

# 生态系统服务功能 辨识与评价

IDENTIFICATION AND ASSESSMENT OF ECOSYSTEM SERVICES

战金艳 著

中国环境科学出版社



# 生态系统服务功能 认识与评价

——以森林生态系统服务功能为例——

张林山 著

中国林业出版社

# 生态系统服务功能辨识与评价

战金艳 著

中国环境科学出版社·北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

生态系统服务功能辨识与评价/战金艳著. —北京: 中国环境科学出版社, 2011.9

ISBN 978-7-5111-0668-1

I. ①生… II. ①战… III. ①生态系统—评价—研究  
IV. ①Q147

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 159894 号

责任编辑 孔 锦

责任校对 尹 芳

封面设计 彭 杉

---

出版发行 中国环境科学出版社  
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)  
网 址: <http://www.cesp.com.cn>  
联系电话: 010-67112765 (总编室)  
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂  
经 销 各地新华书店  
版 次 2011 年 9 月第 1 版  
印 次 2011 年 9 月第 1 次印刷  
开 本 787×960 1/16  
印 张 14.75  
字 数 280 千字  
定 价 45.00 元

---

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

# 前 言

20 世纪 60 年代以来,随着资源、环境、人口一系列问题的出现,生态环境问题日益引起全球范围内的关注。面对全球的生态危机,面对环境与发展的巨大挑战,一系列旨在协调人类经济社会活动与自然生态系统关系的研究工作相继展开,生态系统服务功能研究就是其中的重要组成部分。

生态系统及整个生物圈是地球的生命支持系统,是人类赖以生存和发展的物质基础。由于生态系统复杂有序的结构和强大的功能,使得其自身具有较强的维系和调控能力,给人类社会、经济和文化生活提供了许多必不可少的物质资源,给人类提供了良好的生存条件。

但是,在经济社会活动和市场经济机制中,人们往往只注重生态系统提供自然资源的直接消费价值,而忽略了难以货币化的生态系统服务价值。个人、企业和各级政府部门在做计划、管理和其他行动时,忽视自然生态系统的服务功能,在生态系统服务方面做出短视经济行为的决策,导致人类在可持续生存和发展方面付出了巨大代价。经过两百多年的工业化过程,人们逐渐发现,经济发展依赖的资源在逐渐耗竭,人类与其他生物赖以生存的环境在不断恶化。

随着世界范围的资源、环境和人口问题日益加剧,人们越来越深刻地认识到国家经济的发展需要以牺牲环境为代价的这一事实,以及资源稀缺和环境退化对人们的生活质量与国家长期发展能力的影响。但是,长期以来环境价值并没有在国家经济核算中得以体现,资源的耗竭和环境的退化并没有反映在现有的国民经济账户中。

事实表明,人类的可持续发展必须建立在保护地球生命支持系统、维持生物圈和生态系统服务的可持续性基础上。随着对环境保护的重视和可持续发展理念的确立,很多学者和国际组织开始探索考虑环境要素的经济发展指标。1993 年,联合国统计署发布的《综合环境与经济核算手册》首次正式提出了绿色 GDP 的概念:将经济活动中对环境的利用作为追加投入来看待,从原有的经济总量中予以扣除,得到的经过环境因素调整的产出指标,即生态国内产出(EDP)。随后,绿色 GDP 指标的测算及国民经济核算新体系的构建引起了世界各国的普遍关注。

在绿色 GDP 核算中,需要衡量自然资源和环境的价值,而对生态系统服务价值的评估则是自然资源和环境价值核算以及生态环境恢复费用核算的重要组成部分。生态系统服务是指通过生态系统及其中的物种对维系和实现人类生活提供的条件和过程。它不仅为人类提供食品、医药和其他生产生活原料,更重要的是维持了人类赖以生存的生命支持系统,维系了地球生命物质的生物化学循环与水文循环,维系生物物种多样性与遗传多样性,净化环境,维持大气化学的平衡与稳定等。然而,由于人口的增长、技术的进步与经济的高速发展,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了重大影响。生态系统服务功能及其价值评估是实现生态系统的科学经营管理和自然资源可持续利用的重要问题,目前已经成为生态学和生态经济学研究领域的前沿热点课题。鉴于生态系统服务价值评估以及环境退化价值核算的重要性和紧迫性,本书以陆地生态系统(农田、草原、森林、湿地、城市)为对象,在分析生态系统服务功能价值核算方法的前提下,深入探讨陆地生态系统服务及其价值评估的基础理论和方法,构建一套符合我国国情的陆地生态系统服务评估指标体系;根据生态系统不同服务类型,筛选和建立价值评估的核算方法和计算模型。通过陆地生态系统服务价值评估指标体系及评估方法体系的构建,为科学、准确和动态地评估我国陆地生态系统的服务价值奠定了基础;同时,通过在生态系统服务与市场价值体系之间建立桥梁般联系,为决策者提供充分的信息,对社会经济发展、生态环境建设与保护以及各级政府进行宏观决策都具有重要的科学意义。

本书以生态学、生态经济学、自然资源经济学、环境科学等多学科的基本原理为基础,系统地分析生态系统服务功能,结合国内外最新的生态系统服务理论与方法等研究成果,对陆地生态系统服务及其价值评估、退化环境价值核算的理论及方法应用、生态系统服务核心功能的辨识与分区等方面进行了探索性研究。在此基础上,通过案例区的分析,对生态系统服务功能价值评估理论、指标体系、核算方法、核心功能的辨识与分区做了实证分析。

在章节安排上,本书首先论述了生态系统服务功能的概念,阐述了生态系统服务功能的意义。进而详细阐述了当前国内外学者关于生态系统服务功能及其价值评估研究进展,全面概括地分析了生态系统服务功能研究的主要内容,分析了当前生态系统服务功能评估所面临的困难,并对生态系统服务功能研究的未来做了展望。然后从可持续发展的思想出发,基于对陆地生态系统服务内涵的把握,在遵循科学性、系统性、独立性、实用性、可比性等原则的基础上,结合有关专家的现有研究成果,从尽可能量化的角度,

本书构建了一套适合我国国情的农田、森林、草地、湿地与城市陆地生态系统服务功能评估指标体系。接下来详细介绍了生态系统服务功能区划的研究进展、生态系统服务功能区划的概念和内涵、生态系统服务功能区划研究存在的不足、基于空间聚类的生态系统服务功能区划与生态系统服务功能区重要性评价。然后详细介绍了 SIZES（区域生态系统服务功能动态区划系统）的结构设计、系统功能模块、安装及配置、应用前景与存在的问题与建议。其中，重点介绍了 SIZES 系统功能模块与 SIZES 安装及配置。然后又阐述了生态系统服务功能价值的内涵及分类，并对生态系统服务功能条件价值评价的理论与模型方面做了详细的论述。最后，以庆阳市、锡林郭勒盟草地与鄱阳湖湿地为案例区，开展了生态系统核心服务功能的价值评估，在此基础上，对案例区的核心功能进行了辨识，并进一步对其生态系统核心服务功能进行了分区的研究。这些案例研究能够加深读者对生态系统服务功能的评估的理解，增进读者对生态系统服务功能研究的认识。

目前，对生态系统服务功能的研究方兴未艾，其理论、模型与方法也日新月异，并在实践中不断得到检验、补充与完善。由于时间仓促，受著者视野、水平和条件所限，本书中存在一些不足之处，错误也在所难免。著者在此仅望能抛砖引玉，通过本书的出版，以期与相关领域专家、学者展开广泛研究与交流，并望读者对本书的缺点与不足提出宝贵的意见与建议。

# 目 录

|       |                           |     |
|-------|---------------------------|-----|
| 第 1 章 | 生态系统服务功能的概念和研究意义 .....    | 1   |
| 1.1   | 生态系统服务功能的概念辨析 .....       | 2   |
| 1.2   | 生态系统服务功能研究的重要意义 .....     | 12  |
| 第 2 章 | 生态系统服务功能评估的状况 .....       | 20  |
| 2.1   | 生态系统服务概念的提出 .....         | 20  |
| 2.2   | 千年生态系统评估 (MA) 项目的开展 ..... | 21  |
| 2.3   | 生态系统服务功能评估研究 .....        | 23  |
| 2.4   | 生态系统服务功能评估面临的难题 .....     | 37  |
| 2.5   | 生态系统服务功能的研究展望 .....       | 38  |
| 第 3 章 | 生态系统服务功能评估的指标体系 .....     | 41  |
| 3.1   | 生态系统服务功能评估的目的 .....       | 41  |
| 3.2   | 指标体系的构建 .....             | 41  |
| 3.3   | 农田生态系统服务功能评估的指标体系 .....   | 45  |
| 3.4   | 森林生态系统服务功能评估的指标体系 .....   | 48  |
| 3.5   | 草地生态系统服务功能评估的指标体系 .....   | 53  |
| 3.6   | 湿地生态系统服务功能评估的指标体系 .....   | 60  |
| 3.7   | 城市生态系统服务功能评估的指标体系 .....   | 63  |
| 第 4 章 | 生态系统服务功能的条件价值评价 .....     | 69  |
| 4.1   | 条件价值法的发展 .....            | 69  |
| 4.2   | 生态系统服务功能条件价值评估的理论基础 ..... | 71  |
| 4.3   | 条件价值法的方法学原则 .....         | 76  |
| 4.4   | 生态系统服务功能条件价值估算的基本思路 ..... | 78  |
| 4.5   | 不同生态系统服务功能的条件价值评估 .....   | 80  |
| 第 5 章 | 生态系统服务功能的空间聚类与分区 .....    | 89  |
| 5.1   | 生态系统服务功能区划的研究进展 .....     | 89  |
| 5.2   | 生态系统服务功能区划的概念和内涵 .....    | 92  |
| 5.3   | 生态系统服务功能区划研究存在的不足 .....   | 100 |
| 5.4   | 基于空间聚类的生态系统服务功能区划 .....   | 100 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| <b>第 6 章 生态系统服务核心功能的辨识与分区系统</b>      | 119 |
| 6.1 SIZES 概述                         | 119 |
| 6.2 SIZES 设计                         | 120 |
| 6.3 系统数据预处理                          | 125 |
| 6.4 SIZES 安装及配置                      | 131 |
| 6.5 SIZES 运行及结果输出                    | 134 |
| 6.6 应用前景                             | 136 |
| 6.7 问题及建议                            | 137 |
| <b>第 7 章 甘肃省庆阳市生态系统服务功能的评估</b>       | 138 |
| 7.1 庆阳市生态系统服务功能变化分析                  | 138 |
| 7.2 淤地坝建设及其对改善生态系统服务功能的影响            | 141 |
| 7.3 生态系统服务功能变化的多情景分析                 | 152 |
| <b>第 8 章 锡林郭勒盟草地生态系统核心服务功能的辨识与分区</b> | 169 |
| 8.1 锡林郭勒盟区生态系统的现状                    | 170 |
| 8.2 锡林郭勒盟生态系统服务功能价值评估的指标体系           | 175 |
| 8.3 栅格数据的制备                          | 178 |
| 8.4 锡林郭勒盟区生态系统服务功能价值的评估方法            | 178 |
| 8.5 锡林郭勒盟区生态功能区划                     | 180 |
| 8.6 核心生态系统服务功能及其排序                   | 185 |
| <b>第 9 章 鄱阳湖湿地生态系统核心服务功能的评估</b>      | 187 |
| 9.1 鄱阳湖区概况                           | 188 |
| 9.2 栅格数据的制备                          | 189 |
| 9.3 鄱阳湖湿地生态功能区划的研究                   | 190 |
| 9.4 核心生态系统服务功能的辨识与排序                 | 202 |
| <b>第 10 章 结论与展望</b>                  | 204 |
| 10.1 主要结论                            | 204 |
| 10.2 展望                              | 208 |
| <b>参考文献</b>                          | 211 |
| <b>致 谢</b>                           | 228 |

# 第 1 章 生态系统服务功能的概念和研究意义

生态系统及整个生物圈是地球的生命支持系统，是人类赖以生存和发展的物质基础。由于生态系统复杂有序的结构和强大的功能，使得自身具有较强的维系和调控能力，给人类社会、经济和文化生活提供了许多必不可少的物质资源和良好的生存条件。人类的生存总是依赖于生态系统所提供的各项服务。自然生态系统除了向人类提供着其发展所需的一切资源 and 环境条件（实物生态产品）外，还以丰富的生物多样性向人类提供着更多类型的生态系统服务（即非实物型的生态服务），这些生态系统服务为人类带来了巨大的福利，具有十分重要的经济价值。尽管人类目前可以通过技术进步来缓解日益严峻的环境状况，但是人类的生存最终还是完全要依靠各项生态系统服务的供给来维系。

当前，由于人类对生态系统服务功能的需求极大，因此对生态系统服务功能进行辨识与评价、权衡生态系统的各项服务功能之间的利害关系，已成为一项重要的原则。例如，一个国家可以通过砍伐森林、扩大农田的方式来增加粮食供给。但同时生态系统的其他服务功能也在降低。在未来的几十年里，这些被降低了的生态系统服务功能与粮食生产相比，或许同等甚至更为重要。根据当前的估计，至 2050 年，世界净增的 30 多亿人口和经济发展翻两番的状况，将意味着对生物资源的需求与消费猛增，同时对生态系统及其服务功能的影响也逐步增强。

由于生态系统提供服务功能的能力日益严重衰退，因此解决对生态系统服务功能需求持续增加而引起的问题也变得更加复杂。例如，由于过度捕捞，当前的世界渔业正在衰退；在过去的 50 年中，由于侵蚀、盐碱化、板结、养分耗损、污染及城市化等原因，使得世界范围内 40% 的农业用地出现退化。此外，人类活动对生态系统造成的其他影响，包括由于对氮、磷、硫、碳等元素循环格局的改变而引起的酸雨、藻类泛滥以及河流和沿海水域的鱼类死亡等，此外，对气候变化也产生了巨大作用。虽然知识可以帮助人类实现对生态系统的可持续利用，但是在世界上的许多地方，社区缺乏对有关知识的认识和了解，使上述生态系统服务功能的退化进一步加剧。

我国生态系统退化严重，导致生态系统服务功能不断下降。鉴于此，我国政府相继开展了一系列的生态环境保护项目，其中包括在西部地区实施的“退耕还林、还草”项目，然而这些项目的实施效果如何尚未得知，这就为下一步开展的生态环境保护项目以及宏观决策带来一定的影响。因此，有必要在生态环境保护项目实施之后的一段时间内，

开展项目区或者研究区的生态系统服务功能评估研究,以发现生态环境保护项目的实际效用和存在的问题,为当地的生态环境保护以及决策的制定提供智力支持。

近年来,随着可持续发展研究的深入,人们日益意识到人类的可持续发展必须建立在保护地球生命支持系统、维持生物圈和生态系统服务功能的可持续性的基础上。人类社会的可持续发展从根本上取决于生态系统及其服务的可持续性,因此,研究生态系统服务的经济价值,并将其纳入国民经济核算体系,对促进自然资本开发的合理决策,避免损害生态系统服务的短期经济行为,保护生态系统并最终促进人类社会的可持续发展具有重要的作用。然而,遗憾的是,由于生态系统服务往往通过间接方式影响人类的经济生活,因此,其经济价值并不能通过商业市场反映出来,鉴于其价值的难以量化而往往被忽视。这种忽视导致了人类在对自然资源的开发利用过程中存在着短期行为,造成了对生态环境的严重破坏,最终对生态系统的服务功能造成损害,使生态系统向人类提供的福利日益减少,并直接威胁到人类可持续发展的生态基础。现阶段,生态系统服务功能经济价值的定量评估研究已经成为国内外可持续发展研究的重要内容和焦点,成为生态学与资源经济学、环境经济学与生态经济学研究的交叉前沿领域。开展生态系统服务功能的辨识与评价,完善对地球上生态系统的管理,确保生态系统的保护与可持续利用,是提高人类福祉和推动可持续发展进程的重要保障。

## 1.1 生态系统服务功能的概念辨析

### 1.1.1 生态系统

生态系统包括生物群落和无机环境,它强调的是系统中各个成员的相互作用,几乎是无所不包的生态网络(蔡晓明,2002)。概而言之,生态系统是由植物、动物,以及微生物群体与其周围的无机环境相互作用形成的一个动态、复杂的功能单位。生态系统是地球生命支持系统的基本组成单元,它提供的粮食、木材、燃料、纤维等产品,以及净化水源、保持水土、清洁空气和维持整个地球生命支持系统的稳定等服务功能,是人类生存和社会发展的基本保证。如何维持和增强生态系统的基本功能,是全人类在 21 世纪面临的共同挑战(赵士洞,2001)。

从生态学的观点出发,一个健康的生态系统是稳定、可持续的,能够维持它的结构、功能和信息的可持续性;能够维持它的组织结构和自治;也能够对一定胁迫具有恢复力。健康的生态系统能够提供维持人类生存的各种生态系统服务,如食物、饮用水、清洁空气、废弃物循环、灾害减缓等。但是,人类在过去很长一段时间内并未意识到生态系统服务对人类生产和生活的重要性,进而导致资源稀缺和环境退化,使生态系统服务功能不断下降。而当生态系统服务开始逐渐衰退(过分的侵蚀、肥力的丧失、水文的反常、

某些物种非经常性的数量大暴发或局域性灭绝、农林产品质量的退化等), 人类才意识到生态系统服务对人类生存和发展的影响, 开始将注意力转向对生态系统服务及其功能的研究(阎水玉等, 2002)。

依据不同的分类方法和分类标准, 生态系统可以分为以下不同的类型:

①按环境性质, 生态系统可以划分为陆地生态系统、海洋生态系统以及淡水生态系统等。其中, 陆地生态系统又可以进一步划分为森林生态系统、草原生态系统、荒漠生态系统等。而森林生态系统等还可以继续细分。

②按人为影响, 可分为自然生态系统、人工生态系统、生态经济系统等。

③按利用方式, 可分为放牧生态系统、农田生态系统、果园生态系统等。

④根据生态系统本身与外界环境的联系程度, 可分为隔离生态系统、封闭生态系统、开放生态系统。隔离生态系统是指与外界环境之间既没有物质交换, 也没有能量交换的生态系统。这种生态系统只不过是一种理论上的生态系统, 实际中并不存在。封闭生态系统指与外界之间有能量的交换, 但没有物质交换的生态系统。开放生态系统指与外界环境之间既有物质交换, 又有能量流动的生态系统。一般来说, 自然生态系统都属于这种生态系统。这种生态系统与人类的关系最为密切。

⑤按能流特点, 可分为自然无补的太阳供能生态系统、自然补加的太阳供能生态系统、人类补加的太阳供能生态系统、燃料供能的城市工业生态系统。

### 1.1.2 生态系统服务功能

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成与维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用(Daily, 1997; 吴刚等, 2000; 张志强等, 2001)。一般来说, 生态系统的服务功能主要体现在以下几个方面: ①提供人类所需的食物、医药及其他工农业生产的原料; ②维持生命物质的生物地球化学循环; ③维持生物物种多样性与遗传多样性; ④净化大气环境、维持大气物理化学平衡与稳定等(吴刚, 2001)。因此, 可以将生态系统服务功能归纳为四个方面的内容: 供给功能、调节功能、支持功能与文化功能。其中, 供给功能主要包括有机质的合成与生产; 调节功能主要体现在生物多样性的产生与维持、气候调节、植物花粉的传播与种子的扩散、环境净化与有害有毒物质的降散、有害生物的控制、自然灾害减轻等许多方面; 支持功能主要包括土壤肥力的更新与维持、营养物质的储存与交换等; 文化功能主要是指生态系统具有的在娱乐、精神、宗教以及其他非物质方面的效益等。

生态系统服务功能是维系人类生存, 支撑地球生命系统的物质基础(Costanza et al., 1997; 董全, 1999; 陈仲新等, 2000)。生态系统服务包括来自自然的物流、能流和信息流, 这些物流、能流和信息流共同组成了生态系统的服务价值(Costanza et al., 1997)。由于绝大部分的生态系统服务的价值以公共商品的形式向人类社会提供福利, 因而生态

系统服务价值难以在市场中得以全部体现。对于这些服务供给量的改变以及生产这些服务的生态系统的变化,社会还没有反馈机制来给出信号和警戒,势必造成公众忽视了自身生活和社会经济文化发展对自然生态系统的依赖性和自然对人类社会作出所作出的贡献(Costanza et al., 1997),生态系统服务功能对政治决策影响过小和造成 GDP 核算的失真(李金昌等, 1999)。

由于这些服务中绝大部分具有纯粹的公益性质,它们的提供与接受并不通过货币经济,使得人们常常忽略其存在。因此通过对生态系统服务功能的评价,可以促进传统的国民经济核算体系走向环境与经济的综合核算体系,有助于制定合理的自然资源价格体系、进行绿色决策及提高全民的生态意识。

长期以来,由于受部门利益的驱动,生态系统服务功能评价往往针对单一的功能尺度,如农业部门注重食物等产品功能、林业部门注重木材产量,而环保部门则注重环境质量功能等。但是生态系统各种服务功能之间是互相联系的,一种功能的增加有可能是以另一种或多种功能的减少或丧失为代价。例如,将湿地生态系统改造为农田生态系统虽可增加农产品产量,但是它所丧失生物多样性、水质净化等功能的价值远远大于农产品的价值。不管是地方政府或是一个国家,甚至全人类都需要有一个全局的、综合的观念,对各种生态功能之间进行权衡(田永中等, 2003)。

#### 1.1.2.1 供给功能

供给功能是指生态系统为人类提供各种产品如食物、纤维、淡水,以及生物遗传资源等的效益。一般来说,生态系统供给功能的大小主要取决于生态系统本身的规模和功能。生态系统通过第一性生产与次级生产、合成与生产了人类生存所必需的有机质及其产品。据统计每年各类生态系统为人类提供粮食  $1.8 \times 10^9 \text{t}$ , 肉类约  $6.0 \times 10^8 \text{t}$  (WRI, 1994), 同时海洋还提供鱼类约  $1.0 \times 10^8 \text{t}$  (UNFAO, 1994)。同时,生态系统还为人类提供了木材、纤维、橡胶、医药资源,以及其他工业原料。此外,生态系统还是重要的能源来源。据估计,全世界每年约有 15% 的能源来自于生态系统,在发展中国家更是高达 40% (Hall et al., 1993)。由于生态系统供给的基础是生态系统内部各种复杂的关系与化学反应的总和,所以每一种生态系统提供的生态服务是非常复杂和多方面的,有很多生态服务人们还并没有认识到或揭示出来。

#### 1.1.2.2 调节功能

调节功能主要体现在生物多样性的产生与维持、气候调节、植物花粉的传播与种子的扩散、环境净化与有害有毒物质的降散、有害生物的控制、自然灾害减轻等调节效益。

##### (1) 生物多样性的产生与维持

生物多样性是指从分子到景观各种层次生命形态的集合。生态系统不仅为各类生物物种提供繁衍生息的场所,而且还为生物进化及生物多样性的产生与形成提供了条件。

同时,生态系统通过生物群落的整体创造了适宜生物生存的环境。同物种不同的种群对气候因子的扰动与化学环境的变化具有不同的抵抗能力,多种多样的生态系统为不同种群的生存提供了场所,从而可以避免某一环境因子的变动而导致物种的绝灭,并保存了丰富的遗传基因信息。

生态系统在维持与保存生物多样性的同时,还为农作物品种的改良提供了基因库。据研究,人类已知约有 8 万种植物可以食用,而人类历史上仅利用了 7 000 种植物(Wilson, 1989),只有 150 种粮食植物被人类广泛种植与利用,其中 82 种作物提供了人类 90%的食物(Nabhan 和 Buchmann, 1997; Prescott, 1990)。那些尚未为人类驯化的物种,都由生态系统所维持,它们既是人类潜在食物的来源,又是农作物品种改良与新的抗逆品种的基因来源。

生态系统还是现代医药的最初来源,最新研究表明,在美国用途最广泛的 150 种医药中,118 种来源于自然,其中 74%来源于植物,18%来源于真菌,5%来源于细菌,3%来源于脊椎动物(Farnsworth et al., 1985; Grifo et al., 1997; Principe, 1989)。在全球,约有 80%的人口依赖传统医药,而传统医药的 85%是与野生动植物有关的。

## (2) 调节气候

生态系统对大气候及局部气候均有调节作用,包括对温度、降水和气流的调节,从而可以缓冲极端气候对人类的不利影响。尽管一般认为,气候的形成取决于太阳辐射、大气环流和下垫面状况三个因素;地球气候的变化主要是受太阳黑子及地球自转轨道变化的影响。但是,生物本身在全球气候的调节中也起着重要的作用:陆地生态系统中的绿色植物通过固定大气中的  $\text{CO}_2$ 、释放  $\text{O}_2$  等,维持大气环境化学组成的平衡,而减缓地球的温室效应;生态系统植被的覆盖状况可直接影响到水分蒸腾及涵养、对太阳辐射的吸收和反射、地面辐射等生态过程,从而影响到降水和气温等重要气候要素,对区域性的气候甚至大气候起到直接的调节作用。例如,生态系统通过固定大气中的  $\text{CO}_2$  而减缓地球的温室效应(Alexander et al., 1997)。生态系统还对区域性的气候具有直接的调节作用,植物通过发达的根系从地下吸收水分,再通过叶片蒸腾,将水分返回大气,大面积的森林蒸腾,可以导致雷雨,从而减少了该区域水分的损失,而且还降低气温,如在亚马孙流域,50%的年降水量来自于森林的蒸腾(Salati, 1987)。

## (3) 减轻洪涝与干旱灾害

陆地生态系统还具有滞洪作用。洪水的形成是气候和地理等多种因素共同作用的结果。在减缓洪水方面,植被生态系统发挥着重要的作用,尤其在洪水期,植被能显著地削减洪峰。这种减缓作用是通过降水截留,植被的蒸腾蒸发,土壤的水分渗透,延长融雪时间,减少地表径流等功能综合实现。

每年地球上总降水量约  $1.19 \times 10^{13} \text{ m}^3$ ,大多数雨水首先由土壤吸收,然后再由植物利用或转成地下水。但如果没有生态系统的作用,雨水直接降到裸露的地面,不仅大大

减少土壤对水分的吸收量,使地面径流增加,还将导致土壤与营养物的流失(Hillel, 1991)。在 New Hampshire 的径流研究发现,裸地平均径流量增加 40%,而在森林砍伐后的 4 个月,地表径流量比砍伐前增加 5 倍(Bormann et al., 1968)。据研究,喜马拉雅山大范围的森林砍伐加剧了孟加拉国的洪涝灾害(Ives, 1989),在非洲,大范围的干旱可能也与大规模的森林砍伐有关。我国 1998 年长江全流域洪涝灾害的形成与中上游植被及中游湖泊减少、水源涵养能力下降、水土流失加剧的密切关系,已为人们所广泛认识(李文华, 1999)。

水土流失的发生不仅使土壤生产力下降,降低雨水的可利用性,还造成下游可利用水资源量减少,水质下降。河道、水库淤积,降低发电能力,增加洪涝灾害发生的可能性(Pimentel et al., 1995)。在全球,仅水土流失导致水库淤积所造成的损失约 60 亿美元。湿地调蓄洪水的作用已为人们所熟知,泛洪区的森林不仅能减缓洪水速度,还能加速泥沙的沉积,减少泥沙进入河道、湖泊与海洋。如密西西比流域保留的小面积湿地,在预防密西西比河的洪水中起了重要的作用。

#### (4) 有害生物的控制

有害生物又称害物,是指在一定条件下,对人类的生活、生产甚至生存产生危害的生物;是由数量多而导致圈养动物和栽培作物、花卉、苗木受到重大损害的生物。狭义上仅指动物,广义上包括动物、植物、微生物乃至病毒。据估计每年有 25% 以上的农产品被这些有害生物消耗(Pimentel et al., 1989)。同时,还有成千上万种杂草直接与农作物争水、光和土壤营养。据估计,农作物 99% 的潜在有害生物能得到自然天敌的有效控制(DeBach, 1974),从而给人类带来了巨大的经济效益(Naylor 和 Ehrlich, 1997)。由于化学农药的大量使用,对农药产生抗性的害虫越来越多,农药使用剂量也在不断提高,这不仅严重地污染了环境,对人类健康造成潜在威胁,而且还减少了害虫的自然控制能力,加剧了次要害虫的爆发(NRC, 1989)。

#### (5) 环境净化

生态系统的生物净化作用包括植物对大气污染的净化作用和对土壤污染的净化作用。植物净化大气主要是通过叶片的作用实现的。绿色植物净化大气的作用主要有两个方面:一是吸收  $\text{CO}_2$ , 释放  $\text{O}_2$  等,维持大气环境化学组成的平衡;二是在植物抗生范围内能通过吸收减少空气中硫化物、氮化物、卤素等有害物质的含量(欧阳志云等, 1999)。

$\text{SO}_2$  在有害气体中数量最多,分布最广,危害较大。一般生长在  $\text{SO}_2$  污染地区的植物叶中  $\text{SO}_2$  的含量比周围正常叶子的含硫量高 5~10 倍。只要不超过一定的限度,植物不会出现伤害症状,它们是大气的天然净化器。据研究,当污染源附近的  $\text{SO}_2$  浓度为  $0.27\text{mg/m}^3$  时,在距污染源 1 000~1 500m 处,非绿化带浓度为  $0.16\text{mg/m}^3$ ,绿化带浓度为  $0.08\text{mg/m}^3$ ,比非绿化带低  $0.08\text{mg/m}^3$ 。

粉尘是大气污染的重要污染物之一,植物特别是树木对烟灰、粉尘有明显的阻挡、过滤和吸附作用。研究发现云杉、松树、水青冈,树木年阻尘量分别为  $32 \text{ t/hm}^2$ 、 $34.4 \text{ t/hm}^2$  和  $68 \text{ t/hm}^2$ 。树木的减尘滞尘作用可以使空气得到某种程度上的净化,树木因为形体高大,枝叶茂盛,具有降低风速的作用,可使大粒灰尘因风速减小而沉降于地面,叶表面因为粗糙不平、多绒毛,有油脂和黏性物质,又能吸附、滞留黏着一部分粉尘,从而使含尘量相对减少。

### 1.1.2.3 支持功能

#### (1) 土壤的支持功能

土壤是岩石圈表面的疏松表层,是陆生植物生活的基质和陆生动物生活的基底。土壤不仅为植物提供必需的营养和水分,而且也是土壤动物赖以生存的栖息场所。土壤是一个国家生存与发展的重要物质前提条件,是财富的重要组分,但由于人类的不合理的利用,土壤侵蚀与污染日益严重。目前,全球约有 20% 的土地由于人类活动的影响而退化 (Oldeman, 1990)。生态系统对土壤的保护主要是由植物承担的。高大植物的冠盖拦截雨水,削弱雨水对土壤的直接侵蚀力;地被植物阻截径流和蓄积水分,使水分下渗而减少径流冲刷;植物根系具有机械固土作用;根系分泌的有机物胶结土壤,使其坚固而耐受冲刷等。

土壤保持服务功能是生态系统在防止土壤侵蚀方面为人类提供的服务,主要包括:①为植物的生长发育提供场所。植物种子在土壤中发芽、扎根、生长、开花结果,在土壤的支撑下,完成其生命周期。②为植物保存并提供养分。土壤中的负离子可吸附可交换的营养物质,以供植物吸收。如果没有土壤微粒,营养物质会很快淋失。同时,土壤还可作为人工施肥的缓冲介质,将营养物质吸附在土壤中,在植物需要时释放。③土壤在有机质的分解中起着关键作用。作物的残根败叶和施入土壤中的有机肥料,只有经过土壤微生物的作用,才能腐烂分解,释放出营养元素,供作物利用;并且形成腐殖质,改善土壤的理化性质。④由有机质还原形成简单无机物最终作为营养物返回植物,有机质的降解与营养物的循环是同一过程的两个方面。土壤肥力,即土壤为植物提供营养物质的能力,在很大程度上取决于土壤中的细菌、真菌、藻类、原生动物、线虫、蚯蚓等各种生物的活性。细菌可以从大气中摄取氮,并将其转换成植物可以利用的化学形态。 $1 \text{ hm}^2$  土地中的蚯蚓每年可以加工 10 余 t 有机物,从而可以大大改善土壤肥力及其理化性质 (Lee, 1985)。⑤土壤在 N、C、S 等大量营养元素的循环中起着关键作用,如与土壤中 C 的储量相比,植物中的 C 相形见绌,据估算,土壤 C 的储量是全部植物中 C 总储量的 1.8 倍,而土壤中 N 的储量更是植物中总量的 19 倍 (Schlesinger, 1991)。

#### (2) 传粉与种子的扩散

大多数显花植物需要动物传粉才得以繁衍。动物 (主要是野生动物) 为农田、院落、草场、菜园和森林的植物传粉,保证了这些植物的传宗接代。研究表明,在全世界已记

载的 24 万种显花植物中,有 22 万种需要动物传粉。如果没有动物的传粉,不仅会导致农作物大幅度减产,还会导致一些物种的绝灭(Buchmann 和 Nabhan, 1996)。据记载,已发现的传粉动物约 10 万种,包括鸟、蝙蝠与昆虫,约 70% 的农作物需要动物授粉。动物在为植物传粉的同时,也取得自身生长发育繁殖所需要的食物与营养。

动物还是植物扩散的主要载体之一。有些种类的植物还需要动物传播和散布种子。如北美的白皮松(*Pinus albicanbis*)依赖于星鸦(*Nucifraga cobumbiana*)把种子从松果中嗑出来,然后埋到别处。没有这种过程,白皮松的松子保留在松果里,落到母树旁的土地上,繁殖成功率极低(董全, 1999)。

#### 1.1.2.4 文化功能

由于漫长的人类进化进程的最长时间段发生在原始生境中,人脑感觉与聚集信息的机制与自然景观过程与生物多样性有着千丝万缕的联系。因此,自然生态系统是科学、文化、艺术灵感的源泉,为教育及科学研究提供巨大的潜力,在陶冶情操、丰富思维、开拓视野等方面具有无穷的潜力,具有休闲娱乐、审美功能以及文化和精神方面的价值,是人类文化娱乐的源泉。对于现代人类社会来说,这种功能具有重要价值。而且随着社会的发展,这种功能的价值与日俱增。具体包括以下方面:

①文化多元性。生态系统的多样性是影响文化多元性的一个因素。

②精神与宗教价值。许多宗教是精神与宗教价值寄托于生态系统或者其组分之上的。

③知识系统(传统的和正式的)。生态系统可以对由不同文化背景发展而来的知识类型产生影响。

④教育价值。生态系统是社会开展正式教育和非正式教育的基础。

⑤灵感。生态系统可以为艺术、民间传说、民族象征、建筑和广告提供丰富的灵感源泉。

⑥美学价值。许多人可以从生态系统的多个方面发现美的东西或美学价值,这已经反映在人们对公园和“林荫大道”的喜爱,以及对住房位置的选择当中。

⑦社会关系。生态系统可以对建立在特定文化基础之上的社会关系产生影响。例如,渔业社会的社会关系就与游牧群落或者农业社会具有许多不同之处。

⑧故土情结。许多人认为“故土情结”与生活环境中已经被认同了的特征(包括生态系统的不同方面)有关,具有重要价值。

⑨文化遗产价值。许多社会对维护历史上的重要景观(人文景观)或者具有重要文化价值的物种赋予了很高的价值。

⑩消遣和生态旅游。人们对空闲时间去处的选择,在一定程度上通常是根据特定区域的自然景观或者栽培景观的特征做出的(张永民等, 2007)。