

DOI: 10.12264/JFSC2021-0388

黄海南部小黄鱼种群动态和开发模式

严利平¹, 刘尊雷¹, 金艳¹, 程家骅¹, 熊瑛², 胡翠林³

1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业农村部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090;

2. 江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通 226007;

3. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316021

摘要: 小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)在中国的海洋渔业中占据重要的地位, 其种群动态和开发模式的信息更新对指导可持续管理至关重要。本研究利用 2018 年在黄海南部海域采集的小黄鱼长度-频率数据, 获取小黄鱼生长、死亡和种群状况的基础生物学参数, 其中, 总死亡系数源于长度转换渔获曲线的估算, 生物学参考点通过单位补充量渔获量或单位补充量生物量分析来预估; 利用渔获长度指标研判小黄鱼的开发模式。结果显示, 小黄鱼 von Bertalanffy 生长方程的渐近体长 $BL_{\infty}=29.26$ cm, 生长系数 $K=0.26/a$, 理论初始年龄 $t_0=-0.6326$ a; 总死亡系数 Z 、自然死亡系数 M 和捕捞死亡系数 F 分别为 $2.83/a$ 、 $0.52/a$ 和 $2.31/a$, 现行渔业开发率($E=0.82$)超过估算的生物学参考点($E_{\max}=0.67$), 证实小黄鱼种群超过了最佳开发水平, 处于过度开发状态。渔获长度指标进一步分析显示, 45.18%的渔获是在性成熟之前捕捞, 而巨型亲体占比仅为 0.47%, 表明该种群同时遭受生长型和补充型过度捕捞。Logistic 选择曲线分析表明, 小黄鱼渔获概率在 50%的选择全长为 13.75 cm。可持续的渔业管理需要提高首次开捕全长 L_c , 以接近最适捕捞全长 L_{opt} (19.2 cm)为目标。

关键词: 小黄鱼; 生长; 死亡; 过度捕捞; 长度指标

中图分类号: S932

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)07-0960-09

小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)为鲈形目(Perciformes)石首鱼科(Sciaenidae)的硬骨鱼类, 广泛分布于东海、黄海和渤海水域^[1], 其种群分布存在地理隔离, 分为渤海群、南黄海群和东海群 3 个地理群系, 其中南黄海群的数量最大^[2-4], 其昼夜栖息于近底层^[5]。20 世纪 90 年代以前小黄鱼曾是中、日、韩三国捕捞对象, 当前为中国和韩国所捕捞^[6-8]。据统计, 中国和韩国小黄鱼合计渔获量自 1991 年的 51968 t 迅猛上升至 2011 年历史最高的 458688 t^[9], 1996—2018 年中国的渔获量占比保持在 85.65%~97.10%^[9]。然而, 其性成熟提前、年龄组成缩短等生物学特征变化趋势表明小黄鱼种群资源已出现衰退迹象^[10-12]。小黄鱼在中国的主要捕捞方式为底拖网、张网、流刺网, 其在中国

的海洋渔业中占有重要地位^[1]。

鱼类的硬骨结构(例如鳞片、耳石)是研究温带鱼类年龄和生长的常用方法之一, 但它耗时、昂贵, 而且也难以获得最理想的判读年龄设备^[13-15]。因此, 长度-频率分析方法成为研究鱼类生长的一个可行选择^[15]。中国的研究者们曾基于长度-频率分析方法对分布于黄海和东海海域的小黄鱼生长和死亡进行了估算^[11-12, 16-20]。其中, 以南黄海群小黄鱼生长、死亡和开发利用的研究较多^[11-12, 16-19], 然而, 这些报道都见于 2010 年以前, 近 10 年来未见南黄海群小黄鱼的种群参数估算, 因此, 在目前的开发利用状况下需要更新这些信息, 可为后续的资源动态研究提供参考。同时, 除刘尊雷等^[18]利用在 Beverton and Holt 动态模型

收稿日期: 2021-09-29; 修订日期: 2022-01-15.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31802297); 农业农村部近海渔业资源调查项目(2018-2021).

作者简介: 严利平(1964-), 男, 研究员, 研究方向为渔业资源评估和管理. E-mail: yanlp@ecsf.ac.cn

通信作者: 程家骅, 研究员, 研究方向为渔业资源评估和管理. E-mail: ziyun@sh163.net

分析中预估的生物学参考点证实小黄鱼种群过度捕捞外, 其他研究者^[16-17, 19-20]都使用 Gulland^[21]建议的一般鱼类最适开发率为 0.5 的标准来判断小黄鱼是否处于过度捕捞状态, 但均未涉及过度捕捞类型的分析。Froese^[22]在 2004 年提出基于渔获长度指标的方法来评估渔业状况和趋势, Assefa 等^[23]利用 Froese 的这一方法分析了埃塞俄比亚塔纳湖的尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)种群的过度捕捞类型, 本研究以此方法对当前的小黄鱼处于何种开发模式进行研判, 以预判渔业风险和如何决策渔业管理措施。鉴于上述原因, 本研究根据在南黄海海域底拖网、帆张网和定置网渔获中收集并测定的小黄鱼体长数据, 运用 FiSAT 技术软件, 估算该种群的生长、死亡和种群状况的基础生物学参数, 并采用基于长度估计的生长参数评估小黄鱼的种群动态和开发模式, 以期小黄鱼资源的合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

胡成建^[24]报道了南黄海群和东海群以 32°00'N 为界的分布域, 它们的生长和死亡参数存在差异^[18]。本研究以南黄海群小黄鱼作为研究对象, 因而选择海域为黄海南部(32°00'N~35°00'N、123°00'~126°00'E)。为了增加群体样本的代表性和样本量, 采用在上述海域内主要捕捞方式(拖网、帆张网和定置网)渔获的小黄鱼作为样本, 这些渔具的囊网网目范围为 25~30 mm。由于这些渔具均为过滤性渔具, 其囊网网目偏小和相近, 进入囊网的小黄鱼幼鱼均能被捕获^[1], 无选择性可言。因此, 这些渔具渔获的小黄鱼长度组成能代表其群体组成结构, 可用来估算其生长并反映其渔业利用状况。取样时间为 2018 年, 测量每月随机取样的小黄鱼体长(BL), 精确到 0.1 cm, 每月测定尾数为 428~3463 尾, 共测量小黄鱼样本 10270 尾。由于在生长参数估算时使用全长(TL), 因此, 参考张国政等^[16]拟合的小黄鱼体长和全长关系式: $TL=0.9814BL+3.281$, 将体长转换到全长, 然后将数据以 1 cm 的恒定步长分组, 构建长度-频率表。

1.2 计算方法

1.2.1 生长、死亡和开发率 利用小黄鱼长度-频数估计生长参数, 假设小黄鱼的生长遵循 von Bertalanffy 生长模型, 其生长方程:

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

式中, L_t 为 t 龄时的全长(cm); L_{∞} 为渐近全长(cm); K 为生长系数(a^{-1}); t_0 为理论初始年龄(a)。

使用 Pauly 经验公式^[25]估算 t_0 :

$$\lg(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \lg L_{\infty} - 1.038 \lg K \quad (2)$$

使用 FiSAT II (FAO ICLARM Stock Assessment Tools II) 中的 ELEFAN I 程序来获取 von Bertalanffy 生长方程中的参数 L_{∞} 和 K 。以拟合优度指数值 R_n 为标准, 来确定“最佳”拟合长度-频数数据的生长曲线^[13], 具有最高 R_n 值的 L_{∞} 和 K 值被认为是“最佳”估计。

潜在寿命 $t_{\max}$ 的计算公式^[14]:

$$t_{\max} = 3 / K \quad (3)$$

估计最适捕捞全长 L_{opt} 使用 Beverton 公式^[26]:

$$L_{\text{opt}} = L_{\infty} \times [3 / (3 + M / K)] \quad (4)$$

利用 Froese 的渔获长度指标评估小黄鱼种群可持续性^[22]。指标 1: 性成熟个体的渔获比例(本研究取小黄鱼 50%性成熟体长 L_m 为 10.36 cm^[10]), 指在 $L_m \sim 10\% L_{\text{opt}}$ 间的渔获比例; 指标 2: 最适捕捞长度($-10\% L_{\text{opt}} \sim 10\% L_{\text{opt}}$)的渔获比例; 指标 3: 巨型亲体(大于 $10\% L_{\text{opt}}$)的渔获比例。

通过线性长度转换渔获曲线分析来确定总死亡率 Z ^[13]。估算时, 全长接近 L_{∞} 的大型鱼类样本被弃用, 因为它们会产生虚增的年龄和较低的 Z 值估计^[13-14, 27]。

估算自然死亡系数 M 采用 Pauly 经验公式^[25]:

$$\lg M = -0.0066 - 0.279 \lg L_{\infty} + 0.6543 \lg K + 0.4634 \lg T \quad (5)$$

式(2)~(5)中, K 和 L_{∞} 是 von Bertalanffy 方程的生长参数, T 是小黄鱼栖息水域的年平均温度, 其值取 13.6 °C^[16]。

捕捞死亡系数 F 计算式为: $F = Z - M$ 。渔业开发率 E 计算式为^[21]: $E = F / Z$ 。

1.2.2 捕获概率 通过线性长度转换渔获量曲线

的上升左支回推法来确定捕获概率, 利用 Logit 函数, 从渔获量曲线分析中得到捕获概率分别为 25%、50% 和 75% 时的选择全长 $L_{0.25}$ 、 $L_{0.5}$ 和 $L_{0.75}$ [13], 并以 $L_{0.5}$ 作为首次开捕长度 L_c , 该值与 L_∞ 之比用于 Beverton and Holt 动态模型的分析中。

1.2.3 单位补充量相对渔获量 Y'/R 或单位补充量相对生物量 B'/R 在 Beverton and Holt 动态模型的 Y'/R 和 B'/R 分析中, 利用刀型选择程序作为开发率的函数, 并根据计算的 L_c/L_∞ 和 M/K 值导出生物学参考点 E_{max} (单位补充量相对渔获量最大值时的开发率)、 $E_{0.1}$ (在 $E=0$ 时, 单位补充量相对渔获量的边际增长率为其值的十分之一) 和 $E_{0.5}$ (生物量已减少到未开发生物量 50% 的开发率), 这些参考点的计算由 Pauly 等 [28] 修正并整合

到 FiSAT II 软件中 [13]。

2 结果与分析

2.1 生长、死亡和开发率

2018 年小黄鱼 von Bertalanffy 全长生长曲线如图 1 所示。生长曲线上的蓝线表明研究区域的小黄鱼种群中存在 7 个组别, 较小组别的个体 (<10 cm) 生长快于较大组别的个体 (>16 cm)。估算的 VBG 参数 $L_\infty=32$ cm (TL)、 $K=0.26/a$ 、 $t_0=-0.6326$ a。 $R_n=0.075$, $t_{max}=12$ a。中国学者通常使用小黄鱼的体长来描述生长方程, 按张国政等 [16] 提供的公式, 将渐近全长换算成渐近体长, 则 von Bertalanffy 体长生长方程: $L_t=29.26\{1-\exp[-0.26(t+0.6326)]\}$ 。

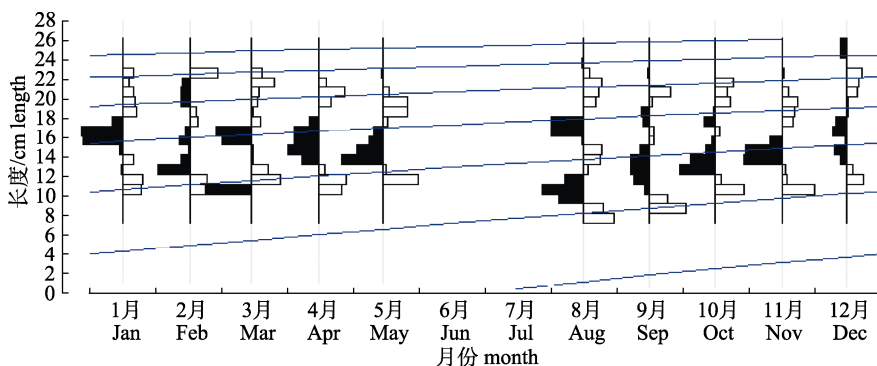


图 1 由 ELEFAN I 叠加在长度频数分布上的 2018 年南黄海群小黄鱼 von Bertalanffy 生长曲线

Fig. 1 Von Bertalanffy growth curve of *Larimichthys polyactis* of the Southern Yellow Sea population superimposed on length-frequency distribution ($L_\infty=32$ cm; $K=0.26/a$) by ELEFAN I in 2018

通过线性长度变换渔获曲线法估算 Z , 选择进入全面补充年龄段的 10 个点进行线性回归(图 2), 回归曲线斜率的绝对值即为小黄鱼的 Z , Z 为 $2.83/a$, 95% 的置信区间为 $2.36\sim 3.29$ 。计算的 M 为 $0.52/a$ 。因此, F 为 $2.31/a$, E 为 0.82 (表 1)。

2.2 捕捞概率

南黄海群小黄鱼的捕捞概率如图 3 所示, 首次开捕全长 L_{50} (L_c) 为 13.75 cm, 25% 和 75% 时的选择全长 L_{25} 、 L_{75} 分别为 12.85 cm、14.66 cm (表 1)。

2.3 单位补充量相对渔获量、单位补充量相对生物量和 Froese 指标

由单位补充量相对渔获量 Y'/R 和单位补充量相对生物量 B'/R 预测分析显示, 获得最大 Y'/R 时对应的 $E_{max}=0.67$, 估计的 $E_{0.1}$ 和 $E_{0.5}$ 分别为 0.57

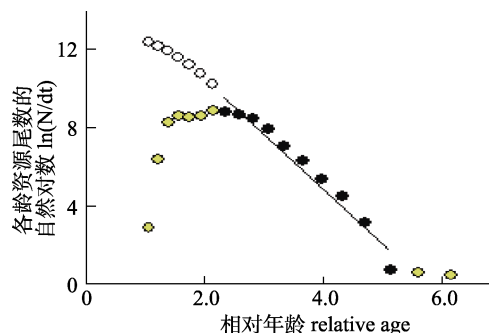


图 2 南黄海群小黄鱼体长变换渔获曲线

黄点和黑点代表了各龄资源尾数的自然对数, 其中黑点用于计算总死亡率, 白点为对应黄点的回推值。

Fig. 2 The length-converted catch curve of *Larimichthys polyactis* of the Southern Yellow Sea population. The yellow and black dots represented the natural logarithm of number at each age, black dots were considered for calculating total mortality, white dots were the backward extrapolation values of the corresponding yellow dots.

表 1 南黄海群小黄鱼种群生物学的基本信息

Tab. 1 Fundamental information on the population biology of *Larimichthys polyactis* of the Southern Yellow Sea population

参数 parameter	估计值 estimated value	参数 parameter	估计值 estimated value
渐近全长 L_{∞}	32 cm	50%选择全长 L_{50} (L_c)	13.75 cm
生长系数 K	0.26/a	25%选择全长 L_{25}	12.85 cm
理论初始年龄 t_0	-0.6326 a	75%选择全长 L_{75}	14.66 cm
潜在寿命 $t_{\max}$	12 a	最适捕捞全长 L_{opt}	19.2 cm
总死亡率 Z	2.83/a	初次性成熟全长 L_m	13.45 cm
自然死亡系数 M	0.52/a	大于初次性成熟全长的渔获比例	54.82%
捕捞死亡系数 F	2.31/a	proportion of the catch greater than the total length at maturity	
渔业开发率 E	0.82	最适捕捞全长的渔获比例	12.88%
参考点开发率 $E_{\max}$	0.67	proportion of the catch for optimum total length of the catch	
参考点开发率 $E_{0.1}$	0.57	巨型亲体比例	0.47%
参考点开发率 $E_{0.5}$	0.34	proportion of mega-spawners	

注: L_m 引自文献[10]的体长, L_m 已换算到全长。
Note: L_m was quoted from the body length in reference [10], and L_m had been converted to the total length.

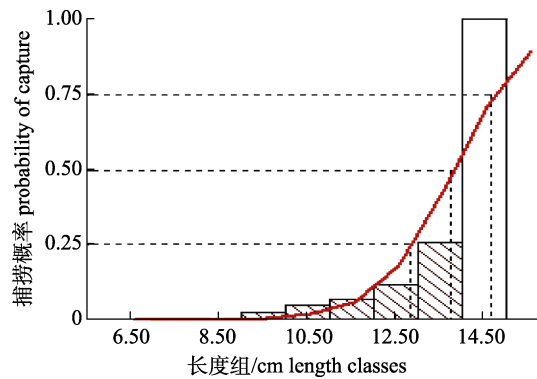


图 3 南黄海群小黄鱼捕捞概率的 Logistic 选择曲线
Fig. 3 Logistic selection curve for probability of capture of *Larimichthys polyactis* of the Southern Yellow Sea population

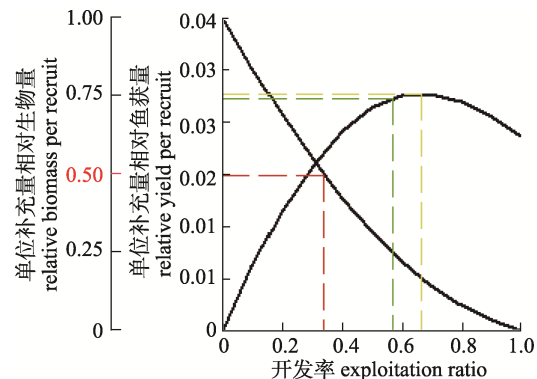


图 4 南黄海群小黄鱼单位补充量相对渔获量和单位补充量相对生物量曲线
黄线表示 $E_{\max}$ 时的相对渔获量; 绿线表示 $E_{0.1}$ 时的相对渔获量; 红线表示 $E_{0.5}$ 时的相对生物量。

Fig. 4 Relative yield-per-recruit (Y'/R) and relative biomass-per-recruit (B'/R) curves of *Larimichthys polyactis* of the Southern Yellow Sea population
Yellow line represented relative yield at $E_{\max}$; green line represented relative yield at $E_{0.1}$; and red line represented relative biomass at $E_{0.5}$

和 0.34 (图 4)。渔业开发率($E=0.82$)高于最适开发率($E_{\max}$)。

计算的最适捕捞全长 L_{opt} 为 19.2 cm, 以此来计算 Froese 的渔获长度指标值(图 5)。在捕捞群体中, 幼鱼渔获占比达 45.18%, 初次性成熟至 $-10\% L_{\text{opt}}$ 个体占比和 L_{opt} 范围的渔获占比为 41.45%和 12.88%, 而巨型亲体仅占整个渔获样本的 0.47%。

3 讨论

3.1 种群动力学动态

本研究估算的小黄鱼渐近全长为 32 cm (渐近体长为 29.26 cm), 这一结果比 Lee 等^[29]报道的毗邻韩国近海水域 2011—2013 年流刺网捕获的最

大全长(34 cm)略小, L_{∞} 的估值符合渔业现实, 估算的生长参数为 0.26/a, 满足 $e^{-k(0.77)} < 1$ 理论^[30], K 值估算可信, 表明本研究的 von Bertalanffy 方程能表达小黄鱼的生长情况。比较以往研究者估算的小黄鱼种群生长参数(表 2), 本研究估算的小黄鱼渐近体长小于 20 世纪 60 年代, 接近于 80 年代, 但大于 90 年代和 21 世纪 00 年代, 渐近体长呈现先降后升的态势, 小黄鱼的生物学特征出现

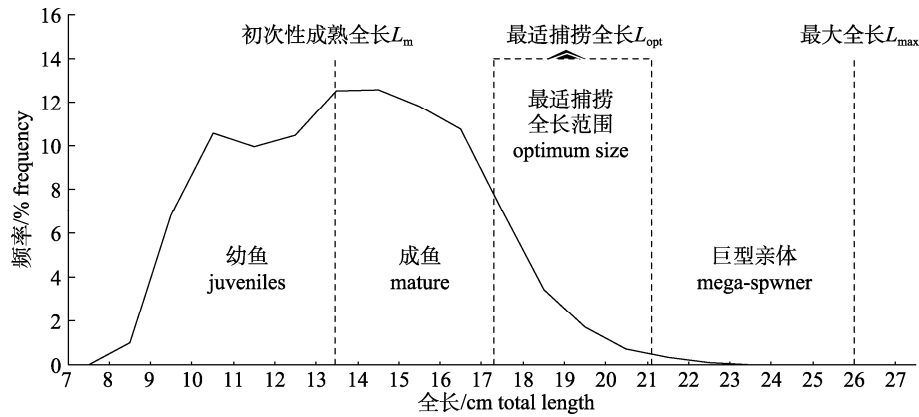


图 5 南黄海群小黄鱼各长度组频率及 Froese 长度指标

L_m 表示首次成熟时的长度; L_{opt} 表示可以获得最佳产量的长度范围; L_{max} 是目前鱼类样本中记录的最大尺寸。

Fig. 5 Length frequency and Froese length-based size indicators (plotted) of *Larimichthys polyactis* of the Southern Yellow Sea population

L_m indicated length at first maturity; L_{opt} indicated length range where optimum yield could be obtained; and L_{max} was maximum recorded size in present fish samples.

表 2 使用 ELEFAN 方法估算的黄海小黄鱼生长和死亡参数比较

Tab. 2 Summary of von Bertalanffy growth parameters, mortality and exploitation rates of *Larimichthys polyactis* in the Yellow Sea estimated by ELEFAN method

区域 location	渐近体长/cm L_{∞}	生长系数/ a^{-1} K	理论初始年 龄/ $a t_0$	总死亡系数 / $a^{-1} Z$	捕捞死亡系 数/ $a^{-1} F$	自然死亡系 数/ $a^{-1} M$	现行开 发率 E	文献 reference
黄海水域(1960) Yellow Sea	34.21	0.26	-0.58	0.51	0.27	0.24	0.47	[19]
黄海水域(1985) Yellow Sea	30.17	0.40	-0.37	1.80	1.47	0.33	0.81	[19]
黄海水域(1998) Yellow Sea	25.54	0.48	-0.30	2.84	2.45	0.39	0.86	[19]
黄海南部(2006) south Yellow Sea	22.647	0.39	-0.80	1.81	1.42	0.39	0.78	[18]
黄海水域(2008) Yellow Sea	27	0.45	-0.47	2.40	1.63	0.77	0.68	[16]
黄海南部(2018) south Yellow Sea	29.26	0.26	-0.63	2.83	2.31	0.52	0.82	本研究 this study

可逆现象^[10], 这反映出中国 20 世纪 90 年代以来实施的伏季休渔制度^[31]和韩国 21 世纪 10 年代以来实施的渔业资源恢复计划^[8]的共同管理效应。本研究估算的生长系数与 20 世纪 60 年代相当, 小于 20 世纪 80 年代至 21 世纪 00 年代, 呈现出生长系数由资源丰盛期(20 世纪 60 年代)至衰退期^[10](20 世纪 80 年代—21 世纪 00 年代)处于加速、恢复期至资源丰厚期^[10](21 世纪 00—10 年代)出现减缓的可逆特性, 这也证实了小黄鱼依赖于资源密度的生长规律^[32]。

本研究估算的小黄鱼 Z 、 F 和 E 与以往估算值相比, 明显高于 1960 年的对应指标值, 在

1985、1998、2006 和 2008 年估算的对应指标值波动范围内(表 2)。可见, 这些指标值自 80 年代以来持续在高位水平波动, 表明小黄鱼种群资源自 80 年代以来一直承受着捕捞压力。本研究估算的小黄鱼 M 值高于 1960、1985、1998 和 2006 年, 低于 2008 年(表 2), 总体趋势呈现随年代的延后而上升, 较 Lee 等^[29]报道的韩国水域小黄鱼 M 值(0.46/a)略高。当前小黄鱼年龄组成序列缩短, 低龄鱼占主导^[10], 最大寿命由 1961 年的 23 龄^[6]降至本研究估算的 12 龄, 必然引起 M 值升高。本研究计算的 M/K 值为 2, 符合 Beverton 等^[33]报道的大多数鱼类在 1.5~2.5 范围内的理论, 并有证据表

明, 捕捞压力增加诱导了鱼类生活史进化, 会导致高的鱼类 M 值^[34-35], 由此认为估算的 M 值是可靠的。

本研究中, 小黄鱼的现行开发率($E=0.82$)大于目标参考点($E_{\max}=0.67$), 表明该种群处于过度开发状态。通常, $E_{\max}$ 被视为短生命种类的“目标”和“极限”参考点, 然而, Hoggarth 等^[36]建议, 由于 $E_{0.1}$ 比 $E_{\max}$ 更谨慎、更适用, 所以将其作为目标参考点, 因此, 小黄鱼渔业的捕捞压力应由目前的 E (0.82)降至 $E_{0.1}$ (0.57)作为预防性生物学参考点。

3.2 开发模式评估

根据 Froese 的渔获长度指标及其可持续利用建议^[22]: (1)为了维持健康的繁殖种群, 捕捞个体应该全部达到性成熟(指标 1), 然而, 小黄鱼成熟个体占比仅为 41.45%, 未产卵的幼鱼个体占比达 45.18%, 大量未成熟个体被捕捞很大程度上减少了整个世代的亲体数量, 意味着该种群的总体繁殖能力降低。Froese 等^[37]认为在渔业中亲体数量减少并出现资源衰退情况归因于补充型过度捕捞, 面对小黄鱼生物学性状表征呈现资源衰退迹象的事实^[10-12], 以此分析认为当前的小黄鱼已处于补充型过度捕捞; (2)整个渔获个体应在性成熟至最适捕捞长度的范围内(指标 2), 但小黄鱼在性成熟全长(>13.45 cm)和最适捕捞全长(<21.12 cm)间的渔获占比为 54.33%, 表明该种群已处于生长型过度捕捞; (3)在没有巨型个体捕捞限制的区域, 渔获群体可反映种群的年龄和长度结构, 30%~40% 的巨型亲体代表着理想的健康结构(指标 3), 巨型亲体的占比可以被看作是对随机事件恢复力的一个简单指标, 而巨型小黄鱼只占样本的 0.47%, 这一极低的数值反映了该种群的可怕状况, 表明小黄鱼的年龄结构或长度结构显示不健康的迹象。以此分析, 在面临随机事件(如环境因子的不利组合而导致补充失败)和难以承受捕捞压力时, 小黄鱼的恢复能力很低。实施巨型个体的捕捞限制可以促进种群资源的恢复, 提高渔业的可持续性, 目前中国对上岸的目标种类没有过大个体限制, 并且, 中国的渔港码头销售点分散, 这种管理方案很难付诸实施。

通过 Froese^[22]提出的渔获长度指标可判别目标种群的过度开发类型, 这 3 个简单的指标可以用来监测现行开发情况下的种群状况, 以避免生长型和补充型过度捕捞, 因此, 源自于本研究的这些指标值可作为今后比较和决策的一个有价值的参考点。如果按 Froese 的这些简单指标能够得到执行, 那么渔获量就可以预期增加, 过度捕捞可能会成为例外, 而不是常态。

3.3 渔业风险预警和管理建议

Haddon^[38]指出, 在某一渔业中造成补充型过度捕捞的后果就是渔业资源的循环下降, 直至该种群的崩溃。针对本研究所显示的小黄鱼面临补充型过度捕捞的现状, 如继续以目前的模式开发, 小黄鱼种群资源存在着崩溃的风险, 应引起高度警惕。

当前的拖网、帆张网和定置网等小黄鱼渔业对该种群产生了捕捞压力, 且面临着补充型和生长型过度捕捞的渔业现状, 因此, 小黄鱼管理措施应着重于提高首次开捕全长 L_c (13.45 cm), 以接近最适捕捞全长 L_{opt} (19.2 cm)为目标, 避免补充型和生长型过度捕捞的发生, 降低捕捞强度, 使其达到最佳的开发率水平。这一目标可以通过严格执行国家颁布的拖网等囊网网目尺寸规定和小黄鱼最小可捕标准、单船帆张网和定置网的携带网具数量限制、减少渔船数量来实现。

参考文献:

- [1] Zhang Q H, Cheng J H, Xu H X, et al. The Fishery Resources and Its Sustainable Utilization in the East China Sea Region[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2007: 170-183, 542-543. [张秋华, 程家骅, 徐汉祥, 等. 东海区渔业资源及其可持续利用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2007: 170-183, 542-543.]
- [2] Lin X Z, Deng S M, Huang Z Y. Study of population on biometrics of small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis* Bleeker)[C]//Collections of Marine Fishery Resources. Beijing: Agriculture Press, 1965: 84-108. [林新濯, 邓思明, 黄正一. 小黄鱼种族生物学测定的研究[C]//海洋渔业资源论文选集. 北京: 农业出版社, 1965: 84-108.]
- [3] Aquatic Bureau of Ministry of Agriculture and Yellow Sea Fishery Command Department of Ministry of Agriculture. The Investigation and Regionalization of Fishery Resources

- in the Yellow Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 1990: 191-200. [农业部水产局、农业部黄海区渔业指挥部. 黄渤海区渔业资源调查和区划[M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 191-200.]
- [4] Meng Z N, Zhuang Z M, Jin X S, et al. Genetic diversity in small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*) by RAPD analysis[J]. Chinese Biodiversity, 2003, 11(3): 197-203. [蒙子宁, 庄志猛, 金显仕, 等. 黄海和东海小黄鱼遗传多样性的 RAPD 分析[J]. 生物多样性, 2003, 11(3): 197-203.]
- [5] Yan L P, Lin L S, Zhang H Y, et al. Statistic analysis on circadian difference of catch rate of small yellow croaker of the southern Yellow Sea school[J]. Marine Fisheries, 2008, 30(2): 114-119. [严利平, 林龙山, 张寒野, 等. 南黄海区小黄鱼昼夜渔获率差异的统计学分析[J]. 海洋渔业, 2008, 30(2): 114-119.]
- [6] Aquatic Bureau of Ministry of Agriculture. Investigation and Regionalization of Fishery Resources in the East China Sea Region[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1987: 339-356. [农牧渔业部水产局. 东海区渔业资源调查和区划[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1987: 318-356.]
- [7] Choo W I. A summary report on yellow croaker in Korea[M]//Marr J C. The Kuroshio: A Symposium On the Japan Current. Honolulu: East West Center Press, 1970: 493-496.
- [8] Lee S G, Rahimi Midani A. National comprehensive approaches for rebuilding fisheries in South Korea[J]. Marine Policy, 2014, 45: 156-162.
- [9] FAO. Fishery and Aquaculture Statistics. Global Capture Production 1950-2018 (FishstatJ). Updated 2021[R/OL]. Rome: FAO Fisheries and Aquaculture Department, 2020. www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en.
- [10] Yan L P, Liu Z L, Zhang H, et al. On the evolution of biological characteristics and resources of small yellow croaker[J]. Marine Fisheries, 2014, 36(6): 481-488. [严利平, 刘尊雷, 张辉, 等. 小黄鱼生物学特征与资源数量的演变[J]. 海洋渔业, 2014, 36(6): 481-488.]
- [11] Lin L S, Cheng J H. An analysis of the current situation of fishery biology of small yellow croaker in the East China Sea[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2004, 34(4): 565-570. [林龙山, 程家骅. 东海区小黄鱼渔业生物学现状的分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2004, 34(4): 565-570.]
- [12] Lin L S, Cheng J H, Ren Y P, et al. Analysis of population biology of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* in the East China Sea region[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(4): 333-338. [林龙山, 程家骅, 任一平, 等. 东海区小黄鱼种群生物学特性的分析[J]. 中国水产科学, 2004, 11(4): 333-338.]
- [13] Gayanilo F C, Sparre P, Pauly D. FAO/ICLARM stock assessment tools II (FiSAT II) revised version-user's guide[R]// FAO computerized information series-fisheries(No.8). Rome, Italy: FAO, 2005.
- [14] Pauly D. Fish population dynamics in tropical waters: A manual for use with programmable calculators[R]. ICLARM Studies and Reviews 8. Manila, Philippines: International Center for Living Aquatic Resources Management. 1984: 1-325.
- [15] Sparre P, Venema S C. Introduction to tropical fish stock assessment[R]. FAO fisheries technical paper. Rome, FAO: FAO. 1998: 1-55.
- [16] Zhang G Z, Li X S, Jin X S, et al. Growth, mortality and optimum catchable size of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis* Bleeker) in the Southern Yellow Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(4): 839-846. [张国政, 李显森, 金显仕, 等. 黄海南部小黄鱼生长、死亡和最适开捕体长[J]. 中国水产科学, 2010, 17(4): 839-846.]
- [17] Wang Y, Wang Y B, Zheng J, et al. A preliminary study on biology of main commercial fishes surveyed from the single otter trawl fisheries in Zhoushan fishing ground outside the forbidden fishing line[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2011, 30(5): 416-419. [王洋, 王迎宾, 郑基, 等. 舟山渔场禁渔线以外海域单拖网渔业主要经济鱼类生物学的初步研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2011, 30(5): 416-419.]
- [18] Liu Z L, Xie H Y, Yan L P, et al. Comparative population dynamics of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in Southern Yellow Sea and East China Sea[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(6): 627-632. [刘尊雷, 谢汉阳, 严利平, 等. 黄海南部和东海小黄鱼资源动态的比较[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(6): 627-632.]
- [19] Shan X J, Li X S, Yang T, et al. Biological responses of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) to multiple stressors: A case study in the Yellow Sea, China[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2017, 36(10): 39-47.
- [20] 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.]
- [21] Gulland J A. Fish stock assessment: A manual of basic method[J]. FAO/Wiley Series on Food and Agriculture, 1984, 8(1): 68-69.

- [22] Froese R. Keep it simple: Three indicators to deal with overfishing[J]. *Fish and Fisheries*, 2004, 5(1): 86-91.
- [23] Assefa W W, Wondie A, Enyew B G. Population dynamics and exploitation patterns of *Oreochromis niloticus* in Lake Tana, northwest Ethiopia[J]. *Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use*, 2019, 24(4): 344-353.
- [24] Hu C J. Discussion on the division of geographic populations for the small yellow croaker in the southern Yellow Sea according to Shengsi country outside fishing information combining with Yellow Sea and the East China Sea fishery reports[J]. *Marine Fisheries*, 1998, 20(1): 29-31, 35. [胡成建. 从嵊泗县线外船捕捞结合黄海东海渔况速报谈南黄海族小黄鱼的划分[J]. *海洋渔业*, 1998, 20(1): 29-31, 35.]
- [25] 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.
- [26] Beverton R J H. Patterns of reproductive strategy parameters in some marine teleost fishes[J]. *Journal of Fish Biology*, 1992, 41(s): 137-160.
- [27] Hicks C C, McClanahan T R. Assessing gear modifications needed to optimize yields in a heavily exploited, multi-species, seagrass and coral reef fishery[J]. *PLoS ONE*, 2012, 7(5): e36022.
- [28] Pauly D, Sorino M L. Some practical extensions to Beverton and Holt's relative yield-per-recruit model[C]// Maclean J L, Dizon L B, Hosillos L V. First Asian Fisheries Forum. Manila, Philippines: Asian Fisheries Society, 1986: 149-495.
- [29] Lee J H, Seo Y I, Oh T Y, et al. Estimations on population ecological characteristics of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* by the drift gillnet fishery in Korean waters[J]. *Journal of the Korean Society of Fisheries Technology*, 2013, 49(4): 440-448.
- [30] Fei H N, Zhang S Q. Aquatic Resources Science[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1990: 240-275. [费鸿年, 张诗全. 水产资源学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990: 240-275.]
- [31] Yan L P, Liu Z L, Jin Y, et al. Effects of prolonging the trawl net summer fishing moratorium period in the East China Sea on the conservation of fishery resources[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(1): 118-123. [严利平, 刘尊雷, 金艳, 等. 延长拖网伏季休渔期的渔业资源养护效应[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(1): 118-123.]
- [32] Yan L P, Hu F, Ling J Z, et al. Study on age and growth of *Larimichthys polyactis* in the East China Sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2006, 36(1): 95-100. [严利平, 胡芬, 凌建忠, 等. 东海北部和黄海南部小黄鱼年龄与生长的研究[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2006, 36(1): 95-100.]
- [33] Beverton R J H, Holt S J. A review of the lifespans and mortality rates of fish in nature, and their relation to growth and other physiological characteristics[M]//Ciba Foundation Symposium - The Lifespan of Animals (Colloquia on Ageing, Vol. 5). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2008: 142-180.
- [34] Jørgensen C, Holt R E. Natural mortality: Its ecology, how it shapes fish life histories, and why it may be increased by fishing[J]. *Journal of Sea Research*, 2013, 75: 8-18.
- [35] Swain D P. Life-history evolution and elevated natural mortality in a population of Atlantic cod (*Gadus morhua*)[J]. *Evolutionary Applications*, 2011, 4(1): 18-29.
- [36] Hoggarth D D, Abeyasekera S, Arthur R, et al. Stock assessment for fishery management: A framework guide to the use of the FMSP fish stock assessment tools[R]//FAO Fisheries Technical Paper. No. 487. Rome, Italy: FAO, 2006.
- [37] Froese R, Binohlan C. Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data[J]. *Journal of Fish Biology*, 2000, 56(4): 758-773.
- [38] Haddon M. Modelling and Quantitative Methods in Fisheries (2nd Edition) [M]. CRC Press, 2011: 57-58.

Population dynamics and exploitation patterns of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in the Southern Yellow Sea

YAN Liping¹, LIU Zunlei¹, JIN Yan¹, CHENG Jiahua¹, XIONG Ying², HU Cuilin³

1. Key Laboratory of East China Sea Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;
2. Marine Fisheries Research Institute of Jiangsu Province, Nantong 226007, China;
3. Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China

Abstract: Small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) plays an important role in marine fisheries in China. However, information on the population dynamics and exploitation patterns of *L. polyactis* is required to enable its sustainable management. The present study aimed to generate essential biological parameters that affect the growth, mortality, and stock status of *L. polyactis* using length-frequency data collected from the Southern Yellow Sea in 2018. The total mortality coefficient (Z) was derived from the length-converted catch curve. Further, biological reference points were predicted from yield- and biomass-per-recruit analyses. The exploitation patterns of *L. polyactis* were also evaluated using size-based indicators. The following growth parameters of the von Bertalanffy growth equation were estimated: $BL_{\infty}=29.26$ cm, $K=0.26/a$, and $t_0=-0.6326$ a. The total mortality (Z), natural mortality (M), and fishing mortality (F) rates were 2.83, 0.52, and 2.31 per year, respectively. The current fishery exploitation rate ($E=0.82$) was higher than the estimated biological reference points ($E_{\max}=0.57$), confirming the over-exploitation of *L. polyactis* in the Southern Yellow Sea. Size indicators of the catches further revealed that 45.18% of the catches were harvested before sexual maturity was achieved, with mega-spawners comprising only 0.47%. This finding indicates that the stock suffered both from growth overfishing and recruitment overfishing. Based on the Logistic selection model, the estimated total length with a 50% probability of capture was 13.75 cm. For the effective and sustainable management of fisheries, fish size at first capture (L_c) must be increased to achieve the optimal capture total length ($L_{opt}=19.2$ cm).

Key words: *Larimichthys polyactis*; growth; mortality; overfishing; size-based indicator

Corresponding author: CHENG Jiahua. E-mail: ziyun@sh163.net