



博士文丛

(第三辑)

生态系统服务价值研究

赵晟 著

理论、方法及应用

兰州大学出版社



Q147
4



博士文丛
(第三辑)

生态系统服务价值研究

赵晟 著

理论、方法及应用

兰州大学出版社



图书在版编目(CIP)数据

生态系统服务价值研究:理论、方法及应用/赵晟著.
兰州:兰州大学出版社,2006.10
(博士文丛.第3辑)
ISBN 7-311-02766-7

I.生... II.赵... III.生态系统—研究
IV.Q147

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 142297 号

博士文丛(第三辑)

生态系统服务价值研究

——理论、方法及应用

赵 晟 著

兰州大学出版社出版发行

兰州市天水南路 222 号 电话:8912613 邮编:730000

E-mail:press@onbook.com.cn

http://www.onbook.com.cn

兰州大学出版社激光照排中心照排

兰州德辉印刷有限责任公司印刷

开本:880×1230 1/32 印张:5.25

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

字数:151 千字

ISBN7-311-02766-7/F·363 定价:200.00 元
(共 10 册)

序

20 世纪 40 年代以来的生态系统概念与理论的提出和发展,促进了人们对生态系统结构与功能的认识与了解,并为人们研究生态系统服务功能与实现可持续发展提供了科学基础。自 20 世纪 70 年代后,生态系统服务开始成为一个科学术语及生态学和生态经济学研究的分支。生态系统服务(ecosystem services)是指对人类生存和生活质量有贡献的生态系统产品(goods)和服务(services)。生态系统服务的研究是当今国际生态学领域中的新命题。离开了生态系统对于生命系统的支持服务,人类的生存就要受到威胁;全人类的生存和社会的持续发展,都要依赖于生态系统服务。与传统意义上的服务(它实际上是一种购买和消费同时进行的商品)不同,生态系统服务只有一小部分能够进入市场被买卖,大多数无法进入市场,甚至在市场交易中很难发现对应的补偿措施。没有定量测算的生态系统服务很容易被忽视,人们也难以找到行之有效的手段来进行保护。

1991 年国际科学联合会环境委员会组织召开的一次会议上专门讨论了如何进行生物多样性的定量研究,这次会议促使生物多样性和生态系统服务功能及其价值评估研究成为目前生态学研究的热点。近年来,对生态系统服务功能的研究取得了较大的进展。其中以 Daily 主编的《Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystem》(Daily,1997)一书和 Costanza 等人在《Nature》上发表的“The value of the world's ecosystem services and natural capital”一文最为引人注目。

在 Daily 主编的专著中比较系统地介绍了生态系统服务功能的概念、研究简史、服务价值评估、不同生物系统的服务功能以及区域生态系统服务功能等专题研究。Costanza 等人则对全球生态系统服务功能进行了划分和评估,将生态系统服务功能归纳为 17 种类型,并按 16 种生物群系以货币形式进行估算。从而促进了生态系统服务价值的定量研究,使之成为生态经济学研究的热点问题。

本书将生态系统服务与可持续发展有机结合起来,突破传统生态系统服务的货币价值,针对生态系统服务价值定量研究中的关键问题,深入剖析了生态系统服务价值的内涵,提出了新的理论框架,通过研究生态系统的能量流动和物质流动,在生态系统服务的货币价值基础上,提出了生态系统服务的能值价值与足迹价值,并将生态系统服务价值与生态风险分析有机结合起来,进行了区域生态风险评价的创新性研究,对生态系统服务价值研究领域具有重要学术价值,对促进环境和经济可持续发展,具有重要意义。

李自珍

2005 年 12 月 1 日

前 言

生物圈和生态系统是一种复杂的生命支持系统，是人类赖以生存和发展的物质基础，它提供了人类所必需的一切资源和环境条件。生态系统服务(ecosystem services)是指对人类生存和生活质量有贡献的生态系统产品(goods)和服务(services)。生态系统服务的研究是当今国际生态学领域中的新命题。离开了生态系统对于生命系统的支持服务，人类的生存就要受到威胁，全人类的生存和社会的持续发展，都要依赖于生态系统服务。因此，生态系统服务价值的研究已成为数学生态学和生态经济学研究领域的前沿热点问题。本书针对生态系统服务价值定量研究中的关键问题，深入剖析了生态系统服务价值的内涵，提出了新的理论框架，建立了生态系统服务的经济价值、能值价值与生态足迹价值等多种指标体系与新方法，进行了案例分析；并将服务价值与风险分析有机结合起来，进行了生态风险评价的创新性研究。主要研究内容如下：

(1) 随着人口的增长，技术的进步与经济高速发展，人类活动导致了全球性的生态系统退化，并对生态系统服务造成重大影响。从理

论上讲,对生态系统服务价值的研究最关键的问题是清晰地描述与准确地评价生态系统的结构与功能,以及由此产生的产品与服务之间的关系。全面评价生态系统服务的首要任务是将生态系统结构或过程转化为生态系统功能,而这些功能能够为人类提供有价值的产品与服务。本书将生态系统功能定义为生态系统直接或间接为人类提供有价值产品与服务的能力。生态系统功能主要包括以下四类:调节功能、栖息功能、生产功能和信息功能。

(2)论述了环境经济学及经济学中相关量化生态系统服务价值的理论,即生态系统服务的货币价值,通过扩展 Costanza 等人的工作,建立了生态系统服务经济价值的指标体系与评价方法,并进行了实证分析。以祁连山自然保护区为例,采用市场价值法、影子工程法、机会成本法和替代花费法等方法对其森林生态系统服务的货币价值进行了评价与分析。计算结果表明祁连山自然保护区森林生态系统的年经济价值为 4.58×10^9 元,其中直接经济价值 2.06×10^8 元,间接经济价值 4.37×10^9 元,在经济价值中,间接价值占了近 95%,表明森林生态系统的间接价值远远大于直接价值。

(3)以生态系统的能量流动为基础,运用能值理论与方法,对生态系统服务的能值价值进行了定量评价研究,并以祁连山自然保护区和甘肃省生态经济系统为例进行了案例研究。在祁连山自然保护区案例中,计算了其能值服务价值。其结果表明:祁连山自然保护区生态系统的能值货币价值总计为 1.15×10^9 \$, 年能值货币价值为 1.64×10^8 \$。在每年的能值货币价值 1.64×10^8 \$ 中,水资源的能值货币价值为 1.36×10^8 \$, 占年能值货币价值的 83%,木材资源为 0.28×10^8 \$, 占年

能值货币价值的 17%。从水资源的能值货币价值占年能值货币价值的 83%可以看出,祁连山自然保护区生态系统的服务价值主要表现在涵养水源方面;在甘肃省生态经济系统案例中,其结果显示:2000 年甘肃省生态经济系统中,可更新资源(雨水势能)的能值为 2.99×10^{22} sej, 占总能值用量 1.41×10^{23} sej 的 21.16%。不可更新资源产品的能值为 1.15×10^{23} sej, 占全省总能值用量的 81.11%。货币流能值 1.08×10^{23} sej, 其中进口能值 1.03×10^{21} sej, 出口能值 4.24×10^{21} sej。废弃物能值为 8.51×10^{20} sej, 占全省总能值用量的 0.6%。甘肃省能值货币比率为 1.19×10^{13} sej/\$, 人均能值用量 5.62×10^{15} sej/人, 能值使用强度 3.11×10^{11} sej/m², 能值自给率达 99.27%。

(4) 以生态系统中物质流为基础,运用生态足迹的理论与方法,对生态系统服务的实物价值进行了定量研究。根据生态足迹理论及计算方法,以甘肃省为例,计算了其 2000 年生态系统服务的足迹价值,其中包括耕地生态系统、草地生态系统、森林生态系统和水生态系统这四种类型服务价值,结果表明甘肃省 2000 年生态系统服务的人均足迹价值为 1.2129 hm²,其中耕地 0.2929 hm²,林地 0.0152 hm²,草地 0.9010 hm²,水域 0.0039 hm²。进而,根据能值分析理论,建立了一种生态足迹的新指标体系与计算方法——能值足迹。该方法是将某一区域 6 种生物生产土地(耕地、林地、草地、水域、化石能源土地与建筑用地)的实际消费量和自然提供的资源量,应用能值理论将这些实物量转化为可以相加的共同度量标准——能值,并通过引入能值密度概念,转化为人们易于理解的面积概念。以甘肃省为例,其计算结果表明:甘肃省人均生态承载力为 3.8326hm²,人均生态足迹为

5.1538hm^2 ，其中生物资源部分 2.1666hm^2 ，能源部分 2.9872hm^2 ，出于谨慎考虑，在生态承载力部分扣除 12% 的生物多样性保护面积，得到最终的人均生态承载力为 3.3727hm^2 ，生态赤字 1.7811hm^2 。通过对比分析可知，新方法更具有实用性和可操纵性。

(5) 生态风险分析是生态学和风险数学的交叉边缘学科，也是现代生态学研究中的一个前沿问题。书中考虑到生境破坏和人类活动的压力对生物物种和生态系统的影响，将生态风险分析由以往的化学品造成的生态系统压力扩展到人类活动对生态系统的整体影响，在大尺度生态系统上，通过生态系统服务能值价值的定量化与生态风险分析的 EVR 模型和信息扩散模型相结合，进行了基于生态系统服务能值价值的生态风险分析的实例研究。以甘肃省为例，计算了五种不同置信水平下 (99%, 95%, 90%, 85%, 80%)，生态系统服务能值价值的 EVR 值。如在置信水平 95% 时，能值价值的 EVR 值为 $6.30 \times 10^{21}\text{sej}$ ，可以说甘肃省生态系统服务能值风险价值在未来一年不超过 $6.30 \times 10^{21}\text{sej}$ 的概率是 95%；以信息扩散模型为基础计算了甘肃省生态系统能值风险价值的概率估计值，当给定的能值服务价值论域为 $4.00 \times 10^{21}\text{sej}$ 时，概率估计值为 0.6685，即未来一年的能值风险价值大于 $4.00 \times 10^{21}\text{sej}$ 的概率是 0.6685。以上结果为实现甘肃省生态经济系统的可持续发展提供了理论和定量分析依据。

Foreword

The biota and physical structures of ecosystem provide a wide variety of marketable goods. Moreover, society is increasingly recognizing the myriad life support functions, the observable manifestations of ecosystem processes that ecosystems provide and without which human civilizations could not thrive. Recognition that ecosystems or ecosystem services are valuable, it is necessarily to quantify their value. Ecosystem services and how to assess their value have become the researching hot spots in the fields of ecology and ecological economics. This book is aimed at the key to the questions of the study on the ecosystem services value. Through penetrating analysis of the connotation of the ecosystem services value, a new theoretical framework has been advanced. The framework is composed mainly of economic value, emergy value and footprint value of ecosystem services. The innovative study have made on ecological risk evaluation by integrating the quantification of the value of ecosystem services with the model of risk analysis, and case study have made. The main research works are as follow:

(1) As the human population has grown and the power of technology has expanded, the scope and nature of this modification has changed drastically. Many ecosystems are dominated directly by humanity. The conceptual challenges of valuing ecosystem services involve explicit description and adequate assessment of the link between the structure and function of ecosystems and the goods and services derived by humanity.

The first step towards a comprehensive assessment of ecosystem goods and services involves the translation of ecological complexity (structures and processes) into a more limited number of ecosystem functions. These functions, in turn, provide the goods and services that are valued by humans. In this book, ecosystem function is explicitly defined as the capacity of natural processes and components to provide goods and services that satisfy human needs, directly or indirectly. Here, ecosystem functions are grouped into four primary categories: regulation functions, habitat functions, production functions and information functions.

(2) The major methods that are currently available for estimating economic (monetary) values for ecosystem services are outlined. These methods are all based on a total economic value framework. These methods are grouped two categories: revealed preference methods and stated preference methods. The market valuation method, shadow engineering method, opportunity cost method and substitute expense method are used to value the functions of the forest ecosystem services of Qilian Mountain national natural reserve. The valuation results reveal that the average annual total economic value of the reserve is 4.58×10^9 Yuan (Chinese RMB), of which, the direct value is 2.06×10^8 yuan, the indirect value is 4.37×10^9 yuan.

(3) Emergy analysis has been developed over the past 20 years by H.T.Odum. Emergy measures both the work of nature and that of human in generating products and services, as a science-based evaluation system that represent both natural values and economic values with a simple, universal unit. An Emergy analysis of Gansu ecological-economic systems has performed in order to study its sustainability and emergy use. Indices and ratios of Gansu based on Emergy flow were evaluated and a comparison with indices and ratios of other countries or areas was performed. The Emergy flow of Gansu was divided into 5 parts: Emergy flow of renewable resources, Emergy flow of products of renewable

resources, Emergy flow of non-renewable resources, Emergy flow of money and Emergy flow of waste. In 2000, The total Emergy use of Gansu was 1.41×10^{23} sej, it includes Emergy flow of renewable resources 2.99×10^{22} sej; Emergy flow of non-renewable resources 1.15×10^{23} sej; Emergy flow of import 1.03×10^{21} sej; Emergy flow of export 4.24×10^{21} sej. Emergy flow of money was 1.08×10^{23} sej, Emergy flow of waste 8.51×10^{20} sej. Some main indices and ratios of Gansu based on Emergy flows were performed: Emergy self-sufficiency ratio was 99.27%. Emergy per person was 5.62×10^{15} sej. Emergy density was 3.11×10^{15} sej/m². Emergy/dollar ratio was 1.19×10^{13} sej/\$. Ratio of Electric Power to total Emergy use was 11.36%. Environmental loading ratio was 3.8672.

(4) Ecological footprint has been developed by Wackernagel and Rees. To translate the supply of natural services into the understandable concept of areas is the main idea of ecological footprint. Here, the yields of four ecosystem types: arable land, pasture, forestland, and water area are translated into the areas. These area amounts are regarded as the ecological footprint value of ecosystem services. We select Gansu province in western China, as an example for application of our study. The results shows that the per capita ecological footprint value of Gansu province was 1.2129 hm^2 , of which, arable land value was 0.2929 hm^2 , forestland value was 0.0152 hm^2 , pasture value was 0.9010 hm^2 , and water value was 0.0039 hm^2 . Some researchers claim that emergy assessments can be converted into numerical values of space equivalents, providing another venue for calculating ecological footprints. In this book, a new method of ecological footprint calculation-emergy footprint is presented, based on the emergy analysis. To demonstrate the mechanics of this new method. We select Gansu province in western China, as an example for application of our study. The results show that the carrying capacity of Gansu province was 3.8326 hm^2 . The ecological footprint of Gansu province in the year 2000 was $5.1538 \text{ hm}^2/\text{cap}$. With 12% set aside for

biodiversity protection, the carrying capacity of Gansu province dropped from $3.8326 \text{ hm}^2/\text{cap}$ down to $3.3727 \text{ hm}^2/\text{cap}$. We can draw this conclusion: the ecological footprint of the region is larger than the carrying capacity. Consequently, the regional ecological deficit was 1.7811 hm^2 . Through the comparison with the conventional ecological footprint, the emergy footprint has more practicality and manipulation.

(6) Ecological risk analysis is a new marginal subject that studies issues on risk theory, modern ecology and environmental science, etc. Currently, quantitative assessing and integrative study of ecological risk is a significant issue in the world. At the macrocosm scale, I have a practice study on risk analysis based on the value of ecosystem services by integrating the quantification of the value of ecosystem services with the model of risk analysis. I establish an ecological risk analysis models: the model of ecological value at risk (EVR) and the information diffusion model. Based on the models and the method for evaluating the value of ecosystem services: emergy value of ecosystem services, I select Gansu province in western China, as an example for application of our study. According to the historical data (1980-2001), I calculate the emergy value of ecosystem services in Gansu province and use the EVR model to estimate value of ecosystem services at risk under certain confidence level. First, we calculate the value of EVR. Such as the confidence level is 95%, the value of EVR of the emergy value is $6.30 \times 10^{21} \text{ sej}$. Secondly, we evaluate the risk index of Gansu's ecosystems. Finally, we evaluate the estimated value of ecosystem services at risk. when the given emergy value is $4.00 \times 10^{21} \text{ sej}$, the estimated value is 0.6685. It means that the probability of the emergy value at risk in next year bigger than $4.00 \times 10^{21} \text{ sej}$ is 0.6685. As was stated above, it provides theoretical data and quantitative analysis data for the sustainable development of the Gansu province.

目 录

序 / I

前言 / I

Foreword / V

第一章 绪论 / 1

1.1 人类活动对生态系统的影响 / 2

1.2 生态系统服务价值量化的意义 / 20

1.3 生态系统服务价值研究进展 / 22

第二章 生态系统结构与功能 / 25

2.1 概论 / 25

2.2 生态系统功能 / 26

2.3 生态系统服务的特点 / 35

2.4 生态系统服务评价的主要问题 / 37

第三章 生态系统服务的经济（货币）价值 / 45

3.1 总经济价值 / 45

3.2 量化生态系统服务经济价值的必要性 / 49

3.3 生态系统服务经济价值的评估方法 / 50

3.4 案例研究 / 56

第四章 生态系统服务的能值价值 / 59

- 4.1 能量分析的概念 / 59
- 4.2 能量流动和能量等级 / 61
- 4.3 能值分析理论与方法 / 66
- 4.4 环境资源的能值评估——以水资源为例 / 83
- 4.5 案例研究 / 87

第五章 生态系统服务的足迹价值 / 101

- 5.1 生态足迹的理论和模型 / 101
- 5.2 生态足迹研究方法进展 / 110
- 5.3 生态足迹计算新方法——能值足迹 / 111
- 5.4 生态系统服务的足迹价值——案例研究 / 120

第六章 生态系统服务价值的生态风险研究 / 123

- 6.1 生态风险分析的数学模型 / 124
- 6.2 案例分析 / 128
- 6.3 讨论 / 132

第七章 主要研究结果与展望 / 135

参考文献 / 139

第一章 绪 论

生物圈和生态系统是一种复杂的生命支持系统，是人类赖以生存和发展的物质基础，它提供了人类所必需的一切资源和环境条件。除了人们早已了解的实物型生态产品，如各种食物、木材、药材、工业用原材料等，生态系统还向人类提供着更多类型的非实物型生态服务，如水的净化、地下水的交换、营养物质的循环、废弃物的分解、气候调节、生物多样性保持等。生态系统服务（ecosystem services）是指对人类生存和生活质量有贡献的生态系统产品（goods）和服务（services）。这里的产品是指在市场上用货币表现的商品，服务是不能在市场上买卖、但具有重要价值的生态系统的功能，如净化环境、保持水土、减轻灾害等。离开了生态系统对于生命支持的服务，人类的生存就要受到威胁，全球经济的运行也将会停滞。人类社会已经意识到了生态系统的这种生命支持功能，没有它人类社会文明将不复存在（Daily 1997; Naeem et al, 1999）。不管我们是否承认它，生态系统服务都是客观存在的。生态系统服务是与生态过程紧密结合在一起的，这种过程包括生态系统物理的、生物的，以及化学的各种过程。在自然界的运转中，充满了各种生态过程，同时也产生了各种各样的服务，由于这些服务在时间上是不间断的，因此从某种意义上讲生态系统服务的价值是无限的，全部人类社会的可持续发展都依赖于生态系统服务。尽管如此，在实际生活中人类却经常将生态系统服务的价值视为零（Bingham et al, 1995; Postel and Carpenter, 1997）。人类社会在发展的进程中总是面临着如下选择困境：进一步扩大人类社会经济活动还是保持或恢复生态系统，特别是当这种人类活动与生态系统恢复或保

持发生冲突时,这个矛盾显得尤为突出。面对这种局面时,正确评价二者的价值及合理比较二者的价值就势在必行,虽然有时最终的决定因素并非是生态系统服务的价值,但我们也不能忽略生态系统服务价值的重要作用。

1.1 人类活动对生态系统的影响

地球上的所有生物都生存在一定的环境之中,并改变着影响其生存的环境,人类也不例外。一方面,人类社会从环境中获取各种所需物质、能源;另一方面,人类又不断地改变着地球的环境。随着人口的增长、技术的进步,人类活动对生态系统的影响是空前的。地球上没有一处生态系统没有受到人类的影响(图 1—1 Peter et al, 1997)。人类活动对生态系统的影响可分为积极影响和消极影响两种(郑华等, 2003)。积极影响包括生态系统管理,生态系统恢复与重建等;消极影响包括土地变化,不合理水资源开发与利用,森林砍伐,能源消耗,放牧,捕鱼与狩猎,城市化等。应该注意的是,人类活动对生态系统的影响是极其复杂的,一种人类活动方式可以影响生态系统的多种功能,而一种生态系统的影响也可以由多种人类活动所导致。人类活动改变土地类型(通过农业耕作,林业生产,以及城市化发展等),改变地球生物化学循环,引起生物物种的引入与消失等。许多变化相当可观并可以确定其数量,而且这种变化还在不断继续,将进一步影响未来生态系统的功能。变化中特别值得注意的是全球气候变化,以及无法恢复的生物多样性的丧失。

生态系统——湿地、森林、草地、海洋等为人类提供了广泛的必需产品与服务,它们是人类及地球上所有生物的生命支持系统。生态系统提供的产品与服务的变化是人类了解生物多样性、气候、土地转型、水循环、臭氧层及长期潜在严重后果的关键环节。人类社会的生存发展依赖于生态系统服务,也只能依赖于此。人们已经意识到生态系统为人类提供的各种产品的重要性,但对于生态系统的另一类重要