

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15463

象山港黄姑鱼增殖放流效果评估及增殖群体利用方式优化

姜亚洲, 林楠, 刘尊雷, 袁兴伟, 李圣法, 程家骅

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

摘要:以回捕渔获重量和对繁殖群体的补充能力为评价指标, 借助标志放流-回捕实验, 利用模型模拟分析方法, 定量评估浙江象山港黄姑鱼(*Nibea albiflora*)的增殖放流效果; 同时, 结合其增殖目标定位, 探索构建生态高效的增殖群体利用方式。研究表明, 象山港黄姑鱼增殖群体的捕捞死亡系数为 1.31, 在该捕捞强度下, 11055 尾增殖放流鱼苗可产生 737 kg 回捕渔获收益, 同时还向增殖水域补充了 554 尾初次性成熟个体, 增殖放流活动在一定程度上起到了修复象山港黄姑鱼资源、促进渔民增产增收的效果。结果表明, 捕捞强度过大是制约象山港黄姑鱼增殖放流功效发挥的重要因素, 捕捞死亡系数应降至 0.46, 同批次黄姑鱼增殖放流所能提供的回捕渔获重量和性成熟个体尾数可分别较现行捕捞强度提升 41.49%和 326.90%。综上所述, 象山港黄姑鱼增殖放流的生态和经济功效较为显著, 合理降低对增殖群体的捕捞强度是进一步提升其增殖放流效果的必要措施。

关键词:象山港; 黄姑鱼; 增殖放流; 标志回捕法; 高效利用

中图分类号: S932

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)03-0641-07

增殖放流作为水生生物资源养护的重要手段, 是国内外在渔业资源增殖养护和水域生态修复领域普遍采用的做法^[1-3]。增殖放流功效评估是增殖放流工作的一个重要环节。功效评估结果不仅有助于增殖放流工作责任主体准确掌握增殖放流所产生的生态、经济和社会效益, 获取准确的资源增殖和成本收益信息; 还可为今后改进增殖放流策略、实施适应性管理提供重要参考依据^[4-5]。

象山港为地处浙江省中部沿海的一个狭长型半封闭港湾, 港域生态环境良好, 是渔业生物良好的繁殖、索饵、生长栖息场所^[6]。黄姑鱼(*Nibea albiflora*)为该水域的定居性鱼类, 具有较高的经济价值, 是当地生计渔业重点的捕捞对象^[7]。近年来, 随着过度捕捞和海洋开发的日益加剧, 象山港生态环境不断恶化, 黄姑鱼等优质渔业资源种群显著衰退^[8]。为修复衰退渔业种群、促进渔民增产增收, 近年来相关部门在象山港持续开展黄

姑鱼的增殖放流工作, 年苗种投放量达数十万尾。但由于黄姑鱼生活史周期较长, 全生活史跟踪黄姑鱼增殖群体的存活和回捕状况难度较大, 象山港黄姑鱼增殖放流功效评估工作开展相对滞后, 至今尚未形成对其增殖放流功效的定量认识。

鉴于此, 本研究拟以回捕渔获重量和对黄姑鱼繁殖群体的补充能力为评价指标, 借助标志放流-回捕实验, 利用模型模拟分析方法, 定量评估象山港黄姑鱼增殖放流功效; 同时, 结合其增殖工作目标定位, 探索构建生态高效的增殖群体利用方式, 以期今后象山港黄姑鱼增殖放流工作的管理和决策提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 象山港黄姑鱼标志放流和回捕监测

本研究采用挂牌标志法对黄姑鱼增殖放流苗种进行标志, 所用鱼苗为人工繁育并暂养至 150

收稿日期: 2015-12-09; 修订日期: 2016-01-17.

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303047); 宁波市重大科技攻关项目(2013C11014).

作者简介: 姜亚洲(1983-), 男, 助理研究员, 主要从事渔业资源增殖养护技术研究. E-mail: yazhoujiang@163.com

通信作者: 程家骅, 研究员. E-mail: ziyuan@sh163.net

日龄、体长均值约为 114 mm 的黄姑鱼幼鱼; 所用标志牌为红色长条形, 上注“宁海研 1-5”字样。挂牌标志时间为 2011 年 9 月 6 日, 具体操作过程参

照徐开达等^[9]。标记幼鱼经 6 天暂养, 于 9 月 12 日放流至在象山港白石山邻近水域(图 1), 据放流前统计, 共计放流挂牌标志黄姑鱼幼鱼 11055 尾。

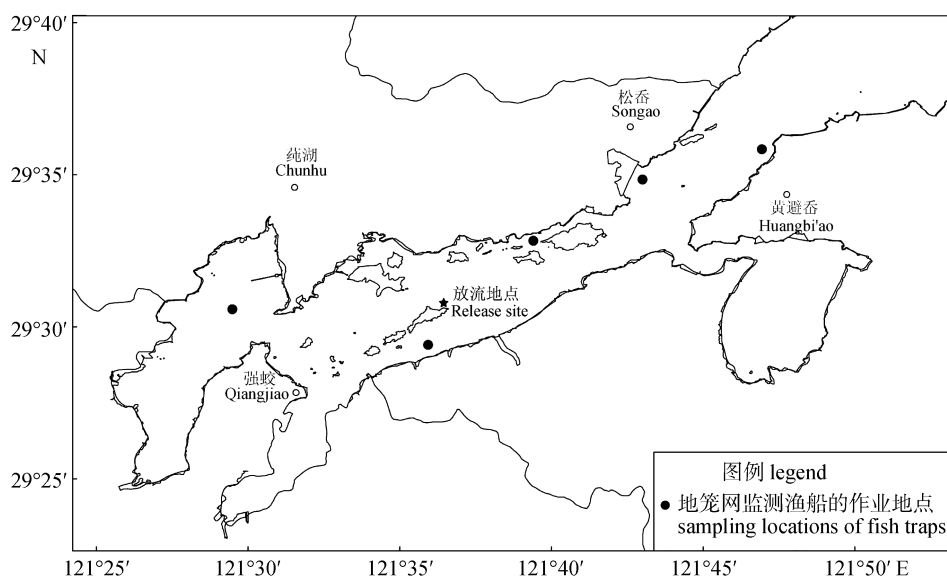


图 1 象山港黄姑鱼放流地点和回捕站位图

Fig. 1 Map showing the release site and sampling stations for hatchery-released individuals of *Nibea albiflora*

黄姑鱼标记放流后, 依托当地捕捞黄姑鱼的主要渔业作业方式桁杆拖网和地笼网进行回捕调查。据统计: 放流当年, 象山港共有桁杆拖网渔船约 50 艘, 地笼网渔船约 100 艘^[10]。本研究以抽样调查方式统计上述两种作业方式对黄姑鱼标志放流个体的回捕状况; 标志放流后, 分别选取 4 艘桁杆拖网渔船和 5 艘地笼网渔船进行黄姑鱼标志个体回捕监测。其中桁杆拖网渔船在港区的作业地点不固定, 基本覆盖整个港湾; 5 艘地笼网渔船基本实行定点作业, 作业地点如图 1 所示。回捕调查共计持续 2 个月时间, 调查期间, 委托船主详细填写渔获日志, 准确记录作业时间、作业定点和黄姑鱼标志个体的日渔获量等相关信息。

1.2 增殖放流效果评估方法

本研究以 Chen 等^[11]提出的增殖放流功效评估方法为基础, 在估算增殖放流群体的自然死亡系数(M)和捕捞死亡系数(F)的基础上, 依托经典渔业资源评估模型, 计算增殖群体在特定时间段产生的回捕渔获重量, 进而加和获取总回捕渔获

量信息。与此同时, 引入繁殖群体补充量作为表征增殖放流资源修复功效的量化评价指标^[4], 通过估算增殖放流个体中能完成初次性成熟的个体数量, 评估增殖放流对黄姑鱼资源群体的修复能力。具体计算过程如下:

(1) 自然死亡系数和捕捞死亡系数

自然死亡系数根据 Pauly 的经验公式^[12-13]进行估算:

$$\ln M = -0.0066 - 0.279 \ln l_{\infty} + 0.6543 \ln K + 0.4634 \ln T \quad (1)$$

式中: l_{∞} (cm)为渐进体长, K 为年生长系数, T (°C)表示年平均表层水温。本研究自然死亡系数计算所需生长参数参考吴常文等^[14]: $L_t = 529.5 \left[1 - e^{-0.262(t-0.281)} \right]$ 、

$W_t = 2597.4 \left[1 - e^{-0.262(t-0.281)} \right]^{2.4164}$; 象山港年平均水温的取值为 17°C^[8]。

捕捞死亡系数和特定时间段回捕的增殖放流个体尾数的关系如式 2 所示, 依据回捕尾数信息, 通过规划求解的方式迭代求解捕捞死亡系数数值^[15]。

$$F = \frac{MC_{(t_1, t_2)}}{N_{t_c} \left[e^{-(M+F)(t_1-t_c)} - e^{-(M+F)(t_2-t_c)} \right] - C_{(t_1, t_2)}} \quad (2)$$

式中, t_c 为黄姑鱼增殖放流个体的开捕年龄, N_{t_c} 为增殖放流个体在开捕的残存尾数, $C_{(t_1, t_2)}$ 为在 $t_1 \sim t_2$ 时段的回捕尾数。

(2) 回捕渔获重量

本研究通过计算黄姑鱼增殖群体开捕后特定时段(以天为单位)的回捕尾数, 结合其体重生长方程, 求取特定时段的回捕渔获重量; 最终加和获取黄姑鱼放流群体总回捕渔获量信息^[15]。

$$B_{(t_c, t_D)} = \sum_{t=t_c}^{t_D} B_{t_D} \quad (3)$$

$$B_{t_D} = \frac{N_{t_c} W_{\infty} F}{M + F} \left[e^{-(M+F)(t_D-t_c)} - e^{-(M+F)(t_{D+1}-t_c)} \right] \left[1 - e^{-K(t-t_0)} \right]^b \quad (4)$$

式中, $B_{(t_c, t_D)}$ 和 B_{t_D} 分别为第 D 日龄的回捕渔获重量和总回捕渔获量, W_{∞} 、 K 、 t_0 和 b 分别为体重生长方程的渐进体重、年生长系数、理论生长起点年龄和体长体重关系的幂指数系数, N_{t_c} 和 t_c 表征内容同式 2。

(3) 繁殖群体补充量

依据黄姑鱼繁殖规律, 将可完成初次性成熟的增殖放流个体数量视作增殖放流对象山港黄姑鱼繁殖群体的补充量, 计算公式如下^[15]。

$$N_S = N_{t_c} e^{-(M+F)(t_S-t_c)} \quad (5)$$

式中, N_S 为繁殖群体补充量, t_S 为黄姑鱼初次性成熟年龄, N_{t_c} 和 t_c 表征内容同式 2。

2 结果与分析

2.1 象山港黄姑鱼增殖群体的自然死亡系数和捕捞死亡系数

本研究依 Pauly 经验公式估算: 象山港黄姑鱼增殖群体的自然死亡系数为 0.51(以年为计量单位, 下同)。据调研, 桁杆拖网和地笼网作业均为选择性较差的渔业作业方式, 黄姑鱼增殖群体进入自然水域后即被捕捞利用。本研究黄姑鱼标志放流个体回捕监测共分为 3 个阶段, 历时 2 个月。第一阶段(9月12日至10月1日), 桁杆拖网

和地笼网监测船只船均捕获黄姑鱼标志放流个体数量分别为 3.75 ± 1.79 和 6.20 ± 1.48 , 此阶段象山港共计捕获黄姑鱼标记个体约 808 尾; 第二阶段(10月2日至10月21日), 桁杆拖网和地笼网渔船船均捕获黄姑鱼标志个体数量分别为 3.00 ± 1.22 和 5.00 ± 1.67 , 此阶段象山港共计捕获黄姑鱼标记个体 650 尾; 第三阶段(10月22日至11月11日), 桁杆拖网和地笼网渔船船均捕获黄姑鱼标志个体数量分别为 2.50 ± 1.12 和 4.60 ± 1.50 , 此阶段象山港共计捕获黄姑鱼标记个体 585 尾。依据上述回捕信息估算: 象山港黄姑鱼标志个体的捕捞死亡系数 1.31(以年为计量单位, 下同)。

2.2 象山港黄姑鱼增殖放流效果

从黄姑鱼标志个体进入象山港水域至发育到 6 龄(在东海近海发现的最大黄姑鱼年龄)^[14], 捕捞时间约 67 个月, 在现捕捞强度下(捕捞死亡系数为 1.31), 11055 尾黄姑鱼增殖放流个体可为象山港周边地区带来 737 kg 黄姑鱼渔获收益(图 2)。本批次黄姑鱼放流鱼苗的生产成本约为 1.11 万元, 象山港周边地区黄姑鱼渔获单价约合 60 元/kg, 据此计算: 本批次黄姑鱼增殖放流可为当地带来 4.42 万元的经济收益; 增殖放流的投入产出比约为 1:3.99。

依黄姑鱼初次性成熟年龄为 2 龄计算^[16], 黄姑鱼放流个体需经 19 个月发育方可发育至初次性成熟。至初次性成熟节点, 象山港水域残存的黄姑鱼标志放流个体数量约为 554 尾, 残存率为 5.02%; 待黄姑鱼放流个体中发育至 3 龄和 4 龄性成熟个体, 象山港水域所分布的本批次黄姑鱼放流个体分别约为 84 尾和 12 尾, 所占放流个体的比重分别仅为 0.76%和 0.11%(图 2)。

2.3 捕捞强度对象山港黄姑鱼增殖放流效果的影响

图 3 所示为捕捞死亡系数对象山港黄姑鱼增殖放流所能产生的总回捕渔获重量和对增殖水域黄姑鱼繁殖群体补充量的影响方式。由此图可见, 无论从修复象山港黄姑鱼野生资源还是从促进渔民增产增收角度分析, 现行捕捞强度均不为最优的黄姑鱼增殖群体利用方式, 合理调节对增殖群体的捕捞强度将有利于黄姑鱼增殖放流效果的发

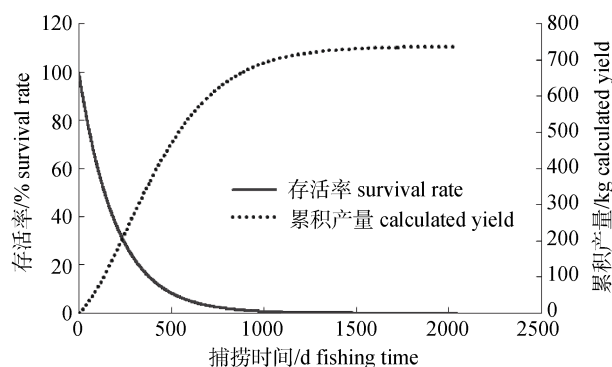


图 2 象山港黄姑鱼增殖群体的残存率及回捕产量的变化动态

Fig. 2 Dynamics in survival rate and recaptured yield of hatchery-released individuals of *Nibea albiflora* in Xiangshan Bay

挥。从回捕渔获重量最大化的角度分析, 现行捕捞死亡系数需降至 0.46 时(即捕捞强度为现行捕捞强度的 36%), 黄姑鱼增殖放流所能产生的总回捕渔获重量最高, 约合 1045 kg, 较现行捕捞强度下增长约 41.49%; 另外, 在此捕捞强度下, 能够发育至初次性成熟的黄姑鱼增殖放流个体数量明显增加, 增至约 2365 尾, 较现行捕捞强度下的增幅约为 326.90%。从促进象山港黄姑鱼资源修复的角度出发, 若不对黄姑鱼增殖资源捕捞利用, 能够发育至初次性成熟的黄姑鱼增殖放流个体数量最多, 可达 4413 尾, 占增殖放流鱼苗的比重约为 39.91%。

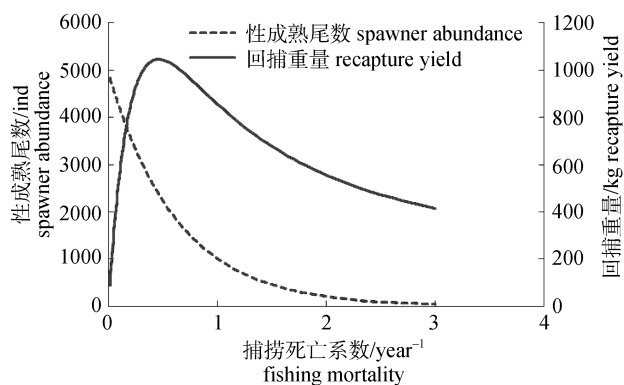


图 3 捕捞死亡系数对象山港黄姑鱼增殖群体回捕重量和繁殖群体补充量的影响

Fig. 3 Effect of fishing mortality on recaptured yield and abundance of spawners originated from hatchery-released individuals of *Nibea albiflora* in Xiangshan Bay

3 讨论

我国的增殖放流事业历经 30 多年的发展, 现在已形成增殖种类繁多、增殖功能定位多元的发展格局。在此背景下, 开展增殖放流效果评估, 需根据增殖功能定位, 结合增殖种类生物生态学特征, 针对性选择评价指标, 采用操作性强的功效评估方法。象山港黄姑鱼增殖放流的功能定位兼具修复衰退渔业种群、促进渔民增产增收等内容, 本研究以回捕渔获重量和对繁殖群体的补充量作为评价指标, 利用模型模拟方法评估其增殖功效, 评估结果不仅有利于行业主管部门掌握增殖放流工作效能, 研究思路和评价方法还可为同类研究提供一定借鉴。尤其是在增殖功效评价指标的选择上, 鉴于我国增殖种类的野生种群多数存在资源衰退迹象, 增殖工作肩负资源修复的重任, 故此, 将繁殖群体补充量等表征增殖放流资源修复能力的评价指标融入增殖放流功效评估实践将有助于充分认识增殖放流工作的资源增殖功效。

从评估结果上看, 象山港黄姑鱼增殖放流工作无论从经济层面还是从生态层面均体现出了较高的投入产出效能, 约 1.1 万尾标志放流鱼苗不仅可为港区带来 737 kg 的回捕渔获收益, 还可补充 554 尾可完成初次性成熟的黄姑鱼个体, 增殖放流活动在一定程度上起到了修复衰退渔业种群、促进渔民增产增收的功效。象山港黄姑鱼增殖放流的投入产出为 1:3.99, 该值略低于浙江近海黑鲷、日本黄姑鱼和广东省黑鲷、黄鳍鲷等增殖放流工作的投入产出效能。经对比分析发现, 不同增殖水域对增殖资源的渔业利用方式和回捕渔获价格是影响增殖放流投入产出比的重要因素。较上述增殖种类, 象山港黄姑鱼增殖群体所承受的捕捞压力偏高, 致使其回捕渔获总量相对较低, 外加周边地区黄姑鱼渔获价格相对低廉, 共同制约了其增殖放流工作的经济效能发挥。

从评价技术上分析, 该评估结果较其实际增殖功效可能存在一定的被高估风险, 需在今后的研究工作中优化完善。从评估模型的逻辑结构分析, 制约其评估精度的最重要的因素为自然死亡

系数和捕捞死亡系数的估值。标志放流-回捕实验虽可较为准确评估增殖群体的捕捞死亡系数,但使用 Pauly 经验公式估算的自然死亡系数却有低估增殖群体自然死亡状况的风险。大量研究表明,人工繁育鱼苗受亲体来源和早期生存环境等诸多因素的影响,对自然水体的生态适应性明显弱于野生个体^[17-18],一方面表现为对饵料资源的竞争能力弱,易发饥饿死亡^[19];另一方面,游泳速度慢、藏匿行为少,易被捕食^[20]。上述因素致使增殖放流个体的自然死亡系数通常高于野生个体。本研究基于黄姑鱼野生种群的生长方程,利用 Pauly 经验公式估算其自然死亡系数,所得结果可较好表征野生种群的自然死亡规律,但用野生种群的自然死亡系数表征增殖群体的自然死亡状况可能造成后者被低估。自然死亡系数估值偏低会产生对回捕渔获重量和繁殖群体补充量等功效评价指标的估值偏高的风险^[4]。鉴于此,建议今后应加大对增殖群体在自然水体中存活规律的研究,此举不仅有利于掌握增殖群体对自然水体的生态适应能力,还可提升模型模拟法评估增殖放流功效的精度。

大量研究表明,增殖放流实际功效的发挥受增殖水域捕捞强度调控、栖息地保护等诸多配套渔业管理措施的影响^[21-22]。本研究发现,象山港黄姑鱼的增殖放流功效与增殖群体的捕捞死亡系数休戚相关(图 3)。一方面,随着捕捞强度增大,增殖放流个体中可完成初次性成熟的数量逐渐减少,资源修复能力减弱;另一方面,增殖放流所能产生的回捕渔获重量随捕捞强度增大呈先增后减的趋势(拐点出现在捕捞死亡系数为 0.46)。在现行捕捞强度下,无论是从修复象山港黄姑鱼野生种群还是从促进当地渔业增产增收的角度分析,象山港黄姑鱼的增殖放流功效均得不到最大化体现。鉴于此,降低对黄姑鱼增殖群体的渔业利用强度,是提升其增殖放流功效的必要措施。结合捕捞死亡系数对象山港黄姑鱼增殖放流功效的影响方式,建议捕捞强度应至少降至实际值的 36%,即捕捞死亡系数降至 0.46,在此捕捞强度下,黄姑鱼增殖群体的回捕渔获重量和对繁殖群体的补

充量较实际状况可分别提升 41.49%和 326.90%。在此基础上,捕捞死亡系数有无进一步降低的必要,需综合权衡象山港水域黄姑鱼野生群体的资源状况和当地的渔民增收需求等相关因素加以确定。

增殖放流作为一种渔业资源人为修复手段,其在提升增殖水域渔业产出能力的同时,也可能给野生资源种类甚至整个生态系统带来诸多生态风险^[23-24]。按照负责任渔业资源增殖放流的理念要求,增殖放流效果评价工作应在评价资源增殖功效的同时,积极融入针对增殖放流生态风险的评估内容^[25]。针对象山港黄姑鱼增殖放流,本研究对其资源修复和促进渔业增产等相关功效进行了初步评价。建议今后对象山港黄姑鱼增殖放流效果的评价研究应在着力提升针对现有评价指标评估精度的同时,系统评估增殖放流可能对象山港黄姑鱼野生种群遗传结构、健康状况以及象山港生态系统结构和功能的影响方式,以确保评估结果客观、系统地支撑后续增殖放流管理决策。

致谢:感谢浙江省海洋水产研究所王伟定研究员、梁君和宁波市海洋与渔业研究院张振敏高工在黄姑鱼标志过程中给予的支持和帮助!

参考文献:

- [1] Bartley D M, Bell J D. Restocking, stock enhancement and sea ranching: arenas of progress[J]. *Rev Fish Sci*, 2008, 16(1-3): 357-365.
- [2] Bell J D, Bartley D M, Lorenzen K, et al. Restocking and stock enhancement of coastal fisheries: potential, problems and progress[J]. *Fish Res*, 2006, 80(1): 1-8.
- [3] Cheng J H, Jiang Y Z. Marine stock enhancement: Review and prospect[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(3): 610-617.[程家骅, 姜亚洲. 海洋生物资源增殖放流回顾与展望[J]. *中国水产科学*, 2010, 17(3): 610-617.]
- [4] Lorenzen K. Population dynamics and potential of fisheries stock enhancement: practical theory for assessment and policy analysis[J]. *Phil Trans Roy Soc B*, 2005, 360(1453): 171-189.
- [5] Blankenship H L, Leber K M. A responsible approach to marine stock enhancement: Am Fish Soc Symp[C]. New York: Am Fish Soc, 1995, 15: 165-175.
- [6] Jiang Y Z, Lin N, Yuan X W, et al. Community structure and

- species diversity of nektons in Xiangshan Bay of East China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(4): 920–926.[姜亚洲, 林楠, 袁兴伟, 等. 象山港游泳动物群落结构及多样性[J]. 生态学杂志, 2013, 32(4): 920–926.]
- [7] Lin N, Jiang Y Z, Yuan X W, et al. Diet composition and feeding ecology of *Nibea albiflora* in Xiangshan Bay, East China sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(6): 1284–1292.[林楠, 姜亚洲, 袁兴伟, 等. 象山港黄姑鱼的食物组成与摄食习性[J]. 中国水产科学, 2013, 20(6): 1284–1292.]
- [8] You Z J, Jiao H F. Research on Preservation and Restoration Technique of Ecological Environment in Xiangshan Bay[M]. Beijing: China Ocean Press, 2011.[尤仲杰, 焦海峰. 象山港生态环境保护与修复技术研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2011.]
- [9] Xu K D, Zhou Y D, Wang W D, et al. The tagging and releasing experiment of *Sparus microcephalus* (Basilewsky) in the Zhoushan sea area[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(1): 93–97.[徐开达, 周永东, 王伟定, 等. 舟山海域黑鲷标记放流试验[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(1): 93–97.]
- [10] Jiang Y Z, Ling J Z, Lin N, et al. Stocking effectiveness of hatchery-released kuruma prawn *Penaeus japonicus* in the Xiangshan Bay, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(9): 2651–2658.[姜亚洲, 凌建忠, 林楠, 等. 象山港日本对虾增殖放流的效果评价[J]. 生态学报, 2012, 32(9): 2651–2658.]
- [11] Chen P, Qin C, Yu J, et al. Evaluation of the effect of stock enhancement in the coastal waters of Guangdong, China[J]. Fish Manag Ecol, 2015, 22: 172–180.
- [12] Pauly D. On the relationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks[J]. J Cons Int Explor Mer, 1980, 39(2): 175–192.
- [13] Liang J, Wang W D, Lin G Z, et al. Effect and assessment of enhancement release of *Nibea japonica* and *Sparus microcephalus* in artificial reef habitat waters of Zhoushan, Zhejiang[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(5): 1075–1084.[梁君, 王伟定, 林桂装, 等. 浙江舟山人工生境水域日本黄姑鱼和黑鲷的增殖放流效果及评估[J]. 中国水产科学, 2010, 17(5): 1075–1084.]
- [14] Wu C W, Zhao S J, Hu C C. Age and growth of *Nibea albiflora* in the East China Sea[J]. Marine Fisheries, 2005, 27(3): 193–199.[吴常文, 赵淑江, 胡春春. 东海黄姑鱼年龄与生长的初步研究[J]. 海洋渔业, 2005, 27(3): 193–199.]
- [15] Chen P M. Study on the method for assessment of enhancement effect of fishery stock[J]. South China Fisheries Science, 2006, 2(1): 1–4.[陈丕茂. 渔业资源增殖放流效果评估方法的研究[J]. 南方水产, 2006, 2(1): 1–4.]
- [16] Kakuda S, Nakai K. On the maturity and spawning of *Nibea albiflora*[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1981, 47(1): 17–25.
- [17] Araki H, Berejikian B A, Ford M J, et al. Fitness of hatchery-reared salmonids in the wild[J]. Evol Appl, 2008, 1(2): 342–355.
- [18] Kallio-Nyberg I, Romakkaniemi A, Jokikokko E, et al. Differences between wild and reared *Salmo salar* stocks of two northern Baltic Sea rivers[J]. Fish Res, 2015, 165: 85–95.
- [19] Blaxter J H S. The enhancement of marine fish stocks[J]. Adv Mar Biol, 2000, 38: 1–54.
- [20] Brown C, Day R. The future of stock enhancements: Bridging the gap between hatchery practice and conservation biology[J]. Fish Fish, 2002, (3): 79–94.
- [21] Brown C, Laland K. Social learning and life skills training for hatchery reared fish[J]. J Fish Biol, 2001, 59(3): 471–493.
- [22] Jiang X L, Wang W, Liu G Q, et al. Discussion on major factors influencing the effects of fishery resources stock enhancement[J]. Fishery Modernization, 2015, 42(4): 62–67.[江兴龙, 王玮, 林国清, 等. 影响渔业资源增殖放流效果的主要因素探讨[J]. 渔业现代化, 2015, 42(4): 62–67.]
- [23] Lorenzen K, Beveridge M C M, Mangel M. Cultured fish: integrative biology and management of domestication and interactions with wild fish[J]. Biol Rev, 2012, 87(3): 639–660.
- [24] Eby L A, Roach W J, Crowder L B, et al. Effects of stocking-up freshwater food webs[J]. Trends Ecol Evol, 2006, 21(10): 576–584.
- [25] Lorenzen K, Leber K M, Blankenship H L. Responsible approach to marine stock enhancement: An update[J]. Rev Fish Sci, 2010, 18(2): 189–210.

Effectiveness of *Nibea albiflora* stock enhancement in Xiangshan Bay and prioritization of fishing strategy for the released stock

JIANG Yazhou, LIN Nan, LIU Zunlei, YUAN Xingwei, LI Shengfa, CHENG Jiahua

Key Laboratory of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture; East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China

Abstract: *Nibea albiflora* is one of the commercially important fish stocks that is depleted in Xiangshan Bay, a semi-enclosed tidal inlet located on the east coast of Zhejiang Province, East China. To rebuild the depleted stock and increase the fishermen's incomes, hundreds of thousands of hatchery juvenile *N. albiflora* are released into the bay annually. However, the effectiveness of the stock enhancement program has not yet been evaluated. In this study, we evaluated the recaptured yield and abundance of spawners originating from the hatchery-released juveniles of *N. albiflora* in Xiangshan Bay with a mark-recapture experiment and classical fishery models. We propose a method to prioritize the fishing strategy for the released stock. In September 2011, 11 055 5-month-old hatchery-reared juvenile *N. albiflora* were tagged with a scutcheon tag and released into Xiangshan Bay. The tagged fish were collected by local commercial fisheries during the two months following their release. The natural and fishing mortality of the hatchery-released individuals was 0.51/a and 1.31/a, respectively. In the fishery scenario, the stock enhancement program would generate 737 kg of recapture yield, and the direct input-output cost ratio would be 1 : 3.99. The number of hatchery-released juveniles surviving to sexual maturity would be approximately 554, which would contribute to the spawning stock and help restore the depleted *N. albiflora* stock. The effectiveness of *N. albiflora* stock enhancement is strongly dependent on the level of fishing effort, and the appropriate reduction in the fishing effort would benefit both the recapture yield and the abundance of spawners originating from hatchery-released juvenile *N. albiflora*. If the fishing mortality declined to 0.46/a, or 36% of the estimated value, the total recapture yield would reach 1045 kg and the abundance of spawners originating from the hatchery-released juveniles would be 4413. These two values are 41.49% and 326.90% higher, respectively, than those in the current fishery scenario. In conclusion, the *N. albiflora* enhancement program in Xiangshan Bay shows good ecological performance and economic efficiency. An appropriate reduction in the fishing effort is essential to improve its effectiveness.

Key words: Xiangshan Bay; *Nibea albiflora*; stock enhancement; mark-recapture method; efficient utilization

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