

浙江嵊泗人工鱼礁区渔业资源生态容纳量变动的研究

尹增强^{1,2} 章守宇^{2*}

(¹大连海洋大学海洋工程学院, 116023)

(²上海海洋大学海洋科学学院, 201306)

摘 要 人工鱼礁是放置于海底以影响海洋生物资源的物理、生物或社会经济过程的人工设施。科学评价人工鱼礁对渔业资源生态容纳量的改善程度对揭示鱼礁的生态功能和指导鱼礁后续建设具有重要的理论与现实意义。人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物可分为 3 种类型(I 型、II 型和 III 型), 其中 II 型鱼类和大型无脊椎动物身体不接触鱼礁, 但在鱼礁周围游泳、在海底栖息。该生物学资料可通过拖网调查取样获得。根据 2004 年 10 月~2007 年 9 月浙江嵊泗人工鱼礁海域渔业资源拖网调查数据, 建立了模拟礁区渔业资源密度随时间变化趋势的 Logistic 模型, 并据此求解了鱼礁海域资源数量容纳量模型。通过遗传算法求得了 Logistic 模型的参数。结果表明, 人工鱼礁区 II 型鱼类和大型无脊椎动物的原有生态容纳量约为 6.00~8.03 ind/km·kW, 鱼礁投放所产生的新生态容纳量约为 4.40~5.89 ind/km·kW, 容纳量随季节变化而呈周期性波动。

关键词 容纳量 人工鱼礁 遗传算法 Logistic 模型

中图分类号 S953.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)05-0108-06

Preliminary study on the variation of the carrying capacity of fishery resources in Shengsi artificial reef area

YIN Zeng-qiang^{1,2} ZHANG Shou-yu^{2*}

(¹Marine Engineering College, Dalian Ocean University, 201306)

(²College of Ocean Science and Technology, Shanghai Ocean University, 201306)

ABSTRACT An artificial reef is one or more objects of natural or human origin deployed purposefully on the seafloor to influence physical, biological, or socioeconomic processes related to living marine resources, which is applied to improve marine environment and protect fishery resources. Large numbers of artificial reef projects have been carried out in China since the beginning of 21st century, so as to restore marine habitat. It is practically very important for future construction of the artificial reefs that the fishery resources enhancement of the artificial reef can be scientifically evaluated. There are 3 types of fish and macro-invertebrates (i. e. Type I, II, and III) in artificial reef area. Type II animals inhabit surrounding areas and do not contact artificial reef, whose biological data can be obtained by trawling. Based on the survey data of fishery resources in artificial reef area of Shengsi in Zhejiang Province, the density of fishery re-

国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2006AA100303)、大连海洋大学校列项目(sy2007013)和大连海洋大学博士启动基金(017207)共同资助

* 通讯作者。E-mail: syzhang@shou.edu.cn, Tel: (021)61900336

收稿日期: 2011-02-02; 接受日期: 2011-05-12

作者简介: 尹增强(1973-), 男, 副教授, 主要从事人工鱼礁效果评价、渔业资源评估的研究。E-mail: zqyin@163.com, Tel: 13998616934

source is analyzed, and the variation tendency of the fishery resource density is simulated by using improved Logistic model. The parameters of the model are calculated *via* Genetic Algorithm method. The result indicates that the original ecological carrying capacity is approximately 6.00~8.03 ind/km²·kW, and the enlarged carrying capacity is approximately 4.4~5.89 ind/km²·kW of type II fish and macro-invertebrates in the artificial reef area. The carrying capacity has periodically fluctuated along with the change of seasons.

KEY WORDS Ecological carrying capacity Artificial reef Genetic Algorithm method Logistic model

生态容纳量亦称容纳量,它是指一个特定种群在一个时期内,在特定的环境条件下,生态系统所支持的种群的有限大小,是表达种群生产力大小的一个重要指标(唐启升 1996)。生态容纳量直接与环境有关,包括它的空间、食物以及生物理化因子等(唐启升 1996)。人工鱼礁(以下简称鱼礁)是放置于海底以影响与海洋生物资源有关的物理、生物或社会经济过程的人工设施(Seaman 2000)。鱼礁的投放使周围海域的流、光、音、底质等非生物环境发生变化,这种变化会引起生物环境(包括浮游生物、底栖生物和附着生物等饵料生物)的变化,从而改善渔业资源种群的生活栖息环境(如扩大了生活空间、提高了饵料保障等)。因此,渔业资源数量增加,生态容纳量也将随之扩大。鱼礁投放对生态容纳量改变程度反映了鱼礁对渔业资源的养护效果。关于鱼礁的渔业资源养护效果,早已引起国内外学者的关注,并就鱼礁对幼鱼保护、渔业资源和种类丰度的影响进行研究(Solonsky 1985;Polovina *et al.* 1989;Shao *et al.* 1992;Gregg 1995;陈丕茂 2005a,b;Rousseau 2006;Perkol-Finkel *et al.* 2007;刘舜斌等 2007;王伟定等 2007),但均为定性和简单定量研究。关于鱼礁对渔业资源的生态容纳量影响的研究尚未见公开报道。根据有关文献(杨 齐等 2000)可知,鱼礁区鱼类可分为3种类型,即I型、II型和III型。根据作者对鱼礁区调查发现,鱼礁区的大型无脊椎动物(甲壳类、软体类和头足类等)也可分为3种类型,即身体接触鱼礁的岩礁型(本文称I型)、身体不接触鱼礁但经常出没于鱼礁周围的恋礁型(本文称II型)和因流场作用或摄食需要在鱼礁区逗留的滞留型(本文称III型)。其中II型鱼类和大型无脊椎动物的生物学资料可通过拖网调查取样获得。作者根据2004年10月~2007年9月浙江嵊泗人工鱼礁海域的拖网调查数据,运用改进的Logistic模型模拟鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物密度随时间的变化趋势,通过遗传算法计算模型参数,并推导鱼礁对鱼类和大型无脊椎动物生态容纳量改善程度的评价模型,旨在从理论上建立定量评价鱼礁资源养护效果的方法,从而为鱼礁行政主管部门、建设单位和监管部门科学掌握鱼礁的建设效果提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究的渔业资源仅包括II型鱼类和大型无脊椎动物,渔业资源数量密度(以下简称为渔业资源密度)数据(表1)来自浙江嵊泗鱼礁海域拖网调查资料。鱼礁拟投海域本底调查1次,时间为2004年10月,2005~2007年在鱼礁海域跟踪调查10次。渔业资源调查时所用调查船和调查渔具的具体参数为:(1)调查船为木质船,船长20 m,船宽3.5 m,吨位28 t,满载吃水1.2 m,主机功率29.8 kW,拖速2.5~4 nmile/h;(2)调查渔具为拖网,全长25 m,网口周长13m,曳纲长200 m,叉纲长6 m,网板为V型网板,网囊网目尺寸20 mm。渔业资源密度根据公式 $D=C/(v \cdot T \cdot P)$ [式中, D 、 C 、 v 、 T 和 P 分别表示资源密度(ind/km²·kW)、取样数量(ind)、船速(km/h)、取样时间(h)和调查船功率(kW)],计算后的结果见表1。

1.2 方法

1.2.1 模型选用和修正

生态容纳量的概念来源于种群生态学的Logistic方程(唐启升 1996)。根据生态容纳量的概念,通过分析表1资源密度数据可知,浙江嵊泗鱼礁区渔业资源密度数据具有良好的梯度值,并且变化趋势为先增加然后

表 1 人工鱼礁海域资源密度调查数据

Table 1 Density survey of fish and macro-invertebrates in the artificial reef area

调查时间 Sampling time (Year-Month)	季度序号 No. of the quarter	资源密度(ind/km·kW) Density of fish and macro-invertebrates	调查时间 Sampling time (Year-Month)	季度序号 No. of the quarter	资源密度(ind/km·kW) Density of fish and macro-invertebrates
2004-11	1	6.22	2006-05	7	10.23
2005-03	2	6.94	2006-08	8	14.21
2005-05	3	8.98	2006-11	9	12.20
2005-08	4	11.89	2007-05	11	15.36
2005-11	5	14.16	2007-09	12	9.34
2006-04	6	13.95			

在某一位置波动。此种变化趋势与 Logistic 曲线相符合。Logistic 曲线的非线性常微分方程形式为：

$$dN_t/dt = rN_t(1 - N_t/K) \quad (1)$$

式中, N_t 、 r 和 K 分别表示 t 时刻(本研究指季度次序数)的渔业资源数量(本研究用渔业资源密度表示)、内禀增长率和资源的生态容纳量,对式(1)积分可得：

$$N_t = K/(1 + e^{a-rt}) \quad (2)$$

此式亦称为 Logistic 曲线方程。由于鱼礁区在投放鱼礁前就已经栖息大量的鱼类和大型无脊椎动物(如投礁前该海域渔业资源密度就已达 6.22 ind/km·kW,因此鱼礁区渔业资源密度并非从零开始,即在投礁前已具有一定的渔业资源容纳能力。要对这种潜力进行描述,假设鱼礁投放前渔业资源已接近生态容纳量。为此把 Logistic 曲线方程修正为：

$$N_t = b + K/(1 + e^{a-rt}) \quad (3)$$

式中, b 为投礁前已具备的渔业资源容纳能力。这样修正后,上述数学模型就比较符合鱼礁区渔业资源增殖的实际情况。另外,由鱼礁区渔业资源密度变化情况可知,渔业资源密度实际值与 Logistic 模型拟合值之间有一定差异,出现了一定幅度的波动,波动的原因可能是由于鱼礁区环境的季节性变化引起的,函数 $c = 1 - d\sin[\pi(t/f + g)]$ [式中, d 、 f 和 g 分别为周期性波动的波幅, f 为波动半周期长度(qr), g 是波动的初始幅角]能较好表示数据的周期性变化。因此本研究用函数 c 对 Logistic 曲线方程进一步修正使其更符合实际情况。修正后的 Logistic 曲线方程为：

$$N_t = [b + K/(1 + e^{a-rt})] \times \{1 - d\sin[\pi(t/f + g)]\} \quad (4)$$

式(4)可变形为：

$$N_t = b\{1 - d\sin[\pi(t/f + g)]\} + [K/(1 + e^{a-rt})] \times \{1 - d\sin[\pi(t/f + g)]\} \quad (5)$$

$$\text{设} \quad N_o = b\{1 - d\sin[\pi(t/f + g)]\} \quad (6)$$

$$N_{new} = [K/(1 + e^{a-rt})] \times \{1 - d\sin[\pi(t/f + g)]\} \quad (7)$$

式(6)表示投礁前鱼礁区已经具备的渔业资源容纳能力(即原有生态容纳量);式(7)表示鱼礁投放新产生的渔业资源密度值,其中新产生的生态容纳量(即新增生态容纳量) K_{new} 为：

$$K_{new} = K \times \{1 - d\sin[\pi(t/f + g)]\} \quad (8)$$

1.2.2 模型参数的确定

浙江嵊泗人工鱼礁海域鱼类资源增殖模型为 $N_t = [b + K/(1 + e^{a-rt})] \times \{1 - d\sin[\pi(t/f + g)]\}$,式中含有 7 个待定参数 a 、 b 、 r 、 K 、 d 、 f 、 g 。确定参数的问题可转化为一种优化问题,以保证按数学模型得出的渔业资源密度模拟值 \hat{N}_t 与实际值 N_t 差异最小。可设定优化的目标函数为：

$$\min f(a, b, r, K, d, f, g) = \sum_{t=1}^{12} |\hat{N}_t - N_t| \quad (9)$$

对于 7 个参数,式(9)属于多峰值优化问题,按常规优化方法,若 7 个参数的初值选取不合适,往往只能寻

找到局部最优解,就无法保证鱼礁区渔业资源密度的 Logistic 数学模型对资源密度变化情况有较好的拟合。遗传算法是解决该类问题的有效方法。

本研究选用影响较大且较为完备的英国谢菲尔德(Sheffield)大学推出的 Matlab 遗传算法工具箱编程。其遗传算法的基本计算过程为:

(1) 随机地选取 (a, b, r, K, d, f, g) 若干组初始群体。 $(a_{11}, a_{12}, \dots, a_{17}); \dots; (a_{\lambda 1}, a_{\lambda 2}, \dots, a_{\lambda 7})$,其中 λ 为群体规模;

(2) 选择算子。选择又称复制,是在群体中选择生命力强的个体产生新的群体的过程。选择操作的主要目的是为了避免有用遗传信息的丢失,提高全局收敛性和计算效率。选择算子确定的好坏,直接影响到遗传算法的计算结果。本研究采用随机遍历抽样(Sus)法(雷英杰等 2005)。

(3) 交叉操作。本研究采用单点交叉(Xovsp)法(雷英杰等 2005)。交叉的对是有序的,即奇数行与它下一行偶数行交叉,如果交叉操作的矩阵总行数是奇数,则最后一行不参加交配。因此种群将按交配要求组织成连续的对。

(4) 变异操作。变异是以较小的概率对个体编码串上的某个或某些位值进行改变,从而改善遗传算法的局部搜索能力,进而维持群体的多样性以防止出现早熟现象,本研究采用个体变异法(mutate)(雷英杰等 2005)。

(5) 计算子代目标函数值。由式(9)计算子代目标函数值。

(6) 判断是否收敛于问题最优解。如果为最优解则计算终止,否则用子代代替父代并返回结果种群,本研究采用函数 reins(雷英杰等 2005)完成插入子代到当前种群。

(7) 终止判断。当连续 10 世代不再产生使目标函数更优的群体,或者搜索世代数大于 30 000 时,停止迭代,式(9)取最小值的染色体即为所确定的参数。否则返回(2),进行下一代搜索。经计算得到各个参数。

本研究遗传算法编程思路如图 1 所示。

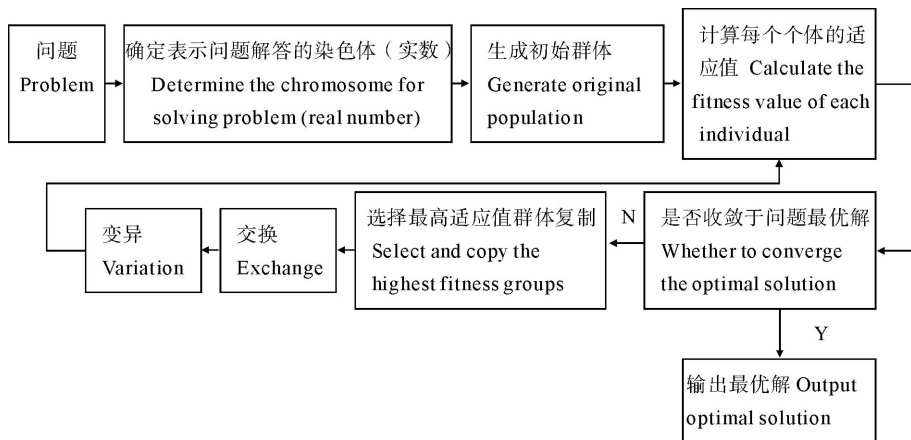


图 1 遗传算法的基本流程和结构

Fig. 1 The basic flow chart and framework of Genetic Algorithm

2 结果与分析

2.1 鱼礁海域资源密度变化

鱼礁海域投礁前后渔业资源密度发生了较大变化,并且有较明显的季节差异。由表 1 可知,鱼礁海域投礁前的渔业资源密度为 6.22 ind/km²·kW,投礁后呈增长趋势,2007 年 5 月达到最高值为 15.36 ind/km²·kW。

2.2 鱼礁海域资源数量变动模型

由遗传算法计算的模型参数为 a, b, r, K, d, f, g , 分别为 2.3、6.75、1.1、4.95、0.19、1.5、0.2。因此鱼礁海

域资源数量变动模型为:

$$N_t = b\{1 - d\sin[\pi(t/f + g)]\} + [K/(1 + e^{a-t})] \cdot \{1 - d\sin[\pi(t/f + g)]\}$$

$$\text{即 } N_t = 6.75 \times \{1 - 0.19\sin[\pi(t/1.5 + 0.2)]\} + 4.95/(1 + e^{2.3-1.1t}) \cdot \{1 - 0.19\sin[\pi(t/1.5 + 0.2)]\} \quad (10)$$

模型的拟合效果如图2所示。由图2可知,除鱼礁投放初期和2006年4月外,相对误差均在15%以下。模型较好反映了鱼礁海域投放前后的渔业资源生物密度的变化情况。

2.3 鱼礁海域资源生态容纳量

由式(6)可得投礁前鱼礁区已经具备的渔业资源容纳能力(即原有生态容纳量),即

$$N_o = b\{1 - d\sin[\pi(t/f + g)]\} = 6.75 \times \{1 - 0.19 \times \sin[\pi(t/1.5 + 0.2)]\} \quad (11)$$

由式(8)可得,鱼礁投放新产生的资源容纳能力(即新增生态容纳量),即

$$K_{new} = K \times \{1 - d\sin[\pi(t/f + g)]\} = 4.95 \times \{1 - 0.19 \times \sin[\pi(t/1.5 + 0.2)]\} \quad (12)$$

为较直观反映鱼礁海域的生态容纳量变化情况作图3。由图3可以看出,鱼礁投放所产生的新生态容纳量约为4.40~5.89 ind/km·kW,原有生态容纳量约为6.00~8.03 ind/km·kW,容纳量随季节变化而呈周期性波动。生态容纳量呈周期性波动的原因主要是,由于海洋非生物环境因素(温度、盐度、海流、光照等)和生物环境因素(浮游生物、底栖生物和附着生物等)的季节变动,引起渔业资源生物的生活空间与饵料生物等发生相应变化,从而导致渔业资源密度的周期性波动,进而影响生态容纳量。

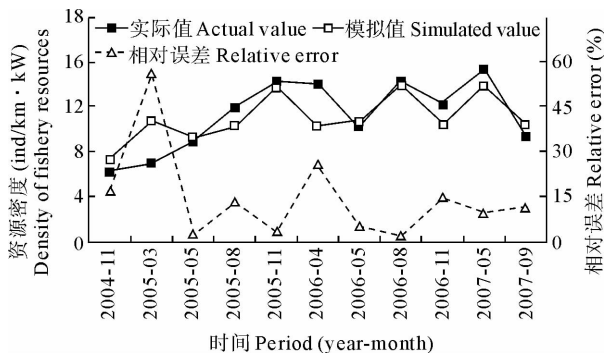


图2 鱼礁区渔业资源密度变化及其 Logistic 模型拟合

Fig. 2 The variation of fishery resources density in artificial reef area simulated by Logistic model

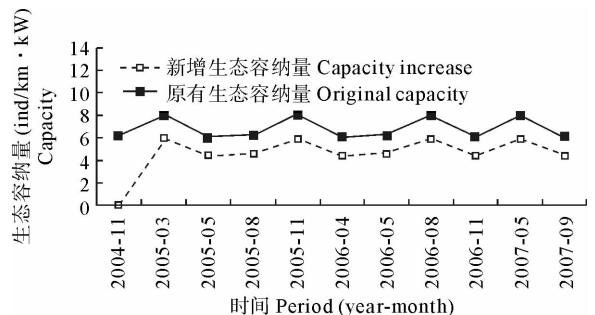


图3 鱼礁区渔业资源生态容纳量变化曲线

Fig. 3 The variation of the capacity of demersal animals in artificial reef area

3 讨论

(1) 鱼礁的投放对改善海域渔业资源的生态容纳量具有积极作用。生态容纳量与环境密切相关。本研究结果从侧面反映了浙江嵊泗鱼礁的投放在一定程度上改变了海域非生物环境(如营养盐和水质等),这与王伟定等(2010)的研究结果相符。

(2) 定量评估鱼礁的资源养护效果是鱼礁生态效果评价的主要内容之一。本研究从生态容纳量概念的来源出发,根据现场调查数据建立了渔业资源密度变化模型。模型除在鱼礁投放初期存在较大误差外,整体拟合效果良好,反映了渔业资源密度变化趋势。因此,以此模型为基础推导的渔业资源生态容纳量模型对定量解析鱼礁的资源养护效果具有一定的理论意义和应用价值。

(3) 鱼礁对渔业资源生态容纳量影响是多种生态因素综合作用的结果。本研究仅以渔业资源密度数据作为建模依据,虽然在模型中通过数学方法考虑了季节变化对渔业资源容纳量的影响,但是由于未加入现场环境数据,难免会影响模型拟合的精度。因此模型在此方面有待进一步完善。

参 考 文 献

- 王伟定,徐汉祥,潘国良,金海卫,虞宝存. 2007. 浙江省休闲生态型人工鱼礁建设现状与展望. 浙江海洋学院学报(自然科学版),26(1):22~28
- 王伟定,梁君,章守宇. 2010. 人工鱼礁建设对浙江嵊泗海域营养盐与水质的影响. 水生生物学报,34(1):78~87
- 刘舜斌,汪振华,林良伟,杨平海,章守宇. 2007. 嵊泗人工鱼礁建设初期效果评价. 上海水产大学学报,16(3):297~302
- 陈丕茂. 2005a. 中山海域浮式试验鱼礁效果研究. 湛江海洋大学学报,25(3):85~89
- 陈丕茂. 2005b. 中山人工鱼礁区渔获物调查. 热带海洋学报,25(3):73~80
- 杨齐,刘同渝,黄汝堪. 2005. 人工鱼礁集鱼机理浅析. 水产科技,5:6~11
- 唐启升. 1996. 关于容纳量及其研究. 海洋水产研究,17(2):1~6
- 雷英杰,张善文,李继武,周创明. 2005. MATLAB遗传算法工具箱及应用. 西安:西安电子科技大学出版社,64~110
- Perkol-Finkel, S., and Benayahu, Y. 2007. Differential recruitment of benthic communities on neighboring artificial and natural reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 340(1):25~39
- Gregg, K. L. 1995. Comparisons of three manufactured artificial reef units in Onslow Bay, North Carolina. *Bulletin of Marine Science*, 44(2):944~951
- Rousseau, M. A. 2006. Massachusetts marine artificial reef plan. Massachusetts Division of Marine Fisheries Technical Report, 1~88
- Polovina, J. J., and Sakai, I. 1989. Impacts of artificial reefs on fishery production in Shimamaki, Japan. *Bulletin of Marine Science*, 44(2):997~1003
- Solonsky, A. C. 1985. Fish colonization and the effect of fishing activities on two artificial reefs in Monterey, California. *Bulletin Mar. Sci.* 37(1):336~347
- Shao, K., and Chen, L. 1992. Evaluating the effectiveness of the coal ash artificial reefs at Wan-Li, Northern of Taiwan. *Journal of the Fisheries Society of Taiwan*, 19(4):239~250
- Sesman, W. Jr. 2000. Artificial reef evaluation: with application to natural marine habitats. New York: CRC Press, 5

《渔业科学进展》编辑部网上投稿启事

为充分利用网络资源,提高编辑办公和期刊出版效率,《渔业科学进展》编辑部已从2010年1月开始采用期刊网络化办公系统。该系统使投稿、审稿和编辑工作都在同一个网络平台上完成,可大大节省通讯时间,并规范编辑工作流程。同时,网络投稿将以更加友好的界面服务于广大作者,方便作者与编审之间的沟通,为您提供易查、易用、更加方便快捷的服务。

敬请作者访问黄海水产研究所网站(<http://www.ysfri.ac.cn>)右下角的“《渔业科学进展》期刊网上投稿系统”。投稿程序请参看《渔业科学进展》网络化稿件处理系统作者使用指南。

如有疑问,请致电 0532-85833580 陈严老师或 0532-85800117 王建坤老师咨询。也可发邮件到《渔业科学进展》编辑部咨询, E-mail: chenyan@ysfri.ac.cn。

《渔业科学进展》编辑部

2011年10月20日