

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.17412

浙北近海曼氏无针乌贼增殖放流效果评估

徐开达^{1,2}, 周永东^{1,2}, 王洋¹, 王伟定¹, 徐汉祥^{1,2,3}, 张洪亮¹, 李鹏飞¹, 梁君¹, 陈峰¹, 卢占晖¹, 刘连为³

1. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316021;
2. 农业部重点渔场渔业资源科学观测实验站, 浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江 舟山 316021;
3. 浙江海洋大学, 浙江 舟山 316022

摘要: 为修复浙北近海曼氏无针乌贼(*Sepiella maindroni*)资源, 2013—2016 年实施了大规模放流, 累计增殖放流受精卵 7835×10^4 粒, 同期还开展了跟踪监测调查。本研究利用放流前后的定点资料和补充采样数据, 估算了生长参数和死亡系数等指标, 并构建资源评估模型, 模拟分析了渔获产量和残存率的变化趋势。结果表明, 2013—2016 年浙北海域放流曼氏无针乌贼极限体长为 138 mm, 年生长系数 K 为 2.354, t_0 为 -0.05237 a, 年总死亡系数 Z 为 2.83, 年自然死亡系数 M 为 1.74, 年捕捞死亡系数 F 为 1.09; 现行捕捞强度下, 每投放 1×10^4 粒受精卵, 可形成 137.3 kg 产量, 同时还补充了 502 ind 性成熟个体, 增殖放流在一定程度上起到了种群修复和增产增收的目的。评估结果显示, 将开捕时间推迟 2 个月, 捕捞产量可增加 10.0%, 发育至性成熟个体增加 27.5%; 捕捞强度也是影响放流效果的重要因素之一, 若将年捕捞死亡系数降至 0.76, 捕捞产量最高可达 155.6 kg, 发育至性成熟个体增加 29.4%。最后, 针对研究结果提出提高曼氏无针乌贼放流效果和合理利用资源的建议。

关键词: 曼氏无针乌贼; 浙北近海; 增殖放流; 资源评估

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)03-0654-09

曼氏无针乌贼(*Sepiella maindroni*)为东海四大渔产之一^[1], 历史上最高年产量曾达 7×10^4 t, 占海洋捕捞产量的 9.3%, 然而由于不合理利用, 致使该资源于 20 世纪 80 年代初急剧衰退, 80 年代末降至低谷, 已无法形成渔汛, 并显现逐步绝迹迹象^[2]。为修复资源, 2000 年以来, 浙江渔场积极采取人工繁殖苗种和放流相结合的资源增殖养护措施, 通过十多年的努力, 浙江近海曼氏无针乌贼数量呈现增长趋势。有关曼氏无针乌贼的报道, 主要集中于生物学特性和苗种繁育相关研究^[3-8], 也有学者初步探讨了增殖放流相关技术^[9-12], 但放流效果评估的研究未见报道。增殖放流效果评价是渔业生物资源修复过程中重要环节,

研究结果可为渔业可持续利用和资源养护管理提供参考。因此, 为今后科学有序地规划曼氏无针乌贼资源增殖放流工作, 有必要进行放流功效评价。

国内外放流功效评价, 主要采用标志放流回捕技术手段结合渔业资源评估的模式开展^[13-16], 如梁君等^[15]、William^[17]、杨德国等^[18]、姜亚洲等^[19]通过回捕标志, 分别得到了舟山海域日本黄姑鱼(*Nibea japonica*)、黑鲷(*Sparus microcephalus*)、红鲢(*Oncorhynchus nerka*)、中华鲟(*Acipenser sinensis*)、象山港黄姑鱼(*Nibea albiflora*)等标志物种回捕率, 并估算放流群体形成的捕捞产量及贡献率; 姜亚洲等^[20]、谢周全等^[21]利用 FISAT II 软

收稿日期: 2017-11-23; 修订日期: 2018-01-23。

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31702346); 公益性行业(农业)科研专项(20130347); 浙江省自然科学基金项目(LY17C190006); 科技部国际科技合作与交流专项(2015DFR30450); 浙江省科技计划项目(2015F50005, 2016F30018, 2017C32031)。

作者简介: 徐开达(1981—), 男, 高级工程师, 主要从事渔业资源增殖放流和海洋生态研究。E-mail: xkd1981@163.com

通信作者: 徐汉祥, 研究员。E-mail: hxxu@vip.sina.com

件的体长股分析法对采集样品进行分析,得到象山港放流日本对虾(*Penaeus japonicus*)和山东半岛南部放流三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)群体比例,并由此估算出回捕率;此外,分子标记也在渔业资源增殖放流效果评估中得到应用^[22],如 Sekion 等^[23]、童爱萍等^[24]利用分子标记方法得到日本近海褐牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)回捕率和样本中放流群体比例。这些研究,均为开放式水域的效果评价提供了参考。

目前,尽管有学者尝试曼氏无针乌贼标志放流^[9-10],但通过前期试验在浙北海域未回捕到内壳带标记的放流个体,因此借助标志回捕的手段难以实现放流功效评价。鉴于此,本研究在借鉴相关研究的基础上,拟通过拖网定点调查数据估算放流群体的死亡系数,构建渔获产量模型,估算各捕捞阶段的产量,并根据结果提出资源合理利用建议,以期为今后实施增殖放流及海洋渔业资源保护提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

1.1.1 放流情况 曼氏无针乌贼增殖放流海区位于浙江北部的中街山列岛海域(图 1),平均水深

10 m,底质由沙石和岩礁组成。2013—2016 年共放流受精卵 7835×10^4 粒(2013 年 1057×10^4 粒,2014 年 2186×10^4 粒,2015 年 1950×10^4 粒,2016 年 2642×10^4 粒),受精卵平均卵径 10.2 mm,放流时间为每年 6 月中下旬。

1.1.2 数据来源 数据来源于 2013—2016 年每年 11 月和 2014—2017 年每年 4 月共 8 个航次的拖网定点调查资料。调查范围为 $29^{\circ}30' \sim 30^{\circ}45'N$, $122^{\circ}00' \sim 123^{\circ}30'E$ 海域,站位采用均匀网格设置,每隔经纬度 $15'$ 设置 1 个采样站点,共设置 39 个(图 1)。调查船为 120 kW 的单拖渔船,网具为单拖网,网囊最小网目尺寸 30 mm,每网拖曳 1 h,平均拖速 2.5 kn。将每网采集的渔获样品带回实验室分析鉴定,记录各渔获种重量和尾数,参照海洋渔业资源调查规范(SCT 9403-2012)测定曼氏无针乌贼的胴背长、体重指标。各站位的温度、盐度等相关水文数据采用 Seabird-37 型温盐深测量仪测定。自然海域幼乌贼 6—8 月孵化,至翌年春季产卵后死亡^[4],因此将放流后的 11 月和翌年 4 月视作同一放流年份。

除定点调查外,本研究在放流周边海域设置张网监测点和流刺网监测点(图 1),补充采集曼氏无针乌贼样品,并按月记录渔获产量来验证放流

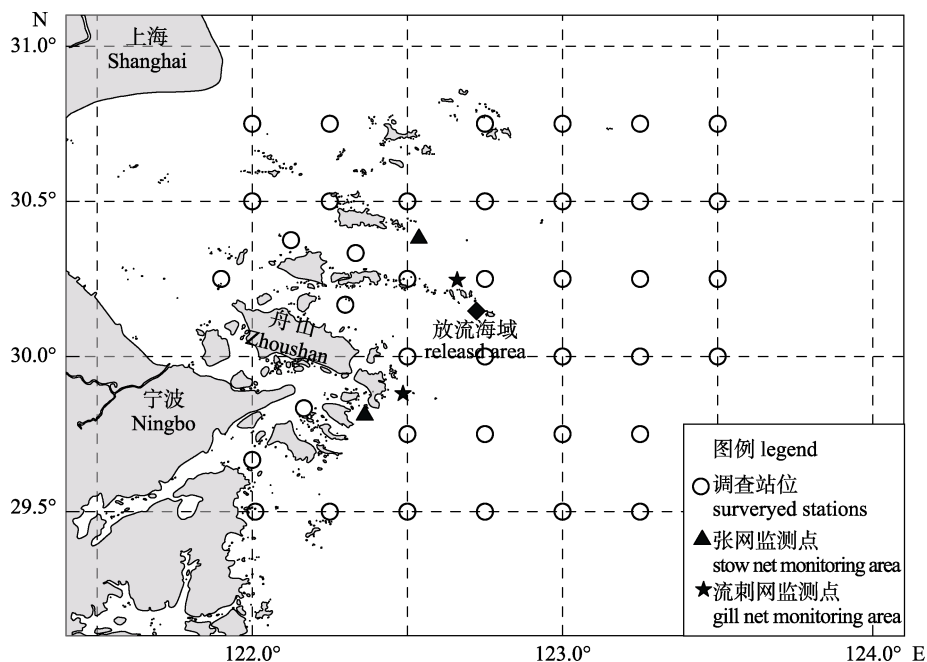


图 1 浙北近海放流海域和调查取样站位分布图

Fig. 1 The distribution of surveyed and released stations in the northern coastal water of Zhejiang

效果。2013—2016 年共采集浙北近海曼氏无针乌贼样品 2341 尾。

1.2 效果评价方法

目前浙江近海曼氏无针乌贼已形不成渔汛, 自然群体数量较少^[2], 而近年来浙江沿岸放流数量较多, 采集的曼氏无针乌贼样品主要由放流群体和少量自然群体组成, 由于缺乏有效的标志回捕手段区分放流群体和自然群体, 同时曼氏无针乌贼为低世代渔业资源^[1], 本研究将混栖的自然和放流群体生长模式视作一致。

本研究借助 FISAT II 软件^[25]和 Pauly 经验公式估算生长参数和群体死亡系数, 参照 Chen 等^[26]的渔业资源效果评价模型, 估算出单位放流量 (10000 粒受精卵) 在放流后不同时间段的累积捕捞重量, 同时将放流种类繁殖群体数量也列为表征资源修复效果的量化评价指标, 通过估算放流群体中能发育至性成熟的个体的数量, 来评估增殖放流对资源修复的效果^[27]。相关参数估算方法如下:

1.2.1 生长参数的估算 理论生长起点年龄 t_0 借助 Pauly 经验公式^[28]估算, 公式为:

$$\ln(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \ln L_\infty - 1.308 \ln K \quad (1)$$

式中, L_∞ 为极限胴背长, K 为年生长系数, 均由各月胴背长数据, 经检验符合正态分布后利用 FISAT II 软件求得。

1.2.2 死亡系数估算

(1) 自然死亡系数 M 采用 Pauly 的经验公式^[28]估算, 公式为:

$$\ln M = -0.0152 - 0.279 \ln L_\infty + 0.6543 \ln K + 0.4634 \ln T \quad (2)$$

式中, T 为曼氏无针乌贼栖息水域的年平均水温 ($^{\circ}\text{C}$), 根据调查时有曼氏无针乌贼出现的各站位水温加权平均算求得, 调查期间年平均水温为 19.8°C 。

(2) 总死亡系数 Z 采用 2 种方法估算。

a. 利用变换体长渔获曲线法估算^[28], 公式为:

$$\ln \frac{C(L_1, L_2)}{\Delta t(L_1, L_2)} = C - Z_L \left(\frac{t(L_1) + t(L_2)}{2} \right) \quad (3)$$

式中, Z_L 为总死亡系数, C 为总渔获尾数, $C(L_1, L_2)$ 为在 (L_1, L_2) 胴长组的渔获尾数, $\Delta t(L_1, L_2)$ 为胴长在

L_2 与 L_1 所对应的年龄差, $t(L_1)$ 与 $t(L_2)$ 分别表示胴长 L_1 与 L_2 所对应的年龄, K 为生长参数。

b. 利用 CPUE 估算

使用单位捕捞努力量渔获量 (CPUE) 来表征资源密度, 曼氏无针乌贼为一年生短生命周期物种, 其渔获群体可视作同一世代, 总死亡系数 Z_C 值用调查年份的平均值求得^[28], 公式为:

$$Z_C = \ln \frac{C_t^+ / f_i}{C_{t+1}^+ / f_{i+1}} \quad (4)$$

式中, C_t^+ / f_i 和 C_{t+1}^+ / f_{i+1} 分别为第 i 龄以上和第 $i+1$ 龄以上各龄群体资源密度的累加, i 龄群体已全部补充加入捕捞群体。

1.2.3 放流群体渔获重量 本研究通过计算开捕后各月的捕捞数量, 结合体重生长方程, 求取各时段的渔获重量, 最终加和求得放流群体总渔获重量^[29], 公式为:

$$B_{(t_c, t_D)} = \sum_{t_c}^{t_D} B_{(t_D - t_c)} \quad (5)$$

$$B_{t_D} = \frac{N_{t_c} W_\infty F}{M + F} \left[e^{-(M+F)(t_D - t_c)} - e^{-(M+F)(t_{D+1} - t_c)} \right] \left[1 - e^{-k(t_D - t_0)} \right]^b \quad (6)$$

式中, B_{t_D} 和 $B_{(t_c, t_D)}$ 分别为第 D 捕捞时间的渔获量和累积渔获量, t_c 为放流后的开捕时间 (按月计算), N_{t_c} 为开捕时的放流个体残存数量, 极限体重 W_∞ 和幂指数系数 b 由体重和胴背长关系式求得, K 、 t_0 表征意义同上。

1.2.4 繁殖群体数量 依据曼氏无针乌贼繁殖规律, 能达到初次性成熟的群体视作繁殖群体^[29]。本研究将增殖放流群体中能达到初次性成熟的尾数 (即繁殖群体数量 N_S) 作为增殖放流对资源修复功效的一个评价指标, 公式为:

$$N_S = N_{t_c} e^{-(M+F)(t_s - t_c)} \quad (7)$$

式中, N_S 为繁殖群体数量, t_s 为初次性成熟年龄, N_{t_c} 和 t_c 表征意义同上。

2 结果与分析

2.1 定点调查和监测结果

表 1 列出了定点调查期间浙北近海曼氏无针

乌贼的资源密度变化, 放流后 11 月年平均为 161.7 g/h, 其中 2016 年为最高, 2015 年最低; 调查年份各翌年 4 月平均为 35.8 g/h, 其中 2016 年为最高, 而 2013 年最低。据此, 由公式(4)求得调查期间 11 月至翌年 4 月平均死亡系数 Z 为 1.45。

表 1 2013—2016 年浙北近海定点调查期间曼氏无针乌贼的资源密度变化
Tab. 1 The resource density variations of *Sepiella maindroni* during 2013–2016 in the northern coastal water of Zhejiang

年份 year	资源密度/(g/h) resource density		$Z_{5/12}$
	11 月 November	翌年 4 月 April in the next year	
2013	102.4	22.3	1.52
2014	170.2	42.4	1.39
2015	92.2	30.5	1.11
2016	281.8	48.0	1.77
平均 mean	161.7	35.8	1.45

注: 单位捕捞努力量渔获量(CPUE)表征资源密度。 $Z_{5/12}$ 表征调查期间 5 个月总死亡系数。
Note: The CPUE indicates resource density of *Sepiella maindroni*. $Z_{5/12}$ indicates the total mortality coefficient in five months during survey.

放流后在周边海域同步设置了张网和流刺网监测船, 监测期间张网船曼氏无针乌贼年均渔获量为 479.5 kg, 流刺网船年均渔获量为为 269.0 kg,

拖网定点调查资源密度为 98.7 g/h。与放流量相比, 两种作业监测产量及拖网定点调查资源密度总体均呈随放流量增加而升高的趋势(表 2)。

2.2 放流群体的生长参数和死亡系数估算

2.2.1 生长参数估算 将样本胴背长数据利用 FISAT II 软件求得所需的生长参数: L_{∞} =138 mm, K =2.354, 由此按公式(1)求得曼氏无针乌贼理论生长起点年龄 t_0 =-0.0553 a。

2.2.2 死亡系数估算

(1)自然死亡系数 M 将渐进胴背长 L_{∞} 和生长参数 K 以及栖息水温 T =19.8℃, 代入公式(2)中求得年自然死亡系数 M =1.74。

(2)总死亡系数 图 2 为利用变换胴背长渔获曲线估算总死亡系数的回归图, 前面的点所对应的年龄还未达到完全补充年龄, 不能采用, 因此选取 12 个黑点作线性回归, 得到年总死亡系数 Z_L 为 2.61。浙北近海除伏休期 6—8 月外, 其余时间均捕捞曼氏无针乌贼(即 6—8 月仅发生自然死亡), 综合 CPDE 估算的捕捞期间的总死亡系数 $1.45/5 \times 9$ 及伏休期间的自然死亡系数 $1.74/12 \times 3$, 可求得年总死亡系数 $Z_C=1.45/5 \times 9 + 1.74/12 \times 3=3.04$ 。最终取 Z_L 和 Z_C 的平均值作为年总死亡系数, 即 $Z=2.83$ 。

表 2 2013—2016 年监测船曼氏无针乌贼渔获量年变化
Tab. 2 Annual variations of the *Sepiella maindroni* yield of monitoring boat during 2013–2016

年份 year	张网监测船产量/kg yield of stow net-monitoring boat	流刺网监测船产量/kg yield of gill net-monitoring boat	拖网定点调查资源密度/(g/h) resource density of trawl	放流量/($\times 10^4$ ind) number of releasing
2013	273	157	62.4	1057
2014	486	274	106.3	2186
2015	516	298	61.4	1950
2016	643	347	164.9	2642
平均 mean	479.5	269.0	98.7	1958.8

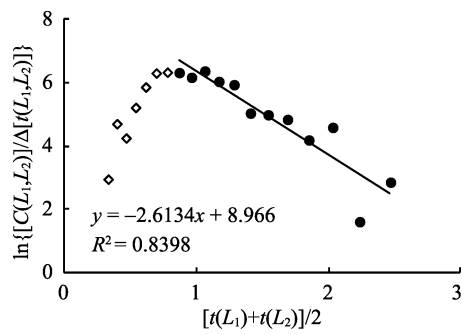


图 2 根据长度变换曲线估算总死亡系数
Fig. 2 The estimation of total mortality from length-converted catch curve

(3)捕捞死亡系数 总死亡系数为自然死亡和捕捞死亡之和, 故年捕捞死亡系数 $F=Z-M=1.09$ 。

2.3 放流后产量估算

根据 2013—2016 年浙江省海洋水产研究所试验场曼氏无针乌贼繁殖孵化实验数据, 放流受精卵孵化率平均为 50%(孵化率范围 30%~90%), 即每放流 10000 粒曼氏无针乌贼受精卵可孵化幼体 5000 尾。在现行捕捞强度下($F=1.09$), 伏休结束后开捕(即放流 3 个月 after 开捕), 将相关参数代

入公式(5)、(6), 得到放流群体存留率和累积渔获产量随捕捞时间变化曲线(图 3), 即 6—8 月均为自然死亡, 未产生捕捞产量, 之后经 9 个月捕捞活动(即放流 1 年后), 残存率为 5.9%, 累积捕捞产量达 137.3 kg。

2.4 放流产生的繁殖群体数量

浙江沿岸曼氏无针乌贼 4 月份卵巢成熟系数 GSI 达到最高值^[3, 5], 则放流群体达到初次性成熟

年龄 t_s 为 10 个月。将相关参数代入公式(5)、(6)和(7), 可拟合得到现行开捕条件下, 繁殖群体数量和渔获种类随在不同捕捞死亡系数的变化模式(图 4)。结果显示, 目前捕捞强度下每放流 1×10^4 粒受精卵(孵化 5000 尾幼体), 能发育至初次性成熟个体为 502 尾, 现行捕捞强度($F=1.09$)未达到最优的资源利用状态, 将年捕捞死亡系数降至 0.76 时, 放流群体的渔获产量达到最高, 为 155.6 kg。

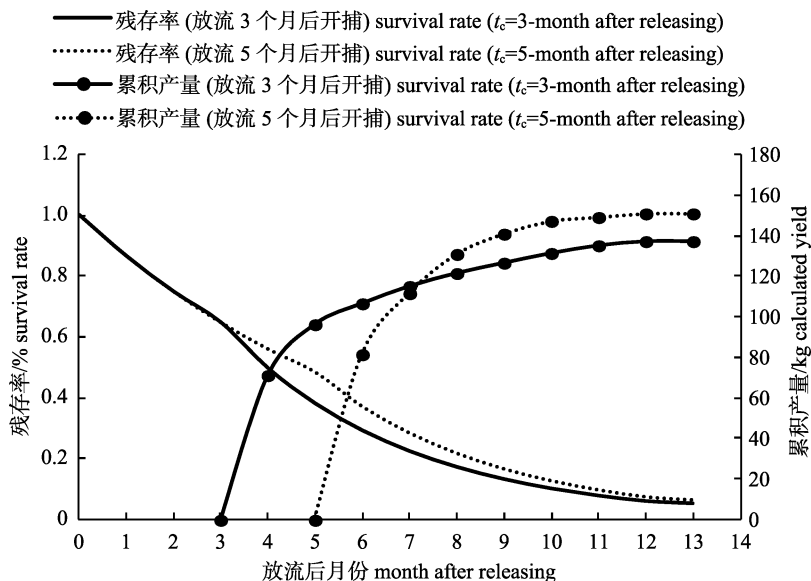


图 3 曼氏无针乌贼增殖群体的残存率及回捕产量的动态变化

实线和虚线分别代表放流 3 个月 after 开捕及放流 5 个月 after 开捕。

Fig. 3 Variations in survival rate and yield of enhancement released individuals of *Sepiella maindroni*

The solid line and dotted line indicate fishing at 3 month and 5 month after release, respectively.

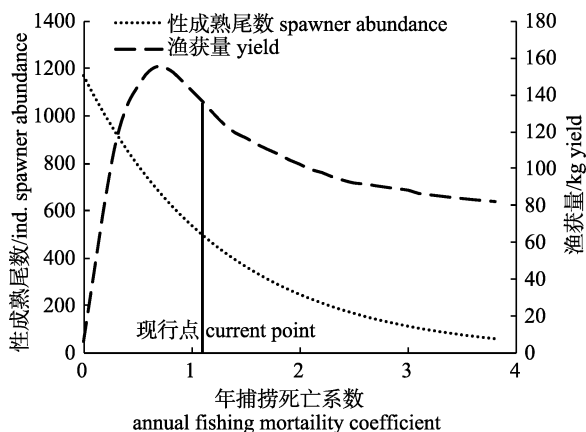


图 4 捕捞死亡系数对曼氏无针乌贼增殖群体渔获量和繁殖群体数量的影响

Fig. 4 Effect of fishing mortality on yield of hatchery-released population and abundance of spawner originated from enhancement release of *Sepiella maindroni*

3 讨论

3.1 影响效果评价的因子

3.1.1 捕捞死亡系数 本研究采用张网、流刺网和拖网样品及拖网调查的 CPUE 综合估算得到年捕捞死亡系数 $F=1.09$, 与李星颀等^[30]计算的 20 世纪 80 年代浙江曼氏无针乌贼 $F=0.5$ 相比增加了 1 倍以上。与捕捞死亡系数密切相关的捕捞船数量、总功率对比来看, 现行浙江海域捕捞强度较 20 世纪 80 年代增加了 1 倍多^[31], 因此本研究估算的捕捞死亡系数基本能表征目前放流群体的捕捞死亡情况。然而, 由于本研究采用浙北海域每年 2 个航次调查数据 (共调查 4 年), 每年的调查频次相对低, 且调查海域未能覆盖整个浙江近海,

存在一定的缺陷,期望后续能在开展长时间序列调查基础上作出更精准评价。

3.1.2 残存率 由于曼氏无针乌贼为1年生短生命周期物种^[1],5—8月产卵后死亡^[3,5]。现行捕捞状态下(放流3个月 after 开捕),由模型估算得到1年后增殖群体残存率为5.9%,符合实际情况。图3显示放流13个月 after 还有5%残存量,鉴于曼氏无针乌贼生命史为1年,之后拟合的动态变化与实际种群并不相符,借鉴意义不大。因此,本研究从放流后1年内产生的累积捕捞产量和残存率两个角度阐释放流功效,切合实际,具有一定参考意义。

3.2 曼氏无针乌贼放流效果

放流周边海域监测表明,随着放流数量增加,张网、流刺网监测船渔获及拖网调查资源密度基本呈相应增加趋势;历史监测和浙江渔业统计年鉴显示,未实施放流的1994—1995年监测海域张网作业年渔获量不超过50 kg^[12],而2013—2016年该海域张网监测平均年渔获量达479.5 kg,较1994—1995年大幅增加;现行捕捞状态下,由模型估算出的每放流10000粒受精卵可形成捕捞产量137.3 kg可知,2013—2016年共放流 7835×10^4 粒受精卵可形成1075.7 t捕捞产量,同时还补充了一定数量的性成熟个体。监测调查和估算结果都表征了增殖放流活动在一定程度上起到了修复浙北海域曼氏无针乌贼资源的效果。此外,山东南部海域金乌贼增殖放流情况表明^[32],通过十多年持续放流,金乌贼年渔获量由增殖前1000 t左右增至最高5000 t,并使年渔获量维持在3000 t左右高水平,表明经长期增殖该海域金乌贼资源修复效果显著。鉴于此,为达到修复种群目标,建议在浙北海域持续实施曼氏无针乌贼增殖放流。

3.3 曼氏无针乌贼资源合理利用和养护策略

图3显示当 t_c 较现行开捕时间(放流后3个月开捕)推迟2个月,即放流后5个月开捕,可形成累积产量151.2 kg,较现行增加10.0%,同时能发育至初次性成熟的数量达到640尾,较现行增加27.5%,因此适当推迟开捕可优化对放流群体的利用。研究结果还显示,捕捞死亡系数 F 也是影响放流效果的重要因素之一,现行捕捞强度并未处于最优状态(图4),将其降低至合理范围有利于

提升增殖放流效果。从回捕渔获重量最大化的角度分析,年捕捞死亡系数需降至0.76时(即 F 为现行的69.7%),每放流 1×10^4 粒受精卵能产生的总回捕渔获重量才能达到最高(155.6 kg),渔获量可增加约13.3%,此时能够发育至性成熟的曼氏无针乌贼数量能增加至649尾,较现行增加29.4%。若从促进曼氏无针乌贼资源修复的角度,完全不对放流群体进行捕捞,能使浙北海域发育至性成熟的个体数量最多,为1173尾。

研究表明,除上述的控制捕捞强度、持续实施放流和推迟开捕时间等养护措施外,向放流至自然海区的曼氏无针乌贼提供良好产卵环境并对其进行保护,是其生殖交替的保证,也是资源修复的关键^[12,33-34]。浙北海域是曼氏无针乌贼的产卵场^[12],海底的柳珊瑚、海柏和大型海藻等是其天然产卵附着物^[30]。人类近海工程开发、过渡捕捞和环境污染致使其产卵生境丧失、退化和破碎化。因此,从产卵场生境修复的角度考虑,建议建设人工海藻场来修复曼氏无针乌贼产卵场的生态环境,同时辅以移植柳珊瑚、大型海藻等人工附卵基来填补天然产卵附着物的缺失,并对复建的产卵场进行保护^[23],以期达到增加补充群体数量的目的。

参考文献:

- [1] Song H T, Ding T M, Xu K D. Economic Cephalopods resources in the East China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2009: 48-49. [宋海棠, 丁天明, 徐开达. 东海经济头足类资源[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 48-49.]
- [2] Yan L P, Li J S, Ling J Z, et al. Analysis on recent status of the fishery resources in the East China Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2005, 24(4): 303-307. [严利平, 李建生, 凌建忠, 等. 东海区海洋渔业资源近况浅析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2005, 24(4): 303-307.]
- [3] Ni Z Y, Xu H X. A preliminary study on the age and growth of *Sepiella maindroni* in coastal waters of Zhejiang[J]. Marine Fisheries, 1985, 7(3): 102-105. [倪正雅, 徐汉祥. 浙江近海曼氏无针乌贼年龄和生长的初步研究[J]. 海洋渔业, 1985, 7(3): 102-105.]
- [4] Huang J X, Yu Y S. Preliminary investigation on biological

- basis of *Sepiella maindroni* offshore Zhejiang in fishing grounds[J]. Zhejiang Agricultural Science, 1962, 13(4): 186-190. [黄建勋, 郁尧山. 浙江近海渔场曼氏无针乌贼生物学基础初步调查[J]. 浙江农业科学, 1962, 13(4): 186-190.]
- [5] Wu C W, Zhou C, Guo B Y, et al. Study on changes in reproductive biology characteristics of *Sepiella maindroni* (Rochebrune) offshore Zhejiang[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(4): 689-694. [吴常文, 周超, 郭宝英, 等. 浙江近海曼氏无针乌贼(*Sepiella maindroni*)繁殖生物学特性变化研究[J]. 海洋与湖泊, 2012, 43(4): 689-694.]
- [6] Fan F, Yin F, Wang J. Status and Prospects on biological research of *Sepiella maindroni*[J]. Modern Fisheries Information, 2011, 26(6): 6-9. [范帆, 尹飞, 王建. 曼氏无针乌贼(*Sepiella maindroni*)生物学研究现状及展望[J]. 现代渔业信息, 2011, 26(6): 6-9.]
- [7] Zhang J S. Culture biological characteristics and haemocytes immune function of *Sepiella maindroni*[D]. Xiamen: Xiamen University, 2007: 21-28. [张建设. 曼氏无针乌贼养殖生物学特性和血细胞免疫功能研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2007: 21-28.]
- [8] Fan F, Yin F, Peng S M, et al. Impacts of starvation on biochemical indices and behaviors of *Sepiella maindroni* juveniles[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(10): 2262-2268. [范帆, 尹飞, 彭士明, 等. 饥饿胁迫对曼氏无针乌贼幼体的影响[J]. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2262-2268.]
- [9] Li X J, Dai J S. The progress state of study on the unearned increment to the stock of cuttlefish *Sepiella maindroni* de Rochebrune in the coastal waters of North Zhejiang in 1983[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1983, 2(2): 165-167. [李星颀, 戴健寿. 1983 年浙北近海无针乌贼资源增殖研究进展[J]. 浙江水产学院学报, 1983, 2(2): 165-167.]
- [10] Liang J, Wang W D, Xu H X, et al. A fluorescent staining method for marking the cuttlefish (*Sepiella japonica*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(6): 864-870. [梁君, 王伟定, 徐汉祥, 等. 曼氏无针乌贼荧光染色标志方法研究[J]. 水产学报, 2013, 37(6): 864-870.]
- [11] Dong Z Y, Wu C W, Ye D F. A fluorescent method for marking the cuttlefish, *Sepiella maindroni* de Rochebrune[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 2010, 29(2): 120-127. [董智勇, 吴常文, 叶德锋. 曼氏无针乌贼荧光染色标志技术初步研究[J]. 浙江水产学院学报, 2010, 29(2): 120-127.]
- [12] Li J J, Guo B Y, Wu C W. A Review of the resource evolvement and the way of restoration of *Sepiella maindroni* in coastal waters of Zhejiang Province[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2011, 30(5): 381-396. [李继姬, 郭宝英, 吴常文. 浙江海域曼氏无针乌贼资源演变及修复路径探讨[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2011, 30(5): 381-396.]
- [13] Tang Q S, Qiu X Y, Wang J, et al. Resource enhancement of arkshell (*Scapharca (Anadara) broughtonii*) in Shandong offshore waters[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1994, 5(4): 396-402. [唐启升, 邱显寅, 王俊, 等. 山东近海魁蚶资源增殖的研究[J]. 应用生态学报, 1994, 5(4): 396-402.]
- [14] Kitada S, Kishino H. Lessons learned from Japanese marine finfish stock enhancement programmes[J]. Fisheries Research, 2006, 80(1): 101-112.
- [15] Liang J, Wang W D, Lin G Z, et al. Effect and assessment of enhancement release of *Nibea japonica* and *Sparus macrocephalus* 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.]
- [16] Kai L, Leber K M, Blankenship H L. Responsible approach to marine stock enhancement: An update[J]. Reviews in Fisheries Science, 2010, 18(2): 189-210.
- [17] William R H. Overview of salmon stock enhancement in Southeast Alaska and compatibility with maintenance of hatchery and wild stocks[J]. Environmental Biology of Fishes, 2012, 94(1): 273-283.
- [18] Yang D G, Wei Q W, Wang K, et al. Downstream migration of tag-released juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in the Yangtze River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2005, 29(1): 26-30. [杨德国, 危起伟, 王凯, 等. 人工标志放流中华鲟幼鱼的降河洄游[J]. 水生生物学报, 2005, 29(1): 26-30.]
- [19] Jiang Y Z, Lin N, Liu Z L, et al. Effectiveness of *Nibea albiglora* stock enhancement in Xiangshan Bay and prioritization of fishing strategy for the released stock[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(3): 641-647. [姜亚洲, 林楠, 刘尊雷, 等. 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[J]. 中国水产科学, 2016, 23(3): 641-647.]
- [20] Jiang Y Z, Ling J Z, Lin N, et al. Stocking effectiveness of hatchery-released kuruma prawn *Penaeus japonicus* in

- 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.]
- [21] Xie Z Q, Qiu S Y, Hou C W, et al. Recapture rates of swimming crabs (*Portunus trituberculatus*) released in the waters off southern Shandong Peninsula[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(5): 1000-1009. [谢周全, 邱盛尧, 侯朝伟, 等. 山东半岛南部海域三疣梭子蟹增殖放流群体回捕率[J]. *中国水产科学*, 2014, 21(5): 1000-1009.]
- [22] Liu P. Application of DNA-marking on exploitation and conservation of germplasm resource of marine life[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2000, 7(2): 86-89. [刘萍. DNA 标记技术在海洋生物种质资源开发和保护中的应用[J]. *中国水产科学*, 2000, 7(2): 86-89.]
- [23] Sekino M, Saiton K, Yamada T, et al. Genetic tagging of released Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) based on polymorphic DNA markers[J]. *Aquaculture*, 2005, 244(1-4): 49-61.
- [24] Tong A P, Si F, Liu H J, et al. Application of mtDNA and microsatellite markers to distinguish the released or non-released Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(4): 630-637. [童爱萍, 司飞, 刘海金, 等. mtDNA 和微卫星标记在放流牙鲆和非放流牙鲆鉴定中的应用[J]. *中国水产科学*, 2015, 22(4): 630-637.]
- [25] Li J S, Yan L P, Ling J Z. Status of resources and rational utilization of jack mackerel *Trachurus japonicas* in middle and southern East China Sea[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(5): 772-781. [李建生, 严利平, 凌建忠. 东海中南部竹筴鱼资源现状及其合理利用[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(5): 772-781.]
- [26] Chen P, Qin C, Yu J, et al. Evaluation of the effect of stock enhancement in the coastal waters of Guangdong, China[J]. *Fish Manage & Ecology*, 2015, 22(2): 172-180.
- [27] Lorenzen K. Population dynamics and potential of fisheries stock enhancement: practical theory for assessment and policy analysis[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2005, 360(1453): 171-189.
- [28] Zhan B Y. Fish Stock Assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 30-38. [詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 30-38.]
- [29] 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.]
- [30] Li X J, Dai J S. Artificial hatching of *Sepiella maindroni* and the assessment of its role in the stock enhancement[J]. *Marine Fisheries*, 1982, 4(1): 2-6. [李星颀, 戴健寿. 曼氏无针乌贼的人工孵化及其在资源增殖中作用的估计[J]. *海洋渔业*, 1982, 4(1): 2-6.]
- [31] Guo X P, Jin X S, Dai F Q. Growth variations of small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis* Bleeker) in the Bohai Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, 13(2): 243-249. [郭旭鹏, 金显仕, 戴芳群. 渤海小黄鱼生长特征的变化[J]. *中国水产科学*, 2006, 13(2): 243-249.]
- [32] Liu L L, Wan R, Duan Y Y, et al. Status and effect of enhancement release of marine fisheries resource in Shandong[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2008(4): 91-98. [刘莉莉, 万荣, 段媛媛, 等. 山东省海洋渔业资源增殖放流及其渔业效益[J]. *海洋湖沼通报*, 2008(4): 91-98.]
- [33] Jiang X L, Wang W, Lin G Q, et al. Discussion on major factors influencing the effects of fishery resources stock enhancement[J]. *Fishery Modernization*, 2015, 42(4): 62-66. [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): 62-66.]
- [34] 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.]

Effect and assessment of enhancement release of *Sepiella maindroni* in the northern coastal water of Zhejiang

XU Kaida^{1,2}, ZHOU Yongdong^{1,2}, WANG Yang¹, WANG Weiding¹, XU Hanxiang^{1,2,3}, ZHANG Hongliang¹, LI Pengfei¹, LIANG Jun¹, CHEN Feng¹, LU Zhanhui¹, LIU Lianwei³

1. Marine Fishery Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China;

2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources for Key Fishing Grounds, Ministry of Agriculture; Key Laboratory of Sustainable Utilization of Technology Research for Fisheries Resources of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China;

3. Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China

Abstract: In order to restore the *Sepiella maindroni* resources in northern coastal water of Zhejiang Province, the large-scale release had been carried out from 2013 to 2016. A total of 7835×10^4 ind. fertilized eggs were released, and at the same time, the follow-up monitoring survey were carried out. Considering the certain point information and supplementary sample data, we estimated several indicators including growth equation and death coefficient, built the model of fishery stock assessment, finished the simulation analysis of the variation trend of fishery production and residual rate. Meanwhile, we introduced the supplementary abilities of breeding population to quantitatively evaluate the enhancement effect. The results indicate that, the released *Sepiella Maindroni* in northern area of Zhejiang Province between year 2013 to 2016, its limited body length is 138 mm, the growth parameters K is 2.354, t_0 is -0.05237 a., the total mortality coefficient (Z) is 3.04, the natural mortality coefficient (M) is 1.74, the fishing mortality coefficient (F) is 1.09. Under the current fishing intensity, releasing 1×10^4 ind. fertilized eggs could receive 137.3 kg production, when still supplement 502 ind. sexually mature individuals into study area. Generally speaking, stock enhancement serves the purpose of population restoration and increases both production and income in certain degree. The model estimation analysis shows: if people could postpone the capture two month, the capture production may add 10.0%, and the growth of the sexually mature individuals will also increase 27.5%. On the other hand, if the fishing mortality coefficient could reduce to 0.76, the production may increase to 155.6 kg/a, and the proportion of sexually mature individuals may add 29.4%. Finally, we hope could put forward the suggestions about improving the effect of releasing *Sepiella maindroni* and using the resources reasonably according to the research.

Key words: *Sepiella Maindroni*; northern coastal water of Zhejiang; stock enhancement releasing; stock assessment

Corresponding author: XU Hanxiang. E-mail: hxxu@vip.sina.com