

文章编号: 1000-0615(2018)10-1550-09

DOI: 10.11964/jfc.20170610862

温台渔场龙头鱼的生长、死亡及最适开捕规格

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

(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: 在传统渔业资源衰退的情况下, 龙头鱼等次要的经济种类逐渐成为东海海区的优势种群, 具有重要的经济价值和生态地位。根据2015年11月—2016年8月在温州台州外海(120.93°~122.95°E, 27.21°~28.97°N)调查采集的2 611尾龙头鱼的生物学数据, 用ELEFAN I方法对其生长、死亡参数进行估算, 并通过不完全 β 函数渔获量方程动态综合模型确定最适开捕规格, 评估种群资源的利用状况。结果显示, 温台渔场龙头鱼体长—体质量关系为 $W=0.000 5L^{3.87}$ ($R^2=0.906 7$), 雌、雄个体间的体长—体质量关系无显著性差异; 龙头鱼的Von Bertalanffy生长方程参数 L_{∞} 、 K 、 t_0 分别为32.13 cm、0.39和-0.69龄, 体质量生长拐点年龄为2.78龄; 根据体长组成资料的线性渔获量曲线估算出龙头鱼的总死亡系数2.55, 用Pauly经验公式估算出自然死亡系数0.66, 捕捞死亡系数1.89和开发率0.74; 动态综合模型评估表明, 应适当提高开捕年龄, 增大开捕体长, 最适开捕年龄 t_c 为1.15龄, 相应开捕体长为16.5 cm。

关键词: 龙头鱼; 生长参数; 开捕体长; 不完全 β 函数渔获量方程; 温台渔场

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

龙头鱼(*Harpadon nehereus*), 隶属仙女鱼目(Aulopiformes), 狗母鱼科(Synodontidae), 龙头鱼属(*Harpadon*), 沿海中下层鱼类, 分布于印度尼西亚、马来西亚和我国沿海等海域^[1]。在东海海区, 龙头鱼可以根据空间分布分为2个群体, 一是东海北部群体, 二是浙江中南部近海的东海南部群体^[2], 本研究的对象为第二种群体。近年来, 传统渔业资源不断衰退, 龙头鱼等次要的经济种类逐渐成为东海海区的优势种群^[3-4], 经济价值和生态地位明显上升, 因此为了合理利用龙头鱼资源, 评估其当前的利用情况, 研究其渔业生物学特征具有十分重要的意义。

根据底拖网调查采集的大量龙头鱼生物学数据, 本研究运用FiSAT II (FAO-ICLARM Stock Assessment Tools II)软件中的ELEFAN I (electronic length frequency analysis I)方法^[5]对龙头鱼的生长、死亡参数进行估算, 并且通过不完全 β 函数渔获量方程动态综合模型确定最适开捕规格, 评估种群资源的利用状况。ELEFAN I方法克服了传统年龄鉴定的主观性误差, 为分析鱼类年龄与生长等生物学参数提供了便捷^[6]。目前, 国内对于龙头鱼的研究多集中于基础生物学^[7]、数量分布^[8], 国外研究则倾向于龙头鱼的年龄生长^[9]和种群分析^[10-11]。

收稿日期: 2017-06-08 修回日期: 2017-10-22

资助项目: 浙江省渔业资源调查(温台地区)(158053)

通信作者: 田思泉, E-mail: sqtian@shou.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 调查方法与样品采集

龙头鱼样品来源于温台渔场渔业资源本底资源调查,调查时间按秋季(2015年11月)、冬季(2016年2月)、春季(2016年5月)和夏季(2016年8月)每3个月调查一次;调查深度范围为10~70 m;调查区域为温州台州外海(120.93°~122.95°E, 27.21°~28.97°N)(图1);调查船为浙洞渔10109,总吨位800 t,主机功率403 kW,作业渔船类型为单船网板底拖渔船,采用底拖网进行调查。采集到的龙头鱼样品冷冻保存带回实验室,按照《海洋调查规范》进行生物学测定,测定龙头鱼的体长(L)和体质量(W),体长精确到0.1 cm,体质量精确到0.01 g。

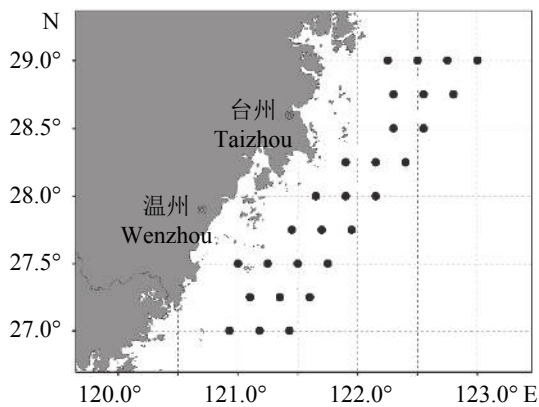


图1 2015年11月—2016年8月温台渔场渔业资源调查站点图

Fig. 1 Survey site map of sampling in Wentai fishing ground

1.2 数据处理

生长参数 采用幂函数 $W=aL^b$ 分别拟合雌、雄群体和龙头鱼整体的体长和体质量的关系,用单因素方差分析检验雌雄个体体长—体质量关系的生长方程是否有显著性差异。为估算渐进体长(L_∞)和生长速率(K)等生长参数,将体长数据以0.9 cm为组距进行分组,用ELEFAN I方法进行体长频率分析,拟合龙头鱼Von Bertalanffy生长方程^[12]。龙头鱼的理论生长初始年龄 t_0 由Pauly经验公式^[13](1)估算。

$$\ln(t_0) = -0.3922 - 0.2752 \ln L_\infty - 1.038 \ln K \quad (1)$$

死亡参数 Von Bertalanffy生长方程可将

体长转换为年龄,故根据线性转换体长渔获量曲线方程(2)估算总死亡系数 Z ^[14];自然死亡系数 M 由Pauly经验公式(3)求得^[15],由于此式中的 L_∞ 为全长,故选取200尾龙头鱼,拟合体长(L)与全长(TL)的线性关系式: $TL=1.1446L+4.5296$ ($R^2=0.9974$),计算渐近体长相对应的渐进全长。

$$\ln\left(\frac{N}{\Delta t}\right) = a + bt \quad (2)$$

$$\ln M = -0.0066 - 0.279 \ln L_\infty + 0.6543 \ln K + 0.4634 \ln T \quad (3)$$

式中, N 为各体长组的渔获尾数占总渔获样品尾数的百分比, Δt 为相应体长组由下限生长到上限所需要的时间, a 、 b 为常数系数, t 为各体长组组中值对应的年龄, $-b=Z$, T 为2015年11月—2016年8月内所测量站点的平均海表面温度,为14.8℃。

临界年龄和拐点年龄 临界年龄(T_c)是一个世代在没有捕捞的情况下资源生物量达到最大值的年龄,采用公式: $T_c=[K \times t_0 - \ln M + \ln(b \times K + M)]/K$ ^[16];拐点年龄采用公式 $t_{ip} = \frac{\ln b}{K} + t_0$,式中 b 为体长—体质量关系幂指数。

单位补充量渔获量 Beverton等^[17]建立了单位补充量渔获量模型来表达渔获量与鱼群各参数之间的复杂关系,但该种模型的实现必须满足等速生长的前提条件,即 $b=3$;Jones将B-H模型作了变换,提出了不完全 β 函数渔获量方程来解决鱼类异速生长的状况^[18]。为分析温台渔场龙头鱼开捕年龄(t_c)与捕捞死亡系数(F)对单位补充量渔获量(Y_W/R)的影响,用不完全 β 函数渔获量方程计算不同系列组合 t_c 与 F 对应的单位补充量产量,并且获得渔获量曲线图,此计算过程通过R语言工具来实现。

$$\frac{Y_W}{R} = W_\infty e^{M(t_r - t_0)} \cdot g(1 - C)^{-g} \cdot \beta_{1-C}(m + g, b + 1) \quad (4)$$

$$\beta_{1-C}(m + g, b + 1) = \int_0^{1-C} Y(m + g - 1) \cdot (1 - Y)^b dY \quad (5)$$

式中, $g=F/K$, $m=M/K$, $C=L_c/L_\infty$, $Y=e^{-K(t-t_0)}$, $\frac{Y_W}{R}$ 为单位补充量渔获量, t_r 为龙头鱼的补充年龄,此处根据历史数据取0.15龄^[19], t_c 与 t_r 近似相等, b 为体长—体质量关系幂指数。

2 结果

2.1 温台渔场龙头鱼主要生物学特征

共测定温台渔场龙头鱼2 611尾, 其体长范围为4.6~30.1 cm, 体质量范围为0.21~182.85 g; 龙头鱼的数量在冬季最多, 夏季次之, 秋季最少; 在体长方面, 龙头鱼在冬季的体长范围分布最广,

秋季次之, 平均体长则为夏季最大, 冬季最小; 在优势体长组分析中, 龙头鱼的优势体长组在夏季为18~20 cm, 秋季、冬季节分别为14~16、14~18 cm, 说明在春、夏季节大规格的龙头鱼比重较大, 而在秋、冬季节小规格的龙头鱼比重较大; 在平均摄食等级方面, 以秋季最高, 冬、夏两季差距不大(表1)。

表 1 温台渔场龙头鱼主要生物学特征

Tab. 1 Biological characteristics of *H. nehereus* in Wentai fishing ground

| 季节 season | 秋季 autumn | 冬季 winter | 春季 spring | 夏季 summer |
|------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 数量/个 number | 293 | 1 005 | 498 | 815 |
| 体长/cm body length | 4.6~28.5 | 5.5~30.1 | 11.6~24.7 | 12.6~26.5 |
| 体质量/g body weight | 0.21~173.67 | 0.47~162.45 | 11.76~153.80 | 13.00~182.85 |
| 优势体长组/cm dominant length | 14~16 | 14~18 | 16~20 | 18~20 |
| 平均体长/cm average length | 14.07 | 15.61 | 17.99 | 19.98 |
| 性比(♀/♂) sex ratio | 0.42 : 1 | 0.18 : 1 | 1.83 : 1 | 2.33 : 1 |
| 性成熟个体/个 mature individuals | 3 | 2 | 79 | 65 |
| 平均摄食等级 average feeding level | 1.26 | 0.83 | 1.12 | 0.89 |

本次调查中共测得雌性个体636尾, 雄性个体511尾, 雌雄性比为1.24 : 1, 经卡方检验表明温台渔场雌雄个体比例不符合1 : 1($\chi^2=13.622$, $P<0.05$)的比例; 春、夏季雌性个体数量高于雄性, 秋、冬季反之; 以性腺成熟度达到IV期和V期的个体作为性成熟个体, 春、夏季龙头鱼性成熟个体较多(表1); 龙头鱼雌性个体体长范围为11.6~27.5 cm, 体质量范围为11.76~206.80 g, 平均值为19.55 cm, 优势体长组为19~20 cm; 雄性个体体长范围为10.2~30.1 cm, 体质量范围为1.58~109.46 g, 平均值为18.17 cm, 优势体长组为18~19 cm(图2)。

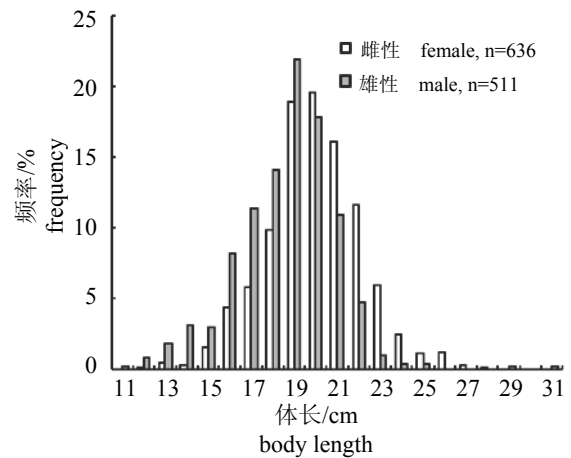


图 2 温台渔场龙头鱼体长频率分布

Fig. 2 The body length-frequency distribution of *H. nehereus* in Wentai fishing ground

2.2 体长-体质量关系

采用幂函数拟合龙头鱼体长-体质量的关系 $W=0.000 5L^{3.87}$ ($R^2=0.906 7$) (图3), 其中, 雌性体长-体质量关系: $W=0.001 7L^{3.47}$ ($R^2=0.732 5$, $n=636$), 雄性体长-体质量关系: $W=0.001 2L^{3.60}$ ($R^2=0.828 2$, $n=511$), 经多元线性回归分析, $P>0.05$, 说明雌、雄龙头鱼体长-体质量关系的生长方程无显著性差异。

估算得出, 渐进体长 $L_{\infty}=32.13$ cm, 生长速率 $K=0.39$, 并绘制出VBGF(Von Bertalanffy Growth Function)曲线(图4)。由Pauly经验公式估算出龙头鱼的理论生长初始年龄 $t_0=-0.69$ 龄。

2.3 年龄和生长

用Von Bertalanffy生长方程 ($L_t=L_{\infty}[1-e^{-K(t-t_0)}]$)拟合龙头鱼的生长, 经ELEFAN I方法

龙头鱼的体长和体质量生长方程:

$$L_t = 32.13 \times [1 - e^{-0.39(t+0.69)}]$$

$$W_t = 339.40 \times [1 - e^{-0.39(t+0.69)}]^{3.87}$$

根据生长方程绘制出的龙头鱼体长、体质

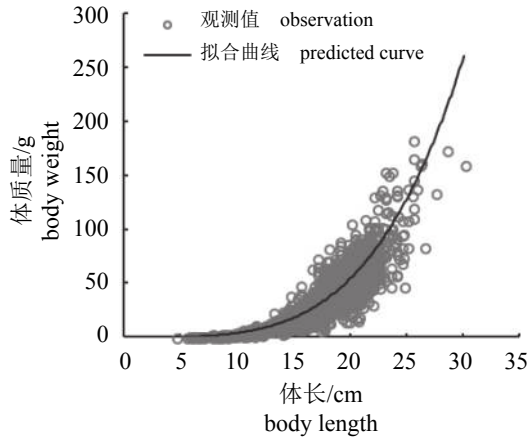


图3 温台渔场龙头鱼体长-体质量的关系

Fig. 3 The length-weight relationships of *H. nehereus* from Wentai fishing ground

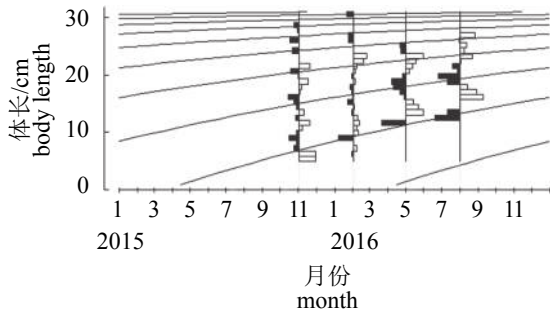


图4 龙头鱼的体长频率时间序列及应用ELEFANI估计的生长曲线

Fig. 4 Body length frequency of *H. nehereus* and growth curve estimated by ELEFAN I

量生长曲线结果显示, 体长生长曲线无拐点, 生长速率由快到慢, 最终趋近于渐近体长; 而体质量的生长曲线呈“S”型, 体质量生长拐点年龄为2.78龄, 对应的拐点体长为23.8 cm, 拐点体质量为106.73 g, 即龙头鱼在2.78龄时, 体质量生长速率达到最大值, 生长最快, 在2.78龄之前, 生长速率逐渐升高, 而2.78龄之后, 生长速率逐渐降低(图5)。

2.4 死亡参数

总死亡系数 根据体长转换渔获量曲线, 在各年龄组观察值中选择了10个点进行线性回归, 拟合出直线方程: $\ln\left(\frac{N}{\Delta t}\right) = -2.55t + 13.64$, $R^2=0.9816$, 由此估算龙头鱼的总死亡系数 $Z=2.55$, 95%的置信区间为2.26~2.83。舍弃前16个点是由于这些长度组不能全面补充到渔业中, 最后3个点也除外, 因为样本数过少, 且当

体长接近 L_∞ 时, 估算出的年龄体长关系不可靠(图6)。

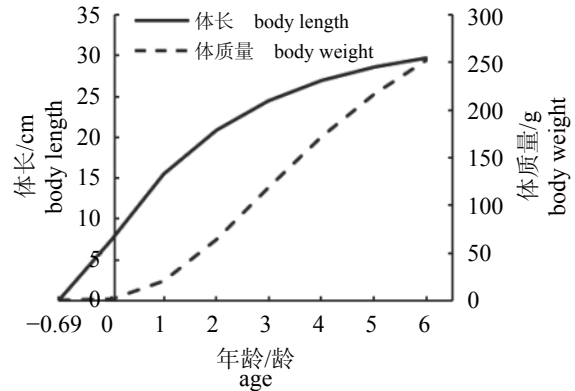


图5 龙头鱼体长和体质量生长曲线

Fig. 5 Growth curve in body length and body weight of *H. nehereus*

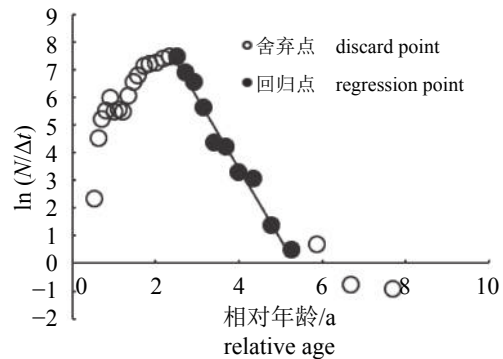


图6 体长变换渔获曲线估算龙头鱼总死亡系数

Fig. 6 Estimation of total mortality from length-converted catch curve of *H. nehereus*

自然死亡系数 根据调查得到温台渔场年平均海表温, $T=14.8\text{ }^\circ\text{C}$, 由Pauly经验公式得出, 温台渔场龙头鱼的自然死亡系数 $M=0.70$ 。

捕捞死亡系数 当前捕捞状态下, 捕捞死亡系数由 $F=Z-M$ 得出, $F=1.89$; 同时, 由 $E=F/Z$ 计算出龙头鱼的开发率 $E=0.74$ 。

2.5 开捕体长与单位补充量渔获量

图7将捕捞死亡系数 F 作为横坐标, 开捕体长 t_c 作为纵坐标, 曲线代表不同系列组合 t_c 与 F 所对应的 Y_W/R ; 虚线A(最佳 F 点连线)与B(最佳 t_c 点连线)为最适渔获量曲线, A与B之间的区域为最适产量区, P点($F=1.89, t_c=0.15$)是当前的现行渔业点, 对应的 Y_W/R 为8 g/尾左右; 当捕捞死亡系数达到4.90, 开捕年龄约2.2龄时, Y_W/R 达到理论

最大值19 g/尾(M点);保持当前捕捞死亡系数 $F=1.89$,将开捕年龄增大到1.5~1.9龄, Y_W/R 值增大,由不完全 β 函数渔获量方程确定出最佳开捕年龄为1.7龄,相应体长为19.48 cm, Y_W/R 可以达到18 g/尾。

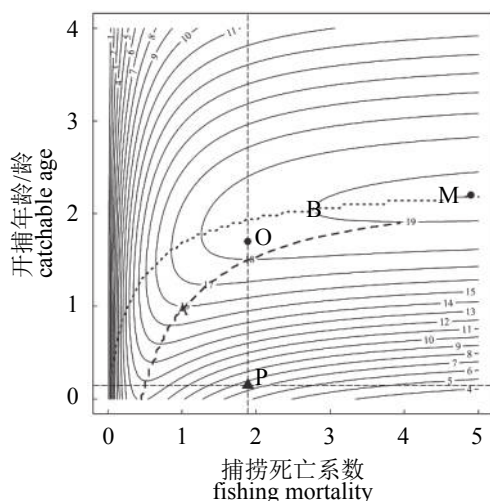


图7 开捕年龄和捕捞死亡系数影响下的单位补充量渔获量曲线

虚线A、B分别代表为最优渔获量曲线,点P、O和M分别表示 $t_c=t_r$ 时的现行渔业点、由不完全 β 函数渔获量方程确定的最佳 Y_W/R 点、理论最佳 Y_W/R 点

Fig. 7 The Y_W/R curve at the first capture age and fishing mortality coefficient

Dotted lines A,B are the optimal yield curves; point P is existing value of Y_W/R ($t_c=t_r$), O is optimal value of Y_W/R calculated by incomplete β function and M is theoretical reference value for optimal Y_W/R

3 讨论

3.1 组距选择

体长组距的设定会影响到龙头鱼的生长、死亡参数的估算,选择一个合适的组距可以提高体长频率分析的可信度^[20]。用Snedecor等^[20]2种体长分组组距公式得出的最佳组距分别为0.9和2.0 cm,结合ELEFAN I中自动计算出来的拟合优度Score^[5],同时参考“总生长特征”(growth performance index) ϕ 估算不同组距的可信度^[21]: $\phi=\lg K+2\lg L_\infty$ 。由不同组距得到相应的渐进体长(L_∞)和生长速率(K),计算总生长特征 ϕ ,综合拟合优度Score选择最佳组距(表2)。

当组距选择为1.0 cm时,拟合优度Score最大,为0.478,即拟合效果最佳,但是总生长特

表2 不同组距对生长参数估算的影响

Tab. 2 Influence of different class intervals on estimation of growth parameters

| 生长参数 growth parameters | 组距/cm class interval size | | | | |
|---------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.6 | 0.9 | 1.0 | 1.5 | 2 |
| 生长速率 K | 0.37 | 0.39 | 0.35 | 0.45 | 1.50 |
| 渐进体长/cm L_∞ | 31.82 | 32.13 | 32.03 | 33.08 | 32.03 |
| 拟合优度 score | 0.382 | 0.458 | 0.478 | 0.330 | 0.368 |
| 总生长特征值 ϕ | 2.57 | 2.60 | 2.56 | 2.69 | 3.19 |

征 ϕ 值仅为2.56,在5组组距中最低;当组距选择为2.0 cm时,拟合优度Score为0.368,拟合度较低,总生长特征 ϕ 值较高,为3.19;当组距选择为0.9 cm时,拟合优度Score为0.458,拟合度较高,总生长特征 ϕ 值为2.60,可信度较高,综合考虑Score值和总生长特征 ϕ 值,将0.9 cm选为最佳体长组距(表2)。

3.2 龙头鱼生长特征分析比较

温台渔场龙头鱼的平均体长为17.3 cm,体长范围为4.6~30.1 cm,该研究结果与林龙山等^[8,19]测得的体长范围相似,平均体长和生长速率 K 值相对较小,说明温台渔场龙头鱼群体可能存在小型化的趋势,这种趋势可能是由捕捞过度和生长速率受阻减缓造成^[22];黄良敏^[23]测得的龙头鱼的体长范围和生长速率 K 值均大于本研究,因前者的海域(24°~27°N)位于本研究海域(27.21°~28.97°N)南部,海水温度较高,故鱼类新陈代谢迅速,生长速率较快。温台渔场龙头鱼体长—体质量关系幂指数 b 为3.87, b 值一般用来判定鱼体是否在长、宽和高3个方向呈等速生长状态^[18],由此表明龙头鱼呈异速生长状态,即在龙头鱼的生长过程中其体型不是一成不变的,长、宽、高按照不等比例放大;若消除性腺和胃含物质量的影响,采用体长和纯体质量进行拟合, b 值会降低至3.58。温台渔场龙头鱼的渐进体长为32.13 cm,与闽江口、九龙江口^[23]及东海渔区^[19]的研究结果差异不大(表3)。本研究中,当体长大于19 cm时,雌性龙头鱼的频率普遍高于雄性(图2),通过 t 检验发现龙头鱼雌雄样本体长均值存在显著性差异($P<0.05$),这种差异可能是由遗传因素、生活环境、摄食及生殖习性的不同而造成的^[2]。

表 3 不同海域/时期龙头鱼生长参数比较

Tab. 3 Comparison of growth parameters of *H. nehereus* in different sea areas/years

| 生长参数 growth parameters | 温台渔场 Wentai fishing ground | 闽江口、九龙江口 ^[23] Minjiang River and Jiulong River Estuary | 东海渔区 ^[8] East China Sea | 东海渔区 ^[19] East China Sea |
|-----------------------------|-------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| 年份 years | 2015—2016 | 2006—2007 | 2005 | 1997—2000 |
| 体长范围/cm body length range | 4.6~30.1 | 1.5~48.5 | 4.5~30.3 | 4.9~29.5 |
| 平均体长/cm average body length | 17.3 | 15.0 | 18.9 | 18.4 |
| 体长—体质量幂指数 <i>b</i> | 3.87 | 3.77 | 3.33 | 3.10 |
| 渐近体长/cm L_{∞} | 32.13 | 31.50 | | 31.10 |
| 生长速率 <i>K</i> | 0.39 | 2.10 | | 0.46 |
| 理论生长初始年龄/龄 t_0 | -0.69 | -0.15 | | -0.31 |

3.3 最适开捕规格

在确定温台渔场龙头鱼的最适开捕规格时, 不仅要考虑由模型估算出的开捕体长和其他生物学参数如拐点体长、临界体长、初次性成熟体长, 更要综合考虑: ①保证至少产卵1次; ②保护当龄鱼, 保持补充群体数量; ③在实现资源利用最大化并保持资源稳定的基础上, 根据渔业现实和渔民可接受程度建立便于记忆和执法的开捕标准^[19]。龙头鱼在到达其临界年龄之前, 其资源生物量呈增加状态, 在临界年龄之后, 则呈下降状态至该世代完全消失, 由此应在临界年龄2.36龄前对其进行开发, 相应的临界体长为22.35 cm; 其次, 为保护补充群体, 保证龙头鱼至少有一次产卵机会, 开捕体长的选择

要大于其实测性成熟体长14.5 cm(表4); 此外, 本研究由模型估算出的开捕体长范围约为18.45~20.43 cm。为减少捕捞对龙头鱼资源的影响, 同时维护渔民的经济利益, 建议在现行开捕年龄0.15龄的基础上增加1龄, 即将最适开捕年龄设为1.15龄, 对应的最适开捕体长为16.5 cm, 该体长位于性成熟体长与临界体长的范围内, 略低于模型估算体长。此时, Y_W/R 达到17 g/尾, 相比现行渔业点的8 g/尾, 增加了112.5%。林龙山等^[19]和黄良敏^[23]确立了龙头鱼的开捕体长分别为16.0和15.6 cm, 本研究将龙头鱼的开捕体长增大至16.5 cm, 目的是保护龙头鱼资源, 保持龙头鱼补充群体的数量, 防止龙头鱼资源过度开发, 并将开捕体长确立在渔民可以接受的范围内。

表 4 龙头鱼开捕规格比较

Tab. 4 The catchable size comparison of *H. nehereus*

| 生长参数 growth parameters | 温台渔场 Wentai fishing ground | 闽江口、九龙江口 ^[23] Minjiang River and Jiulong River Estuary | 东海渔区 ^[19] East China Sea |
|--|-------------------------------|--|--|
| 估算开捕体长/cm estimated catchable length | 19.84 | | 16.28 |
| 拐点年龄/龄 age of inflexion | 2.78 | 1.24 | 2.1 |
| 临界年龄/龄 critical age | 2.36 | 1.41 | 2.8 |
| 拐点体长/cm body length of inflexion | 23.8 | 20 | 21.07 |
| 临界体长/cm critical body length | 22.35 | 21.1 | 23.59 |
| 实测性成熟体长/cm minimum body length at maturity in survey | 14.5 | 15.6 | 11.6 |
| 最适开捕长度/cm optimum catchable length | 16.5 | 15.6 | 16 |

3.4 温台渔场龙头鱼资源状况

温台渔场龙头鱼资源的捕捞死亡系数为1.89, 自然死亡系数为0.66, 捕捞死亡系数约为自然死亡系数的3倍, 开发率达到74%。根据Gulland^[24]

提出的一般鱼类的最适开发率($E=0.5$)和Pauly等^[25]提出最佳开发率水平($F=0.4M$), 判断出龙头鱼资源已处于过度开发状态。在传统渔业资源衰退的情况下, 龙头鱼在东海海域的生态地位

不断上升,逐渐成为优势种群^[3]。但是本研究发
现,随着捕捞强度的不断增大,龙头鱼出现平
均体长降低,性成熟提前的现象,综合考虑捕捞
过度 and 生态环境恶化等因素对龙头鱼群体的影响,
温台渔场龙头鱼群体很可能存在小型化、低龄
化的趋势。所以,合理开发利用龙头鱼等次要
的经济种类资源的现状刻不容缓,建议相关部
门应制定充分的、明确的开捕规格渔业法规,
从而保障渔业资源的可持续发展。

参考文献:

- [1] 赵盛龙,徐汉祥,钟俊生,等.浙江海洋鱼类志[M].杭州:浙江科学技术出版社,2016.
Zhao S L, Xu H X, Zhong J S, *et al.* Marine fishes of Zhejiang, China[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Publishing House, 2016 (in Chinese).
- [2] 潘绪伟.东海区龙头鱼渔业生物学的初步研究[D].上海:上海海洋大学,2011.
Pan X W. The primary study on biology of *Harpadon nehereus* in the East China Sea[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011(in Chinese).
- [3] 董静瑞,胡成业,水玉跃,等.温州南部沿岸海域鱼类群落特征及其与环境因子的关系[J].中国水产科学,2017,24(2):209-219.
Dong J R, Hu C Y, Shui Y Y, *et al.* Fish community structure and its relationships with environmental factors in the southern inshore waters of Wenzhou[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(2): 209-219(in Chinese).
- [4] 王淼,洪波,张玉平,等.春季和夏季杭州湾北部海域鱼类种群结构分析[J].水生态学杂志,2016,37(5):75-81.
Wang M, Hong B, Zhang Y P, *et al.* Spring and summer fish community structure in northern Hangzhou Bay[J]. Journal of Hydroecology, 2016, 37(5): 75-81(in Chinese).
- [5] Pauly D, David N. A BASIC program for the objective extraction of growth parameters from length-frequency data[J]. Reports on Marine Research, 1981, 28(4): 205-211.
- [6] 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.
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(in Chinese).
- [7] 罗海舟.龙头鱼主要生物学特性研究及资源状况分析[D].舟山:浙江海洋学院,2012.
Luo H Z. Study of main biology character and analysis of resource status on the *Harvodon nehereus*[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2012(in Chinese).
- [8] 林龙山.东海区龙头鱼数量分布及其环境特征[J].上海海洋大学学报,2009,18(1):66-71.
Lin L S. Spatial distribution and environmental characteristics of *Harpodon nehereus* in the East China Sea region[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(1): 66-71(in Chinese).
- [9] Firdaus M, Soemarno S, Bintoro G, *et al.* Growth and age structure of nomei (*Harpadon nehereus*, Ham. 1822) in Juata laut Waters of Tarakan Island, North Borneo, Indonesian[J]. International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR), 2017, 31(2): 208-218.
- [10] Khan M Z. Population dynamics of the Bombay duck, *Harpodon sehereus* (Ham.), off Saurashtra coast[J]. Indian Journal of Fisheries, 1989, 36(2): 93-101.
- [11] Ghosh S, Pillai N G K, Dhokia H K. Fishery and population dynamics of *Harpadon nehereus* (Ham.) off the Saurashtra coast[J]. Indian Journal of Fisheries, 2009, 56(1): 13-19.
- [12] Munro J L, Pauly D. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates[J]. Fishbyte, 1983, 1(1): 5-6.
- [13] Pauly D. Theory and management of tropical multi-species stocks. a review with emphasis on the South-east Asian demersal fisheries[J]. ICLARM Studies and Reviews No.1, 1979: 30-32.
- [14] Pauly D. Length-converted catch curves: a powerful tool for fisheries research in the tropics (Part 1)[J]. Fishbyte, 1983, 1(2): 9-13.
- [15] 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.
- [16] 唐渝.太湖湖鲢生长特征和临界年龄的研究[J].生态学杂志,1986,5(3):5-9,13.
Tang Y. Study on the growth character and critical age of *Coilia Ectenes Taihuensis*[J]. Journal of Ecology, 1986, 5(3): 5-9, 13(in Chinese).

- [17] Beverton J H, Holt S J. On the dynamics of exploited fish populations[M]. London: Her Majesty's Stationery Office, 1957.
- [18] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 31-34.
- Zhan B Y. Fish stock assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 31-34(in Chinese).
- [19] 林龙山, 程家骅, 凌建忠, 等. 东海区主要经济鱼类开捕规格的初步研究[J]. 中国水产科学, 2006, 13(2): 250-256.
- Lin L S, Cheng J H, Ling J Z, *et al.* First capture sizes of major commercial fishes in the East China Sea region[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(2): 250-256(in Chinese).
- [20] 陈国宝, 李永振, 陈丕茂, 等. 鱼类最佳体长频率分析组距研究[J]. 中国水产科学, 2008, 15(4): 659-666.
- Chen G B, Li Y Z, Chen P M, *et al.* Optimum interval class size of length-frequency analysis of fish[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(4): 659-666(in Chinese).
- [21] Bernard D R. Multivariate analysis as a means of comparing growth in fish[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1981, 38(2): 233-236.
- [22] 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]. 上海海洋大学学报, 2005, 14(1): 79-83.
- 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(in Chinese).
- [23] 黄良敏. 闽江口和九龙江口及其邻近海域渔业资源现状与鱼类多样性[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- Huang L M. Study on fishery resources and fish diversity in Minjiang River Estuary and Jiulong River Estuary and their adjacent waters[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011(in Chinese).
- [24] Gulland J A. Fish stock assessment: A manual of basic methods[M]. New York: Wiley, 1983: 869-870.
- [25] Pauly D, Morgan G R. Length-Based methods in fisheries research[M]. Manila Philippines: International Center for Living Aquatic Resources Management, Kuwait Institute for Scientific Research, 1987: 13.

Growth, mortality and optimum catchable size of Bombay duck (*Harpadon nehereus*) in the Wentai fishing ground, East China Sea

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

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

2. National Data Centre for Distant-Water Fisheries of China, Shanghai Ocean University, 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: Some traditional fishery resources in the East China Sea have showed an apparent decline trend over years and therefore, those subordinate economic species, such as *Harpadon nehereus*, have gradually become dominant species, which also has important economic value and plays a key role in local eco-system. During the period from November 2015 to August 2016, a total of 2611 samples of *H. nehereus* were collected in the Wentai fishing ground. Based on the length information recorded, an ELEFAN I technique was used to estimate growth and mortality parameters of *H. nehereus*, and an incomplete β function dynamic pool model was adopted to determine the catchable size and evaluate the exploitation conditions for *H. nehereus* resources. The results show that: the length-weight relationships of *H. nehereus* in the Wentai fishing ground was $W=0.0005L^{3.87}$ ($R^2=0.9067$), and this relationship was insignificantly different between females and males. The parameters of Von Bertalanffy Growth function for *H. nehereus* were $L_\infty=32.13$ cm, $K=0.39$ and $t_0=-0.69$, with the inflexion for body weight growth estimated at 2.78 years. The total mortality coefficient calculated with linear catch curve based on body length structure was 2.55, and the natural mortality coefficient estimated by Pauly's empirical equation was 0.66. Meanwhile, the fishing mortality coefficient was found to be 1.89 and the exploitation rate was 0.74. The dynamic pool model indicated the age of capture and the first catchable size should be increased, and the first catchable age and the corresponding capture length should be set at 1.15 years, and 16.5 cm, respectively.

Key words: *Harpadon nehereus*; growth parameters; catchable size; incomplete β function dynamic pool model; Wentai fishing ground

Corresponding author: TIAN Siquan. E-mail: sqtian@shou.edu.cn

Funding projects: Fishery Resources Survey in Zhejiang Province (Wentai Region) (158053)