

# Dynamic Simulation Analysis of Ecological Economic System Based on the Functional Control

Qiu Li

School of Mathematics and Statistics, Northeast University at Qinhuangdao, Qinhuangdao  
Email: liqiu0110@163.com

Received Mar. 11<sup>th</sup>, 2013; revised Mar. 19<sup>th</sup>, 2013; accepted Apr. 1<sup>st</sup>, 2013

Copyright © 2013 Qiu Li. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** This article focuses on the issues about maintaining the balanced development in ecosystem. A revenue function and a cost function are proposed, which causes the development of economic activities being under the control of cost and revenue. We stop the planting and cultivating activities that included in economical activity at  $t^*$  moment, and remain their existing values unchanged, while we add into the influence on self-implement from hunting's economic factors. At  $k\tilde{t} (k \in Z^+)$  moment, a reasonable exchange is conducted between the wilderness area and the area that occupied by hunting activity. Moreover, we study the influence that the three human activities above over the total service function of ecological economical system based on a dynamic simulation. It reveals that the total service function of ecological economical system can realize a periodical change that keeping in a certain range in each cycles, which ensures the balanced development of the ecological economic system.

**Keywords:** Ecological Economic System; Revenue Function; Cost Function; Economic Factor; Dynamic Simulation

## 基于函数调控的生态经济系统动态模拟分析

李 秋

东北大学秦皇岛分校数学与统计学院, 秦皇岛  
Email: liqiu0110@163.com

收稿日期: 2013年3月11日; 修回日期: 2013年3月19日; 录用日期: 2013年4月1日

**摘 要:** 本文针对维持生态经济系统平衡发展的问题, 提出建立利润函数与成本函数的想法, 使得经济活动的开展受到成本与利润的共同控制。随后将经济活动中的种植和养殖活动在  $t^*$ 时刻同时停止, 并维持它们现有值不变, 同时通过加入捕猎活动自身经济因素对其执行的影响, 在  $k\tilde{t} (k \in Z^+)$ 时刻, 让荒地面积与捕猎活动占有的面积进行了合理的交换。此外, 通过动态模拟, 研究了上述三项人类活动对生态经济系统服务总功能的影响, 得出生态经济系统总服务功能可在各个周期内实现维持在一定范围内的周期性的变化。由此保证了生态经济系统的平衡发展。

**关键词:** 生态经济系统; 利润函数; 成本函数; 经济因素; 动态模拟

### 1. 引言

人类社会的发展过程总是与生态系统服务功能紧密相连的。生态系统为人类提供生存和发展的物质资料,

更重要的是支持与维持了地球的生命支持系统。随着“可持续发展”研究的不断深入，人们已经认识到维持与保护生态系统服务功能是实现可持续发展的基础<sup>[1]</sup>。

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用。主要包括如下内容：净化空气和水，缓解干旱和洪水废物的分解和解毒，产生、更新土壤和土壤肥力，植物受粉；农业害虫的控制、稳定局部气候、缓解气温聚变、支持不同的人类文化传统提供美学和文化、娱乐<sup>[2]</sup>。

### 1.1. 生态系统服务功能国际研究进展

对生态系统服务功能的评估最早可追溯到 19 世纪下半叶。20 世纪 70 年代，Holder 等<sup>[3]</sup>在全球环境服务功能、自然服务功能的研究中，指出生物多样性的丧失将直接影响生态系统服务功能，至此明确产生了“生态系统服务功能”概念。

自 1990 年以来，有许多国外学者在评估各种类型的生态系统服务功能方面作了大量研究，其中比较著名的例子有 Guo & Xiao<sup>[4]</sup>(2001)等人评价肯尼亚野生大象的生态旅游价值；Tobias<sup>[5]</sup>(1991)评价了 Costa Rican 热带雨林的生态价值；Pearce 和 Moran<sup>[6]</sup>(1994)总结了不同生物资源的经济评价方法；Cacha (1994)，Lacy<sup>[7]</sup> (1994)和 Munasmg 结合案例研究了自然保护区的经济评价方法；Hyde、Kanel 和 Kramer<sup>[8]</sup>(1994)、White 通过案例研究了濒危物种管理的经济价值；Gren<sup>[9]</sup>等(1995)估计了多瑙冲积平原生态系统的经济价值。

1997 年 Daily<sup>[10]</sup>和 Costanza 等<sup>[11]</sup>的研究成果把这一领域的研究推向了一个新的高潮。Daily 不仅对生态系统服务功能的概念、研究简史、不同生态系统的服务功能等进行了系统总结，同时还对各类生态系统服务功能价值进行了专题研究。Costanza 等人的 *The Value of the World'S Ecosystem Services and Natural Capital* 一文，使生态系统服务功能价值估算的原理及方法从科学意义上更加明确。这项集合众多生态学家和经济学家共同完成的研究，根据土地覆被把全球生态系统划分为 15 类生物群落，把生态系统的服务功能划分为 17 种主要类型，以生态服务供给固定为假定条件，逐项估算并得出了全球生态系统各项服务功能的价值。这一研究成果在世界范围内迅速引起巨大反响，*Ecological Economics* 以论坛或专题形式汇集了有关生态系统服务功能及其价值评估的研究成果。此后，2002 年联合国发起组织的千年生态系统评估项目是对生态系统服务功能研究的又一次深入<sup>[12]</sup>。该项研究在全球典型区域调查和系统模型评估等基础上，进一步将生态系统服务功能变化对人类福利的影响作为评估的重要部分，并以人类的自由选择作为社会福利的终极目标，从社会安全、物产服务、健康保障和对社会关系的影响 4 个方面人手进行了分析评估；初步评估了全球生态系统服务功能变化对人类福利的历史影响和可能变化，并给出了相应的政策建议，推动了生态系统服务功能学术性研究向实践应用的转变。但由于更加关注服务与产品的供给和需求，该项研究并未深入到生态服务的价值评估阶段。

### 1.2. 生态系统服务功能国内研究进展

我国关于生态系统服务功能及其价值的研究起始于 20 世纪 80 年代，如张嘉宾等<sup>[13]</sup>。采用影子工程法和替代费用法对云南地区森林资源的生态服务价值进行估算。20 世纪 90 年代中后期以来，相关研究成果陆续大量涌现。在理论层面，欧阳志云等<sup>[14]</sup>。较早引入了生态系统服务功能的概念并系统阐述了概念内涵及其价值评价方法。赵景柱等<sup>[15]</sup>。刊对生态系统服务的物质量评价和价值量评价这两类评价方法进行了比较，并从理论上分析二者结果的差异，认为应根据利用目的选择合适方法。张志强等<sup>[16]</sup>。在概述生态系统服务内涵与类型的基础之上，深入阐述了生态系统服务及自然资本的价值评估研究对建立“生态-环境-经济综合核算体系”(可持续发展核算体系)的意义。谢高地等<sup>[17]</sup>在 Costanza 等提出的评价模型的基础上，对国内 200 多位生态学学者进行了问卷调查，提出了“中国生态系统服务价值当量因子表”。李文华等<sup>[18]</sup>、李金昌<sup>[19]</sup>分别从生态学和环境经济学角度出发，对生态系统的服务功能及其价值结构进行了深入探讨。

总体上看，我国大多数生态系统服务功能价值评估工作还停留在模仿国外研究的阶段，尤其是采用基于生态学的类型研究范式，即采用样地测定、类型累加和尺度外推的三段研究范式<sup>[20]</sup>。这种研究范式在不同类型生

态系统服务功能的确定和单位价值量的核算等方面有着不可替代的优势，但加总过程中的不确定性、尺度转换的误差以及生态服务功能和价值构成的地域性差异，构成该范式应用和推广的潜在制约因素。所以，完全照搬国外的方法和参数往往实际应用价值不大。

本文与罗芳<sup>[21]</sup>，李中才等<sup>[22]</sup>的基本思路大体相同。本文主要接着罗芳文章的思路，将生态经济活动分为种植、养殖、捕猎三项活动后，继续进行生态经济服务系统建模。罗芳在其文中指出在某一时刻，人类的经济活动最好维持现有规模不变，以保证生态系统始终处于一个最优状态，生态服务功能保持在极大值处。但在当今社会之中，仍不乏有许多企业不顾及生态系统，过度开发土地、森林等自然资源，破坏生态系统的平衡，以得到自身最大利润。鉴于此，本人采用了孙红缨<sup>[23]</sup>、徐文丽<sup>[24]</sup>、李论<sup>[25]</sup>等人关于成本利润控制的思想，提出了建立利润函数与成本函数的想法，使得经济活动的开展受到成本与利润的共同控制。因此，就算企业在生态系统达到最优状态时刻时，即使没有停止各种经济活动，造成生态经济系统服务总功能下降，也会受到成本和利润的限制，进而生态系统也会保持相对平衡的状态。

本文先建立了生态经济服务系统模型，然后结合生产活动自身经济因素对自身执行的影响，引入了利润函数和成本函数，并对其进行了推导。同时，考虑到人类生产活动的实际情况，对所建立的模型提出了一些合理的假设，从而更加反映出生态系统的实际情况。最后对生态系统的演化过程进行了动态模拟，得出结论。

## 2. 建立生态经济服务系统模型

本文所研究的生态系统是指一个简单的生态系统，它主要包含两大类服务功能，一是供给食物，二是维持生态平衡，即保持生物的多态性。这两类服务是对立的此消彼长的关系。人类在获取食物的过程中，主要从事三项经济活动，即种植、养殖和捕猎活动。假设所研究的生态系统的总面积  $S_0$ ，时间为  $t$ ，种植业的产出为  $Z(t)$ ，养殖业的产出为  $Y(t)$ ，捕猎的产出为  $B(t)$ ，这三项活动都满足  $C-D$  生产函数（柯布 - 道格拉斯函数），即：

$$Z(t) = A_z [S_z(t)]^\alpha R_z^{1-\alpha} \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \quad (1)$$

其中， $S_z(t)$  为种植活动所占用的土地面积， $R_z$  为从事种植业的劳动力数量， $A_z$  代表技术水平，这里技术因素不是笔者分析的重点，因此将其归一化，即令  $A_z = 1$  有

$$Z(t) = [S_z(t)]^\alpha R_z^{1-\alpha} \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \quad (2)$$

类似地，养殖业的产出为：

$$Y(t) = [S_y(t)]^\beta R_y^{1-\beta} \quad (0 \leq \beta \leq 1) \quad (3)$$

其中， $S_y(t)$  为养殖活动所占用的土地面积， $R_y$  为从事养殖的劳动力数量。

捕猎的产出为：

$$B(t) = [S_b(t)]^\gamma R_b^{1-\gamma} \quad (0 \leq \gamma \leq 1) \quad (4)$$

其中， $S_b(t)$  为捕猎活动所占用的土地面积， $R_b$  为从事捕猎的劳动力数量。

因此，剩余的荒地面积为：

$$S_H(t) = S_0 - S_z(t) - S_y(t) - S_b(t) \quad (5)$$

这里，用荒地占总面积的比例  $\eta(t)$  ( $\eta(t) = S_H(t)/S_0$ ) 表征生态系统在保持物种多样性方面的功能，即  $\eta(t)$  越大，生态系统维持物种多样性的能力越强； $\eta(t)$  越小，则反之。

生态系统的服务功能包括两大类，即供给食物和保持生态平衡。因此，生态系统的总服务功能可以表示为：

$$V(t) = \phi \exp[F(t)] + (1 - \phi) \exp[\eta(t)] \quad (6)$$

其中,  $F(t)$  表示生态系统提供的食物总量,  $F(t) = Z(t) + Y(t) + B(t)$ ;  $\phi$  为生态系统提供食物维持物种多样性的分配权重,  $0 \leq \phi \leq 1$ 。若人类对生态环境进行掠夺式的开发, 则  $\phi \rightarrow 1$ , 生态平衡遭到破坏。因此, 较理想的情况是, 生态系统一方面能够为人类提供足够的食物, 另一方面又维持着自身的平衡, 即  $\phi$  的取值范围在 0.5 左右为最佳。

有了上述假设, 我们可以建立以下模型:

$$\begin{aligned} \text{Max } \int_0^{\infty} V(t) dt &= \text{Max } \int_0^{\infty} \phi \exp[F(t)] + (1-\phi) \exp[\eta(t)] dt \\ \left\{ \begin{array}{l} F(t) = Z(t) + Y(t) + B(t) \\ Z(t) = [S_Z(t)]^\alpha R_Z^{1-\alpha} \\ Y(t) = [S_Y(t)]^\beta R_Y^{1-\beta} \\ B(t) = [S_B(t)]^\gamma R_B^{1-\gamma} \\ S_H(t) = S_0 - S_Z(t) - S_Y(t) - S_B(t) \\ S_H(t) \geq \mu \\ \eta(t) = S_H(t)/S_0 \end{array} \right. \end{aligned} \quad (7)$$

其中,  $\mu$  为野生动物生存的临界面积。

### 3. 利润函数与成本函数的推导

人类的生产活动, 不仅受环境因素影响, 而且也受到生产活动自身经济因素对自身执行的影响<sup>[24-26]</sup>。在种植、捕猎和养殖三者中, 捕猎尤其与自身的成本利润息息相关(在此只考虑经济因素对捕猎活动的影响)。

在所研究的生态系统中, 假设当捕猎活动的成本  $\geq$  利润时, 捕猎活动即可停止, 当利润  $\geq$  成本时, 捕猎活动即可恢复。考虑到捕猎的成本主要与捕猎活动所占用的土地面积  $S_B(t)$  有关, 且与  $S_B(t)$  呈线性关系, 因此设捕猎的成本为:

$$C(t) = r_2 S_B(t) \quad (8)$$

$r_2$  为常数。捕猎的利润主要与捕猎的产出  $B(t)$  有关, 且由经济学理论<sup>[26]</sup>知, 利润随产量的过多而减少, 因此假设捕猎的利润为:

$$L(t) = r_1(t) B(t) \quad (9)$$

$r_1(t)$  为一个时变变量。参照 Logistic 人口模型, 可推导出  $r_1(t)$  的表达式为:

$$r_1(t) = r \left( 1 - \frac{B(t)}{B_m} \right) \quad (10)$$

其中  $r$  为固有增长率且为常数,  $B_m$  为最大捕猎产出。

由  $B(t) = [S_B(t)]^\gamma R_B^{1-\gamma}$ , 再次假设理想条件下  $\gamma=1$  时的情景( $\gamma=1$  时, 捕猎活动的产出即与捕猎活动所占的土地面积线性相关, 而与从事捕猎的劳动力数量无关), 可得两者最终表达式如下:

$$C(t) = r_2 k_2 t \quad (11)$$

$$L(t) = r \left( 1 - \frac{k_2 t}{\mu} \right) k_2 t \quad (12)$$

$$B_m = \mu \quad (13)$$

且当  $C(t) \geq L(t)$  时,  $(\tilde{t} = \frac{u(r-r_2)}{k_2 r})$ , 第一次成本等于利润的时刻, 捕猎活动停止。

#### 4. 模型假设

在生态经济服务系统中, 为了维持生态系统平衡发展, 剩余的荒地面积不能长期处于临界面积  $\mu$  之下, 其中  $\mu$  为野生动物生存环境的临界面积, 在一定时间内必须恢复到临界面积  $\mu$ , 否则生态系统将被破坏, 且无法再次恢复。由于只重点考虑经济因素对捕猎活动的影响, 鉴于此, 本文下面的工作只考虑养殖活动所占用的土地面积  $S_Y(t)$  和种植活动所占用的土地面积  $S_Z(t)$  不能进行无限制的扩张。就此作出如下假设:

1) 在  $t = t^*$  时,  $S_H(t^*) + S_B(t^*) = \mu$  (当  $t = t^*$  时, 养殖活动和种植活动同时停止, 且此时剩余的土地面积和捕猎活动占有的土地面积之和即为  $\mu$ 。在实际情况下, 在  $t = t^*$  时, 剩余的土地面积和捕猎活动占有的土地面积之和大于等于  $\mu$ , 考虑到计算与作图的便利, 此处取等号。  $S_Y(t)$  和  $S_Z(t)$  的值等于  $t = t^*$  时刻两者之值)。

2) 当  $t = \tilde{t}$  时捕猎活动停止, 捕猎活动所占用的土地面积  $S_B(t)$  立即为 0, 然后以原有的增长率  $k_2$  进行扩张。荒地面积  $S_H(t)$  立即获得捕猎活动所失去的土地面积  $S_B(t)$  即  $\tilde{S}_B(k\tilde{t}) = 0$ ,  $\tilde{S}_H(\tilde{t}) = S_H(k\tilde{t}) + S_B(k\tilde{t})$  ( $k \in Z^+$ )。  $\tilde{S}_B(k\tilde{t})$  与  $\tilde{S}_H(\tilde{t})$  分别表示在  $\tilde{t}$  时刻, 变化之后各自所占的土地面积。

3) 在  $t = \tilde{t}$  时, 当  $S_H(t^*) + S_B(t^*) \geq \mu$  时, 即捕猎活动第一次停止的时刻, 此时剩余的土地面积和捕猎活动占有的土地面积之和大于等于  $\mu$ 。

4) 当养殖活动和种植活动同时停止后, 剩余的土地面积和捕猎活动占有的土地面积之和即为  $\mu$ , 为保证剩余的荒地面积不小于 0 即:  $S_H \geq 0$ , 在一个周期  $\tilde{t}$  内, 捕猎活动扩张所占面积  $S_B(t) \leq \mu$ 。

5) 考虑到  $t_2$  时刻生态系统总服务功能达到极大值, 同时也处于野生动物生存的临界点  $\mu$ , 即  $S_H(t_2) = \mu$ , 所以  $t^*$  与  $\tilde{t}$  必定大于  $t_2$ 。

#### 5. 生态系统演化过程的动态模拟

对生态系统总服务功能的动态模拟仿真, 首先是建立在对各项人类活动所占用的土地面积的动态模拟之上的。本人参照了罗芳<sup>[21]</sup>, 李中才等<sup>[22]</sup>的仿真平台, 根据人类活动的真实情况并结合模型假设, 对人类经济活动扩张进行了动态模拟, 得出了不同时刻, 捕猎、种植、养殖三类人类活动所占土地面积的变化情况。在此基础上, 由于生态系统总服务功能是由供给食物与保持生态平衡所共同组成的, 结合已经得出的人类经济活动扩张形式, 通过动态模拟, 便得出了生态系统总服务功能  $V(t)$  随时间的变化过程。

##### 5.1. 人类经济活动扩张的动态模拟

将人类活动的早期阶段的结束时刻记为  $t_0$ , 假设  $S_Z(t_0) = S_Y(t_0) = S_B(t_0) = 0, S_H(t_0) = S_0$ , 即人类在早期阶段还未开始种植、养殖以及捕猎的活动, 所有的土地都是荒地, 生物物种极其丰富。从  $t_0$  时刻起, 人类开始种植和捕猎活动, 而且这两种活动随着时间的流逝而呈线性加剧, 即种植业和捕猎占用的土地面积为:

$$S_Z(t) = k_1 t \quad (14)$$

$$S_B(t) = k_2 t \quad (15)$$

其中,  $k_1, k_2$  为大于 0 的常数, 分别代表种植和捕猎活动的扩张程度。

从  $t_1$  时刻起, 随着捕猎活动的膨胀, 物种越来越少, 捕猎已不能满足人们对动物这种食物的需求, 加之种植业的发展也提供了有利的条件, 于是养殖业开始起步。假设这时种植业和捕猎仍以原有的速度扩张, 则养殖业占用的土地面积为:

$$S_Y(t) = k_3 t \quad (16)$$

其中  $k_3 > 0$ , 代表养殖业的扩张速度。

随着上述三项活动的进行，生态系统供给食物的功能逐渐趋向最大值。假设到  $t_2$  时刻达到生态系统总服务功能的极大值，同时也处于野生动物生存的临界点  $\mu$ ，即  $S_H(t_2) = \mu$ 。从这一刻起，若人类依然以原有的扩张速度向自然界攫取食物的话，生态平衡将会被破坏。生态服务的总功能不是上升而是下降，即  $V(t) = \phi \exp[F(t)] + (1-\phi)\exp[\eta(t)]$  值降低。

因此，从  $t_2$  时刻起，人类的经济活动最好维持着现有规模不变，以保证不越过临界值  $\mu$ 。这样，生态系统始终处于一个最优状态，生态服务的总功能保持在极大值处。上述的过程可用图形演示，如图 1 所示。

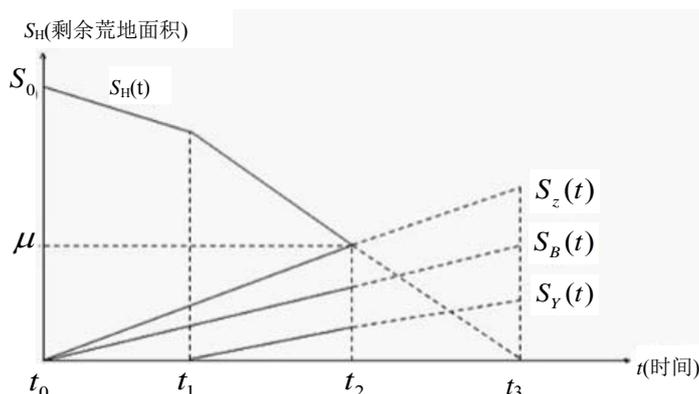


Figure 1. Human economic activities expansion graph  
图 1. 人类经济活动扩张图

从  $t_2$  到  $t_3$  阶段，若人类仍然不抑制扩张的速度，野生物种会逐渐灭绝。 $t_3$  时刻是人类只一味地向生态系统索取食物的极限，这时已没有荒地。

介于维持生态系统的平衡发展，在时刻  $t^*$ ，同时停止养殖活动和种植活动，并维持它们的现有值  $S_Y(t^*)$  和  $S_B(t^*)$  不变，且满足  $S_0 - S_Y(t) - S_Z(t) = \mu$ 。捕猎活动，依照其成本与利润的大小结果而停止或进行，停止后按照模型假设的第 2 条进行执行。现针对  $t^*$  与  $\tilde{t}$  的大小分为如下三种情况：

1)  $t^* > \tilde{t}$

在  $t_0$  至  $\tilde{t}$  阶段，养殖、捕猎、种植活动分别按其增长率进行扩张。在  $t = \tilde{t}$  时刻， $\tilde{S}_B(k\tilde{t}) = 0$ ， $\tilde{S}_H(\tilde{t}) = S_H(k\tilde{t}) + S_B(k\tilde{t}) (k \in Z^+)$ ，对应图 2 箭头标记所示。 $\tilde{t}$  至  $t^*$  阶段，三者均按其原有增长率进行扩张。在  $t = t^*$  时刻，养殖活动和种植活动停止扩张，并保持现有所占土地面积不变。此后，剩余的土地面积和捕猎活动所占土地面积的总和保持为  $\mu$ ，并以  $\tilde{t}$  为周期，以及此消彼长的变化形式进行循环，并且在每一个周期结束的时刻， $\tilde{S}_B(k\tilde{t}) = 0$ ， $\tilde{S}_H(\tilde{t}) = S_H(k\tilde{t}) + S_B(k\tilde{t}) (k \in Z^+)$ 。上述过程如图 2 所示。

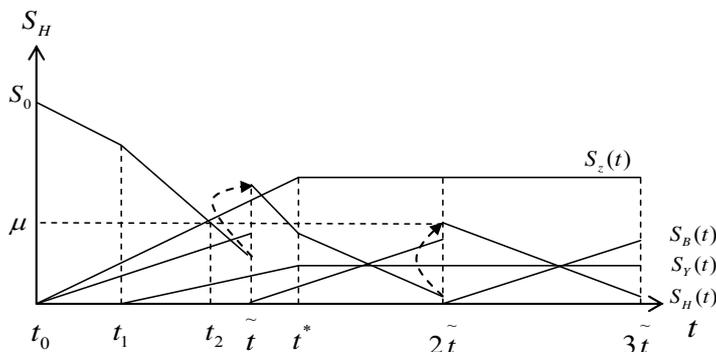


Figure 2. Human economic activities expansion graph when  $t^* > \tilde{t}$   
图 2.  $t^* > \tilde{t}$  时人类经济活动扩张图

2)  $t^* < \tilde{t}$

在  $t_0$  至  $t^*$  阶段，养殖、捕猎、种植活动分别按其增长率进行扩张。在  $t=t^*$  时刻，养殖活动和种植活动停止扩张，并保持现有所占土地面积不变。 $t^*$  至  $\tilde{t}$  阶段，捕猎活动按原增长率进行扩张。在  $t=\tilde{t}$  时刻， $\tilde{S}_B(k\tilde{t})=0$ ， $\tilde{S}_H(\tilde{t})=S_H(k\tilde{t})+S_B(k\tilde{t})$ ，对应图 3 箭头标记所示。此后，剩余的土地面积和捕猎活动所占土地面积的总和保持为  $\mu$ ，并以  $\tilde{t}$  为周期，以及此消彼长的变化形式进行循环，并且在每一个周期结束的时刻， $\tilde{S}_B(k\tilde{t})=0$ ， $\tilde{S}_H(\tilde{t})=S_H(k\tilde{t})+S_B(k\tilde{t})(k \in Z^+)$ 。上述过程如图 3 所示。

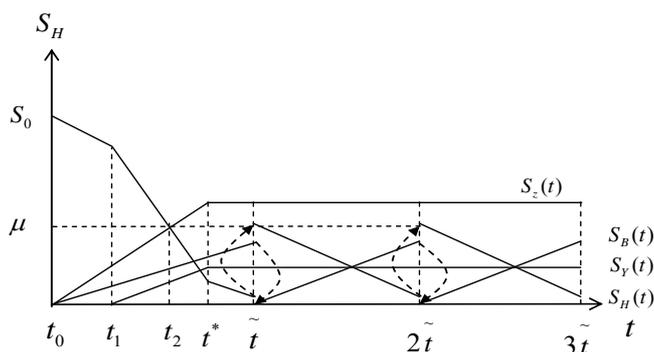


Figure 3. Human economic activities expansion graph when  $t^* < \tilde{t}$   
图 3.  $t^* < \tilde{t}$  时人类经济活动扩张图

3)  $t^* = \tilde{t}$

在  $t_0$  至  $t^*(\tilde{t})$  阶段，养殖、捕猎、种植活动分别按其增长率进行扩张。在  $t=t^*(\tilde{t})$  时刻， $\tilde{S}_B(k\tilde{t})=0$ ， $\tilde{S}_H(\tilde{t})=S_H(k\tilde{t})+S_B(k\tilde{t})(k \in Z^+)$ ，对应图 4 箭头标记所示，并且养殖活动和种植活动停止扩张，并保持现有所占土地面积不变。此后，剩余的土地面积和捕猎活动所占土地面积的总和保持为  $\mu$ ，并以  $\tilde{t}$  为周期，以及此消彼长的变化形式进行循环，并且在每一个周期结束的时刻， $\tilde{S}_B(k\tilde{t})=0$ ， $\tilde{S}_H(\tilde{t})=S_H(k\tilde{t})+S_B(k\tilde{t})(k \in Z^+)$ 。上述过程如图 4 所示。

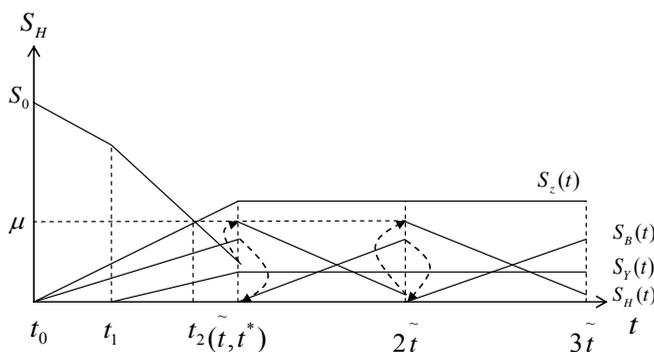


Figure 4. Human economic activities expansion graph when  $t^* = \tilde{t}$   
图 4.  $t^* = \tilde{t}$  时人类经济活动扩张图

## 5.2. 生态系统总服务功能的动态模拟

下面来分析生态系统总服务功能的动态演变过程。现也针对  $\tilde{t}$  与  $t^*$  的大小分为如下三种情况：

1)  $t^* > \tilde{t}$

在  $t_0$  时刻，生态系统仅提供单一的维持物种多样性的服务，总功能值为  $V_0$ 。从  $t_0$  至  $t_1$  阶段，由于产生了种植和捕猎两项人类的经济活动，生态服务增加了食物供给功能，总功能缓慢上升。在  $t_1$  时刻，由于养殖活动的

起步, 从  $t_1$  到  $t_2$  阶段, 总功能加速上升。在  $t_2$  时刻, 总功能达到极大值  $V_{\max}$ 。同时,  $t_2$  时刻也是野生动物生存的临界点。从  $t_2$  到  $\tilde{t}$  阶段, 由于三种活动的继续扩张, 剩余土地面积小于其临界值大小, 生态服务总功能开始下降。在  $\tilde{t}$  时刻, 根据模型假设 2, 剩余土地面积得到增加, 生态服务总功能大小变化到对应相同剩余土地面积时的数值。从  $\tilde{t}$  到  $t^*$  阶段, 生态服务总功能继续以原速率下降。在  $t^*$  时刻, 由模型假设 1 养殖活动和种植活动同时停止, 只有捕猎活动继续进行扩张, 因此生态服务总功能下降速率开始降低。从  $t^*$  到  $2\tilde{t}$  阶段, 生态服务总功能以降低后的速率下降。在  $2\tilde{t}$  时刻, 同样由模型假设 2, 剩余土地面积变为  $\mu$ , 总功能达到极大值  $V_{\max}$ 。在此之后, 生态服务总功能便以  $\tilde{t}$  为周期、以  $t^*$  时刻的速率下降, 且在每一周期结束时刻变为极大值  $V_{\max}$ 。其过程如图 5 所示。

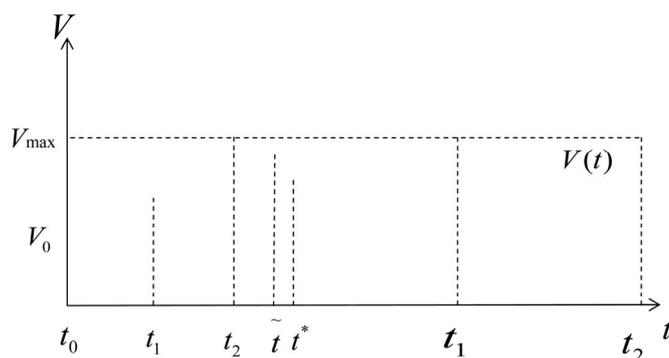


Figure 5. Ecological economic system total service function of the dynamic evolution when  $t^* > \tilde{t}$   
图 5.  $t^* > \tilde{t}$  时生态经济系统总服务功能的动态演化图

2)  $t^* < \tilde{t}$

$t_0$  至  $t_2$  阶段生态系统总服务功能的变化形式与  $t^* > \tilde{t}$  时  $t_0$  至  $t_2$  阶段相同。在  $t_2$  时刻, 总功能达到极大值  $V_{\max}$ 。同时,  $t_2$  时刻也是野生动物生存的临界点。从  $t_2$  到  $t^*$  阶段, 由于三种活动的继续扩张, 剩余土地面积小于其临界值大小, 生态服务总功能开始下降。在  $t^*$  时刻, 由模型假设 1 养殖活动和种植活动同时停止, 只有捕猎活动继续进行扩张, 因此生态服务总功能下降速率开始降低。 $t^*$  到  $\tilde{t}$  阶段, 生态服务总功能以降低后的速率下降。在  $\tilde{t}$  时刻, 根据模型假设 2, 剩余土地面积得到增加, 生态服务总功能大小变化到对应相同剩余土地面积时的数值。从  $t^*$  到  $2\tilde{t}$  阶段, 生态服务总功能以降低后的速率下降。在  $2\tilde{t}$  时刻, 同样由模型假设 2, 剩余土地面积变为  $\mu$ , 总功能达到极大值  $V_{\max}$ 。在此之后, 生态服务总功能便以  $\tilde{t}$  为周期、以  $t^*$  时刻的速率下降, 且在每一周期结束时刻变为极大值  $V_{\max}$ 。其过程如图 6 所示。

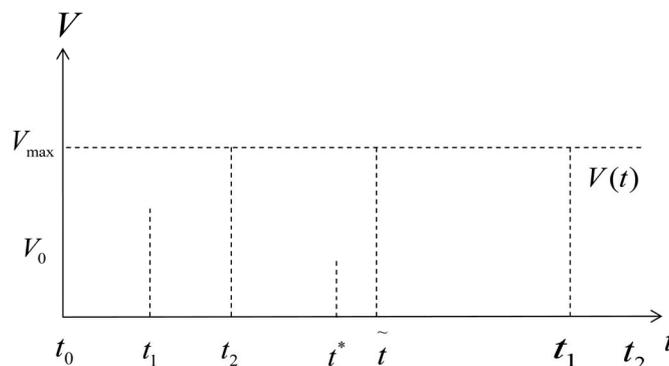
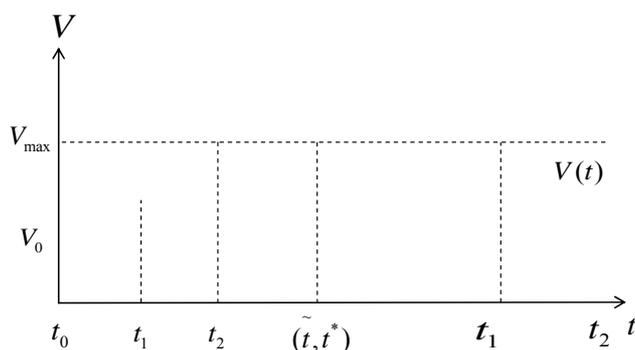


Figure 6. Ecological economic system total service function of the dynamic evolution when  $t^* < \tilde{t}$   
图 6.  $t^* < \tilde{t}$  时生态经济系统总服务功能的动态演化图

3)  $t^* = \tilde{t}$ 

$t_0$  至  $t_2$  阶段生态系统总服务功能的变化形式与  $t^* > \tilde{t}$  时  $t_0$  至  $t_2$  阶段相同。在  $t_2$  时刻, 总功能达到极大值  $V_{\max}$ 。同时,  $t_2$  时刻也是野生动物生存的临界点。从  $t_2$  到  $t^*(\tilde{t})$  阶段, 由于三种活动的继续扩张, 剩余土地面积小于其临界值大小, 生态服务总功能开始下降。由于  $t^*$  时刻与  $\tilde{t}$  时刻重合, 所以在此时刻, 由模型假设 1 养殖活动和种植活动同时停止, 只有捕猎活动继续进行扩张, 因此生态服务总功能下降速率开始降低, 且由模型假设 2 剩余土地面积得到增加, 生态服务总功能大小变化到对应相同剩余土地面积时的数值。从  $t^*(\tilde{t})$  到  $2\tilde{t}$  阶段, 生态服务总功能以降低后的速率下降。在  $2\tilde{t}$  时刻, 同样由模型假设 2, 剩余土地面积变为  $\mu$ , 总功能达到极大值  $V_{\max}$ 。在此之后, 生态服务总功能便以  $\tilde{t}$  为周期、以  $t^*$  时刻的速率下降, 且在每一周期结束时刻变为极大值  $V_{\max}$ 。其过程如图 7 所示。

Figure 7. Ecological economic system total service function of the dynamic evolution when  $t^* = \tilde{t}$ 图 7.  $t^* = \tilde{t}$  时生态经济系统总服务功能的动态演化图

## 6. 结论

生态经济系统的平衡发展与人类对自然界的各种开发活动息息相关。然而人类不可能毫无节制的进行扩张, 否则生态系统必然会遭到破坏, 人类社会也会遭受到灭顶之灾。在罗芳<sup>[21]</sup>文中, 作者只是在达到野生动物生存临界值点的时刻, 要求人类收敛自身的经济活动, 以维持现有状态。在现实世界中, 人类社会的发展瞬息万变, 各种经济活动为达到其最大利益, 不可能停留在一定值内而停止其自身发展和扩张。所以到最后, 生态经济系统还是会遭到人类各种经济活动的破坏。由此, 本人觉得我们可以通过一些限制或手段来维持生态经济系统总服务功能的平稳变化, 如: 在某一时刻停止某些人类活动的开展, 抑或利用人类活动自身的经济因素对活动执行的影响, 间隔性的执行人类的各种活动等等。通过动态模拟生态经济系统总服务功能的变化, 得出这些方式对于保证生态经济系统的平衡发展是可行的, 有成效的。这样, 有了生态经济系统的平衡发展, 人类社会才能井井有条的稳步前进。而且本文提出的这些方法措施, 也可以应用到人类社会的各种生产项目中。调整生产计划, 促进平衡发展, 从而达到最大利润。

## 7. 致谢

感谢评审专家及编辑对本文提出的宝贵意见。

## 参考文献 (References)

- [1] 张雪英, 黎颖治. 生态系统服务功能与可持续发展[J]. 生态学报, 2004, 23(3): 286-288.
- [2] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
- [3] J. Holder, P. R. Ehrlich. Human population and global environment. American Scientist, 1974, 62(3): 282-297.

- [4] Z. W. Guo, X. M. Xiao, Y. L. Gan and Y. J. Zheng. Ecosystem functions, services and their values—A case study in Xingshan County of China. *Ecological Economics*, 2001, 38: 141-154.
- [5] D. Tobias, R. Mendelsohn. Valuing ecotourism in a tropical rainforest reserve. *Ambio*, 1991, 20(2): 91-93.
- [6] G. P. Marsh. *Man and nature*. New York: Charles Scribner, 1864.
- [7] R. C. Lacy, D. B. Lindenmayer. A simulation study of the impacts of population subdivision on the mountain brushtail possum *Trichosurus caninus* Ogilby (Phalangeridae: Marsupialia), in South-Eastern Australia, II. Loss of genetic variation within and between subpopulation. *Biological Conservation*, 1995, 73(2): 131-142
- [8] R. Kramer, M. Munasinghe. Valuing a tropical forest: A case study in Madagascar. In: M. Munasinghe and J. A. McMeely, Eds., *Protected Area Economics and Policy*, Cambridge: IUCN, 1994: 191-204.
- [9] I.-M. Gren et al. Economic values of Dunube floodplains. *Journal of Environment Management*, 1995, 45(4): 333-345.
- [10] G. C. Daily. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Washington DC: Island Press, 1997.
- [11] R. Costanza, R. D'Arge, R. de Groot, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 3-15.
- [12] 赵士洞, 张永民. 千年生态系统评估报告集[R]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [13] 张嘉宾. 关于计算森林效益的基础理论与程序的初步研究[J]. *林业资源理*, 1982, 17(3): 1-5.
- [14] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635-640.
- [15] 赵景柱, 肖寒, 吴钢. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(2): 290-292.
- [16] 张志强, 徐中民, 程国栋. 生态系统服务与自然资本价值评估[J]. *生态学报*, 2001, 21(11): 1918-1926.
- [17] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 47-53.
- [18] 李文华, 欧阳志云, 赵景柱. 生态系统服务功能研究[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [19] 李金昌. 自然资源价值理论与定价方法[J]. *中国人口·资源与环境*, 1991, 11(3): 1-5.
- [20] 郭中伟, 李典谟, 于丹. 生态系统调节水量的价值评估——兴山实例[J]. *自然资源学报*, 1998, 13(3): 242-248.
- [21] 罗芳, 孙彩虹. 生态经济系统服务功能的动态模拟分析[J]. *生态经济*, 2008, 9: 59-61.
- [22] 李中才, 马立强, 李莉鸿. 简单生态经济系统服务功能的演化模拟分析[J]. *生态经济*, 2007, 1: 13-15.
- [23] 孙红缨. 成本利润分析与决策[J]. *市场经济研究*, 2002, 4: 70-71.
- [24] 徐文丽. 关于当前成本和利润分析中几个问题的探讨[J]. *上海会计*, 1989, 5: 23-24.
- [25] 李论. 浅议以利润最大化为目标的企业成本控制[J]. *中国集体经济*, 2009, 9: 51-53.
- [26] 格里高利·曼昆. *经济学原理 (上、下册)*[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.