

增殖放流影响下东海北部海域三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*)最大可持续产量评估*

杨春蕙 刘琦 王迎宾

(浙江海洋大学水产学院 浙江舟山 316022)

摘要 当渔业资源出现衰退时,加强资源增殖放流以养护渔业资源、提高渔业产量对于渔业资源可持续利用具有重要意义;与此同时,增殖放流的实施会对基于资源开发与管理的评估的结果产生影响。基于 2001~2015 年间东海北部海域三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)渔业数据,采用增殖剩余产量模型,对东海北部海域三疣梭子蟹的最大可持续产量(MSY)及取得 MSY 时所需捕捞努力量(E_{MSY})和原存生物量(B_{MSY})进行了评估,并与传统 Schaefer 模型评估结果进行了比较。结果表明,当年增殖放流量约在 $3 \times 10^6 \sim 95 \times 10^6$ 尾之间时,三疣梭子蟹年产量逐渐增加,MSY 在 14.2×10^4 t 和 14.6×10^4 t 之间, E_{MSY} 基本在 15×10^4 吨位左右。增殖放流量增加,其对应的 MSY 也越高,能承受的 E_{MSY} 也越高(从 $15 \times 10^4 \sim 15.4 \times 10^4$ 吨位之间),相反 B_{MSY} 则减小(从 188.4×10^4 t 降至 186.6×10^4 t)。与传统的 Schaefer 模型评估结果相比,增殖剩余产量模型由于考虑了增殖放流生物量的因素,得到了 MSY 和 E_{MSY} 有所增加,而 B_{MSY} 有所下降的结论。研究结果有望为该研究海域三疣梭子蟹可持续地捕捞、放流与管理提供科学依据。

关键词 东海北部;三疣梭子蟹;增殖放流;最大可持续产量

中图分类号 S931; S932.5

doi: 10.11693/hyhz20211200331

三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)是东海海域最重要的优势种和渔业捕捞对象之一,具有重要的经济价值和生态价值,其在该海域的产量几乎占到我国三大海区(渤海、黄海和东海)该品种产量的 50% 左右(Liu *et al.*, 2013)。东海北部海域是三疣梭子蟹最大的产区,其产量超过其在东海全部产量的 40% (俞存根等, 2003; Song *et al.*, 2003)。

在 2010 年之前,东海北部海域每年三疣梭子蟹产量增减有所波动,2010 年以后,产量逐年增加,年均增长达到近 20% (中国渔业统计年鉴 2011~2016) (农业部渔业局, 2011, 2012, 2013; 农业部渔业渔政管理局, 2014, 2015, 2016)。产量增加可能源于多方面的影响,有多位学者从气候环境变化(Wang *et al.*, 2017a, 2017b)、捕捞强度(Wang *et al.*, 2018)、伏季休渔政策(胡

荧斌等, 2019)等方面开展了系列研究。增殖放流作为直接向水体投放渔业生物个体,以达到恢复或增加种群数量的手段,也是产量增加的重要因素(Wang *et al.*, 2017b; 胡荧斌等, 2019)。许多学者针对三疣梭子蟹增殖放流效果和增殖容量等内容开展了研究(林群等, 2015; 徐开达等, 2018; 徐雪等, 2019; 王彬等, 2020; 李凡等, 2020)。东海北部海域从 2001 年开始实施三疣梭子蟹增殖放流(王伟定等, 2009),进入到 2010 年后,放流规模逐年增加。增殖放流数量对资源量和产量的影响已达到显著水平(Wang *et al.*, 2017b; Yue *et al.*, 2021),其对资源的持续利用也将产生不可忽视的影响。而目前关于三疣梭子蟹开展的资源评估研究,基本未能系统地考虑增殖放流的影响(Yue *et al.*, 2021)。虽然 Wang 等(2018)在对东海北部海域三疣梭

*国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项, 2019YFD0901304 号; 浙江省基础公益计划项目, LGN21C190009 号; 舟山市科技局项目, 2022C41003 号。杨春蕙, 硕士研究生, E-mail: 17806283525@163.com

通信作者: 王迎宾, 博士生导师, 教授, E-mail: yingbinwang@126.com

收稿日期: 2021-12-18, 收修改稿日期: 2022-03-12

子蟹亲体-补充量关系(能产卵的雌性群体与其幼体生长到能够被捕获时的规格的群体之间的关系)研究中考虑了增殖放流的影响,但并未针对其产量的评估开展相关研究。

王迎宾(2021)基于传统的 Schaefer 剩余产量模型,提出了一个适用于增殖放流情况下的模型——增殖剩余产量模型,该模型将增殖放流纳入最大可持续产量的评估过程,提高了增殖放流影响下最大可持续产量评估的准确性。本文基于东海北部海域 2001~2015 年的三疣梭子蟹渔获量、捕捞努力量以及增殖放流量数据,使用增殖剩余产量模型对研究海域三疣梭子蟹的最大可持续产量(MSY)以及相应的生物量(B_{MSY})和捕捞努力量(E_{MSY}),并与传统剩余产量模型的评估结果进行比较分析,以期为研究海域三疣梭子蟹可持续地捕捞、放流与管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据

本研究选取刺网、蟹笼和单拖这 3 种作业方式(东海北部 90% 的三疣梭子蟹均由这三种作业方式捕获)的渔船作为样本渔船。从 2015 年 5 月至 2016 年 5 月(伏季休渔期除外)逐月从样本船随机选取三疣梭子蟹作为样本。样本船捕捞区域为东海北部海域(图 1),在一周年中共收集了 769 份样本。记录主要生物学指标,包括甲宽(CW, mm)、甲长(CL, mm)和体重(W , g),并建立甲宽频率矩阵。根据浙江省地方标准《重要海洋渔业资源可捕规格及幼鱼比例》(浙江省质量技术监督局, 2015)规定,甲宽小于 60 mm 的个体被视为未成熟个体(Wang *et al.*, 2017a),因此,在本研究中,甲宽

小于 60 mm 的个体被视为补充种群。

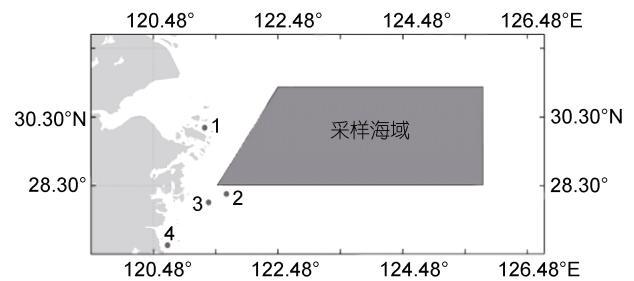


图 1 2015~2016 年三疣梭子蟹采样海域图

Fig.1 The sampling area of *P. trituberculatus* in 2015 and 2016
注: 图中的点代表舟山(1)、宁波(2)、台州(3)、温州(4)为中心的增殖放流区

资源评估使用研究海域以上 3 种作业方式 2001~2015 年的渔获量和捕捞努力量数据(图 2),其中以刺网作为标准渔具对另外两种渔具的捕捞努力量进行标准化, CPUE 数据为使用 GLM 模型标准化后的结果。每年 4~6 月,东海北部沿海市县的渔业局都会组织放流幼蟹,以增加种群数量,因此每年的幼蟹增殖放流数据从研究海域相邻省及部分市级渔业管理部门获得(图 3) (Wang *et al.*, 2017b)。

1.2 模型

使用增殖剩余产量模型王迎宾(2021)对 MSY 、 B_{MSY} 和 E_{MSY} 等开展评估。年际生物量变动趋势(B_{t+1})使用公式(1)表示:

$$B_{t+1} = B_t + (rB_t + eS_t) \left(1 - \frac{B_t}{K}\right) - C_t, \quad (1)$$

式中, B_t 表示第 t 年原存群体(海域原本存在的群体)生物量; r 为内禀增长率; e 为有效增殖率,表示增殖

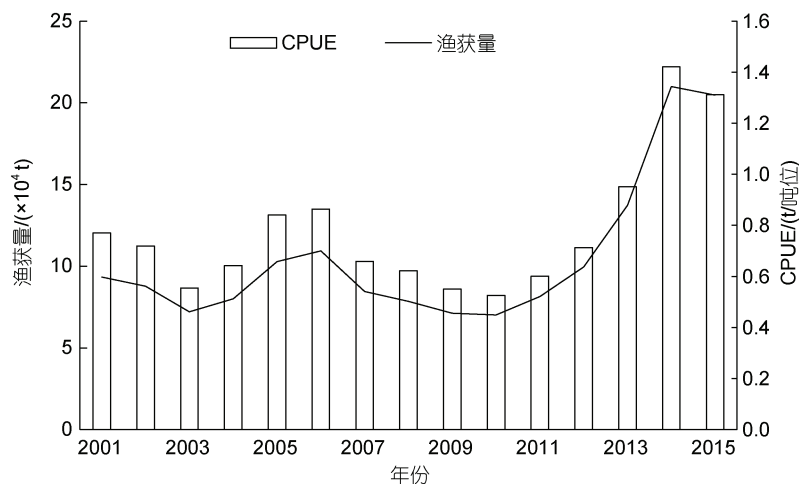


图 2 2001~2015 年东海北部海域三疣梭子蟹渔获量与 CPUE

Fig.2 The catch and CPUE of *P. trituberculatus* in the northern East China Sea from 2001 to 2015

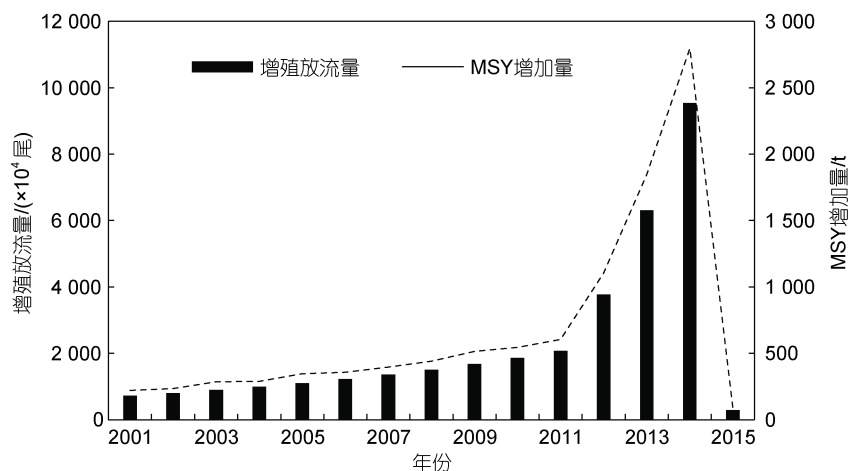


图3 2001~2015年东海北部海域三疣梭子蟹每年增殖放流量及MSY增加量

Fig.3 Annual releasing and MSY increase of *P. trituberculatus* in the northern East China Sea from 2001 to 2015

放流的群体生长至可捕捞规格的生物量比例; S_t 表示第 t 年增殖放流苗种全部长到可捕成体规格时的生物量; K 为环境容纳量; C_t 表示第 t 年的产量。

经过推导, 得到:

$$B_{\text{MSY}} = \frac{K}{2} - \frac{eS_t}{2r}, \quad (2)$$

$$\text{MSY} = \frac{rK}{4} + \frac{eS_t}{2} + \frac{e^2 S_t^2}{4rK}, \quad (3)$$

而相应的 E_{MSY} 则通过求解公式(4)得到:

$$-aC_t^2 + (bE_t - E_t^2)C_t + cE_t^2 = 0, \quad (4)$$

式中, $a = \frac{r}{Kq^2}$; $b = \left(r - \frac{eS_t}{K}\right) \frac{1}{q}$; $c = eS_t$, E_t 表示第 t 年的捕捞努力量。

有关增殖剩余产量模型的完整推导可详见王迎宾(2021)发表的文章“基于增殖放流的定栖性种类剩余产量模型及其模拟分析”。

2 结果

2.1 参考指标

基于 2001~2015 年间东海北部海域三疣梭子蟹渔业数据的产量评估结果如图 4 所示。当年增殖放流量在 $3 \times 10^6 \sim 95 \times 10^6$ 尾之间时, 年产量逐渐增加。在每年固定放流水平下, 捕捞努力量(渔船吨位)在 $14.5 \times 10^4 \sim 15.5 \times 10^4$ 吨位之间时, 对产量影响不明显, E_{MSY} 基本在 15×10^4 吨位左右(图 4)。在图 4 中提取不同水平年增殖放流数量得到的 MSY 及其他对应指标(E_{MSY} 、 B_{MSY}), 并制作柱形图如图 5 所示。MSY 在 14.2×10^4 t 和 14.6×10^4 t 之间, 并且增殖放流量增加(当年增殖放流量从 3×10^6 尾增加至 95×10^6 尾时), 其

对应的 MSY 也越高, 能承受的 E_{MSY} 也越高(从 15×10^4 吨位到 15.4×10^4 吨位之间), 相反 B_{MSY} 则减小(从 188.4×10^4 t 降至 186.6×10^4 t, 图 5)。

2.2 与传统 Schaefer 模型的比较

Wang 等(2018)基于同样数据, 使用 Schaefer 模型对研究海域三疣梭子蟹的 MSY 等指标进行了评估。结果显示, MSY 约为 14.2×10^4 t, E_{MSY} 和 B_{MSY} 分别约为 14.8×10^4 吨位和 188.5×10^4 t。本研究基于增殖剩余产量模型得到 MSY 略高于 Wang 等(2018)的结果(图 6a), 而相应的 E_{MSY} 和 B_{MSY} 也相应偏高及偏低(图 6b, 图 6c)。以上数据体现了增殖放流的效果, 表明因增殖放流的作用, 三疣梭子蟹资源可以承受更高的捕捞努力量, 同时可以得到更高的渔获量; 并且, 即使

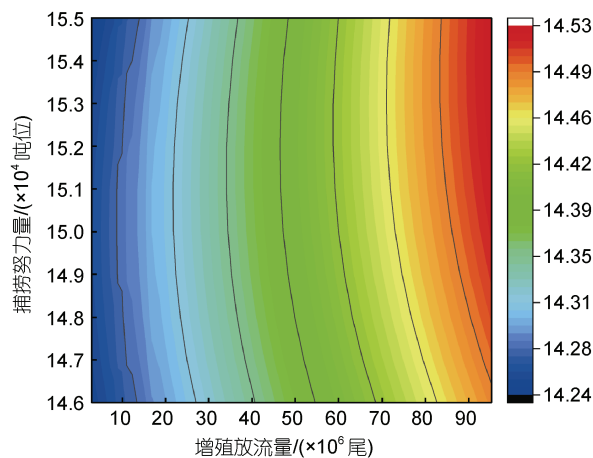
图4 不同捕捞努力量和年增殖放流量水平组合下东海北部海域三疣梭子蟹年产量评估结果(单位: 10^4 t)

Fig.4 Evaluation results of the annual production of *P. trituberculatus* under different combinations of fishing effort and annual proliferation and release levels in the northern East China Sea (unit: 10^4 t)

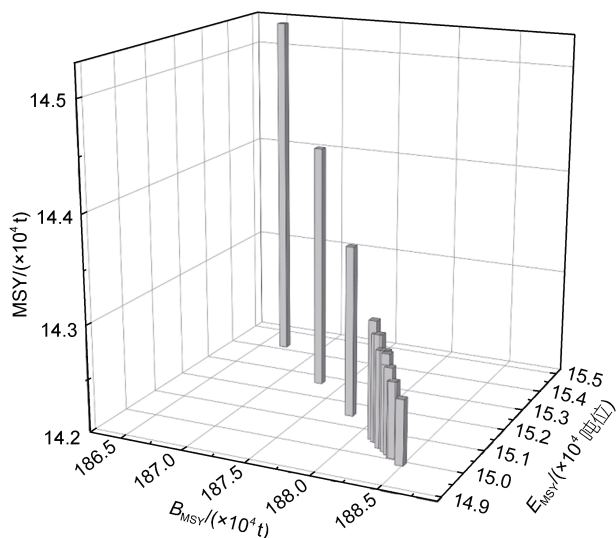


图5 不同捕捞努力量和年增殖放流量水平组合下东海北部海域三疣梭子蟹 MSY 评估结果

Fig.5 MSY assessment results of *P. trituberculatus* under different combinations of fishing effort and annual replenishment and release levels in the northern East China Sea

野生三疣梭子蟹的生物量适当低于无增殖放流时的生物量,也可以接受,因为被过多捕捞的生物群体可以通过增殖放流加以弥补。本研究通过计算可知:2001~2015 年间,增殖放流使得该 15 年内 MSY 增加了约 85~2 800 t (见图 3 中的虚线所示)。

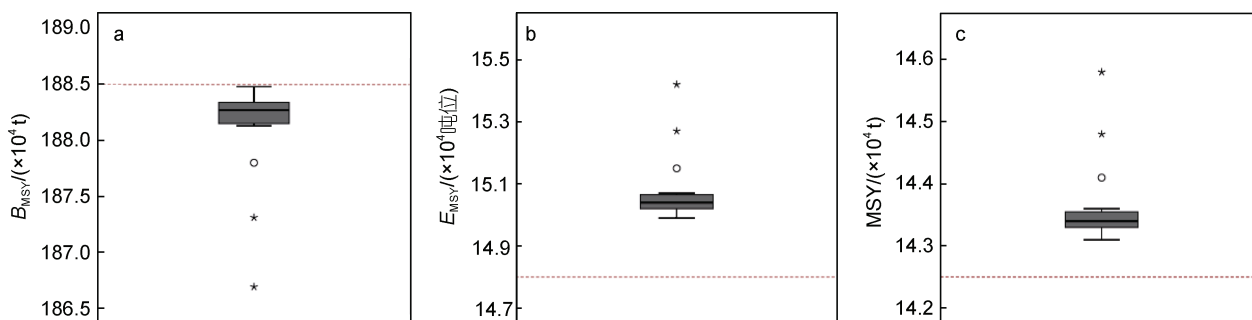


图6 增殖放流剩余产量模型和 Schaefer 模型对 B_{MSY} (a)、 E_{MSY} (b)和 MSY (c)评估结果的比较

Fig.6 Comparison of the evaluation results of B_{MSY} (a), E_{MSY} (b), and MSY (c) between the residual yield model of multiplication and release and the Schaefer model

注: 箱型表示增殖放流剩余产量模型在不同年增殖放流量情况下的评估结果, 虚线表示 Schaefer 模型评估结果; 圆圈表示温和异常值, 星号表示极端异常值

随着传统经济鱼类资源的衰退, 生长迅速且利润丰厚的经济甲壳类逐渐成为主要渔获对象, 为了增加渔获产量, 三疣梭子蟹也逐渐成为大规模地养殖和增殖放流的主要种类之一(周永东, 2004)。近年来, 东海北部海域三疣梭子蟹增殖放流数量不断增加(徐雪等, 2019)。本研究海域的三疣梭子蟹规模性增殖放流虽已持续开展 10 多年, 但仍缺乏科学、系

3 讨论

从增殖剩余产量模型评估结果看, 2012 年和 2013 年的捕捞状况基本接近最大可持续开发水平。若考虑增殖放流的因素, 2014 年的捕捞努力量尚在可接受范围内, 但产量已经超过 20×10^4 t, 远远超过了 MSY 水平。基于模型评估结果, 2013 年和 2014 年的增殖放流量, 不足以支撑如此高的产量, 因此推测: 高产量可能是增殖放流和气候环境因素致使幼体存活率提高等综合因素影响而导致的结果(Gao *et al.*, 2021)。2015 年虽然增殖放流量大幅度减少, 但捕捞努力量却在持续增加, 产量仍旧在 MSY 水平之上。可见从 2015 年开始, 东海北部海域三疣梭子蟹资源的开发力度已经超过其可持续水平。虽然从 2016 年开始, 产量回落到 17×10^4 t 左右, 但仍旧高于 MSY 水平。结合近 20 年三疣梭子蟹渔业开发历史和模型评估结果, 我们认为 2012~2013 年间的增殖放流和开发水平较为合理。根据测算, 每年增殖放流大约 $40 \times 10^6 \sim 65 \times 10^6$ 尾蟹苗, 捕捞努力量不超过当前水平, 产量维持在约 14×10^4 t。目前, 生态系统模型应用越来越普遍, 东海北部海域三疣梭子蟹的最适产量可以使用生态系统模型进行评估, 从而基于生态系统的视角对其 MSY 进行更加科学地分析和判断。

统、长期的增殖放流评价机制(卢晓等, 2018)。本研究结果表明, 有效增殖率 e 对增殖效果和资源的 MSY 影响明显。因此, 研究幼蟹生活史不同阶段的存活率, 并探明不同阶段对外界影响因素的响应机制以及不同阶段合适放流海域的选择, 对资源的增殖效果将具有重要意义。此外, 放流数量持续增加已获得更高的产量, 这种做法最终将导致何种生态后果, 尚未

见深入研究。按照 Wang 等(2018)分析结果可知, 增殖放流量增加会对野生群体产生抑制作用。因此, 最大放流量以及不同环境条件下合适放流数量的确定, 对三疣梭子蟹资源的养护与利用同样至关重要。

本研究仍存在诸多不足之处, 有效增殖率 e 的大小为来自育苗场及渔民访谈, 并且假定每年保持稳定, 这是数据误差来源之一。由于伏季休渔期间未取得三疣梭子蟹样品, 一定程度上给增殖放流群体至补充群体间的资源量估算带来误差。此外, 评估过程中将蟹笼船、定置刺网船、流刺网船和单拖船的产量和捕捞努力量等进行了综合考虑。事实上, 不同类型渔船其作业海域有所不同, 其对应的捕捞对象可能也属于不同的群体。因此, 作者接下来会基于不同作业海域将不同作业方式分开考虑, 进行单一种类多种渔具(single species and multiple gears)的资源评估, 进而为该种类在研究海域的 TAC 评估和限额捕捞管理提供理论依据。

4 结论

本文使用增殖剩余产量模型对东海北部海域 2001~2015 年的三疣梭子蟹的最大可持续产量(MSY)以及相应的生物量(B_{MSY})和捕捞努力量(E_{MSY})进行评估。与传统的 Schaefer 剩余产量模型的评估结果相比, 增殖剩余产量模型充分考虑了增殖放流生物量的因素, 得到了 MSY 和 E_{MSY} 有所增加, 而 B_{MSY} 有所下降的结论。研究结果为该研究海域三疣梭子蟹可持续地捕捞、放流与管理提供科学依据。

参 考 文 献

- 王伟定, 俞国平, 梁君, 等, 2009. 东海区适宜增殖放流种类的筛选与应用[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 28(4): 379-383.
- 王迎宾, 2021. 基于增殖放流的定栖性种类剩余产量模型及其模拟分析[J]. 海洋学报, 43(2): 28-37.
- 王彬, 刘修泽, 李玉龙, 等, 2020. 辽东湾三疣梭子蟹增殖放流效果评估[J]. 水产学报, 44(8): 1329-1339.
- 卢晓, 董天威, 涂忠, 等, 2018. 山东省三疣梭子蟹增殖放流回顾与思考[J]. 渔业信息与战略, 33(2): 104-108.
- 农业部渔业局, 2011. 2011 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 农业部渔业局, 2012. 2012 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 农业部渔业局, 2013. 2013 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 农业部渔业渔政管理局, 2014. 2014 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 农业部渔业渔政管理局, 2015. 2015 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 农业部渔业渔政管理局, 2016. 2016 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 李凡, 李少文, 刘淑德, 等, 2021. 渤海山东海域甲壳类资源增殖与效果评价[EB/OL]. (2020-07-07)[2021-12-07]. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbname=SNAD&filename=SNAD000001894426>.
- 林群, 王俊, 李忠义, 等, 2015. 黄河口邻近海域生态系统能量流动与三疣梭子蟹增殖容量估算[J]. 应用生态学报, 26(11): 3523-3531.
- 周永东, 2004. 浙江沿海渔业资源放流增殖的回顾与展望[J]. 海洋渔业, 26(2): 131-139.
- 胡荧斌, 徐美佳, 王天姿, 等, 2019. 浙江省三疣梭子蟹产量波动及潜在影响因素分析[J]. 海洋科学, 43(2): 69-73.
- 俞存根, 宋海棠, 姚光展, 等, 2003. 浙江近海蟹类资源合理利用研究[J]. 海洋渔业(3): 136-141.
- 徐开达, 周永东, 朱文斌, 等, 2018. 浙江省洞头海域三疣梭子蟹增殖放流效果评估[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 44(3): 373-380.
- 徐雪, 唐伟尧, 王迎宾, 2019. 舟山渔场及长江口渔场邻近海域三疣梭子蟹增殖容量估算[J]. 南方水产科学, 15(3): 126-132.
- 浙江省质量技术监督局, 2015. 重要海洋渔业资源可捕规格及幼鱼比例: DB33/T 949-2014 [S]. 杭州: 浙江省质量技术监督局.
- GAO L, WANG Y B, 2021. Influences of environmental factors on the spawning stock-recruitment relationship of *Portunus trituberculatus* in the northern East China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 40(8): 145-159.
- LIU S, SUN J S, HURTADO L A, 2013. Genetic differentiation of *Portunus trituberculatus*, the world's largest crab fishery, among its three main fishing areas [J]. Fisheries Research, 148: 38-46, doi: 10.1016/j.fishres.2013.08.003.
- SONG H T, YU C G, XUE L J, 2003. The East China Sea Economic crustacean Fisheries Biology [M]. Beijing, China: China Ocean Press, 228.
- WANG Y B, GAO L, CHEN Y X, 2018. Assessment of *Portunus (Portunus) trituberculatus* (Miers, 1876) stock in the northern East China Sea [J]. Indian Journal of Fisheries, 65(4): 28-35.
- WANG Y B, WANG X G, YE T, et al, 2017a. Spawner-recruit analysis of *Portunus (Portunus) trituberculatus* (Miers, 1876) in the case of stock enhancement implementation: a case study in Zhejiang Sea area, China [J]. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 17(2): 293-299.
- WANG Y B, YE T, WANG X G, et al, 2017b. Impact of main factors on the catch of *Portunus trituberculatus* in the Northern East China Sea [J]. Pakistan Journal of Zoology, 49(1): 15-19.
- YUE L T, WANG Y B, ZHANG H, et al, 2021. Stock assessment using the LBB method for *Portunus trituberculatus* collected from the Yangtze Estuary in China [J]. Applied Sciences, 11(1): 342.

ASSESSMENT OF THE MAXIMUM SUSTAINABLE YIELD OF *PORTUNUS TRITUBERCULATUS* IN THE NORTHERN AREAS OF THE EAST CHINA SEA UNDER THE IMPACT OF STOCK ENHANCEMENT

YANG Chun-Hui, LIU Qi, WANG Ying-Bin

(Fisheries College of Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract To prevent fishery resources from declining, it is important to strengthen the stock enhancement and increase the capture for the sustainable utilization. The stock enhancement will affect the results of stock assessment of the resource development and management. The maximum sustainable yield (MSY), the fishing effort (E_{MSY}), and biomass (B_{MSY}) when obtaining the MSY were estimated using the enhancement surplus production model based on the fishery data of *Portunus trituberculatus* in the northern East China Sea from 2001 to 2015, and compared with the assessment results obtained from the traditional Schaefer model. Results show that the annual yield of *P. trituberculatus* increased gradually when the quantity of annual enhancement was between 3×10^6 ind. and 95×10^4 ind., the MSY was between 14.2×10^4 t and 14.6×10^4 t, and the E_{MSY} was about 15×10^4 tonnage. The value of MSY was increased with the increase of released juveniles, and so did the corresponding E_{MSY} from 15×10^4 tonnage to 15.4×10^4 tonnage, while B_{MSY} was decreased from 188.4×10^4 t to 186.6×10^4 t. Compared with the assessment results of the traditional Schaefer model, the enhancement surplus production model could reflect the factor of enhancement biomass, which results in the increases of MSY and E_{MSY} , and the decrease of B_{MSY} at the same time. We hope from this study to provide a scientific basis for the capture, stock enhancement, and management of *P. trituberculatus* in the northern East China Sea.

Key words the northern East China Sea; *Portunus trituberculatus*; stock enhancement; the maximum sustainable yield