

基于生态通道模型的北部湾渔业管理策略的评价

陈作志^{1 2 3}, 邱永松¹, 贾晓平^{1,*}

(1. 农业部渔业生态环境重点开放实验室, 广州 510300 2. 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 青岛 266071 ;
3. 上海水产大学 海洋学院, 上海 200090)

摘要 北部湾位于南海 17°00′ ~ 21°45′N , 105°40′ ~ 110°10′E , 为中越两国共同管辖的天然半封闭海湾。根据 1997 ~ 1999 年在北部湾进行的渔业资源和生态环境调查数据 , 利用 EwE 软件构建了北部湾生态系统的营养通道模型 (Ecopath)。在此基础上 , 以 30a 为周期 , 利用 Ecosim 中的 “渔业管理者”模拟了不同管理策略 (经济效益最大化、社会效益最大化、生态效益最大化以及综合考虑三者的最佳管理)对北部湾捕捞结构的影响。结果表明 :以经济利益最大化为管理策略时会提高所有渔具的捕捞努力量 , 除了拖网下降 43.2% 之外 , 以社会利益最大化为管理策略时模型要求极大地增加小型渔业 , 尤其是混合渔业的捕捞努力量将上升 3.34 倍 , 而以生态稳定性最大化为管理目标时 , 模型要求所有渔业的捕捞努力量都必须降低甚至停止。以经济和社会利益最大化为管理目标对不同的 vulnerability (V's) 值的反应敏感 , 高营养级种类减少而低营养级种增加 , 其中社会利益最大化时系统的营养级最低 (2.78) , 而生态稳定性和综合管理目标最大化则对不同的敏感度的反应较为一致。综合考虑经济、社会和生态效应的最佳管理策略能满足渔业和保育目标的平衡 , 有望成为最佳的管理策略。由此可见 , 多鱼种捕捞策略的模拟是个复杂的任务 , 目标功能有时互相冲突 , 而且易受到初始模型条件的影响。

关键词 生态营养通道模型 ; 开放循环模拟 ; 闭合循环模拟 ; 北部湾

文章编号 : 1000-0933 (2007) 06-2334-08 中图分类号 : Q148 , Q178 , S931 , S965.3 文献标识码 : A

An evaluation of the fisheries management strategies in Beibu Gulf : using Ecopath with Ecosim

CHEN Zuo-Zhi^{1 2 3} , QIU Yong-Song¹ , JIA Xiao-Ping^{1,*}

1 Key Laboratory of Fishery Ecology Environment , Ministry of Agriculture , Guangzhou 510300 , China
2 Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources of Ministry of Agriculture , Qingdao 266071 , China
3 College of Marine Science and Technology , Shanghai Fisheries University , Shanghai 200090 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (6) 2334 ~ 2341.

Abstract : The Beibu Gulf , located in 17°00′ ~ 21°45′N , 105°40′ ~ 110°10′E and surrounded by China and Vietnam , is a natural semi-closed sea in South China Sea. Historically , the Beibu Gulf supported various commercial , recreational , and artisanal fisheries. Many fisheries are now depleted or had experienced substantial declining. In this paper we developed a mass balance model using Ecopath with Ecosim for the Gulf of Beibu ecosystem in the Northern South China Sea. Input data were mainly from the information collected in trawl surveys during October 1998 to September 1999. Using the Ecosim

基金项目 : 中央级公益性科研院所专项资助项目 (Q007YD02) ; 国家农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室开放基金资助项目 (实开 2005-04) ; 国家农业部渔业生态环境重点开放实验室资助项目 (Q00603)

收稿日期 : 2006-05-25 ; 修订日期 : 2007-01-19

作者简介 : 陈作志 (1978 ~) , 男 , 湖北孝感人 , 博士生 , 主要从事海洋资源生态和渔业环境研究. E-mail : zzchen2000@163.com

* 通讯作者 : Corresponding author. E-mail : jiaxiaopin53@163.com

Foundation item : The project was financially supported by Special Project of Social Commonwealth Research of National Institute (No. 2007YD02) ; Supported by Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources of Ministry of Agriculture , China (No. 2005-04) ; The Project was Supported by Key Laboratory of Fishery Ecology Environment , Ministry of Agriculture of China (No. 200603)

Received date 2006-05-25 ; **Accepted date** 2007-01-19

Biography : CHEN Zuo-Zhi , Ph. D. candidate , mainly engaged in fishery resources and assessment. E-mail : zzchen2000@163.com

model , we evaluated how the ecosystem may respond to change in fisheries over next 30 years. We considered four fishery management scenarios , which maximized three independent objective functions (fishery profits , employment , and ecosystem) and the combination of the above three objectives (Big compromise) were simulated with different vulnerability settings. The results suggest that policy simulation aimed to maximize the economic will increasing all fishing effort of all fishing sector except demersal trawl should be reduced 43.2% , and social strategy were suggested increasing small-scale fishing effort to satisfy social benefits , especially for miscellaneous will increase 3.48 times on current level , maximize ecological suggested all fishing sector should be reduced drastically or stop. Furthermore , policy simulations aimed to maximize the economic and social goal tend to be sensitive to vulnerability settings , whereas maximize ecologic stability and the compromise scenarios were generally consistent. The maximization of social and economical goals results in the complexity of ecosystem being decreased , high trophic levels species being depleted , and low trophic level species being increased. The maximization of the social strategy has the lowest trophic level 2.78 of all the strategies considered in this study. A trade-offs analysis indicates that Big compromise' strategy would be optimal one which to balances fishery and resource conservation. These results indicate that developing multispecies harvesting strategies is a complex task and management goals focusing on different areas are likely to conflict each other. , and the initial model conditions can influence the results also.

Key Words : Ecopath with Ecosim ; fisheries management ; simulation ; Beibu Gulf (Tokin Gulf)

近年来有关渔业资源的利用与管理的研究表明 ,世界范围内的大部分渔业管理中盛行的管理方法是不彻底或不完善的 ,海洋渔业是引起生态系统结构和功能发生变化的主要原因。Pauly 等^[1]分析了近 45a 来全球 220 种主要渔获物平均营养级的变化 ,认为捕捞降低了海洋食物网。Jeremy 等^[2]从古生态学的角度阐明 ,在引起沿岸海洋生态系统退化的众多因素中 ,过度捕捞超越水质污染、富营养化、气候变迁等因素成为主要诱因。在迈向可持续利用的道路上 ,面对尝试不断失败的窘境 ,必须面对重新检验渔业上的科学问题、管理方法和具体操作等 ,而这三者都没有得到很好的研究^[3]。其中一个主要的问题在于实际管理中 ,出于多种原因的考虑 ,人们有时倾向于某一特定目标 (经济、就业或生态稳定性)而忽略其它 ,导致捕捞方式和作业结构的不合理 (如底拖网捕捞强度过大)和资源的衰退 ,这也是 20 世纪渔业的特点。

实践表明 ,传统的研究和渔业管理模式不能满足渔业可持续利用的需求 ,它必须上升到生态系统的水平上来 ,世界渔业管理也正经历着这种从单鱼种到多种资源管理到生态系统水平的转变。以生态系统为基础的渔业管理的核心是从所有海洋生态系统中可持续地获取最佳利益。为了实现这一目标 ,就必须尽可能地调和所有潜在冲突和矛盾 ,达到一套可以同时实现的目标 ,包括生态、经济、社会以及机构等 ,这就要求我们必须了解人类活动对生态系统的影响 ,包括人类活动可能引起生态系统结构扭曲^[4]。因此 ,评价不同捕捞策略对生态系统的影响 ,优化渔业管理策略的研究具有十分重要的意义。

生态通道模型根据营养动力学原理 ,用一组联立的线性方程描述系统中各功能成分生产和消耗的能量流动 ,能较为准确地评估稳定状态下水域生态系统的组份的生物量和食物消耗。在近 20a 应用和改进中 ,模型的可信度逐步得到提高进而发展成为新一代水域生态系统研究的核心工具 ,特别是对渔业生态系统管理研究更为有效^[5,6]。1998 年 ,联合国粮农组织渔业委员会在日本举行的 ‘以生态系统为基础的捕捞渔业管理战略 ’论坛并通过的 “实施京都会议行动计划 ” ,计划明确提出发展 ‘Ecopath with Ecosim ’模型作为未来渔业资源评估和管理的必要手段。因此 ,本文根据 1997 年 10 月 ~1999 年 5 月年的调查资料 ,构建 20 世纪 90 年代的生态系统营养通道模型 ,并在此基础上提出 ,在可持续利用渔业资源的目标下 ,特定的作业方式对生态系统的有何影响 ?如何权衡捕捞和物种的保育 ?拟为北部湾海洋渔业资源养护和管理措施的制订以及捕捞结构的调整提供科学依据 ,为生态系统水平上的渔业管理措施的实施效果进行有益的探索。

1 材料和方法

1.1 研究区域

北部湾位于南海西北部 (105°40′ ~ 110°10′ E、17°00′ ~ 21°45′ N),为天然半封闭浅水海湾,西面为越南北部,北面为我国广西,东北面为我国广东省,东面为海南岛(图1)。东西宽不超过200n mile,最大水深为106m,平均水深38m,水域面积为 $12.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。北部湾的沿岸水主要受广西和越南沿岸江河入海径流形成,以夏、秋季势力最强,冬、春季为弱。冬半年呈低温性质,主体部分水温低于22℃;夏半年呈高温性质,主体部分水温超过28℃。北部湾为属热带、亚热带季风气候,10月至次年3月盛行东北季风,4月至9月中旬盛行西南季风^[7]。这些季节特征的变化为不同的海洋生物创造了良好的栖息环境,使北部湾海域成为多种鱼、虾的良好繁育场。根据1997~1999年调查,常见的游泳生物约有329种,其中鱼类最多,达244种,占总渔获种类的74.2%,甲壳类64种,头足类21种^[8]。

1.2 北部湾生态通道模型

表1为本文所使用的20世纪90年代北部湾海洋生态系统的生态通道模型^[9]。该模型由16个功能组构成,功能组的定义与分类学略有不同,但基本覆盖了北部湾海洋生态系统能量流动的全过程。16个功能组分别为碎屑、底层生产者、浮游植物、浮游动物、水母、小型底栖动物、大型底栖动物、底栖甲壳类、小型软体动物、大型软体动物、小型甲壳类、大型甲壳类、虾类、头足类、小型底层鱼类、大型底层鱼类、小型中上层鱼类、大型中上层鱼类、海鸟和哺乳动物等,所有功能组能够基本覆盖生态系统中能量流动的基本过程。

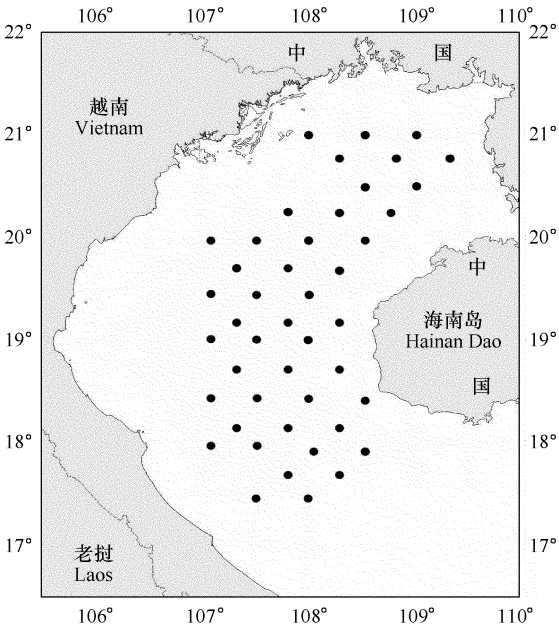


图1 北部湾海洋生态系统研究区域及采样示意图
Fig.1 Map showing the Beibu Gulf ecosystem area and sampling site

表1 北部湾 Ecopath 模型功能组估算参数,斜体为模型计算的参数
Table 1 Input and output (in italic) parameters of the Ecopath of Beibu Gulf

功能组 Group	渔获量 Catch (t·km ⁻²)	生物量 Biomass (t·km ⁻²)	<i>P/B</i> (a ⁻¹)	<i>Q/B</i> (a ⁻¹)	<i>EE</i>	<i>P/Q</i>	营养级 Trophic level
底栖生产者 Benthic producers	—	153.00	11.86	—	0.012	—	1.00
浮游植物 Phytolankton	—	13.00	231.00	—	0.470	—	1.00
浮游动物 Zooplankton	0.50	9.50	22.00	192.00	0.80	0.115	2.00
水母 Jellyfish	0.04	0.63	8.50	25.04	0.696	0.200	3.00
小型底栖动物 Small zoobenthos	0.03	7.70	6.14	32.50	0.848	0.189	2.32
大型底栖动物 Large zoobenthos	0.03	2.67	3.80	12.50	0.95	0.268	2.88
底栖甲壳类 Benthic crustacean	0.4	1.20	4.80	14.50	0.939	0.185	2.98
虾类 Penaeid prawns	0.2	1.80	4.90	18.50	0.838	0.265	2.93
头足类 Cephalopods	0.3	1.88	3.80	14.37	0.929	0.259	3.09
小型底层鱼类 Small demeral fish	2.1	2.82	4.00	14.50	0.911	0.276	2.76
大型底层鱼类 Large demeral fish	1.6	0.65	1.20	6.00	0.929	0.267	3.62
小型中上层鱼类 Small pelegic fish	2.5	0.85	3.90	15.80	0.882	0.247	2.88
大型中上层鱼类 Large pelegic fish	1.2	0.65	1.80	8.60	0.963	0.209	3.67
海鸟 Fish-eating birds	0.00011	0.29	0.09	62.00	0.041	0.001	3.81
海洋哺乳动物 Marine mammals	0.0001	0.00830	0.045	14.76	0.077	0.003	4.04
碎屑 Detritus	—	200.00	—	—	0.158		1.00

在 Ecopath 模型中 ,能量在系统中的流动可以用能量形式 (例如碳 $\text{g C}\cdot\text{m}^{-2}$ 或生物湿重 $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}$)来表示 ,时间一般限定为 1 年或 1 个月等。小型无脊椎动物的生物量很难估算 ,本文通过 EwE 软件计算得到 ,而大型无脊椎动物和鱼类的生物量主要来自调查数据。对于包含不同种类的功能组 ,由于很难确定其生产量/生物量 (P/B) 比值和消耗量/生物量 (Q/B) 值 ,本文参考纬度和生态系统特征与北部湾大体相同的香港水域模型^[10]、南中国海模型^[11]和台湾七股泻湖模型^[12]中类似的功能组 ,并结合渔业数据库网站^[13]来确定本模型中的 P/B 和 Q/B 参数。北部湾有机碎屑的数量用有机碎屑与初级生产碳的有关经验公式估算^[14] ,浮游植物的初级生产量采用香港水域模型中的 $13\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$,该比例关系在南中国海和越南沿岸水域中普遍采用。功能组的食物组成矩阵来自于采样鱼类的胃含物分析^[15]。

1.3 渔业管理策略评价方法

本文以 20 世纪 90 年代北部湾海域生态系统的 Ecopath 模型为基础 ,运用在 Ecopath with Ecosim (EwE) 软件基础上最新发展的叫做 ‘渔业政策模拟者’ 程序来评价不同管理目标对渔具作业结构的影响。Ecosim 模型的使用者可以选定经济值、社会就业或生态系统稳定性中的某个目标的利益最大化 ,设定的特定目标代表管理的策略。它包括两个模块 ,第一个程序是 “开放循环模拟” ,赋予多重管理目标 (经济、社会和生态) 不同的权重值 ,使用高度的非线性搜索程序 Davidson-Fletcher-Powell (DFP, 共轭坡降法) ,以观测它们在不同的管理目标是如何冲突或权衡的 ,搜索可满足这些目标的最佳的相对渔船规模^[5]。在本文中用来估算多重目标功能 (纯经济效益、社会就业和生态稳定性标准) 在长时间尺度 (30a) 后的表现 ,以寻求最优的捕捞策略。另一个是在控制系统中进行的 “闭合循环模拟” ,它在开放循环模拟结果的框架下 ,综合考虑种群评估动力学和控制过程不确定性 (包括评估过程的动力学、生物量估算的误差以及捕捞强度随时间的变化等) ,旨在评价开放模拟结果的效用性。

很显然 ,仅盲目的使用不同时间的开放循环政策是危险的 ,每年所计算的渔获量总是根据当时可得数据进行的。在操作中 ,实际上管理需要使用 ‘反馈政策’ 的执行 ,即捕捞目标根据当时新得到的信息来调整 ,在模型运行过程中 ,使用者必须多次返回到模型的闭合循环模块下 ,使用随机的捕捞强度 ,通过额外强加的迭代来检查结果的有效性。

北部湾的捕捞产量历来以底拖网为主 ,各种作业类型的产量比例大致为底拖网占 54.2%、刺网 23.7%、钓业 5.9%、围网 5.7% ,其它类型 10.5%^[6]。本文在 “开放循环模拟” 中 ,主要使用 DFP 非线性搜寻法^[17]研究了拖网、围网、刺网、钓具、混合渔业 (包括定置网、地拉网、敷网、陷阱、掩罩、蟹笼等) 等 5 种北部湾主要作业方式在不同的管理目标下 : (1) 经济最大化 ; (2) 社会 (就业) 最大化 ; (3) 生态系统稳定性、 (4) 综合考虑 3 个目标的最佳管理策略。在最佳策略下 ,每个管理策略赋予相同的权重值 (1—1—1) ,即一个包容性 ,充分考虑经济、社会和生态利益的接近总体目标最优化的政策 (表 2)。

表 2 4 种不同管理策略的权重值设置
Table 2 Value weight settings for the four management strategies

管理策略 Management strategies	各目标的权重指数 Value weight of component		
	经济 Economic	社会 Social	生态 Ecological
经济策略 Economical strategies	1.000	0.001	0.001
社会策略 Social strategies	0.001	1.000	0.001
生态策略 Ecological strategies	0.001	0.001	1.000
综合策略 Big compromise	1.000	1.000	1.000

不同的渔具对生态系统的影响是不同的 ,因此 ,本文在模拟中赋予目标组的不同权重值 ,旨在了解不同管理策略对特定渔具的影响。其中 ,对于经济目标 ,贴现率为 4% ;对于社会目标 ,不包括经济和生态目标数据的参数设定 ,主要根据渔船功率来设定^[18]。因此 ,由于小型渔业 ,即混合渔业主要分布在沿岸或岸边 ,平均渔船功率为 15kW/艘 ,在社会利益的权重最高为 10 ,而拖网作业的马力最大 ,因此权重值为 1 (表 3) ,在生态系

统稳定性目标下 ,功能组的权重采用互惠的 B/P 比来设定。其中 ,生长率低 ,生命周期长的种类对 (低 P/B 值)对开发利用的更敏感 ,如鲸类、鲨鱼和海鸟等。因此 ,使用互惠的 P/B 值作为重要性的设置可以客观地评价最优化政策在生态系统中生态重要性^[19] ,本文也使用了这种方法。

另外 ,渔获物营养级水平可通过每个管理策略建议的捕捞努力量来计算。

$$TLC = [1/C_t] \times \sum (C_i \times TLi)$$

式中 , $\sum C_i = C_t$, C_t 为总渔获量 ,而 C_i 是 i 种类的渔获量 , TLi 为 i 种类的营养级。

1.4 敏感度调试

敏感度分析是模型建立和完善的重要因素之一 ,通过敏感度分析可以对模型参数的初始值对状态变量的输出结果的影响有较为清楚的了解 ,进而找出对状态变量变化较为敏感的参数 ,为模型的校正及完善提供重要的信息。本文捕捞策略的敏感度测试通过在生物操纵值 V/S (0.2、0.4、0.6)下 ,反复运行 4 种管理策略来完成 ,其中 0.2 代表上行控制 ,0.4 代表混合控制 ,0.6 表示下行控制。

2 结果与讨论

2.1 最佳渔业管理政策模拟

以 30a 周期 ,本文利用 “开放环型模块 ”模拟了不同管理策略对不同渔业的影响 ,模拟结果以当前的捕捞强度为基准值来表示 ,不同渔业管理目标的模拟结果见图 2。

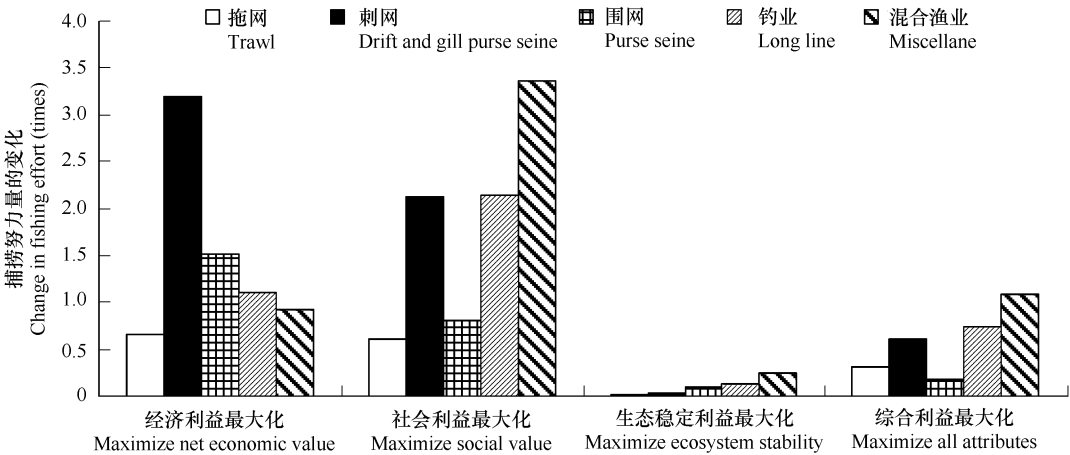


图2 Ecosim 模型中 5 种作业方式在不同渔业管理策略下的模拟结果

Fig.2 Suggested change of fishing effort for different fishing sector under the optimization strategies with Ecosim. Objective function values are reported as a percent of the status quo objective function values

经济利益最大化为管理目标会导致拖网捕捞强度需下降 43.2% ,而其它的作业方式有不同程度提高 ,尤其是刺网将提高 3.34 倍。应该指出的是 ,拖网一度曾是北部湾经济效益最好的作业方式 ,在改革开放初期的 20 世纪 80 年代 ,由于国民经济的快速发展 ,导致当时海洋捕捞业的效益处于较高水平 ,一直是沿海地区投资开发的重点。但随着资源的持续衰退 ,自 90 年代以来 ,海洋捕捞业的效益呈下降的趋势 ,目前南海沿海三省区在北部湾作业的约有过半渔船亏损。因此 ,在目前的捕捞强度下 ,即使再增大拖网的捕捞强度也不会带来利润的上升。

社会利益最大化的管理目标的模拟结果表明 ,增加钓具和混合渔具等作业方式可最大限度满足社会对就

业需求 ,尤其是功率较小的混合渔业将上升 3.48 倍。一般而言 ,30kW 可提供 3 ~ 4 就业岗位 ,而混合渔业的平均功率为 15kW/艘 ,许多沿岸作业的小型手工渔具甚至不需要机动渔船就可以进行 ,因此仍有较大的提升空间。

以生态稳定性最大化管理策略时模型则要求所有的作业方式应该大大减少 ,甚至要求拖网作业停止以恢复低周转率的种类 ,如鲨鱼、海龟等。然而 ,充分考虑经济、社会 and 生态的大综合策略的模拟结果相对却有较好的表现值 ,混合渔业甚至可以维持在当前的水平不变 (图 2)。当经济利益和社会利益同时最大化时 ,生态稳定性会降低。相对地 ,当生态系统稳定性最大化时 ,经济和社会目标值会下降。生态系统稳定性最大化会导致低周转率种群 (哺乳动物和鸟类)生物量大增。然而 ,当充分考虑三者的利益的最佳管理时 ,总体表现值会在 Ecopath 模型初始值上大大提高。事实上 ,生态系统稳定性值在生态系统最大化和其他目标最大化下并没有多大差别 ,但是经济和社会目标会在最后一个假设中得到实质性提高。产生这种差别主要是在生态系统稳定性最大化时 ,模型的优化程序会关闭所有的渔业 ,由此导致经济和社会目标值下降 ,而使低周转率的种类会最大程度上得到保育。相反 ,当全部目标值最大化时 ,经济和社会的利益会从围网、钓业、刺网渔业中得到补偿。

2.2 闭合循环模拟

在上述开放循环的框架下 ,使用闭环模块执行上述的最佳捕捞政策 ,考虑了种群评估和不确定性以及捕捞技术的进步带来的可捕率的提高等因素。在闭环模拟中 ,变动系数采用估算生物量的 50% ,允许可捕率以每年 5% 递增 ,在以 30a 为周期的模拟中使用综合管理目标 ,将模型重复运行 100 次。闭环模型的结果以相对于开放环型模拟值的百分比表示 (表 4)。

由表 4 可见 ,对生态系统稳定的模拟结果是一致的 ,而总体表现值略有不同。从综合考虑的表现值来看 ,我们会得到开放环型模拟全部值的 93%。换句话说 ,由于种群评估和不确定性和可捕率 and 变化 ,相比与完美信息得到的总体值 ,会丧失 7%。表 4 中的值可能略有偏高 ,一般来说可能有 25% 的丧失^[9]。小型鱼类和肉食性浮游动物占据了模型生物量的统治地位 ,并且长期没有得到利用。这两个单独的种群 ,即使它们的权重相对较小 ,仍然是生态系统稳定性的最好指标。同时 ,对在开放环型模拟中 ,经济目标值会上升的现象也不十分清楚。

表 4 闭合模拟的执行结果 ,考虑了种群评估的不确定性以及可捕率的变化

Table 4 Results of implementing close-loop simulation given uncertainly in estimating stock size and change in catchability				
项目 Items	经济利益最大化 (%) Maximize economic value	社会利益最大化 (%) Maximize social value	生态稳定性最大化 (%) Maximize ecosystem stability	综合考虑 (%) Maximize all attribute
纯经济利益 Net economic value	111	132	104	104
社会利益 Social value	74	76	78	75
生态稳定性 Ecosystem stability	100	100	100	100
总体表现值 Overall value	110	77	100	93

2.3 捕捞政策的敏感性分析

本文进行了简单的敏感度分析 ,以测试在不同的敏感系数下 ,捕捞政策不确定性的敏感度。分析时采用的是综合考虑各种目标产生的最佳捕捞政策 ,在敏感系数为 0.2、0.4、和 0.6 重新运行程序。记住 ,当敏感系数变化时 ,模型并没有对渔船重新进行优化 ,因为此时的目的在于了解敏感度的不确定条件下 ,捕捞政策的坚韧性。

图 3 表示不同敏感度下基于开放环型模拟的相对值 ,当敏感度值上升时 ,所有目标功能值都会上升。敏感度增加的总体反应会导致生产力的下降以及过度捕捞弹性的下降 ,生态系统的变化也极为剧烈 ,因此 ,从捕捞策略来讲 ,最好是避免采用高的敏感度值。采用低敏感度值会让系统更多地产生上行控制 ,有利于高营养级种类的保育。因此 ,在生态系统的“收割”中 ,必须小心对待低—中营养级的种类。

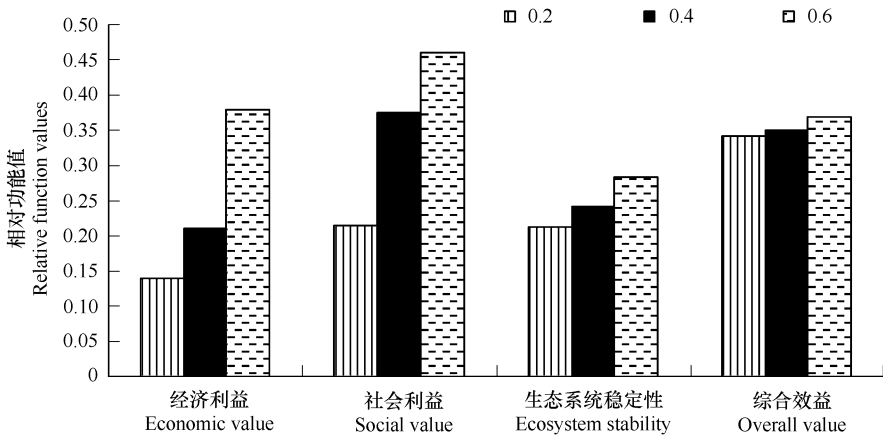


图3 Ecosim 模型中不同敏感度系数下目标功能值敏感性分析 ,目标表现值为开放循环模拟的相对值

Fig. 3 Sensitive of objective function values to the vulnerability parameters in Ecosim. The objective function values have been scaled for comparison with open-loop simulations

3 结语

渔业资源管理是一种多目标管理决策 ,可以选择经济利益最大化、社会利益 (就业)最大化、生态稳定最大化以及综合考虑经济、就业和生态各种目标的最佳管理。在世界范围内 ,海洋渔业正在向管理型转变 ,而生态系统管理是渔业管理的发展方向。首次尝试性使用了生态通道模型评价了不同渔业管理策略对北部湾的作业结构的影响 ,模拟的结果来自 Ecosim 中开放环型和闭环模块的表现值。

管理策略的模拟结果表明 ,以经济利益和社会最大化为目标的管理会产生大致相同的后果 ,不可避免地降低北部湾海洋食物网营养级和简化生态系统结构 ,其中 ,以经济利益最大化为管理目标将导致除拖网渔业将下降 43.2% 之外 ,所有渔业的捕捞努力量上升 ;以社会利益最大化的管理目标则应提高混合渔业的捕捞努力量 ,尤其是沿岸的小型手工渔业仍有较大的提升空间 ,以满足社会对就业岗位的需求 ,但同时会使系统的营养级降低 ;以生态利益最大化则要求大大降低所有渔业的捕捞努力量 ,这将有助于低 P/B 值种类 (即大型肉食性种类和哺乳动物)的恢复 ,达到生物资源利用和保育目标的平衡。可见 ,对于任一管理目标 ,都必须大大降低拖网的捕捞强度。生态效应稳定最大化的管理目标会导致经济和社会效益的下降 ,而以最大就业为管理目标 (即渔业方式使用更多的劳动力)则会对典型的沿岸小型混合渔业有利 ,但同时也会出现发展中国家的 Malthusian 过度捕捞的综合病症^[20 21] ,这与近年来北部湾资源动态监测的结果是一致的。

通过构建了生态系统通道模型 ,并在此基础上评价了不同渔业管理策略对生态系统的影响 ,并着重研究了不同的管理策略对捕捞结果的影响 ,它有可能会对渔业管理和政策的制订提供某些有益的启示 ,而非现实的管理政策。在今后的研究中需要有关物种生物学特性、渔船作业成本、生态系统的特征参数等更详尽而确实的信息 ,以便进行更有效和现实的管理策略模拟。

References :

[1] Pauly D , Christensen V , J Dalsgaard , *et al.* Fishing down marine food webs. *Science* ,1998 279 860 — 863.

[2] Jeremy B , Michael X , Wolfgang H , *et al.* Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystem. *Science* 2001 293 629 — 638.

[3] Anon. Fisheries Management . The Ecosystem Approach to Fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries 4 , Suppl. 2. FAO , Rome ,2003.

[4] Turrell W R. The Policy basis of the Ecosystem approach to Fisheries Management. EuroGOOS Publication No. 21. EuroGOOS ,Sweden. 28.

[5] Pauly D , Weingartner G. eds. Use of Ecopath with Ecosim to Evaluate Strategies for Sustainable Exploitation of Multi-species Resources. UBC Fish. Centre Res. Rep. ,1998 6 (2) #9.

[6] Pauly D , Christensen V , Walters C. Ecopath , Ecosim , and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. *J. Mar. Sci.* ,2000 ,

57 697—706.

[7] Fishery Administration and South China Sea Fishery Headquarters ,Ministry of Agriculture. Animal Husbandry and Fishery. Survey and division for the fishery resource in South China Sea. Guangdong :Guangzhou Scientific & Technological Press ,1989. 25—27.

[8] Jia X P , Li C H , and Qiu Y S. Fishery environment and resources of Beibu Gulf. Beijing :Science Press ,2003. 170—173.

[9] Chen Z Z ,Qiu Y S ,Jia X P. Mass-balance Ecopath model of Beibu Gulf ecosystem. Chin. J. Appl. Ecol. 2006 ,17 (6) :1107—1111.

[10] Pitcher T J ,Buchary E ,Asumaila U R ,et al. Spatial simulations of Hong Kong's marine ecosystem :Ecological and economic forecasting of marine protected areas with human-made reefs. Fish Cent Res Rep ,2000 ,10 (3) :1—168.

[11] Pitcher T J ,Watson R ,Haggan N ,et al. Marine reserves and the restoration of fisheries and marine ecosystems in the South China Sea. Bull Mar Sci 2000 66 (3) 543—566.

[12] Hsieh H L ,Kao W Y ,Chen C P ,et al. Detrital flows through the feeding pathway of the oyster (*Crassostrea gigas*) in a tropical shallow lagoon : $\delta^{13}C$ signals. Mar Biol 2000 ,136 677—684.

[13] Froese R ,Pauly D. FishBase. World Wide Web electronic publication. <http://www.fishbase.org>.

[14] Pauly D ,Soriano-Bartz ML. Improved construction , parametrization and interpretation of steady-state ecosystem models. In :Christensen V ,Pauly D ,eds. Trophic Models of Aquatic Ecosystems. ICLAM Conf. Proc. 26 ,1993.

[15] Zhang Y P. Foods web for main fishes in Beibu Gulf of the South China Sea. J Fish Sci China ,2005 ,12 (5) 621—631.

[16] Yuan W W. Dynamics and succession of demersal resources in Beibu Gulf. Journal of Fishery Science of China ,1995 ,2 (2) 57—65

[17] Fletcher R. Practical methods of optimization. New York :Willy-Interscience ,1987. 436.

[18] Pitcher T J ,Watson R ,Haggan N ,Gu  nette S ,Kennish R ,et al. Marine reserves and the restoration of fisheries and marine ecosystems in the South China Sea. Bulletin of Marine Science ,2000 ,66 (3) 543—566.

[19] Pauly D ,Walters C J ,Christensen V. Ecopath ,Ecosim ,Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. ICES J. Mar. Sci 2000 , 57 697—706.

[20] Christensen V. On the behavior of some proposed goal functions for ecosystem development. Ecol. Modelling ,1994 ,75/76 37—49.

[21] Marcelo V ,Johanna H and Alida B. The use of Ecosim to investigate multispecies harvesting strategies for the capture fisheries of the Newfoundland-Labrador shelf. Using Ecosim for Fisheries Management ,2000 68—72.

参考文献：

[7] 农牧渔业部南海区渔业指挥部 ,南海区渔业资源调查和区划. 广州 :广东科学技术出版社 ,1989. 122.

[8] 贾晓平 ,李纯厚 ,邱永松 ,等. 北部湾渔业生态环境与渔业资源. 北京 :科学出版社 ,2003. 125~128.

[9] 陈作志 ,邱永松 ,贾晓平. 北部湾海洋生态通道模型的构建. 应用生态学报 2006 ,17 (6) :1107~1111.

[15] 张月平. 南海北部湾食物网的研究. 中国水产科学 2005 ,12 (5) 621~631.

[16] 袁蔚文. 北部湾底层渔业资源的数量变动和种类更替. 中国水产科学 ,1995 2 (2) 57~65.