

基于野外台站的典型生态系统 服务流量过程研究

裴厦 刘春兰 著

非
外
借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

基于野外台站的典型生态系统 服务流量过程研究

裴厦 刘春兰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

生态系统服务及其价值的流量过程研究具有非常重要的意义。它有助于生态系统服务价值评估框架的统一,以及人类掌握生态系统服务价值在生态系统中的变化规律。野外生态台站为研究生态系统服务价值流量提供了坚实的数据基础。因此,本书基于野外生态台站的观测数据,选择典型森林、草地和农田生态系统,刻画和分析不同生态系统的碳汇服务、水源涵养、土壤保持和生物多样性保持服务及价值动态变化过程,对比分析同种生态系统服务在不同生态系统类型之间的差异,揭示上述四种生态系统服务的形成过程。

图书在版编目(CIP)数据

基于野外台站的典型生态系统服务流量过程研究 /
裴厦, 刘春兰著. — 北京: 中国水利水电出版社,
2017.2

ISBN 978-7-5170-5202-9

I. ①基… II. ①裴… ②刘… III. ①生态系统—环
境监测—研究 IV. ①X835

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第034077号

书 名	基于野外台站的典型生态系统服务流量过程研究 JIYU YEWAI TAIZHAN DE DIANXING SHENGTAI XITONG
作 者	FUWU LIULIANG GUOCHENG YANJIU 裴厦 刘春兰 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	170mm×240mm 16开本 9.75印张 127千字
版 次	2017年2月第1版 2017年2月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	39.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

生态系统服务及其价值的流量过程研究具有非常重要的意义。它有助于生态系统服务价值评估框架的统一,以及人类掌握生态系统服务价值在生态系统中的变化规律。因此,本书基于野外生态台站的观测数据,选择长白山温带阔叶红松林、千烟洲亚热带人工针叶林、鼎湖山南亚热带季风常绿阔叶林、西双版纳热带季节雨林、内蒙古温带草原、海北高寒草甸、当雄高寒草甸、禹城暖温带农田、常熟亚热带农田、千烟洲亚热带早稻-晚稻农田、盐亭亚热带农田和长武暖温带农田为研究区,刻画和分析上述生态系统的碳汇服务、水源涵养、土壤保持和生物多样性保持服务及价值动态变化过程,对比分析同种生态系统服务在不同生态系统类型之间的差异,揭示上述四种生态系统服务的形成过程。其中,碳汇服务包括年内和年际间的动态变化,水源涵养和土壤保持服务都为年内动态过程,生物多样性保持服务为年际间动态过程。此外,本书还分析了北京东灵山暖温带落叶阔叶林的水源涵养和土壤保持功能在年内的动态变化过程。

本书除了在生态系统服务中应用“流量”的概念进行研究外,还对碳汇服务、水源涵养和土壤保持服务等的评价方法进行了一定的改善,包括将碳汇服务过程划分为碳

固定和碳蓄积过程，进一步详细地分析植被的碳服务。碳固定过程相当于有机碳的生产过程，碳蓄积过程相当于有机碳的存储过程。碳汇服务的价值为碳固定价值和碳蓄积价值之和。水源涵养服务中，主要计算生态系统的调节径流和供给水服务。将土壤看作“水库”，承担着蓄水的作用，同时，在计算蓄水价值时，考虑了水库成本的贴现，进而计算出水源涵养服务才是真正的年价值。土壤保持服务的计算中，根据研究点所在的土壤侵蚀类型区不同，采用水力侵蚀模型和风力侵蚀模型分别进行计算。

本书由北京市环境保护科学研究院生态与城市环境研究所的裴厦、刘春兰著。作者都是从研究生开始就从事生态资产和生态系统服务方面的研究工作，熟悉生态系统服务领域方面的研究进展，积累了丰富的科研经验，同时，也参与了多项北京市生态领域方面的研究，对北京的生态状况非常了解。本书是在长期的工作积累基础上编著而成，首次比较系统地阐述和分析了生态系统服务在时间上的流量过程。本书的研究成果揭示了不同生态系统服务的形成过程，以及我国不同生态系统类型之间生态系统服务的差异和空间格局；同时，丰富了生态系统服务的研究内容，具有一定的科研价值。

感谢北京市城市科学研究会和北京市科学技术协会对本书的出版给予的大力支持。感谢中国生态系统研究网络(CERN)和中国通量观测研究联盟(ChinaFLUX)为本书的研究工作提供数据。

生态系统服务的流量过程研究是一项长期复杂的工作，由于水平和时间有限，书中难免有不足和错误之处，

恳请各位专家和读者批评指教，欢迎来信探讨 (peisha@cee.cn) 并提出宝贵意见，我们将在后续研究中进行修改和完善。

著 者

2016 年 5 月 26 日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究意义	1
1.2 典型生态系统服务研究进展	5
1.3 研究方案	19
第 2 章 研究区概况	24
第 3 章 碳汇服务	26
3.1 年内动态过程	27
3.2 年际动态过程	46
第 4 章 水源涵养	58
4.1 研究方法	58
4.2 研究结果及分析	61
4.3 小结	75
第 5 章 土壤保持	78
5.1 研究方法	78
5.2 数据来源	83
5.3 研究结果	83
第 6 章 生物多样性保持	107
6.1 研究方法	107
6.2 研究结果	108

第7章 东灵山森林生态系统服务流量 124

7.1 水源涵养 124

7.2 土壤保持 125

7.3 生态系统功能空间辐射 127

7.4 小结 128

第8章 总结与展望 129

8.1 总结 129

8.2 期望 132

参考文献 134

第 1 章 绪 论

1.1 研究意义

生态系统服务价值评估是连接生态系统与社会经济系统的重要桥梁,对制定合理的社会经济发展政策和措施具有指导意义,对保护生态系统、维持人类支撑系统的良性发展具有重要意义。随着社会经济的发展,生态环境问题日益凸显,人类逐渐意识到生态系统对于人类生存和发展的重要性,生态系统服务研究迅速成为生态经济学的研究热点。目前,关于生态系统服务的研究成果很多,但是尚未形成统一的生态系统服务价值评估框架,评估的结果也存在着很多的不确定性。导致这些不确定性的主要原因之一是缺少局域尺度上的生态系统服务及价值动态变化过程研究,致使人类尚未掌握生态系统服务价值在生态系统生长和演替中的变化规律。我国生态系统野外观测台站(主要包括中国生态系统研究网络和中国通量观测研究联盟)从南到北、从东到西基本覆盖了我国所有的典型森林、草地和农田生态系统,已经开展了 20 多年的监测和研究,生态系统结构和功能等监测指标较全面,具有完成不同时间尺度上我国典型森林、草地和农田生态系统服务价值流量过程分析较完备的数据基础。因此,本书选择生态系统野外台站作为研究区域,刻画和分析典型生态系统服务及价值动态变化过程,对比分析森林、草地和农田生态系统服务及价值动态变化过程的差异。

1.1.1 生态系统服务价值评估意义重大

随着社会经济的发展,人类对生态资产的开发利用程度越来越

高,给生态系统带来了极大的破坏,生态资产数量越来越少,生态环境问题日益凸显,人类逐渐意识到生态系统服务的不可替代性和生态系统服务评估对实现生态保护的重要性(Daily et al., 2000)。生态系统服务研究有助于人类了解自然环境对维持人类社会存在和发展的重要意义(Committee on Assessing and Valuing the Services of Aquatic and Related Terrestrial Ecosystems, 2004),可以提高人类保护生态系统的意识,促使人类采取相应措施保护生态环境。适宜的生态系统发展模式、制度化的生态系统服务评估以及创新性的税收体系对于达到社会公平,实现生态系统的可持续发展非常重要(Scheffer et al., 2000)。生态系统服务经济价值评估是依据科学合理的计算方法,将原本人类认为公众的、无价的、可以随意使用的生态环境赋以货币价值,使其与社会上其他产品和服务具有同等的经济学意义,不再是无价的、随意开发和利用的,是连接社会经济系统和生态系统的重要桥梁。进行生态系统服务价值评估有助于在社会发展决策中考虑生态环境因素,制定有利于可持续发展的政策和措施(Lautenbach et al., 2011; Wainger et al., 2010)。生态系统服务价值评估已经逐渐成为开展生态保护的主要内容(Egoh et al., 2007),是实施生态补偿措施和生态付费的前提。因此,制定适宜的生态系统服务经济价值评估方法对社会的可持续发展具有至关重要的作用,是时代赋予人类的使命。

1.1.2 生态系统服务研究成为当前生态经济学的研究热点

生态系统服务研究已经成为当前生态学和经济学研究热点。自 20 世纪 70 年代,生态系统服务概念首次提出来至今,生态系统服务研究受到了社会各界的广泛关注,一跃成为学术界的焦点问题,众多科学组织和科学家参与到生态系统服务的原理、影响因素和评价等研究工作中。研究成果数量迅速增加,呈指数增长模式(图 1.1)。

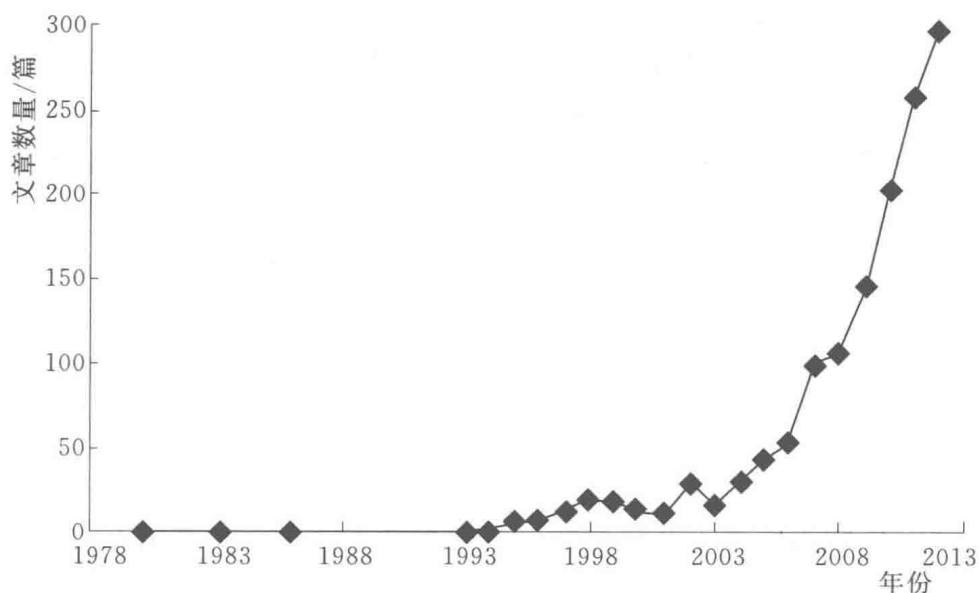


图 1.1 生态系统服务研究文章数量

(在“ISI Web of Science”中用“ecosystem services”或者“ecological services”检索的结果。该图反映了生态系统研究的趋势，但是低估了生态系统服务研究成果)

1.1.3 生态系统服务及价值动态变化过程研究的必要性

生态系统服务是一个流量过程 (侯元兆等, 2008; Dominati et al., 2010), 即生态系统服务随着时间呈动态变化。然而, 迄今为止, 对生态系统服务价值的核算多是静态的, 关于流量过程的研究工作仍然较薄弱 (李士美等, 2010a, 2010b)。Chan 等 (2006) 指出, 正是由于在局地 and 区域尺度上对生态系统服务动态变化过程的认知不足, 导致无法形成一套系统的方法来规划生态系统服务 (李士美等, 2010a)。因此, 局地尺度上的生态系统服务及价值动态变化过程研究意义重大, 有利于加强生态系统服务形成机理的认知, 同时为生态系统服务保护工作提供依据。生态系统服务价值评估及其应用面临着很大的挑战, 缺乏关于生态系统资产和服务流的系统研究是其中的挑战之一 (Carpenter et al., 2009)。生态系统服务价值要在自然保护过程中发挥一定的效用, 我们必须对生态过程如何

产生生态系统服务以及生态系统服务如何发生变化进行研究和监测 (Kremen, 2005)。目前, 生态系统服务研究多是基于模型, 缺少实际数据的支撑 (Wünscher et al., 2008), 因此, 一方面, 难以取得准确的研究结果, 另一方面, 研究成果无法预测生态系统服务在空间和时间上的变化趋势 (Guariguata et al., 2009)。基于局域尺度和区域尺度的生态系统服务价值流量过程研究是解决生态系统服务价值化所面临问题的重要工具 (Lautenbach et al., 2011)。谢高地等 (2005) 指出生态系统服务为人类提供的生态服务强度随时间而呈动态变化, 一般与植被生长曲线相关, 因此, 有必要研究生态系统服务及价值在时间上的动态变化特征。

1.1.4 生态系统野外台站具有完成该研究所需的数据基础

我国的生态系统野外台站数据主要包括中国生态系统研究网络 (CERN) 和中国通量观测研究联盟 (ChinaFLUX)。CERN 于 1988 年开始组建成立, 是世界三大国家级生态系统研究网络之一。CERN 提供了包括中国典型农田、森林、草地、沼泽、荒漠和水域生态系统共 36 个生态系统野外台站的水环境、土壤环境、大气环境、生物等方面的长期定位监测, 为生态系统服务价值日尺度、月尺度和年尺度上的研究提供了坚实的数据基础。ChinaFLUX 成立于 2002 年, 以微气象学的涡度相关技术和箱式/气相色谱法为主要技术手段, 开展典型农田、森林、草地生态系统与大气间 CO_2 和水热通量长期的观测研究。ChinaFLUX 的净生态系统碳通量 (NEE), 为生态系统的碳固定和碳蓄积服务及价值化的动态过程研究提供了更为准确的数据基础。综合起来, 可以满足局域尺度上生态系统服务动态分析的需求。

1.1.5 所选生态系统的典型性和生态系统服务的重要性

我国幅员广阔, 生态系统类型多样, 在一篇论文中不可能对我



国所有类型生态系统进行生态系统服务及价值动态过程研究，因此，本书基于生态系统野外台站数据，选择我国典型的、有代表性的森林、草地和农田生态系统作为研究对象。其中，森林生态系统主要有东北的温带针叶林、中部的暖温带人工针叶林和亚热带常绿阔叶林、南部的热带季节雨林；草地生态系统有内蒙古温带草原和高寒草甸；农田生态系统有暖温带农田和亚热带农田。

生态系统提供的服务种类繁多，不同生态系统类型所提供的生态系统服务类型各有侧重。本书对以往的生态系统评估案例进行归纳，总结出了4类森林、草地和农田生态系统共有的重要的生态系统服务类型作为研究对象，分别为碳汇服务、水源涵养、土壤保持和生物多样性保持。这4类服务是功能性生态系统服务分类体系中常规的服务类型，其中，碳汇服务、水源涵养、土壤保持几乎出现在所有的生态系统服务价值评估案例中。考虑到生物多样性保持的重要性的研究需要的迫切性，因此，也将其列入本书中。

1.2 典型生态系统服务研究进展

1.2.1 概念和内涵

1.2.1.1 流量的概念

流量的基本概念是流动的物体在单位时间内通过的数量。它描述的是物质在时间维度上的运动特征，反映的是物质在自然界中的存在状态。流量广泛存在于科学研究的各个领域，比如流体学、经济学、心理学、网络研究、环境学等。流体力学中流量是指单位时间内经过某一横断面的流体的量，当流量以体积表示时称为体积流量，用质量表示时称为质量流量。水环境学中环境流量指维持生态系统健康河道所需要的水流量。经济学中的流量是指一定时期内发生的某种经济变量变动的数值，它是在一定时期内测度的，其大小有时间维度。与流量相对应的概念是存量，所谓经济学中的存

量是指某一时间点上的某种经济变量的数值，其大小没有时间维度。存量分析和流量分析是现代西方经济学中广泛使用的分析方法。

1.2.1.2 生态系统服务概念

生态系统服务的概念最早是由 Holdren 和 Ehrlich 在 1974 年提出的。Daily (1997) 将生态系统服务定义为自然生态系统及物种维持和满足人类需求的条件和功能。Costanza 等 (1997) 将生态系统服务定义为人类从生态系统获得的各种收益，或者说，生态系统的产品和服务是指人类直接或者间接从生态系统的功能当中获得的各种收益。Turner 等 (1998) 认为生态系统功能是生态系统自我维持的物理、化学和生物过程；de Groot 等 (2002) 认为生态系统功能是生态系统生物界和非生物界相互作用的结果。生态系统服务就是由自然生态系统的生境、物种、生物学状态、性质和生态过程所产生的物质和维持良好生活环境对人类提供的直接福利。千年生态系统服务评估报告中关于生态系统服务的定义基本上采用了 Costanza 等 (1997) 的观点，认为生态系统服务是人们从生态系统获得的收益。生态系统向人类提供产品（比如粮食、木材、药材等）和服务（维持生命、调节气候、休闲娱乐等）。在统计学上对“产品”和“服务”分列。目前，在生态系统价值评估中分列、合并的都有。千年生态系统评估 (MA) 把所有这些产出都列入“生态系统服务” (MA, 2005)。

此外，还有学者注意到了生态系统的负面作用，并将其称为生态系统损害 (ecosystem disservices) (Agbenyega et al., 2008; Lyytimäki et al., 2009; Zhang et al., 2007)。比如城市公园中的老鼠 (De Stefano et al., 2005) 和人类在绿地中感觉到的安全威胁 (Jorgensen et al., 2007; Lyytimäki et al., 2009)。区分生态系统服务、损害和产品是由人类喜好、社会、政治以及生物物理背景确定的 (Lyytimäki et al., 2009; Zhang et al., 2007)。

1.2.1.3 生态系统服务的流量内涵

众多学者一致认同自然资源提供生态系统服务 (Costanza 和 Daily, 1992; de Groot et al, 2002), 生态系统服务价值在经济学中属于流量概念, 对应的存量是自然资本, 也即生态系统 (Constanza et al, 1997; Daily, 2000)。生态系统服务以长期服务流的形式出现, 能够带来这些服务流的生态系统是自然资本 (胡自治, 2004)。Dominati 等 (2010) 等将生态系统服务定义为自然资源提供的有利的、满足人类需求的流量。生态系统服务应以单位时间生态系统服务量衡量。

生态学上, 生态系统功能的发挥是伴随着生物的生长过程所进行的, 因此, 生态系统服务随着时间是变化的。首先, 生物的生长在一年内随着气候的变化有周期性变化特征, 因此, 生态系统服务具有年内变化特征; 其次, 生态系统中的多年生植被逐年生长, 同时年际之间也存在着气候差异, 因此, 生态系统服务存在着年际变化特征; 此外, 生态系统在演替周期内的不同阶段特征不同, 因此, 生态系统服务还存在着演替周期内的差异。以上几个时间尺度, 对于多年生植被来说都存在; 对于一年生的植被, 年内变化就是其生命周期变化。

结合生态学和经济学的相关概念, 生态系统服务流量过程即生态系统服务单位时间内大小的动态变化过程, 衡量的指标有物理量和经济量。此概念中包含三个要素:

(1) 时间维度。不同学科中的流量研究所选择的时间维度不同, 从秒到年。一般, 流体研究中所选择的时间维度为秒, 宏观经济学中多为年。不同生态系统的生命周期不同, 其提供的生态服务变化的时间维度也不同, 因此, 生态系统服务流量时间维度的选择依据生态系统种类的不同而不同, 根据研究对象的特点、研究目的不同, 生态系统服务流量研究的时间尺度有日、月、季节、年、生长周期、演替周期等。

(2) 特定生态系统服务类型。生态系统提供的服务类型很多,

千年生态系统评估中将其分为4大类,分别为支持服务、供给服务、调节服务、文化服务,其中每大类又可以分为几个小类。不同类型生态服务是由生态系统的不同功能或同一种功能产生,再加上周围的环境差异和人类需求条件,其产生的机理不同,流量过程自然也不同。这就意味着在研究生态系统服务流量时,必须明确生态系统服务类型。

(3) 特定的生态系统。众所周知,生态系统有森林、草地、农田、荒漠、河流、海洋等多种类型。不同生态系统的生长特征不同,提供的服务大小和过程自然也不同。比如森林生态系统大多为多年生树木,草地生态系统有多年生草和一年生草,而农田生态系统由于人工控制,有一年两熟、两年三熟、一年一熟等。可以看出,三种生态系统在年尺度上的流量过程显然不同。因此,研究生态系统流量过程,必须明确生态系统类型。

1.2.2 研究进展

目前,关于生态系统服务及价值动态变化的相关研究大多集中在森林生态系统。Greedy等(2001),Brannard等(2009),Maraseni等(2011),Ramlal等(2009)以及Bunker等(2005)评估森林生态系统在生命周期内的经济价值动态变化过程。李士美等(2010)研究了千烟洲人工林在年内生态系统服务及价值的动态变化过程。然而,关于不同生态系统某一种生态系统服务及价值动态变化过程对比研究很少。

1.2.2.1 碳汇服务

生态系统在碳固定和碳蓄积方面起着重要作用。根据联合国气候变化框架公约(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC),“碳汇”指从大气中清除 CO_2 的任何过程、活动或机制。从生态服务功能的视角来看,生态系统一方面能够将大气中的 CO_2 固定成有机物,这一过程给人类带来的利益可以称之为碳固定价值。另一方面固定的碳以有机物形式储存或蓄

积在生态系统中，这一蓄积或储存过程给人类带来的利益可以称为碳蓄积价值。把生态系统吸收、蓄积 CO_2 的过程和机制定义为碳汇，那么碳固定价值和碳蓄积价值之和可被称为碳汇价值（谢高地等，2011）。生态系统碳汇服务是一个流量过程，即碳的固定和蓄积量及其价值随着时间呈现动态变化特征。掌握生态系统碳汇服务及价值的流量过程对于了解生态系统碳汇服务的机理具有重要意义，可以为制定可持续发展政策提供科学依据。

在现有生态系统碳汇价值评估中，大多数情况还并没有对碳固定和碳蓄积价值加以区分，实际上，碳固定和碳蓄积价值内涵是不同的。碳固定价值形成的来源是将大气中 CO_2 固定成非温室气体形式的碳这一过程产生的。而碳蓄积价值产生的过程在于以有机物的形式存在某个空间，其价值的本质类似于碳库存储价值，作为表现形式的货币价格相当于把单位 CO_2 以非温室气体形式存储在碳库中的存储价格，在度量时，时间特征十分明显，其显示的主要是单位时间单位非温室气体 CO_2 碳库对人类产生的利益。

a. 碳汇价值评估

目前，碳固定价值评估一般都在生态系统综合服务评估中作为气体调节的一部分来进行物理量和价值量的评估。气体调节服务是生态系统服务的重要类型之一（Costanza et al., 1997）。气体调节中的碳固定多是基于 NPP 进行计算的。根据光合作用和呼吸作用方程式推算得出：每形成 1g 干物质，可固定 1.62g CO_2 ，并释放 1.20g O_2 。碳专项研究关注更多的是各种生态系统类型——森林、草地、农田和湿地生态系统碳蓄积量的研究上，评估各生态系统碳库的大小，这实际上是一种自然资源价值的评估。研究生态系统碳蓄积一般是从生物量开始的，采用的方法总体上可分为基于生物量和土壤调查的生物量清查法、以生理生态-微气象理论为基础的涡度相关法和模型估算法。生物量清查法是研究生态系统碳蓄积的经典方法，并在较长时间尺度（3~5 年）上研究生态系统碳交换方面得到很好应用；涡度相关法可研究较短时间（时、日、月等）尺