, 而龙头鱼的季节间差异则并不明显。此外, 在同一季节 (航次) 的不同鱼种间, MSD 值随采样量的变化波动幅度也有所不同, 如在春季航次中, 当单站点采样量为 8 尾时, 小黄鱼的 $\overline{MSD}$ (3.99) 较银姑鱼 (5.04) 和龙头鱼 (5.25) 要小, 而当单站点采样量增加到 44 尾时, 三者的 $\overline{MSD}$ 已变得十分近似, 分别为小黄鱼 (0.17), 银姑鱼 (0.90) 和龙头鱼 (0.36), 这说明小黄鱼 MSD 值随采样量增加的下降速率要明显小于银姑鱼和龙头鱼。

2.3 体长组个数对 $\overline{MSD}$ 值的影响

在对 MSD 值的重复计算中, 体长组个数 N 被设置为 10, 即把参考体长和模拟体长数据集各自分成 10 个体长组进行计算, 但在实际的迭代过程中, 发现体长组个数的改变也会会对 MSD 值的计算结果产生一定的影响, 以小黄鱼为例, 当参考体长和模拟体长的体长组个数分别被设置为 10、15、20、25 和 30 组且各体长组样本数相同的情况下, 体长组个数对 $\overline{MSD}$ 值的影响十分显著 (图 4)。体长组的数量越多, MSD 的值就越大, 表明 2 个体长组之间 (实际体长和模拟体长) 的相似度越小, 但这种趋势与季节变化无关, 且只在采样量较小的时候才较为明显, 当采样量足够大时, 体长组数量对体长频次精度的影响相较于精度本身的差异则变得十分轻微。

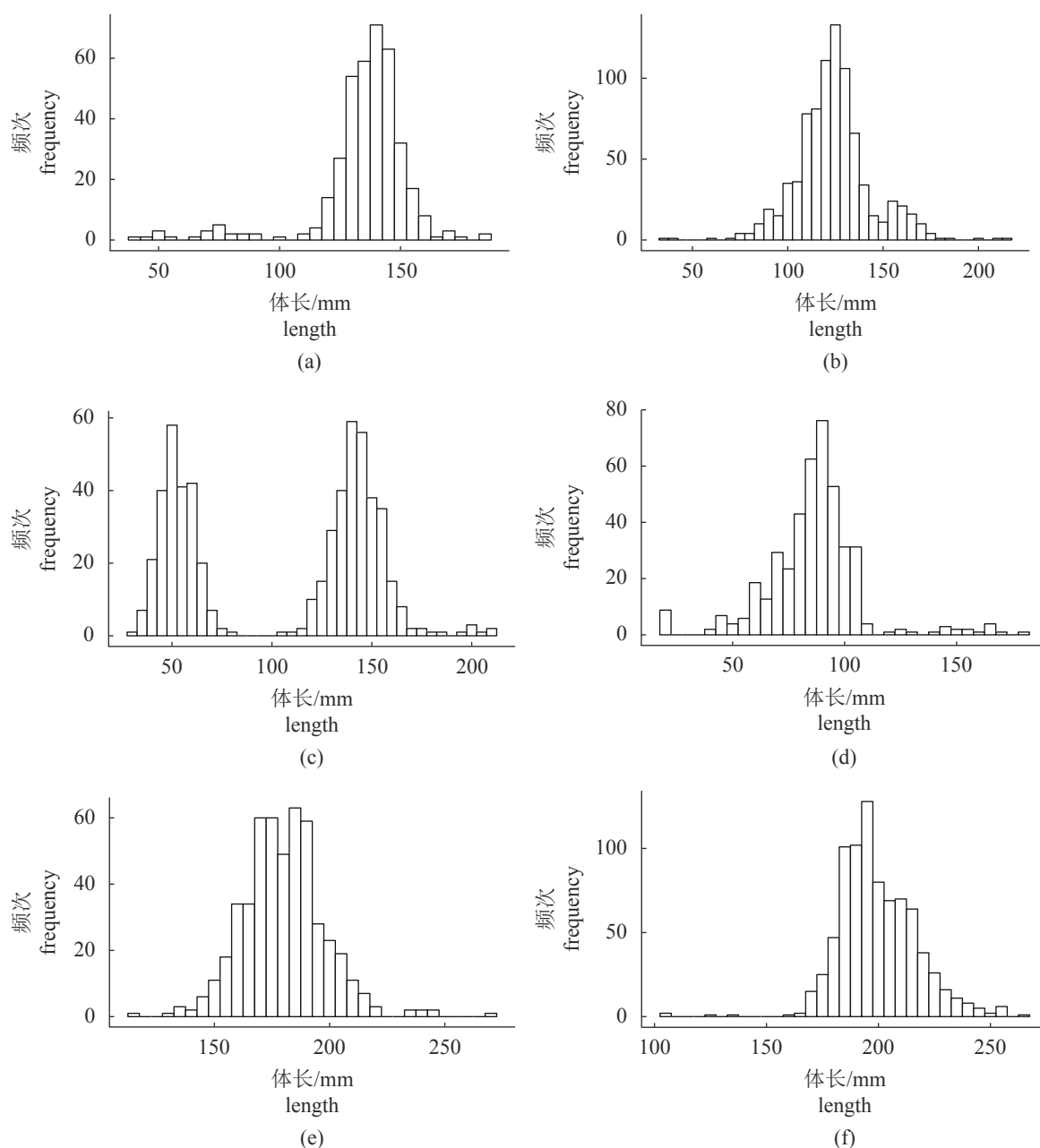


图2 小黄鱼、银姑鱼和龙头鱼体长频次分布直方图

(a) 春季小黄鱼, (b) 夏季小黄鱼, (c) 春季银姑鱼, (d) 夏季银姑鱼, (e) 春季龙头鱼, (f) 夏季龙头鱼; 下同

Fig. 2 Length frequency histograms for *L. polyactis*, *P. argentata* and *H. nehereus* data sets

(a) *L. polyactis* in spring, (b) *L. polyactis* in summer, (c) *P. argentata* in spring, (d) *P. argentata* in summer, (e) *H. nehereus* in spring, (f) *H. nehereus* in summer; the same below

3 讨论

3.1 体长频次精度与采样量间关系

研究结果显示, 当单站点采样量从8个增至测定样本量上限50个的时候, 模拟体长频次分布愈来愈接近原始体长频次分布, 这表明在

渔业资源调查中, 采样量越多, 目标特征值的估计精度就越高, 所得结果也就越接近鱼类种群或群落的真实状况。本研究假设样本量为50个的体长分布能够准确反映该海域各鱼类种群的体长结构, 但缺乏历史资料予以验证该假设的有效性。此外, 用以有效描述体长分布的采

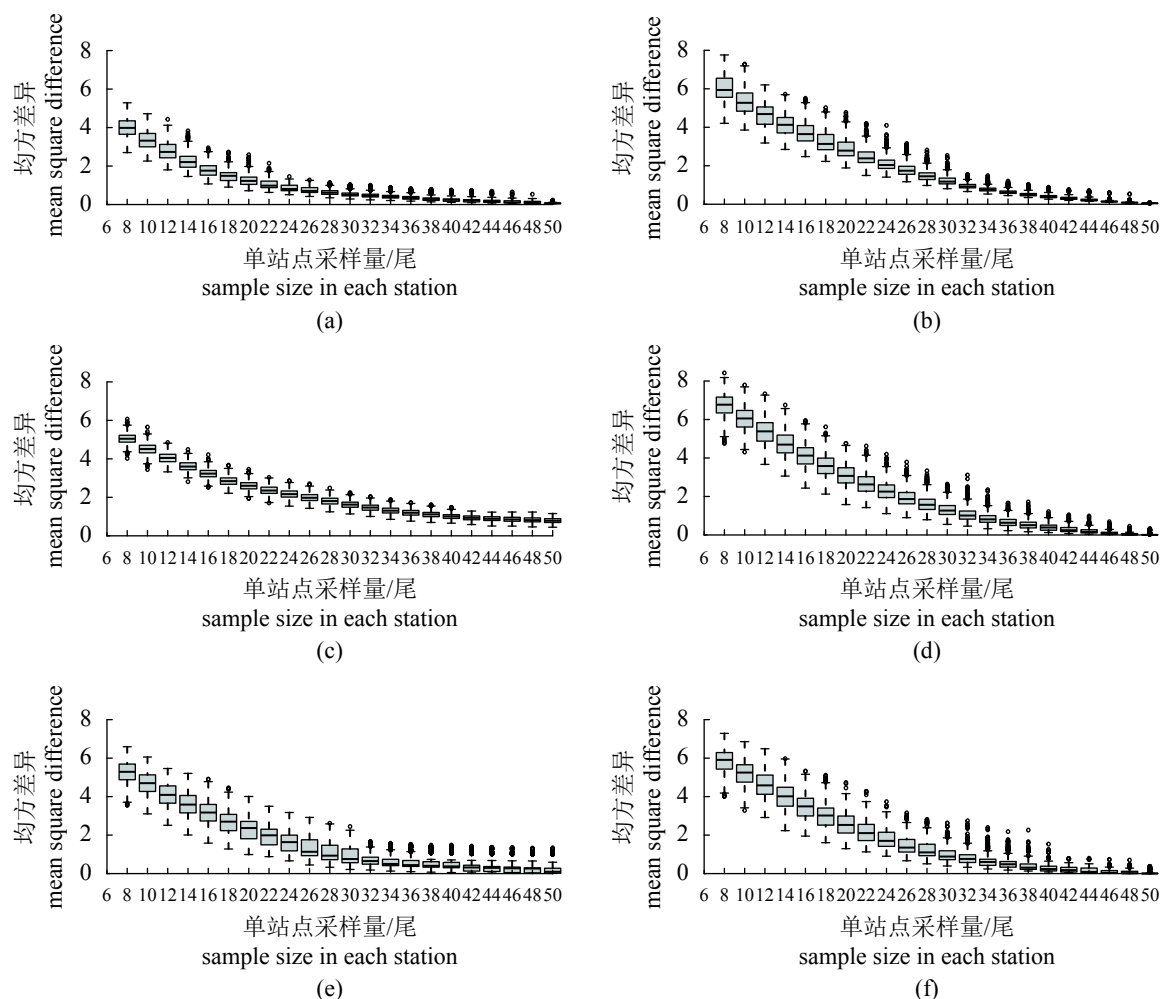


图 3 小黄鱼、银姑鱼和龙头鱼 MSD 与采样量间关系

Fig. 3 Relation of mean squared difference (MSD) and various sample sizes for *L. polyactis*, *P. argentata* and *H. nehereus* data sets

样量一直都备受争议, Anderson 等^[4]认为有效评估资源应至少使用 100 个样本来描述种群的体长频次分布; Gilliland^[12]则比较了不同采样量下大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 的体长频次分布, 并认为样本量达到 150 尾时该鱼种的体长结构可有效估计。影响体长频次估计精度的因素有许多, 如渔具选择^[6, 15-16]、目标种群的时空分布^[10]、调查海域的物种多样性^[10]、体长组间隔大小^[5-6]等, 因此, 针对不同海域、不同鱼种、不同季节的采样调查, 有效样本量应根据实际需求和客观条件的改变及时做出调整以达到准确描述目标种群体长结构的目的。

3.2 体长组数量的设置

体长组个数的增加会使得 MSD 值发生相应

的增加, 这表明通过重采样方法模拟出的体长频次与采样所得的实际体长频次的差异变得更大。Vokoun 等^[5]也认为这可能是由参考体长频次的形状所造成, 对于来自分布较为均匀的体长数据, 在给定的采样努力量下, 其体长频次估计准度和精度都会相对减少。本实验未出现类似的情况, 即使春季银姑鱼的体长频次分布和其他体长频次分布的差异较大 (具有双峰), 但 MSD 值的估计结果和变化趋势却依然大致相同。Miranda^[6]在计算估计种群体长分布的采样需求量时发现, 以 1 cm 为间隔 (较多体长组) 的体长频次分布比以 2.5 cm 为间隔 (较少体长组) 的体长频次需要更多的采样量, 并认为生命周期短、体长范围小的鱼种通常会产生更多的断

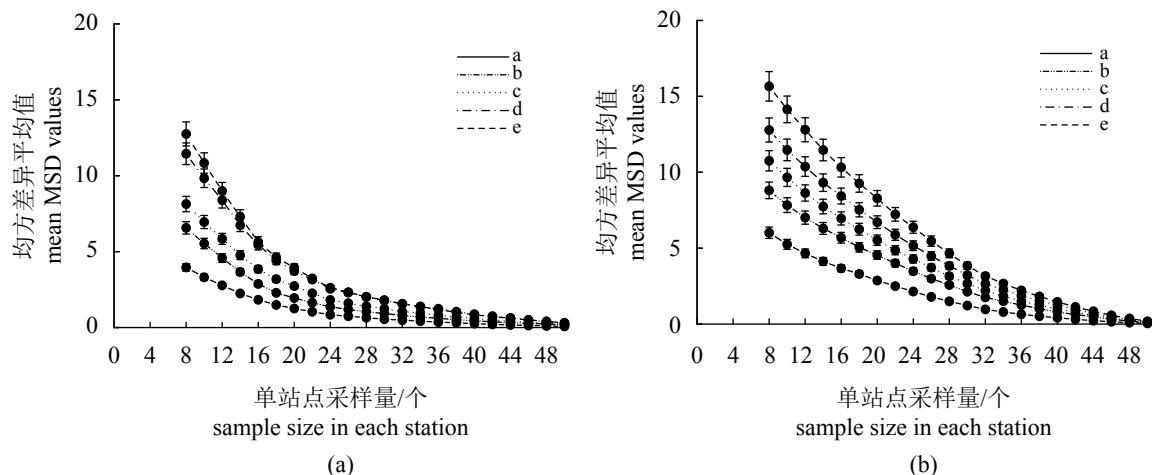


图4 体长组个数对小黄鱼均方差异平均值产生的影响 (95% 置信区间)

(a) 春季小黄鱼, (b) 夏季小黄鱼; a. 10 个体长组, b. 15 个体长组, c. 20 个体长组, d. 25 个体长组, e. 30 个体长组

Fig. 4 Effect of numbers of length intervals on mean MSD values for *L. polyactis* with 95% confidence interval

(a) *L. polyactis* in spring, (b) *L. polyactis* in summer; a. 10 length bins, b. 15 length bins, c. 20 length bins, d. 25 length bins, e. 30 length bins

层式体长分布, 因此需要的采样量更少。在本实验中, 较少的体长组更能够帮助增加体长频次的估计精度, 因此在有效样本量为 50 的假设前提下, 体长组设置为 10 组对于体长频次的模拟更加有利。事实上, 分析体长频次的目的是为了解种群资源动态, 在设置体长间隔时应充分考虑目标鱼种的生物学信息, 因为调整体长组的个数不仅能够估计体长频次的精度, 同时也可以为目标种群后续的资源评估奠定基础。

3.3 采样量的优化

采样量的优化是通过调整采样努力量的大小来保持获取目标特征估计值的精度, 以追求降低调查成本和保证数据质量之间的权衡。在渔获数据的统计分析中, 体长分布数据能够有效反映单个种群的补充量、生长、死亡率以及一些生物或非生物环境因素对其资源变动产生的交互影响^[6]。因此, 一些研究通过将体长频次分布的精度作为指示统计量来评估最佳采样量, 避免造成采样努力量的浪费, 如 Pennington 等^[7]发现, 在巴伦支海的大西洋鳕 (*Gadus morhua*) 和黑线鳕 (*Melanogrammus aeglefinus*) 拖网调查中只需在每个站点采集一个样本就能够估计出物种的体长频次分布, 理论样本量远远小于实际采样量。在本研究中, 通过计算实际采样的渔获体长频次和模拟采样的体长频次之间的差异, 发现当采样量达到一定数量时, 体长频次分布

的精度变化已非常接近饱和, 可进行采样量的优化。根据 Vokoun 等^[5]的建议, 当 MSD 值不再显示出显著的下降趋势时, 该 MSD 值范围所对应的采样量范围可作为推荐样本量。因此, 在样本量为 50 且该样本量能够有效反映种群体长结构的假设前提下, 春季小黄鱼的优化样本量范围可认定为 30~40 尾, 春季银姑鱼为 42~48 尾, 春季龙头鱼为 34~40 尾, 而夏季各鱼种的 MSD 值随采样量的增加始终保持明显的下降趋势, 故不建议优化采样量。

综上所述, 本研究中调查鱼种的体长频次精度均方差异随采样量的增加而逐渐减小, 并最终趋近于零, 而不同鱼种在不同季节的体长频次精度均方差异随采样量变化的波动幅度各不相同。此外, 体长组数量的改变对体长频次精度的估计会造成一定的影响, 研究中使用的体长频次精度估计方法在一定条件下能够起到优化采样量的作用, 但其给定的有效样本量假设仍需验证。目前国内针对渔业采样调查设计与优化的研究仍然匮乏, 本研究结果能够对相关资源调查设计的完善提供一定的理论基础和技术支撑, 但尚未考虑到站点的空间分布、鱼类的生物学特性和重复计算体长频次精度估计的次数等因素所造成的影响, 今后应对多因素分别进行探讨以减少目标特征值估计过程中的不确定性。

参考文献 (References):

- [1] Hilborn R, Walters C J. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty[M]// New York: Chapman and Hall, 1992: 170-171.
- [2] Cooper A B. A guide to fisheries stock assessment: from data to recommendations[R]. Kingman Farm: University of New Hampshire, 2006.
- [3] Tesch F W. Age and growth[M]//Ricker W E. Methods for assessment of fish production in fresh waters. London: Blackwell Scientific Publications, 1971.
- [4] Anderson R O, Neumann R M. Length, weight, and associated structural indices[M]//Murphy B R, Willis D W. Fisheries techniques. 2nd ed. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 1996.
- [5] Vokoun J C, Rabeni C F, Stanovick J S. Sample-size requirements for evaluating population size structure[J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 2001, 21(3): 660-665.
- [6] Miranda L E. Approximate sample sizes required to estimate length distributions[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2007, 136(2): 409-415.
- [7] Pennington M, Burmeister L M, Hjellvik V. Assessing the precision of frequency distributions estimated from trawl-survey samples[J]. *U.S. National Marine Fisheries Service Fishery Bulletin*, 2002, 100(1): 74-80.
- [8] 赵静. 小尺度多生境下底层鱼类群落采样设计及影响因素——以马鞍列岛海域为例 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- Zhao J. The optimal sampling design and influence on demersal fish community in small scale and multi-habitats of Ma'an Archipelago[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014 (in Chinese).
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Gilliland E. Evaluation of Oklahoma's standardized electrofishing in calculating population structure indices[J]. *Proceedings of the Annual Conference Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies*, 1985, 39: 277-287.
- [13] Dumont S C, Schlechte W. Use of resampling to evaluate a simple random sampling design for general monitoring of fishes in Texas reservoirs[J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 2004, 24(2): 408-416.
- [14] Wang Y G, Ye Y M, Milton D A. Efficient designs for sampling and subsampling in fisheries research based on ranked sets[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2009, 66(5): 928-934.
- [15] 徐胜南, 汪振华, 梁金玲, 等. 不同网具在人工鱼礁水平方向上诱集效果的比较[J]. *水产学报*, 2016, 40(5): 820-831.
- Xu S N, Wang Z H, Liang J L, *et al.* Use of different sampling tools for comparison of fish-aggregating effects along horizontal transect at two artificial reef sites in Shengsi[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(5): 820-831(in Chinese).
- [16] 赵静, 章守宇, 周曦杰, 等. 浙江嵊泗枸杞岛岩礁生境两种刺网采样网具的比较[J]. *水产学报*, 2013, 37(2): 311-320.
- Zhao J, Zhang S Y, Zhou X J, *et al.* Comparative analysis of two sampling gillnets of rocky reef area in Gouqi Islands, Shengsi, Zhejiang[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(2): 311-320(in Chinese).

Comparison of the relation between the length frequency distribution and sample size for several commercial fish species in the Wentai fishing ground

DAI Libin^{1,2,3}, TIAN Siquan^{1,2,3,4}, LIU Weicheng^{5,6*}, GAO Chunxia^{1,2,3,4},
WANG Jiaqi^{1,2,3}, DU Xiaoxue^{1,2,3}

(1. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Data Centre for Distant-Water Fisheries of China, Shanghai 201306, China;

3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

5. Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou 325005, China;

6. Zhejiang Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-resource, Wenzhou 325005, China)

Abstract: One of the basic requirements for conducting fishery stock assessment and management research is to obtain effective fishery and biological information for target species. Length frequency distribution (LFD) can provide insight into fishery population dynamics and is easier to collect compared with other data type such as age structure and abundance index. However, it is hard to determine the effective sample size required to describe the length structure for specific fish stock. The quantitative relationship between the precision of LFD and the sample size of fish length data could be regarded as an indicator to optimize the sample size of fishery survey design. In order to quantify and compare the relationship between the precision of LFD and sample size of fish length data for three commercial fish species (*Larimichthys polyactis*, *Pennahia argentata* and *Harpadon nehereus*) on the Wentai fishing ground, a simulation study was conducted to calculate the mean square difference (MSD) of LFD based on actual sample size and various simulated sample sizes based on observed length data collected during spring and summer on the Wentai fishing ground. The simulation study assumed that the observed length data are able to reflect the true length structure for three species. In addition, t-test was used to examine the significant difference of mean length for three species in spring and summer. The results showed that, ① Factors such as biology difference and seasonal variation would affect the relationship between the precision of LFD and sample size. All three species showed significant difference of mean length in spring and summer. The dominate length ranges for three species were different between two seasons. ② The accuracy for estimating the precision of LFD would be impacted by the setting numbers of size bin. The MSD values increased with the number of size bin when sample size was small and this relationship did not have seasonal variation. We recommend setting 10 size bins when the effective sample size was set at 50. ③ The precision of LFD could be considered as an effective indicator to optimize sample size. Given the assumption that 50 fish samples per each station can reflect the true length structure for three species in this study, we recommend setting the sample size at the range of 30-40 individuals for *L. polyactis*, 42-48 individuals for *P. argentata* and 34-40 individuals for *H. nehereus* in spring.

Key words: length frequency distribution; sampling survey; resampling technique; sampling size optimization; Wentai fishing ground

Corresponding author: LIU Weicheng. E-mail: lwch80@126.com

Funding projects: Project of Fishery Resources Investigation of Zhejiang Province (158053)