

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.20017

## 海州湾 3 种鳊属鱼类生长参数的年际变动

陈泓宇, 张崇良, 宋智启, 雒凡舒, 宋冰玉, 王琨

中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003

**摘要:** 鳊属(*Callionymus*)鱼类是海州湾地区常见的小型底栖饵料鱼类, 但一直以来被渔业研究者忽视。本研究通过 2011—2019 年共 18 个航次的海州湾底拖网调查数据, 分析了 3 种常见的鳊属鱼类——瓦氏鳊(*C. valenciennei*)、绯鳊(*C. beniteguri*)与李氏鳊(*C. richardsoni*)的年际数量变化, 并基于 Bootstrap 重抽样法, 使用电子体长频率分析法(electronic length frequency analysis, ELEFAN)计算其冯·贝塔朗菲生长方程(von Bertalanffy growth function, VBGF)参数。结果表明, 2011—2019 年 3 种鳊属鱼类在海州湾地区表现出了极限体长  $L_{\text{inf}}$  缩短或生长参数  $K$  下降的趋势。绯鳊的极限体长  $L_{\text{inf}}$  由 21.60 cm 下降至 13.96 cm, 生长参数  $K$  由 0.39 上升至 0.52; 瓦氏鳊的极限体长  $L_{\text{inf}}$  由 19.72 cm 下降至 19.35 cm, 生长参数  $K$  由 0.50 下降至 0.43。从 2011 年至 2015 年, 李氏鳊的极限体长  $L_{\text{inf}}$  由 18.74 cm 下降至 14.91 cm, 生长参数  $K$  由 0.45 下降至 0.43。3 种鳊属鱼类总体上呈现数量下降与小型化趋势。本研究旨在为鳊属鱼类生长特征研究提供参考资料, 并为渔业资源评估提供基本参数依据。

**关键词:** 鳊属; 海州湾; 相对渔获量; VBGF 参数; 电子体长频率分析法; Bootstrap 重抽样法; 渔业资源评估

中图分类号: S932

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)09-1104-09

近年来, 受气候变化、过度捕捞等因素影响, 中国近海传统渔业资源呈现衰退趋势<sup>[1-2]</sup>, 生物资源群落结构发生变化<sup>[3]</sup>, 渔获中高龄个体及其平均体长、体重等均呈下降趋势<sup>[4]</sup>, 经济种所占比例逐年降低。以海州湾海区为例, 小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、带鱼(*Trichiurus japonicas*)等传统经济鱼类种群资源衰退, 其生存空间逐渐被六丝钝尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)、尖海龙(*Syngnathus acus*)、方氏云鳚(*Enedrias fangi*)等小型饵料鱼类取代<sup>[5]</sup>。

为了实现渔业的科学管理和可持续发展, 有必要深入解析渔业资源的变动规律和渔业生态系统的结构与功能变化, 而对渔业资源数量变动和生长、死亡等关键生物学特征的解析是相关研究的基础。然而目前的研究主要关注常见经济种或优势饵料种<sup>[6-9]</sup>, 缺乏其他小型饵料鱼种的数

据<sup>[10]</sup>。其中, 鳊属(*Callionymus*)包括多种中国沿海常见的小型底栖饵料鱼类, 因缺乏经济价值一直受到研究者的忽视, 但其在海洋鱼类群落结构和食物网中均具有一定的作用<sup>[11]</sup>。

本研究选取了瓦氏鳊(*Callionymus valenciennei*)、李氏鳊(*C. richardsoni*)与绯鳊(*C. beniteguri*)这 3 种海州湾常见鳊属鱼类, 根据该海域多年底拖网调查数据, 分析其季节和年际的相对资源量变化。同时基于 3 种鱼类的体长频率数据, 结合 Bootstrap 重抽样法、移动平均数法与模拟退火法, 利用电子体长频率分析(electronic length frequency analysis, ELEFAN)研究其生长特征, 估算冯·贝塔朗菲生长方程(von Bertalanffy growth function, VBGF)参数, 比较其年际差异并研究其变动趋势。本研究旨在探讨数据有限条件下的渔业研究方法, 并为鳊属鱼类的研究提供可靠的生物学参

收稿日期: 2020-01-06; 修订日期: 2020-03-04.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900906).

作者简介: 陈泓宇(1999-), 男, 学士. E-mail: chenhongyu@stu.ouc.edu.cn

通信作者: 张崇良, 副教授, 主要从事渔业生态学研究. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn

数, 为海州湾生态系统研究提供数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

本研究中海州湾调查海域范围为 119°20'E~121°10'E、34°20'N~35°40'N, 调查时间为 2011 年和 2013—2019 年。在调查区域内采用分层随机采样, 根据调查区域的海洋、地理及生物学特征将调查海区分为 A~E 5 个区域(图 1)。每个航次共设置 18 个站位, 各区域所设置站位数量与其面积成比例, 每个航次在各区域中随机选取对应数量的

站位<sup>[12]</sup>。其中 2011 年采集 5 次(3 月、5 月、7 月、9 月、12 月), 2012 年无数据, 2013—2018 年分为春(4 月或 5 月)、秋(9 月或 10 月)两季, 每年调查两次, 2019 年仅有春季数据(4 月)。所用调查船为功率 220 kW 的单拖渔船, 拖网速度为 2~3 kn, 每站拖网时间为 1 h。调查网具囊网网目为 17 mm, 网口扩张高度约为 6 m, 网口扩张宽度约 25 m。样品的采集和分析参考《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)<sup>[13]</sup>。2011—2019 年共采集鳊属鱼类样本 3626 尾, 其中李氏鳊 939 尾, 绯鳊 786 尾, 瓦氏鳊 1901 尾。

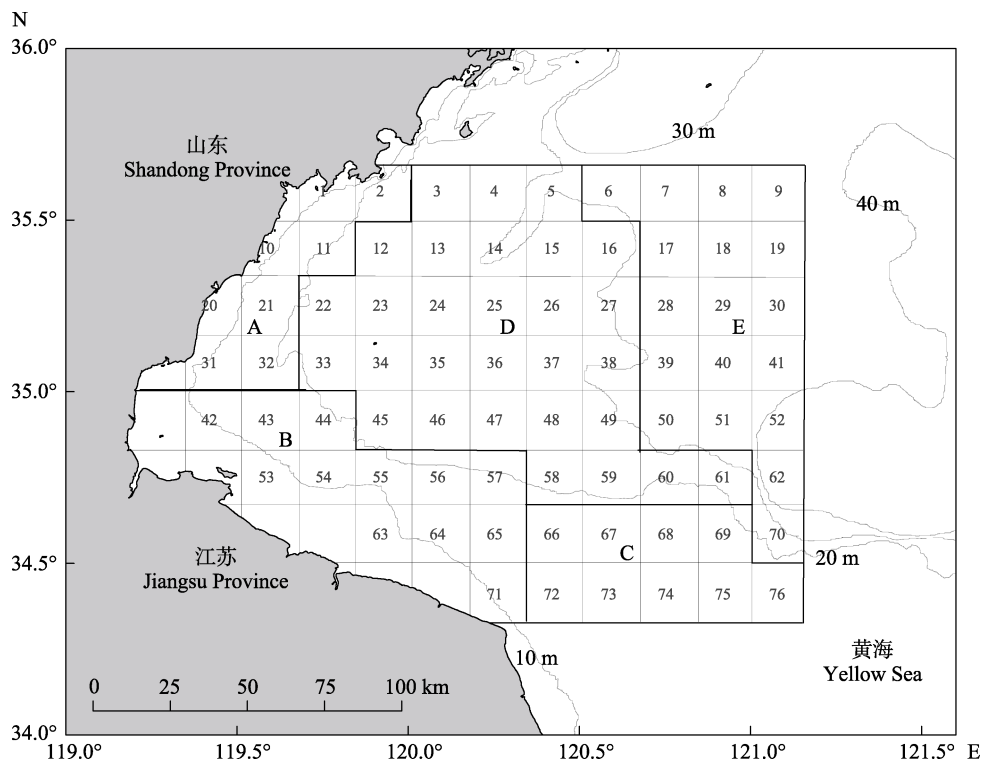


图 1 海州湾及邻近海域渔业资源底拖网调查站位

Fig. 1 Bottom trawl survey stations of fishery resources in Haizhou Bay and adjacent waters

### 1.2 数据分析方法

本研究计算了 3 种鳊属鱼类在不同年份的相对渔获量(尾), 来表示本区渔业资源密度随时间的变化。其公式为:

$$N=S/n$$

式中,  $N$  为相对渔获量,  $S$  为单次调查中该种鱼的总渔获量,  $n$  为该次调查的站点数。在本研究涉及的底拖网调查中, 除 2011 年的航次为调查 24 个

站点外, 其余年份的航次均调查 18 个站点。

为探讨鳊属鱼数量分布在各年份的差异, 本研究对其各季节数量的年际变化进行 Kruskal-Wallis 检验。其基本步骤如下:

(1)合并各年份组样本数并将其按升序排序, 求出各变量值的秩。

(2)比较各组秩的均值是否存在显著差异。若不存在显著差异, 则认为各组数据可以混合, 多

个总体的分布无显著差异;若各组秩的均值存在显著差异,则说明各组数据无法混合,可认为多个总体的分布具有显著差异,其中至少有一个样本不同于其他样本<sup>[14]</sup>。

为刻画鳊属鱼的数量变动,本研究使用最小二乘法计算其回归曲线,并计算  $r^2$  值以检验变动趋势的显著性。

本研究假设 3 种鳊的生长符合 VBGF (von Bertalanffy growth function):

$$L_t = L_{\text{inf}} [1 - e^{-K(t-t_0)}]$$

式中,  $L_{\text{inf}}$  (infinite length) 表示生物体的极限体长,也称渐近体长或理论最大体长;  $K$  为生长参数,衡量个体体长趋向其渐近值的相对速率;  $t_0$  表示理论生长初始年龄,即理论上体长体重为零时的年龄<sup>[15]</sup>,本研究取  $t_0$  为 -0.01。

使用 ELEFAN 估算了 2011—2019 年内海州湾 3 种鳊属鱼类的极限体长  $L_{\text{inf}}$  及生长参数  $K$ 。该方法使用按时间排序的体长频率数据估算 VBGF 的参数,该方法估计 VBGF 的主要步骤如下:

(1)按时间序列重建输入的体长频率数据,使其中产生的一系列清晰可辨的峰值与体长概率密度较大的点相对应。

(2)将数据按一定组距分组并设定移动平均值。

(3)根据体长组分布的波峰数计算可拟合的波峰数之和(available sum of peaks, ASP)。选择不同的优化方式,获得一系列极限体长  $L_{\text{inf}}$  和生长参数  $K$  以描述生长曲线,曲线每到达曲线波峰一次加 1,低于移动平均数一次减 1,所求的最大值为解释波峰和(explained sum of peaks, ESP)。在优化过程中不断计算参数组合以及对应 ESP/ASP,根据拟合优度指数  $R_n = 10^{\text{ESP/ASP}/10}$ ,选取  $R_n$  最大的一组( $R_{n \text{ max}}$ )作为最优解,其对应的极限体长  $L_{\text{inf}}$ 、生长参数  $K$  和  $t_{\text{anchor}}$  即为最优参数组<sup>[16]</sup>。

本研究使用模拟退火法(simulating annealing, SA)作为优化方式,以提高结果的稳健性<sup>[17]</sup>。且由于鳊属鱼类在近年调查数据中数量明显减少,本研究采用 Bootstrap 方法对样本重抽样以提高其稳健性(robustness),以较为准确地估算 VBGF 的参数,并求得其置信区间<sup>[18]</sup>。Bootstrap 方法的主要步骤如下:

(1)从原始样本中有放回地抽取一定数量的样本。

(2)根据抽出的样本计算给定的统计量  $T$ 。

(3)重复上述步骤  $N$  次(一般大于 1000),得到  $N$  个统计量  $T$ 。

(4)计算上述  $N$  个统计量  $T$  的均值、样本方差等<sup>[19]</sup>。

为比较生长参数的年际变化,本研究采用了移动平均的方法分别拟合了不同时间段鱼类的生长方程。在 Bootstrap 样本重抽样前将样本数据进行预处理,除样本数量足够的 2011 年外,将其余年份按照相邻 3 年的调查数据进行 ELEFAN 计算,如 2014 年李氏鳊的 VBGF 参数,采用了 2013—2015 年的春季与秋季调查数据,其余年份依此类推。李氏鳊在 2016 年春季调查后没有再获得样本,故仅计算至 2015 年。

本研究的数据分析及图形构建采用 R version 3.6.1 环境下 TropFishR<sup>[20]</sup>等软件包完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 数量变动趋势

调查期间海州湾春季 3 种鳊属鱼类的数量年间波动性较强(图 2)。本研究分别对各年度春季调查中各站点瓦氏鳊、绯鳊、李氏鳊的数量进行 Kruskal-Wallis 检验,其  $P$  值分别为 0.12、0.02、0.07。瓦氏鳊在 2014 年时数量出现最大值,每站点 8.67 尾;最小值出现在 2017 年,每站点 0.78 尾。绯鳊同样在 2014 年数量达到最大值 3.83 尾;但最低值在 2013 年,每站点 0.22 尾。李氏鳊在 2011 年达到数量最大值,每站点 6.38 尾;最小值为 2017—2018 年,渔获量为 0。

秋季 3 种鳊属鱼类的数量呈现逐年整体下降趋势(图 3)。本研究分别对各年度秋季调查中各站点瓦氏鳊、绯鳊、李氏鳊的数量进行 Kruskal-Wallis 检验,其  $P$  值分别为 0.001、0.001、0.20。其中瓦氏鳊在 2013 年时数量出现最大值,每站点 8.22 尾;最小值出现在 2015 年,每站点 0.22 尾。绯鳊数量最大值为 2011 年的每站点 3.04 尾,但最小值为 2018 年的每站点 0.06 尾。李氏鳊在 2013 年达到数量最大值,每站点 0.72 尾;最小值为 2016—2018 年,渔获量为 0。

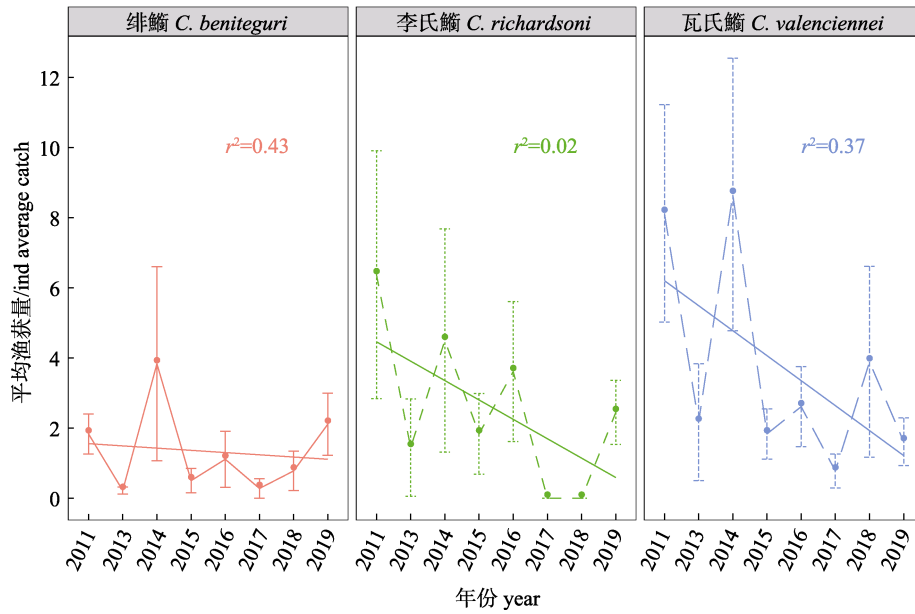


图 2 海州湾 3 种鳊属鱼春季的相对渔获量

Fig. 2 Relative catches of the three *Callionymus* species in Haizhou Bay in spring

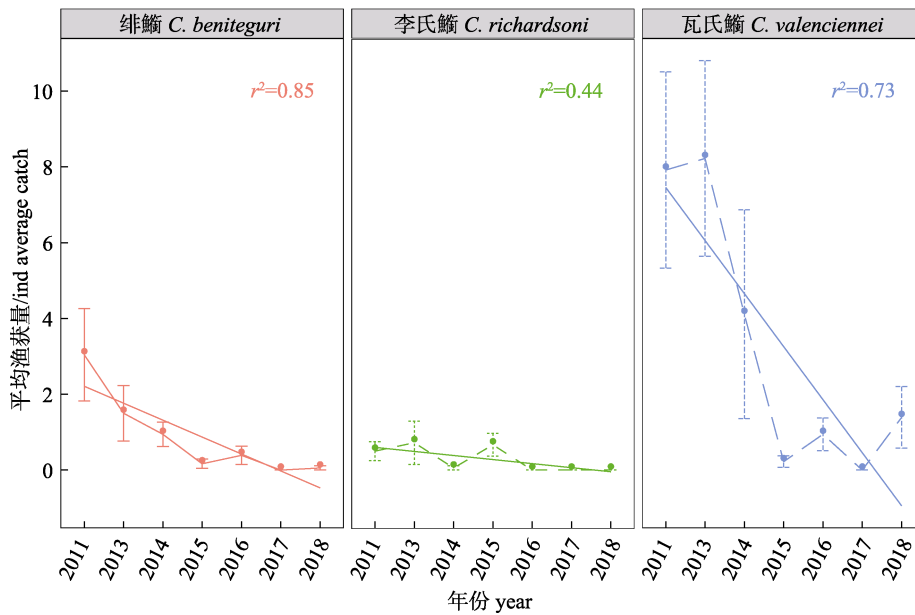


图 3 海州湾 3 种鳊属鱼秋季的相对渔获量

Fig. 3 Relative catches of the three *Callionymus* species in Haizhou Bay in autumn

### 2.2 生长参数分析

本研究结合 Bootstrap 重抽样法使用 ELEFAN 计算 3 种鳊属鱼类的 VBGF 参数均值。得到李氏鳊的极限体长  $L_{inf}$  为 16.35 cm, 生长参数  $K$  为 0.45; 绯鳊的极限体长  $L_{inf}$  为 19.24 cm, 生长参数  $K$  为 0.44; 瓦氏鳊的极限体长  $L_{inf}$  为 19.73 cm, 生长参数  $K$  为 0.42。取  $t_0$  为 -0.01, 代入得三者 VBGF, 并

绘图比较如图 4 所示。

$$\text{李氏鳊: } L_t = 16.35 \times [1 - e^{-0.45 \times (t + 0.01)}]$$

$$\text{绯鳊: } L_t = 19.24 \times [1 - e^{-0.44 \times (t + 0.01)}]$$

$$\text{瓦氏鳊: } L_t = 19.73 \times [1 - e^{-0.42 \times (t + 0.01)}]$$

使用 Bootstrap 方法获得了每种鳊属鱼类在每年的 1000 组生长参数数据样本, 计算每种鳊属鱼每年的极限体长  $L_{inf}$  与生长参数  $K$ 。绯鳊的生长

参数  $K$  的变化范围为[0.37, 0.54], 其中 2014 年最大, 为 0.54, 2016 年最小, 为 0.37, 呈现较大的波动趋势。其极限体长  $L_{inf}$  的变化范围为[13.96, 21.60], 其中 2014 年最大, 为 21.60 cm, 2018 年最小, 为 13.96 cm, 呈现下降趋势(图 5)。

李氏鳊的生长参数  $K$  的变化范围为[0.43, 0.47], 其中 2014 年最大为 0.47, 2015 年最小为 0.43, 呈现波动趋势。其极限体长  $L_{inf}$  的变化范围为[14.91, 18.74], 其中 2011 年最大为 18.74 cm, 2015 年最小为 14.91 cm, 其均值呈现逐年下降的趋势(图 6)。

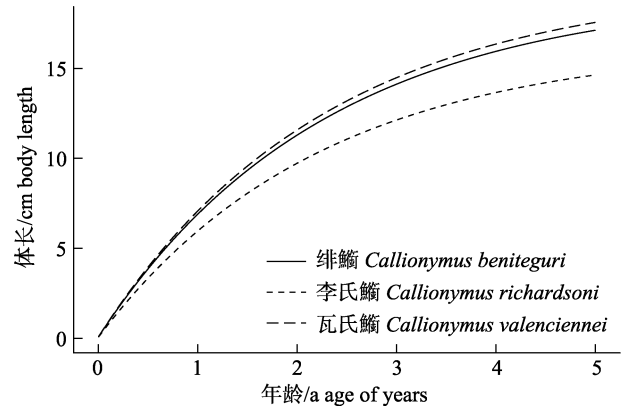


图 4 3 种鳊属鱼的 von Bertalanffy 生长方程  
Fig. 4 von Bertalanffy growth functions of the three *Callionymus* species

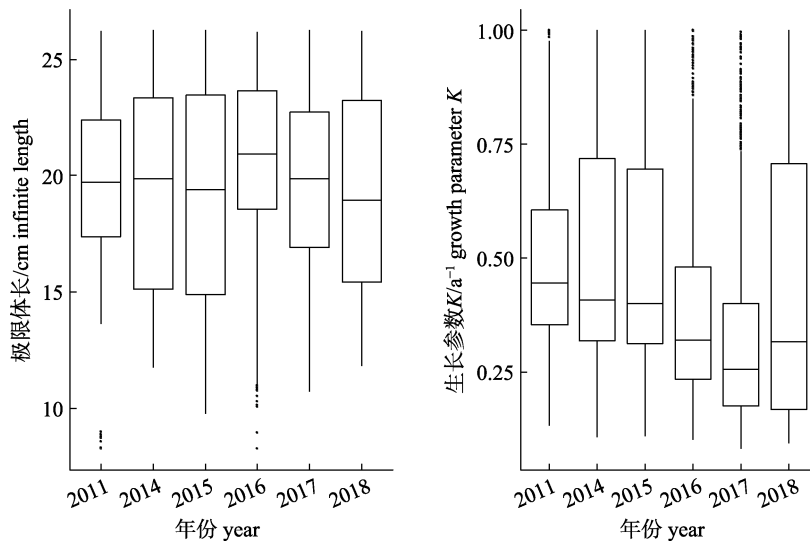


图 5 绯鳊极限体长与生长参数  $K$  的年际变化

Fig. 5 The interannual variation of *Callionymus beniteguri* infinite length and growth parameter  $K$

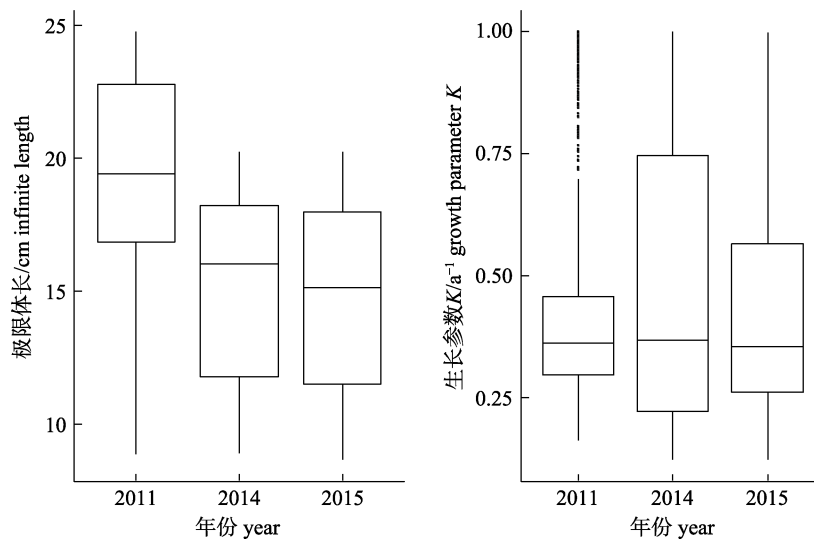


图 6 李氏鳊极限体长与生长参数  $K$  的年际变化

Fig. 6 The interannual variation of *Callionymus richardsoni* infinite length and growth parameter  $K$

瓦氏鳊的生长参数  $K$  的变化范围为[0.33, 0.51], 其中 2017 年最大, 为 0.51, 2014 年最小, 为 0.33, 呈现一定的下降趋势。其极限体长  $L_{inf}$  的变化范

围为[19.35, 20.67], 其中 2016 年最大, 为 20.67 cm, 2018 年最小, 为 20.35 cm, 呈现小范围波动趋势 (图 7)。

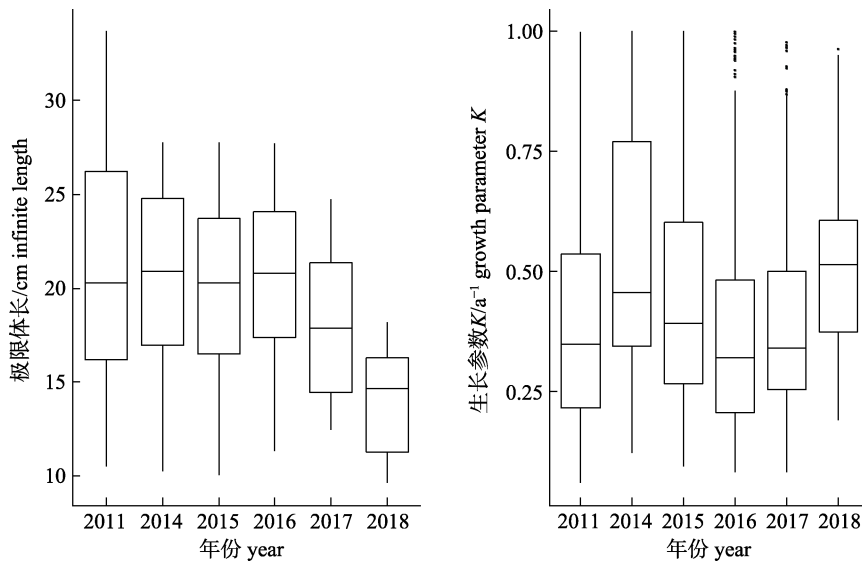


图 7 瓦氏鳊极限体长与生长参数  $K$  的年际变化

Fig. 7 The interannual variation of *Callionymus valenciennei* infinite length and growth parameter  $K$

### 3 讨论

本研究系统地分析了海州湾瓦氏鳊、李氏鳊与绯鳊 3 种鳊属鱼类从 2011 年至 2019 年的种群数量变动与生长参数变化趋势。首先分春秋两季分析 3 种鳊属鱼类数量的年际变动趋势。结果显示, 本区鳊属鱼类春季的数量年际波动性较强, 秋季则表现出更明显的减少趋势, 有些年份甚至出现无渔获样品的情况。表明在海州湾及邻近海域, 3 种鳊属鱼类的数量迅速下降, 近年来维持在很低的水平, 其在海州湾的种群可能处于衰退阶段。本研究使用结合 Bootstrap 重抽样的 ELEFAN 方法对 3 种鳊属鱼类生长参数进行了估算, 结果表明研究涉及的 3 种鳊属鱼类均有极限体长  $L_{inf}$  缩短或生长参数  $K$  减小的倾向, 表明该类鱼类可能存在小型化趋势。

本区 3 种鳊属鱼类的资源衰退与小型化可能由多重因素造成。鳊属鱼作为一种小型底栖鱼类, 生存策略多偏向于  $r$  选择, 其在生存条件不利时可能将更多的能量用于生殖, 而减少用于生长的能量分配<sup>[21]</sup>。海州湾海域存在较大规模的定置网作

业, 这种作业方式一般位于近海水域且选择体长较小<sup>[22]</sup>, 加之本区底拖网作业的影响<sup>[23]</sup>, 可能对鳊属鱼类造成了较大的捕捞压力, 从而胁迫该种鱼类产生适应性进化<sup>[24]</sup>。此外, 气候驱动因素和海洋生态系统结构变化也可能对鳊属鱼产生胁迫。近几年的调查表明, 方氏云鳊等小型鱼类已成为海州湾及其邻近海域的主要优势种<sup>[25]</sup>。该鱼种与鳊属鱼类的营养级类似<sup>[25]</sup>, 存在较大的生态位竞争, 可能对鳊属鱼类产生竞争排斥作用, 导致其生存环境进一步恶化。另外, 连云港海州湾近岸具有较多的海岸工程<sup>[26]</sup>, 栖息地特别是产卵场的破坏与污染也可能是鳊属鱼类生长参数变化与数量下降的原因。

许多国内学者早先的研究也指出海州湾地区渔业资源出现小型化的趋势。赵宪勇<sup>[27]</sup>在评估了 1999—2006 年黄海鳊的数据后发现其种群存在明显的小型化与低龄化趋势。吴筱桐等<sup>[25]</sup>研究了 2011—2017 年海州湾的大型鱼类指数变化, 发现了海州湾及邻近海区的鱼类群落结构小型化特征显著。王琨等<sup>[28]</sup>评估了本区的优势饵料鱼种方氏云鳊 2013—2018 年的生长参数变动, 也得出了类

似的结果。本研究表明,不仅是大型经济种或常见优势饵料鱼种,非优势饵料鱼种如鳊属鱼类也可能存在一定的小型化趋势。

在评估本区鳊属鱼数据时,个别结果并未完全符合预期猜想。3种鳊属鱼类并未同时表现出传统小型化特征中的极限体长  $L_{inf}$  的下降与生长参数  $K$  的上升。其中李氏鳊与绯鳊表现出极限体长  $L_{inf}$  下降,瓦氏鳊则表现出生长参数  $K$  下降,而其另一参数则无明显变化或呈现波动趋势。该情况可能由多种原因导致。例如本研究中调查对象样本量较小,导致使用 ELEFAN 方法时可能增大估算结果的不确定性。且鱼体年龄鉴定的准确性有待提高,今后可以结合使用耳石或脊椎骨等年龄鉴定材料推断其年龄数据,得出更准确的 VBGF 参数,并适当增加调查样本量。另一种原因可能是因为本区 3 种鳊属鱼类的生活习性与分布区域仍存在差异,这使得其面临的环境胁迫也有所不同,从而产生了不同的响应。今后的研究需要结合当地气候和海洋环境变化的详细数据,以进一步了解当地生态系统在环境胁迫下的进化情况。

此外,研究结果表明亟需制定相应的保护策略,以保护海州湾海区的渔业资源与生物多样性。国内学者对此提出了许多方案。秦传新等<sup>[29]</sup>主张发展生态渔业,构建以人工鱼礁为主的海洋生态环境资源恢复工程。唐衍力等<sup>[30]</sup>提出可放大网目尺寸,采用生态型渔具渔法。孙铭等<sup>[31]</sup>建议应加强本区渔业资源评估,了解海州湾渔业资源现状,以调整应对措施,改进渔业管理制度。吴涛等<sup>[32]</sup>建议在海州湾地区建立海洋生态保护区,以维持生物多样性并保护海洋生态系统健康。这些方法的可行性还需进一步评估。本研究认为,在养护本区渔业资源时,应注意非优势种在当地生态系统中发挥的作用,以提高渔业生态系统的稳定性,更高效地增殖渔业资源。

#### 参考文献:

- [1] Tang F H, Shen X Q, Wang Y L. Dynamics of fisheries resources near Haizhou Bay waters[J]. Fisheries Science, 2011, 30(6): 335-341. [唐峰华, 沈新强, 王云龙. 海州湾附近海域渔业资源的动态分析[J]. 水产科学, 2011, 30(6): 335-341.]
- [2] Lu Z B, Xu B Q, Li F, et al. Structure and distribution of fish resources in the Yellow Sea off Shandong during spring and autumn 2006[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(6): 1335-1342. [吕振波, 徐炳庆, 李凡, 等. 2006 年春、秋季黄海山东海域鱼类资源结构与数量分布[J]. 中国水产科学, 2011, 18(6): 1335-1342.]
- [3] Wang X L, Xu B D, Ji Y P, et al. Fish community structure and its relationships with environmental factors in Haizhou Bay and adjacent waters of East China in winter[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(6): 1707-1714. [王小林, 徐宾铎, 纪毓鹏, 等. 海州湾及邻近海域冬季鱼类群落结构及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1707-1714.]
- [4] Liu Q G, Shen J Z, Chen M K, et al. Advances of the study on the miniaturization of natural economical fish resources [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(1): 79-83. [刘其根, 沈建忠, 陈马康, 等. 天然经济鱼类小型化问题的研究进展[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(1): 79-83.]
- [5] Wang X Y. Spatial distribution of dominant fish species in Haizhou Bay and their relationships with environmental factors[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. [王小芸. 海州湾主要鱼种的空间分布及其与环境因子的关系[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.]
- [6] Ye J Q, Xu Z L, Chen J J, et al. Resources status analysis of large yellow croaker in Guanjiangyang using von Bertalanffy growth equation and fishing mortality parameters[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(2): 238-246. [叶金清, 徐兆礼, 陈佳杰, 等. 基于生长和死亡参数变化的官井洋大黄鱼资源现状分析[J]. 水产学报, 2012, 36(2): 238-246.]
- [7] Guo X P, Jin X S, Dai F Q. Growth variations of small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis* Bleeker) in Bohai Sea [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(2): 243-249. [郭旭鹏, 金显仕, 戴芳群. 渤海小黄鱼生长特征的变化[J]. 中国水产科学, 2006, 13(2): 243-249.]
- [8] 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. [栾静, 徐宾铎, 薛莹, 等. 海州湾方氏云鳚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.]
- [9] Li M, Li Z G, Xu B D, et al. Effects of spatiotemporal and environmental factors on the distribution and abundance of *Pholis fangi* in Haizhou Bay using a generalized additive model[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(4): 812-819. [李敏, 李增光, 徐宾铎, 等. 时空和环境因子对海州湾方氏云鳚资源丰度分布的影响[J]. 中国水产科学,



- 2015, 22(4): 812-819.]
- [10] Costello C, Ovando D, Hilborn R, et al. Status and solutions for the world's unassessed fisheries[J]. *Science*, 2012, 338(6106): 517-520.
- [11] Ren X M, Xu B D, Zhang C L, et al. The composition of and variations in the trophic guilds of fish assemblages in Haizhou Bay and adjacent waters[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(1): 141-150. [任晓明, 徐宾铎, 张崇良, 等. 海州湾及邻近海域鱼类群落的营养功能群及其动态变化[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(1): 141-150.]
- [12] 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.
- [13] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Specifications for oceanographic survey (Part 6): Marine biological survey (GB/T 12763.6-2007)[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. [国家质量监督检验检疫总局. 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.]
- [14] Kruskal W H, Wallis W A. Use of ranks in one-criterion variance analysis[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1952, 47(260): 583-621.
- [15] von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II)[J]. *Human Biology*, 1938, 10(2): 181-213.
- [16] Pauly D, David N. ELEFAN I, a BASIC program for the objective extraction of growth parameters from length-frequency data[J]. *Meeresforschung*, 1981, 28: 205-211.
- [17] Taylor M H, Mildenerger T K. Extending electronic length frequency analysis in R[J]. *Fisheries Management and Ecology*, 2017, 24(4): 330-338.
- [18] Johnson R W. An introduction to the bootstrap[J]. *Teaching Statistics*, 2001, 23(2): 49-54.
- [19] Bradley E, Tibshirani R J. Introduction to the Bootstrap[M]. New York and London: Chapman & Hall, 1993: 49-54.
- [20] Mildenerger T K, Taylor M H, Wolff M. TropFishR: An R package for fisheries analysis with length-frequency data[J]. *Methods in Ecology and Evolution*, 2017, 8(11): 1520-1527.
- [21] Ernande B, Dieckmann U, Heino M. Adaptive changes in harvested populations: plasticity and evolution of age and size at maturation[J]. *Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 2004, 271(1537): 415-423.
- [22] Qi G R. Catch composition and effects on fish resources of the set-net along the coastal water of Haizhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. [齐广瑞. 海州湾近岸张网的渔获结构及对渔业资源的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.]
- [23] Chen C H. The fishery resources in the deeper area of the middle Yellow Sea and its conservation[J]. *Marine Fisheries Research*, 1997, 18 (1): 47-53. [陈昌海. 黄海中部深水区底拖网渔业资源及保护的探讨[J]. *海洋水产研究*, 1997, 18(1): 47-53.]
- [24] Stokes K, Law R. Fishing as an evolutionary force[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, 208: 307-309.
- [25] Wu X T, Ding X X, Jiang X, et al. Variations in the mean trophic level and large fish index of fish community in Haizhou Bay, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(8): 2829-2836. [吴筱桐, 丁翔翔, 江旭, 等. 海州湾鱼类群落平均营养级和大型鱼类指数的变化特征[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(8): 2829-2836.]
- [26] Chen P, Li R J, Dong X T, et al. Influence of reclamation project on hydrodynamic and sediment environment of Lianyungang sea area[J]. *Port & Waterway Engineering*, 2016(3): 29-34, 56. [陈鹏, 李瑞杰, 董啸天, 等. 连云港海域围垦工程对水沙环境的影响[J]. *水运工程*, 2016(3): 29-34, 56.]
- [27] Zhao X Y. Population dynamic characteristics and sustainable utilization of the anchovy stock in the Yellow Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006. [赵宪勇. 黄海鲱鱼种群动力学特征及其资源可持续利用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.]
- [28] Wang K, Zhang C L, Chen N, et al. Evaluating the growth parameters of *Pholis fangi* based on the bootstrap-ELEFAN method[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(3): 512-521. [王琨, 张崇良, 陈宁, 等. 基于 Bootstrap 的 ELEFAN 方法在评估方氏云鲷群体生长参数中的应用[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(3): 512-521.]
- [29] Qin C X, Chen P M, Jia X P. Effects of artificial reef construction to marine ecosystem services value: A case of Yangmeikeng artificial reef region in Shenzhen[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(8): 2160-2166. [秦传新, 陈丕茂, 贾晓平. 人工鱼礁构建对海洋生态系统服务价值的影响——以深圳杨梅坑人工鱼礁区为例[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(8): 2160-2166.]
- [30] Tang Y L, Qi G R, Wang X, et al. Catch composition of the set-net along the coastal water and resource utilization analysis of Haizhou Bay[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2014, 44(7): 29-38. [唐衍力, 齐广瑞, 王欣, 等. 海州湾近岸张网渔获物种类组成和资源利用现状分析[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2014, 44(7): 29-38.]
- [31] Sun M, Zhang C L, Li Y Z, et al. Management strategy evaluation of fishery stocks in Haizhou Bay based on Data-Limited Methods[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018,



- 42(10): 1661-1669. [孙铭, 张崇良, 李韵洲, 等. 以有限数据评估方法为基础的海州湾渔业管理策略评估[J]. 水产学报, 2018, 42(10): 1661-1669.]
- [32] Wu T, Zhao X S, Liu Y, et al. On current construction and management status of Ecological and Natural Heritage of

Marine Special Conservative Areas in Haizhou Bay[J]. Ocean Development and Management, 2010, 27(11): 52-54. [吴涛, 赵新生, 刘媛, 等. 海州湾海湾生态与自然遗迹海洋特别保护区建设与管理的现状分析[J]. 海洋开发与管理, 2010, 27(11): 52-54.]

## Interannual variation in the growth parameters of three *Callionymus* species in Haizhou Bay

CHEN Hongyu, ZHANG Chongliang, SONG Zhiqi, LUO Fanshu, SONG Bingyu, WANG Kun  
College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

**Abstract:** Haizhou Bay is a traditional fishing ground in China. Due to overfishing and environmental pollution, large- and medium-sized economic fish resources in this area have declined. Prior research has focused on fish species with high economic value or emerging dominant prey species such as *Enedrias fangi* while overlooking non-dominant species such as those in the *Callionymus* genus. This group contains numerous small benthic species commonly found in the Haizhou Bay fishing ground, which perform important ecological functions. Fishery resource conservation should be ecosystem-based, so it is necessary to investigate changes in all of the fish resources. Therefore, this study focused on three non-dominant prey species within *Callionymus*, *C. valenciennei*, *C. richardsoni*, and *C. beniteguri*, to investigate the growth parameters changes under environmental stress. Using data from 18 bottom trawl surveys in the Haizhou Bay from 2011 to 2019, the von Bertalanffy growth function (VBGF) was estimated via electronic length-frequency analysis (ELEFAN) with the TropFishR package in R. The number of samples was relatively small, so bootstrap resampling was employed to improve the robustness of our estimates. The results show that from 2011 to 2019, the three *Callionymus* species experienced a population decline and miniaturization. The infinite length of *C. beniteguri* decreased from 21.60 cm to 13.96 cm, while the growth parameter *K* increased from 0.39 to 0.52. The infinite length of *C. valenciennei* decreased from 19.72 cm to 19.35 cm, and the growth parameter *K* decreased from 0.50 to 0.43. From 2011 to 2015, the infinite length of *C. richardsoni* decreased from 18.74 cm to 14.91cm, and the growth parameter *K* decreased from 0.45 to 0.43. All three *Callionymus* species showed a decreasing trend in infinite length or an declining trend in the growth parameter *K*. These results suggest adaptive evolution of the *Callionymus* species as the r-strategists responded to the local environment stressors (e.g., overfishing and environmental pollution). However, shortened infinite body length and increased growth rates manifest one another and may be related to differences in the specific environmental stressors the three species experienced. This study provides important data on the growth and population development of *Callionymus* and provides a reference for future assessments and fisheries restoration efforts in Haizhou Bay.

**Key words:** *Callionymus*; Haizhou Bay; relative catch; VBGF; ELEFAN; Bootstrap; fishery resources assessment

**Corresponding author:** ZHANG Chongliang. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn