

综 述

浅海筏式养殖系统贝类养殖容量研究进展

ADVANCES OF STUDIES ON CARRYING CAPACITY OF SHALLOW SEA FOR FILTER-FEEDING BIVALVE RAFT CULTURE

杨红生 张福绥

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

YANG Hon - Shen , ZHANG Fu Sui

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

关键词 双壳类, 筏式养殖, 养殖容量, 浅海

KEYWORDS Bivalve, Raft culture, Carryin capacity for aquaculture, Shallow sea

据报道,以世界人均耕地计,中国人口以 4 亿为合适,按人均粮食 500k /年计,中国人口以 6 亿为适度,按水资源来估算中国适度人口可为 7 亿。综合起来考虑,中国理想人口数量应在 6.5 亿左右[刘大椿等 1995],而我国实际人口已远远超过此数。很显然,只依靠耕地和陆地资源不能全部解决我国如此庞大人口的生活资料问题。因此,合理地开发利用海洋资源是解决我国人口压力的重要途径,而实现“海洋农牧化”是其中重要的措施之一。

近年来,我国浅海筏式贝、藻养殖有较大的发展,为沿海经济,乃至整个国民经济的发展做出了重大贡献。但发展中又面临许多严峻的挑战,特别是由于缺乏统一规划管理和片面追求高产量、高产值,而忽视了长远的生态效益和社会效益,使得局部海区过度开发、超载运行,某些海区养殖业自身污染加重,生态系统失衡,养殖生物的危害加剧,养殖贝类规格小,死亡率高,产量降低[孙景伟等 1997,隋锡林等 1996,秦友义 1991]。这些重大的生态问题已经严重影响了我国浅海养殖业的正常发展,更威胁着它的前途。

世界大多数国家的水产养殖业都有“发展——滑波——调整——持续发展”的经历。“可持续发展”是世界环境与发展委员会提出的人地系统优化的新思路[蔡云龙 1995]。目前国际上公认的可持续发展的最广泛的定义是:“可持续发展是既满足当代人的需要,又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”。很显然,可持续发展的核心思想是实现经济发展、资源节约与环境保护的统一。它认为,环境保护与经济发展互相支持的战略目标,可以采取适当的技术、经济等措施控制并解决环境问题。经济增长并不一定带来的破坏,关键是采用什么样的经济增长方式。

本文是国家重点科技项目(攻关)计划:96-922-02-04 专题“浅海养殖系统养殖容量与优化技术”和中国科学院重大项目 KZ951-A1-102-02 课题“典型湖泊,海湾渔业资源调控及优质高效模式研究”的部分成果。中国科学院海洋研究所科学技术论文报告第 3307 号。

收稿日期:1997-10-27

目前,我国浅海贝类筏式养殖面积已达 40 多万亩,年产贝类 450 多万吨。我国海岸线绵长,港湾曲折,饵料丰富,环境多样化,因此我国浅海筏式养殖具有很大的发展潜力。如何进一步开展筏式养殖,优化其养殖结构,并保持其可持续性发展,是一个引人注目的问题。为此,首先必须建立浅海筏式养殖容量的评价指标体系,科学评估养殖海区贝类的养殖容量,为决定养殖面积和放养密度等提出可靠的理论依据。

1 养殖容量的概念

在学术界,养殖容量(Carryin capacity for aquaculture)的定义并不统一,特定水域的养殖容量大小不仅受养殖系统内外理化因子和生物因子等因素的制约,同时还受养殖水域所在国家或地区政治、经济、文化等诸因素的影响。因此,笔者认为,应当把养殖水域对某种养殖生物的容量(称为负荷力, Carryin capacity for certain cultured or anism)和该水域对某种养殖业的容量,即养殖容量区别开来。

通常在水产养殖学中讨论的容量,主要指前者。其定义一般为,某一种群在非收获状态下所达到的丰度或现存量[Frechette 1991]; Hephher 和 Pru inin[1981] 首次采用瞬时生长率来估计容量,即瞬时生长率为零时单位水体的最高载鱼量;在我国淡水池塘养殖中,容量(负荷力或载鱼力)被定义为池塘单位面积中所维持的最高载鱼量,其中载鱼量是指水体单位面积或单位水体容积中在测定的当时鱼类的重量或所含的能量(鱼的生物量或现存量)[张扬宗等 1989]。李德尚等[1994] 把水库对投饵网箱养鱼的负荷力定义为不至于破坏相应水质标准的最大负荷量; Carver 和 Mallet[1990] 也曾将其定义为不影响养殖对象生长速度而能取得最大产量的放养密度。作者认为,在贝类养殖系统中,养殖海区对养殖贝类的负荷力可以定义为在充分利用该海区的供饵力和自净能力的基础上,贝类养殖群体所能维持的最大现存量。

对于后者——养殖容量,必须把浅海贝类养殖业的经济、社会与生态效益三者统一起来;因此,可以将其定义为对养殖海区的环境不会造成不利影响,而又能保证养殖业可持续发展并有最大效益的最适产量。

随着海水养殖业的快速发展,养殖海区的环境容量(Carryin capacity for environment)问题进一步引起人们的重视。海湾或沿海水产养殖环境容量(Carryin capacity for aquacultural environment)可理解为:水域在它的功能规划和用途确定的水质指标及水动力条件下所能承受的水产最大养殖纳污量[朱良生等 1996]。从保护环境的角度出发,水产养殖环境容量不可能高,甚至不能满足目前浅海筏式贝类养殖的需要。因此,在制定养殖海区水质标准时,必须考虑到我国的国情和浅海筏式养殖系统等特点,兼顾其养殖容量和环境容量。

必须指出,任何养殖海区的负荷力或养殖容量都不是固定不变的。养殖品种的搭配(如贝藻间养或轮养等),养殖区的合理布局及管理技术的改进等,都将相应增大该海区的负荷力或养殖容量。这就是说我们通过优化养殖技术来提高海区的负荷力或养殖容量还是大有可为的。

2 研究进展

2.1 研究简史

有关内陆水域的养殖容量(应为负荷力,下同)的研究已有不少报道。Vollenweider[1968]、Dillon 和 Ri ler [1974] 和 Larsen 和 Mercier[1976] 分别提出了三个常用以磷负荷为代表测定水体养殖容量的数学模型; Beverid e[1987] 提出了内陆水域不同养殖模式养殖容量的估算方法。李德尚等[1994] 对水库网箱投饵养殖容量进行了较为详细的研究。

七十年代中期,海水贝类养殖容量的研究逐渐引起了人们的关注。日本学者对虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)的养殖容量研究取得了一系列的成果[小林信三 1978, 日本水产学会 1980], 为解决大量死亡等问题提出了可靠的理论依据。欧美各国学者相继进行了贝类养殖海区养殖容量的研究。其中,法国学者对 Marennes Oleron 湾太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)[Bacher 1989、1991, Herral 1985、1991、Herral 等 1986、1987、1988、1990] 进行了较为详细的研究,并建立了养殖容量模型;爱尔兰学者在 Carlin ford 湾[Cooke 和 Barry 1975] 也进行了类似的研究;加拿大、西班牙和荷兰学者分别对 Lunenbur 湾[Grant 和 Thompson 1988]、Ria de Aros 湾[Wie ert 和 Penas Lado 1982]、Scotia 湾[Carver 和 Mallet 1990] 和 Oosterschelde 湾[Smaal 等 1996, Verha, en 1986] 贻贝(*Mytilus edulis*)的养殖容量进行估算或建立了养殖容量模型。澳大利亚学者建立了塔斯

马尼亚洲养殖海区的悉尼岩牡蛎(*Saccostrea com mercialis*) 养殖容量模型[Department of Primary Industry and Fisheries 1996, Holliday 等 1991, Walker 1997]。

我国在浅海筏式养殖系统养殖容量方面的研究刚刚起步[方建光等 1996, 李元山等 1996, 李庆彪 1990, 唐启升 1996], 尚有不少问题急需解决。方建光等[1996] 对桑沟湾栉孔扇贝(*Chlamys farreri*) 的养殖容量进行了较为系统的研究, 并提出了解决该海区栉孔扇贝养殖现状的优化措施。

国内外主要浅海筏式贝类养殖系统养殖容量研究的种类和养殖海区等有关情况见表 1。

表 1 浅海双壳类养殖容量已研究的种类及研究方法
Tab. 1 The species of shellfish and research methods used for evaluating shallow sea filter feeding bivalve carrying capacities

种 类	养殖区(国家)	研究方法	参考文献
太平洋牡蛎 <i>C. gigas</i>	Marennes- Oleron 湾(法国)	利用产量与现存量的关系	Herral 等 1986
太平洋牡蛎 <i>C. gigas</i>	Marennes- Oleron 湾(法国)	箱式模型	Bacher 1991
太平洋牡蛎 <i>C. gigas</i>	Thau 湾(法国)	养殖对环境氮动力学模型能量收支	Bacher 等 1995
美洲牡蛎 <i>C. virginica</i>	North Inlet 河口(美国)	野外实验, 直接测定	Dame 1976
岩牡蛎 <i>Saccostrea commercialis</i>	Swan 湾(澳大利亚)	最适密度	Holliday 等 1991
贻贝 <i>M. edulis</i>	Killary 港口(爱尔兰)	饵料与贝性腺发育和生长	Rodhouse 等 1984
贻贝 <i>M. edulis</i>	Nova Scotia 沿岸(加拿大)	养殖材料、区域与贝生长	Mallet 和 Carver 1991
贻贝 <i>M. edulis</i>	Grevelin 湾(法国)	历年同龄组的产量	Verha en 等 1985
贻贝 <i>M. edulis</i>	Whithaven 港(加拿大)	能量收支(POM)	Carver 和 Mallet 1990
贻贝 <i>M. edulis</i>	Oosterschelde 河口(荷兰)	浮游物	Smaal 等 1986
贻贝 <i>M. edulis</i>	Ria de Arosa 湾(西班牙)	浮游植物与贻贝产量	Wie ert 和 Penas Lado 1982
贻贝 <i>M. edulis</i>	Ria de Arosa 湾(西班牙)	能量收支	Navarro 等 1991
贻贝 <i>M. edulis</i>	St Lawrence 河口(加拿大)	风力再悬浮作用和能量收支	Frechette 1991
贻贝 <i>M. galloprovincialis</i>	地中海西北部	能量收支与生物性沉积的影响	Grenz 等 1991
硬壳蛤 <i>Mercebaria mercenaria</i>	Great Sound 湾(美国)	水平悬浮物通量与底部沉积物特征	Grizzle 和 Lutz 1989
硬壳蛤 <i>M. Mercenaria</i>	墨西哥湾北部	流速与贝生长	Jud e 等 1992
扇贝 <i>Placopecten magellanicus</i>	室内模拟	C、N 与贝生长	Grant 和 Cranford 1991
虾夷扇贝 <i>P. yessoensis</i>	喷火湾(日本)	能量收支	小林信三 1978
虾夷扇贝 <i>P. yessoensis</i>	陆奥湾(日本)	能量收支	日本水产学会 1980
虾夷扇贝 <i>P. yessoensis</i>	佐吕间湖(日本)	能量收支	日本水产学会 1980
栉孔扇贝 <i>C. farreri</i>	桑沟湾(中国)	能量收支	方建光等 1996

值得一提的是, 1996 年 10 月 6~ 11 日, 欧盟组织的“河口生态系统的供饵力: 养殖牡蛎种群管理及其社会经济影响的生物学标准的确定(TROPEE)”项目学术研讨会在英国 Plymouth 海洋实验室召开, 这次会议可以说是对前些年贝类养殖容量研究工作的一次总结。会上各国学者报告了各自研究贝类养殖容量的成果, 讨论并比较了各自的养殖容量预测模型。结果表明, 由于各自研究的区域特征较强, 优势和缺点并存, 一致认为目前并没有一个完美的模型, 而且对养殖容量的预测实在很难。由此可见, 浅海筏式养殖系统贝类养殖容量的评估或预测仍将是各国水产养殖学专家所关注的热点之一。

2.2 研究方法

2.2.1 借助于实验海区的养殖历史资料

根据实验海区历年的养殖面积、密度、产量等评价养殖容量, 随着贝类养殖面积的逐年扩大, 贝类产量也在增加, 但产量增加到某一数量时, 增加的速度变慢, 可能会趋向某一级值, 有时甚至有所下降; 那么, 该极值可被认为是该实验海区贝类的养殖容量, 法国学者[Herral 等 1986, Verha en 1986] 曾对历年产量与现存量的关系或历年同年龄组产量对 Marennes- Oleron 湾太平洋牡蛎和 Oosterschelde 河口的贻贝的养殖容量进行了

评价。

2.2.2 根据实验海区的环境条件

根据实验海区的理化因子,尤其是水流速度[Frechette 等 1989]、水交换率[Incze 等 1981]、浮游物[Smaal 等 1986]或浮游植物现存量[Wie ert 和 Penas Lado 1982]等单一或多个因子与贝类生长等相互关系,建立了贻贝等养殖容量模型。Grizzle 和 Lutz[1989] 还利用浮游物的水平分布和海区底部沉积物特征,建立了硬壳蛤 (*Mercenaria mercenaria*) 生长模型。

2.2.3 以能量为基础的养殖容量模型

根据贝类的能量学实验数据和指定水域的供饵力或初级生产力等建立贝类养殖容量模型。其原理就是估算出实验海区供饵力或初级生产力可提供给贝类生长的能量(或称生长余力 Scope for growth, SFG),测定出单个贝类在生长过程中所需的能量,然后加以计算。随着贝类能量学研究的进一步发展[Baryne 和 New ell 1984, Shumway 1991], 这种方法是目前国内外采用较多的[方建光等 1996, Bacher 1990, Carver 和 Mallet 1990, Dame 1976, Grant 1996, Grenz 等 1991, Navarro 等 1991, Rosenber 和 Loo 1983, Smaal 等 1986, Verha en 1986, 小林信三 1978, 日本水产学会 1980]。

以上三种方法都存在明显的不足,即只考虑环境对贝类养殖的影响,忽视了贝类养殖对环境的影响,而贝类养殖产生的自身污染,又将直接影响海区的贝类养殖容量。

2.2.4 生态动力学模型

海洋生态动力学模型的研究起始于本世纪四十年代。进入九十年代,全球海洋生态系统动态研究计划(GLOBEC)的出台是海洋生态动力学模型发展史上的飞跃。由9家研究机构合作进行的欧洲区域性(北海)海洋生态模型(ERSEM)是迄今较为成功的生态动力学模型之一。贝类养殖容量的生态动力学模型研究也逐渐引起人们的重视,如箱式模型[Bacher 1991, Chardy 1987, Dame 和 Patten 1981, Raidlard 和 Menes uen 1994]及营养动力学研究[Dame 和 Dankers 1988, Kaspar 等 1985, Grant 1996, Soares 等 1997]等,其中法国 Thau 湾太平洋牡蛎养殖海区氮元素的动力学模型研究就是较为成功的一例[Bacher 等 1995]。

3 我国贝类筏式养殖的养殖容量研究的展望与对策

3.1 目标

目前,我国沿海地区正在掀起“科技兴海”的浪潮,大力发展海水养殖业,为实现在本世纪末海水养殖产量达到700万吨的战略目标而奋斗。然而,我国有关海水养殖容量评估等方面的研究起步较晚,现有的评估技术及其在管理上的应用远远不能适应生产发展的需要。因此,为保证我国海水养殖业的可持续发展,积极开展浅海筏式养殖贝类养殖容量的研究,具有重大的现实意义和深远的历史意义。

养殖容量的研究仅仅是为生产管理提供了一种科学依据,而如何在评估养殖容量的基础上,进行有效的管理,这就是优化养殖海区环境、产量或效益的技术问题。反过来,管理和技术的改进又会对养殖容量有所影响。因此,在研究养殖海区养殖容量的同时,必须将优化技术的研究与其有机结合在一起。只有这样,养殖容量研究才具有实际意义,养殖容量模型才能得到实际应用,优化技术的研究才能有的放矢。

前已述及,任何一个海区的养殖容量或环境容量并不是一成不变的,养殖技术和生产的管理等都对其产生影响。对某一个特定海区而言,除了工业、农业及居民日常生活等影响以外,浅海筏式贝类养殖系统的养殖容量还受到海水池塘养殖、滩涂贝类养殖及浅海网箱养鱼等产业的影响。因此,不同产业在生态、社会及经济等多方面的相互关系及相互影响必须认真加以研究。此外,就单个养殖系统或产业而言,内部的调整也是必须的。我国两千多年传统淡水池塘养鱼成功的经验告诉我们,合理的混养是提高产量、减污防病、提高物质利用率的重要措施。因此,我国浅海筏式养殖也理应调整产业结构,积极开展贝藻、鱼贝及鱼贝藻混养或轮养等研究,进一步提高养殖海区的养殖容量或环境容量。

3.2 对策

3.2.1 立足于典型海区

我国浅海筏式贝类养殖主要分布在北方,而且辽宁和山东沿海是最重要的贝类产区。目前,不少养殖海区已经出现了个体小型化、养殖周期延长、死亡率明显增高、产品的产量和质量下降等问题,部分养殖海区贝类的大批死亡已经预示生产滑坡的可能性。因此,必须集中力量重点研究某几个典型海区的养殖容量和优化技术,在切实解决典型养殖海区目前与养殖容量有关问题现状的同时,也为指导其它海区的生产和管理提供可靠的理论依据。

3.2.2 关注新开发海区

国家“科技兴海”战略已经实施,国家海洋高科技研究发展计划也已启动。很明显,国家已经进一步加大了海洋研究和开发的力度,更多的海区将得到充分地开发利用。在开发利用的同时,还应开展新开发海区养殖容量和优化技术的研究,或利用上述典型海区的养殖容量模型对新开发海区进行养殖容量初步的评估,以避免新开发海区重蹈某些过度开发海区的覆辙,确保新开发海区的可持续发展。

3.2.3 开展系统的研究和全方位的合作

养殖容量是一个新兴的研究领域。六十年代以来,国外学者一直注重浅海贝类养殖对海区环境影响的研究,已经取得了大量的研究成果[Bacher等1995, Dame和Patten 1981, Dame和Dankers 1988, Dame等1989, Kaspar等1985, Soares等1997],而国内有关这方面的研究甚少。为了全面系统地研究浅海筏式养殖系统的物质循环和能量流动的规律和特征,系统地评估实验海区的养殖容量,进而建立养殖容量模型,必须研究贝类养殖对养殖海区环境的影响。

养殖容量又是一个跨学科的研究领域,需要物理海洋学、环境生态学和养殖生态学的有机结合。因此,在研究过程中,必须坚持多学科、多单位的联合,才能取得真正的突破。优化技术的研究还必须与工作在生产第一线的科技人员相结合,充分依靠他们多年的实践经验,尽量少走弯路。

如何切实改变当前部分海区贝类养殖出现滑坡的现状,是一个引人注目的问题,也是一个系统工程。因为这个问题的出现本来就与养殖理论和技术的不足、有关政策的不健全、短期经济效益的刺激以及人口素质等密切相关。单单强调某一个因素或环节,根本无法解决如此复杂的问题,因此,开展全方位的合作势在必行。

参 考 文 献

- 方建光,匡世煊,孙慧玲等. 1996. 桑沟湾栉孔扇贝养殖容量的研究. 海洋水产研究, 17(2): 18~ 31
- 刘大椿,明日香寿川,金 淞等. 1995. 环境问题——从中日比较与合作的观点看. 北京: 中国人民大学出版社. 1~ 20
- 朱良生,王肇鼎,彭云辉. 1996. 大亚湾大鹏澳水产养殖环境容量数值预测,见: 大亚湾海洋生物资源的持续利用. 北京: 科学出版社. 129~ 144
- 孙景伟,王志松,王富贵等. 1997. 太平洋牡蛎大量死亡原因与防治对策. 水产科学, 16(3): 3~ 7
- 李元山,牟绍敦,冯月群等. 1996. 海珍品综合增养殖中的种间关系和生态容纳量的研究. 海洋湖沼通报, (1): 24~ 30
- 李庆彪. 1990. 养殖扇贝大量死亡与环境容纳量. 国外水产, (2): 9~ 11
- 李德尚,熊邦喜,李 琪等. 1994. 水库对投饵网箱养鱼的负荷力. 水生生物学报, 18(3): 223~ 229
- 张扬宗,谭玉钧,欧阳海. 1989. 中国池塘养鱼学. 北京: 科学出版社. 767
- 隋锡林,孙景伟,王志松等. 1996. 大连浮筏养殖太平洋牡蛎死亡原因的调查与分析. 水产科学, 15(5): 3~ 7
- 秦友义,王世田,刘永兴. 1991. 大面积贝藻间养面临的问题与对策. 齐鲁渔业, (4): 26~ 28
- 唐启升. 1996. 关于养殖容纳量及其研究. 海洋水产研究, 17(2): 1~ 5
- 蔡云龙. 1995. 持续发展——人地系统优化的新思路. 应用生态学报, 6(3): 329~ 333
- 小林信三. 1978. 喷火湾のウニとその养殖许容量调查报告书. 北海道水产资源技术开发协会, 53
- 日本水产学会(编). 1980. 水产シリーズ, 31: ホタテガイの増养殖と利用, 恒星社厚生阁. 东京. 124
- Bacher C. 1989. Capacité trophique du bassin de Marennes Oleron: couplage d'un modèle de transport particulaire et d'un modèle de croissance de l'huître *Crassostrea gigas*. Aquat Livin Resour, 2(3): 199~ 214
- Bacher C. 1991. Etude de l'impact du stock d'huîtres et des mollusques compétiteurs sur les performances de croissance de *Crassostrea gigas*, à l'aide d'un modèle de croissance. ICES, Mar Sci Symp, 41~ 47

- Bacher C, Bioteau H, Chapelle A. 1995. Modelling the impact of a cultivation, 42: 29~ 54
- Bayne B L, Newell R C. 1983. Physiological energetics of marine molluscs. In: Wilbur K M, Saleuddin A S M eds. The biology of molluscs. Physology. Academic Press. New York. 407~ 515
- Beveridge M. 1987. Case aquaculture. Fishing News Books Ltd., Farnham, Surrey, England. 352
- Chady P. 1987. Modele de simulation du systeme benthique des sediments rossières du olfe normal breton(Manche). Oceanol. Acta. 10(4): 421~ 434
- Carver C E A, Mallet A L. 1990. Assessing the carrying capacity of a coastal inlet in terms of mussel culture. Aquaculture, 88: 39 ~ 53
- Cooke R W T, Barry M D. 1975. Growth of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* at the East, South and West Coast of Ireland during 1973-1974. Bord Lascaigh Mhara Inish Sea Fisheries Board Eds. 12pp
- Dame R F. 1976. Energy flow in an intertidal oyster population. Estuarine and Coastal Marine Science, 4: 243~ 253
- Dame R F, Patten B C. 1981. Analysis of flows in an intertidal oyster reef. Mar Ecol Prog Ser, 5: 115~ 124
- Dame R F, Dankers N. 1988. Uptake and release of materials by a Wadden Sea mussel bed. J Exp Mar Eco. 118: 207~ 216
- Dame R F, Spurrier P V, Wolaver T G. 1989. Carbon, nitrogen and phosphorus processing by an oyster reef. Mar Ecol Prog Ser, 54: 249~ 256
- Department of Primary Industry and Fisheries. 1996. Predictive Modelling of Carrying Capacities of Oyster (*Crassostrea gigas*) Farming Areas in Tasmania. Tasmania, pp100
- Dillon P T, Rieler F H. 1974. A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentration in lake water. J Fish Res Bd Can, 31: 1771~ 1778
- Etcheber H, Heral H, Relexans J C. 1985. Protocoles d' extraction chimique de la matiere organique particulaire: Application au domaine estuarien. Oceanis, 11(5): 409~ 428
- Frechette M M. 1991. Carrying capacity and density dependence (Workshop Report). ICES Mar Sci Symp, 192: 78
- Frechette M, Butman C A, Geyer D. 1989. The importance of boundary layer flows in supplying phytoplankton to the benthic suspension feeder, *Mytilus edulis* L. Limnol Oceanogr, 34(1): 19~ 36
- Grant J, Thompson K R. 1988. A model of carrying capacity for suspended mussel culture in eastern Canada. J Shellfish Res, 7 (3): 568
- Grant J, Cranford P J. 1991. Carbon and nitrogen scope for growth as a function of diet in the sea scallop *Placochelys magellanicus*. J Mar Bio Ass U K, 71: 437~ 450
- Grant J. 1996. The relationship of bioenergetics and the environment to the field growth of cultured bivalves. J Exp Mar Eco, 200: 239~ 256
- Grenz C, Masse H, Morchid A K, et al. 1991. An estimate of the energy budget between cultivated biomass and the environment around a mussel park in the northwest Mediterranean Sea. ICES Mar Sci Symp, 192: 63~ 67
- Grizzle R E, Lutz R A. 1989. A statistical model relating horizontal seston fluxes and bottom sediment characteristics to growth of *Meretrix meretrix*. Marine Biology, 102: 95~ 105
- Hepher B, Pninin Y. 1981. Commercial fish farming. Wiley & Sons, New York. pp261
- Heral M. 1985. Evaluation of carrying capacity of the molluscan shellfish ecosystems. Shellfish culture development and management. Aquaculture: 4- 9 Mar. 1985 IFREMER ed. 297~ 318
- Heral M. 1991. Approches de la capacite trophique des ecosystemes conchylicoles: Synthese bibliographique. ICES Mar Sci Symp, 192: 48~ 62
- Heral M, Bacher C, Deslous Paoli J M. 1990. La capacite biotique des bassins ostréicoles. L' homme et les ressources halieutiques, Trodec J P eds. IFREMER Brest. 225~ 261
- Heral M, Deslous Paoli J M, Prou J, et al. 1986. Dynamique des productions et des biomasses des huîtres creuses cultivées (*Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas*) dans le bassin de Marennes-Oleron depuis un siècle. ICES CM F: 41
- Heral M, Deslous Paoli J M, Prou J. 1988. Approche de la capacite trophique d' un ecosysteme conchylicole. Note au CIEM. Shellfish Committee Reference Mariculture Committee K: 22, 11
- Heral M, Deslous Paoli J M, Prou J, et al. 1987. Relation entre la nourriture disponible et la production de mollusques en milieu estuarien: variable temporelle de la colonne d' eau. Haliotis, 16: 149~ 190

- Holliday J E, Ma uire G B, Nell J A. 1991. Optimum stockin d density for nursery culture of Sydney rock oysters(*Saccostrea com mercialis*). *Aquaculture*, 96: 7~ 16
- Ince L A, Lutz R A, True E. 1981. Modellin carryin capacities for bivalves molluscs in open, suspended culture system. *J World Maricul Soc*, 12(1): 143~ 155
- Jud e M L, Coen L D, Heck K L. 1992. The effect of lon-term alteration of in situ currents on the growth of *Merænar ia merænar ia* in the northern ulf of Mexico. *Limnol Oceano r*, 37(7): 1550~ 1559
- Kaspar H F, Gillespie P, Boyer I, et al. 1985. Effects of mussel aquaculture on the nitro en cycle and benthic communities in Kenepunu Sound, Marlborou h Sounds, New Zealand. *Mar Boil*, 85: 127~ 136
- Larsen D P, Mercier H T. 1976. Phosphorus retention capacity of lakes. *J Fish Res Board Can*. 33(8): 1742~ 1750
- Mallet A L, Carver C E. 1991. An assessment of strate ies for rowin mussels in suspended culture. *J Shellfish Res*, 10(2): 471 ~ 477
- Navarro E, I lesias I P, Camacho A P, et al. 1991. The physiolo ical ener etics of mussels(*Mytilus galloprovincialis Lmk*) from different cultivation rafts in Ria de Arosa(Galicia, N. W. Spain). *Aquaculture*, 94: 197~ 212
- Raidlard O, Menes uen A. 1994. An ecosystem box model for estimatin the carryin capacity of a macrotidal shellfish system. *Mar Ecol Pro Ser*, 115: 117~ 130
- Rodhouse P G, Rpden C M, Hensy M P, et al. 1984. Food resource, ameto enesis and growth of *Mytilus edulis* on the shore and in suspended culture: Killyry Harbour, Ireland. *J Mar Biol Ass U. K.* 64: 513~ 529
- Rosenber R, Loo L O. 1983. Ener y flow in a *Mytilus edulis* culture the western Sweden. *Aquaculture*, 53: 201~ 214
- Shumway S E. 1991. Scallops, Biolo y, ecolo y and aquaculture. ELSEVZER, Amsterdam Oxford New York Tokyo. 305~ 376
- Smaal A C, Verha an J H G, Coosen J, et al. 1986. Interaction between seston quantity and quality and benthic suspension feeders in the Oosterchelde, The Netherlands, *Ophelia*, 26: 385~ 399
- Soares A G, Schlacher T A, McLachlan A. 1997. Carbon and nitro en exchan e between sandy beach clams(*Donax serra*) and kelps beds in the Ben uela coastal upwellin re ion. *Marine Biolo y*, 127: 657~ 664
- Verha en J H G. 1985. A distribution and population model of *Mytilus edulis* in lake Grevelin en, Report R 1310-12. Water loop kudi laboratorium delft hydraulic laboratory, pp52
- Verha en J H G. 1986. Tidal motion, and the seston supply to the benthic macrofauna in the Oosterchelde. DHL report R1310-14
- Vollenweider R A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowin waters, with particular reference to nitro en and phosphorus as factors I eutrophication. ODED Report no. Das/ CST 168, 27, Paris
- Walker T. 1997. ' Carryin capacity' answers for shellfish rowin areas remain elusive. *Austrasia Aquaculture*, 11(2): 50~ 51
- Wie ert R G, Penas-Lado E. 1982. Optimal exploitation by mussel rafts of the Ria de Arosa, Spain: predictions of a first generation model in marine ecosystem modellin , Preceedin from a Workshop Held on 6- 8 April, 1982, NOAA. p159~ 171