

# 关于生态系统服务功能的几个科学问题

郭中伟 甘雅玲\*

(中国科学院动物研究所, 北京 100080)

**摘要:** 生态系统服务和产生这些服务的自然资本对于地球生命保障系统是至关重要的。它们直接或间接为人类提供了利益, 并因而成为这个星球整个经济价值的一部分。本文讨论了关于生态系统服务功能研究的 4 个科学问题: 即生态系统服务功能的精确定性、定量和定位, 生态系统服务功能的空间转移, 生态系统服务功能与生态安全, 以及生态系统服务功能的持续利用。生态系统结构的异质性导致生态系统服务功能出现了空间上的异质性, 因此生态系统服务功能的精确定性、定量和定位就十分重要了。生态系统服务功能的空间转移是指一些服务功能可能会通过某些途径, 在空间上转移到系统之外的具备适当外部条件的地区并产生效能。这种特性使得生态系统服务功能可以在比其栖息地大得多的范围内产生经济价值。生态系统服务功能为人类提供了生存保障, 它们的能力取决于生态系统中的生态资本存量, 而生态资本存量的多少反映了一个国家可持续发展能力的大小。一个生态系统的生态资本存量与该系统的结构和功能密切相关, 因此, 生态系统服务功能受威胁状态就引发了生态安全问题。在许多区域, 生态资源已经成为稀缺资源。为了持续利用生态资源, 应该鼓励当地居民以经营生态系统服务为主要手段来发展经济, 实现生态系统服务管理产业化。这 4 个关于生态系统服务功能的科学问题是相互关联的。讨论它们的目的是在于探索深入研究生态系统服务功能的切入点。

**关键词:** 生态系统服务, 空间异质性, 空间转移, 生态安全, 持续利用

中图分类号: Q14      文献标识码: A      文章编号: 1005-0094(2003)01-0063-07

## Some scientific questions for ecosystem services

GUO Zhong-Wei, GAN Ya-Ling\*

*Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*

**Abstract:** Ecosystem services and the natural capital stocks that produce them are critical to the functioning of the Earth's life-supporting system. They contribute to human welfare, both directly and indirectly, and therefore represent part of the total economic value of the planet. Four scientific questions about the functions of ecosystem services are discussed in this paper. They are: 1) study of the integration, amount and spatial location of functions of ecosystem services; 2) the spatial transfer of functions of ecosystem services; 3) the relationship between ecosystem service and ecological security; and 4) the sustainable use of ecosystem services. The heterogeneity in the structure of ecosystem's results in heterogeneity of their functions. Consequentially, there is spatial heterogeneity in the functions of ecosystem services. Thus, it is necessary to analyze the functions of ecosystem services by qualitative, quantitative and spatial means. Some functions of ecosystem services can be transferred spatially by various methods, and produce benefits at areas far removed from their habitats and range of suitable conditions. This phenomenon is called spatial transfer of ecosystem services. Thus, characteristic ecosystem services can bring economic values to a region of larger area than that covered by the ecosystem's habitats. Ecosystem services provide supporting system for humans, and their strengths depend on ecological capital stock. Ecological capital stock illustrates the capability of sustainable development of a country. Ecological capital stock of an ecosystem relies in turn on the function and the structure of the ecosystem. Endangerment of ecosystem service raises a question for ecological security. In many regions ecological resources are rare. To use ec-

基金项目: 国家自然科学基金项目( #30270266 ), 中国科学院知识创新工程领域前沿项目和中国科学院知识创新工程重要方向项目( KSCX2-SW-103 )

收稿日期: 2002-04-27; 接受日期: 2002-11-13

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: ganyl@panda.ioz.ac.cn

ological resources sustainably, local communities should be urged to develop their economies by means of managing ecosystem services, i. e., to industrialize the management of ecosystem services. These four scientific questions for ecosystem services are related to each other. The aim of discussing them is to focus study on ecosystem services in the future.

**Key words:** ecosystem service, spatial heterogeneity, spatial transfer, ecological security, sustainable use

## 1 前言

生态系统服务和产生这些服务的自然资本对于地球生命保障系统是至关重要的:它们直接或间接为人类提供了利益,并因而成为全球整个经济价值的一部分。自20世纪80年代以来,生态学家已经试图去分析不同类型的生态系统服务及其价值(Cacha, 1994; McNeely, 1993; Robert, 1993; Titus, 1992)。Peters *et al.* (1994)分析了巴西亚马逊热带雨林所提供的生态系统服务,提出了该地区热带雨林的利用对策。Pearce *et al.* (1994)讨论了生物资源经济价值评估的意义和方法,并且列举了一些热带雨林、湿地、台地和海洋生态系统的服务及其价值。Pimentel *et al.* (1997)对国际上有关自然资本与生态系统服务价值的研究结果进行了汇总,并对世界生物多样性与美国生物多样性的经济价值进行了比较。最具代表性的是Costanza *et al.* (1997)对世界的生态系统服务及其所产生价值的研究。我国的生态学家也已经开展了有关的研究(黄兴文,陈百明,1999; 欧阳志云等,1999; Guo *et al.*, 2000; 陈仲新,张新时,2000; 肖寒等,2000; Guo *et al.*, 2001; 吴刚等,2001)。从目前来看,所开展的研究项目多数是普查性的,即对一个区域内的生态系统服务功能进行概述式的研究。这在生态系统服务功能研究的初期阶段是十分必要的,它可以使公众对生态系统服务有所了解,对唤起公众对生态系统资源的保护意识发挥了不可缺少的作用。但是随着人们对生态系统服务功能认识的不断深入,相应的研究也要不断深入。本文针对几个与生态系统服务功能有关的科学问题进行了初步讨论,目的在于探索深入研究生态系统服务功能的切入点。

## 2 4个值得重视的科学问题

### 2.1 生态系统服务功能的精确性、定量和定位

生态系统中生物多样性的空间异质性是普遍存

在的。生态系统结构的空間異質性導致了功能或生態學特性上的空間異質性,而後者又使得生態系統服務功能出現了空間異質性,任何一類生態系統即便擁有較單一的植被類型,也會由於棲息地中土壤、地形等的空間異質性而出現服務功能的空間異質性,因此生態系統服務功能的精確性、定量和定位就十分重要了。需要指出的是:目前關於生態系統服務功能的研究大多數沒有考慮生態因子空間異質性的影響,僅是將生態系統作為均一整體來研究。今后的研究趨勢應該是:根據研究區域的生態、氣候和地理特性和空間異質性,將各類生態系統劃分成不同的複合體,如植被-土壤-地形複合體等。首先在小尺度上分析各類型複合體的结构和功能,然後耦合各類複合體的功能,綜合評價較大尺度上的一類生態系統服務的功能。以位於長江流域的湖北省興山縣為例:該縣的植被、土壤和地形存在着空間異質性。通過疊加分析,整個縣可以被分成90類植被-土壤-坡度複合體(表1),每一類複合體具有特定的生態系統服務功能。在水調節的功能方面,90類植被-土壤-坡度複合體中,最大與最小能力之間相差900倍,而土壤保持能力更是相差1540倍(見圖1)(Guo *et al.*, 2001)。由此可見,生態因子的空間異質性對生態系統服務功能可以產生相當大的影響。

生態系統服務功能的精確性、定量和定位充分考慮到生態系統內部服務功能的空間異質性,有利於精確評價服務功能和標定各類服務的空間格局。其意義就在於將定性與定量相結合的研究提升到定性、定量和定位的“三結合”研究。這種研究方法不但能夠回答生態系統服務功能的性質和數量,而且也指出了其空間位置,這對於了解生態系統中生物多樣性的組成對生態系統服務功能的影響是十分必要的。此外,定位也為精確性和定量奠定了基礎,因為一類在空間上精確標定的複合體更有利於對其生態系統服務功能進行定性和定量(因為與

表 1 湖北省兴山县生态复合体类型  
Table 1 Types of eco-complexes in Xingshan County , Hubei Province

|   | 密林<br>Dense forests | 疏林<br>Open forests | 灌丛<br>Shrubs | 草丛<br>Grasses | 果林<br>Orchards | 农作物<br>Crops |
|---|---------------------|--------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|
| 黄棕壤 + 坡度 < 15°<br>Yellow brown soil + Slope < 15°         | ○                   | ★                  | ○            | ○             | ○              | ○            |
| 黄棕壤 + 坡度 15° ~ 25°<br>Yellow brown soil + Slope 15° ~ 25° | ○                   | ☆                  | ☆            | ★             | ○              | ○            |
| 黄棕壤 + 坡度 > 25°<br>Yellow brown soil + Slope > 25°         | ○                   | ★                  | ★            | ○             | ○              | ○            |
| 黄壤 + 坡度 < 15°<br>Yellow soil + Slope < 15°                | ○                   | ○                  | ○            | ○             | ○              | ○            |
| 黄壤 + 坡度 15° ~ 25°<br>Yellow soil + Slope 15° ~ 25°        | ○                   | ○                  | ○            | ○             | ○              | ○            |
| 黄壤 + 坡度 > 25°<br>Yellow soil + Slope > 25°                | ○                   | ○                  | ○            | ○             | ○              | ○            |
| 石灰土 + 坡度 < 15°<br>Lime soil + Slope < 15°                 | ○                   | ☆                  | ○            | ○             | ○              | ○            |
| 石灰土 + 坡度 15° ~ 25°<br>Lime soil + Slope 15° ~ 25°         | ○                   | ☆                  | ★            | ★             | ○              | ○            |
| 石灰土 + 坡度 > 25°<br>Lime soil + Slope > 25°                 | ○                   | ○                  | ☆            | ○             | ○              | ○            |
| 紫色土 + 坡度 < 15°<br>Purple soil + Slope < 15°               | ○                   | ○                  | ○            | ○             | ○              | ○            |
| 紫色土 + 坡度 15° ~ 25°<br>Purple soil + Slope 15° ~ 25°       | ○                   | ○                  | ○            | ○             | ○              | ○            |
| 紫色土 + 坡度 > 25°<br>Purple soil + Slope > 25°               | ○                   | ○                  | ★            | ○             | ○              | ○            |
| 水稻土 + 坡度 < 15°<br>Rice soil + Slope < 15°                 | ○                   | ○                  | ○            | ○             | ○              | ○            |
| 水稻土 + 坡度 15° ~ 25°<br>Rice soil + Slope 15° ~ 25°         | ○                   | ○                  | ○            | ○             | ○              | ○            |
| 水稻土 + 坡度 > 25°<br>Rice soil + Slope > 25°                 | ○                   | ○                  | ○            | ○             | ○              | ○            |

○ :面积小于 50 km<sup>2</sup> Area < 50 km<sup>2</sup> ;★ :面积为 50 ~ 100 km<sup>2</sup> Area 50 ~ 100 km<sup>2</sup> ;☆ :面积大于 100 km<sup>2</sup> Area > 100 km<sup>2</sup>

面积有关 ,而更具有重要意义 ) ,并且也能够为实现生态系统服务的“ 按质论价 ”奠定基础。

精确地定性、定量和定位是生态系统服务功能研究的必然趋势 ,它提供了一种认识生态系统的途径 ,通过它可以了解“ 系统结构—系统功能—系统服务 ”的关系。它要求研究者能够在众多的生态因子中 ,根据所研究的生态系统类型确定关键因子。生态系统服务功能的精确定性、定量和定位需要通过“ 数字化生态系统 ”来实现。利用数字化生态系统可以分析生态特性的空间异质性 ,划分各种生态因子组合形成的复合体。利用这些生态复合体可以实现复合体镶嵌所形成的生态系统服务综合功能的定性、定量和定位分析 ,这些生态复合体还为进一步研究诸如生物多样性状况、人类活动和生物灾害对

生态系统服务功能的影响等十分有意义的课题奠定了基础 ,利用它们还可以开展生态系统服务的功能区划分的研究。

## 2.2 生态系统服务功能的空间转移

生态系统服务功能的空间转移是指一些服务功能可能会通过某些途径在空间上转移到系统之外的具备适当外部条件的地区并产生效能( 郭中伟 , 1997 )。图 2 描述了这种现象 :位于河流上游的森林生态系统所提供的涵养水源、调节河流量的服务功能 ,以河流为通道 ,实现了在空间上的转移 :水电站需要更均衡的水流量以提高发电效益 ;农田需要更充足的水用于灌溉以提高产量 ,城市需要更优质、更充沛的生活和生产用水以提高城市的生活和生产质量 ,因而森林生态系统所提供的涵养水源、调节河流

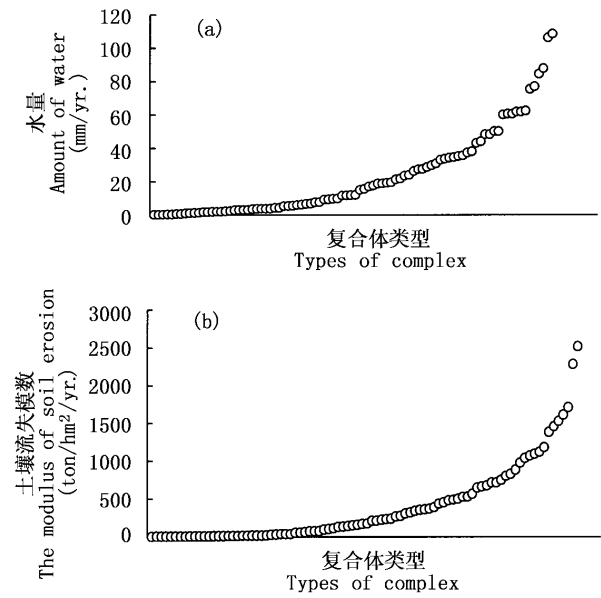


图1 湖北省香溪河流域中不同类型生态复合体的水保持能力(a)和土壤保持能力(b)  
Fig.1 The capacities of water retention (a) and the moduli of soil erosion (b) in various complexes in the watershed of the Xiangxi River , Hubei Province

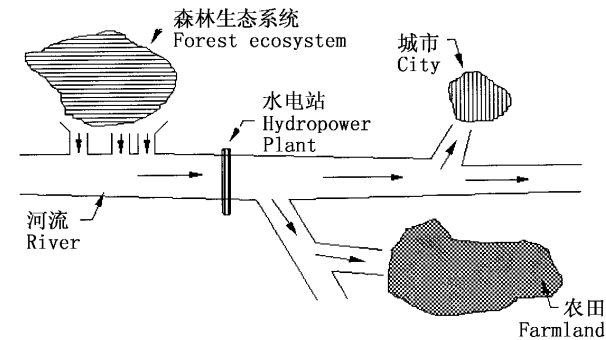


图2 生态系统服务功能在空间上的转移  
Fig.2 Transfer of function of ecosystem service over space

量的服务分别在水电站、农田和城市产生了效能。

为什么会出现生态系统服务功能的空间转移呢？需要说明的是：生态系统服务功能并不等同于生态系统功能。一类生态系统服务功能可能是几种生态系统功能的综合产物；而一类生态系统功能也可能提供多种生态系统服务。Costanza *et al.* (1997)曾列出它们之间的关联。依照“系统结构—系统功能—系统服务”的关系，一定的生态系统结构能形成一定的生态系统功能，这一过程在同一空间上实现，但是从生态系统功能到生态系统服务却可能发生在不同的空间上，如从栖息地内部到外部。

生态系统服务的形成往往要有一个积累过程，空间转移就常常是其积累的过程。森林系统所流出的溪流要在流动中汇集成河流就是一个例子。而为了利用这类生态系统服务又需要一个转化过程，譬如为了利用河流量，就必需建造水电站。通常实现转化的设施与生态系统的栖息地之间存在着空间差。积累与转化这两重因素就导致了生态系统服务功能的空间转移。许多重要的生态系统服务功能(如水土保持等)都具有空间转移的特性，这种特性使得生态系统服务功能能够在比其栖息地大得多的范围内产生经济价值；而转移的载体、过程、方向和强度及相应的转化上的差异能够导致生态系统服务功能上的差异。

生态系统服务功能在空间上的转移使得生态系统服务功能能够在远离栖息地的地方产生效益。以兴山县为例：该县境内的香溪河和凉台河两大水系，每年产水量为20.96亿m<sup>3</sup>，均流入长江。就水量调节的功能来说，该县森林生态系统每年可以促进葛洲坝水电站增加发电效益885万元(表2)(郭中伟等，1998)。然而，空间上的转移也会导致生态系统资源在拥有与使用上的分离，这种分离使得当地居民无法从被转移出去的生态服务中获得利益，如兴山居民就无法从葛洲坝水电站所增加的发电量中获得收益。

生态系统服务功能在空间上的转移引发出一些新的研究课题，如：生态系统服务功能空间转移的机

表2 湖北省兴山县生态系统调节水量的生态服务  
Table 2 Ecosystem services for flow regulation in Xingshan County , Hubei Province

| 生态系统服务<br>Ecosystem services  | 枯水期<br>Dry period | 洪水期<br>Flood period | 全年<br>All year |
|---|-------------------|---------------------|----------------|
| 释放水量 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )<br>Water released  | 150.04            |                     |                |
| 截留水量 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )<br>Water retained  |                   | 324.77              |                |
| 增加流量 (m <sup>3</sup> /s)<br>Flow increased  | 19.3              |                     |                |
| 减少流量 (m <sup>3</sup> /s)<br>Flow decreased  |                   | 41.77               |                |
| 增加葛洲坝水电站的发电量<br>Increase in the output of Gezhouba<br>Hydropower Plant (10 <sup>6</sup> kW · h) | 25.51             | 12.99               | 38.5           |
| 调节水量的经济价值(万元/年)<br>Economic value of water flow<br>regulation                                   |                   |                     | 885.45         |

理、载体、过程、途径、方向和强度,转移中发生的转化、转移的辐射范围和影响等。分析生态系统服务功能空间转移的特性对于了解、使用和管理生态系统服务是非常重要的,但目前相关的研究还很少。开展生态系统服务功能空间转移性的研究,有望获得创新性的研究成果。

### 2.3 生态系统服务功能与生态安全

生态系统服务功能为人类提供了生存保障,它们的强弱取决于生态系统中的生态资本存量,而生态资本存量的多少反映了一个国家可持续发展能力的大小。一个生态系统的生态资本存量与该系统的结构和功能密切相关。因此,生态系统服务功能受威胁的状态就会引发生态安全问题。所谓“生态安全”是指一个生态系统的结构是否受到破坏,其生态系统功能是否受到损害。生态安全的显性特征之一是生态系统服务功能的状态:当一个生态系统服务功能出现异常时,表明该系统的生态安全受到了威胁,处于“生态不安全”状态。因此“生态安全”包含着两重含义:其一是生态系统自身是否是安全的,即其自身结构是否受到破坏;其二是生态系统对于人类是否是安全的,即生态系统服务功能是否能提供足以维持人类生存的可靠生态保障(郭中伟, 2001)。实现生态安全,主要是保持土地、水源、天然林、动植物物种资源、大气等“自然资本”的保值增值和可持续利用,使之适应于国民教育水平、健康状况所体现的“人力资本”以及机器、工厂、建筑、水利系统、公路、铁路等体现的“创造资本”持续增长的配比要求,避免因自然资源衰竭、资源生产率下降、环境污染和退化给社会生活和生产造成短期灾害和长期不利影响,实现经济社会的可持续发展<sup>①</sup>。生态系统服务功能与生态安全是密切相关的,生态系统的结构与功能和人类的活动是互动的,并且在这种互动中产生了生态安全问题。

生态安全是国家安全的重要组成部分。目前,我们正面临着两个全球性的问题,即全球气候变化和全球经济一体化。全球气候变化正在使生态系统的结构发生着变化,生态安全(生态保障)能力也会随之发生相应的变化,虽然变化趋势尚不十分清楚。全球经济一体化使资源出现全球化配置,这其中也不可避免地包括了生态资源。在加入 WTO 并介入资源全球化配置后,我国面临着如何利用外部资源以及如何维护自身生态资本存量的问题。因而,生

态资源现状对我国未来经济发展的影响,生态系统对维持我国社会经济体系的保障能力等问题亟待研究。此外,影响生态安全的因素在国际间扩散的机会也在增大,生态安全可能会引发争端(如为争夺生态资源而引发局部冲突),而争端也会威胁到生态安全(如战争或恐怖活动对生态系统的破坏导致生态保障能力的减弱)。在全球气候变化和全球经济一体化的前提下,研究生态安全具有十分重要的现实意义。两个全球性的问题使我国生态安全的未来充满了变数,使国家的生态系统服务功能面临着更大的挑战。而我国的生态安全现状却令人担忧,1998 年长江特大洪水和近年波及广大地区的沙尘暴已经证明了这一点。将生态系统服务功能的研究提升到维护国家生态安全的高度是具有深远意义的。

把对生态系统服务功能的研究关联到生态安全引发了若干新的科学问题:如生态资本存量与生态系统服务功能的关联、影响生态安全的生态系统服务功能的类型、生态系统服务功能空间格局对生态安全格局的影响、生态系统服务功能的状况与生态安全阈值、社会经济发展对生态系统服务功能的需求、生态系统对社会经济体系的保障能力、依时间序列反映生态系统服务功能所受威胁的“类型-强度-空间位置”效应。此外,生态系统服务功能的受损害模拟、评估和预测也将是生态安全评价体系和预警系统的重要内容和组成部分。

总之,面对全球气候变化和全球经济一体化,将生态系统服务功能的研究与生态安全的维护相结合,能够使生态学直接服务于国家重大问题,能够使生态学的研究置于社会经济背景中并服务于国家安全,能够为国家制订社会经济和生态环境发展规划提供科学依据。

### 2.4 生态系统服务功能的可持续利用

研究生态系统服务功能的一个重要目的就是探讨可持续利用的原理,其中关键是建立一个可行的可持续利用机制。根据前面的讨论我们知道:生态系统服务功能的空间转移导致了生态系统资源在拥有与使用上的分离,这种分离有可能使得当地居民无法从生态系统中获得利益,出现了所谓的“利益

<sup>①</sup> 王韩民,郭玮,程淑兰,王前进. 全力维护国家生态安全,努力改善生态环境质量. 科技日报,1999 年 4 月 3 日

获取的失误”。仍以兴山县为例,该县林地面积占全县土地面积的 71%,森林覆盖率达 60.3%,高于全国平均数的 4 倍,然而当地居民却无法从中获得收益。目前该县的国民经济总值低于全省的平均值。尽管兴山县经济落后的原因是多种多样的,但拥有大面积的森林却无法获得更多的利益不能说不是一个重要的原因。在很多情况下,这种分离实质上否定了资源拥有者为保护生态资源所付出的劳动,剥夺了他们应该获得的利益。从目前来看,绝大多数对生态系统的破坏(常常在“开发”的名义下进行)是因为“利益获取的失误”所致。生态系统资源的拥有与使用上的分离成为持续利用生态系统资源的障碍:由于无法从保护中获得利益,当地居民对保育生态系统资源失去积极性,最终导致可持续利用的落空。

但是,当我们换个角度看“拥有与使用的分离”时会发现:它能使生态系统服务功能的商品化成为可能。这种分离使得资源的拥有者可以向他人输出生态系统服务,使用者可以通过利用这些生态系统服务功能获得利益(像前面谈到的葛洲坝水电站)。为了回报拥有者对保育生态资源所付出的劳动,使用者将其所获得的利益与拥有者共享,那么拥有者通过提供生态系统服务也获得了收益。这样,生态系统服务实现了商品化。在人类社会发展的现阶段,生态系统服务商品化是不可避免的,特别是在我国,生态资源已经成为稀缺资源的情况下。为了持续利用生态资源,应该大力鼓励当地居民以经营生态系统服务为主要手段来发展经济,实现生态系统服务管理产业化。只有让当地人能够从他们对生态系统的保育中获得经济收益,生态系统才能真正得到保育。像建设工业或农业基地一样,在一些生态系统资源丰富的地区建设“生态系统服务基地”,让生态系统成为生产资料,将生态系统服务作为产品向外输出,从而形成一个新的产业——“生态业”。届时,为了获得更多的经济效益,当地居民就必须更好地保育生态系统,生态和经济效益就可以统一起来。

近几年来,生态系统服务经济价值的评价一直是生态系统服务功能研究的一个热点(Tobias & Mendelsohn, 1991; Common, 1996; Munasinghe, 1994; Hyde & Kanel, 1994; 蒋延玲,周广胜,1999; 谢高地等,2001)。而生态系统服务基地的建设对

有关生态系统服务经济价值评价的研究提出了新的要求。以往的评价多是笼统和粗放的,无法实现对生态系统服务功能的“按质论价”,因此需要一种更精确的评价方法(郭中伟,李典谟,1998,1999)。建立在供需关系上的利益共享机制是生态系统服务产业化的关键,如何为生态系统服务定价将是生态经济学的新课题。此外,生态系统服务功能富集区的标定、不同类型生态系统服务基地在不同区域中的空间分布格局和规模、生态系统服务基地的规划和管理等也都将成为新的研究课题。

3 结束语

本文讨论了 4 个关于生态系统服务功能的科学问题,它们之间是相互关联的:生态系统服务功能的精确性、定量和定位为研究其他 3 个问题提供了必要的方法;空间转移是生态系统服务功能的重要特性,这个特性引出了生态安全和生态系统服务基地的建设问题;研究生态安全对国家社会经济发展和安全具有重要影响,使研究成果可以直接服务于国家目标;生态系统服务基地充分利用了生态系统服务功能的空间转移的特性,为生态系统资源的可持续利用和维护生态安全提供了一条新的途径。我们认为开展相关的研究能够丰富生态学理论,有利于建立生态资源可持续利用的机制和维护国家生态安全。

本文中所讨论的内容是我们在几年的研究实践中,对深入发展生态系统服务功能的研究进行的一些思考。希望这些看法能够为生态系统服务功能的深入研究提供一些启示。

参考文献

Cacha M D M, 1994. Starting resource accounting in protected areas. In: Munasinghe M and J McNeely (eds.), *Protected Area Economics and Policy*. IUCN, Cambridge, 151 ~ 157  
Chen Z X (陈仲新) and X S Zhang (张新时), 2000. The value of Chinese ecosystem benefits. *Chinese Science Bulletin (科学通报)*, **45**(1): 17 ~ 22 (in Chinese)  
Common M, 1996. *Environmental and Resource Economics: An Introduction*. Longman, London, 309 ~ 359  
Costanza R, R d'Arge, R Groot, S Farber, M Grasso, B Hannon, K Limbury, S Naeem, R V O'Neill, J Paruelo, R G Raskin, P Sutton and M V D Belt, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**(15): 253 ~ 260  
Guo Z W (郭中伟), 1997. Transfer of value of biodiversity and

method of valuation of process-benefit. *Science and Technology Review* (科技导报), **10**: 58 ~ 60 (in Chinese)

Guo Z W (郭中伟), 2001. To build the early warning and maintaining system of national ecological security. *Science and Technology Review* (科技导报), **1**: 54 ~ 56 (in Chinese)

Guo Z W (郭中伟) and D M Li (李典谟), 1998. The economic value of biodiversity. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **6**(3): 180 ~ 185 (in Chinese)

Guo Z W (郭中伟) and D M Li (李典谟), 1999. The basic approaches for valuation of biodiversity. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **7**(1): 60 ~ 67 (in Chinese)

Guo Z W (郭中伟), D M Li (李典谟) and D Yu (于丹), 1998. The assessment of the water regulation of ecosystem—a case study of Xingshan. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), **13**(3): 242 ~ 248 (in Chinese)

Guo Z, X Xiao and D Li, 2000. An assessment of ecosystem service supplied by a Yangtze River watershed: water flow regulation and hydroelectric power production. *Ecological Applications*, **10**(3): 925 ~ 936

Guo Z W, X M Xiao, Y L Gan and Y J Zheng, 2001. Ecosystem functions, services and their values—a case study in Xingshan County of China. *Ecological Economics*, **38**: 141 ~ 154

Huang X W (黄兴文) and B M Chen (陈百明), 1999. The theory of Chinese ecological capital division and its application. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **19**(5): 602 ~ 606 (in Chinese)

Hyde W F and K R Kanel, 1994. The marginal cost of endangered species management. In: M Munasinghe and J McNeely (eds.), *Protected Area Economics and Policy*. IUCN, Cambridge, 171 ~ 180

Jiang Y L (蒋延玲) and G S Zhou (周广胜), 1999. Study on chief forest ecosystem services in China. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), **23**(5): 426 ~ 432 (in Chinese)

McNeely J A, 1993. Economic incentives for conserving: lessons for Africa. *Ambio*, **22**(2 ~ 3): 144 ~ 150

Munasinghe M, 1994. Economic and policy issues in natural habitats and protected areas. In: M Munasinghe and J McNeely (eds.), *Protected Area Economics and Policy*. IUCN, Cambridge, 15 ~ 49

Ouyang Z Y (欧阳志云), X K Wang (王效科) and H Miao (苗鸿), 1999. Study for the functions of Chinese terrestrial ecosystem service and their ecological economic values. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **19**(5): 607 ~ 613 (in Chinese)

Pearce D and D Moran, 1994. *The Economic Value of Biodiversity*. IUCN, Cambridge.

Peters C M, A H Gentry and R O Mendelsohn, 1989. Valuation of an Amazonian rainforest. *Nature*, **339**(29): 655 ~ 656

Pimental D, C Wilson and C McCullum, 1997. Economics and environmental benefits of biodiversity. *BioScience*, **47**(11): 747 ~ 757

Robert K D, 1993. Conservation and sequestration of carbon: the potential of forest and agro-forest management practices. *Global Environmental Change*, **2**: 162 ~ 173

Titus D B, 1992. Using tropical forest to fix atmospheric carbon: the potential in theory and practice. *Ambio*, **21**(6): 414 ~ 419

Tobias D and R Mendelsohn, 1991. Valuing ecotourism in a tropical rain-forest reserve. *Ambio*, **20**: 91 ~ 93

Wu G (吴刚), H Xiao (肖寒), J Z Zhao(赵景柱), G F Shao (邵国凡) and J Li (李静), 2001. The functions of forest ecosystem in Changbaishan Mountain. *Science in China Series C* (中国科学 C 辑), **13**(3): 471 ~ 480 (in Chinese)

Xiao H (肖寒), Z Y Ouyang (欧阳志云) and J Z Zhao (赵景柱), 2000. Forest ecosystem services and their ecological valuation—a case study of tropical forest in Jianfengling of Hainan island. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **11**(4): 481 ~ 484 (in Chinese)

Xie G D (谢高地), Y L Zhang (张钰铨) and C X Lu (鲁春霞), 2001. The value of Chinese natural grassland ecosystem services. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), **16**(1): 47 ~ 53 (in Chinese)

(责任编辑：孙大川)