

文章编号: 1674 - 5566(2014)04 - 0608 - 10

渔业资源生物经济模型研究及应用进展

陈新军^{1,2,3,4}, 刘金立^{1,3,5}, 官文江^{1,2,3,4}, 李 纲^{1,2,3,4}, 李曰嵩^{1,3,4}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 大洋渔业可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306; 5. 上海海洋大学 图书馆, 上海 201306)

摘 要: 渔业资源生物经济模型(Bio-economic model)是渔业资源经济学研究的重要内容,也是研究渔业资源优化配置的重要手段,本文对渔业资源生物经济模型的发展历史进行比较分析,探讨模型在渔业资源开发利用和管理上的应用,旨在为渔业资源可持续开发和科学管理、开发策略评估等提供参考。分析认为,渔业资源生物经济模型已由简单的生物模型,发展成为目前集生态效益、经济效益、社会效益以及环境和气候变化等因素的复杂的动态模型,而国内在这一领域的研究则明显滞后,仍处于理论探索阶段,应用研究也较少。随着数学建模能力和计算机模拟技术的发展,科学家们能够结合各种因子的不确定性,模拟不同渔业管理措施及其可控因子的变化等对渔业资源优化配置的影响,为渔业管理者优化管理策略提供依据,这将是今后的发展重点和趋势。建立一套完整科学的渔业资源监测与评估系统,以及生物、社会、经济等方面的数据采集系统,是开展渔业资源生物经济模型研究的基础。

研究亮点: 渔业资源开发是一个综合系统,涉及生物、经济、社会行为等方面。渔业资源生物经济模型是实现渔业资源优化配置的重要手段。本文通过对国内外渔业资源生物经济模型的发展及其在渔业资源开发和管理上的应用进行分析,提出了今后的发展趋势以及需要重点关注的几个问题。

关键词: 生物经济模型; 渔业资源优化配置; 渔业管理; 渔业资源经济学

中图分类号: S 937; F 316.4

文献标志码: A

渔业资源生物经济学(Fisheries Bio-economics)是研究渔业资源生物学、生态学以及渔业生产者的经济行为相结合而形成的一门新兴的交叉学科,考虑了渔业资源的时间和空间分布及其相关的不确定性因素^[1]。渔业资源生物经济模型(Bio-economic model)是基于渔业资源种群动力学模型,结合生态、经济、社会等方面因素,来研究渔业资源数量与人类经济活动之间的变化关系,它是渔业资源经济学研究的重要内容,也是研究渔业资源优化配置的一个重要手段^[2]。20世纪50年代GORDON首次将经济效益与成本的概念引入到渔业资源管理中来,将渔业资源开发过程中的经济因素与生物的自然生态过程结合起来,并考虑到渔业资源管理的相关

假设条件,创立了开放式渔业的生物经济学理论^[3],这也是渔业资源生物经济研究史上的第一个生物经济模型。随着其他相关学科和技术的发展,国际上研究生物经济模型的理论和方法日趋增多,如GARCIA等^[4]、ANDERSON^[5]、CLARK^[6]、CUNNINGHAM等^[7]和HANNESSON^[8]等从经济、社会等不同角度,结合渔业资源自身的生物学特性,建立了不同渔业资源生物经济模型;同时,联合国粮农组织(FAO)也先后编制了一系列的生物经济模型分析软件^[9],这些理论和方法为渔业资源评估及管理提供了理论依据。目前,国内在这方面的研究相对而言较为欠缺,主要集中在理论方面的探索。因此,本文根据多年来国内外的研究现状,对渔业资源生物经济模型进行比较分

收稿日期: 2014-02-06 修回日期: 2014-04-09

基金项目: 国家自然科学基金(NSFC41276156); 国家高技术研究发展计划(2012AA092303); 国家发改委产业化专项(2159999); 上海市科技创新行动计划(12231203900)

作者简介: 陈新军(1967—), 教授, 博士生导师, 研究方向为渔业资源学。E-mail: xjchen@shou.edu.cn

析,探讨模型在渔业资源开发利用和管理上的应用,旨在为渔业资源可持续开发和科学管理、开发策略评估等提供参考。

1 国外对生物经济模型研究及应用

1.1 单一船队-单一种群的生物经济模型

1.1.1 Gordon-Schaefer 模型

20 世纪 50 年代 GORDON 在 Schaefer 剩余产量模型的基础上,引入了成本和经济效益等经济学参数,提出了经济学过度捕捞 (economic overfishing) 的概念以及基于最大经济产量 (maximum economic yield, MEY) 的管理目标,建立了 Gordon-Schaefer 生物经济模型,并首次提出渔业资源生物经济模型的基本理论^[3]。该模型是基于渔获量和捕捞努力量的单一种群的简单生物经济模型,使渔业管理者意识到了经济因素和人类社会活动对渔业资源的巨大影响。但该模型没有考虑因鱼类的年龄、体长等不同而产生的渔获物选择性问题的,忽略了鱼类本身生物学过程、种群空间与时间分布及其变动、种类之间关系的相互影响,以及环境对资源量波动的影响^[2]。MCMANUS^[10]利用该模型研究了东南亚珊瑚礁渔业问题,认为拖网渔业是导致热带地区珊瑚礁渔业出现大规模损害的主要原因,建议至少要削减 60% 的捕捞努力量,才能确保珊瑚礁渔业资源恢复到最优化利用水平; SHAH 和 SHARMA^[11]利用 Gordon-Schaefer 模型和 Pella-Tomlinson 模型,模拟了圣劳伦斯湾须鲸 (*Suborder mysticeti*)、海豹 (*Pagophilus groenlandicus*) 以及鳕鱼 (*Gadus morhua*) 间的最优收获率策略,研究了三种生物资源量间的相互关系; YAGI 等^[12]基于 Gordon-Schaefer 模型,利用 1970 - 2006 年摩洛哥海域的章鱼 (*Octopus vulgaris*) 渔获量及价格数据研究其资源量的变动状况,认为摩洛哥海域章鱼资源在 1987 年前尚处于开发不足阶段,1988 - 1998 年处于中等开发阶段,1999 - 2001 年达到了过度开发阶段,到 2002 年以后其资源量急剧减少,同时表明章鱼价格是辨别其资源量是否处于健康水平的有效工具。

1.1.2 船队动态模型:分布延迟的 Smith 模型

在渔业资源开发的实际过程中,捕捞努力量的投入不是一个简单过程,而是直接与船队的利润相关联。在开放式渔业中,渔业生产者会根据

生产效益的好坏来安排作业渔船的数量及其水平和进入渔业的时间^[2],渔业投资会有一个延迟的过程。因此,20 世纪 70 年代 SMITH^[13]假定渔业投资中长期的捕捞努力量水平与其利润成正比,并引入作业船队进入或退出渔业的动态参数,建立了相应的函数。当船队利润大于零时,渔船将进入渔业;反之,则退出渔业^[14]。但是,种群资源量和预期渔获量变动并不能及时随捕捞努力量的变化而迅速反应,即渔民将面临在船队进入或退出渔业之间存在一个延迟过程,因此,SEIJO 通过一个延迟过程对 Smith 模型进行改进^[15],利用 Erlang 概率密度函数中的 DEL 参数来表示一旦船队净收入发生变化并产生影响时,渔船进入或退出渔业的平均延迟时间。之后,SEIJO 等^[16]利用该模型模拟了在有船队动态参数和没船队动态参数 2 种情况下渔业资源的整个开发和利用过程,探索捕捞努力量与资源量、渔获量、成本和利润之间的关系。该研究初步解决了渔业资源开发过程中捕捞努力量的动态变化问题,为生物经济模型的后续研究打下了基础。

1.1.3 产量-死亡率模型 (yield-mortality models): 预防性生物经济模型

产量-死亡率生物经济模型包含了两个主要的产出渔业系统:产量和瞬时总死亡系数。该模型根据最大生物生产 (maximum biological production, MBP) 的概念,来提供最大可持续产量 (maximum sustainable yield, MSY) 的衡量标准,如在获得最大生物生产的渔获量 (Y_{MBP}) 时,其对应的死亡率 (Z_{MBP} 和 F_{MBP}) 也达到最大^[17]。DEFEO 和 SEIJO^[18]在产量-死亡率模型基础上建立了预防性生物经济模型,对渔业资源进行管理。研究表明^[17-18],以最大生物生产 (BMP) 及其对应的捕捞死亡率 (F_{MBP}) 作为管理目标比利用 MSY 及其对应的死亡率 (F_{MSY}) 更加安全; BURGOS 和 DEFEO^[19]根据 1980 - 2000 年墨西哥湾虹鳉 (*Epinephelus morio*) 渔业统计数据、单位作业成本及其渔获价格数据,利用预防性生物经济模型研究虹鳉渔业资源利用及其渔业管理,并对管理目标进行了风险分析。研究认为,在 3 种自然死亡率方案下,虹鳉鱼的最大经济产量 (MEY) 及其对应的死亡率水平 Z_{MEY} 和 F_{MEY} 是最保守的生物经济学参考点 (bio-economic reference points),且

BMP、MEY 及其对应的死亡率远小于 MSY 及其对应死亡率,因此,虹鳟渔业管理需以 BMP、MEY 及其对应的死亡率作为预防性管理参考点。

1.1.4 年龄结构动态生物经济模型(age-structured dynamic bio-economic models)

年龄结构模型考虑了随时间而影响资源量的因素,如生长、补充和死亡等,并假设鱼类种群在时间和空间上分布相同,主要以 Beverton & Holt 模型为基础,来分析鱼类种群的年龄结构。Beverton & Holt 模型及其相应的变量均假定补充群体是独立的,它不受捕捞强度变化的影响。此外,假设鱼类是“动态集群”的,即将一个资源群体被视为具有完整的年龄组成和相同的分布,在种群的分布区域内,其捕捞概率相同,且在整个海域内其生长和死亡率参数不变,并在整个生活史中视为常数^[20]。SEIJO 等^[16]以年龄结构模型为基础,构建了动态的生物经济模型,对种群资源量、产量、捕捞努力量和经济租金等进行动态分析,并解释初次捕获年龄对其资源量、产量、经济租金以及捕捞努力量所产生的影响。在年龄结构动态模型中,初次捕获的渔获物个体大小或初次捕获年龄具有选择性,这一可控变量将成为渔业资源管理的重要手段,该变量在其他模型,如 Gordon-Schaefer 模型中是无法处理的。BJØRNDAL 等^[21]利用线性离散时间的年龄结构种群模型,结合经济学参数等构建动态生物经济模型,模拟挪威、冰岛和欧盟等国家共同开发的鲱鱼(*Clupea harengus*)渔业春季产卵种群在不同管理策略下的种群资源量水平及其潜在的净利润等。研究认为,在公开入渔的体制下将导致各国对鲱鱼资源的过度开发,其资源量处在资源崩溃与缓慢恢复的循环之中,最终导致资源租金的迅速降低,并趋向于生物经济平衡点。因此,急需制定国际间管理策略,在不损害渔业开发企业的经济利益情况下,使鲱鱼资源量恢复到健康水平。QUAAS 等^[22]利用年龄结构生物经济模型研究东波罗的海鳕鱼(*Gadus morhua*)渔业的最优管理策略以及分析在最优管理策略下的渔业效益;TAHVONEN 等^[23]结合渔业生态、渔获量和作业成本等经济参数,利用该模型分析了不同的渔获利率下波罗的海鲱鱼(*Sprattus sprattus balticus*)渔业资源量、渔获量水平,并对最优管理策略进行了敏感性分析。

1.1.5 基于贴现率的动态生物经济模型

尽管经典的生物经济模型为渔业资源的优化配置提供了一些重要的手段与方法,但是,它们仅考虑了两种特殊情况,即贴现率为无穷大的开放式渔业和贴现率为 0 的受控渔业,忽略了贴现率(资源开发过程中的跨时间偏好)对估算渔业最优渔获量和最优捕捞努力量的影响^[2]。根据社会对渔业资源开发的跨时间偏好不同,资源的最优开发率可能会高于 MEY 或低于 MSY^[16]。

20 世纪 70 年代末,GRANT 和 GRIFFIN^[24]应用动态生物经济模型,以加尔维斯顿湾及其近海褐对虾(*Penaeus aztecus*)渔业为研究对象,研究其资源量与捕捞努力量之间的变化,以及褐对虾的市场供求关系、月租金等对其资源量的影响。BLOMO 等^[25]也对加尔维斯顿湾及毗邻海域的捕虾渔业进行了生物经济学研究,并构建了非线性的最优化程序,分析了不同管理措施下资源租金、总收入以及捕捞成本等的变化,并针对该海域的捕虾业提出了相应的渔业管理措施。至 80 年代,CLARK^[26]以 Gordon-Schaefer 模型为基础,结合贴现率因子建立了动态的生物经济模型,分析贴现率对南极长须鲸(*Balaenoptera acutorostrata*)渔业 MEY 的影响。研究认为,贴现率对南极长须鲸资源的开发策略影响显著;同时还得出内禀增长率小的种群对贴现率敏感、内禀增长率大的种群对贴现率不敏感的结论。对于上述结论,HANASSEON^[27]认为:提高贴现率会促使渔业资源开发率的增加,渔业投资者将加大开发力度,渔获量增加。因此,渔业资源的优化配置不仅与经济参数和跨时间偏好相关,还与种群生物学特性密切相关。BJØRNDAL 等^[28]基于 CLARK^[6]的分析模型,结合渔业净收益和相关经济和技术参数(如价格、贴现率、成本和可捕量等)以及种群动态模型构建新的生物经济模型,来分析英国北海鳕鱼(*Gadus Morhua*)、黑线鳕(*Melanogrammus aeglefinus*)和狭鳕(*Merlangius merlangus*)三种渔业的资源量随生长与捕捞死亡率变动的波动情况,探讨了渔业利润达到了最大化的利润现值(present value, PV)时,其资源量、渔获量及捕捞努力量可维持在稳定的健康水平。EIKESSET 等^[29]也利用基于贴现率的生物经济模型对挪威—俄罗斯渔业管理委员会针对世界上最大的鳕鱼种群东北大西洋鳕鱼渔业的捕捞控

制规则(harvest control rules, HCRs)进行评价,研究认为,在贴现率为 2% 和 4% 时,可获得最优的捕捞控制规则(HCRs),且贴现率对 HCRs 中最大捕捞死亡率(F_{max})和最大生物量(B_{max})等影响显著。

1.2 基于生态和捕捞技术的生物经济模型

用单一鱼种的生物经济配置模型来研究渔业资源数量的动态变化及模拟最优的渔业管理策略时,需要假定忽略种间关系的相互影响,这种情况只有当渔业资源系统中的一个种群处于轻度开发时,这种忽略才比较合理^[2]。目前,世界范围内的渔业资源大多被广泛开发利用,由于捕捞强度的加大,目标种和非目标种的资源量以及被开发群体中的种类组成都产生了急剧变化^[1, 16]。同时,在渔业资源开发过程中,由于不同的捕捞努力量和不同渔具直接或间接捕捞等原因,都会影响到多种类的资源量。近 20 年来,渔业科学家们开始利用整体分析方法管理渔业^[30-31],除了考虑种群内世代之间的影响,还考虑生物生态的相互影响和技术上的相互影响。因此,在研究渔业资源的优化配置及其管理时,需要构建基于生物生态间相互影响和技术上相互影响的多种群-多船队的生物经济模型(图 1)。

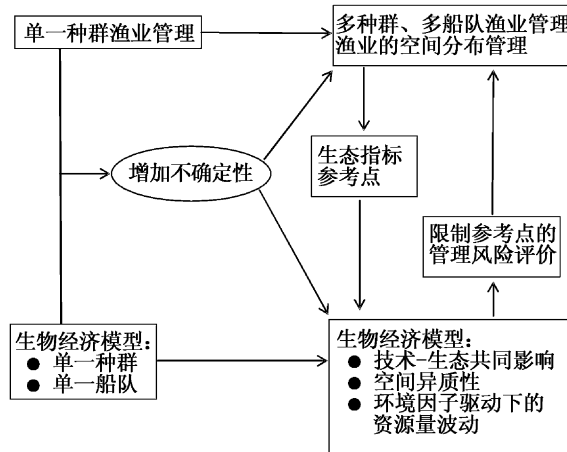


图 1 基于渔业生态系统方法的生物经济模型框架图

Fig.1 A parsimonious bio-economic approach toward ecosystem approaches to fisheries (EAF)

1.2.1 技术上相互影响的生物经济模型

技术上的相互影响是指具有不同捕捞能力(甚至是具有不同努力量成本)的船队或渔具同时捕捞同一种类的不同组成部分或不同的目标种类时,并以不同形式影响到它们的资源丰度。

针对技术上相互影响的渔业资源优化配置的研究主要包括(1)不同船队捕捞同一种类;(2)同一船队同时捕捞生态上独立的两个种类;(3)两个或多个船队捕捞生态上独立的两个或多个种类。

20 世纪 90 年代末,SEIJO 等^[16]根据具有不同作业能力或具有不同成本的作业渔船同时捕捞同一鱼类种群时,会产生渔业资源开发利用过程中的技术上相互影响的特性,首次构建了多船队的资源动态生物经济模型,模拟了不同船队(手工船队和工业化船队)捕捞同一种类时其资源量、捕捞努力量、渔获产量及其资源租金随时间的动态变化过程;也模拟了多船队同时捕捞多种类时技术间相互影响的情况下,目标鱼种和兼捕鱼种的资源量、各船队的捕捞努力量、产量及租金等随时间的动态变化等。进入 21 世纪后,RUTTAN 等^[32]利用美国缅因湾和乔治浅滩海域的大型船队和小型船队的渔业数据、经济学参数,并结合产量与补充量模型构建了多船队多种群生物经济学模型,研究了在获得最优渔业利润时两个船队捕捞努力量间的关系及其最适捕捞努力量;ULRICH 等^[33]根据不同捕捞行为中技术间相互影响,考虑船队间的相互竞争,结合英吉利海峡中多国(英国和法国)、多种渔具作业方式及多目标种群等因子构建了完整的生物经济模型,模拟了多种管理策略下各船队间捕捞努力量的动态变化及其英吉利海峡手工渔业资源量的动态变化等;KOMPAS 和 CHE^[34]也根据不同金枪鱼作业船队(延绳钓、围网及杆钓渔业)间的影响构建了生物经济模型,模拟了中西太平洋金枪鱼渔业不同船队间的最适捕捞努力量及其相应的渔业利润,探讨该海域金枪鱼渔业的最优捕捞控制规则(HCRs);之后,DOYEN 等^[35]、IVES 等^[36]以及 GUILLEN 等^[37]也应用技术间相互影响的生物经济模型进行了相关研究。

1.2.2 技术-生态共同影响的生物经济模型

在许多渔业中,考虑到多个船队在竞争性捕捞同一或不同鱼类种群时的技术间相互影响是非常重要的,同样也需要考虑不同鱼类种群间生物学上的竞争关系、捕食与被捕食关系、共生关系、共栖关系及偏害作用等因素导致的生物生态间相互影响^[38]。当两个船队捕捞两个相互影响的种类时,则出现技术-生态共同影响渔业资源的开发利用过程,这种情况下,在某一渔业中所投

人的捕捞努力量将对另一渔业产生间接的影响^[2],这样渔业的最适捕捞策略将取决于在竞争关系下种类之间的影响程度以及在捕食与被捕食关系下捕食者的饵料组成等。因此,为了能够解决基于生态系统的渔业管理方法的具体管理问题时,渔业科学家需要充分考虑和分析生态和技术因素的复杂性来构建生物经济模型,以便正确理解渔业资源的动态变化以及多种类和多船队作业的渔业环境下渔业资源开发者的动态变化。20世纪80年代中期,CHARLES和REED^[39]结合船队间的竞争性、共存特性构建生物经济模型,研究加拿大沿岸船队和近海船队开发单一鱼类种群的连续性渔业中的最优捕捞配置策略;FLAATEN^[40]以北极东北部鳕鱼(*Gadus morhua*)与重要的被捕食种类毛鳞鱼(*Mallotus villosus*)、鲱鱼(*Clupea harengus*)、北极虾(*Pandalus borealis*)及小型鳕鱼为例,构建了基于捕食与被捕食关系的生物经济模型,研究认为,最适捕捞努力量水平和资源量水平等渔业管理策略与在单一种群或多种群框架下选择的目标种类不同而不同,捕食与被捕食生物量模型中,捕食者种群的平衡渔获量、资源租金与被捕食者种群的资源量水平成正比,但被捕食者种群的平衡渔获量、资源租金与捕食者种群的资源量水平的关系比较模糊,通常可能是一种负的相关性;ARMSTRONG^[41]结合渔业的空间分布,如生态系统和栖息地环境等因素构建生物经济模型,从渔业贴现率、捕捞努力量投入、渔业管理成本以及管理的不确定性等方面对渔业保护区内渔业资源进行生态与经济学分析。

1.3 基于社会-生物-经济等的生物经济模型

渔业资源开发是一个系统工程,不仅涉及资源数量本身,还包括经济效益、社会效益以及生态影响等,是一个基于生物、生态、社会和经济的综合系统。21世纪以来,在渔业资源生物经济模型的研究过程中考虑的因子越来越多,如社会就业、渔业环境变化等。例如PEZZEY等^[42]结合海洋保护区(marine protected areas, MPAs)内资源管理措施构建生物经济模型对渔业资源的平衡渔获量及其最大利润下的渔业资源管理策略进行了研究,该模型也适用于海洋底层鱼类^[43]。SMITH等^[44]在生物经济模型中引入了贝叶斯统计方法,建立了基于贝叶斯理论的生物经济动态

模型,分析了墨西哥湾渔业资源状况,并利用蒙特卡罗(markov chain monte carlo, MCMC)算法^[45]分析了建立海洋保护区对鱼类生长及其可捕量的影响,为制定渔业管理策略提供参考。DOMÍGUEZ-TORREIRO和SURÍS-REGUEIRO^[46]将经济学中的博弈论(game theory)理论与生物经济模型相结合,对西班牙和葡萄牙船队共同开发的跨界大西洋沙丁鱼(*Sardina pilchardus*)渔业进行生物经济学分析,研究认为,只有在允许提供单方支付(side payment)的前提下,两国的渔业生产者才可能合作来共同开发利用沙丁鱼资源,这样能促使两国达成渔业合作协议以提高经济效益,为制定跨界渔业共享问题的管理策略提供了参考。KULMALA等^[47]结合波罗的海芬兰鲱鱼(*Clupea harengus membras* L.)渔业的个体可转让配额(individual transferable quotas, ITQs)中涉及到的生物、经济和社会等因素,建立了社会-生物经济综合模型,研究了芬兰鲱鱼渔业的最优渔业管理策略。DAS等^[48]以Lotka-Volterra捕食与被捕食模型为基础,结合海洋环境因子,建立了新的生物经济综合模型,研究认为,在捕食与被捕食关系渔业中,应利用Pontryagin极大值原理来讨论其最优收获策略。

2 国内对生物经济模型的研究及应用现状

我国在渔业资源生物经济学方面的研究,与挪威、美国等渔业发达的国家相比还存在一定的差距^[2]。20世纪80年代初,我国学者开始引进国外与生物经济研究相关的理论,如周勤学和邱兆福翻译了加拿大学者CLARK的专著《数学生物经济学:更新资源的最优管理》,它是我国有关可更新资源开发与渔业资源最优管理理论研究的开端;之后,叶昌臣和黄斌根据国内外的研究成果,从生物、经济、社会等不同角度介绍了渔业资源的开发、评估及其管理与评价,并汇编成《渔业生物数学:资源的评估与管理》;张相国也翻译了挪威学者HANNESSON的生物经济学专著《渔业生物经济分析》。

有了相关理论基础后,国内学者开始利用生物经济模型,对我国近海渔业资源进行生物经济学分析。首先,利用静态生物经济学模型对我国近海渔业资源进行资源优化配置方面的研究,如

叶昌臣和朱德山^[49]利用 Gordon-Schaefer 以及 Fox 生物经济模型,研究了黄渤海蓝点鲷 (*Scomberomorus Nipponius* Cuvier & Valennes) 渔业在不同管理目标下的最大经济效益、最适能源消耗和最适经济产量,并讨论了相应的渔业管理措施;邓景耀等^[50]结合经济学参数,利用 Ricker 模型研究了渤海秋汛对虾 (*Penaeus orientalis kish*) 渔业中有关的社会经济问题;赵晓宏和李大海^[51]、陈静娜^[52]利用 Gordon-Schaefer 静态生物经济模型,探讨了各种渔业补贴对于我国近海渔业资源利用水平的影响;黄良敏等^[53]应用基于 Schaefer 和 Fox 剩余产量模型的生物经济模型以及 Gulland 最适产量模型,分别估算了厦门同安湾及西海域的最大持续产量 (MSY)、最适产量 (optimal yield) 和最大经济产量 (MEY) 及其对应的捕捞努力量,并对各模型计算出的诸项经济指标进行比较分析,建立了 3 种模式的渔业管理方式;张广文等^[54]利用 Gordon-Schaefer 模型,探讨了东黄海鲈鱼 (*Scomber japonicus*) 在不同管理目标下的产量及其对应捕捞努力量,以及短期、中期和长期的经济效益和资源状况。

随后,国内学者在静态生物经济模型的基础上,引入了动态参数,如贴现率、生态因素及捕捞技术等相互影响的因子,构建了动态的生物经济模型。如叶昌臣和王文波^[55]利用动态的生物经济模型,把渔业资源作为资本的一个特殊问题,引入时间贴现的方法,以黄渤海蓝点鲷渔业为例,分析比较了其短期效益和长期效益,并确定相应的管理策略;王文波和修临海^[56]利用基于经济因素和贴现率的生物经济模型,研究了作业成本、渔获价格和贴现率对中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 及其渔业管理的影响。进入 21 世纪后,国内对生物经济学的理论研究及其应用都有了很大的发展,但主要集中在鲈鲷鱼渔业方面的生物经济学分析。如我国台湾学者陈俊佑^[57]根据开放性渔业动态系统模型,考虑鲈鲷鱼的种间关系,建立了多国间不同渔法捕捞多鱼种的动态生物经济模型,探讨种间关系对东海鲈鲷鱼渔业管理决策的影响,其研究结果为我国近海鲈鱼的科学管理提供了参考;张广文等^[58-59]对生物经济模型研究现状进行了综述,并利用多船队动态模型对我国东海鲈鱼 (*Scomber japonicus*) 进行了生物经济学分析,并模拟了不同管理策略下的渔

业管理参考点;王雅丽等^[60]结合贴现率等经济因素构建生物经济模型,研究贴现率对我国近海鲈鱼资源优化配置的影响;之后又以生物经济模型为基础,以最大可持续产量 (MSY) 处所获得的资源租金作为参考,估算了 2008 年东黄海鲈鱼渔业资源租金状况^[61];王从军等^[62]设计出多种基于不同权重的生物、经济和社会目标的捕捞方案,建立东、黄海鲈鱼生物经济社会综合模型,比较其在方案下的短期、中期、长期的经济效益和社会效益以及渔业资源状况。刘召芳和常宗瑜^[63]对渔业生物经济动态模型的稳定性进行分析,在模型中考虑了渔业资源的生长和捕捞努力量随时间、资源量、价格等因素的变化,通过非线性模型在平衡点附近的扰动方程,对其局部稳定性进行了分析,这对研究生物经济模型变化规律和管理政策制定具有一定的指导意义;台湾学者吕树海^[64]以开放式渔场以及净现值极大化渔场 (present value maximization) 的均衡值,对北太平洋柔鱼 (*Ommastrephes bartramii*) 进行生物经济学分析,模拟其资源量及捕捞努力量的动态变化,为科学制定西北太平洋柔鱼渔业管理策略提供参考依据。

3 渔业资源生物经济模型发展趋势

在过去几十年的渔业管理中,人们对影响渔业资源种群动态变化因子的信息的了解通常是不完整的,生物生态学因素在种群动力学和生物经济分析中发挥了重要作用,但这些因素往往是未知的或它们之间的相关性并不清楚^[1]。随着人们对渔业资源特性及其影响因子了解的深入、数学建模能力以及计算机技术的迅速发展,渔业资源生物经济模型也有了进一步发展与完善,由单一种群单一船队模型发展为多种群多船队模型,再到结合生态因素和技术因素等,且建模过程中考虑了各种影响渔业资源优化配置的因素。进入新世纪后,最优控制论、贝叶斯理论 (Bayesian criterion)、博弈论和决策论 (decision theory) 等已被广泛应用到生物经济模型中^[58]。

渔业资源开发是一个非常复杂的系统工程,不仅涉及到渔业资源本身,而且还包括了经济效益、社会效益、市场供给、管理规则和海洋环境等方面,因此构建一个综合的渔业资源生物经济模型,需要综合考虑包括渔业资源本身、渔业资源

管理者和渔业资源开发者,以及渔业资源开发和管理过程中不确定因素等(图2)。渔业资源本身包括:(1)鱼类种群在整个生命周期内的生物学参数变化,如繁殖、补充、生长和死亡等;(2)影响渔业资源量变动和种群时空动态分布的环境因素;(3)种类之间的竞争、共生(symbiotic type of ecology)、共存(coexistence)、寄生(parasitism)以及捕食与被捕食等生态关系。渔业资源管理者包括渔业管理部门制定的各种管理措施、执行标准以及管理策略评价等。渔业资源开发者包括捕捞努力量、船队类型与渔民数量、渔具选择性、作业成本、渔获物价格及加工利用等。渔业资源开发和管理过程中不确定因素来源于:(1)渔业资源丰度动态变化;(2)模型结构;(3)模型参数;(4)资源开发者的渔业行为;(5)未来的海洋环境状况;以及(6)未来的经济、政治和社会条件等^[65-66]。为了能更好地分析这些不确定性,有学者建议利用贝叶斯和非贝叶斯决策理论、极限和目标参考点的理论来管理渔业^[67]。近年来,越来越多的证据表明,气候变化对渔业资源变动的影响也增加了渔业资源管理中不确定性的复杂程度。

4 结束语

渔业资源开发及其优化配置是一个开放的系统工程,不仅涉及到渔业资源本身,还与社会、经济、政治等因素息息相关。因此,渔业资源的优化配置模型由单一目标转变为多目标优化配置、由简单的 Schaefer 和 Fox 产量模型等生物模型逐步演变为复杂的动态的生物经济模型,在生物经济模型的构建过程中,考虑的动态参数也逐渐增加,如多鱼种、多船队、环境变动、气候变化以及社会就业、市场供给等因素,这些动态参数的相互作用及其不确定性,使渔业资源生物经济模型的研究内容变得十分复杂,也将成为其研究的难点与重点^[68]。随着计算机模拟技术的发展,同时,人们对渔业资源特性的深入了解和掌握,尽管渔业资源生物经济模型变得越来越复杂,但是,科学家们仍能够结合各种因子的不确定性,通过计算机模拟技术模拟不同渔业管理措施及其可控因子的变化等对渔业资源优化配置的影响,从而为渔业管理者提供决策依据。

目前,我国在渔业资源生物经济模型的研究,与发达国家相比明显滞后,仍然是处于理论探索阶段,在应用方面的研究较少,主要集中在鲈鲶鱼类渔业资源的管理与评价上,研究的广度和深度仍不够。因此,一方面要加强对从事渔业资源生物经济学的人才培养,培养一批具备数学建模能力和计算机模拟技术的综合型人才来从事这方面的研究;另一方面要加强对我国渔业资源与生态环境的实时监测以及社会、经济等相关参数资料的收集整理,如(1)生物学参数:性别组成、按年龄或大小的个体数量、繁殖力、生长率、死亡率、补充量等,(2)捕捞努力量参数:渔船类型、作业参数(有效作业天数、航次评价作业天数等)、渔具及饵料类型等,(3)经济参数:作业成本、渔船折旧、渔获价格、水产品市场等,(4)其他参数:社会就业、生计渔业、加工利用、出口额等数据的采集。在研究渔业资源优化配置时,应该综合考虑与生物效益、社会效益、经济效益等各方面的因素,来建立综合的渔业资源生物经济模型,并模拟不同开发和管理策略对渔业资源系统的影响,这将是今后渔业资源评估与渔业管理的重点发展方向。

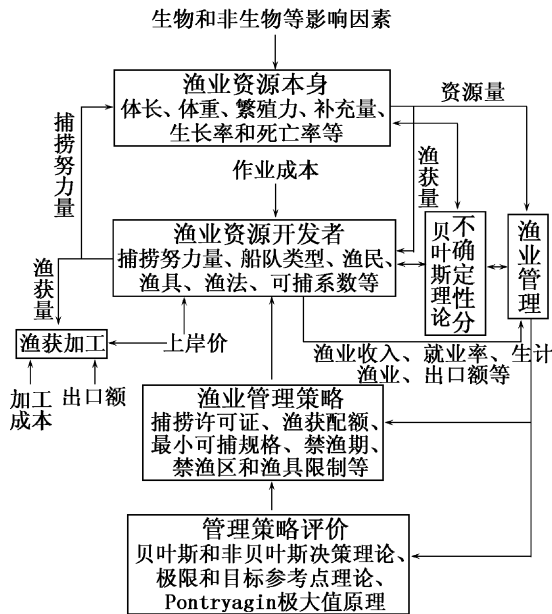


图2 渔业资源生物经济综合模型的建立示意图
Fig.2 Sketch map of the establishment of comprehensive fisheries resources bio-economic model

参考文献:

- [1] ANDERSON L G, SEIJO J C. Bioeconomics of Fisheries Management [M]. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, Ames Iowa, 2010: 189-229.
- [2] 陈新军. 渔业资源经济学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 62-105.
- [3] GORDON H S. An economic approach to the optimum utilization of fishery resources [J]. Fisheries Research, 1953, 10(7): 442-447.
- [4] GARCIA S, GULLAND J A, MILES E. The new law of the sea, and the access to surplus fish resources: Bioeconomic reality and scientific collaboration[J]. Marine Policy, 1986, 10(3): 192-200.
- [5] ANDERSON J L. Private aquaculture and commercial fisheries: bioeconomics of salmon ranching [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 1985, 12(4): 353-370.
- [6] CLARK C. Mathematical Bio-economics [M]. 2nd ed. Optimal Management of Renewable Resources, John-Wiley & Sons, New York, 1990.
- [7] CUNNINGHAM S, BERTIGNAC M, ZOUIRI M. The Moroccan cephalopod fishery: bioeconomics and management [R]. Fisheries resource utilization and policy World fisheries congress, Centre for Marine Resource Economics, University of Portsmouth 1992.
- [8] HANNESSON R. The effect of the discount rate on the optimal exploitation of renewable resources [J]. Marine Research Economics, 1986, 4(3): 319-329.
- [9] de CASTRO L A B, PETRERE J M, COMUNE A E. Sensitivity of the BEAM4 fisheries bio-economic model to the main biological input parameters[J]. Ecological Modelling, 2001, 141(1): 53-56.
- [10] MCMANUS J W. Tropical marine fisheries and the future of coral reefs: A brief review with emphasis on southeast Asia [J]. Coral Reefs, 1997, 16(1): 121-127.
- [11] SHAH M A, SHARMA U. Optimal harvesting policies for a generalized Gordon-Schaefer model in randomly varying environment[J]. Applied Stochastic Models in Business and Industry, 2003, 19(1): 43-49.
- [12] YAGI N, ARIJI M, TAKAHARA A, et al. Application of a bioeconomics model to examine sustainability of fishery resources in the global market: the case of octopus resource in Morocco[J]. Fisheries Science, 2009, 75(1): 43-46.
- [13] SMITH V L. On models of commercial fishing [J]. The Journal of Political Economy, 1969, 77(2): 181-198.
- [14] SEIJO J C, DEFEO O. Dynamics of resource and fishermen behaviour in coastal invertebrate fisheries [C]//Proceedings of the Sixth Conference of the International Institute of Fisheries Economics and Trade. Paris, 1994, 1: 209-222.
- [15] 张帆, 李东. 环境与自然资源经济学[M]. 上海: 上海人民出版社, 2007: 120-173.
- [16] SEIJO J C, DEFEO O, SALAS S. Fisheries Bioeconomics: Theory, Modelling and Management [M]. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 1998.
- [17] CADDY J, DEFEO O. Fitting the exponential and logistic surplus yield models with mortality data: some explorations and new perspectives [J]. Fisheries Research, 1996, 25(1): 39-62.
- [18] DEFEO O, SEIJO J C. Yield-mortality models: a precautionary bioeconomic approach [J]. Fisheries Research, 1999, 40(1): 7-16.
- [19] BURGOS R, DEFEO O. Long-term population structure, mortality and modeling of a tropical multi-fleet fishery: the red grouper *Epinephelus morio* of the Campeche Bank, Gulf of Mexico [J]. Fisheries Research, 2004, 66(2): 325-335.
- [20] SEIJO J C, CADDY J F, EUÁN J. SPATIAL: space-time dynamics in marine fisheries, a bioeconomic software package for sedentary species [M]. FAO, 1994.
- [21] BJØRNDAL T, GORDON D V, KAITALA V, et al. International management strategies for a straddling fish stock: a bio-economic simulation model of the Norwegian spring-spawning herring fishery [J]. Environmental and Resource Economics, 2004, 29(4): 435-457.
- [22] QUAAS M F, REQUATE T, RUCKES K, et al. Incentives for optimal management of age-structured fish populations [J]. Resource and Energy Economics, 2013, 35(2): 113-134.
- [23] TAHVONEN O, QUAAS M F, SCHMIDT J O, et al. Optimal Harvesting of an Age-Structured Schooling Fishery [J]. Environmental and Resource Economics, 2013, 54(1): 21-39.
- [24] GRANT W E, GRIFFIN W L. A bioeconomic model of the Gulf of Mexico shrimp fishery [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1979, 108(1): 1-13.
- [25] BLOMO V, STOKES K, GRIFFIN W, et al. Bioeconomic modeling of the Gulf shrimp fishery: An application to Galveston Bay and adjacent offshore areas [J]. Southern Journal of Agricultural Economics, 1978, 10(1): 119-125.
- [26] CLARK C W. Bioeconomic modelling and fisheries management [M]. John Wiley & Sons, Inc. 1985: 1-36.
- [27] HANNESSON R. The effect of the discount rate on the optimal exploitation of renewable resources [M]. Norwegian School of Economics and Business Administration, Institute of Fisheries Economics, 1987.
- [28] BJØRNDAL T, GORDON D V, BEZABIH M. Measuring potential profits in a bioeconomic model of the mixed demersal fishery in the North Sea [J]. Journal of Bioeconomics, 2012, 14(2): 147-166.
- [29] EIKESET A M, RICHTER A P, DANKEL D J, et al. A bio-economic analysis of harvest control rules for the Northeast Arctic cod fishery [J]. Marine Policy, 2013, 39: 172-181.

- [30] SEIJO J C, DEFEO O, ALAVA A D. A multiple criterion optimization approach for the management of a multispecies fishery with ecological and technological interdependencies [C]//ANTONA M, CATANZANO J, SUTINEN J. Proceedings of the Sixth Conference of the International Institute of Fisheries Economics and Trade. Paris, Francia. Tomo, 1994,1: 161-167.
- [31] BERGH V D, HOEKSTRA J, IMESON R, et al. Bioeconomic Modeling and Valuation of Exploited Marine Ecosystems [M]. Springer, the Netherlands, 2007: 203.
- [32] RUTTAN L M, GAYANILO Jr F C, SUMAILA U R, et al. Small versus large-scale fisheries: a multi-species multi-fleet model for evaluating their interactions and potential benefits [C]// PAULY D, PITCHER T J. Methods for Evaluating the Impacts of Fisheries on North Atlantic Ecosystems. Fisheries Centre Research Reports, 2001: 64-78.
- [33] ULRICH C, LE GALLIC B, DUNN M R, et al. A multi-species multi-fleet bioeconomic simulation model for the English Channel artisanal fisheries[J]. Fisheries Research, 2002, 58(3): 379-401.
- [34] KOMPAS T, CHE T N. Economic profit and optimal effort in the Western and Central Pacific tuna fisheries[J]. Pacific Economic Bulletin, 2006, 21(3): 46-62.
- [35] DOYEN L, THEBAUD O, BÉNÉ C, et al. A stochastic viability approach to ecosystem-based fisheries management [J]. Ecological Economics, 2012, 75: 32-42.
- [36] IVES M C, SCANDOL J P, GREENVILLE J. A bioeconomic management strategy evaluation for a multi-species, multi-fleet fishery facing a world of uncertainty [J]. Ecological Modelling, 2013, 256: 69-84.
- [37] GUILLEN J, MACHER C, MERZEREAUD M, et al. Estimating MSY and MEY in multi-species and multi-fleet fisheries, consequences and limits: an application to the Bay of Biscay mixed fishery[J]. Marine Policy, 2013, 40: 64-74.
- [38] JORGENSEN S E. Fundamentals of Ecological Modelling [M]. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1994: 628.
- [39] CHARLES A T, REED W J. A bioeconomic analysis of sequential fisheries: competition, coexistence, and optimal harvest allocation between inshore and offshore fleets[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1985, 42(5): 952-962.
- [40] FLAATEN O. On the bioeconomics of predator and prey fishing[J]. Fisheries Research, 1998, 37(1): 179-191.
- [41] ARMSTRONG C W. A note on the ecological-economic modelling of marine reserves in fisheries [J]. Ecological Economics, 2007, 62(2): 242-250.
- [42] PEZZEY J C V, ROBERTS C M, URDAL B T. A simple bioeconomic model of a marine reserve [J]. Ecological Economics, 2000, 33(1): 77-91.
- [43] LAUCK T, CLARK C W, MANGEL M, et al. Implementing the precautionary principle in fisheries management through marine reserves[J]. Ecological applications, 1998, 8(s1): S72-S78.
- [44] SMITH M D, ZHANG J, COLEMAN F C. Bayesian Bioeconomics of Marine Reserves [C]//2005 Annual meeting, Providence, RI. American Agricultural Economics Association 2005: 1-22.
- [45] CHERNOZHUKOV V, HONG H. An MCMC approach to classical estimation[J]. Journal of Econometrics, 2003, 115(2): 293-346.
- [46] DOMÍGUEZ-TORREIRO M, SURÍS-REGUEIRO J C. Cooperation and non-cooperation in the Ibero-atlantic sardine shared stock fishery[J]. Fisheries Research, 2007, 83(1): 1-10.
- [47] KULMALA S, PELTOMÄKI H, LINDROOS M, et al. Individual transferable quotas in the Baltic Sea herring fishery: a socio-bioeconomic analysis [J]. Fisheries Research, 2007, 84(3): 368-377.
- [48] DAS T, MUKHERJEE R N, CHAUDHURI K S. Harvesting of a prey-predator fishery in the presence of toxicity [J]. Applied Mathematical Modelling, 2009, 33(5): 2282-2292.
- [49] 叶昌臣, 朱德山. 蓝点鲷鱼的最佳经济效果[J]. 水产学报, 1984, 8(2): 171-177.
- [50] 邓景耀, 叶昌臣, 刘永昌. 渤海海的对虾及其资源管理 [M]. 北京:海洋出版社, 1990.
- [51] 赵晓宏, 李大海. 渔业补贴对渔业资源可持续利用的影响[J]. 中国渔业经济, 2005(2): 28-29.
- [52] 陈静娜. 渔业补贴对渔业资源可持续性的影响 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [53] 黄良敏, 林田禹, 邹成灿. 厦门同安湾、西海域渔业管理目标的比较[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2008, 38(4): 573-578.
- [54] 张广文, 陈新军, 李纲. 东黄海鲈鱼生物经济模型及管理策略探讨[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(4): 447-452.
- [55] 叶昌臣, 王文波. 渔业管理中确定贴现率的一种近似方法[J]. 水产科学, 1990, 9(1): 23-27.
- [56] 王文波, 修临海. 经济因素和贴现率对中国对虾渔业的影响[J]. 水产科学, 1995, 14(3): 3-9.
- [57] 陈俊佑. 东海鲭资源利用模式之实证研究-种间关系的生物经济分析[D]. 台北: 台湾大学, 2002.
- [58] 张广文, 陈新军, 李纲. 渔业资源生物经济模型研究现状 [J]. 海洋湖沼通报, 2010(3): 10-16.
- [59] 张广文, 陈新军, 李思亮, 等. 基于多船队作业的东、黄海鲈鱼生物经济模型及管理策略[J]. 资源科学, 2010, 32(8): 1627-1633
- [60] 王雅丽, 陈新军, 李纲. 基于贴现率的东黄海鲈鱼动态生物经济模型分析[J]. 资源科学, 2011, 33(11): 2157-2161.
- [61] 王雅丽, 陈新军, 李纲. 东黄海鲈鱼渔业资源租金初探 [J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(6): 1046-1052.
- [62] 王从军, 陈新军, 李纲. 东、黄海鲈鱼生物经济社会综合模型的优化配置研究[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22

- (4): 623 – 628.
- [63] 刘召芳, 常宗瑜. 简单渔业生物经济动力学模型的稳定性分析[J]. 渔业经济研究, 2006(3): 2 – 5.
- [64] 吕树海. 西北太平洋赤鱿之生物经济分析[D]. 台北: 国立中山大学, 2010.
- [65] HILBORN R, PETERMAN R M. The development of scientific advice with incomplete information in the context of the precautionary approach[R]. FAO Fisheries Technical Paper. Technical Consultation on the Precautionary Approach to Capture Fisheries (Including Species Introductions), Lysekil (Sweden), 1995: 77 – 101.
- [66] BERKSON J M, KLINE L L, ORTH D J. Incorporating Uncertainty into Fishery Models [R]. American Fisheries Society, Maryland, 2002: 208.
- [67] COCHRANE K L, DE YOUNG C, SOTO D, et al. Climate change implications for fisheries and aquaculture[R]. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 530, 2009.
- [68] ARNASON R. Fisheries management and operations research [J]. European Journal of Operational Research, 2009, 193 (3): 741 – 751.

Progress of theory and application of bio-economic model in fishery resources

CHEN Xin-jun^{1,2,3,4}, LIU Jin-li^{1,3,5}, GUAN Wen-jiang^{1,2,3,4}, LI Gang^{1,2,3,4}, LI Yue-song^{1,3,4}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China; 5. Library of Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The bio-economic model is the important study contents in economics of fishery resources, and it plays an important role in resource optimum allocation for fisheries. In this paper, the theory and development of bio-economic model for fisheries resources were reviewed and its developing tendency was discussed based on the collected references, in order to provide reference for the sustainable exploitation of fishery resources and scientific management, development strategy evaluation etc. The result shows that the bio-economic model of fisheries resources has been developed from the simple biology model to the sophisticated dynamic model including biological factors, ecological factors, economic factors, social factors, environmental factors, climate change and others at present. But the current research in China falls behind the overseas obviously, and it is still in the theory exploratory stage, only few applications in fisheries resources. With the development of mathematical modeling and computer simulation technology, scientists could simulate different fisheries management strategies and the changes in controllable factors, and impact optimization allocation of fishery resources by using bio-economic models. This could provide a scientific basis to make a decision for fisheries management, which will be one of the hot topics for bio-economics of fisheries resources in the future. However, it is necessary for the above studies to establish monitoring and assessment system of fishery resources, as well as the data collecting system in biological, economic, social and other aspects.

Key words: bio-economic model; optimization allocation of fisheries resources; fisheries management; economics of fisheries resources