

海洋渔业资源可持续利用的捕捞策略和动力预测

梁仁君^{1 2}, 林振山¹, 任晓辉^{1 3}

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210097)

(2. 临沂师范学院地理与旅游学院, 山东 临沂 276005)

(3. 内蒙古赤峰学院环境与资源管理系, 内蒙古 赤峰 024000)

[摘要] 海洋渔业资源是自然资源的重要组成部分, 是发展海洋经济的重要物质基础. 近年来, 由于陆地资源匮乏、空间紧张、环境恶化等问题的出现, 人类开发海洋的深度和广度不断拓展, 使得海洋资源和环境也受到了严峻的挑战. 本文运用非线性理论建立了海洋渔业资源二次非线性捕捞的动力模式, 研究了渔业资源生物量(资源量) 增长与增长率和捕捞强度的关系. 研究表明: 海洋渔业资源生物量与其增长率成正相关关系, 与捕捞强度成负相关关系. 在相同的资源生物量下, 渔业资源的捕捞强度越大, 所要求的资源生物量增长率就要越大. 为了保证海洋渔业资源的可持续利用, 必须把捕捞强度控制在一定的水平上, 采用合理的捕捞策略, 我们才可以得到持续的最大产量, 才能避免海洋渔业资源的过度利用、枯竭. 因此要正确处理好经济发展与渔业资源保护之间的关系.

[关键词] 渔业资源, 非线性动力模式, 捕捞策略, 最大可持续产量

[中图分类号] F316.4 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4616(2006)03-0108-05

Fishing Strategy and Study of Dynamic Prediction of Sustainable Utilize in Marine Fishery Resources

Liang Renjun^{1 2}, Lin Zhenshan¹, Ren Xiaohui^{1 3}

(1. School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

(2. College of Geography and Tourist, Linyi Normal University, Linyi 276005, China)

(3. Department of Resource and Environment Management, Chifeng College of Inner Mongolia, Chifeng 024000, China)

Abstract Marine fishery resources constitute an important part of natural resources and it was the foundation of marine economy development. In recent years, due to the short in land and space, deterioration of environment, the depth and extent of exploring marine resources continuous grow, so the resources of marine is faced with challenges. A nonlinear dynamic model is built to study the relationship between the biologic amount of marine fishery resources and the increasing rate and fishing intensity. The result shows that the biologic amount of marine fishery resources increase positively with increasing rate and negatively with fishing intensity. For the same amount of marine fishery resources, the more the prizing intensity, the more the increasing rate requested. To insure the sustainable development and harvest, we must control the fishing intensity at a certain level, and adopt logical strategy of fishing by doing this we can get the maximum sustaining yield, the marine fishery resources can not be utilized unduly and dry up. So we must predict the relationship of economic development and protection of marine fishery resources mathematically.

Key words marine fishery resources, nonlinear dynamic model, fishing strategy, the maximum sustainable fishing yield

收稿日期: 2005-10-20.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40371108, 40371044).

作者简介: 梁仁君, 1963—, 博士研究生, 主要从事生态—资源—环境的学习与研究. E-mail: liangrenjun@163.com

通讯联系人: 林振山, 1955—, 教授, 博士生导师, 主要从事生态—环境—地理科学领域的教学与研究. E-mail: linzhenshan@njnu.edu.cn

0 引言

随着人口的增加和经济的快速发展,全球资源和环境的压力越来越大,严重影响着人类社会的可持续发展^[1].因此,开发利用海洋资源,发展海洋经济并将海洋经济作为新的经济增长点已成为当今世界许多沿海国家的发展战略问题^[2].特别是在我国,随着经济的高速发展,陆地资源日益匮乏,人们将眼光投注到蓝色的海洋上^[3].然而就在海洋经济的发展处于蒸蒸日上之际,由于捕捞过度、富营养化、外来种入侵等人类活动带来的问题,不断的影响着海洋和滨海生物多样性的格局,影响着海洋的渔业资源^[4],出现了渔业资源衰退、海域污染情况日趋严重、赤潮频频、近海生态环境恶化等问题^[5].因此,渔业资源的可持续利用成为当前学术界关注的重要研究课题^[6,7].但现有研究多偏重于定性分析和线性收获策略的研究,涉及非线性收获策略研究的相对较少^[8].

非线性科学作为一门崭新的科学,它已经应用到地学^[9,10]、环境科学、大气科学和管理科学.它的最大特点是能够量化研究事物之间的关系和机理.只有深刻了解管理对象(要素)之间的内在动力学关系和演化机制,才能实施科学而有效的管理,从而达到最大限度地合理利用可再生资源的目^[8].

由于资源的分布不合理,收获的方式也不同,实际的收获策略往往是非线性的,非线性的表现形式是多种多样的,参考相关文献[8,11]本文尝试运用非线性理论来研究海洋渔业资源的最大持续产量与渔业资源生物量呈非线性二次关系的捕捞策略.此方法是以渔业资源为例进行的尝试性研究,也可推广到其它可再生资源的研究中去,具有普适性,因此该研究具有一定的理论和实际意义.

1 模型的建立

假设在没有捕捞的情况下,渔业资源的数量遵守 Logistic 的虫口模式^[11]:

$$\frac{dx}{dt} = r\left(1 - \frac{x}{x_m}\right)x = f(x, r), x(0) = x_0 \tag{1}$$

其中 x 是渔业资源生物量, r 是渔业资源不受环境和资源限制的固有增长率, x_m 是自然资源和环境条件所能容纳的最大渔业资源生物量, t 是时间. r, x_m 是根据统计资料或经验确定的常数,而 $\left(1 - \frac{x}{x_m}\right)$ 为可供下一代鱼苗生存的剩余环境容量,体现了环境和资源对渔业资源生物量增长的阻滞作用.

该模式是在自然条件下海洋渔业资源生物量的增长模式.必须考虑人类捕捞活动对渔业资源可持续收获情况下的增长模式.有关可再生资源线性收获(捕捞)的动力模式已经有不少报道^[11-13],但非线性研究的不多.

设捕捞努力量为 Q ,表示特定的捕捞策略,即要求捕捞者每天只能捕捞一定的数量,该数量决定了出海的渔船数和吨位数,捕捞系数为 j ,表示单位强度下的捕捞率.则单位时间的捕捞率为 $v = jQ$.假设单位时间捕捞量 $h(x)$ 与渔业资源生物量 $x(t)$ 成正比且是非线性二次关系^[8],则

$$h(x) = vx^2(t) = jQx^2(t) = Qx^2(t) \tag{2}$$

为方便起见(2)式取 $j = 1$.

由(1)(2)式,我们可以建立在捕捞情况下海洋渔业资源所满足的动力方程,即改进的 Scheafer 模型:

$$\frac{dx}{dt} = r\left(1 - \frac{x}{x_m}\right)x - Qx^2 = f(x, r), x(0) = x_0 \tag{3}$$

2 平衡态稳定性分析

由于非线性动力系统的复杂性,人们往往无法求解系统任意(某)时刻的解.平衡态的物理意义是系统演化(发展)的最终的状态.所以,知道了平衡态及其性质就知道了系统的演化方向、特点和最终的结局.从而也就揭示了制约平衡态诸物理量之间的动力学关系.

(3)式是一个一元二次非线性方程,由平衡点(态)条件 $\frac{dx}{dt} = 0$ 可知系统(3)有两个平衡点(态):

$$x_{01} = 0 ; x_{02} = \frac{rx_m}{r + Qx_m}$$

对于一元动力系统,其 Jacobi 矩阵^[11]:

$$J = a_{11} = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{0i} \tag{4}$$

对于 x_{01} 动力系统特征方程的根为:

$$\omega = a_{11} = \left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_{01}} = r - 2\left(\frac{r}{x_m} + Q\right)x \Big|_{x=x_{01}} = r \tag{5}$$

当 $r > 0$ x_{01} 为不稳定结点,系统将离开 0 而适度增长,而 $r < 0$ x_{01} 为稳定的结点,系统最终灭绝.

对于 x_{02} 动力系统特征方程的根为:

$$\omega = a_{11} = \left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_{02}} = r - 2\left(\frac{r}{x_m} + Q\right)x \Big|_{x=x_{02}} = -r \tag{6}$$

当 $r > 0$ x_{02} 为稳定结点(可持续捕捞,永远捕捞不尽),而 $r < 0$ x_{02} 为不稳定的结点,系统最终离开平衡态,向灭绝发展.

3 可持续产量

当 $r > 0$ 时,渔业资源将向稳定的 x_{02} 态发展,这时我们可以获得可持续产量:

$$h(x_{02}) = Qx_{02}^2 = Q\left(\frac{rx_m}{r + Qx_m}\right)^2 \tag{7}$$

3.1 渔业资源生物量与其增长率和捕捞努力量之间的关系

为了研究在不同策略的捕捞下,渔业资源生物量的变化

与其增长率变化之间的关系,在平衡态 $x_{02} = \frac{rx_m}{r + Qx_m}$ 中假设 $x_m = 1$,分别取 $Q = 0.005, 0.01, 0.05, 0.1$ 并进行数值模拟,其结果如图 1 所示:

从图 1 中我们可以看出:

(1) 不同策略(强度)的捕捞下,海洋渔业资源平衡态的生物量大小与其增长率呈非线性指数关系,对于给定的渔业资源生物量增长率(r),其捕捞努力量(Q)越大,渔业资源生物量(x)就越小.

(2) 当 r 小于 1% 时,不同策略(强度)的捕捞下,海洋渔业资源平衡态的曲线的变化都十分显著,这说明在渔业资源生物量增长率较小时,它的生物量不仅对捕捞策略非常敏感,而且对其增长率的变化也十分敏感.

(3) 当渔业资源生物量增长率(r)大于 10% 时,即使在 0.1 的捕捞努力量下,海洋渔业资源仍可维持 40% 生物量的平衡态.

为了进一步研究渔业资源生物量的变化与其捕捞努力量之间的关系,在平衡态解 x_{02} 中假设 $x_m = 1$,分别取 $r = 0.005, 0.01, 0.05, 0.1$ 并进行数值模拟,其结果如图 2 所示:

从图 2 中我们可以看出:

(1) 对于不同种类的渔业资源(r 取不同值),其平衡态的生物量随捕捞努力量呈指数衰减.但对于不同的生物量增长率,随着捕捞努力量的变大,它的生物量降低的幅度是不一样的;

(2) 当 r 较小(对应于稀少鱼种)时,捕捞努力量的微小变化将导致其生物量的很大变化.

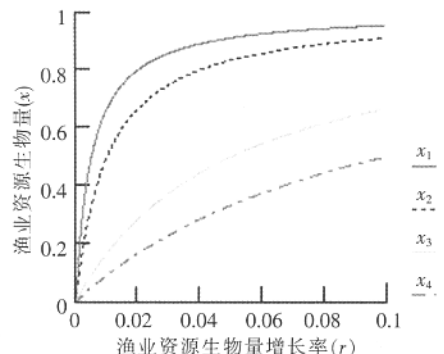


图 1 渔业资源生物量与增长率之间的关系 (x_1, x_2, x_3, x_4 (归一化)分别对应于 Q 取 0.005、0.01、0.05、0.1 四种情况)

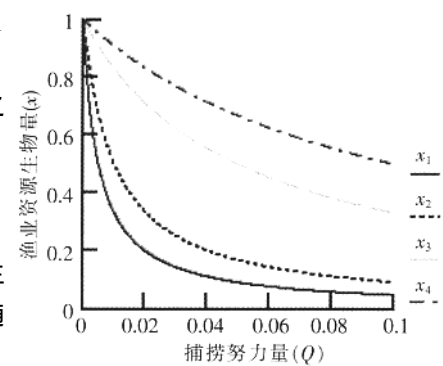


图 2 渔业资源生物量与捕捞努力量之间的关系 (x_1, x_2, x_3, x_4 (归一化)分别对应于 r 取 0.005、0.01、0.05、0.1 四种情况)

3.2 不同捕捞努力量下渔业资源量的动力学预测

渔业资源量的动态预测是渔政管理最重要也是最难的一环,将关系到次年捕捞政策的制定. 为了研究渔业资源生物量与捕捞努力量和增长率之间随时间的关系,在式(3)中我们取 $x_m = 1$, Q 取不同的值,并进行数值模拟,其结果如图3所示. 在三种情境中,设渔业资源生物量(鱼汛)的初始值 $x_0 = 0.5$,我们选取三个鱼种(即 r 分别取1%、5%和10%), t 为开禁捕捞时间(年).(a)图中我们取 $Q = \frac{1}{2}r$ (b)图中取 $Q = r$ (c)图中取 $Q = 2r$,分别进行模拟,20年的预测结果见表1(我们只取5组数据列表).

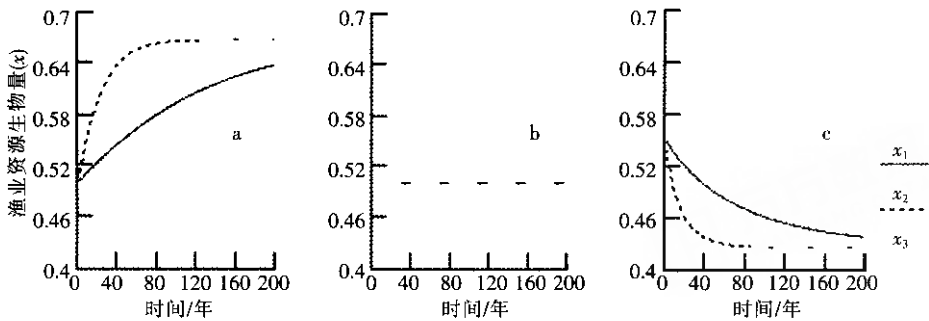


图3 渔业资源生物量随时间的变化
(x_1, x_2, x_3 分别代表鱼种1、2、3的生物量值)

表1 不同鱼种渔业资源生物量预测值

时间 序列 (年)	$Q = \frac{1}{2}r$			$Q = r$			$Q = 2r$		
	鱼种1	鱼种2	鱼种3	鱼种1	鱼种2	鱼种3	鱼种1	鱼种2	鱼种3
1	0.501	0.506	0.512	0.500	0.500	0.500	0.498	0.488	0.477
5	0.506	0.529	0.555	0.500	0.500	0.500	0.488	0.450	0.418
10	0.512	0.555	0.594	0.500	0.500	0.500	0.477	0.418	0.380
15	0.518	0.576	0.621	0.500	0.500	0.500	0.467	0.396	0.360
20	0.524	0.594	0.638	0.500	0.500	0.500	0.458	0.380	0.349

通过模拟预测我们可以得出如下结论:

(1) 当捕捞努力量为增长率的一半时,渔业资源生物量在前40年内增加, r 越大渔业资源生物量增加越大. 而达到最大值的时间随增长率的增大而缩短,鱼种1在463年达到最大值0.665,鱼种2在144年达到最大值0.667,鱼种3在72年达到最大值0.667. 由于受环境容量的限制,之后一直处于稳定状态.

(2) 当捕捞努力量等于增长率时,不论增长率大小,渔业资源生物量始终与初始值保持不变,稳定于0.5(三线合一),捕捞量与增长量相等,捕捞量取决于增长率.

(3) 当捕捞努力量是增长率的两倍时,模拟的结果与(a)图相反,在前40年内渔业资源生物量急剧下降,并达到最小值,取得最小值的时间随增长率的增大而缩短,鱼种1在456年达到最小值0.334,鱼种2在131年达到最小值0.333,鱼种3在66年达到最小值0.333,最小值恰好为(a)图的一半,当然,随着捕捞努力量的增大,渔业资源生物量的最小值也随之下降.

4 渔业资源的最大可持续产量

以上我们讨论了渔业资源的可持续性利用(捕捞)的问题,而没有考虑捕捞的效益. 如果每次航海只捕捞几斤的鱼,是没有实际意义的,尽管鱼量不会灭绝. 我们的目标是既要保证渔业资源的可持续利用,又要取得最大的经济效益.

从数学上看,最大可持续产量的策略就是取某一特定的捕捞策略 Q ,使得持续产量(稳定的平衡态) $h(x_{02}) = Qx_{02}^2$,或持续产量 $h(x_{01}) = Qx_{01}^2$ (因为是0,没有意义)为极值(最大捕捞而不灭绝). 即:

$$\frac{dh}{dQ} = 0 \tag{8}$$

将 $x_{02} = \frac{rx_m}{r + Qx_m}$ 代入,并对捕捞策略(Q)进行求导,我们可以得到最大可持续产量的捕捞努力量为:

$$Q_{\max} = \frac{r}{x_m} \quad (9)$$

从而得到最大可持续捕捞量:

$$h_{\max} = Q_{\max} \left(\frac{rx_m}{r + Q_{\max}x_m} \right)^2 = \frac{rx_m}{4} \quad (10)$$

而渔场的稳定鱼量,即平衡态的值为:

$$x_{02} = \frac{rx_m}{r + Q_{\max}x_m} = \frac{rx_m}{r + Q_{\max}x_m} = \frac{x_m}{2} \quad (11)$$

从以上的讨论可知 $Q_{\max} = \frac{r}{x_m}$ 是最大可持续产量的策略,获得的最大可持续产量为 $\frac{rx_m}{4}$. 此时的捕捞策略就是模拟预测情景 $2(Q = r)$ 的预测结果.

5 结论

本文运用非线性理论,建立了海洋渔业资源二次非线性收获的动力模式. 研究表明:为了保证渔业资源的可持续利用,必须控制捕捞努力量为 $Q_{\max} = \frac{r}{x_m}$. 这时可以获得持续的最大的产量(收获量)为 $h_{\max} = \frac{rx_m}{4}$,而此时渔业资源可以维持在稳定的平衡态 $x_{02} = \frac{x_m}{2}$ (即最大生物量的一半). 通过比较分析我们发现虽然对可再生资源(由渔业资源拓展到其它可再生资源)的收获策略有线性和非线性之分,但是得到的可再生资源的最大可持续收获量是相同的. 我国可再生资源十分短缺,准确地估算区域维持正常经济运转所需要的自然资源量,正确地理解自然资源的社会代谢过程,即自然资源在经济社会中的流动过程,不仅有助于了解经济活动与自然环境的关系,认识区域的资源自给能力和经济的对外依赖性,而且能够为制定有效提高自然资源利用效率、控制环境破坏的政策提供科学依据^[14,15]. 因此必须要采取合理的可再生资源收获策略,才能避免可再生资源的过度利用,正确处理好经济发展与可再生资源保护之间的关系.

[参考文献]

- [1] 孙娴,林振山,孙燕. 我国耕地总量的动力预测及其建议[J]. 自然资源学报, 2005, 20(2): 200-205.
- [2] 王长征,刘毅. 论中国海洋经济的可持续发展[J]. 资源科学, 2003, 25(4): 73-78.
- [3] 刘波,顾培亮,陆海波. 从系统动力学角度研究海洋的可持续发展[J]. 天津大学学报:社会科学版, 2004, 6(1): 28-32.
- [4] 张军涛,张文忠,李哲. 区域经济发展与中国海洋渔业资源的持续有效利用[J]. 经济地理, 1999, 19(5): 113-117.
- [5] 江航宇,王延青. 南海区域海洋资源开发与生态保护对策[J]. 海洋科学, 2003, 27(9): 32-34.
- [6] 陈新军,周应祺. 论渔业资源的可持续利用[J]. 资源科学, 2001, 23(2): 70-74.
- [7] 陆杰华,蔡文媚,李建新,等. 我国人口与海洋渔业资源系统仿真模型的构建[J]. 人口与经济, 2002, 3: 3-10.
- [8] 谢正磊,林振山,齐相贞. 可再生资源非线性收获的策略研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(1): 8-11.
- [9] 林振山. WTO 下的跨国企业与我国企业的竞争机制[J]. 经济地理, 2003, 23(2): 171-173.
- [10] 林振山. 人类活动与可再生资源关系的动力学方法分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2003, 13(1): 18-21.
- [11] 林振山. 非线性科学及其在地学中的应用[M]. 北京:气象出版社, 2003: 51-56.
- [12] Murray J D. Mathematical Biology[M]. New York: Springer Verlag, 1993.
- [13] 马知恩. 种群生态学的数学建模与研究[M]. 合肥:安徽教育出版社, 1994.
- [14] 苏筠,成升魁. 我国森林资源及其产品流动特征分析[J]. 自然资源学报, 2003, 18(6): 734-741.
- [15] 苏筠,成升魁. 我国森林资源产品流动及其变化特征分析[J]. 自然资源学报, 2004, 19(4): 472-479.

[责任编辑:陆炳新]