



## 浙江南部海域银姑鱼的生活史参数估算及资源评价

任采妮<sup>1</sup>, 麻秋云<sup>1,2,3,4\*</sup>, 戴小杰<sup>1,2,3,4,5</sup>, 叶深<sup>6</sup>

(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, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

4. 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;

5. 上海海洋大学, 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306;

6. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江温州 325005)

**摘要:** 为了评估银姑鱼资源开发状态, 实验根据 2016 年在浙江南部海域底拖网的调查数据, 研究了银姑鱼的生活史参数, 并基于单位补充量模型对其资源状态进行评价, 进而探讨不同自然死亡系数和捕捞选择性对资源评价结果的影响。结果显示, 银姑鱼渐近体长估计值为 25.36 cm, 生长速率为 0.32/年, 当前开捕体长 (13.52 cm) 远小于其初次性成熟体长 (17.79 cm); 自然死亡系数估计值为 0.74, 总死亡系数为 2.62, 当前捕捞死亡系数为 1.88。基于以上参数, 构建了单位补充量渔获量 YPR 模型和单位补充量亲体生物量 SSBR 模型, 随着  $F$  的增加, YPR 先增大后减小, 而 SSBR 则减少。银姑鱼生物学参考点  $F_{0.1}$  为 0.78,  $F_{\max}$  为 3.43,  $F_{20\%}$  为 0.66,  $F_{40\%}$  为 0.33, 可知当前捕捞强度远大于防止补充型过度捕捞警戒线  $F_{20\%}$ 。敏感性分析结果显示, 自然死亡系数的不确定性将明显影响单位补充量模型的研究结果和相关生物学参考点的估算值, 而不同选择性系数, 尤其是开捕体长, 也直接影响单位补充量模型的结果。研究表明, 当前浙江南部近海银姑鱼种群已处于补充型过度捕捞状态, 为维持渔业资源的可持续发展, 建议适当减小开发力度, 增大开捕体长; 为提高资源状态评价的准确性, 建议减小自然死亡系数的不确定性。本研究可为银姑鱼资源的养护和管理提供科学建议。

**关键词:** 银姑鱼; 生长死亡; 单位补充量模型; 渔业管理; 浙江南部

**中图分类号:** S 931.2

**文献标志码:** A

银姑鱼 (*Pennahia argentata*) 又名白姑鱼 (*Argyrosomus argentatus*), 根据《中国海洋及河口鱼类系统检索》(2021 年) 定有效中文名为银姑鱼<sup>[1]</sup>。银姑鱼广泛分布于印度洋和太平洋西部海域, 是我国重要的经济鱼类。近年来国内对银姑鱼的生物学特性、耳石形态<sup>[2]</sup>、年龄、生长死亡<sup>[3]</sup>、体长体重关系<sup>[4]</sup>、种群结构<sup>[5]</sup>和渔场分布<sup>[6]</sup>等方面均有

所研究, 如张汉科<sup>[7]</sup>对 1982—1987 年闽中渔场银姑鱼的年龄与生长特性的研究; 陈作志等<sup>[8]</sup>对 20 世纪 60 年代和 90 年代南海北部银姑鱼生长死亡参数的研究。由于银姑鱼生活史和生物学的研究多集中于早期, 在海洋捕捞强度增加、生态社会环境均发生较大变化的背景下, 近年来对东海银姑鱼的研究反而不多, 且非常缺乏资源状态评价

收稿日期: 2021-11-12 修回日期: 2022-01-06

资助项目: 国家自然科学基金 (41906074, 31902372); 浙江省渔业资源专项调查 (158053)

第一作者: 任采妮, 从事渔业资源评估研究, E-mail: caini\_r@163.com

通信作者: 麻秋云 (照片), 从事种群动力学和渔业资源评估研究, E-mail: qyma@shou.edu.cn



方面的研究探讨。而了解鱼类生长、死亡、繁殖和资源动态等, 对保持渔业种群资源的养护管理和可持续开发利用都至关重要。

反映补充量恒定条件下产量与捕捞强度关系的单位补充量渔获量 (yield per recruitment, YPR) 模型可以根据该群体当前的捕捞水平和开捕年龄来分析其资源利用是否合理, 而单位补充量亲体生物量模型 (spawning stock biomass per recruitment, SSBR) 是常见的评估模型, 被广泛应用于渔业资源的评估<sup>[9]</sup>。以上的单位补充量模型对数据要求简单, 不需要较长的时间序列, 能够同时反映当前种群的开发状态并提供管理参考点, 是一种传统有效且应用广泛的数据有限资源评估方法<sup>[10]</sup>。虽然在银姑鱼的研究中应用较少, 但单位补充量渔获量模型在其他鱼种中已有很多成熟的研究案例: 刘逸文等<sup>[11]</sup>运用单位补充量渔获量模型对山东近海口虾蛄 (*Oratosquilla oratoria*) 进行了研究, 得出其资源处于过度开发状态, 提出降低捕捞压力、调整开捕体长的建议。高春霞等<sup>[12]</sup>和冯波等<sup>[13]</sup>也运用此方法分别对淀山湖刀鲚 (*Coilia nasustaihuensis*) 和北部湾红鳍笛鲷 (*Lutjanus erythropterus*) 的资源状况进行了评价, 进而提供了养护管理建议。以上研究多集中于单位补充量渔获量模型的应用, 而单位补充量亲体生物量模型的研究较少, SSBR 模型结合了补充量和亲体量, 能够反映种群资源繁殖、补充的动态过程, 提供补充型相关的生物学参考点。

本研究基于 2016 年浙江南部近海底拖网调查数据, 研究银姑鱼生活史参数, 构建单位补充量渔获量和单位补充量亲体生物量模型, 评估其资源开发状态, 以期对银姑鱼资源的养护和管理提供科学建议。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

银姑鱼样本来源于浙江南部海域 (120.5°~123.5°E, 27°~29°N) 的渔业资源专项调查, 在 2016 年的 4 次季节调查中, 每次均设有 42 个监测站点 (图 1)。调查船为近海大型单船网板底拖网作业船, 总吨位约 360 t, 主机马力 403 kW, 平均拖速为 3 kn。根据《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007), 在实验室内测定样本的体长 (cm)、体重 (g)、性别和性成熟度等生物学参数, 体长和体重

分别精确至 1.0 mm 和 0.1 g。实验过程中操作人员严格遵守实验动物福利伦理规范。

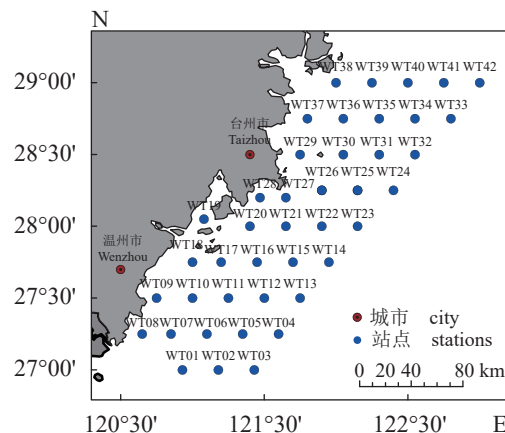


图 1 浙江南部海域渔业资源专项调查的站点设置

Fig. 1 Observation sites of fisheries resources in offshore waters of southern Zhejiang

### 1.2 生活史参数

**生长参数的估算** 浙江南部海域银姑鱼的体长与体重关系采用幂指数拟合<sup>[14]</sup>; 用体长频率分析 (ELEFAN I) 法估算生长参数, 采用 von Bertalanffy 生长方程来拟合体长与年龄的关系; 根据 Pauly 经验公式估算浙江南部海域银姑鱼的理论初始年龄 (理论上体长为 0 时的年龄)<sup>[15]</sup>; 临界年龄是在没有捕捞的前提下, 一个世代的鱼类种群生物量达到最大时的年龄<sup>[16]</sup>; 拐点年龄为体重达到最大或体重生长加速度为 0 时对应的年龄<sup>[17]</sup>。

**性成熟** 将性腺成熟度 III 期及以上视为性成熟个体<sup>[18]</sup>, 且采用 Logistic 曲线拟合性成熟概率与体长的关系。

$$A_t = \frac{1}{1 + e^{-r(L - L_{50})}} \quad (1)$$

式中,  $A_t$  为  $t$  龄时性成熟概率,  $r$  为瞬时性成熟速度,  $L_{50}$  为初次性成熟时的体长。

**死亡系数的估算** 运用 R 语言软件中的 TropFishR 程序包<sup>[19]</sup>, 通过长度转换渔获物曲线法<sup>[20]</sup> 计算浙江南部海域银姑鱼的总死亡系数 ( $Z$ ); 所取银姑鱼样本总体长范围为 3.0~21.3 cm, 以 6 mm 为间隔将样本分为 32 个体长组, 进而估算总死亡系数, 同时计算银姑鱼的捕捞选择性<sup>[11]</sup>:

$$S = \frac{1}{1 + e^{-q(t - t_{50})}} \quad (2)$$

式中,  $S$  和  $t$  分别为对应的捕捞选择性和年龄,  $q$  为常数, 当  $S=0.5$  时对应的年龄为开捕年龄 ( $t_{50}$ )。

自然死亡系数 ( $M$ ) 采用 Pauly 经验公式<sup>[21]</sup> 估算:

$$\ln M = -0.0066 - 0.2790 \ln L_{T\infty} + 0.6543 \ln k + 0.4634 \ln T \quad (3)$$

式中,  $T$  为银姑鱼生长的水环境温度,  $k$  为生长速率。银姑鱼为底层鱼类, 根据资源专项调查中的环境因素, 浙江南部海域的底层年平均水温为 18.75℃。为求解渐近全长 ( $L_{T\infty}$ ), 本研究依据调查数据, 拟合了银姑鱼全长和体长的关系式, 即  $L_{T\infty} = 1.126L_{\infty} + 10.217 (r^2 = 0.975)$ , 可由此通过渐近体长  $L_{\infty}$  求出渐近全长。

捕捞死亡系数 ( $F$ ) 通过总死亡系数 ( $Z$ ) 和自然死亡系数 ( $M$ ) 的差值 ( $F=Z-M$ ) 求得, 开发率 ( $E$ ) 为捕捞死亡系数和总死亡系数的比值 ( $E=F/Z$ )。

### 1.3 单位补充量模型

单位补充量渔获量 (YPR) 和单位补充量亲体生物量 (SSBR) 模型广泛应用于资源评估<sup>[16]</sup>, YPR 的计算公式:

$$YPR = \sum_{t_R}^{t_{\lambda}} W_t \frac{FS_t}{FS_t + M} [1 - \exp(-FS_t - M)] \exp\left[\sum_{t_R}^{t-1} (-FS_t - M)\right] \quad (4)$$

式中,  $t_{\lambda}$  为最大年龄, 经查阅文献, 银姑鱼最大年龄为 10 龄<sup>[7]</sup>;  $t_R$  是补充年龄, 众多研究均将小型鱼类的补充年龄设为 0 或 1<sup>[22-23]</sup>, 因此本研究银姑鱼的补充年龄为 1 龄。  $W_t$  是银姑鱼的体重,  $S_t$  为对应的捕捞选择性。

SSBR 的计算公式:

$$SSBR = \sum_{t_R}^{t_{\lambda}} W_t \times A_t \times \exp(-FS_t - M) \quad (5)$$

生物学参考点可用来评价当前资源的状况, 并为渔业管理提供建议, 本研究选取  $F_{\max}$ 、 $F_{0.1}$ 、 $F_{20\%}$  和  $F_{40\%}$  来评价当前的资源状况。  $F_{\max}$  表示 YPR 最大时的捕捞死亡系数, 对应的  $F$  和 YPR 分别为  $F_{\max}$  和  $YPR_{\max}$ ;  $F_{0.1}$  表示 YPR 增长率为最大值的 0.1 倍时的捕捞死亡系数, 对应为  $YPR_{0.1}$ ;  $F_{20\%}$  和  $F_{40\%}$  表示在单位补充量亲体生物量未开发状态下的 20% 和 40% 时的捕捞死亡系数, 对应的单位补充量亲体生物量为  $SSBR_{20\%}$  和  $SSBR_{40\%}$ 。  $YPR_{\text{cur}}$  和  $SSBR_{\text{cur}}$  则为当前捕捞选择性和自然死亡系数下的 YPR 和 SSBR。

### 1.4 敏感性分析

敏感性分析是研究不确定性的常用方法, 从众多不确定性因素中找出对结果指标有重要影响

的敏感性因素, 并分析、测算其对结果指标的影响程度和方向<sup>[24]</sup>。自然死亡是鱼类种群动力学的关键过程, 自然死亡系数直接影响 YPR 和 SSBR 的估算结果。此外自然死亡系数的求解多为经验公式法, 难以准确地直接估算, 因此其估计值的不确定性程度较高<sup>[25]</sup>。经查阅文献, 银姑鱼自然死亡系数最大为 0.98<sup>[18]</sup>, 结合文献中的信息和本研究的估算结果, 设定不同自然死亡系数取值, 分析其对于 YPR 和 SSBR 求解的影响。

鱼类种群资源动态的另一重要过程是捕捞死亡, 其捕捞选择性是捕捞死亡的决定性因素, 也是构建单位补充量模型的关键参数, 且渔业管理措施的制订常通过调整捕捞选择性来确定。因此, 本研究保持当前捕捞选择性 Logistic 曲线的斜率不变, 根据当前开捕年龄, 结合性成熟年龄、临界年龄和拐点年龄等设定不同的 50% 选择性年龄, 获得不同的捕捞选择性策略, 进而探讨 YPR 模型和 SSBR 模型估算结果的变化。

本研究使用 R 语言程序和 Excel 软件开展相关的数据整理、统计分析和图形构建。使用 TropFishR 的程序包<sup>[19]</sup> 进行生长方程的拟合和渔获曲线 [采用  $\ln(N/d_t)$  与其对应的年龄拟合,  $N$  代表每个叉长组的数量占总样品数量的比例,  $d_t$  代表各体长组上下限的生长时间] 的构建。

## 2 结果

### 2.1 生长参数

经样本分析可知, 2016 年的季度调查共获得银姑鱼样本 1 112 尾 (表 1), 其体长和体重的分布存在明显的季节差异 (图 2 和图 3)。研究表明, 2016 年浙江南部海域银姑鱼体长体重关系的参数  $a$  估计值为  $3.9 \times 10^{-3}$ , 参数  $b$  为 3.39 (图 4)。银姑鱼的渐近体长  $L_{\infty}$  为 25.36 cm, 生长速率  $k$  的估计值为 0.32, 体长理论值为 0 时的年龄  $t_0$  估计值为 -0.91 (图 5)。银姑鱼的临界年龄  $t_1$  为 1.91 龄, 对应的临界体长  $L_1$  和临界体重  $W_1$  分别为 15.07 cm 和 38.48 g; 拐点年龄  $t_2$  为 2.91 龄, 对应的拐点体长  $L_2$  为 17.89 cm, 拐点体重  $W_2$  为 68.78 g (图 5 和图 6)。关于性成熟的研究结果表明, 银姑鱼 50% 性成熟体长为 17.79 cm, 对应的性成熟年龄为 2.87 龄 (图 7)。

### 2.2 死亡系数

通过体长频率求得的银姑鱼渔获曲线, 其总

表 1 2016 年浙江南部海域银姑鱼不同季节的样本分布

**Tab. 1 Summary of *P. argentata* samples collected from different seasons in offshore waters of southern Zhejiang in 2016**

指标 index	冬(2月) winter	春(5月) spring	夏(8月) summer	秋(11月) autumn
样本数/尾 sample size	87	523	441	61
体长/mm body length	109~198	30~209	52~213	74~208
优势体长组/mm dominant group of body length	112~142	40~64, 130~160	76~118	94~154
体重/g body weight	22.63~168.70	0.33~185.10	2.40~222.20	9.40~183.50
优势体重组/g dominant group of body weight	16~48	0~8, 48~80	8~32	8~80

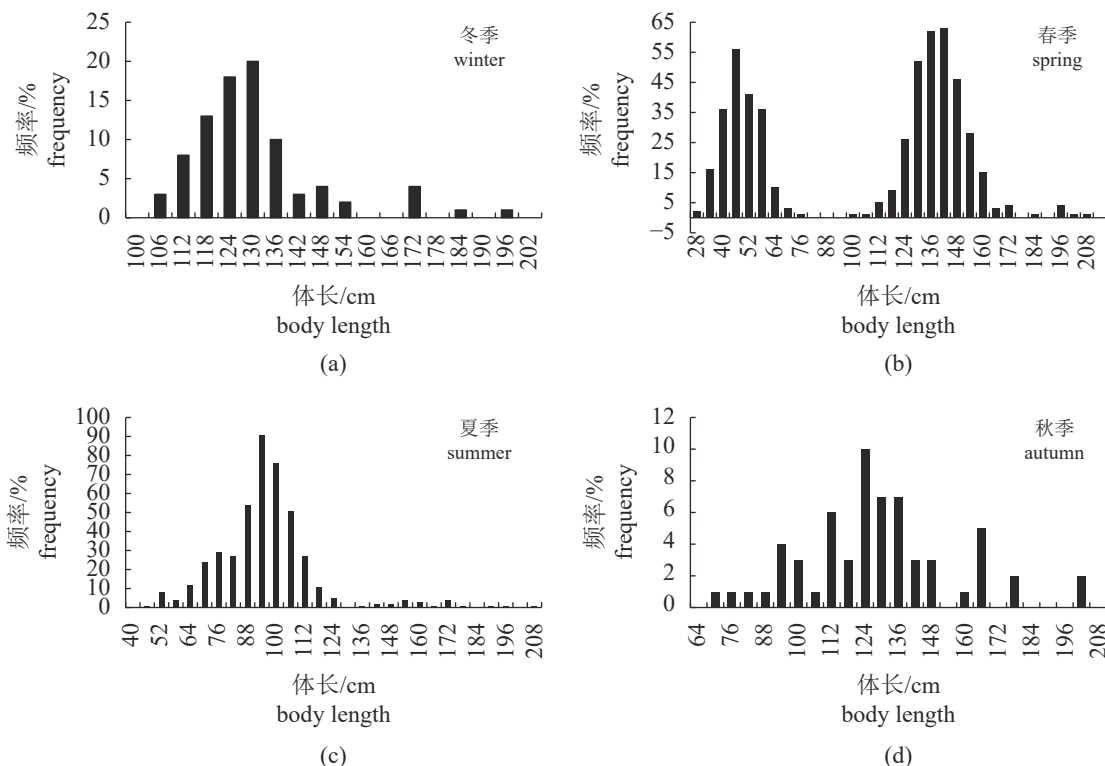


图 2 2016 年浙江南部海域银姑鱼不同季节的体长分布

Fig. 2 Body length distribution of *P. argentata* from different seasons in offshore waters of southern Zhejiang in 2016

死亡系数为 2.62 (图 8); 通过计算浙江南部海域银姑鱼的捕捞选择性, 银姑鱼现阶段开捕体长为 13.52 cm, 对应的开捕年龄为 1.47 龄 (图 9)。浙江南部海域银姑鱼自然死亡系数的估计值为 0.74。根据总死亡系数和自然死亡系数, 求得捕捞死亡系数为 1.88, 开发率为 72%。

### 2.3 单位补充量模型

在当前自然死亡系数 0.74 和开捕年龄 1.47 龄下, 2016 年浙江南部海域银姑鱼的 YPR 为 13.69, SSBR 为 0.68。随着捕捞死亡系数的增大, YPR 先快速增加, 达到最大值后趋于稳定 (图 10);

SSBR 则快速减小, 后趋于稳定 (图 11)。在当前开捕年龄和自然死亡系数下,  $F_{0.1}$  和  $YPR_{0.1}$  估计值分别为 0.78 和 11.73,  $F_{max}$  估计值为 3.43,  $YPR_{max}$  为 14.03。  $F_{20\%}$  和  $F_{40\%}$  分别为 0.66 和 0.33, 对应的  $SSBR_{20\%}$  和  $SSBR_{40\%}$  为 3.36 和 6.72(表 2)。

本研究设定不同的自然死亡系数 ( $M$ ) 值分别为 0.54、0.64、0.74、0.84 和 0.94, 研究不同  $M$  取值下的 YPR 与捕捞死亡系数 ( $F$ ) 的关系。随着  $M$  值从 0.54 增大到 0.94, YPR 和 SSBR 均逐渐减小 (图 10 和图 11)。捕捞死亡系数相关的生物学参考点均逐渐增加, 且增幅基本一致, 如  $F_{0.1}$  从 0.52 逐渐增加至 0.64、0.78、0.94、1.13, 只有  $M$  最大

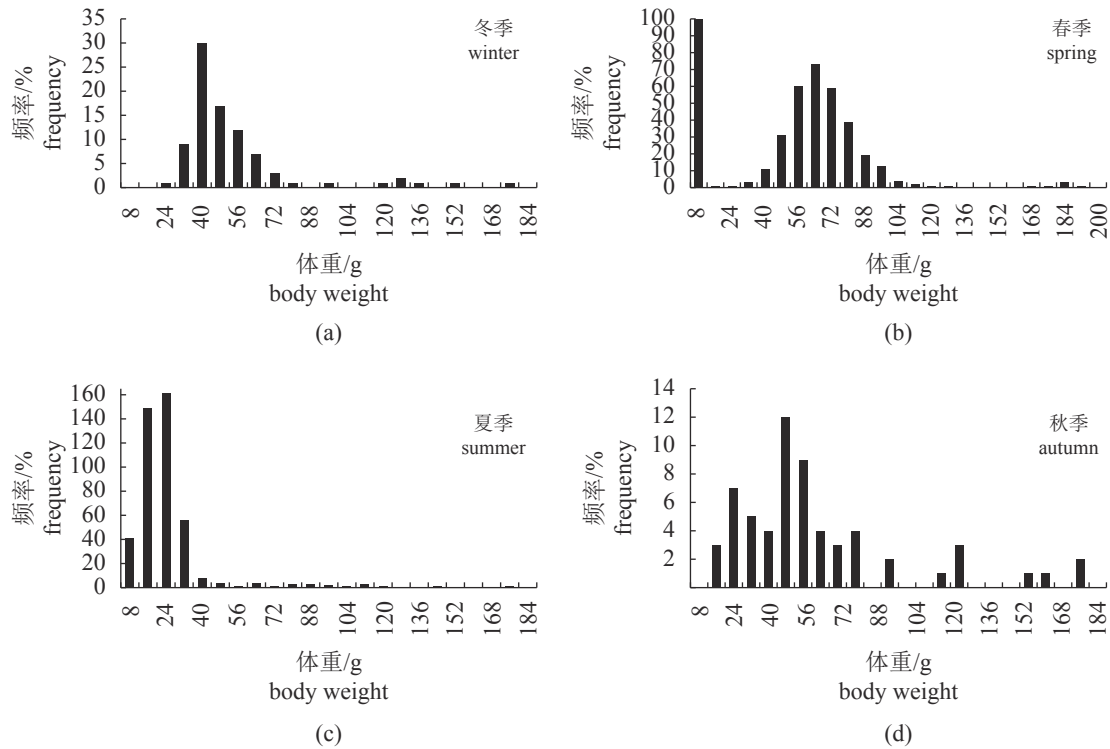


图 3 2016 年浙江南部海域银姑鱼不同季节的体重分布

Fig. 3 Body weight distribution of *P. argentata* from different seasons in offshore waters of southern Zhejiang in 2016

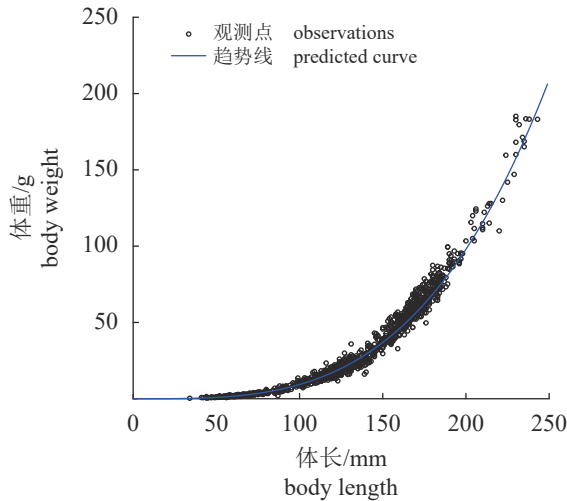


图 4 2016 年浙江南部海域银姑鱼体长与体重关系图

Fig. 4 Length-weight relationship of *P. argentata* in offshore waters of southern Zhejiang in 2016

值 0.94 对应的  $F_{max}$  增幅过大; 对应的  $YPR_{0.1}$ 、 $YPR_{max}$ 、 $SSBR_{20\%}$  和  $SSBR_{40\%}$  逐渐减小(表 2)。

在保持当前捕捞选择性的 Logistic 曲线斜率 (-3.36) 不变的情况下, 本研究将开捕年龄设定为 1.47、1.77、2.07、2.37 和 2.67, 获得不同的捕捞选择性曲线(图 9 的 S1~S4)。随开捕年龄的增加,  $YPR$  的变化较为复杂, 而  $SSBR$  均逐渐增加(图 12,

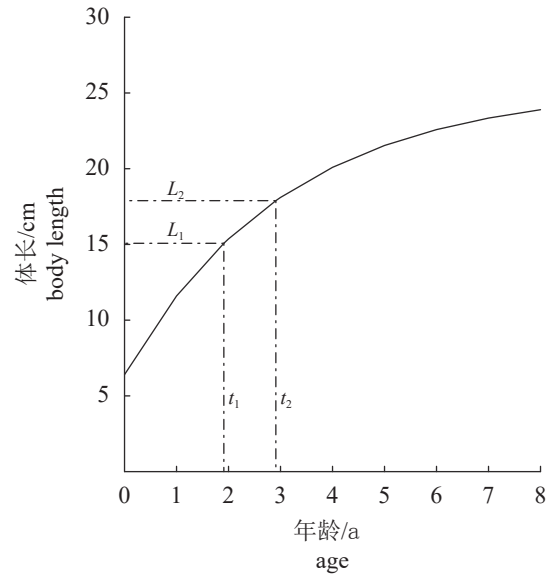


图 5 2016 年浙江南部海域银姑鱼生长曲线

$t_1$ . 临界年龄,  $L_1$ . 临界体长,  $t_2$ . 拐点年龄,  $L_2$ . 拐点体长, 下同。

Fig. 5 Growth curve of *P. argentata* in offshore waters of southern Zhejiang in 2016

$t_1$ . critical age,  $L_1$ . critical body length,  $t_2$ . age of inflecting point,  $L_2$ . body length of inflecting point, the same below.

图 13)。捕捞死亡系数的相关生物学参考点均逐渐增加,  $F_{0.1}$  的增幅基本一致, 而开捕年龄为 2.37

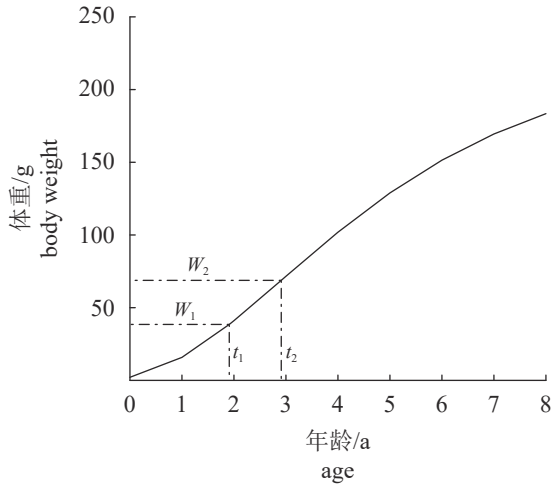


图 6 2016 年浙江南部海域银姑鱼体重生长曲线  
 $W_1$ . 临界体重,  $W_2$ . 拐点体重。

Fig. 6 Weight growth curve of *P. argentata* in offshore waters of southern Zhejiang in 2016

$W_1$ . critical body weight,  $W_2$ . weight of inflecting point.

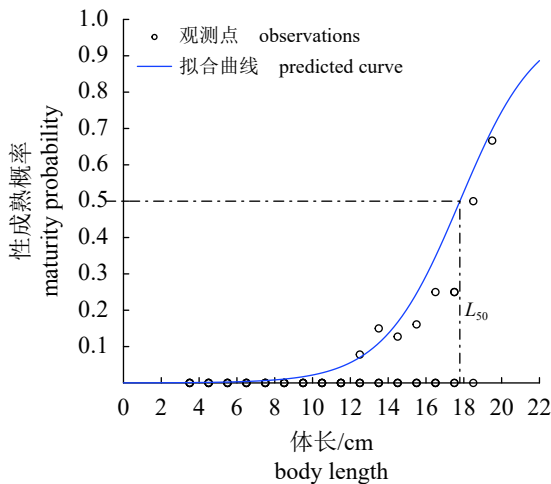


图 7 2016 年浙江南部海域银姑鱼性成熟概率曲线  
Fig. 7 Maturity probability curve of *P. argentata* in offshore waters of southern Zhejiang in 2016

增加到 2.67 时  $F_{max}$  均为 15.00, 因开捕年龄为 2.37 时  $F_{max}$  达最大值 15.00, 再增大开捕年龄捕捞死亡系数不变; 对应的  $YPR_{max}$  先增大后减小,  $YPR_{0.1}$  逐渐减小(表 3, 图 12 和 图 13)。

### 3 讨论

本研究主要分析了 2016 年浙江南部海域银姑鱼的生活史特征, 以幂指数形式求得体长体重关系中生长因子及异速生长系数。根据体长频率分析(ELEFAN I)法估算出银姑鱼的渐近体长  $L_{\infty}$ , 生长速率  $k$ , 体长理论值为 0 时的年龄估计值  $t_0$ 。

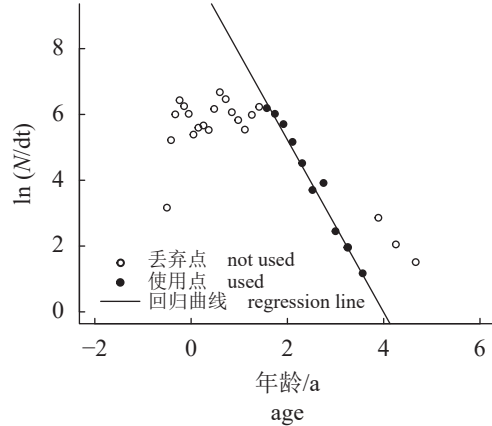


图 8 2016 年浙江南部海域银姑鱼体长转化的渔获曲线  
Fig. 8 Length-converted catch curve of *P. argentata* in offshore waters of southern Zhejiang in 2016

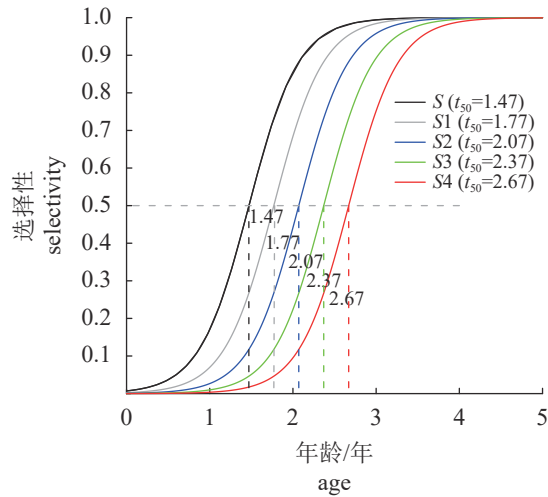


图 9 2016 年浙江南部海域银姑鱼捕捞选择性曲线 (S) 及其敏感性分析的设定 (S1-S4)

$S$  为当前捕捞选择性,  $S1-S4$  为修改开捕年龄 ( $t_{50}$ ) 得到的不同捕捞选择性。

Fig. 9 Catch selectivity curve ( $S$ ) and sensitivity analysis scenarios ( $S1-S4$ ) of *P. argentata* in offshore waters of southern Zhejiang in 2016

$S$  is the current fishing selectivity, and  $S1-S4$  are different fishing selectivities obtained by modifying the age of first capture ( $t_{50}$ ).

鱼类死亡是影响资源群体数量变动的主要因素, 本研究通过 Pauly 经验公式估算银姑鱼的自然死亡系数, 体长转换渔获曲线估算出总死亡系数, 并求得捕捞死亡系数<sup>[26]</sup>。单位补充量渔获量模型和单位补充量亲体生物量模型分析结果表明, 浙江南部海域银姑鱼的渔业资源已处于补充型过度开发状态, 且不同捕捞选择性或自然死亡系数对单位补充量模型的估算结果有明显影响。

与其他海域银姑鱼生长特征的研究结果相比,

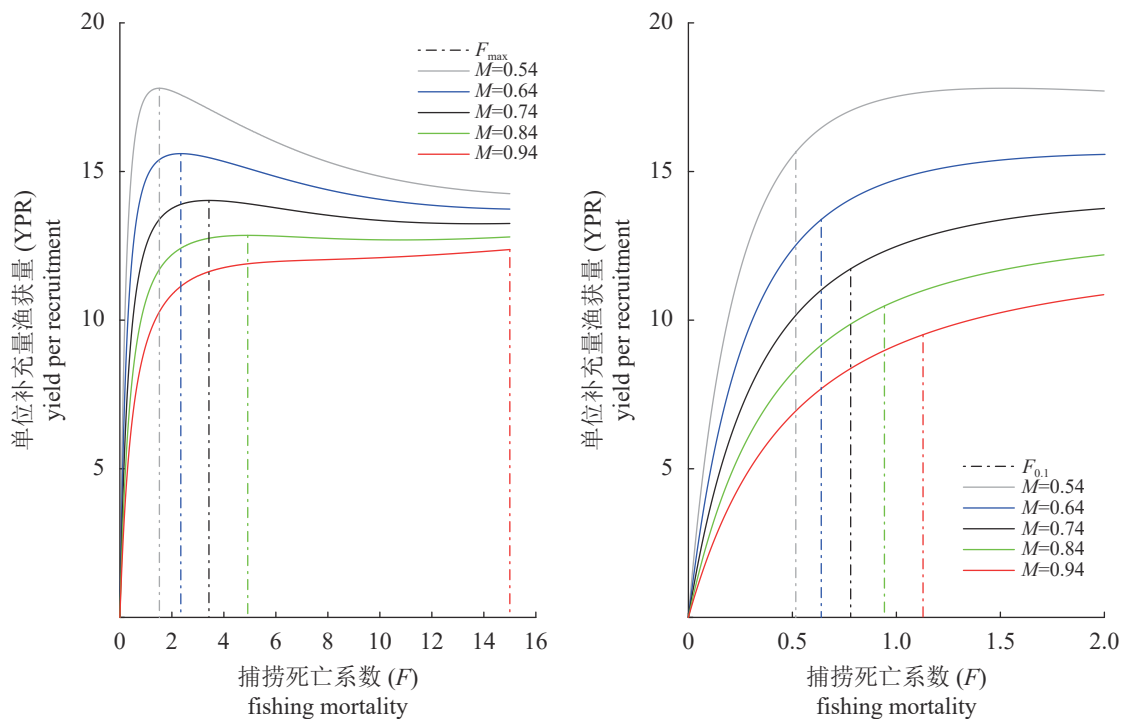


图 10 基于不同自然死亡系数 (M) 的浙江南部海域银姑鱼单位补充量渔获量曲线

Fig. 10 YPR of *P. argentata* based on different natural mortality (M) in offshore waters of southern Zhejiang

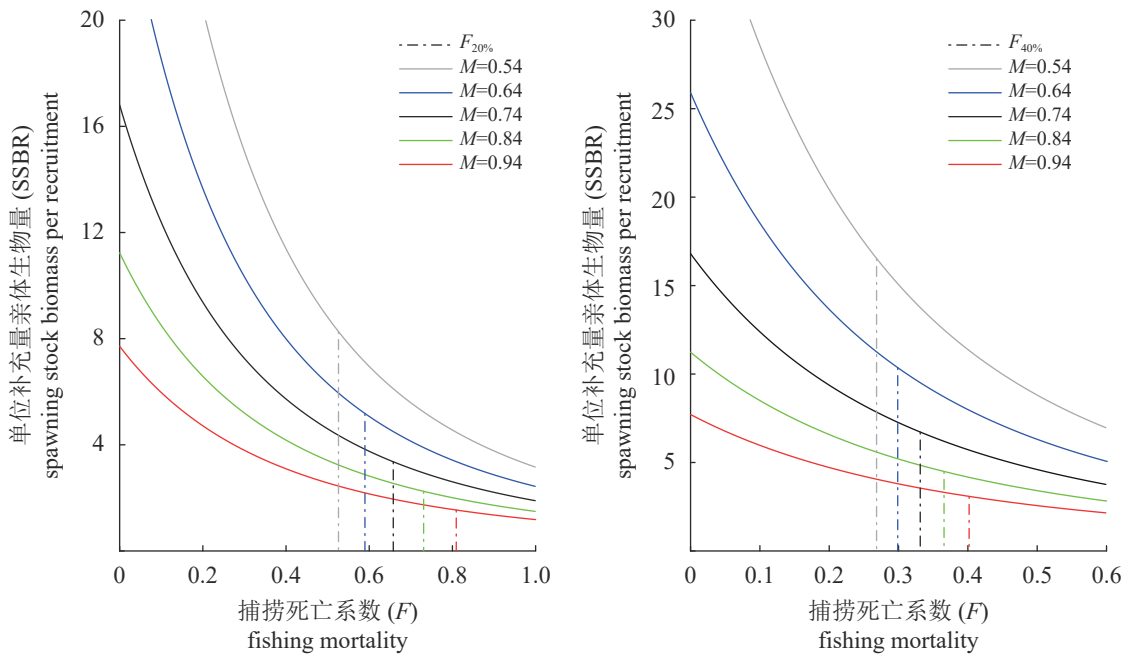


图 11 基于不同自然死亡系数的浙江南部海域银姑鱼单位补充量亲体生物量曲线

Fig. 11 SSBR of *P. argentata* based on different natural mortality in offshore waters of southern Zhejiang

本研究的浙江近海群体存在一定程度的异同。例如朱立新等<sup>[4]</sup>通过一种稳健的 Bayesian 方法对威海近海银姑鱼体长与体重关系进行研究, 结果表明生长因子为  $3.963 \times 10^{-3}$ , 异速生长系数为 3.34, 其研究结果与本研究结果相近。陈作志等<sup>[8]</sup>对南

海银姑鱼生长特征的研究显示, 北部湾银姑鱼的渐近体长  $L_{\infty}$  为 38.2 cm, 生长速率  $k$  为 0.42/a, 体长理论值为 0 时的年龄  $t_0$  为 -0.16 龄; 而南海北部大陆架银姑鱼的渐近体长  $L_{\infty}$  为 31.5 cm, 生长速率  $k$  为 0.35/a, 体长理论值为 0 时的年龄  $t_0$  为

表 2 基于不同自然死亡系数 ( $M$ ) 求解浙江南部海域银姑鱼的生物学参考点

Tab. 2 Biological reference points ( $F$ , YPR and SSBR) of *P. argentata* based on different natural mortality ( $M$ ) in offshore waters of southern Zhejiang

$M$	YPR <sub>cur</sub>	$F_{0.1}$	YPR <sub>0.1</sub>	$F_{max}$	YPR <sub>max</sub>	SSBR <sub>cur</sub>	$F_{20\%}$	SSBR <sub>20\%</sub>	$F_{40\%}$	SSBR <sub>40\%</sub>
0.54	17.681	0.516	15.676	1.520	17.801	0.819	0.526	8.267	0.268	16.534
0.64	15.572	0.639	13.389	2.344	15.602	0.747	0.590	5.181	0.299	10.363
0.74	13.689	0.780	11.728	3.426	14.026	0.681	0.658	3.361	0.331	6.722
0.84	11.988	0.942	10.477	4.918	12.852	0.621	0.731	2.247	0.366	4.494
0.94	10.481	1.128	9.510	15.000	12.375	0.567	0.809	1.543	0.402	3.085

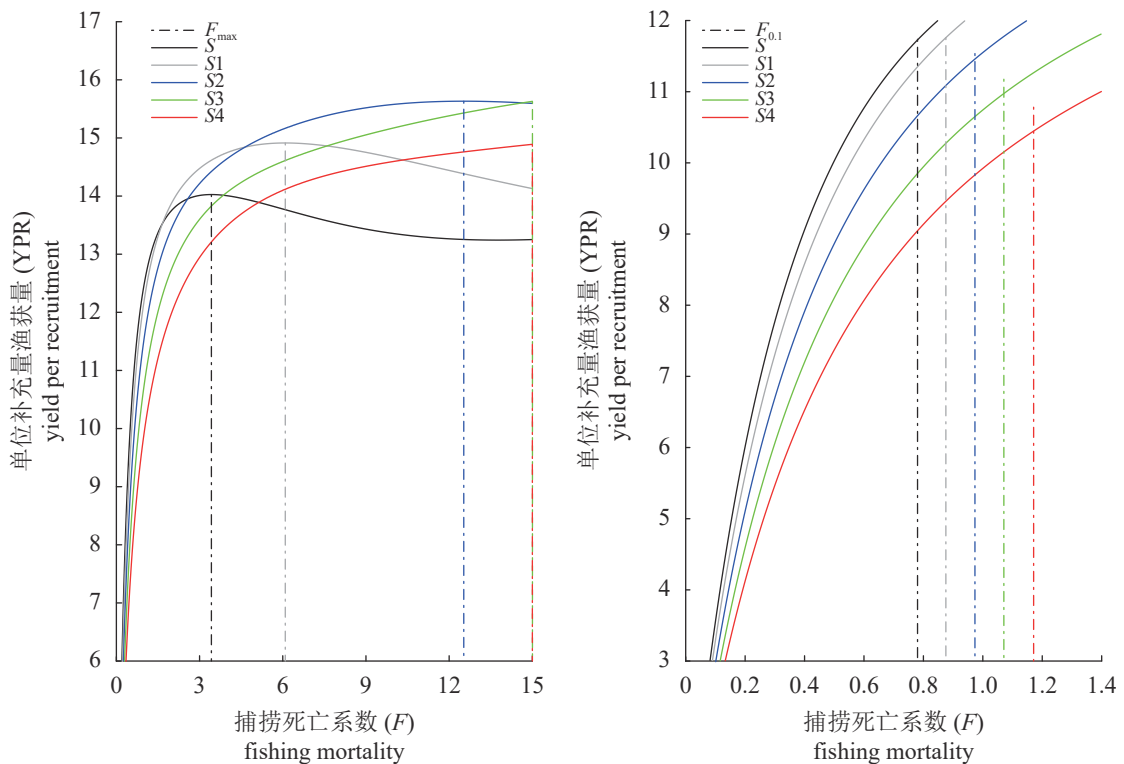


图 12 基于不同选择性的浙江南部海域银姑鱼单位补充量渔获量曲线

Fig. 12 YPR of *P. argentata* based on different selectivity in offshore waters of southern Zhejiang

-0.23 龄。陈作志等<sup>[8]</sup>的研究结果与本研究结果差异较大, 尤其是  $L_{\infty}$  和  $t_0$  均远大于本研究的估算值 (即 25.36 cm 和 -0.91)。可能由于浙江南部海域与南海北部相比纬度较高, 相对较低的水温使浙江南部海域银姑鱼的生长速率相对缓慢<sup>[27-28]</sup>; 也可能由于研究时间的差异, 陈作志等<sup>[8]</sup>的研究时间段为 1992—1993 年和 1997—1999 年, 而本研究时间为 2016 年, 20 年的捕捞和环境变化可能导致了银姑鱼生长特征的改变。

陈作志等<sup>[8]</sup>对南海北部银姑鱼的死亡系数进行了研究, 其结果表明南海北部湾和北部大陆架两个区域的银姑鱼, 其总死亡系数 ( $Z$ ) 分别为 3.55 和 3.12, 比本研究的 2.62 大。自然死亡系数

( $M$ ) 分别为 0.93 和 0.85, 略大于本研究的估算值 0.74。南海的捕捞死亡系数也比浙江近海高, 而开发率相近, 资源均处于过度利用状态。由自然死亡系数的求解公式可知, 渐近体长、生长速率和海水温度均会影响自然死亡系数值, 与浙江海域相比, 南海的环境温度略高, 银姑鱼生长参数的估算值也较高, 直接导致了其死亡系数的差异<sup>[29]</sup>。

近年关于银姑鱼生活史参数的研究和资源评价较少, 本研究不仅分析了银姑鱼生活史参数, 还运用单位补充量渔获量模型和单位补充量亲体生物量模型对银姑鱼资源进行评价, 为了解近年浙江南部银姑鱼的生活史参数和渔业资源状况提供了大量信息。将本实验结果与同属的斑鳍银姑



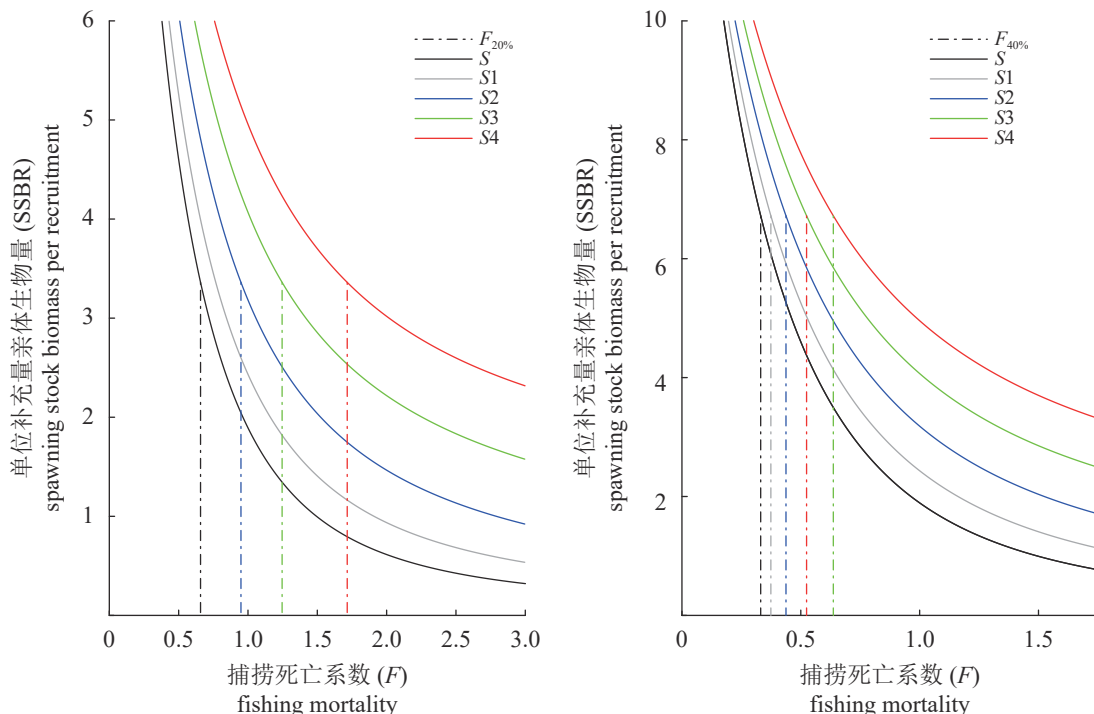


图 13 基于不同选择性的浙江南部海域银姑鱼单位补充量亲体生物量曲线

Fig. 13 SSBR of *P. argentata* based on different selectivity in offshore waters of southern Zhejiang

表 3 基于不同选择性 (S) 求解浙江南部海域银姑鱼的生物学参考点

Tab. 3 Biological reference points (*F*, YPR and SSBR) of *P. argentata* based on different selectivity (*S*) in offshore waters of southern Zhejiang

选择性 selectivity	YPR <sub>cur</sub>	<i>F</i> <sub>0.1</sub>	YPR <sub>0.1</sub>	<i>F</i> <sub>max</sub>	YPR <sub>max</sub>	SSBR <sub>cur</sub>	<i>F</i> <sub>20%</sub>	SSBR <sub>20%</sub>	<i>F</i> <sub>40%</sub>	SSBR <sub>40%</sub>
S	13.689	0.780	11.728	3.426	14.026	0.681	0.658	3.361	0.331	6.722
S1	13.774	0.876	11.760	6.091	14.914	1.022	0.768	3.361	0.374	6.722
S2	13.319	0.973	11.459	12.527	15.632	1.574	0.949	3.361	0.438	6.722
S3	12.607	1.071	10.975	15.000	15.630	2.340	1.246	3.361	0.524	6.722
S4	11.839	1.171	10.447	15.000	14.891	3.151	1.716	3.361	0.637	6.722

鱼 (*P. pawak*) 和大头银姑鱼 (*P. macrocephalus*) 进行对比研究, 发现北部湾斑鳍银姑鱼的渐近体长  $L_{\infty}$  为 22.03 cm, 生长速率  $k$  为 0.58/年, 提出以 2 龄的体长 146.53 mm 作为最小开捕体长标准的建议, 除生长速率较大, 其他参数与银姑鱼相差不大<sup>[30]</sup>; 北部湾沿岸海域和东方渔港采集斑鳍银姑鱼, 其渐近体长分别为 24.15 和 22.05 cm, 生长参数  $k$  分别为 0.39/a 和 0.32/a, 与银姑鱼非常相近<sup>[31]</sup>; 北部湾大头银姑鱼的渐近体长  $L_{\infty}$  为 23.00 cm, 生长速率  $k$  为 0.41/a, 体长理论值为 0 时的年龄  $t_0$  为 -0.96 龄, 各生长参数值与银姑鱼也相差不大<sup>[32]</sup>。综上分析, 银姑鱼属的几种鱼类生长参数相差不大, 其体型、生态习性等相似, 生长特征差异也

较小。

在浙江南部近海鱼类的研究中, 对与银姑鱼同属于石首鱼科 (*Sciaenidae*) 的小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 研究较多<sup>[33]</sup>, 也有对龙头鱼 (*Harpodon nehereus*) 的研究<sup>[34]</sup>。对比本研究结果, 高春霞等<sup>[29]</sup>2016 年对浙江南部近海小黄鱼的研究表明, 其渐近体长  $L_{\infty}$  为 22.58 cm, 与银姑鱼相近, 而生长速率  $k$  (0.78/a) 比银姑鱼快很多; 小黄鱼的自然死亡系数  $M$  值为 1.34, 开发率  $E$  为 0.697, 表明资源处于过度开发状态。

不同开捕体长对单位补充量渔获量和单位补充量亲体生物量的影响较为明显, 在渔业生产与管理中, 需要设定合理的开捕体长, 以实现渔业

的可持续发展。当前开捕体长为 13.52 cm, 开捕年龄为 1.47, 随着开捕体长的增加, 单位补充量渔获量相应减小, 单位补充量亲体生物量增加, 有利于种群的养护和可持续利用。临界年龄为自然死亡系数与生长率相等时的平均体长<sup>[35]</sup>, 此时世代的瞬间生物量达到最大<sup>[36]</sup>, 是最佳开捕年龄, 对应的临界为最佳开捕体长。本研究求得浙江南部海域银姑鱼的临界年龄为 1.91 龄, 临界体长为 15.07 cm, 即为最佳的开捕年龄和体长。拐点年龄是指鱼类体长(或体重)生长速率由大变小的年龄, 是表达鱼类个体生长由快变慢的重要指标之一<sup>[17]</sup>, 拐点年龄和临界年龄的大小反映了鱼类个体和种群快速生长时间的长短<sup>[36]</sup>。银姑鱼当前的开捕体长小于上述的临界、拐点和性成熟体长, 表明当前捕捞强度较大, 不利于其资源的可持续开发。建议增大开捕体长至最佳开捕体长为 15.07 cm, 以获得较大的单位补充量渔获量(13.69)和单位补充量亲体生物量(0.68)。

将单位补充量渔获量模型估算出的生物学参考点  $F_{0.1}$  和  $F_{max}$  与当前捕捞死亡系数比较, 可以评估种群目前的利用状态<sup>[37]</sup>。当前银姑鱼的捕捞死亡系数为 1.88, 小于  $F_{max}$ , 其渔业资源未达到生长型过度捕捞状态<sup>[38]</sup>;  $F_{20\%}$  仅为 0.66,  $F_{40\%}$  为 0.33, 当前捕捞强度下, 单位补充量亲体生物量仅为未开发状态的 4.05%, 远低于防止补充型过度捕捞警戒线(20%), 因此浙江南部海域的银姑鱼已处于补充型过度捕捞状态。

通过敏感性分析, 本研究分析了自然死亡系数不确定性和改变捕捞选择性对模型的影响。由自然死亡系数的求解公式可知, 自然死亡系数受渐近体长、生长速率、体长体重理论值为 0 时的年龄和水环境温度等参数的影响。当自然死亡系数从 0.54 增加到 0.94 时, 单位补充量渔获量减小 7.2, 变化幅度大, 而单位补充量亲体生物量减小 0.25。  $F_{0.1}$  从 0.52 逐渐增加至 0.64、0.78、0.94、1.13, 且增幅基本一致。  $F_{max}$  增加 13.48, 变化幅度较大。其他参考点除  $SSBR_{40\%}$  的减小幅度最大为 13.44,  $YPR_{0.1}$ 、 $YPR_{max}$ 、 $SSBR_{20\%}$  减小幅度相差不大。当开捕年龄从 1.47 增加到 2.67, 当前单位补充量渔获量减小了 1.85, 对应的当前单位补充量亲体生物量增加了 2.47, 变化幅度较大。  $F_{0.1}$  的增幅基本一致,  $F_{max}$  增加了 11.57, 变化幅度较大。其他参考点  $YPR_{0.1}$  增加了 1.28,  $YPR_{max}$  减小了 0.87。综上, 该模型的结果对开捕年龄和

自然死亡系数都比较敏感, 其中, 单位补充量渔获量对自然死亡系数很敏感, 说明重要参数的不确定性可能会影响渔业资源状态的评价。银姑鱼样本观测数据的可靠性、生长参数和死亡系数等参数估算的准确性、种群的自然变化、群体动态信息的缺乏等都影响参数求解的准确性<sup>[39-41]</sup>, 本研究选取了一年四季的 1112 尾样本, 调查站点较多, 样本量充足, 观测数据可靠性大, 能够较为准确地反映浙江南部海域银姑鱼的生活史特征和资源开发状态。但研究仅分析了生活史参数中自然死亡系数对 YPR 和 SSBR 模型的影响, 生长参数也可能对模型产生影响, 在今后研究中还要探讨生长参数对模型的敏感性。

据统计, 2016 年全国银姑鱼捕捞量为 108317 t, 比 2015 年减少了 144 t<sup>[42]</sup>, 但银姑鱼目前仍处于过度开发状态<sup>[43]</sup>。在中国国内海洋渔业中, 目前银姑鱼拖网的网目尺寸以 25 和 40 mm 为主, 开捕体长较小。Gulland<sup>[26]</sup> 指出, 开发率为 0~0.5 时, 渔业处于轻度开发状态, 0.5 为鱼类的一般最适开发率, 高于 0.5 时为过度开发状态。本研究的开发率为 0.7, 大于最适开发率 0.5, 表明浙江南部近海银姑鱼资源处于补充型过度开发状态。综上, 建议减弱银姑鱼的捕捞强度, 加大网目尺寸以增加开捕体长, 保护银姑鱼的产卵群体。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

## 参考文献 (References):

- [1] 伍汉霖, 钟俊生. 中国海洋及河口鱼类系统检索 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 802-803.  
Wu H L, Zhong J S. Key to marine and estuarial fishes of China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021 (in Chinese).
- [2] 侯刚, 刘丹丹, 冯波, 等. 基于地标点几何形态测量法识别北部湾4种白姑鱼矢耳石形态[J]. 中国水产科学, 2013, 20(6): 1293-1302.  
Hou G, Liu D D, Feng B, et al. Using landmark-based geometric morphometrics analysis to identify sagittal otolith of four *Pennahia* fish species[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(6): 1293-1302 (in Chinese).
- [3] 胡雅竹, 钱世勤. 白姑鱼年龄和生长的研究[J]. 海洋渔业, 1989, 11(4): 158-162.  
Hu Y Z, Qian S Q. A study on the age and growth of white Chinese croaker[J]. *Marine Fisheries*, 1989, 11(4): 158-162.  
中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- 158-162 (in Chinese).
- [4] 朱立新, 刘金殿, 梁振林. 一种稳健的贝叶斯方法在威海近海白姑鱼体长与体重关系研究中的应用[J]. 海洋湖沼通报, 2017, 38(1): 109-121.  
Zhu L X, Liu J D, Liang Z L. Application of a robust Bayesian method in studying on the weight-length relationship of silver croaker *Pennahia argentata* inhabiting the coastal water of Weihai[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2017, 38(1): 109-121 (in Chinese).
- [5] 徐兆礼, 陈佳杰. 依据大规模捕捞统计资料分析东黄渤海白姑鱼种群划分和洄游路线[J]. 生态学报, 2010, 30(23): 6442-6450.  
Xu Z L, Chen J J. Analysis to population division and migratory routine of populations and migratory routines of *Argyrosomus argentatus* in the north China waters[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(23): 6442-6450 (in Chinese).
- [6] 陈佳杰, 徐兆礼. 东黄渤海白姑鱼 (*Argyrosomus argentatus*) 渔场空间格局的研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(4): 666-673.  
Chen J J, Xu Z L. Spatial-temporal pattern to fishing ground of white croaker in Bohai, Yellow and East China Seas[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(4): 666-673 (in Chinese).
- [7] 张汉科. 闽中渔场白姑鱼的年龄与生长特性[J]. 台湾海峡, 1987, 6(3): 269-274.  
Zhang H K. Age and growth of white croaker in the Centre Fujian fishing ground[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1987, 6(3): 269-274 (in Chinese).
- [8] 陈作志, 邱永松, 黄梓荣. 南海北部白姑鱼生长和死亡参数的估算[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 712-716.  
Chen Z Z, Qiu Y S, Huang Z R. Estimation of growth and mortality parameters of *Argyrosomus argentatus* in northern South China Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(4): 712-716 (in Chinese).
- [9] 冯波, 陈新军, 朱国平. 补充型过度捕捞的确认及其对渔业管理的启示[J]. 资源开发与市场, 2010, 26(1): 20-23.  
Feng B, Chen X J, Zhu G P. Determining recruitment overfishing and implication to fisheries management[J]. Resource Development & Market, 2010, 26(1): 20-23 (in Chinese).
- [10] 官文江, 田思泉, 朱江峰, 等. 渔业资源评估模型的研究现状与展望[J]. 中国水产科学, 2013, 20(5): 1112-1120.  
Guan W J, Tian S Q, Zhu J F, et al. A review of fisheries stock assessment models[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(5): 1112-1120 (in Chinese).
- [11] 刘逸文, 张崇良, 刘淑德, 等. 山东近海口虾蛄单位补充量渔获量评估[J]. 水产学报, 2020, 44(2): 213-221.  
Liu Y W, Zhang C L, Liu S D, et al. Yield per recruitment evaluation of *Oratosquilla oratoria* in coastal waters of Shandong[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(2): 213-221 (in Chinese).
- [12] 高春霞, 田思泉, 戴小杰. 淀山湖刀鲚的生物学参数估算及其相对单位补充量渔获量[J]. 应用生态学报, 2014, 25(5): 1506-1512.  
Gao C X, Tian S Q, Dai X J. Estimation of biological parameters and yield per recruitment for *Coilia nasus-taihuensis* in Dianshan Lake, Shanghai, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(5): 1506-1512 (in Chinese).
- [13] 冯波, 陈文河, 颜云榕. 基于体重的北部湾红鳍笛鲷单位补充量渔获量与亲体生物量的研究[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(4): 460-465.  
Feng B, Chen W H, Yan Y R. A research on weight-based yield per recruit and pawning-biomass per recruit of *Lutjanus erythropterus* in Beibu Gulf[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(4): 460-465 (in Chinese).
- [14] Ricker W E. Linear regressions in fishery research[J]. Journal of the Fisheries Board of Canada, 1973, 30(3): 409-434.
- [15] Pauly D. Length-converted catch curves and the seasonal growth of fishes[J]. Fishbyte, 1990, 8(3): 33-38.
- [16] 唐渝. 太湖湖鲚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* (Yuan et Lin)[J]. Chinese Journal of Ecology, 1986, 5(3): 5-9,13 (in Chinese).
- [17] 詹秉义. 渔业资源评估 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.  
Zhan B Y. Stock assessment of fishery resources[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995 (in Chinese).
- [18] 马超, 沈长春, 庄之栋, 等. 闽南-台湾浅滩白姑鱼渔业生物学特性研究[J]. 渔业研究, 2019, 41(1): 34-41.  
Ma C, Shen C C, Zhuang Z D, et al. Study on fishery biological characteristics of *Argyrosomus argentatus* in Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground[J]. Journal of Fisheries Research, 2019, 41(1): 34-41 (in Chinese).
- [19] Mildenerberger 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.
- [20] 费鸿年, 张诗全. 水产资源学 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990.  
Fei H N, Zhang S Q. Aquatic resources science[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1990 (in Chinese).
- [21] 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.
- [22] 李跃飞, 李策, 朱书礼, 等. 基于单位补充量模型的西江广东鲂种群资源利用现状评价[J]. *水生生物学报*, 2018, 42(5): 975-983.  
Li Y F, Li C, Zhu S L, *et al.* Exploitation status of *Megalobrama terminalis* based on analysis of SBR and YPR models in Xijiang River[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, 42(5): 975-983 (in Chinese).
- [23] 李策, 李新辉, 李跃飞, 等. 基于单位补充量模型的西江赤眼鲮种群资源利用现状评价[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(1): 151-160.  
Li C, Li X H, Li Y F, *et al.* Exploitation status of *Squaliobarbus curriculus* in the Xijiang River based on the analysis of the yield per recruit and spawning biomass per recruit models[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(1): 151-160 (in Chinese).
- [24] 赵明, 王忠鑫, 辛凤阳, 等. 基于Minex软件的境界优化参数敏感性分析[J]. *露天采矿技术*, 2021, 36(5): 27-30.  
Zhao M, Wang Z X, Xin F Y, *et al.* Analysis on boundary optimization parameter sensitivity based on Minex software[J]. *OpenCast Mining Technology*, 2021, 36(5): 27-30 (in Chinese).
- [25] Kenchington T J. Natural mortality estimators for information-limited fisheries[J]. *Fish and Fisheries*, 2014, 15(4): 533-562.
- [26] Elliott J M, Gulland J. Fish stock assessment a manual of basic methods[M]// FAO. Marine policy. New York: Wiley Series on Food and Agriculture, 1984: 53.
- [27] Cook M A, Lee J S F, Massee K M, *et al.* Effects of rearing temperature on growth and survival of larval sablefish (*Anoplopoma fimbria*)[J]. *Aquaculture Research*, 2018, 49(1): 422-430.
- [28] 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.  
Ma Q Y, Mu 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 (in Chinese).
- [29] 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.  
Gao C X, Ma Q Y, Tian S Q, *et al.* Growth, mortality and yield per recruitment of small yellow croaker in off-shore waters of southern Zhejiang[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(5): 925-937 (in Chinese).
- [30] 颜云榕, 侯刚, 卢伙胜, 等. 北部湾斑鳍白姑鱼的年龄与生长[J]. *中国水产科学*, 2011, 18(1): 145-155.  
Yan Y R, Hou G, Lu H S, *et al.* Age and growth of pawak croaker *Pennahia pawak* in Beibu Gulf[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(1): 145-155 (in Chinese).
- [31] 易晓英, 邱康文, 周霄, 等. 北部湾斑鳍白姑鱼渔业生物学分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2021, 30(3): 515-524.  
Yi X Y, Qiu K W, Zhou X, *et al.* Analysis of fishery biology of *Pennahia pawak* in Beibu Gulf[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, 30(3): 515-524 (in Chinese).
- [32] 颜云榕, 侯刚, 卢伙胜, 等. 北部湾大头白姑鱼生长特性及群体组成[J]. *中国海洋大学学报*, 2010, 40(6): 61-68.  
Yan Y R, Hou G, Lu H S, *et al.* Growth characteristics and population composition of big-head pennah croaker, *Pennahia macrocephalus* in the Beibu Gulf[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2010, 40(6): 61-68 (in Chinese).
- [33] 马春艳, 马凌波, 倪勇, 等. 基于RAG1基因的中国近海13种石首鱼科鱼类系统进化关系[J]. *水产学报*, 2012, 36(1): 9-16.  
Ma C Y, Ma L B, Ni Y, *et al.* Molecular phylogenetic relationships of 13 Sciaenidae species in the China Sea based on RAG1 gene sequences[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(1): 9-16 (in Chinese).
- [34] 杜晓雪, 高春霞, 田思泉, 等. 温台渔场龙头鱼的生长、死亡及最适开捕规格[J]. *水产学报*, 2018, 42(10): 1550-1558.  
Du X X, Gao C X, Tian S Q, *et al.* Growth, mortality and optimum catchable size of Bombay duck (*Harpadon nehereus*) in the Wentai fishing ground, East China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(10): 1550-1558 (in Chinese).
- [35] 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.  
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 (in Chinese).
- [36] 尹增强, 章守宇, 汪振华, 等. 浙江嵊泗人工鱼礁区小黄鱼生长特征与资源合理利用的初步研究[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(3): 588-594.
- Yin Z Q, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Growth variation and rational utilization of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in artificial reef areas of Shengsi, Zhejiang Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(3): 588-594 (in Chinese).
- [37] 朱立新, 李丽芳, 梁振林. 不确定性对北部湾二长棘鲷渔业资源评估影响的模拟研究[J]. *广东海洋大学学报*, 2009, 29(1): 36-43.
- Zhu L X, Li L F, Liang Z L. A simulation study of impacts of uncertainty on the assessment of the crimson sea bream (*Paragyrops edita*) fishery in Beibu Gulf[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2009, 29(1): 36-43 (in Chinese).
- [38] 冯波, 徐翼, 卢伙胜. 北部湾二长棘鲷休渔效果模拟评价[J]. *资源科学*, 2009, 31(12): 2201-2207.
- Feng B, Xu Y, Lu H S. A modeling evaluation of effects of closed season on *Paragyrops edita* in Beibu Gulf[J]. *Resources Science*, 2009, 31(12): 2201-2207 (in Chinese).
- [39] 王艳君. 渔业种群亲体与补充量关系研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- Wang Y J. Relationships of stock and recruitment in fish stock assessment[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006 (in Chinese).
- [40] Fogarty M J, Mayo R K, O'Brien L, *et al.* Assessing uncertainty and risk in exploited marine populations[J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 1996, 54(2-3): 183-195.
- [41] Grabowski R, Chen Y. Incorporating uncertainty into the estimation of the biological reference points  $F_{0.1}$  and  $F_{max}$  for the Maine green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*) fishery[J]. *Fisheries Research*, 2004, 68(1-3): 367-371.
- [42] 农业部渔业渔政管理局. 2017 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017 (in Chinese).
- [43] Yang B Z, Herrmann B, Yan L, *et al.* Effects of six codend meshes on the size selection of juvenile white croaker (*Pennahia argentata*) in demersal trawl fishery of the South China Sea[J]. *PLoS One*, 2021, 16(7): e0253723.

## Estimations of life history parameters and stock assessment for silver croaker (*Pennahia argentata*) in offshore waters of southern Zhejiang

REN Caini<sup>1</sup>, MA Qiuyun<sup>1,2,3,4\*</sup>, DAI Xiaojie<sup>1,2,3,4,5</sup>, YE Shen<sup>6</sup>

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

2. National Data Center for Distant-Water Fisheries of China, Shanghai 201306, China;

3. National Distant-Water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

5. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

6. Zhejiang Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-resource, Wenzhou 325005, China)

**Abstract:** While silver croaker (*Pennahia argentata*) is an economically and ecologically important species in the East China Sea, researches on its life history traits, stock assessment and fishery management are limited in recent years. Given the increasing fishing intensity and great changes of ecosystem, limited studies of *P. argentata* would lead to misunderstanding of its stock status and difficulties in its conservation and management. Based on samples from the scientific survey in the offshore waters of southern Zhejiang in 2016, this study intends to understand the life history of *P. argentata* (growth, maturity, and mortality), to evaluate the stock status and to provide management advice. This study analyzed the life history traits based on the widely used and empirical methods, *i.e.* von Bertalanffy growth function for growth parameters, logistic maturity curve, and Pauly empirical formula for mortality coefficients. The yield per recruitment (YPR) and spawning stock biomass per recruitment (SSBR) models were constructed, considering the influence of natural mortality and selectivity. The asymptotic length of *P. argentata* was estimated to be 25.36 cm, and the exponential rate was 0.32 in the growth function. The current length of 50% selectivity (13.52 cm) was much smaller than the length of first sexual maturity (17.79 cm). Based on the length-converted catch curve, the total mortality of *P. argentata* was estimated to be 2.62. The Pauly empirical formula estimated the natural mortality  $M$  to be 0.74, while the fishing mortality estimate was 1.88. Results of YPR and SSBR models revealed that the biological reference points  $F_{\max}$  and  $F_{0.1}$  were 3.43 and 0.78, while  $F_{20\%}$  and  $F_{40\%}$  were estimated to be 0.66 and 0.33, respectively. The current fishing intensity was much higher than  $F_{20\%}$ , indicating recruitment overfishing for this stock. Scenarios considering different natural mortality ( $M=0.54, 0.64, 0.74, 0.84$  and  $0.94$ ) and different selectivity (age of 50% selectivity:  $t_{50}=1.47, 1.77, 2.07, 2.37$  and  $2.67$ ), were evaluated in the sensitivity analysis for YPR and SSBR models. When  $M$  increased from 0.54 to 0.94, the estimates for the current YPR would decrease from 17.69 to 10.48, and the current SSBR would slightly decrease from 0.82 to 0.57. When the  $t_{50}$  increased, both YPR and SSBR declined in different degrees. Both YPR and SSBR, including the biological reference points, were sensitive to  $M$  and selectivity. The stock of *P. argentata* in offshore waters of southern Zhejiang has been recruitment overfished in 2016, and both natural mortality and selectivity have substantial influence on the stock assessment and management advices for this fishery. Therefore, it is recommended to reduce the fishing intensity and increase the first capture length in order to improve the conservation and management of *P. argentata*.

**Key words:** *Pennahia argentata*; growth and mortality; per recruitment model; fishery management; southern Zhejiang

**Corresponding author:** MA Qiuyun. E-mail: qyma@shou.edu.cn

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (41906074, 31902372); Fisheries Resource Survey of Zhejiang Province, China (158053)