

# 生态系统研究与管理简报

立足科学 服务决策 促进人与自然和谐发展

---

2006 年第 4 期（总第 4 期）

12 月 15 日印发

## 生态系统服务的集成模拟和评价

Robert Costanza 博士

（美国佛蒙特大学 Gund 生态经济研究所所长）

**【编者按】**2006 年 11 月 13 日，世界著名生态经济学家、美国佛蒙特大学 Gund 生态经济研究所教授 Robert Costanza 博士在“中国生态大讲堂”进行了题为“生态系统服务的集成模拟和评价”的主题演讲。该演讲由中科院生态系统研究网络综合研究中心和中科院地理科学与资源研究所资源科学中心共同举办，资源科学中心副主任谢高地博士主持了该演讲。

本报告分为四个部分，即生态系统服务的概念和分类、生态系统服务评价案例、生态系统服务的集成模拟和评价、以及生态系统服务评价的相关项目。

## 一、生态系统服务的概念和分类

### 1. 生态系统服务概念

生态系统服务是人类从生态系统运转中获得的利益，包括许多不同的事物，如气体调节、气候调节、干扰调节、水调节、水供给、侵蚀控制和沉积物保持、土壤形成、养分循环、废物处理、授粉、生物控制、庇护所、食物生产、原材料、基因资源、娱乐和文化等。人类直接或间接地从这些服务中获益。这个概念后来被千年生态系统评估（MA）用于评价全球生态系统，将生态系统服务分为四种类型，即支持服务、供给服务、调节服务和文化服务。MA关注的重点是生态系统服务和人类福利之间的联系。

### 2. 人类福利的构成

在评价生态系统服务之前，我们需要认识到是哪些事物构成了人类福利。构成人类福利的资产包括：自然资产、建筑资产、人类资产和社会资产。生态系统服务由自然资产提供；建筑资产即为传统的经济资产；人类资产指社会中的个人；社会资产指为个人服务的教育、医疗机构，它指人们相互联系并从中获得福利的正式或非正式的网络或机构。在社会经济结构中，把握这些资产对人类福利的相对贡献非常重要。目前，我们已经开始评价每项生态服务和资产对人类福利的贡献。

### 3. 生态系统服务分类

生态系统服务的分类方法很多，其中按照其空间特征可分为五种类型。一是全球范围 - 非临近性（Global-Non Proximal）服务，即人类享用该服务不依赖于与该服务的接近程度，如气候调节（碳沉积和碳蓄积）和文化/存在价值。二是局部临近性（Local Proximal）服务，即人类享用该服务依赖于与该服务的接近程度，如扰动调节/暴风雨防

护、废物处理、授粉、生物控制和栖息地/庇护所。三是方向流动性及相关（Directional Flow-Related）服务，即从生产点流动到使用点，如水调节/洪水控制、水供给、沉积调节/侵蚀控制和养分调节。四是原位性（In situ）服务，即服务产生和享用在同一点，如土壤形成、食物生产/非木材森林产品和原材料生产。五是使用者迁移性及相关（User Movement Related）服务，即人们朝着某个独特自然特征的移动，如基因资源、娱乐潜力和文化/美学价值。

#### 4. 生态系统服务评价法

根据价值的一般概念，评价这些服务或资产的价值是它们对人类的贡献。评价生态系统服务或资产的常用的方法有：避免费用法、替代费用法、因子收入法、旅行费用法、享乐价格法、边际产品估计法、条件价值法和分组评价法。各种不同类型生态系统服务不一定都适合进行经济评价，它们的评价方法也有差别，评价结果在不同区域的可转换性也有差异，如废物处理服务完全适合进行经济评价，比较恰当的评价方法是替代费用法、避免费用法和条件价值法，评价结果在不同地区的可转换性属于中等偏上。

## 二、生态系统服务评价案例

### 1. 海岸带湿地暴风雨防护功能

从 6,000 年前到 100 年前，路易斯安那州的海岸湿地面积以每年  $3\text{km}^2$  的速度增加，但是从 100 年前以后开始以每年  $65\text{km}^2$  的速度减少。运用高质量的社会经济和空间数据，我们估计了美国海岸湿地暴风雨防护费用或者减少暴风雨造成的经济损失。暴风雨造成的损失可以由一个包含暴风雨波及范围内的 GDP、暴风雨最大风速、暴风雨波及范围内禾草类湿地面积以及误差所构成的模型估算。避免损失的费用可以由 1ha 海岸湿地导致的损失变化得出。

通过对比发现，运用该模型预测的总损失和监测的总损失之间的相关系数可达 0.60。研究结果还显示，美国海岸线附近州的暴风雨波及范围内湿地面积越大，暴风雨造成的损失就越小；海岸湿地面积越

大，湿地暴风雨防护的功能就越高。

根据该暴风雨损失模型，我们估算出美国海岸湿地每年暴风雨防护的价值为\$600 到\$237,000/ha，平均为\$26,000/ha（中位数为\$8,000/ha）。美国现有的海岸湿地所提供暴风雨防护服务的价值估计为每年480亿美元。

需要说明的是，1997年我们在Nature发表了《世界生态系统服务与自然资产的价值》（The value of the world's ecosystem services and natural capital"）一文，估算了全球所有生物区系生态系统服务的总价值，其中海岸湿地的服务价值为\$4,052/ha/year，是我们现在估算量（\$8,000/ha/year）的一半。因此，随着人们对生态系统服务更加了解，所估算的生态系统服务价值也显著增加了。

## 2. 生态系统服务评价用于衡量国家经济状况

生态资产和生态系统服务价值估算可以衡量一个国家的经济状况。大部分经济政策制定的依据一般是GDP、GNP这类经济指标。实际上这些指标并不能衡量经济福利，而只能衡量经济收入或经济行为。在经济增长估算中，环境污染及其所增加的医疗成本并没有从GNP中扣除。因此，应该调整现有的GNP，扣除由于自然资产损失所带来的成本，这样才能得到真实的GNP。就中国而言，每年7%的经济增长率可能会下降到3~4%。

即便这样，它们仍然是用来衡量经济收入，而不是经济福利的。有些人也开始扣除GNP中所包含的负效应，用持续经济福利指数（ISEW - Index of Sustainable Economic Welfare）来衡量经济福利，也有人通过人类需求评估（HNA - Human Needs Assessment）来衡量人类需求的满足程度。

以ISEW为例，它包括个人消费支出、收入分布、由于收入不公平而调整的个人消费、家庭劳动力价值、志愿工作的价值、家庭资产服务、高速公路和马路服务。同时这个体系中，还包括一些相应的成本，如社会成本、人类成本和自然成本。这些成本需要从经济衡量体

系中扣除，才能估算真正的福利水平。

从几个国家 GDP 和 ISEW 1950 年到 1990 年的变化趋势来看，虽然 GDP 在增加，但是 ISEW 却在下降。就美国而言，从 1950 年到 2002 年 GDP 在不断增加，但是真实发展指标（GPI - Genuine Progress Indicator）却保持相对平稳。如果考虑到人类资本、社会资本和自然资本的损失与建筑资本或经济收入的增加相互抵消，实际上美国社会的福利并没有显著增加。

### 三、生态系统服务的集成模拟和评价

在评估生态系统服务价值的过程中，我们需要一种更加动态、综合的模型来模拟包含人类在内的生态系统。这种方法的特点包括：（1）可以被用作开放的、参与式过程中达成一致意见的工具；（2）多尺度，即从地方到全球尺度；（3）承认不确定性和有限的可预测性；（4）承认利益相关方的价值；（5）多种模拟方法，交叉校正以及集成；（6）一个不断进步的方法，它承认历史、有限的优化以及人类和自然中其他组成部分的协同进化。

在《景观模拟模型》（*Landscape Simulation Modeling*）一书中，作者模拟了生态系统中生态学组成部分和经济学组成部分，模拟了碳、水、养分等物质在景观之间的流动以及经济行为以什么样的范式在空间中发生，生态系统如何在空间中以动态的方式存在。在本书中列出了许多模型，如 Everglades 景观模型和 Patuxent 与 Gwynns 瀑布流域模型。在 Patuxent 与 Gwynns 瀑布流域模型中，模拟了不同情景下土地利用、N 负荷、输入河口 N、水文学、地下水中 N 以及净第一性生产力（NPP）。

我们建立 GUMBO 模型来模拟综合地球系统，并评价生态系统服务的动态及其价值。该模型特别关注自然资产为人类提供的生态服务以及人类行为对自然资产的影响。它是一个“元模型”，它综合和简化了几个已有的中等复杂的自然和社会科学全球动态模型。这个模型目前的版本包括 234 个状态变量，共 930 个变量，1715 个参数。这个

模型是第一个包括动态地球系统内部人类技术、经济生产和福利以及生态系统物品和服务之间动态反馈的全球模型。这个模型模拟了 C、水和养分在全球系统中的大气圈、岩石圈、水圈和生物圈之间的流动。在人类圈中，还模拟了社会和经济动态。这个模型通过 11 个生物区系将地球表面圈层联系起来，模拟了每个生物区系的 11 种主要的生态系统物品和服务的动态。

我们将 GUMBO 模型与现有的其它几个模型进行对比，包括 WORLD3、IMAGE、IMAGE-2、IFs、DICE 和 TARGETs。每个模型都涉及一些相似的部分，如农业、淡水、空气、水循环、经济、发展等。每个模型都包含很多组成部分，非常复杂。相比而言，GUMBO 模型能进行更加综合的预测，并可以进行校正。

#### 四、生态系统服务评价的相关项目

##### 1. 生态系统服务：以促进保护为目的的动态、模拟和评价研究

该项目的英文名称是“Ecosystem services: Dynamics, Modeling and Valuation to Facilitate Conservation”，由 Gordon and Betty Moore 基金会资助。项目的目标是：（1）合作建立一套动态的生态经济计算模型，目的是在一系列空间尺度上集成我们对生态系统功能、生态系统服务和人类福利认识的信息；（2）建立并采用适用于评价大部分生态系统服务的公共物品的新技术，并与模拟研究结合；（3）以网络为基础向大范围的潜在用户传播这些集成模型和模拟结果。

在模型和模拟过程中涵盖人类的三个互为补充和互相协作的方式包括：（1）作为模型的“利益相关方”，在模型概念形成、开发、建立、测试、情景开发和实施过程中的积极参与者。（2）作为模型的“使用者”，在复杂的评价和决策过程中，将模型作为决策辅助工具和研究工具以更好的理解人类行为的使用者。（3）作为模型的“代理者”，在通过方式（1）和方式（2）更好的理解“利益相关方”和“模型使用者”的目标和行为的基础上，将其编入模型。

##### 2. 地球人类的综合历史和未来

该项目的英文名称是 “IHOPE – Integrated History and Future Of People on Earth”，由国际地圈 – 生物圈计划 (IGBP) 资助。该项目的目标是：绘制最近几千个千年中，地球上生物物理和人类系统的变化，绘制最近 1,000 年和 100 年内的更高分辨率的变化。分析的时间框架将依地区而定。例如，澳大利亚的历史可能涵盖最近的 60,000 年，而在欧洲南部的历史可能涵盖盛冰期 (Last Glacial Maximum) 以来的 20,000 年。

通过测试那些与历史相对应的人类生存的环境系统模型，来理解人类和地球历史之间的联系和动态变化。例如，气候、农业、技术、疾病、语言、文化、战争和其它变量之间不同的关系模型是否能很好地解释人类居住地、人口、能源利用和地球系统循环的历史模式？

该项目为人类的未来和地球系统动态提供了更多的自信以及技能选择。例如，从过去 10 万年以来，地球的气温、人口、全球增温潜势 (GWP)、破碎土地、废水排放、CO<sub>2</sub>排放量、甲烷排放量和东南亚季风等都不同的变化趋势。气温保持相对稳定，在过去 100 年以来略有升高；全球增温潜势、人口、废水排放、CO<sub>2</sub>排放量、甲烷排放量等在过去 100 年以来都显著增加。

MA 评价了未来人类福利在设定的 4 种情景中的变化。其中 3 种情景的人类福利将有所改善，即在 2000 年到 2050 年包括原材料需求、健康、安全、社会关系、自由等在内的 3~5 类人类福利将有所改善；而在另 1 个种情景的人类福利可能恶化，特别是在发展中国家。有人说过，如果人们没有了解过去，那么他有可能再次重复它。IHOPE 采取了一个非常“有希望的”和积极的态度。如果我们能真正了解过去，那么我们就能够创造一个更美好、更持续和更有希望的未来。

编 译：肖玉 甄霖  
责任编辑：鲁春霞  
审 阅：谢高地

# 生态系统研究与管理简报

立足科学 服务决策 促进人与自然和谐发展

---

(2006年目录)

- 9月10日 第1期 国家生态环境科学观测试点站发展的回顾与展望  
国家生态环境科学观测研究站专家组
- 10月18日 第2期 生态系统观测与研究应关注的25个科学问题  
中科院生态系统研究网络领导小组办公室
- 11月2日 第3期 景观方法在湿地保护与合理利用中的应用  
Peter Bridgewater (《湿地公约》秘书长)
- 12月15日 第4期 生态系统服务的集成模拟和评价  
Robert Costanza (美国佛蒙特大学教授)

---

关注中国生态系统监测、研究、评估、管理与政策进展

---

主办单位:

国家生态系统观测研究网络综合研究中心  
中科院生态系统研究网络综合研究中心  
中科院生态网络观测与模拟重点实验室

编辑部:

于贵瑞、欧阳竹、于秀波(常务)

通信地址: 北京市朝阳区大屯路甲11号

中科院地理科学与资源研究所  
CERN综合研究中心

邮政编码: 100101

传 真: 010-6486 8962

电子邮件: yuxb@igsnr.ac.cn

网 页: <http://www.cern.ac.cn>