

DOI: 10.12264/JFSC2020-0491

基于 ELEFAN I 和 LBB 的竺山湖贝氏鲮资源状况评估

叶学瑶¹, 赵旭昊¹, 任泷², 任可成¹, 徐东坡^{1,2}

1. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部部长江下游渔业资源环境科学观测实验站, 江苏 无锡 214081

摘要: 为获得竺山湖水域贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)的种群参数, 评价其资源利用状况, 根据2019年10月至2020年9月在竺山湖水域收集的贝氏鲮基础生物学数据, 利用基于长度频率数据的 ELEFAN I (electronic length frequency analysis I) 和贝叶斯评估方法(length-based Bayesian biomass, LBB)估算其种群参数。结果显示, 贝氏鲮体长范围为 44.17~181.87 mm, 体重范围为 0.88~70.30 g; 体长(L , mm)与体重(W , g)关系式为 $W=9.0\times 10^{-5}L^{3.0707}$ ($R^2=0.8775$, $n=805$); 体长和体重的生长方程分别为 $L_t=194.25\times [1-e^{-0.36(t+0.46)}]$, $W_t=95.74\times [1-e^{-0.36(t+0.46)}]^{3.0707}$ 。运用 ELEFAN I 方法估算的相对自然死亡系数 $M/K=2.28$, 相对捕捞死亡系数 $F/K=4.50$, 相对总死亡系数 $Z/K=6.78$, 开发率 $E=0.66$ 。LBB 估算的相对死亡系数 M/K 、 F/K 、 Z/K 和开发率 E 分别为 1.88、5.78、7.64 和 0.76。两种方法估算的种群参数基本一致。本研究揭示了竺山湖贝氏鲮的种群生长特性及资源利用状况, 可为太湖的渔业资源科学管理提供依据。

关键词: 贝氏鲮; 长度频率; 种群参数; 资源利用; 竺山湖; 大水面; 生态渔业

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)06-0751-11

竺山湖是太湖西北部的半封闭湖湾, 南北 13 km 左右, 东西最长处 9.7 km 左右, 水深 1.9 m 左右, 是太湖上游来水的主要湖区^[1]。湖区内渔业资源丰富, 但对该水域的渔业资源状况研究较少。科学的渔业资源评估可以为湖泊的资源利用状况提供数据支撑, 对渔业管理尤为重要^[2-3]。传统的渔业资源评估方法, 如剩余产量、年龄结构等模型均需输入较多的参数, 在实际运用过程中受到诸多限制^[4-6]。因此, 需要一种对参数输入要求简单、数据易获取且能够准确反映资源状况的评估方法。基于长度频率法是在数据缺乏条件下有效评估方法之一^[7]。在较长时间内, 国内外学者大多利用基于长度频率的 ELEFAN I 方法(electronic length frequency analysis I)^[8]对太湖、长江、南海、太平洋等各大水域^[9-19]鱼类种群参数和资

源利用状况进行了研究。2018年, Froese 等^[20]提出基于长度频率的贝叶斯生物量估计法(length-based Bayesian biomass, LBB), 该方法仅需要能代表被评估渔业种群的长度频率数据, 数据获取较为简单。利用 LBB 法, Liang 等^[21]和薛国进等^[22]分别提出中国沿海海域 14 种渔业资源和大长山许氏平鲷(*Sebastods schlegelii*)处于过度捕捞状态; 王雪辉等^[23]研究发现北部湾二长棘鲷(*Parargyrops edita*)的开捕体长和渐近体长呈下降趋势, 且当长度频率能够代表资源各个开发阶段的长度组成时, 估算结果能够很好地反映出种群的真实状况。

贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)在我国平原地区各大江河、湖泊和池塘广泛分布, 是一种世代交替快、生命周期短的杂食性鱼类^[24], 在长江下游

收稿日期: 2020-12-20; 修订日期: 2021-03-13.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0900604, 2020YFD0900503); 中国水产科学研究院科技创新团队专项项目(2020TD61).

作者简介: 叶学瑶(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源. E-mail: 936750346@qq.com

通信作者: 徐东坡, 研究员, 研究方向为渔业资源、大水面生态渔业. E-mail: xudp@ffrc.cn

多个水域中资源量较丰富^[26-27]。以往对贝氏鲶的研究主要集中在繁殖生物学和资源量评估等方面^[16,25-26,28]。作为太湖常见小型鱼类,数量颇多^[29],在食物网中处于中间环节,一方面可利用水生昆虫、浮游动物等多种食物来源;另一方面又可以作为翘嘴鲌(*Culter alburnus*)、蒙古鲌(*Culter mongolicus*)等食鱼性鱼类的饵料生物^[25,30],对于维持湖泊生态系统的平衡具有重要意义^[31],但对其资源状况目前未见报道。因此,本研究利用 ELEFAN I 与 LBB 两种方法对竺山湖贝氏鲶种群参数和资源利用状况进行评估,以期为太湖的渔业资源科学管理提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区域

竺山湖(119°59'~120°04'E, 31°22'~31°28'N)为太湖西北部湖湾,在湖区内设置 10 个采样点逐月进行定点取样(图 1)。

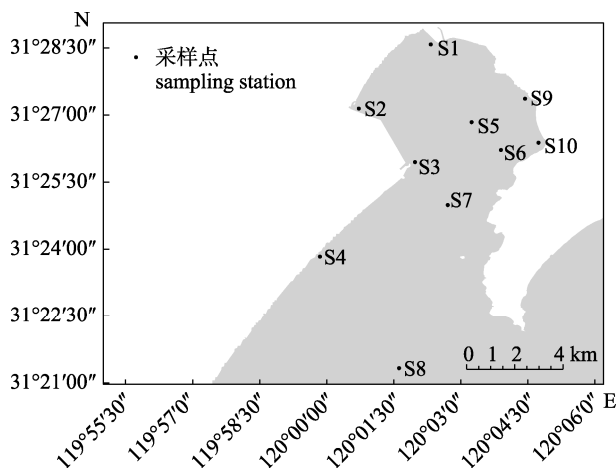


图 1 竺山湖采样站点示意图

Fig. 1 Sampling locations of the Zhushan Lake

1.2 样品采集

本研究于 2019 年 10 月至 2020 年 9 月对竺山湖渔获物按月度进行调查。采样时间为每月下旬,日落前在采样点放置 3 条多目复合刺网(网目分别为 1.2 cm、2.0 cm、4.0 cm、6.0 cm、8.0 cm、10.0 cm、14.0 cm 混合,长 125.0 m、高 1.5 m),次日 6:00 收网,收集网内所有渔获物,并冷冻处理带回实验室,渔获物分类鉴定参考《太湖鱼类志》^[29]和

《江苏鱼类志》^[24],随后进行体长(L)和体重(W)的测定,使用数显游标卡尺测量鱼类体长,电子天平测量体重,数据精确到 0.01 mm 和 0.01 g。

1.3 体长与体重关系

采用 Microsoft Excel 2019 软件拟合贝氏鲶体长与体重的关系式,其公式为:

$$W=aL^b \quad (1)$$

式中, L 为体长(mm), W 为体重(g); a 、 b 为待定参数, a 为肥满度, b 为幂指数系数,用以判断贝氏鲶的生长类型。

竺山湖贝氏鲶的体长数据按月以 10 mm 的间距分组,一共分为 14 组,依次为 44.01~54.00 mm, 54.01~64.00 mm……164.01~174.00 mm, 174.01~184.00 mm。在 FISAT II 软件中输入贝氏鲶的长度频率数据,利用 ELEFAN I 技术^[8]估算其渐近体长(L_∞)和生长系数(K),渐近体重(W_∞)由公式 $W_\infty=aL_\infty^b$ 计算得到。

贝氏鲶理论生长初始年龄(t_0)根据公式^[32]估算。假设其生长遵循 von Bertalanffy 生长方程^[33],因此拟合其体长、体重生长方程公式为:

$$\ln(-t_0) = -0.3922 - 0.2752\ln L_\infty - 1.038\ln K \quad (2)$$

$$L_t = L_\infty[1 - e^{-K(t-t_0)}] \quad (3)$$

$$W_t = W_\infty[1 - e^{-K(t-t_0)}]^b \quad (4)$$

式中, L_t 、 W_t 分别为 t 龄鱼的体长(mm)和体重(g); L_∞ 和 W_∞ 分别为渐近体长(mm)和渐近体重(g); K 为生长系数; t_0 为理论生长初始年龄,表示理论上体长和体重等于 0 时的年龄; b 为相关系数。

对生长方程[公式(2)~(4)]中 t 进行一阶、二阶求导,具体方法参见《鱼类生态学》^[34],可获得其体长、体重的生长速度及加速度曲线方程,公式分别为:

体长生长速度:

$$dL_t / dt = KL_\infty e^{-K(t-t_0)} \quad (5)$$

体长生长加速度:

$$d^2L_t / dt^2 = -K^2L_\infty e^{-K(t-t_0)} \quad (6)$$

体重生长速度:

$$dW_t / dt = 3KW_\infty e^{-K(t-t_0)} \times [1 - e^{-K(t-t_0)}]^2 \quad (7)$$

体重生长加速度:

$$d^2W_t / dt^2 = 3K^2W_\infty e^{-K(t-t_0)} \times [1 - e^{-K(t-t_0)}] \times [3e^{-K(t-t_0)} - 1] \quad (8)$$

体重增长速度达到最大或体重生长加速度为 0 时的年龄为拐点年龄, 计算公式^[35]为:

$$t_{tp} = \ln b / K + t_0 \quad (9)$$

1.4 基于 ELEFAN I 的种群参数估算

采用 Pauly^[36]提出的公式估算自然死亡系数 (M):

$$\ln M = -0.0066 - 0.279 \ln L_{\infty} + 0.6543 \ln K + 0.4634 \ln T \quad (10)$$

式中, M 为自然死亡系数; L_{∞} 为渐近体长; K 为生长系数; T 为竺山湖采样点年平均温度。

运用体长变换渔获曲线法估算总死亡系数 (Z), 公式为^[32]:

$$\ln(N_t / \Delta t) = \ln N_0 - tZ \quad (11)$$

式中, Z 为总死亡系数, N_t 为 t 龄时贝氏鲶的资源量, N_0 为 0 龄(理论初始生长年龄)时贝氏鲶的资源量, Δt 为相应体长组下限生长到上限所需的时间。

捕捞死亡系数 (F) 根据总死亡系数 (Z) 和自然死亡系数 (M) 计算, 公式为:

$$F = Z - M \quad (12)$$

1.5 基于 LBB 的种群参数估算

采用 LBB 法分析贝氏鲶的长度频率数据, 假设其生长遵循 von Bertalanffy 生长方程^[33], 所有参数均采用马尔可夫链-蒙特卡罗方法^[37]计算, 公式如下:

$$N_L = N_{L_{start}} \left(\frac{L_{\infty} - L}{L_{\infty} - L_{start}} \right)^{Z/K} \quad (13)$$

式中, N_L 是长度为 L 的鱼类存活量; $N_{L_{start}}$ 是长度为 L_{start} 完全选择的数量, 即鱼类在该长度进入渔具的所有个体均被保留; Z/K 是总死亡系数与生长系数的比值。由于长度频率数据不包含绝对丰度的信息, 所以当公式(13)的两边除以它们各自的和时, 公式始终保持不变。这样就可以从右侧分母的和中提取出常数 $N_{L_{start}}$, 然后与分子中的 $N_{L_{start}}$ 相抵消, 剩下的两个要确定的参数是 Z/K 和 L_{∞} 。

$$\frac{N_L}{\sum N_L} = \frac{\left(\frac{L_{\infty} - L}{L_{\infty} - L_{start}} \right)^{Z/K}}{\sum \left(\frac{L_{\infty} - L}{L_{\infty} - L_{start}} \right)^{Z/K}} \quad (14)$$

值得注意的是, 在未进行捕捞的自然条件下, $Z/K = M/K$, L_{start} 为零, $N_{L_{start}}$ 则可以设置为 1。因此, 公式(13)可以简化为:

$$P_{L/L_{\infty}} = \left(1 - \frac{L}{L_{\infty}} \right)^{M/K} \quad (15)$$

式中, $P_{L/L_{\infty}}$ 是鱼类存活到长度 L/L_{∞} 时的概率, 而 L/L_{∞} 是 M/K 的函数, 独立于 M 、 K 和 L_{∞} 。对于充分开发的种群来说, 达到完全选择体长 L_{start} 以外的长度的概率是 Z/K 的函数。

除了公式(14)中的参数外, 受部分选择影响的捕获数量由公式(16)中的逻辑函数给出的网具选择性函数计算。LBB 可以容纳不同类型的选择函数, 因此本研究做了近似于刺网选择的高斯选择^[38]。

$$S_L = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(L - L_c)}} \quad (16)$$

式中, S_L 是指在长度 L 处被网具保留的个体, L_c 为鱼类与网具相遇时 50% 被捕获体长, 即开捕体长。 α 表示网具的陡峭度^[38-39]。

对公式(13)进行拟合以估计 L_{∞} 、 L_c 、 α 、 M/K 和 F/K :

$$N_{L_i} = N_{L_{i-1}} S_{L_i} F \left(\frac{L_{\infty} - L_i}{L_{\infty} - L_{i-1}} \right)^{\frac{M}{K} + \frac{F}{K} S_{L_i}} \quad (17)$$

式中, N_{L_i} 是体长组 L_i 中的个体数, $N_{L_{i-1}}$ 是前一个体长组的个体数。将公式(17)两边同时除以各自的和, 从右侧分母中的和中提取常数 F , 得到:

$$\frac{N_{L_i}}{\sum N_{L_i}} = \frac{N_{L_{i-1}} S_{L_i} \left(\frac{L_{\infty} - L_i}{L_{\infty} - L_{i-1}} \right)^{\frac{M}{K} + \frac{F}{K} S_{L_i}}}{\sum N_{L_{i-1}} S_{L_i} \left(\frac{L_{\infty} - L_i}{L_{\infty} - L_{i-1}} \right)^{\frac{M}{K} + \frac{F}{K} S_{L_i}}} \quad (18)$$

将公式(18)进行拟合到长度频率数据, 得出 M/K 和 F/K 的估计值, 可以得到 $F/M = (F/K)/(M/K)$ 。

LBB 估算在 Bayesian Gibbs sampler 软件 JAGS^[40]中实施, 并使用统计语言 R 执行。将观察到的长度 p_{L_i} 与其期望值 \hat{p}_{L_i} 进行拟合, 因此模型预测的长度分布 \hat{p}_{L_i} 为:

$$\hat{p}_{L_i} = \frac{N_{L_i}}{\sum \hat{N}_{L_i}} \quad (19)$$

式中, \hat{N}_{Li} 是可估计种群动态抑制因子 L_{∞} , M/K 和 F/K [公式(18)]以及 L_c 和 α [公式(16)]的函数。

2 结果分析

2.1 体长和体重关系

调查期间在竺山湖共采集到贝氏鲮805尾(表1), 其中9月份的数量最多, 为149尾, 体重为

2.17 kg。贝氏鲮体长范围为44.17~181.87 mm, 平均值为(94.24±11.74) mm, 优势体长组在84.01~94.00 mm之间, 约占调查总数量的37.76%, 各体长组分布见图2。体重范围为0.88~70.30 g, 平均值为(11.35±5.09) g, 其中15.00 g以下个体约占83.25%, 40.00 g以上的个体仅占0.12%, 各体重组分布见图3。

表 1 竺山湖贝氏鲮的群体结构

Tab. 1 Population structure of *Hemiculter bleekeri* in Zhushan Lake

采样时间 sampling time	尾数 number	体长/mm body length			体重/g body weight		
		范围 range	均值±标准差 $\bar{x}\pm SD$	优势组 dominant	范围 range	均值±标准差 $\bar{x}\pm SD$	优势组 dominant
1月 Jan.	48	78.43-122.08	98.89±8.46	84.01-94.00	5.49-22.35	10.14±3.34	0-10.00
2月 Feb.	106	73.15-126.90	97.09±11.48	84.01-94.00	4.62-27.38	12.37±5.14	0-10.00
3月 Mar.	4	92.46-181.87	117.89±42.76	94.01-104.00	10.40-70.30	26.38±29.30	10.01-20.00
4月 Apr.	78	68.07-127.26	90.27±11.30	84.01-94.00	2.10-25.70	11.00±4.73	0-10.00
5月 May	52	69.97-106.78	84.34±8.53	74.01-84.00	3.34-19.85	8.53±3.78	0-10.00
6月 Jun.	68	50.49-119.37	90.14±11.03	84.01-94.00	1.40-26.04	10.96±4.56	0-10.00
7月 Jul.	5	44.17-88.99	73.25±17.00	74.01-84.00	0.88-9.10	5.45±3.00	0-10.00
8月 Aug.	36	73.46-122.30	86.59±11.41	74.01-84.00	7.79-22.80	8.57±4.38	0-10.00
9月 Sep.	149	85.63-134.46	103.51±9.32	94.01-104.00	7.79-30.18	14.58±4.48	10.01-20.00
10月 Oct.	45	75.95-120.70	92.03±7.98	84.01-94.00	6.74-22.92	10.57±3.16	0-10.00
11月 Nov.	105	75.88-135.57	94.56±8.17	84.01-94.00	5.20-28.29	11.08±3.17	10.01-20.00
12月 Dec.	109	73.17-134.04	92.71±9.58	84.01-94.00	4.30-26.10	10.52±3.87	0-10.00

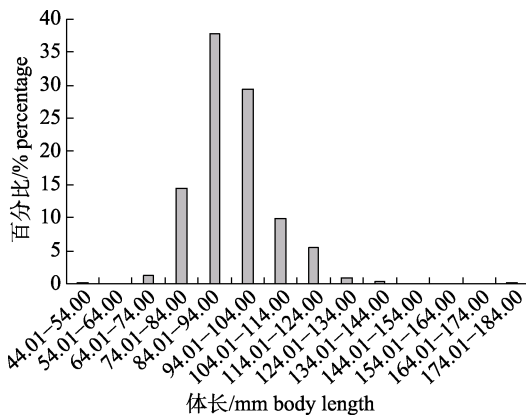


图 2 竺山湖贝氏鲮体长分布

Fig. 2 Distributions of the body length of *Hemiculter bleekeri* in Zhushan Lake

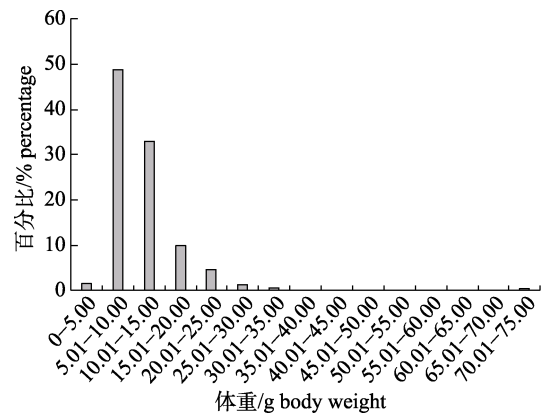


图 3 竺山湖贝氏鲮体重分布

Fig. 3 Distributions of the body weight of *Hemiculter bleekeri* in Zhushan Lake

根据竺山湖2019年10月至2020年9月的现场调查数据, 贝氏鲮的体长(L)和体重(W)数据拟合得到的关系如图4所示, 关系式为:

$$W=9.0\times 10^{-5}L^{3.0707} (R^2=0.8775, n=805)$$

2.2 生长方程

竺山湖贝氏鲮生长为匀速生长, 故本研究运用 von Bertalanffy 生长方程描述其生长规律, 体长和体重的生长曲线如图5。运用 ELEFAN I 技术

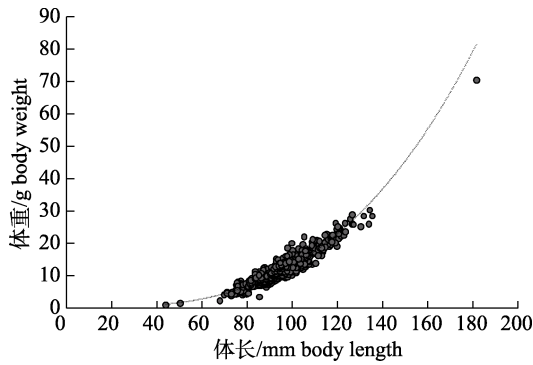


图 4 竺山湖贝氏鲮体长-体重关系式
Fig. 4 Length-weight relationship of *Hemiculter bleekeri* in Zhushan Lake

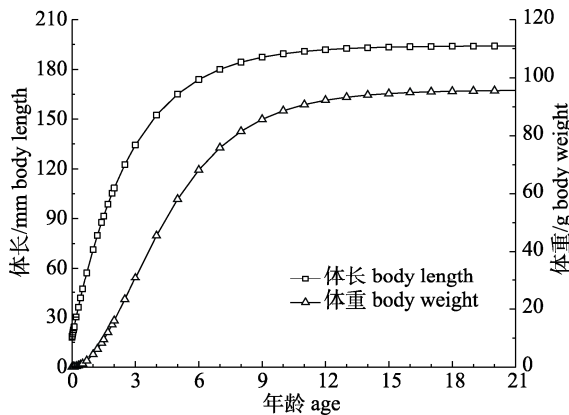


图 5 竺山湖贝氏鲮生长曲线
Fig. 5 Von Bertalanffy growth curve of *Hemiculter bleekeri* in Zhushan Lake

估算其渐近体长 $L_{\infty}=194.25$ mm, 生长系数 $K=0.36$ 。根据体长-体重关系式计算出 $W_{\infty}=95.74$ g。再根据 Pauly 提出的经验公式可估算出理论生长的初始年龄 $t_0=-0.46$ a。因此贝氏鲮的体长和体重生长方程分别为:

$$L_t = 194.25 \times [1 - e^{-0.36(t+0.46)}]$$

$$W_t = 95.74 \times [1 - e^{-0.36(t+0.46)}]^{3.0707}$$

2.3 生长速度及加速度

鱼类体长和体重的生长速度和生长加速度用于描述其生长过程变化特征, 分别对体长、体重生长方程进行一次、二次求导得出生长速度和生长加速度方程分别为:

$$\text{体长生长速度: } dL_t/dt = 69.93e^{-0.36(t+0.46)}$$

$$\text{体长生长加速度: } d^2L_t/dt^2 = -25.17e^{-0.36(t+0.46)}$$

体长生长速度及加速度分析表明(图 6), 贝氏鲮的体长生长速度与年龄呈负相关关系, 不具拐点, 即贝氏鲮体长生长速度随着年龄的增加而下

降, 其先以较快的趋势降低, 随后降低的速度减缓。体长生长加速度始终为负值, 但随年龄的增长其值一直增加, 最后趋于平缓。

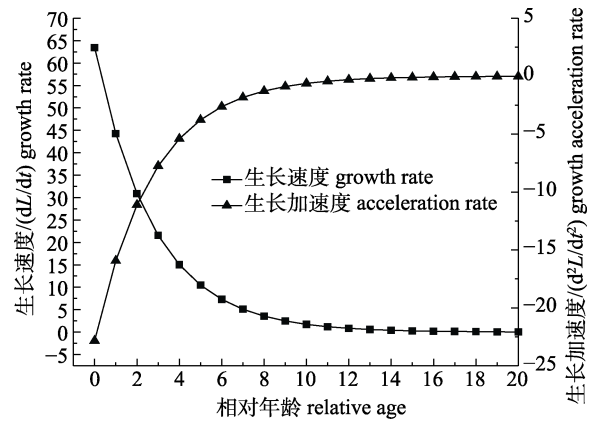


图 6 竺山湖贝氏鲮体长生长速度和加速度变化曲线
Fig. 6 Change of growth rate and acceleration rate in the body length of *Hemiculter bleekeri* in Zhushan Lake

体重生长速度和加速度曲线方程分别为:

体重生长速度:

$$dW_t/dt = 103.40e^{-0.36(t+0.46)} \times [1 - e^{-0.36(t+0.46)}]^2$$

体重生长加速度:

$$d^2W_t/dt^2 = 37.22e^{-0.36(t+0.46)} \times [1 - e^{-0.36(t+0.46)}] \times [3e^{-0.36(t+0.46)} - 1]$$

体重生长速度及加速度分析显示(图 7), 体重生长速度存在拐点, 拐点年龄 $t_{tp}=2.85$ a, 即此时贝氏鲮体重生长速度达到最大值, 对应的拐点体长 $L_t=131.07$ mm, 拐点体重 $W_t=28.61$ g。贝氏鲮在 2.85 a 之前体重生长速度随年龄的增加而增大,

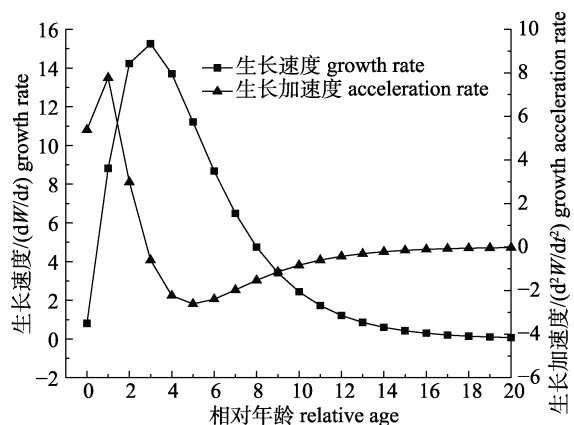


图 7 竺山湖贝氏鲮体重生长速度和加速度变化曲线
Fig. 7 Change of growth rate and acceleration rate in the body weight of *Hemiculter bleekeri* in Zhushan Lake

生长加速度为正值; 随后体重增长速度随年龄增长而减小, 生长加速度为负值, 并且随年龄增加逐渐趋近于 0。

2.4 种群参数

2.4.1 基于 ELEFAN I 估算的种群参数 竺山湖贝氏鲮的体长变换渔获物曲线以“未达到完全补充年龄段和体长接近 L_{∞} 的年龄段不能用作回归”为原则, 选择 8 个数据点进行线性回归分析, 拟合其直线方程为(图 8):

$$\ln(N/t) = -2.44t + 10.82 \quad (R^2 = 0.8810)$$

式中, N 为种群数量, t 为相对年龄。

该拟合的直线方程斜率为 -2.44, 其 95% 的置信区间为 -3.33~-1.54, 因此竺山湖贝氏鲮的总死亡系数 $Z=2.44$, 95% 的置信区间为 1.54~3.33。根据贝氏鲮渐近体长 $L_{\infty}=194.25$ mm, $K=0.36$ 和 $T=16.99$ °C 计算得到贝氏鲮的自然死亡系数 $M=0.82$, 捕捞死亡系数 $F=Z-M=1.62$, 当前开发率 $E=F/Z=0.66$ 。

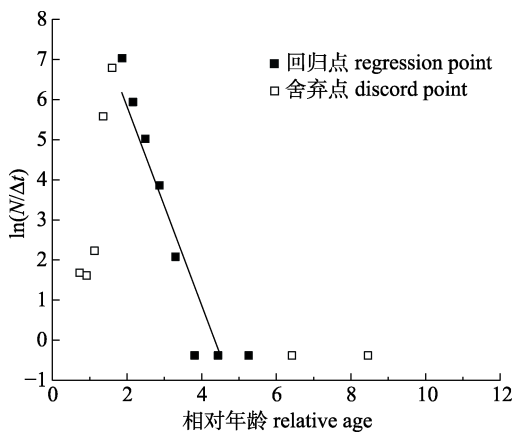


图 8 体长变换渔获曲线估算竺山湖贝氏鲮总死亡系数(Z)
Fig. 8 Estimation of total mortality parameter (Z)
from length-converted catch for *Hemiculter bleekeri*
in Zhushan Lake

2.4.2 基于 LBB 估算的种群参数 基于 LBB 估算的 2019 年 10 月至 2020 年 9 月的竺山湖贝氏鲮种群参数中渐近体长 L_{∞} 为 192.00 mm; 自然死亡系数 M 与鱼类生长系数 K 之间的比值 $M/K=1.88$; 捕捞死亡系数 F 与鱼类生长系数 K 之间的比值 $F/K=5.78$; 总死亡系数 Z 与鱼类生长系数 K 之间的比值 $Z/K=7.64$; 捕捞死亡系数 F 与自然死亡系数 M 之比 $F/M=3.07$; 开发率 $E=0.76$ (表 2)。

表 2 竺山湖贝氏鲮种群参数估算结果比较

Tab. 2 Comparison of estimated population parameters of *Hemiculter bleekeri* in Zhushan Lake

方法 method	L_{∞}/mm	M/K	F/K	Z/K	F/M	E
ELEFAN I	194.25	2.28	4.50	6.78	1.98	0.66
LBB	192.00	1.88	5.78	7.64	3.07	0.76
均值 mean value	193.13	2.08	5.14	7.21	2.53	0.71

注: L_{∞} 为渐近体长; K 为生长系数; M 为自然死亡系数; F 为捕捞死亡系数; Z 为总死亡系数; E 为开发率。

Note: L_{∞} denotes asymptotic length; K denotes growth factor; M denotes natural mortality; F denotes fishing mortality; Z denotes total mortality; E denotes exploitation rate.

3 讨论

3.1 贝氏鲮的生长特征

渔业资源数量变动和利用状况的研究基础在于探究鱼类个体的生长规律, 其中体长和体重为鱼类个体生长的重要指标, 对渔业资源的保护与利用具有重要意义^[35,41]。本研究中贝氏鲮理论生长年龄为负值(-0.46 a), 表明是一种快速生长型的鱼类, 寿命较短^[42], 体重生长具有拐点, 拐点年龄为 2.85 a, 符合小型鱼类的生长特征^[43]。体长-体重关系式与其他水域^[28,44]研究相比, a 值较大, 表明竺山湖贝氏鲮群体鱼体肥大^[34], 这可能与竺山湖水域的地理环境和食物饵料等因素有关^[45-46]。大部分鱼类生长呈现匀速生长类型, 仅少部分鱼类为异速生长类型, b 值大多集中在 2.5~4.0 之间^[34]。余文娟^[16]发现长江何王庙故道的贝氏鲮群体生长存在性别差异, 雄性为匀速生长, 而雌性和性别未辨个体的 b 值显著小于 3, 为负异速生长; 刘飞^[28]研究表明赤水河贝氏鲮群体为正异速生长。本研究中贝氏鲮 b 值接近于 3, 表明其在生长过程中具有体形不变、比重不变的特征, 属于匀速生长。因此可见同种鱼类在不同水域中的生长存在一定的差异, 并且同一种群的不同性别也会存在生长差异^[47], 分析可能与采样时间、所用网具、水体温度和不同水域生态环境等因素有关。

3.2 不同方法估算的种群参数比较

本研究使用多目复合刺网捕获, 且采样周期为 12 个月, 具有相对较丰富的基础数据, 并利用长度频率数据来估算鱼类种群参数, 避免了年

龄鉴定的主观误差,使得分析结果的精确度更高^[12,48-49]。渔业资源评估的准确性又与鱼类生长系数 K 值、自然死亡系数 M 值等种群参数密切相关。本研究对参数的估算采用 ELEFAN I 方法和 LBB 比较分析,操作较为简便,尤其适用于生长迅速、短寿命的小型鱼类^[9]。

本研究中两种方法估算的贝氏鲶渐近体长相差不多, ELEFAN I 技术估算的生长速率 $K=0.36$,表明其属于快速生长的鱼类,与 FishBase 数据库和其他水域贝氏鲶的研究结果相似^[16,28],并且 $e^{-K}=0.70 < 1$,符合理论要求^[49-50]。一般鱼类的 K 值与 M 值存在正比例关系,且受鱼类生长状况、栖息环境等多种因素的影响^[51], M/K 值范围在 1.5~2.5 之间时 M 值较为合理^[35]。由表 2 可看出,基于 ELEFAN I 技术估算的 M/K 值(2.28)高于 LBB 估算的结果(1.88),而 Z/K 、 F/K 、和 F/M 值均略低于 LBB 的估算值。相似的现象在王雪辉等^[23]利用 LBB 估算北部湾二长棘鲷参数的研究中也报道,其研究发现 M/K 、 Z/K 和 F/K 值等参数与其他独立评估方法评估的值也存在一定的差异。推测存在偏差的原因可能与长度频率数据不能代表资源开发范围的组成有关^[20,52]。

3.3 贝氏鲶的资源利用

长期以来,太湖渔业捕捞投入使用的网具主要有高踏网、飞机网、网簰和丝网等,渔业资源承受着较大的捕捞压力^[53]。研究表明,在高强度的捕捞条件下,鱼类容易出现资源衰退迹象^[54],渔业资源整体呈现出低龄化、小型化现象^[55-56]。本研究中贝氏鲶生长拐点年龄为 2.85 a,文献记载其产卵群体以 1~2 a 为主^[16],表明贝氏鲶在产卵之后仍能继续生长;值得注意的是,贝氏鲶繁殖期集中在 4—7 月^[16,24],而 2020 年以前太湖在 9 月开捕,开捕时贝氏鲶已产卵,保证了群体资源的补充。因此,推测竺山湖水域中高强度捕捞可能使得繁殖群体中低龄鱼比例较高,进而会导致贝氏鲶资源量较大但规格普遍偏小,消耗水域内大量的浮游动物资源。优化鱼类群落结构、可持续利用小型鱼类资源是湖泊渔业管理的一个重要目标^[30]。因此,在太湖退捕政策实施后,应通过增加食鱼性鱼类(如翘嘴鲈、蒙古鲈等)来对其资

源量进行控制,减小其对浮游动物的牧食,促进上行效应^[57],改善湖区的渔业生态环境、提高水产品的经济效益。

4 小结与展望

本研究利用 ELEFAN I 和 LBB 两种方法,对竺山湖贝氏鲶的体长-体重特性、生长-死亡参数以及利用状况进行了分析。贝氏鲶体长-体重关系式为 $W=9.0 \times 10^{-5} L^{3.070}$,呈匀速生长;体长和体重方程分别为 $L_t=194.25 \times [1 - e^{-0.36(t+0.46)}]$ 、 $W_t=95.74 \times [1 - e^{-0.36(t+0.46)}]^{3.0707}$;ELEFAN I 和 LBB 估算的相对总死亡系数分别为 6.78 和 7.84,种群的实际开发率大于 0.5。尽管本研究利用基于体长频率的两种方法对贝氏鲶种群参数和利用现状进行了评估,但仍存在不足:(1)认为年龄差异是导致体长不同的原因,未考虑相同年龄的个体体长差异;(2)对于体长频率法,样本是否具有代表性至关重要,渔获物样本体长分布频率的偏差可能影响评估结果。因此,后续研究会继续调查、采集、补充样本量,同时结合年龄分析,以期更准确地了解贝氏鲶的生长特性和资源利用状况。

参考文献:

- [1] Tang Z M. Study on water environment evolution & problems of Zhushan Bay, Taihu Lake[J]. Journal of Qinzhou University, 2015, 30(11): 73-79. [唐兆民. 太湖竺山湖湾水环境演变过程及环境问题分析[J]. 钦州学院学报, 2015, 30(11): 73-79.]
- [2] Punt A E, Huang T C, Maunder M N. Review of integrated size-structured models for stock assessment of hard-to-age crustacean and mollusc species[J]. ICES Journal of Marine Science, 2013, 70(1): 16-33.
- [3] Guan W J, Tian S Q, Zhu J F, et al. A review of fisheries stock assessment models[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(5): 1112-1120. [官文江, 田思泉, 朱江峰, 等. 渔业资源评估模型的研究现状与展望[J]. 中国水产科学, 2013, 20(5): 1112-1120.]
- [4] Shi D F, Zhang K, Chen Z Z. Comparison of assessment methods utilizing life-history characteristics in data-limited fisheries[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(1): 12-24. [史登福, 张魁, 陈作志. 基于生活史特征的数据有限条件下渔业资源评估方法比较[J]. 中国水产科学, 2020, 27(1): 12-24.]
- [5] Feng B, Chen X J, Nishida T. Stock assessment of *Thunnus*

- albacares* in the Indian Ocean using age structured production mode[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(13): 3375-3384. [冯波, 陈新军, 西田勤. 应用年龄结构产量模型评估印度洋黄鳍金枪鱼资源[J]. *生态学报*, 2010, 30(13): 3375-3384.]
- [6] Xu J, Chen X J, Guan W J. Review on stock assessment models and methods of short-lived species[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2015(3): 113-124. [徐洁, 陈新军, 官文江. 适用于短生命周期种类资源评估模型的研究现状与展望[J]. *海洋湖沼通报*, 2015(3): 113-124.]
- [7] Chrysafi A, Kuparinen A. Assessing abundance of populations with limited data: Lessons learned from data-poor fisheries stock assessment[J]. *Environmental Reviews*, 2016, 24(1): 25-38.
- [8] Pauly D, David N. ELEFAN I, a basic program for the objective extraction of growth parameters from length-frequency data[J]. *ICLARM Contribution*, 1981, 32(32): 205-211.
- [9] Gao C X, Ma Q Y, Tian S Q, et al. Growth, mortality and yield per recruitment of small yellow croaker in offshore waters of southern Zhejiang[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(5): 925-937. [高春霞, 麻秋云, 田思泉, 等. 浙江南部近海小黄鱼生长、死亡和单位补充量渔获量[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(5): 925-937.]
- [10] Cui M Y, Chen W F, Dai L B, et al. Growth heterogeneity and natural mortality of Japanese scad in offshore waters of southern Zhejiang[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(12): 1427-1437. [崔明远, 陈伟峰, 戴黎斌, 等. 浙江南部海域蓝圆鲹生长异质性及死亡特征[J]. *中国水产科学*, 2020, 27(12): 1427-1437.]
- [11] Shi D F, Zhang K, Cai Y C, et al. Population structure of *Trichiurus japonicus* in northern South China Sea and parameters of its growth, mortality and maturity[J]. *South China Fisheries Science*, 2020, 16(5): 51-59. [史登福, 张魁, 蔡研聪, 等. 南海北部带鱼群体结构及生长、死亡和性成熟参数估计[J]. *南方水产科学*, 2020, 16(5): 51-59.]
- [12] Wang X H, Qiu Y S, Du F Y. Fisheries biology of *Nemipterus bathybius* and its optimum catchable size in northern South China Sea[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(12): 2428-2434. [王雪辉, 邱永松, 杜飞雁. 南海北部深水金线鱼生物学及最适开捕体长[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(12): 2428-2434.]
- [13] Guo H Y, Wei K, Tang W Q, et al. Estimation of growth and population parameters of *Pseudobrama simoni* (Bleeker) at Jingjiang section of the Yangtze River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(9): 1369-1377. [郭弘艺, 魏凯, 唐文乔, 等. 长江靖江段沿岸似鳊生长及种群参数估算[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(9): 1369-1377.]
- [14] Liu S L, Wang Y P, Li P J, et al. Estimation of growth and population parameters of freshwater bream *Parabramis pekinensis* in Zhenjiang section of the Yangtze River[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2019, 34(5): 725-732. [刘思磊, 王银平, 李佩杰, 等. 长江镇江段鳊生长特征及种群参数估算[J]. *大连海洋大学学报*, 2019, 34(5): 725-732.]
- [15] Xiong F, Liu H Y, Duan X B, et al. Population parameters and population abundance of *Rhinogobio cylindricus* in Zhuyangxi section of the upper Yangtze River[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(22): 7320-7327. [熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 长江上游朱杨溪江段圆筒吻鮡种群参数和资源量[J]. *生态学报*, 2015, 35(22): 7320-7327.]
- [16] Yu W J. Age, growth, mortality and reproduction of *Hemiculter bleekeri* in He-Wang-Miao Oxbow[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017. [余文娟. 长江何王庙故道贝氏鲮的年龄、生长、死亡率和繁殖生物学[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.]
- [17] Liu K, Jing L, Chen Y J, et al. Growth and mortality of topmouth gudgeon *Pseudorasbora parva* and evaluation on resource utilization in Taihu Lake[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2016, 31(4): 368-373. [刘凯, 景丽, 陈永进, 等. 太湖麦穗鱼生长、死亡和利用状况评估[J]. *大连海洋大学学报*, 2016, 31(4): 368-373.]
- [18] Fischer S, Wolff M. Fisheries assessment of *Callinectes arcuatus* (Brachyura, Portunidae) in the gulf of Nicoya, Costa Rica[J]. *Fisheries Research*, 2006, 77(3): 301-311.
- [19] Kindong R, Wu F, Tian S Q, et al. Biological parameters estimate for the sickle pomfret (*Taractichthys steindachneri*) in the west-central and eastern Pacific Ocean[J]. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 2020, 49(3): 373-381.
- [20] Froese R, Winker H, Coro G, et al. A new approach for estimating stock status from length frequency data[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2019, 76(1): 350-351.
- [21] Liang C, Xian W W, Liu S D, et al. Assessments of 14 exploited fish and invertebrate stocks in Chinese waters using the LBB method[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 314.
- [22] Xue G J, Yin Z Q, Cheng Q, et al. Evaluation of *Sebastes schlegelii* resources in Dachangshan artificial reef area based on body length standard[J]. *Hebei Fisheries*, 2020(1): 24-28. [薛国进, 尹增强, 程前, 等. 基于体长标准的大长山人工鱼礁区许氏平鲆资源评估[J]. *河北渔业*, 2020(1): 24-28.]
- [23] Wang X H, Qiu Y S, Du F Y, et al. Using length-based Bayesian biomass method to estimate *Parargyrops edita* population parameters in the Beibu Gulf, South China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(10): 1654-1662. [王

- 雪辉, 邱永松, 杜飞雁, 等. 基于长度贝叶斯生物量法估算北部湾二长棘鲷种群参数[J]. 水产学报, 2020, 44(10): 1654-1662.]
- [24] Ni Y, Wu H L. Fishes of Jiangsu Province[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006. [倪勇, 伍汉霖. 江苏鱼类志[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.]
- [25] Li H H, Guo H Y, Tang W Q, et al. Temporal pattern of *Hemiculter bleekeri* catches at Jingjiang Section of the Yangtze River and catch forecast by using ARIMA model[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(3): 357-364. [李辉华, 郭弘艺, 唐文乔, 等. 长江下游靖江段沿岸贝氏鲮渔获量的时间格局及 ARIMA 模型预测[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 357-364.]
- [26] Li X F. The juvenile larval community diversity of spatial-temporal characteristic and influence factors in Anqing section of Changjiang[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019. [李新丰. 长江安庆段仔稚鱼群落多样性时空特征及影响因子研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.]
- [27] Chen X H, Bian W J, Zhao Q, et al. On fish composition and dominant species in the Yangtze River in Jiangsu Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(5): 571-577. [陈校辉, 边文冀, 赵钦, 等. 长江江苏段鱼类种类组成和优势种研究[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(5): 571-577.]
- [28] Liu F. Fish community ecology in the Chishui River[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2013. [刘飞. 赤水河鱼类群落生态学研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.]
- [29] Ni Y, Zhu C D. Fishes of the Taihu Lake[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2005. [倪勇, 朱成德. 太湖鱼类志[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.]
- [30] Ye S W, Feng G P, Zhang B, et al. Characteristics of community structure and biomass estimates of small-size fishes in Niushan Lake, Hubei Province, China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(5): 854-862. [叶少文, 冯广朋, 张彬, 等. 牛山湖小型鱼类群落结构特征及生物量估算[J]. 中国水产科学, 2012, 19(5): 854-862.]
- [31] Mao Z G, Gu X H, Zeng Q F. The structure of fish community and changes of fishery resources in Lake Hulun[J]. Journal of Lake Sciences, 2016, 28(2): 387-394. [毛志刚, 谷孝鸿, 曾庆飞. 呼伦湖鱼类群落结构及其渔业资源变化[J]. 湖泊科学, 2016, 28(2): 387-394.]
- [32] Pauly D. Theory and management of tropical multispecies stocks: A review, with emphasis on the Southeast Asian demersal fisheries[R]. Manila: ICLARM, 1979: 22-29.
- [33] Von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth (inquires on growth laws. II)[J]. Human Biology, 1938, 10(2): 181-213.
- [34] Ye F L, Zhang J D. Ecology of Fish[M]. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 2002. [叶富良, 张健东. 鱼类生态学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 2002.]
- [35] Zhan B Y. Fishery Resource Assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. [詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.]
- [36] Pauly D. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks[J]. ICES Journal of Marine Science, 1980, 39(2): 175-192.
- [37] Froese R, Demirel N, Coro G, et al. Estimating fisheries reference points from catch and resilience[J]. Fish and Fisheries, 2017, 18(3): 506-526.
- [38] Sparre P, Venema S C. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. manual[R]. FAO Fisheries Technical Paper No. 306/1 Rev. 2. Rome: FAO, 1998: 407.
- [39] Mangel M, Quinn T J, Deriso R B. Quantitative fish dynamics[J]. Quarterly Review of Biology, 1999, 2(1): 286-287.
- [40] Plummer M, Hornik K, Leisch F, et al. JAGS: A program for analysis of Bayesian graphical models using Gibbs sampling[C]//Proceedings of the 3rd International Workshop on Distributed Statistical Computing (DSC 2003), Vienna, 2003.
- [41] Yin M C. Age and growth of *Paracanthobrama guichenoti* Bleeker from Lake Taihu[J]. Acta Ecologica Sinica, 1993, 13(1): 38-44. [殷名称. 太湖似刺鲃年龄和生长的研究[J]. 生态学报, 1993, 13(1): 38-44.]
- [42] Wang X G, He Y F, Li H C, et al. Study on the age and growth characteristics of *Coilia brachygnathus* in lake Changhu[J]. Freshwater Fisheries, 2016, 46(3): 29-33. [王旭歌, 何勇凤, 李昊成, 等. 长湖短颌鲚的年龄与生长特性[J]. 淡水渔业, 2016, 46(3): 29-33.]
- [43] Liu J D, Zhu L X, Lu H S, et al. Estimation of growth and mortality parameters of the Silver Sillago (*Sillago sihama*) in Beibu Gulf[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2010, 29(1): 64-69. [刘金殿, 朱立新, 卢伙胜, 等. 北部湾多鳞鱧生长与死亡参数的估算[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2010, 29(1): 64-69.]
- [44] Ye S W. Studies on fish communities and trophic network model of shallow lakes along the middle reach of the Yangtze River[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2007. [叶少文. 长江中游浅水湖泊鱼类群落和系统营养网络模型的研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2007.]
- [45] Wang M, Zhang J Y, Chen Q W, et al. Variations in nitrogen

- and phosphorous concentrations and major phytoplankton species in the northwestern Lake Taihu between 2003–2012[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(1): 164-172. [王敏, 张建云, 陈求稳, 等. 太湖西北湖区 2003—2012 年间氮磷浓度及浮游植物主要类群变化趋势分析[J]. *生态学报*, 2019, 39(1): 164-172.]
- [46] Hu K M, Pang Y, Xie F, et al. Effects of Zhihugang and Wujingang closing sluices on water environment of Lake Zhushan, Lake Taihu[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(6): 923-929. [胡开明, 逢勇, 谢飞, 等. 直湖港、武进港 关闸对太湖竺山湖水环境影响[J]. *湖泊科学*, 2010, 22(6): 923-929.]
- [47] Li X Q, Chen Y F, Li K. Age and growth characters of an alien catfish *Pelteobagrus fulvidraco* in Lake Fuxian, China[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(2): 263-271. [李秀启, 陈毅峰, 李堃. 抚仙湖外来黄颡鱼种群的年龄和生长特征[J]. *动物学报*, 2006, 52(2): 263-271.]
- [48] Wu J M, Lou B Y, Zhao H T, et al. Preliminary assessment of fish stock in the Chishui River[J]. *Journal of Hydroecology*, 2011, 32(3): 99-103. [吴金明, 娄必云, 赵海涛, 等. 赤水河鱼类资源量的初步估算[J]. *水生态学杂志*, 2011, 32(3): 99-103.]
- [49] Gao C X, Tian S Q, Dai X J. Estimation of biological parameters and yield per recruitment for *Coilia nasustaihuensis* in Dianshan Lake, Shanghai, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(5): 1506-1512. [高春霞, 田思泉, 戴小杰. 淀山湖刀鲚的生物学参数估算及其相对单位补充量渔获量[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(5): 1506-1512.]
- [50] Fei H N, Zhang S Q. *Aquatic Resources Science*[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1990. [费鸿年, 张诗全. *水产资源学*[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990.]
- [51] Wang Y B. Estimation of fish nature mortality coefficient using virtual population analysis[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2007: 1-137. [王迎宾. 应用实际种群分析(VPA)求解鱼类自然死亡系数的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007: 1-137.]
- [52] Ye T, Wang Y B, Zhou C Y. Analysis of effects of fish length frequency data on estimates of growth parameters[J]. *Fisheries Science*, 2014, 33(5): 277-282. [叶婷, 王迎宾, 周丛羽. 鱼类体长频率数据结构对生长参数估算的影响分析[J]. *水产科学*, 2014, 33(5): 277-282.]
- [53] Zhu S Q, Liu Z W, Gu X H. Changes of the fish fauna and fish yield analysis in Lake Taihu[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2007, 19(6): 664-669. [朱松泉, 刘正文, 谷孝鸿. 太湖鱼类区系变化和渔获物分析[J]. *湖泊科学*, 2007, 19(6): 664-669.]
- [54] Ren L. Study on conservation biology of *Spinibarbus sinensis*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018. [任泷. 中华倒刺鲃保护生物学研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.]
- [55] Zhu S Q. Ichthyological survey of Lake Taihu during 2002–2003[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2004, 16(2): 120-124. [朱松泉. 2002—2003 年太湖鱼类学调查[J]. *湖泊科学*, 2004, 16(2): 120-124.]
- [56] Tang S K, Zhang T Q, Shen Z H, et al. Ichthyological investigation and catch analysis of Taihu Lake[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2010, 38(2): 376-379. [唐晟凯, 张彤晴, 沈振华, 等. 太湖鱼类学调查及渔获物分析[J]. *江苏农业科学*, 2010, 38(2): 376-379.]
- [57] McQueen D J, Johannes M R S, Post J R, et al. Bottom-up and top-down impacts on freshwater pelagic community structure[J]. *Ecological Monographs*, 1989, 59(3): 289-309.

Assessment of the stock status of *Hemiculter bleekeri* in the Zhushan Lake based on the ELEFAN I and LBB methods

YE Xueyao¹, ZHAO Xuhao¹, REN Long², REN Kecheng¹, XU Dongpo^{1,2}

1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Changjiang River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China

Abstract: Utilizing the basic biology data of *Hemiculter bleekeri* collected from October 2019 to September 2020 in Zhushan Lake, this study aimed to explore the population parameters of *H. bleekeri* in the Zhushan Lake and to thereby evaluate the utilization of resources using Electronic Length Frequency Analysis I (ELEFAN I), based on the length of frequency data and length-based Bayesian biomass (LBB). The results show that the length range of *H. bleekeri* is 44.17–181.87 mm; the weight range is 0.88–70.30 g; the relationship between body length and body weight can be expressed as $W=9.0\times 10^{-5}L^{3.0707}$ ($R^2=0.8775$, $n=805$); and the growth equation of body length and weight can be described respectively as: $L_t=194.25\times[1-e^{-0.36(t+0.46)}]$, $W_t=95.74\times[1-e^{-0.36(t+0.46)}]^{3.0707}$. According to the estimation by ELEFAN I, the relative natural mortality is $M/K=2.28$; the relative fishing mortality is $F/K=4.50$; the relative total mortality is $Z/K=6.78$; and the exploitation rate is $E=0.66$. According to the estimation by LBB, M/K , F/K , Z/K , and exploitation rate E are 1.88, 5.78, 7.64, and 0.76, respectively. The results of this study can not only fill the knowledge gap regarding the population growth characteristics and resource utilization of *H. bleekeri* in Zhushan Lake, but also provide a basis for scientific management of fishery resources in Taihu Lake.

Key words: *Hemiculter bleekeri*; population parameters; length frequency; resources utilization; Zhushan Lake; large-scale ponds; ecological fishery

Corresponding author: XU Dongpo. E-mail: xudp@ffrc.cn