

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.19004

浙江南部近海小黄鱼生长、死亡和单位补充量渔获量

高春霞^{1, 2, 3, 5}, 麻秋云^{1, 2, 3}, 田思泉^{1, 2, 3, 4}, 戴小杰^{1, 2, 3, 4, 5}, Richard Kindong^{1, 5},
苟鑫¹, 蓝洁¹

1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;
2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;
3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;
4. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306;
5. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306

摘要: 浙江南部近海是东海种群小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)的重要繁殖和育肥场所。根据2016年2月、5月、8月和11月采集的2023尾浙江南部近海小黄鱼全长、体长和体重等生物学信息, 利用体长频率分布估算小黄鱼种群生长、死亡参数, 并利用Beverton-Holt动态综合模型评估探讨单位补充量渔获量在不同自然死亡系数和渔具选择下随捕捞死亡系数的变化趋势。研究结果表明小黄鱼 von Bertalanffy 生长参数为渐近体长 $L_{\infty}=22.58$ cm, 生长速率 $K=0.78/a$, 初始年龄 $t_a=-0.37$ a; 自然死亡系数 M 值为 1.343, 总死亡系数 Z 值为 4.432, 捕捞死亡系数 F 为 3.089, 开发率 E 为 0.697, 表明资源处于过度开发状态; 小黄鱼的首次捕捞体长 $L_{50}=13.11$ cm, 对应首次捕捞平均年龄 $t_c=0.743$ a, 小于临界年龄(0.886 a)和体重生长的拐点年龄(0.979 a), 渔业主要捕捞对象为幼鱼和补充群体, 无法保证资源的有效补充; 根据 B-H 动态模型, 当前的 YPR 值为 15.279 g/ind, 若降低捕捞强度到 1.685, 对应 YPR_{max} 为 17.061 g/ind, 与当前产量相比增幅 11.66%; 若提高开捕体长(13.11 cm \rightarrow 16.0 cm), YPR_{cur} 会出现显著提高(15.279 g/ind \rightarrow 18.766 g/ind), 增幅达 22.82%, 表明提高开捕体长要优于降低捕捞强度。当前东海小黄鱼群系处于小型低龄化和过度开发状态, 建议将小黄鱼的开捕体长提高为 15 cm, 保证小黄鱼的产卵亲体量及资源的可持续发展。

关键词: 小黄鱼; 生长; 死亡; 单位补充量渔获量; 浙江南部近海

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)05-0925-13

浙江南部近海地处温州和台州近海, 包括温台渔场(27°00'N~28°00'N, 125°00'E 以西至机轮拖网禁渔线之间海域)及其附近海域, 属于东海中南部核心水域, 暖温带海区, 西侧受长江、钱塘江径流为主的浙江沿岸流影响, 营养盐类丰富; 东侧受台湾暖流和黑潮次表层水影响, 气候温和^[1-3]。适宜的温度和丰富的营养盐类使该海域的浮游生物饵料丰富, 众多游泳生物在此处产卵和索饵, 历史上是东海小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)种群的

重要繁殖和越冬场所^[4]。

小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)隶属于鲈形目(Perciformes), 石首鱼科(Sciaenidae), 黄鱼属, 暖温性近底层鱼类, 广泛分布于中国东海、黄海和渤海水域^[3]。根据生物学特征差异以及种群遗传结构分析, 普遍认为其存在地理种群隔离, 分为黄渤海群、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^[5-7]。小黄鱼作为中国重要的渔业高产值种类, 长期占据着重要的渔业地位,

收稿日期: 2019-01-09; 修订日期: 2019-03-13.

基金项目: 浙江省渔业资源专项调查(158053); 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室开放基金项目(200908); 上海市大学生创新创业训练计划(201810).

作者简介: 高春霞(1988-), 女, 博士研究生, 渔业生态、渔业资源评估和管理研究. E-mail: cxgao@shou.edu.cn

通信作者: 田思泉, 教授, 海洋生态学、渔业资源评估和管理研究. E-mail: sqtian@shou.edu.cn

是近海生态系统中的关键种类。20 世纪 70 年代小黄鱼资源开始衰退, 至 90 年代在伏季休渔政策有效管理下资源开始恢复, 东海区年产量保持在 $1.3 \times 10^5 \sim 1.4 \times 10^5$ t^[8]; 然而林龙山^[9]研究认为, 当前东海区小黄鱼的捕捞资源主要源于当年生补充群体, 捕捞强度居高不下导致高捕捞产量, 且在持续的高捕捞强度下, 小黄鱼资源已经表现出明显的渔获结构小型化、性成熟提前、低龄化的生物学特征转变现象^[9-12], 表征当前的种群稳态平衡十分脆弱, 亟须制定有效的管理和保护措施确保资源可持续。

迄今, 对东海区小黄鱼种群的研究有生物学特征分析、洄游路径、资源分布与栖息环境关系及资源评估和管理策略等^[4, 8-16], 其中年龄、生长和死亡等生物学特征多来自于林龙山等^[9-14]在 2000—2008 年所做研究, 研究区域集中在东海中北部海域, 近年来已鲜有报道; 同时, 有关浙江南部近海小黄鱼的生长、死亡和资源状况研究仍缺乏, 因此本研究采用 2016 年温台渔场及邻近海域 4 个季度的调查数据, 利用长度频率分析方法估算小黄鱼的生长、死亡参数, 并通过 Beverton-Holt 动

态综合模型评估种群资源的利用状况, 旨在为制定合理的渔业管理政策提供科学的信息和依据, 实现资源可持续发展和维持海洋生态平衡。

1 材料与方法

1.1 采样地点、时间和方法

2016 年 2 月、5 月、8 月和 11 月在浙江南部近海海域 ($120.93^\circ\text{E} \sim 122.95^\circ\text{E}$, $27.21^\circ\text{N} \sim 28.97^\circ\text{N}$) 利用大型单船网板底拖作业船根据《海洋调查规范》第 6 部分: 海洋生物调查 GB/T 12763.6-2007^[17] 开展定点拖网调查(图 1), 调查船为浙洞渔 10109, 总吨位 800 t, 主机马力 540 hp, 全网长约 95 m, 底纲和浮子纲长度 80 m, 网囊网目 2 cm, 调查期间平均船速为 (3.18 ± 0.27) kt, 平均拖时 (0.89 ± 0.46) h, 调查渔获以冷冻保存方式带回至实验室分析。在实验室内对渔获物进行种类鉴定^[18]和生物学测定。小黄鱼每站随机选择 30 尾测定, 不足 30 尾的全部测定, 生物学测定包括全长、体长、体重等, 全长、体长测定精确到 0.1 cm, 体重测定精确到 0.1 g。体长数据按月以 1 cm 的间距组成体长频率时间序列。

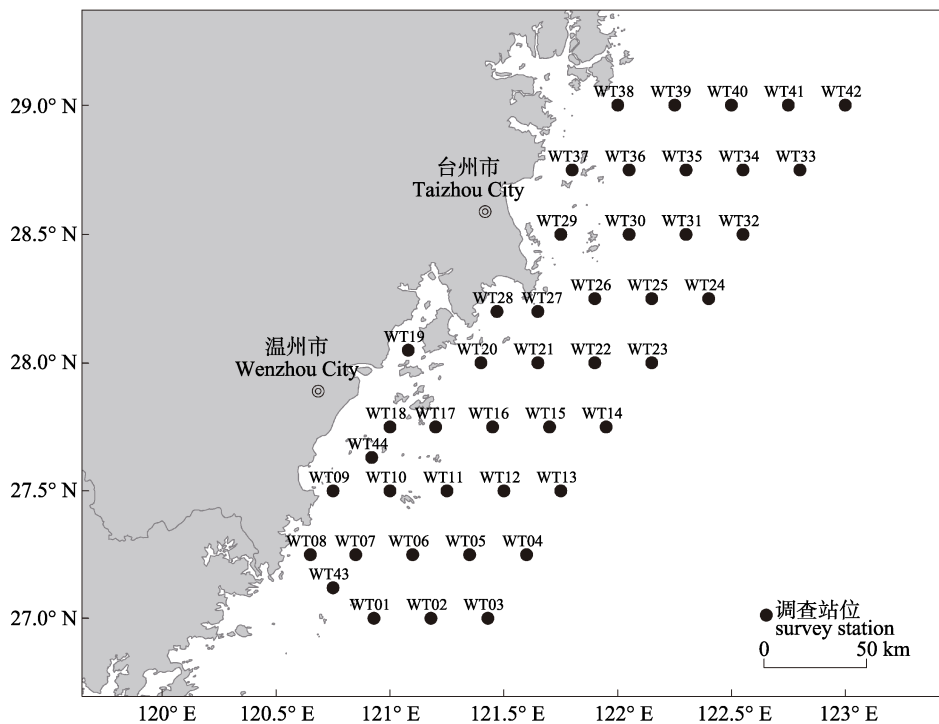


图 1 浙江南部近海调查站点

Fig. 1 Survey stations in offshore waters of southern Zhejiang

1.2 数据分析方法

1.2.1 体长和体重关系 按照 1 cm 组距进行小黄鱼体长频次分析, 定义占样品总尾数 10% 以上的体长组为优势体长组。

采用幂函数关系拟合体长和体重关系, 表达式为

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

式中, W 表示体重(g); L 表示长度(cm); a 为条件因子; b 为幂指数。

1.2.2 生长、死亡参数的估算 以小黄鱼体长频率时间序列为数据, 利用 FAO 开发的 FiSAT II 软件 ELEFAN I^[19](electronic length frequency analysis I) 技术估算生长参数和拟合生长曲线, 取生物学上合理且拟合优度(score)尽量大的数值(L_{∞} 和 K)作为生长参数的估计值^[20-21]。采用 von Bertalanffy 生长方程^[22]拟合小黄鱼的生长:

$$L_t = L_{\infty} \left\{ 1 - e^{-k(t-t_0)} \right\} \quad (2)$$

式中, L_t 为 t 龄时的体长; L_{∞} 和 k 分别表示渐近体长和生长速率; t_0 表示理论初始年龄。

根据 Pauly^[23]经验公式估算小黄鱼的理论初始年龄 t_0 :

$$\ln(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \ln L_{\infty} - 1.038 \ln k \quad (3)$$

运用 FiSAT II 软件长度变换渔获曲线法^[24]估算总死亡系数(Z), 自然死亡系数(M)采用 Pauly^[25]经验公式估算:

$$\ln M = -0.0066 - 0.279 \ln L_{\infty} + 0.6543 \ln k + 0.4634 \ln T \quad (4)$$

式中, T 为小黄鱼栖息环境的平均温度($^{\circ}\text{C}$), 考虑到小黄鱼为底层鱼类, 根据 2016 年温台近海环境调查数据[内部调查资料, 浙江省渔业资源调查(温台地区)项目], 取全年底层平均水温 18.75°C 。

捕捞死亡系数(F)和开发率(E)根据总死亡系数(Z)和自然死亡系数(M)计算得出:

$$F = Z - M \quad (5)$$

$$E = (Z - M) / Z = F / Z \quad (6)$$

1.2.3 临界年龄和拐点年龄 临界年龄 T_c 是指世代在无捕捞的理想状态下资源量达到最大时的年龄, 计算公式^[26]为

$$T_c = [kt_0 - \ln M + \ln(bk + M)] / k \quad (7)$$

拐点年龄 t_p 是指体重达到最大或体重生长加

速度为 0 时对应的年龄, 其计算公式^[27]为

$$t_p = \ln b / k + t_0 \quad (8)$$

1.2.4 单位补充量渔获量(yield-per-recruitment, YPR) 利用 Beverton-Holt 动态综合模型^[28](B-H 模型, 包括生长、死亡等参数)计算单位补充量渔获量 YPR, 构建 YPR 与自然死亡系数 M 、捕捞死亡系数 F 和捕捞选择性 S_t 模型, 评估不同自然死亡系数和开捕长度下 YPR 随捕捞死亡系数的变化:

$$YPR = \sum_{t_r}^{t_{\lambda}} w_t \frac{FS_t}{FS_t + M} \times [1 - \exp(-FS_t - M)] \times \exp \left[\sum_{t_r}^{t-1} -FS_t - M \right] \quad (9)$$

式中, Y 为渔获量, R 为补充量, 模型前提假定小黄鱼每年的补充量保持不变。 t_{λ} 为最大年龄, t_r 表示补充年龄(选择全部样本中第一优势体长组的平均值, 根据生长方程对应估算出 $t_r=0.54$ a), S_t 是 t 龄个体的捕捞选择性。其中, 历史资料记录东海区小黄鱼最大年龄 t_{λ} 为 20 a^[29]。

1.2.5 生物学参考点(biological reference points, BRPs) 生物学参考点^[30]是渔业管理中量化资源及其开发利用状况的重要指标, 根据 B-H 动态综合模型可计算出目标性参考点 F_{\max} 和 $F_{0.1}$ 。即当 YPR 达到最大值(YPR_{\max})时, 对应的捕捞死亡系数为 F_{\max} ; 当 YPR 的增长率为最大值($F=0$ 时, YPR 的增长率最大)的 0.1 倍时, 对应的 F 和 YPR 分别为 $F_{0.1}$ 和 $YPR_{0.1}$ 。

1.3 数据处理工具

利用 FiSAT II(FAO-ICLARM 统计分析工具)和 R 语言程序开展相关的数据整理、统计分析和图形构建。

2 结果与分析

2.1 体长、体重分布及幂函数关系

2016 年共采集样品 2023 尾, 体长范围为 3.0~21.5 cm, 平均值为 12.85 cm, 优势体长组为 11.0~15.0 cm (69.90%); 体重范围为 0.45~161.2 g, 平均值为 36.2 g, 优势体重组为 20.0~50.0 g (68.26%, 图 2)。

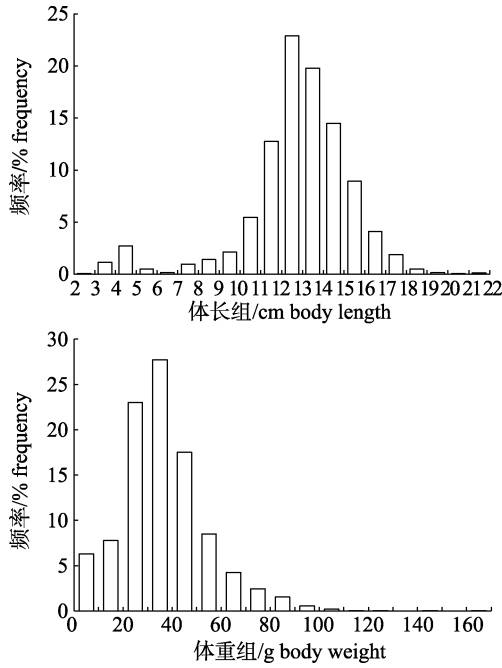


图 2 浙江南部近海小黄鱼体长和体重分布
Fig. 2 Body length and body weight distribution of *Larimichthys polyactis* in offshore waters of southern Zhejiang

根据 2019 尾小黄鱼样品的体长和体重数据, 拟合出体长-体重的幂函数为 $W=0.0217L^{2.8635}$, $R^2=0.9627$; 其中 $b<3$, 表明小黄鱼的生长呈负异速增长, 体长比体重生长快(图 3)。

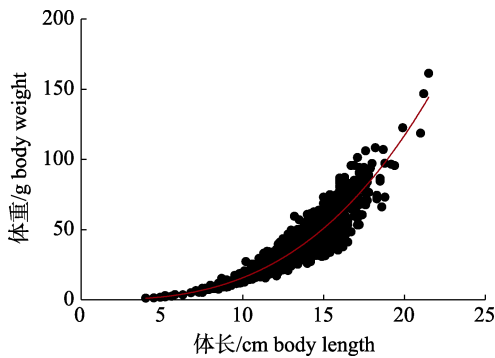


图 3 浙江南部近海小黄鱼体长和体重的关系
Fig. 3 The body length-weight relationship of *Larimichthys polyactis* in offshore waters of southern Zhejiang

2.2 生长、死亡参数估算

以体长 1 cm 间距划分小黄鱼的长度频率序列(图 4), 利用 ELEFAN I 的 K scan 估算出小黄鱼的 von Bertalanffy 生长参数为 $L_{\infty}=22.58$ cm, $K=0.78/a$, 经验公式估算出 $t_a=-0.37$ a。通过生长

参数计算出小黄鱼体重生长拐点年龄 t_p 为 0.979 a, 对应的体长和体重分别为 14.70 cm 和 47.78 g, 在生长拐点之前, 小黄鱼的生长迅速, 拐点之后生长速度减缓(图 5)。

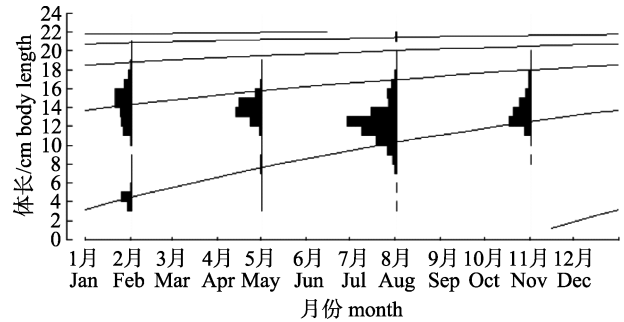


图 4 小黄鱼体长频率时间序列及应用 ELEFAN 估计的生长曲线

Fig. 4 Size frequency of *Larimichthys polyactis* and growth curve estimated by ELEFAN

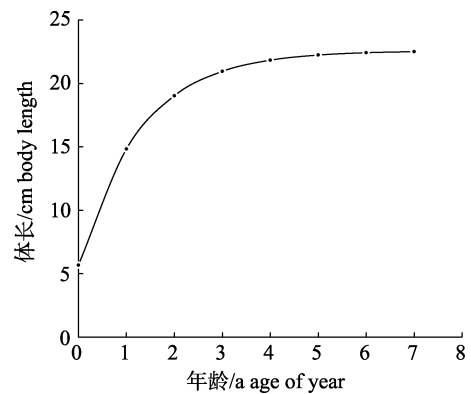


图 5 浙江南部近海小黄鱼的生长曲线

Fig. 5 The growth curve for *Larimichthys polyactis* in offshore waters of southern Zhejiang

根据公式(4)及生长参数, 估算小黄鱼的自然死亡系数 M 为 1.343; 结合生长参数, 计算出小黄鱼在无捕捞状态下达到最大资源量的临界年龄 T_C 为 0.886 a, 对应的临界体长和体重分别为 14.11 cm 和 42.47 g。

通过长度变换渔获曲线法估算总死亡系数, 选择进入全面补充年龄段的 12 个点进行线性回归(图 6), 回归曲线斜率的绝对值即为小黄鱼的总死亡系数, 计算出总死亡系数 Z 为 4.432, 95%的置信区间为 4.195~4.670。根据公式(5)计算捕捞死亡系数为 F 为 3.089, 开发率 E 为 0.697, 小黄鱼的开发强度较高。

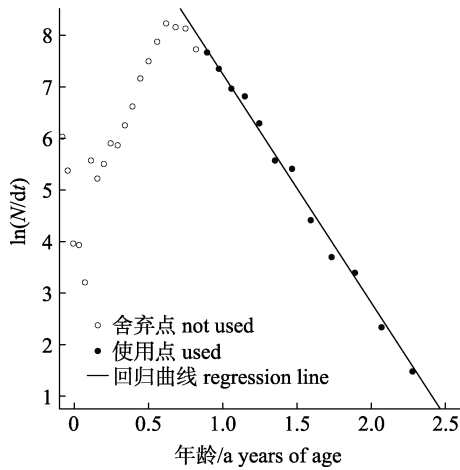


图 6 浙江南部近海小黄鱼体长转化渔获曲线
Fig. 6 The length-converted catch curve of *Larimichthys polyactis* in offshore waters of southern Zhejiang

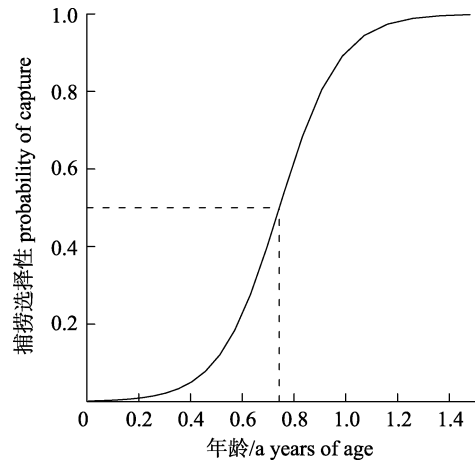


图 7 浙江南部近海小黄鱼的捕捞选择性曲线
Fig. 7 The catch selectivity curve of *Larimichthys polyactis* in offshore waters of southern Zhejiang

已知留存率为 50%对应的选择体长(L_{50})为平均选择体长的估计量 L_c , 即为开捕体长。根据拖网选择曲线(图 7), 计算出小黄鱼开捕体长为 13.11 cm, 对应开捕平均年龄 t_c 为 0.743 a。

2.3 单位补充量渔获量分析

利用以上获得的生长、死亡等参数, 构建小黄鱼单位补充量渔获量随自然死亡系数、开捕年龄和捕捞死亡系数变化的曲线。基于一系列不同的自然死亡系数, 研究 YPR 与 F 的关系曲线(图 8),

发现 M 值越小, YPR 值越大; 而 F 的影响是 YPR 先随 F 的增大而快速增加, 当 F 到达一定程度时, 增长速率变缓, 达到最大值后开始出现下降趋势。当前阶段 $L_{50}=13.11$ cm, $M=1.343$, $F=3.089$, 小黄鱼的 YPR 值为 15.279 g/ind, 从生物学参考点角度来看, 若降低 F 到 1.685(F_{max}), 可获得最大的 YPR 为 17.061 g/ind (YPR_{max}), 比现阶段增长约 11.66%; 降低到 $F_{0.1}$ 为 1.020, 对应 $YPR_{0.1}$ 为 15.974 g/ind, 比现阶段增长约 4.55% (表 1)。

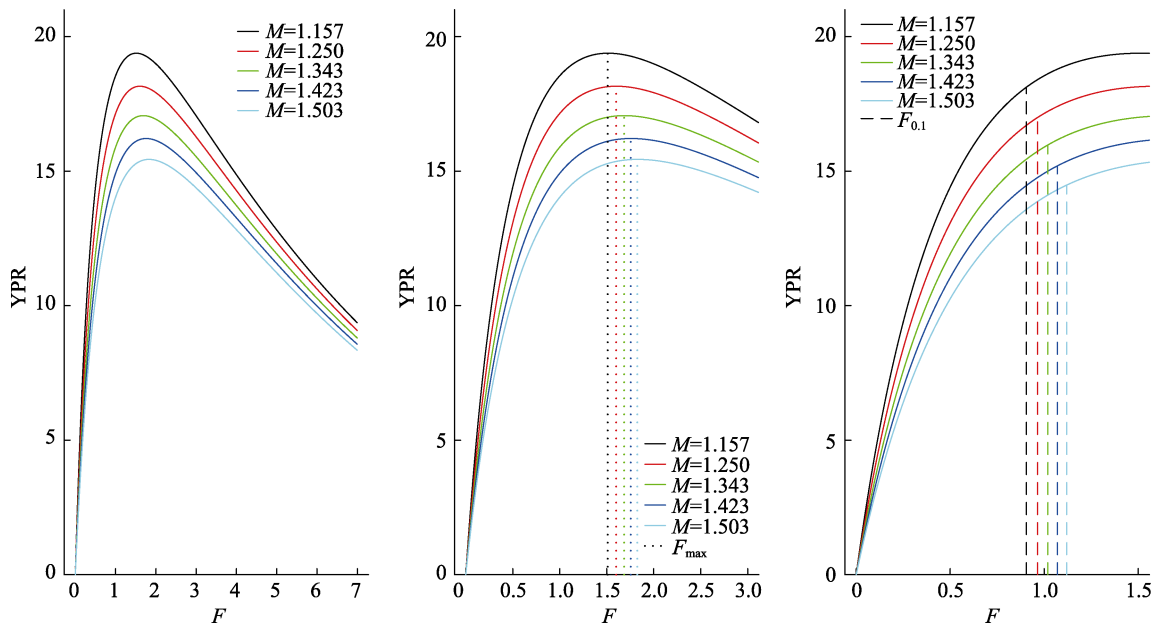


图 8 浙江南部近海小黄鱼不同自然死亡系数下单位补充量渔获量与 F 的拟合曲线
Fig. 8 Yield per recruitment with fishing mortality curves of *Larimichthys polyactis* based on different natural mortality in offshore waters of southern Zhejiang

表 1 浙江南部近海小黄鱼不同自然死亡系数下的生物学参考点(现今的 $L_{50}=13.11$ cm)
 Tab. 1 Biological reference points of *Larimichthys polyactis* based on different natural mortality in offshore waters of southern Zhejiang (the current length at first capture $L_{50}=13.11$ cm)

序号 code	M	YPR_{cur}	F_{max}	YPR_{max}	$F_{0.1}$	$YPR_{0.1}$
1	1.157	16.858	1.510	19.382	0.905	18.117
2	1.250	16.095	1.600	18.155	0.965	16.993
3	1.343	15.279	1.685	17.061	1.020	15.974
4	1.423	14.797	1.755	16.212	1.070	15.194
5	1.503	14.245	1.825	15.436	1.120	14.482

注: M 表示自然死亡系数; YPR_{cur} 表示现阶段捕捞死亡系数下的单位补充量渔获量; F_{max} 表示单位补充量渔获量达到最大值时对应的捕捞死亡系数; $F_{0.1}$ 表示单位补充量渔获量的增长率为最大值($F=0$)的 10% 时对应的捕捞死亡系数; $YPR_{0.1}$ 表示单位补充量渔获量的增长率为最大值的 10% 时对应的单位补充量渔获量.

Note: M means the natural mortality rate; YPR_{cur} means the yield per recruitment value based on the current fishing mortality rate; F_{max} means the fishing mortality rate at which the yield per recruitment value is the maximum; $F_{0.1}$ means the fishing mortality rate at which the marginal increase in the yield per recruitment is 10% of that at $F=0$; $YPR_{0.1}$ means the yield per recruitment rate at which the marginal increase in the yield per recruitment is 10% of that at $F=0$.

首次开捕体长的变化对单位补充量渔获量具有一定影响, 图 9 表示 YPR 在不同 L_{50} 下变化的曲线。当捕捞强度较小时, 开捕体长对 YPR 影响较小, 提高开捕体长反而对应的 YPR 会小, 而随着捕捞强度的增大, 此时提高开捕体长会发现对应的 YPR 出现显著上升。在当前的捕捞强度下, 若将开捕体长 L_{50} 从当前的 13.11 cm 提高到 16 cm, YPR 值从 15.297 g/ind 升高到 18.766 g/ind, 若再将开捕体长提高为 17 cm, 则 YPR 值出现下降, 为 18.278 g/ind; 对应生物学参考点 F_{max} 从 1.670 上升到 6.995, 对应的 YPR_{max} 从 17.042 g/ind 上升

到 21.174 g/ind, $F_{0.1}$ 从 1.015 到 2.53, $YPR_{0.1}$ 从 15.975 g/ind 到 17.244 g/ind (表 2)。

通过不同的开捕体长和捕捞死亡系数组合, 绘制单位补充量渔获量的等渔获量曲线图(图 9)。其中 A 曲线和 B 曲线之间的区域即为小黄鱼的最适产量区, 图中 P 点($F=3.089, L_c=13.11$ cm)为当前的捕捞状态, 处于最适产量区下方, 远离最适产量区。如图 10 所示, 若保持开捕体长不变, 需降低捕捞强度方能提高渔获量, 继续增大捕捞强度无法增加渔获量; 若保持捕捞强度不变, 提高开捕体长能显著提高资源产量。

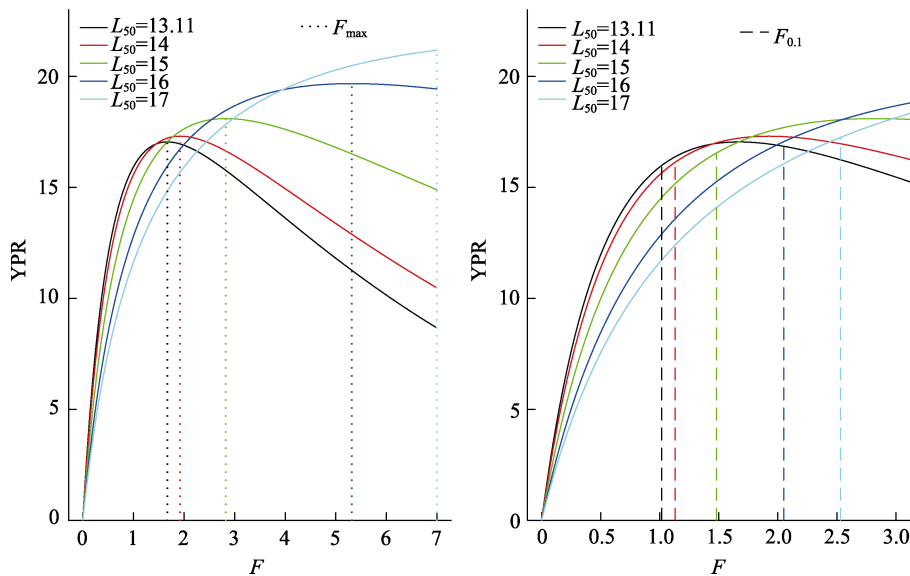


图 9 浙江南部近海小黄鱼不同开捕体长下 YPR 与 F 的拟合曲线

Fig. 9 Yield per recruitment with fishing mortality curves of *Larimichthys polyactis* based on different lengths at first capture in offshore water of southern Zhejiang

表 2 浙江南部近海小黄鱼不同开捕体长下的生物学参考点(现今的 $M=1.343$)
 Tab. 2 Biological reference points of *Larimichthys polyactis* based on different length at first capture in offshore waters of southern Zhejiang (the current natural mortality $M=1.343$)

序号 code	L_{50}	YPR_{cur}	F_{max}	YPR_{max}	$F_{0.1}$	$YPR_{0.1}$
1	13.11	15.297	1.670	17.042	1.015	15.975
2	14.00	16.292	1.920	17.300	1.130	16.123
3	15.00	18.063	2.825	18.094	1.480	16.542
4	16.00	18.766	5.315	19.669	2.050	17.052
5	17.00	18.278	6.995	21.174	2.530	17.244

注: L_{50} 表示开捕体长; YPR_{cur} 表示现阶段捕捞死亡系数下的单位补充量渔获量; F_{max} 表示单位补充量渔获量达到最大值时对应的捕捞死亡系数; $F_{0.1}$ 表示单位补充量渔获量的增长率为最大值($F=0$)的 10% 时对应的捕捞死亡系数; $YPR_{0.1}$ 表示单位补充量渔获量的增长率为最大值的 10% 时对应的单位补充量渔获量

Notes: L_{50} means the length at first capture; YPR_{cur} means the yield per recruitment value based on the current fishing mortality rate; F_{max} means the fishing mortality rate at which the yield per recruitment value is the maximum; $F_{0.1}$ means the fishing mortality rate at which the marginal increase in the yield per recruitment is 10% of that at F of 0; $YPR_{0.1}$ means the yield per recruitment rate at which the marginal increase in the yield per recruitment is 10% of that at F of 0.

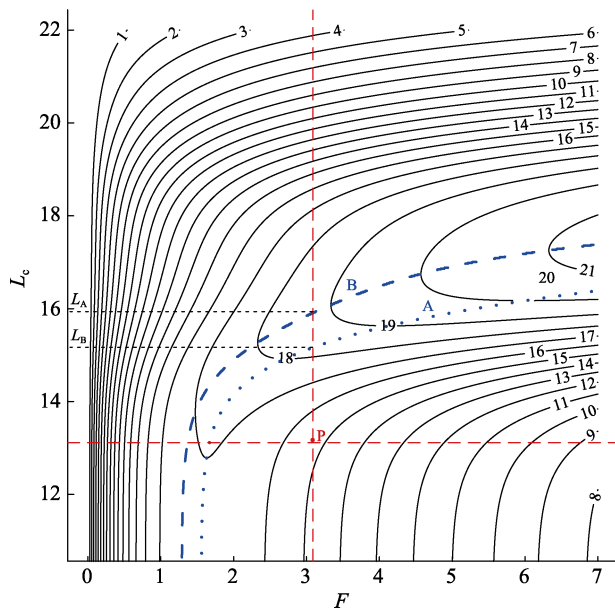


图 10 浙江南部近海小黄鱼的单位补充量等渔获量曲线图

Fig. 10 Yield per recruitment contour plot of *Larimichthys polyactis* in offshore waters of southern Zhejiang

3 讨论

3.1 渔获群体结构

胡成建^[31]以北纬 32° 为分界线, 将东海区小黄鱼分为黄海南部种群(属南黄海群)和东海种群, 浙江南部近海小黄鱼属于东海群系。比较东海群系小黄鱼渔获结构变化(表 3), 20 世纪 60 年代调查东海区小黄鱼渔获结构比较复杂, 年龄结构由

0~14 龄组成, 优势体长均达到 20 cm 以上, 平均体长有 22.42 cm; 至 80 年代调查, 渔获物平均体长急剧下降为 15.23 cm, 优势体长组出现小型个体(13~15 cm, 42.86%), 年龄组成序列缩短至 0~7 龄^[10]; 林龙山等^[10]2001 年调查, 发现优势体长组均为小型个体(10~13cm, 41.34%), 年龄结构仅为 0~4 龄, 平均年龄不到 1 龄; 本次调查(2016 年)东海区小黄鱼渔获结构的结论基本与林龙山等^[10]研究结果保持一致, 渔获组成以小个体占大部分, 年龄组成序列短、低龄化明显。纵观小黄鱼渔获结构的长时间序列变化, 发现其体长组成和年龄结构是长期处于小型化和低龄化状态, 这种生物学表型特征变化与捕捞压力、环境变化等因素^[11, 13, 32]有关, Shan 等^[33]分析研究小黄鱼生物学特征的多重压力响应, 结果发现捕捞的响应最高。在高强度捕捞状态下, 小黄鱼会产生一种自身适应性调节, 即为抵御过度捕捞而诱导生活史特征演变, 以体型更小、数量更多的个体来替代体型偏大、数量偏少的个体, 从而达到提高补充能力维持相对稳定种群数量的目的^[11, 34]。

然而, 小黄鱼的这种生物学表型特征演变也会达到极限, 严利平等^[34]认为, 自 20 世纪 90 年代以来小黄鱼个体绝对繁殖力变化已无明显差异, 而本次调查也显示了小黄鱼的种群结构特征无继续演变的迹象, 从渔业风险评价角度来看, 小黄鱼种群结构过分简单将导致群落稳定性不足, 需

表 3 东海区小黄鱼群系渔获群体结构变化
Tab. 3 Changes in the structure of *Larimichthys polyactis* population in the East China Sea

调查时间 survey time	体长范围和均值 length range and mean	优势体长组及占比 dominant length class and proportion	年龄组成和均值 age composition and mean	优势年龄组 dominant age class
1963 ^[10]	11.0–33.0 (22.42)	21–24 (21.82%), 27–29 (13.63%)	0–14 (5.66)	3–6
1983 ^[10]	10.9–27.7 (15.23)	13–15 (42.86%), 20–22 (13.84%)	0–7 (1.99)	1–2
2001 ^[11]	5.8–22.0 (12.20)	11–13 (41.34%)	0–4 (0.92)	0–1
2010 ^[34]	10.4–23.8 (14.10)			
2016 (本研究, this study)	3.0–21.5 (12.85)	11–15 (69.90%)	0–4 (0.71)	0–1

要及时控制捕捞强度,以防资源出现崩溃的风险。

3.2 生长和死亡

研究鱼类个体的生长规律是研究资源群体数量变动和合理利用的基础^[27]。早期小黄鱼的生长研究是利用鳞片^[35]和耳石^[36]开展年龄鉴定获取生长信息,随着计算机技术的发展,一种不依赖于参数的电子长度频率分析(electronic length frequency analysis, ELEFAN)技术被广泛应用于小黄鱼的生长研究中^[9-11, 33],该方法操作简便,尤其适用于温带水域生长迅速、短寿命的小型鱼类。

根据 ELEFAN 估算出本调查海域小黄鱼渐近体长 $L_{\infty}=22.58$ cm, 生长参数 $k=0.78$, 满足 e^{-k} (0.458) <1 的理论,表明 von Bertalanffy 方程能较好拟合生长, K 值估算准确^[24]。比较小黄鱼种群生长情况(表 4),东海区小黄鱼 L_{∞} 呈逐渐减小趋势,从 1963 年估算的 34.7 cm 下降到现今的 22.6 cm,降幅达到 34.87%,大个体的小黄鱼逐渐消失;相

反,黄海区小黄鱼的渐近体长呈先下降后上升趋势,20 世纪 70 年代资源衰退时期 L_{∞} 下降明显(34.2~25.5 cm),至 90 年代资源开始恢复后,渐近体长开始升高(25.5~27 cm),南黄海小黄鱼种群的生物学特征出现可逆现象^[34]。从生长速率来看,东海区小黄鱼属于快速生长类型,且生长速率不断提高,从 20 世纪 60 年代的 0.24 上升到 80 年代的 0.44,2001 年的 0.55 和现今的 0.78,速率提高了 225%,究其原因,持续的高强度捕捞环境是造成小黄鱼个体快速生长的主要因素之一,朱晓光等^[37]指出东海区小黄鱼的生态对策早已从 K 生活史对策转变为 r 生活史对策,即生物学特性转变为短寿命、性早熟等,以加强繁殖能力补充资源的方式维持种群的延续。与东海区小黄鱼相比,黄海位于高纬度区域,相对较低的水温使南黄海种群小黄鱼的生长速率相对缓慢,寿命也相对偏长。

表 4 小黄鱼的生长和死亡参数(数据来源于 Fishbase)
Tab. 4 Growth and mortality parameters of *Larimichthys polyactis* (from Fishbase)

调查区域 survey area	L_{∞}/cm	K/a^{-1}	t_0/a	t_p	Z	F	M	水温/ $^{\circ}\text{C}$ temperature	方法 method
东海中南部(本研究) central and southern East China Sea	22.60	0.78	-0.37	0.98	4.43	3.09	1.34	18.5	ELEFAN
东海水域(2010) ^[42] East China Sea	23.25	0.53	-0.38		1.98	1.42	0.56	20.0	ELEFAN
东海北部(2001) ^[10] northern East China Sea	25.2	0.55	-0.27	1.67	2.58	1.47	0.58	22.0	ELEFAN
东海北部(1983) ^[10] northern East China Sea	29.2	0.44	-0.33	1.95				22.0	ELEFAN
东海北部(1963) ^[10] northern East China Sea	34.7	0.24	-0.59	3.80				22.0	ELEFAN
黄海水域(2008) ^[33] Yellow Sea	24.06	0.56	-0.25		2.40	1.63	0.77	13.6	ELEFAN
黄海水域(1998) ^[33] Yellow Sea	25.54	0.48	-0.30		2.84	2.45	0.39	13.6	ELEFAN
黄海水域(1985) ^[33] Yellow Sea	30.17	0.40	-0.37		1.80	1.47	0.33	13.6	ELEFAN
黄海水域(1960) ^[33] Yellow Sea	34.21	0.26	-0.58		0.51	0.27	0.24	13.6	ELEFAN

鱼类死亡是影响资源群体数量变动的主要因素。本研究估算小黄鱼自然死亡系数 $M=1.34$, Beverton 等^[38]指出当 M/K 值范围为 1.5~2.5 时估算的 M 值较为合理, 本研究 $M/K=1.718$, 符合理论要求。本次估算的 M 值远高于林龙山等 2001 年的 0.58^[9], 究其原因, 除了调查水域栖息水温因素之外, 小黄鱼生长速率 K 为关键因素, 一般鱼类 K 值越大, M 值就越大, 另外小黄鱼现今寿命缩短, 必然也会引起自然死亡系数的升高^[26]。高 K 值鱼类其 Z 值也高^[39], 本次估算的总死亡系数 $Z=4.43$, 符合该理论。此次计算 F 值为 3.09, 捕捞系数过大是引起总死亡系数高的主要原因^[40], 该数值也远高于之前的研究^[10], 表明浙江南部近海小黄鱼资源正面临较高的捕捞强度, 刘尊雷等^[41]也发现东海种群小黄鱼遭受过度开发, 远超出渔业管理的参考点水平。

3.3 最适开捕体长和目标参考点

种群最适开捕体长的确定需要考虑多种因素, 包括鱼类生长潜能、世代生物量变化、群体补充、最适产量以及渔业经济性等^[43-44]。从生长潜能角度来看, 渔业开捕年龄应限制在生长拐点年龄之后, 以保证鱼类的充分生长, 本研究小黄鱼拐点年龄 t_p 为 0.979 a (14.70 cm), 开捕年龄为 0.743 a (13.11 cm), 小于拐点年龄; 从世代生物量变化来看, 小黄鱼的渔业开发应在资源生物量下降前, 因此接近临界年龄 0.886 a (14.11 cm) 的开发能保证世代生物量达到最大; 从群体补充角度来看, 要保证小黄鱼至少产卵 1 次, 而 1 龄鱼已经普遍达到性成熟^[34], 因此将开捕年龄设在 1 龄后会更利于资源的补充, 本研究 1 龄鱼体长为 14.83 cm; 从最适产量角度来看, 在当前的捕捞强度, 小黄鱼最适产量区对应的体长上下限为 15.16 cm (L_A , $YPR_A=18.29$ g/ind)~15.91 cm (L_B , $YPR_B=18.77$ g/ind); 从渔业经济性角度来看, 若将小黄鱼的开捕体长设在最适产量区, 根据渔获结构分析体长组 ≥ 15.16 cm 的个体数占总数的 14.86% (渔获重量占总重的 26.23%)。综合以上分析, 选择 15.00 cm (最适产量区对应的体长下限, 取整数便于记忆) 作为浙江南部近海小黄鱼的最佳开捕规格较为合适, 既满足渔民的经济效益(个体 \geq

15 cm 的渔获重量占总重的 30.18%), 又满足小黄鱼充分生长的需求, 也满足当前的最适产量区域。

生物学参考点是设定捕捞策略的重要依据, 本研究基于 B-H 模型计算出 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 这两个当前主要的渔业管理目标参考点, 而选择合适的参考点作为渔业捕捞管理目标则需要基于实际情况考虑。例如, 在保持自然死亡系数为 1.343 时, 此时将开捕体长提高为 15 cm, F_{max} 为 2.825 时, YPR_{max} 为 18.094 g/ind, $F_{0.1}$ 为 1.48 时, $YPR_{0.1}$ 为 16.542 g/ind, 考虑捕捞强度调整的困难性及渔业最佳产量需求, 此处选择 F_{max} 作为目标参考点会更为合适。当增大开捕体长到 16~17 cm, 此时 YPR 达到最大值对应的 F_{max} 为 5.315~6.995, 大于当前的捕捞强度, 易导致资源下降, 故 F_{max} 在此时不宜作为捕捞目标参考点, 采用更为保守的 $F_{0.1}$ (2.05~2.53) 更加合适, 相比产量下降的也不多。

3.4 资源合理利用

Gulland 指出开发率 E 在 0~0.5, 渔业处于轻度开发状态, 0.5 为鱼类的一般最适开发率, 若高于 0.5 则表征为过度开发^[45]。本研究的开发率 $E=0.689 > 0.5$, 表明浙江南部近海区域小黄鱼资源处于过度开发状态; 另外, 根据 Beverton-Holt 模型来看, 浙江南部近海小黄鱼当前的捕捞死亡系数和开捕体长(图 9, P 点)均处于最适产量区下方, 也表现出资源正遭受过度开发, 林龙山等^[10]分析认为东海区小黄鱼处于生长型过度捕捞, 与本研究的结论一致。

Beverton-Holt 动态综合模型通过研究两个可控因素——捕捞强度和开捕规格对单位补充量渔获量的影响, 为管理者制定最适开捕体长和开发率提供依据。本研究中当开捕体长 $L_c=13.11$ cm 保持不变, 将 F 由当前的 3.089 调整到 1.670(F_{max}) 时, YPR 值增幅为 11.66%; 当 $F=3.089$ 保持不变, 提高 L_c 从 13.11 cm 到 16.00 cm, YPR 值会从 15.279 g/ind 增长到 18.766 g/ind, 增幅为 22.82%; 同时调控捕捞强度和开捕体长, 基于 B-H 模型, 取开捕体长为 15 cm, 捕捞强度以 F_{max} (2.825) 为目标参考点, 对应的 YPR_{max} 为 18.094 g/ind, 比当前增长 18.42%。三者相比较, 将当前捕捞强度降低为 2.825, 降幅较小, 意义不大; 而将开捕体长

增大为 16 cm, 网目尺寸过大, 渔民的渔获量比例偏小(162 尾/2023 尾), 因此, 适当提高开捕体长的养护手段比降低捕捞强度对资源的利用效果更佳且更易操作, 但开捕体长也不宜设置过大, 建议将开捕体长设为 15 cm, 不仅保证了渔获产量, 也起到了保护小黄鱼产卵群体的目的。

小黄鱼是中国近海渔业的重要经济种类, 因其环境适应进化机制保障资源的补充, 然而其长期的小型化、低龄化渔获结构态势却不容忽视, 这种非稳定的群体结构可能是资源即将崩溃的预警, 需要保持警惕。

参考文献:

- [1] Li J S, Yan L P, Hu F, et al. The reproductive biology of chub mackerel(*Scomber japonicus*) in Wen-Tai fishing ground[J]. Journal of Fishery Science of China, 2015, 22(1): 99-105. [李建生, 严利平, 胡芬, 等. 温台渔场日本鲭的繁殖生物学特征[J]. 中国水产科学, 2015, 22(1): 99-105.]
- [2] Chen J H, Zhang Q H, Li S F, et al. The Utilization of Fishery Resources in the East China Sea and Yellow Sea[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2006. [程家骅, 张秋华, 李圣法, 等. 东黄海渔业资源利用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.]
- [3] Dai L B, Tian S Q, Peng X, et al. Distribution of *Larimichthys polyactis* and its relationship with environmental factors in offshore water of southern Zhejiang[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(4): 1352-1358. [戴黎斌, 田思泉, 彭欣, 等. 浙江南部近海小黄鱼资源分布及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2018, 29(4): 1352-1358.]
- [4] Xu Z L, Chen J J. Analysis on migratory routine of *Larimichthys polyactis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(6): 931-940. [徐兆礼, 陈佳杰. 小黄鱼洄游路线分析[J]. 中国水产科学, 2009, 16(6): 931-940.]
- [5] 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.]
- [6] 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.]
- [7] Meng Z N, Zhuang Z M, Jin X S, et al. Genetic diversity in small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*) by RAPD analysis[J]. Biodiversity Science, 2003, 11(3): 22-28. [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): 22-28.]
- [8] Liu Z L, Chen C, Yuan X W, et al. Evaluation of temporal changes of small yellow croaker stock status in East China Sea using trawl survey indices[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(3): 632-641. [刘尊雷, 陈诚, 袁兴伟, 等. 基于调查数据的东海小黄鱼资源变化模式及评价[J]. 中国水产科学, 2018, 25(3): 632-641.]
- [9] Lin L S. Analysis on extant abundance of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* in the East China Sea[J]. Marine Fisheries, 2004, 26(1): 18-23. [林龙山. 东海区小黄鱼现存资源量分析[J]. 海洋渔业, 2004, 26(1): 18-23.]
- [10] 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.]
- [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]. Periodical of Ocean University of China, 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, 2004, 34(4): 565-570.]
- [12] Lin L S, Cheng J H, Li H Y. The fishery biology of *Trichiurus japonicus* and *Larimichthys polyactis* in the East China Sea region[J]. Marine Fisheries, 2008, 30(2): 126-134. [林龙山, 程家骅, 李惠玉. 东海区带鱼和小黄鱼渔业生物学的研究[J]. 海洋渔业, 2008, 30(2): 126-134.]
- [13] Lin L S, Cheng J H, Jiang Y Z, et al. Spatial distribution and environmental characteristics of the spawning grounds of small yellow croaker in the southern Yellow Sea and the East China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3485-3494. [林龙山, 程家骅, 姜亚洲, 等. 黄海南部和东海小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 产卵场分布及其环境特征[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3485-3494.]
- [14] Lin L S. Study on the fishery biology and management strategy of *Larimichthys polyactis* in the southern Yellow Sea and the East China Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009. [林龙山. 黄海南部和东海小黄鱼渔业生物学及其管理策略研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.]
- [15] Liu Z L, Yan L P, Yuan X W, et al. Stock assessment of small yellow croaker in the East China Sea based on multi-source data[J]. Journal of Fishery Sciences of China,

- 2013, 20(5): 1039-1049. [刘尊雷, 严利平, 袁兴伟, 等. 基于多源数据的东海小黄鱼资源评估与管理[J]. 中国水产科学, 2013, 20(5): 1039-1049.]
- [16] Zhang H Y, Liu Y, Cheng J H. Biomass assessment of *Larimichthys polyactis* in the East China Sea region by improved Leslie method[J]. Marine Fisheries, 2012, 34(3): 357-360. [张寒野, 刘勇, 程家骅. 应用改进的 Leslie 法估算东海区小黄鱼资源量[J]. 海洋渔业, 2012, 34(3): 357-360.]
- [17] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 56-62. [中华人民共和国国家质量监督检验检疫局. 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, 2008: 56-62.]
- [18] Zhao S L, Xu H X, Zhong J S, et al. Zhejiang Marine Ichthyography[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2016. [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.]
- [19] Pauly D, David N. ELEFAN I, a BASIC program for the objective extraction of growth parameters from length-frequencies data[J]. Berichte der Deutschen Wissenschaftlichen Kommission für Meeresforschung, 1981, 28(4): 205-211.
- [20] Munro J L, Pauly D. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates[J]. Fishbyte, 1983, 1(1): 5-6.
- [21] Pauly D, Munro J L. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates[J]. Fishbyte, 1984, 2(1): 21.
- [22] von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth (inquires on growth laws. II)[J]. Human Biology, 1938, 10(2): 181-213.
- [23] Pauly D. Length-converted catch curves and the seasonal growth of fishes[J]. Fishbyte, 1990, 8(3): 24-29.
- [24] 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.]
- [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] Tang Y. Study on the growth character and critical age of *Coilia ectenes* Taihuensis[J]. Chinese Journal of Ecology, 1986, 5(3): 5-9, 13. [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.]
- [27] Zhan B Y. Stock Assessment of Fishery Resources[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.]
- [28] Ma Q Y, Mou X X, Ren Y P, et al. The growth, mortality and yield per recruitment of white-spotted conger (*Conger myriaster*) in the Yellow Sea and the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(6): 881-888. [麻秋云, 牟秀霞, 任一平, 等. 东、黄海星康吉鳗生长、死亡和单位补充量渔获量[J]. 水产学报, 2018, 42(6): 881-888.]
- [29] 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: 339-356.]
- [30] Tong Y H, Chen X J, Tian S Q, et al. Theory and application of biological reference points in fisheries management[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(7): 1040-1050. [童玉和, 陈新军, 田思泉, 等. 渔业管理中生物学参考点的理论及其应用[J]. 水产学报, 2010, 34(7): 1040-1050.]
- [31] 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. [胡建成. 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.]
- [32] Zhang K, Chen Z Z, Wang Y Z, et al. Population structure of *Priacanthus macracanthus* in the Beibu Gulf, and parameters for its growth, mortality and maturity[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2016, 35(5): 20-28. [张魁, 陈作志, 王跃中, 等. 北部湾短尾大眼鲷群体结构及生长、死亡和性成熟参数估计[J]. 热带海洋学报, 2016, 35(5): 20-28.]
- [33] 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.
- [34] 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.]
- [35] Hang F Y, Cui X H, Wang F J. Age and growth of small yellow croaker (*Pseudosciaena manchurica*) in the Yellow Sea and the East China Sea[J]. Fisheries Science, 1981(2): 66-70. [黄繁一, 崔秀河, 王福俊. 黄海和东海小黄鱼 (*Pseudosciaena manchurica*) 的年龄和生长[J]. 水产科学, 1981(2): 66-70.]
- [36] Shui B N. Study on the age and growth of *Pseudosciaena*

- polyactis* in the south of the Yellow Sea and the north of the East China Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2003, 22(1): 16-20. [水柏年. 黄海南部、东海北部小黄鱼的年龄与生长研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2003, 22(1): 16-20.]
- [37] Zhu X G, Fang Y Y, Yan L J, et al. The ecological strategy evolution of marine fishes under high intensity fishing environment[J]. Bulletin of Science and Technology, 2009, 25(1): 51-55. [朱晓光, 房元勇, 严力蛟, 等. 高捕捞强度环境下海洋鱼类生态对策的演变[J]. 科技通报, 2009, 25(1): 51-55.]
- [38] 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). Chichester: John Wiley & Sons, 1959, 5: 142-180.
- [39] Tong H Y, Liu Q G, Chen M K, et al. On the causes of miniaturization of fish composition and corresponding countermeasure in Lake Gehu[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 1992, 1(Z2): 124-135. [童合一, 刘其根, 陈马康, 等. 漏湖天然鱼类小型化及其对策[J]. 上海水产大学学报, 1992, 1(Z2): 124-135.]
- [40] Ye J Q. Resources status analysis of large yellow croaker in Guanjingyang using von Bertalanffy growth equation and fishing mortality parameters[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(2): 238-246. [叶金清. 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.]
- [41] 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 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.]
- [42] 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.]
- [43] 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. [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.]
- [44] 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.]
- [45] Gulland J A. Fish Stock Assessment: A Manual of Basic Methods[M]. Chichester: John Wiley & Sons, 1983.

Growth, mortality and yield per recruitment of small yellow croaker in offshore waters of southern Zhejiang

GAO Chunxia^{1,2,3,5}, MA Qiuyun^{1,2,3}, TIAN Siquan^{1,2,3,4}, DAI Xiaojie^{1,2,3,4,5}, Richard Kindong^{1,5}, GOU Xin¹, LAN Jie¹

1. College of Marine Sciences of Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China;
3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai 201306, China;
4. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploitation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China;
5. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China

Abstract: The offshore water of southern Zhejiang is an important breeding and fattening ground for small yellow croaker *Larimichthys polyactis*. In this study, based on bottom trawl surveys, 2023 samples of small yellow croaker with a body length of 3.0–21.5 cm were collected in February, May, August, and November 2016 in the offshore water of southern Zhejiang. Based on the length and weight data of these samples, the dominant body length was 11.0–15.0 cm, accounting for 69.9% of samples, and the dominant weight was 20.0–50.0 g, accounting for 68.26% of samples. The age ranged from 0 to 4⁺ years. Based on 2019 sample data, the length-weight relationship was fitted by a power function, which could be described as $W=0.0217L^{2.8635}$. The power exponent b was 2.8635, meaning that *L. polyactis* presented a negative allometric growth pattern. The Von Bertalanffy growth parameters were estimated using FiSAT II electronic length frequency analysis I. The asymptotic length L_{∞} was equal to 22.58, and the age at zero length (t_a) was estimated as -0.37 a. The growth coefficient K was 0.78 per year, indicating the fast growth rate of this small demersal species in the offshore water of southern Zhejiang. The total mortality coefficient Z was calculated using a length-converted catch curve as 4.432, and the natural mortality coefficient M was estimated as 1.343 by the Pauly empirical formula. Therefore, fishing mortality coefficient F was 3.089, and the current exploitation rate E equaled 0.697, demonstrating that the stock was subjected to over-fishing. The catch curve also determined that the current first capture L_{50} was 13.11 cm, corresponding to an age of 0.743, which was lower than both the critical age (0.886) and the turning point age (0.931); this indicates that the main fishing objectives were juvenile and included the recruitment group of small yellow croaker. The Beverton-Holt (B-H) model was used to evaluate the yield per recruitment for *L. polyactis*. Based on the dynamic B-H model, the current yield per recruitment (YPR) value was 15.279 g/ind. If F was reduced to 1.685 (F_{max}), the corresponding YPR was 17.061 g/ind, with an increase of 11.66% over the current YPR. When L_{50} was increased from 13.11 cm to 17 cm, the estimates for YPR_{max} would increase from 15.279 g/ind to 18.766 g/ind, an increase of 22.82% over the current YPR. Thus, it would be better to increase L_{50} than to reduce F . In conclusion, these data indicate that the current stock of *L. polyactis* is over-exploited; hence, to protect the spawning stock and maintain the population in a sustainable manner, we suggest increasing the length of the first capture L_{50} to 15 cm, which will satisfy full growth and correspond to the optimal yield area of *L. polyactis* under the present fishing pressure.

Key words: *Larimichthys polyactis*; growth; mortality; yield per recruitment; offshore water of southern Zhejiang

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