

· 综述 ·

浅海养殖滤食性贝类生态容量的研究进展

张继红, 方建光, 王巍

(中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 山东 青岛 266071)

摘要: 全球贝类养殖强度和规模日趋增长, 在追求海域养殖产出最大化的同时, 引发了一系列生态环境问题, 其中, 生态容量问题已引起世界范围的广泛关注, 并成为水产养殖业可持续发展中迫切需要解决的科学问题。尽管中国是世界上贝类养殖的第一大国, 但是在贝类养殖的容量研究方面起步较晚, 数值模型的研究也相对滞后。本文概述了滤食性贝类生态容量的概念和国外生态容量研究现状和进展, 介绍了目前国际上较为成熟的2个生态容量评估模型(DEPOMOD模型和ECOPATH模型)及其优点和局限性, 列举了中国目前贝类养殖容量和生态容量的研究现状与实践, 并分析了其中存在的问题, 展示了近海养殖生态和生态容量的研究思路, 旨在为建立基于生态系统水平管理的健康养殖模式提供科学依据。[中国水产科学, 2009, 16(4): 626-632]

关键词: 滤食性贝类; 生态容量; 模型; 海水养殖

中图分类号: S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2009)04-0626-07

目前, 全球贝类养殖发展迅猛, 包括牡蛎、蛤类、扇贝及贻贝等在内的贝类产量持续上升^[1]。滤食性贝类以生态系统提供的悬浮颗粒物(包括浮游植物、浮游动物、微生物或有机碎屑等)为食, 因而可导致养殖区悬浮颗粒物的衰减、浮游生物动力学受控、浅海生态系统物质及能量流动受到影响^[2-4]。此外, 贝类在摄食的同时, 还会形成大量的生物性沉积, 加速颗粒有机物的沉积, 从而使底质环境出现厌氧现象, 底栖生物群落发生变化, 底质的营养物质生物地球化学循环发生改变等^[5-7]。在生态系统中, 滤食性贝类为次级生产者, 其生态位与草食性的浮游动物相似。人类的养殖活动往往使贝类成为浅海生态系统中的优势种群或关键种群, 大部分的物质和能量从初级生产流向了养殖的贝类, 只有少部分流向浮游动物和更高层次的鱼类。因此, 大规模的贝类养殖活动可能对整个生态系统产生深远的影响, 并引发一系列的生态环境问题。

有关贝类养殖与海洋生态系统的相互作用研究、养殖贝类生态容量的研究、基于生态系统水平管理的健康养殖模式的研究等, 是贝类养殖业可持续发展中迫切需要解决的问题, 也是当前的国际前沿科学问题。而实现贝类养殖产业的可持续发展需要对生态系统过程或机理的多学科的综合研究。数学模型作为一种研究手段为养殖贝类的容量研究提供了有效的平台, 并有助于研究人员了解、评估和预测贝类养殖生态系统中复杂的过程和相互作用关系, 因此, 数学模型在养殖管理方面将发挥越来越大的作用。

1 容量的概念

容量的概念来源于种群生态学的Logistic方程: $dN/dt = r \times N \times (K - N) / K$, 其中, N 代表种群大小, t 为时间, r 为种群的瞬时增长率, 表示该物种的潜在增殖能力, K 为环境容量, 即该物种在特定环境

收稿日期: 2009-02-23; 修订日期: 2009-03-24.

基金项目: 国家自然科学基金资助课题(40676093); 国家973计划项目资助课题(2006CB400608); 国家科技支撑计划资助课题(2006BAD09A09); 国家863计划项目资助课题(2006AA100307)。

作者简介: 张继红(1969-), 女, 副研究员, 博士, 从事贝类生理生态学及容量评估研究. E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

通讯作者: 方建光. E-mail: fangjg@ysfri.ac.cn

中的平衡密度。由此可见,在特定的环境内,即使某个物种的增殖能力很大,其数量也不能无限制地增加。贝类养殖容量的研究始于20世纪60年代,之后衍生出各种不同的容量概念。Inglis等^[8]提出的容量概念是普遍接受、应用较多的一种,他将贝类养殖的容量分为自然容量(Physical carrying capacity)、养殖容量(Production carrying capacity)、生态容量(Ecological carrying capacity)和社会容量(Social carrying capacity)。其中,养殖容量定义为贝类产量达到最大时的可养密度;生态容量是指养殖贝类不对养殖海域产生显著压力的最大养殖密度。

自然容量主要指海域能满足某一贝类生长、生存所必需的自然条件(如底质类型、水深、水动力学特性、温度、盐度、溶解氧等基本的物理、化学和生物条件)时的贝类密度。自然容量与养殖技术有关,例如筏式养殖和底播养殖对底质条件的要求不同,对不适宜底播养殖的海区,可以采用筏式养殖方式养殖。有关自然容量的研究较少。自然容量可以利用水文地理模型,根据自然特性、养殖方式、基本生物学要求,结合地理信息系统(GIS)来进行评估^[9-12]。

养殖容量定义为某一海域贝类产量达到最大时的可养密度。由于滤食性贝类的养殖以天然饵料为主,因此其养殖容量与生态系统的功能如初级生产力及悬浮颗粒有机物的浓度等密切相关^[13]。关于贝类养殖容量的研究报道较多^[8,14-15],并已建立了多种模型来评估养殖容量,从简单的水交换时间与贝类清滤时间的比值,发展到二维的箱式模型,进而发展为包括水动力学的三维模型,还建立了更为复杂的多营养层次的综合养殖模型^[16-19]。

虽然养殖容量评估模型对养殖容量具有相对科学的定量评估特点,但它也有一定的局限性,即不能反映生态系统对贝类养殖活动的响应,且只考虑了养殖过程,而未能考虑苗种的采集、收获及后续阶段,因此难以判断在获取最大产出的同时,贝类养殖活动对环境的影响程度,以及养殖方式是否能够可持续发展,而这正是人们最关心的问题。

2 生态容量评估模型

2.1 生态容量评估模型建立的基础

生态容量评估模型的原理是将整个生态系统和养殖的全过程作为养殖机体(包括从苗种的采集、生长、收获及加工过程)。目前关于生态容量评估模型很少,且不够完善,未能囊括养殖的全过程,仅考虑了养殖生长过程。并且,由于受鱼类网箱养殖对如营养盐负荷及有机质沉降等环境压力较大的影响,人们更多关心的是贝类养殖对生态系统的负面影响^[20-21]。

贝类滤食水体中的有机碎屑、浮游生物,一部分用于自身的生长,很大一部分以粪便和假粪的形式排出体外,可能使大量的有机物在底质内沉积。因此,贝类对生态系统的影响还与养殖海域的养殖时间、养殖规模、水动力学特性及底质条件等密切相关。目前,在研究贝类养殖对生态系统的影响中,有关底质及底栖生物方面的研究较多,而有关养殖生产对水体影响的报道较少;对养殖区的研究较多,而对养殖临近区域或整个生态系统的研究较少,并且,关注贝类养殖的负面影响较多,正面的影响较少^[22-24]。然而,要确定生态容量,必须从整个生态系统的角度来分析。

已有的养殖容量评估模型对于生态容量评估模型的建立是很有帮助的。目前,已建立了两种较完善的模型评估贝类养殖的生态容量,即Henderson等^[25]建立的DEPOMOD(Modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cages)模型和基于生物量平衡原理的ECOPATH模型^[26]。

2.2 DEPOMOD模型

DEPOMOD模型是由Henderson等^[25]建立的(全称为Modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cages),其建立伊始主要是用于鱼类养殖容量评估。该模型是根据颗粒物沉降轨迹依赖于水动力学特性的特点而建立的,能模拟贝类养殖区有机物沉降过程,定量描述沉降通量与底栖群落的反馈关系,预测贝类的不同养殖密度对底栖生物群落结构的影响程度。该模型建立后相继在爱尔兰、加拿大及地中海等国得到应用^[27],虽然能够在一定程度上对生态容量进行定量化描述,但该模型仍

存在以下不足:(1) 由于已经建立了三维水动力学模型的海湾或海区很少,只能将小的格子区域(格子的大小通常为 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$) 视为水流一致,对于点源污染的区域如网箱养殖的模型研究更为有利,而对于大规模的贝类养殖区不太适用;(2) 模型中的再悬浮子模型和沉积子模型不适用于贝类养殖生态系统,源于贝类的粪便和假粪的体积、密度、有机物含量等理化特性不同于鱼类的粪便及残饵,其在沉降速度、扩散距离及再悬浮的临界剪切力等方面与鱼类粪便等存在显著的差异;(3) 模型中底栖生物群落的指示种主要选择了底内生物,但对此争议较大,虽然目前已提出新的指示种,但尚需进一步的验证^[28-30];(4) 模型对于贝类筏式养殖系统比较合适,但是,不适用于贝类底播养殖生态容量的评估;(5) 模型在评估贝类的生态容量时仅考虑了底栖生物群落,而没有考虑整个生态系统。

2.3 ECOPATH模型

ECOPATH模型是基于生物量平衡(Biomass-balance)原理建立的、用以评估贝类养殖的生态容量模型。该模型适用于筏式养殖贝类的生态容量评估。根据热力学原理,系统中每一个生物功能组的能量输入与输出保持平衡,表示为:

$$B_i \times (P/B)_i \times EE_i - \sum_j B_j \times (Q/B)_j \times DC_{ij} - EX_i = 0$$

其中, B_i 、 B_j : 分别表示捕食者和被捕食者生物量, P/B 为生产量与生物量的比值; Q/B 为消耗量与生物量的比值; EE_i : 为食物链传递效率; DC_{ij} : 生物 i 在生物 j 胃含物中所占平均百分比, EX_i 为生物功能组 i 的产出。

ECOPATH模型建立后分别在智利、台湾、南非、巴西、意大利等国和地区的贝类养殖系统进行了应用^[31-34]。Jiang 和 Gibbs^[35] 利用ECOPATH模型评估了新西兰贻贝的生态容量,模拟的结果显示,海域的贻贝养殖容量为 $310\text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,但是其生态容量为 $65\text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,如果贝类的养殖量超过生态容量,将会显著改变养殖系统食物网的能量流动。Ecopath 以构建基

于食物网的数量平衡模型为基础,可以方便地建立生态系统的能量平衡、确定生物量、生产量/生物量(Production/Biomass)、消耗量/生物量(Consumption/Biomass)、营养级和生态营养转换效率等生态系统的生态学参数,能够定量的描述能量在生态系统生物组成之间的流动、系统的规模、稳定性等,以及物流、能流的分布和循环、各营养级间能量流动的效率等。尽管有人预计,ECOPATH将称为渔业生态系统管理、研究的核心工具,但是,ECOPATH模型也有其局限性和不足之处,即:(1) 该模型没有考虑生态系统各营养层次生物的变化过程,只取固定的参数值;(2) 数量平衡(Mass balance)模型没有考虑空间变化;(3) 缺乏足够的生物学变量,如生活史等;(4) 在应用ECOPATH模型时,有些输入的数据缺乏足够的理论依据;(5) 同DEPOMOD模型一样,仅考虑了贝类的生长过程。

2.4 生态容量评估模型的发展趋势

数值模型的优点是能够综合考虑各种生态因子的影响,能够量化描述生态过程,阐明生态机理和规律,能够动态地模拟和预测自然发展的状况。缺点是过于专业化,管理者和生产者难以理解和接受;需要多学科交叉研究,需要大量的数据、参数等。因此,容量评估的另一发展趋势就是应用简单易行、便于操作的模型或环境功能指标,将繁复的模型或问题简单化。Gibbs^[36] 提出了贝类养殖可持续发展的指标,提出了滤水效率(Clearance efficiency)、摄食压力(Filtration pressure)、调节比率(Regulation ratio)3个食物限制性指标。当食物限制性指标低于0.05时,贝类的养殖密度处于生态容量之内。尽管如此,由于生态容量概念本身很大的不确定性,尤其对于以天然浮游植物、悬浮颗粒有机碎屑等为食物的滤食性贝类而言,影响其生长的因素非常复杂,如温度、光照、营养盐浓度、浮游动物的摄食压力等,因此,需要对整个海洋生态系统的机能进行深入的研究。只有充分了解生态系统中对其结构与功能起关键作用的因子,才能使贝类生态容量的评估模型更为完善。

3 国内生态容量的研究现状

3.1 研究与实践

关于容量的概念,中国的学者也给出了不同的定义。尽管其中没有对容量进行明确的、详细的划分,但是,从这些定义上看,不仅强调贝类养殖的最大产量,也将其对环境的影响因素进行了考虑^[37]。例如,杨红生和张福绥^[38]认为养殖容量是指对养殖海区的环境不会造成不利影响,又能保证养殖业可持续发展并有最大效益的最适产量。董双林等^[39]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。以上对养殖容量的诠释与 Inglis 等^[8]定义的生态容量有着相同或相近的内涵。

贝类养殖容量方面的研究,中国始于20世纪90年代,杨红生和张福绥^[38]及李长松等^[40]对于贝类养殖容量的研究进行了详细的综述,其他学者也在此方面进行了卓有成效的实践研究,表1列举了中国近年有关贝类养殖容量研究的种类、海区和方法等简要信息。

表1 滤食性贝类养殖和生态容量研究的种类和方法

种类 Species	养殖区 Area	研究方法 Research methods	参考文献 Reference
栉孔扇贝	山东桑沟湾	能量收支	方建光等 ^[41]
栉孔扇贝、长牡蛎	山东桑沟湾	生态动力学数值模型	Nunes 等 ^[18]
牡蛎,缢蛏,菲律宾蛤仔等	厦门大嶝岛海域	营养动态模型等	卢振彬等 ^[42]
菲律宾蛤仔	山东乳山湾	能量收支	尹晖等 ^[43]
牡蛎	厦门同安湾	COD收支平衡模型	詹力扬等 ^[44]
虾夷扇贝	獐子岛	食物限制因子	张继红等 ^[45]
栉孔扇贝、长牡蛎	山东桑沟湾	数值模型	Ge 等 ^[46]

表1中信息提示,中国学者对于养殖容量的研究较多,但是关于生态容量的研究甚少,还处于刚刚起步阶段。张继红等^[45]采用食物限制性指标方法评估了獐子岛海域底播虾夷扇贝的生态容量和养殖容量。Ge等^[46]以浮游植物的响应或变化为指标,采用数值模型的方法评估了桑沟湾筏式贝类养殖的养殖容量,对养殖生产起到了很好的科学指导作用,但目前仍存在一些问题,主要表现在:尚未形成有自主知识产权且较为完善的容量评估数值模型;缺少贝类养殖海域的物理、化学、生物等方面的环境参数数据积累;在容量评估的模型中,水动力学的研究相对不足,需要多学科的交叉研究与配合。

3.2 展望

中国海水贝类的养殖强度和规模居世界首位,贝类养殖与生态环境问题成为关注的焦点。加强贝类生态容量评估技术和模型的研究,是建立基于生态系统水平的渔业管理模式和保障贝类养殖产业的

可持续发展的理论基础。尽管目前国内有关生态容量的研究很少,但是,ECOPATH软件和模型已得到一定程度的应用,如仝龄等^[47]运用该软件对渤海生态系统进行了研究,王雪辉等^[48]对大亚湾海域生态系统进行了模型研究,陈作志等^[49]构建了北部湾生态通道模型,李云凯等^[50]对太湖生态系统发育进行了动态模拟等。虽然容量评估的数值模型在中国的使用还刚刚起步,相信今后会有越来越多的生态系统研究者建立开发有自主知识产权的模型,提高中国的基于生态系统水平的渔业管理水平。

关于养殖贝类的生态容量评估指标方面,由于影响贝类生长的因素非常复杂,仅以“不对养殖海域产生显著压力^[8]”作为评价标准,缺少科学的量化概念,会使生态容量在评估指标上存在很大的不确定性和可变性。因此应该与生态系统健康评价相结合。目前生态系统健康评价有2种方法,一是指示物种评价,主要依据生态系统的关键物种、特有物种等的数

量、生产力及生理生态指标描述生态系统的健康状况;二是结构功能指标评价,主要综合生态系统的多项指标,反映生态系统的结构与功能。将生态容量与生态系统健康评价有机的结合,可能促进生态容量评估技术、指标和模型的发展,也有助于基于生态系统水平的渔业管理模式的建立。

另外,越来越多的研究已经证实,实行多营养层次的综合养殖模式(Integrated multi-trophic aquaculture, IMTA),进行水产养殖的绿色革命,是减轻养殖对生态环境压力,保证水产养殖业健康发展的有效途径之一。由不同营养级生物(例如,投饵类动物,滤食性贝类,大型藻类和沉积性食物动物等)组成的综合养殖系统中,系统中一些生物排泄到水体中的废物成为另一些生物的营养物质来源,因此,这种方式能充分利用输入到养殖系统中的营养物质和能量,可以把营养损耗及潜在的经济损耗降低到最低,从而使系统具有较高的容纳量和经济产出。通过IMTA,可以降低养殖活动对生态环境的压力。开展养殖系统生源要素/痕量元素的输送及补充过程、系统内营养物质的收支、流动特性和利用效率以及不同营养层次的种类之间的互利机制研究,及IMTA 养殖系统中容纳量评估模型与技术,最佳养殖生物配比和养殖布局的IMTA 构建,生长、产量及效益预测模型等研究,是目前国际上的研究热点,也是国内致力于研究的方向。

参考文献:

- [1] New M B. Global aquaculture: current trends and challenges for the 21st century [J]. World Aquacult, 1999, 30: 8–13.
- [2] Ince L S, Lutz R A, True E. Modeling carrying capacities for bivalve molluscs in open suspended-culture systems [J]. J World Maricult Soc, 1981, 12: 143–155.
- [3] Alpine A E, Cloern J E. Trophic interactions and direct physical effects control phytoplankton biomass and production in an estuary [J]. Limnol Oceanogr, 1992, 37: 946–955.
- [4] Dame R F, Prins T C. Bivalve carrying capacity in coastal ecosystems [J]. Aquat Ecol, 1998, 31: 409–421.
- [5] Hatcher A, Grant J, Schofield B. Effects of suspended mussel culture (*Mytilus* spp.) on sedimentation, benthic respiration and sediment nutrient dynamics in a coastal bay [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1994, 115: 219–235.
- [6] Grant J, Hatcher A, Scott D B, et al. A multidisciplinary approach to evaluating benthic impacts of shellfish aquaculture [J]. Estuaries, 1995, 18: 124–144.
- [7] Crawford C M, MacLeod C K A, Mitchell I A. Effects of shellfish farming on the benthic environment [J]. Aquaculture, 2003, 224: 117–140.
- [8] Inglis G J, Hayden B J, Ross A H. An Overview of Factors Affecting the Carrying Capacity of Coastal Embayments for Mussel Culture. NIWA, Christchurch. 2000, Client Report CHC00/69: vi+31 p.
- [9] Congleton W R, Pearce B R, Parker M R, Beal B F. Mariculture siting: a GIS description of intertidal areas [J]. Ecol Model, 1999, 116: 63–75.
- [10] Arnold W S, White M W, Norris H A, Berrigan M E. Hard clam (*Mercenaria* spp.) aquaculture in Florida, USA: geographic information system applications to lease site selection [J]. Aquac Eng, 2000, 23: 203–231.
- [11] Nath S S, Bolte J P, Ross L G, et al. Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture [J]. Aquacult Eng, 2000, 23: 233–278.
- [12] Pérez O M, Telfer T C, Beveridge M C M, et al. Geographical Information Systems (GIS) as a simple tool to aid modelling of particulate waste distribution at marine fish cage sites [J]. Estuar Coast Shelf Sci, 2002, 54: 761–768.
- [13] Bacher C, Grant J, Hawkins A J S, Fang J, Zhu M, Besnard M. Modelling the effect of food depletion on scallop growth in Sungo Bay (China) [J]. Aquat Living Resour, 2003, 16: 10–24.
- [14] Chamberlain J, Weise A M, Grant J, Dowd M. Modeling Approaches to Assess the Potential Effects of Shellfish Aquaculture on the Marine Environment [C]. DFO Can Sci Advis Sec Res Doc, 2006/032: iv + 50.
- [15] Kaiser M J, Beadman H A. Scoping study of the carrying capacity for bivalve cultivation in the coastal waters of Great Britain. The Crown Estate. Interim Report, 2002, 39 p.
- [16] Rawson M V, Chu C, Ji R, Zhu M, et al. Understanding the interaction of extractive and fed aquaculture using ecosystem modeling [M]. In: Stickney, R.R., McVey, J.P. (Eds.), Responsible Marine Aquaculture. CABI Publishing, Wallingford, 2002, 263–296.
- [17] Duarte P, Meneses R, Hawkins A J S, et al. Mathematical modelling to assess the carrying capacity for multi-species culture within coastal waters [J]. Ecol. Model, 2003, 168: 109–143.
- [18] Nunes J P, Ferreira J G, Gazeau F, et al. A model for sustainable management of shellfish polyculture in coastal bays [J]. Aquaculture,

- 2003,219: 257–277.
- [19] Dowd M. A bio-physical coastal ecosystem model for assessing environmental effects of marine bivalve aquaculture [J]. *Ecol Model*, 2005,183: 323–346.
- [20] Cromei C J, Nickell T D and Black K D. DEPOMOD-modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms [J]. *Aquaculture*,2002,214: 211–239.
- [21] Stickney R R. How did we get into this mess? Junk science vs. real science [J]. *World Aquacult*,2003,34(4–7): 71.
- [22] Carroll M L, Cochrane S, Fieiler R, Velvin R, White P. Organic enrichment of sediments from salmon farming in Norway: environmental factors, management practices, and monitoring techniques [J]. *Aquaculture*,2003,226: 165–180.
- [23] Davenport J, Black K, Burnell G, et al. *Aquaculture: The Ecological Issues*. Blackwell Publishing, Oxford,2003,89.
- [24] Gibbs, M.T. Interactions between bivalve shellfish farms and fishery resources [J]. *Aquaculture*,2004,240: 267–296.
- [25] Henderson A, Gamito S, Karakassis I, et al. Use of hydrodynamic and benthic models for managing environmental impacts of marine aquaculture [J]. *J Appl Ichthyol*,2001,17: 163–172.
- [26] Christensen V, Pauly D. ECOPATH II– a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics [J]. *Ecol Model*,1992,61: 169–185.
- [27] Weise A M, McKindsey C W, Archambault P, Callier M D. Modelling the biodeposition and environmental effects of suspended mussel (*Mytilus edulis*) aquaculture in Eastern Canada: Adapting Depomod to shellfish aquaculture [C]. In: Johnson L E, Cusson M (Eds.),35th Benthic Ecology Meeting, Quebec, QC,2006,28–29.
- [28] Simbora N, Zenetos A. Benthic indicators to use in ecological quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new biotic index [J]. *Med. Mar. Sci*,2002,3/2: 77–111.
- [29] Salas F, Neto J M, Borja A, et al. Evaluation of the applicability of a marine biotic index to characterize the status of estuarine ecosystems: the case of Mondego Estuary (Portugal) [J]. *Ecol. Ind*,2004,4: 215–225.
- [30] Muxika I, Borja A, Bonne W. The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts [J]. *Ecol. Ind*, 2005,5: 19–31.
- [31] Lin H J, Shao K T, Kuo S R, et al. A trophic model of a sandy barrier lagoon at Chiku in southwestern Taiwan. *Estuar. Coast [J]. Shelf Sci*, 1999,48: 575–588.
- [32] Stenton-Dozey J M E, Shannon L A. Impact of mariculture on ecosystems: an ECOPATH approach to assess the impact of mussel culture on trophic interactions [R]. 1st MARICULT Conference. Trondheim, Norway. 2000.
- [33] Wolff M, Koch V, Isaac V. A trophic flow model of the Caeté Mangrove Estuary (North Brazil) with considerations for the sustainable use of its resources [J]. *Estuar Coast Shelf Sci*,2000,50: 789–803.
- [34] Brando VE, Ceccarelli R, Libralato S, Ravagnan G. Assessment of environmental management effects in a shallow water basin using mass-balance models [J]. *Ecol Model*. 2004,172: 213–232.
- [35] Jiang W M, Gibbs M T. Predicting the carrying capacity of bivalve shellfish culture using a steady, linear food web model [J]. *Aquaculture*,2005,244: 171–185.
- [36] Gibbs M T. Sustainability performance indicators for suspended bivalve aquaculture activities [J]. *Ecological Indicators*,2007,7: 94–107.
- [37] 唐启升. 关于容纳量的研究 [J]. *海洋水产研究*,1996,17(2): 1–5.
- [38] 杨红生,张福绥. 1999. 浅海筏式养殖系统贝类养殖容量研究进展 [J]. *水产学报*,1999,23(1): 84–90.
- [39] 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.
- [40] 李长松,房斌,王慧,等. 贝类养殖容量研究进展 [J]. *上海水产大学学报*,2007,16(5): 478–482.
- [41] 方建光,匡世煊,孙惠玲,等. 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.
- [42] 卢振彬,杜琦,钱小明,等. 福建围头湾贝类的养殖容量 [J]. *南方水产*,2006,2(6): 31–38.
- [43] 尹晖,孙耀,徐林梅,等. 乳山湾滩涂贝类养殖容量的估算 [J]. *水产学报*,2007,31(5): 669–674.
- [44] 詹力扬,郑爱榕,陈祖峰. 厦门同安湾牡蛎养殖容量的估算 [J]. *厦门大学学报*,2003,42(5): 644–647.
- [45] 张继红,方建光,王诗欢. 大连獐子岛海域虾夷扇贝养殖容量 [J]. *水产学报*,2008,32(2): 236–241.
- [46] Ge C Z, Fang J G. Response of phytoplankton to multispecies mariculture: a case study on the carrying capacity of shellfish in the Sanggou Bay in China [J]. *Acta Oceanologica Sinica*,2008,27: 102–112.
- [47] 全龄,唐启升, Pauly D. 渤海生态通道模型初探 [J]. *应用生态学报*,2000,11(3): 435–440.
- [48] 王雪辉,杜飞雁,邱永松,等. 大亚湾海域生态系统模型研究 I 能量流动模型初探 [J]. *南方水产*,2005,1(3): 1–8.
- [49] 陈作志,邱永松,贾小平. 北部湾生态通道模型的构建 [J]. *应用生态学报*,2006,17(6): 1107–1111.
- [50] 李云凯,宋兵,陈勇,等. 太湖生态系统发育的 Ecopath with Ecosim 动态模拟 [J]. *中国水产科学*,2009,16(2): 257–265.

Progress in studies on ecological carrying capacity of mariculture for filter-feeding shellfish

ZHANG Ji-hong, FANG Jian-guang, WANG Wei

(Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resource, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: With rapidly development of shellfish mariculture in the world, the problem of environmental impact became serious. In order to make the mariculture industry sustainable development, ecological carrying capacity becomes one of worldwide problem. China as the biggest country for producing marine shellfishes in the world, the research on the production carrying capacity, especially on numerical model of ecological carrying capacity of shellfish mariculture was lag. In this paper, the conception and evaluation model of ecological carrying capacity of filter-feeder shellfish were briefly described. It exhibited two kinds of mathematic model (DEPOMOD model and ECOPATH model) that were used worldwide in the assessment of ecological carrying capacity, and introduced the progresses and shortages. The current status and problem of research on carrying capacity in China were reviewed. And some scientific proposals for the improvements of the studies on the ecological carrying capacity were made in this paper. [Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(4): 626–632]

Key words: filter-feeding shellfish; ecological carrying capacity; model; mariculture

Corresponding author: FANG Jian-guang. E-mail: fangjg@ysfri.ac.cn

..... 2009水产科技论坛

主题: 健康养殖与水产品质量安全

2009年9月25–27日 中国·广州

2009水产科技论坛将于2009年9月25日至27日在中国广州召开。论坛将以“健康养殖与水产品质量安全”为主题,围绕水产健康增养殖技术与渔业工程、渔业环境与养殖容量、渔业资源可持续利用、水产养殖病害预防与控制、水产生物技术与遗传育种、水产品加工与质量安全控制等专题进行交流与研讨。欢迎国内外相关领域的专家、学者和科研人员到广州出席论坛。

主办单位: 中国水产科学研究院

支持单位: 农业部科技教育司 农业部渔业局

承办单位: 中国水产科学研究院南海水产研究所

农业部海水养殖生态与质量控制重点开放实验室

广东省渔业生态环境重点开放实验室

协办单位: 世界渔业研究中心 日本水产综合研究中心 韩国国立水产科学院

中国海洋大学 上海海洋大学 广东海洋大学 大连水产学院

会议语言: 开幕式及主题报告: 英汉同传 专题报告: 英语

详情请查询 www.cafs.ac.cn 或致电: 010-68671939 **联系人:** 静莹 孙莉