

文章编号: 1004 - 7271(2007)05 - 0478 - 05

· 综述 ·

贝类养殖容量研究进展

李长松^{1,2}, 房斌², 王慧¹, 庄平¹, 周凯¹, 么宗利¹

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090;

2. 上海水产大学海洋学院, 上海 200090)

摘要:近年来国内的贝类养殖产业出现大规模的病害事故,就其本质看是由于养殖区域生态环境平衡遭到破坏。本文从生态学角度出发,归纳国内外对于养殖容量概念的发展,比较各种概念的适用情况;对于养殖容量数学模型的建立和估算,介绍了目前国内外相对成熟,应用较广的模型,并且评价各种模型的优缺点。

关键词:贝类; 养殖容量; 概念; 模型

中图分类号: S 968.3 文献标识码: A

Review of carrying capacity of shellfish aquaculture

LI Chang-song^{1,2}, FANG Bin², WANG Hui¹, ZHUANG Ping¹, ZHOU Kai¹, YAO Zong-li¹

1. Key Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Science, Shanghai 200090, China;

2. College of Marine Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: Shellfish aquaculture has been plagued with clam disease in China. This has been caused by the collapse of ecosystem balance. From the point of ecology, this study summarized the development of the conception of carrying capacity, compared those conception differences. This paper also introduced the math models of carrying capacity, particularized the way of establishing and calculating those models which have been used worldwide. Furthermore the study evaluated the different models.

Key words: clam; carrying capacity; conception; model

早在 1798 年 Malthus^[1] 对世界人口的飞速增长及当时现存的粮食生产能力间的关系进行研究,发现粮食的产量远不能满足人口的增长。Verhulst^[2] 改进了 Malthus 的模型,并且引入“饱和度”的概念,并进一步解释为“容量”(Carrying Capacity),定义为环境所能提供的资源(食物、空间、水,等)能够支持的最大人口水平。随后,这一对于生态系统的朴素概念演化为生态学上的术语容纳量(Carrying capacity)。就国内外养殖现状看,近几年常有大规模的病害^[3-4] 以及环境污染导致贝类死亡^[5-6],或是微生物致病菌导致贝类死亡^[7-8] 的报道,其本质是由于养殖区域的生态平衡遭到破坏。因此开展养殖容量的研究无论在环境保护还是对养殖产业自身的健康发展都是至关重要的。本文从养殖容量的概念

收稿日期: 2006-09-24

基金项目: 国家科技攻关计划专题(2004BA526B0403); 农业结构调整重大技术专项“青蛤工厂化育苗及增养殖技术研究”

作者简介: 李长松(1970-), 男, 江苏滨海人, 副研究员, 主要从事渔业资源、渔业生态学研究。Tel: 021 - 65684690, E-mail:

lichangsong@eastfishery.ac.cn

通讯作者: 王慧, Tel: 021 - 65684655, E-mail: wanghui55@163.com

的发展到国内外在估算养殖容量的方法上进行了归纳和阐述。

1 养殖容量概念

容量是生态学上常用的术语,来源于种群生态学的 logistic 方程^[9]: $dN/dt = rN(k - N)/k$ 。方程中 N 代表种群大小, t 为时间, r 为瞬时增长率, k 为环境容纳量。该方程是具有密度效应的种群连续增长模型,其中 r 、 k 两个参数有着重要的生物学意义。 r 表示物种的潜在增殖能力, k 则表示环境容纳量,即物种在特定环境中的平衡密度。可见,最初的容纳量是指种群瞬时增长率 $r = 0$ 时的平衡密度(或环境容纳量)。

不同学科对容量的研究有不同的理解和研究方法,因此衍生出不同的容量概念。在水产养殖中,通常使用的是养殖密度、养殖容量及环境容量这三个概念。

Garver 和 Mallet^[10]将贝类养殖的养殖容量定义为,对生长率不产生负影响并获得最大产量的放养密度。该定义只考虑贝类的生长及产量,未考虑生态环境因素的影响。李德尚等^[11]把水库中投饵网箱养鱼的养殖容量定义为:不致于破坏相应水质标准的最大负荷量,该定义在国内首次考虑了环境的因素,不过水质标准只涉及 COD,因此具有一定的局限性。刘剑昭等^[12]将养殖容量定义为:特定的水域,单位水体养殖对象在不危害环境,保持生态系统相对稳定、保证经济效益最大,并且符合可持续发展要求条件下的最大产量。董双林等^[13]把养殖容量定义为:单位水体内在保护环境、节约资源和保证应有效益的各个方面都符合可持续发展要求的最大养殖量。该定义第一次在养殖容量中引入可持续发展的概念,并且结合生态环境在大生态系统尺度下研究养殖容量,不足之处是作为养殖的研究,没考虑到社会效益和经济效益。

2 养殖容量的估算方法

目前国内外对于养殖容量的研究不再停留在定性研究养殖密度的高低对贝类生长影响上,更多的通过数值模拟来定量研究特定水域的养殖容量。以下列举了应用较为广泛的养殖容量估算模型。

2.1 借助实验区历年的历史资料和环境条件来确定

根据养殖实验区历年的养殖面积、放养密度、产量以及环境因子的详细记录,推算适宜的养殖容量。一个养殖实验区,在多年的常规经营中,养殖产量增加到一定数值后,增长速度变慢,其产量的极值可认为是该养殖实验区的养殖容量。法国学者 Verhagen 等^[14]通过 Oosterschelde 河口贻贝历年同年龄组的产量统计,研究养殖容量;Herral 等^[15]曾就历年产量与现存量的关系,对 Marennes-Oleron 湾太平洋牡蛎的养殖容量进行了研究。这种利用历年产量间的关系对养殖容量进行的估算,得出的结果是一个经验数值,往往存在很大的偏差。

2.2 瞬时增长率法

瞬时增长率法是依据 logistic 生长方程对种群增长与容量的关系来进行估算的。 $dN/dt = rN(k - N)/k$,式中 N 为种群大小, t 为时间, r 为瞬时增长率, k 为环境容量,可见 k 的最大值出现在 $r = 0$ 的时候。这种方法只考虑生物个体生长,忽略了环境、生态等因素,存在明显的缺陷。最早在 1981 年 Hepher 和 Pruginin^[16]采用瞬时增长率法来估算养殖容量。

2.3 以食物链为基础的能量转换模型

通过估算试验区初级生产力、各种相关生物生物量调查、结合所要估算养殖容量生物的生理学研究,建立该生物养殖容量模型。

其中需要引入贝类摄食生理学中的重要参数滤水率(Filtration Rate)^[17]单位时间内贝类滤过水体的体积,实践中常以滤清率(Clearance Rate)^[18]单位时间内水体中所含颗粒物被贝类全部过滤清除的水体,来表示滤水率。滤水率/滤清率是反映贝类获取食物能力的一个重要指标,在贝类摄食行为和能

量学研究中占有重要地位^[19]。目前较常用的测定滤水率的方法有:流式水槽法和一定水体一次添加饵料法等。

2.3.1 Herman 模型

用食物链为基础的能量转换模型来估算滩涂滤食性贝类的养殖容量必须引入物理环境参数、初级生产力、贝类摄食参量等。Herman^[19]在 Heip 湾对底栖滤食性贝类的养殖容量做了估算:

$$\frac{d_p}{d_i} = P(\mu - m) - P(Cl_{ff})(B_{ff}) - \frac{P}{RT} + \frac{P_e}{RT}$$

P : 浮游植物生物量 (g/m^3), μ : 浮游植物生长率 (/day)

m : 浮游植物因贝类摄食造成的死亡率 (/day), Cl_{ff} : 贝类滤清率 ($m^3/g \times day$)

B_{ff} : 贝类潜在生物量即养殖容量, RT : 系统内水交换时间

P_e : 系统外输入的浮游植物量 (g/m^3)

求导可得:

$$B_{ff} = \frac{(\mu - m)}{Cl_{ff}} + \left(\frac{P_e - P}{P \times Cl_{ff}} \right) \times \frac{1}{RT}$$

在特定的生态系统中, μ 、 m 、 Cl_{ff} 为定常量或者变化不大因此贝类生物量由系统内初级生产力和海湾水体交换时间来决定。该模型考虑了初级生产力和贝类生物量间的显著关系, 不足的是没有考虑到系统内其他生物对浮游植物的消耗。

2.3.2 The Ecopath 模型

在假设所有饵料生物的生产力等于上一级消费者生物量、产量及系统输出总和的基础上 Ecopath^[20]建立了固定水域多平衡食物链模型。

$$B_i(P/B)_i EE_i - \sum_{j=1}^n B_j(Q/B)_j DC_{ij} - Y_i - E_i = 0$$

B_i 、 B_j : 分别表示捕食者和被捕食者生物量, $(P/B)_i$: 单位生物量生产力

$(Q/B)_j$: 单位捕食者生物量消费力, EE_i : 食物链传递效率

DC_{ij} : i 在 j 胃含物中所占平均百分比, Y_i : 产量

E_i : 系统输出

该模型给出的是固定水域整个食物链环节中的各种生物生物量估算方法^[21-22], 由于它忽略了外界环境的影响^[23]因此应用面较窄, 只使用于相对较固定的池塘等水域。

2.3.3 方建光模型

该模型以叶绿素 a 和初级生产力的有机碳作为计算贝类养殖容量的关键因子, 单位面积初级生产力的有机碳减去附着生物对有机碳的需求总量即为养殖贝类或其他滤食性贝类的养殖容量。

$$C_c = \left[P - K \times C_{chla} \sum_j^m (F_{RF_j} \times B_j) \right] / (K \times C_{chla} \times F_{RS})$$

C_c : 所要估算贝类的养殖容量, P : 初级生产力 ($mg(C)/cm^2 \times day$)

F_{RF_j} : 非养殖不同种类滤食性贝类的滤水率 ($m^3/ind.$), C_{chla} : 叶绿素 a 浓度

B_j : 非养殖滤食性生物生物量密度 ($ind./m^2$), F_{RS} : 养殖贝类滤水率

K : 浮游植物体内有机碳与叶绿素 a 的质量比 (40:1), m : 滤食性生物总类数

该模型^[24]没能考虑浮游动物对初级生产力的消耗, 因此估算出来的养殖容量数值偏大^[19]。

2.4 生态动力学方法

生态动力学模型以营养动力学为理论依据, 从物质平衡角度估算不同营养层次的生物量, 即从初级生产力逐次向顶级捕食者估算生物量。生态动力学模型在维持环境不被破坏的前提下, 估算一定海区的养殖品种及其养殖容量具有很大的可行性^[25]。

2.4.1 营养动态估算

Parsons 和 Takahashi^[26] 营养动态模型是估算生态系统中不同营养层次的生物量,模型表达式为: $P = K \times BE^n$, 式中 P 为估算对象生物量, B 为浮游植物产量, 用年初级产碳量除以浮游植物含率表示, E 为生态效率, n 为估算对象的营养级, K 为贝类总重与组织鲜重的比值。

2.4.2 Officer 模型

模拟系统内的各种要素及其之间的关系, 并且考虑系统外的输入及输出, Officer^[27] 在 1996 年建立了浮游植物与底栖贝类生物量模型:

$$\frac{d_{cm}}{dt} = \left(K_m - \sum_{n=1}^N K_{mn} C_n - K_n \right) C_m + D_n C_{m0}$$

c_m : 系统中任一要素的浓度, N : 变量数

C_{m0} : 外界输入系统中的要素浓度, t : 时间

K_m : 系统中出去自然死亡和呼吸的生产力, K_{mn} : 被上级捕食者利用的生产力

K_n : 水交换时间的倒数

当只考虑生物要素只考虑浮游植物和底栖滤食性贝类时候^[28-29], 该模型简化为:

$$\frac{d_p}{dt} = K_p P - 24 \times 10^{-3} \frac{F}{h} BP \quad \frac{d_B}{dt} = -K_b B + 24 \times 10^{-6} \alpha \beta_1 \beta_2 FBP$$

P : 浮游植物生物量 (C_{chla}/L), B : 底栖滤食性贝类生物量 (kg/m^2)

K_p : 浮游植物生长率, K_b : 贝类死亡率

h : 水深, F : 贝类滤水率

α : 浮游植物转化效率 (C_{chla}/W), β_1 : 贝类摄食效率: FR/CR

β_2 : 贝类同化效率: 肌肉重/总重

求得:

$$P = \frac{K_b}{\alpha \beta_1 \beta_2} \times \frac{10^6}{24} \quad B = \frac{K_p h}{F} \times \frac{10^3}{24}$$

该模型没能考虑浮游动物及其他滤食性生物对浮游植物的消耗。

3 结束语

养殖容量模型的建立和应用都和特定水域的特定环境及生物因子息息相关, 因此一种模型很难适用两种不同的养殖区域。怎样通过增减模型中的参数来拟合研究水域的环境及生物特性是研究工作者首先要考虑的问题。

自从容量这一概念被首次提出, 其研究和发展遍及了各个学科和领域。容量的概念和养殖科学的结合发展成了养殖容量的研究, 从小范围固定水域养殖到大水面流动水体养殖应用极其广泛。目前, 国外对于养殖容量的研究已经到了数值模拟, 定量估算某一水域特定品种的最大养殖能力的阶段; 然而国内的研究尚处在起步期, 随着人们更加重视生态养殖, 保护环境, 养殖容量的研究在我们国家必定能够更好地发展。

参考文献:

- [1] Pablo del Monte-Luna. The carrying capacity of ecosystems[J]. Global Ecology and Biogeography, 2004, 13: 485 - 495.
- [2] Verhulst P F. Notice sur la loi que la population suit dans accroissement[J]. Correspondence Mathématique et Physique, 10: 113 - 121.
- [3] 吴奕. 乐清湾养殖贝类的病害研究取得重要成果[J]. 水产科技情报, 2004, 31(3): 139.
- [4] 周永灿. 海洋贝类病害及其研究进展[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2000, 18(2): 207 - 212.
- [5] 孙国铭, 万夕和, 刘培庭, 等. 通州海区滩涂青蛤死亡原因的初步分析[J]. 水产养殖, 2004, 25(2): 16 - 27.
- [6] 祁铭华, 马绍赛. 沉积环境中硫化物的形成及其与贝类养殖的关系[J]. 海洋水产研究, 2004, 25(1): 85 - 89.
- [7] 薛超波, 王国良. 宁波地区滩涂贝类大规模死亡的流行病学分析[J]. 中国水产, 2005, 4: 51 - 53.

- [8] 梁玉波,张喜良. 贝类典型寄生虫病害[J]. 海洋环境科学,2003,22(4):72-75.
- [9] 孙德冰,李博. 普通生态学[M]. 北京高等教育出版社,1993.
- [10] Carver C E A, Mallet A L. Assessing the carrying capacity of a costal inlet in terms of mussel culture[J]. Aquaculture,1988;39-53.
- [11] 李德尚,熊邦喜. 水库对投饵网箱养鱼的负荷力[J]. 水生生物学报,1994,18(3):223-229.
- [12] 刘剑昭,李德尚. 关于水产养殖容量的研究[J]. 海洋科学,2000,24(9):33-35.
- [13] 董双林,李德尚. 论海水养殖的养殖容量[J]. 青岛海洋大学学报,1998,28(2):253-258.
- [14] Verhagen J H G. A distribution and population model of *Mytilusedulis* in lake *Grevelingen* [J]. Report R1310-12, Water loop kudig laboratorium delft hydraulic labortatory,1985(52):459-467.
- [15] Herral M, Deslous Paoli J M. Dynamique desproductionset des biomasses des huitres creuses cuitives dans le basin de Marennes-Oleron depuis un siecle[J]. ICES Mar Sci Symp,1986,(187):41-44.
- [16] Hephber B, Pruginin Y. Commercial Fish Farming, with Special Reference to Fish Culture in Israel[J]. Wiley Interscience Publ, New York, 1981,261,21-30.
- [17] 潘鲁青,范德朋,董双林,等. 环境因子对缢蛏滤水率的影响[J]. 水产学报,2002,26(3):226-230.
- [18] 林元烧,曹文清. 几种主要养殖贝类滤水率的研究[J]. 海洋学报,2003,25(1):86-92.
- [19] 包永波,尤仲杰. 海洋滤食性贝类摄食率影响因子研究现状[J]. 海洋水产研究,2006,27(1):76-80.
- [20] Heip CHR, Goosen NK. Production and consumption of biological particles in temperate tidal estuaries[J]. Ann Rev Ocean Mar Biol,33:1-149.
- [21] Gibbs M T. Interactions between bivalve shellfish farms and fishery resources[J]. Aquaculture,2004,240:267-296.
- [22] Christensen V. Ecosystem maturity towards quantification[J]. Ecol Model,1995,77,:3-32.
- [23] Christensen V. Ecopath with Ecosim: a User's Guide[M]. Fisheries Centre, University of British Columbia, Vancouver, Canada and ICLARM, Penang, Malaysia,2000,130-135.
- [24] Weimin Jiang, Mark T. Gibbs Predicting the carrying capacity of bivalve shellfish culture using a steady linear food web model[J]. Aquaculture,2005,244:171-185.
- [25] 方建光,匡世焕. 桑沟湾栉孔扇贝养殖容量的研究[J]. 海洋水产研究,1996,17(2):18-31.
- [26] 方建光,孙慧玲. 桑沟湾海带养殖容量的研究[J]. 海洋水产研究,1996,17(2):7-16.
- [27] Richard F. Dame. Bivalve carrying capacity in coastal ecosystems[J]. Aquatic Ecology,1998,(31):409-421.
- [28] Timothy R. Parsons, Masayuki Takahashi. Biological Oceanographic Processes[J]. Journal of Animal Ecology,1975,44(1):348-356.
- [29] Officer C, Smayda T. Benthic filterfeeding a natural eutrophication control[J]. Mar Ecol Prog Sot,1982,(9):203-210.