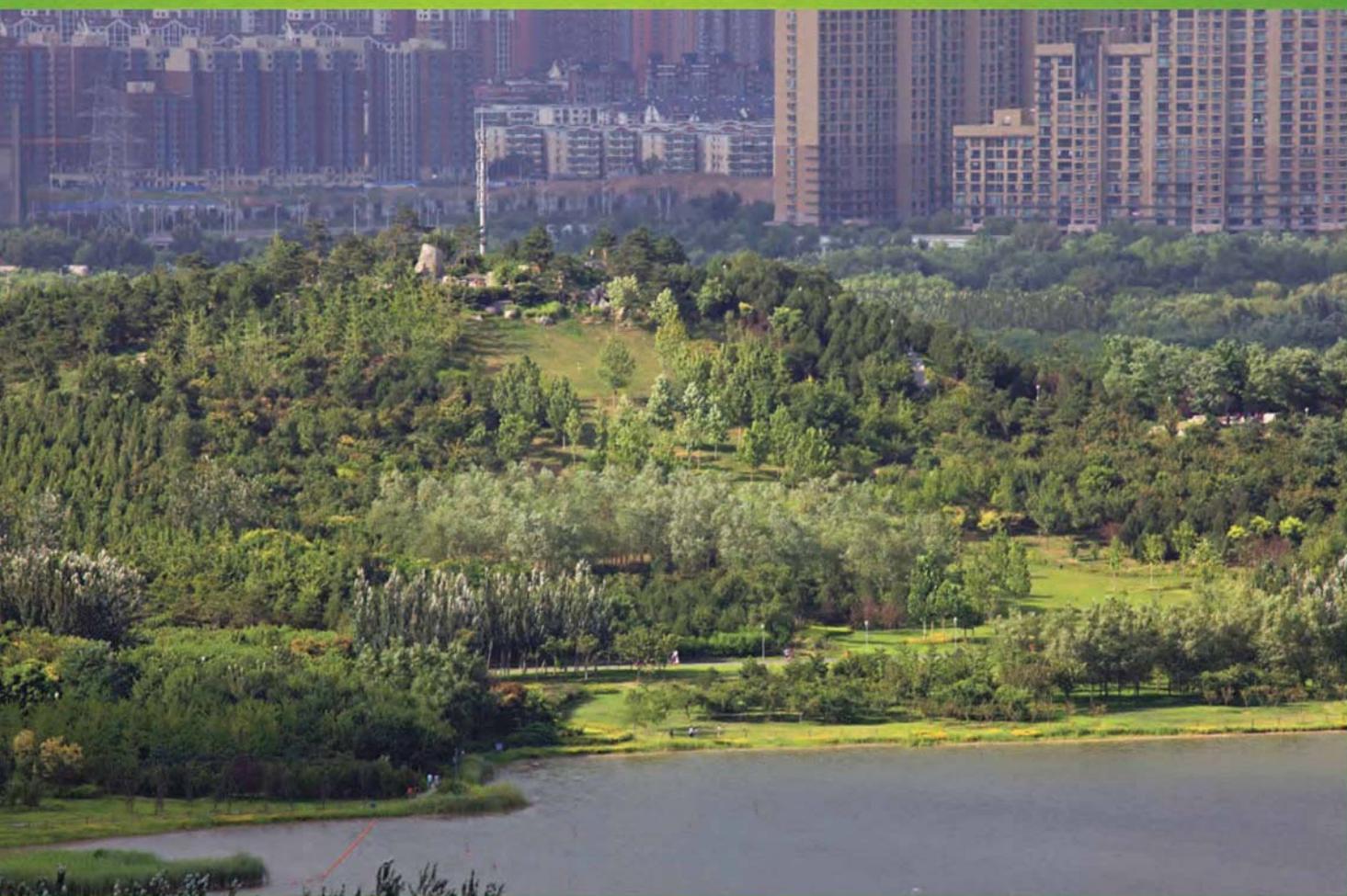


ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第1期 Vol.34 No.1 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 1 期 2014 年 1 月 (半月刊)

目 次

卷首语: 复杂与永续.....	(I)
前沿理论与学科综述	
城市复合生态及生态空间管理	王如松,李 锋,韩宝龙,等 (1)
海洋生态系统固碳能力估算方法研究进展	石洪华,王晓丽,郑 伟,等 (12)
城市生态系统灵敏度模型评述	姚 亮,王如松,尹 科,等 (23)
城市生活垃圾代谢的研究进展.....	周传斌,徐琬莹,曹爱新 (33)
个体与基础生态	
胶州湾生物-物理耦合模型参数灵敏度分析.....	石洪华,沈程程,李 芬,等 (41)
渤海湾大型底栖动物调查及与环境因子的相关性	周 然,覃雪波,彭士涛,等 (50)
生物扰动对沉积物中污染物环境行为的影响研究进展	覃雪波,孙红文,彭士涛,等 (59)
种群、群落和生态系统	
密云水库上游流域生态系统服务功能空间特征及其与居民福祉的关系 ...	王大尚,李屹峰,郑 华,等 (70)
长岛自然保护区生态系统维护的条件价值评估	郑 伟,沈程程,乔明阳,等 (82)
海岛陆地生态系统固碳估算方法	王晓丽,王 媛,石洪华,等 (88)
景观、区域和全球生态	
区域生态文明建设水平综合评估指标	刘某承,苏 宁,伦 飞,等 (97)
基于生境质量和生态响应的莱州湾生态环境质量评价	杨建强,朱永贵,宋文鹏,等 (105)
1985 年以来黄河三角洲孤东海岸演变与生态损益分析	刘大海,陈小英,徐 伟,等 (115)
基于复合生态系统理论的海洋生态监控区区划指标框架研究	徐惠民,丁德文,石洪华,等 (122)
我国环境功能评价与区划方案	王金南,许开鹏,迟妍妍,等 (129)
资源与产业生态	
生态产业园的复合生态效率及评价指标体系	刘晶茹,吕 彬,张 娜,等 (136)
我国农业生态效率的时空差异.....	程翠云,任景明,王如松 (142)
内蒙古半干旱生态脆弱矿区生态修复耦合机理与产业模式	陈玉碧,黄锦楼,徐华清,等 (149)
基于物质流分析方法的生态海岛建设研究——以长海县为例	陈东景,郑 伟,郭惠丽,等 (154)
再生(污)水灌溉生态风险与可持续利用	陈卫平,吕斯丹,张炜铃,等 (163)
基于流域单元的海湾农业非点源污染负荷估算——以莱州湾为例.....	麻德明,石洪华,丰爱平 (173)

集约用海对海洋生态环境影响的评价方法 罗先香,朱永贵,张龙军,等 (182)

城乡与社会生态

基于生态系统服务的城市生态基础设施:现状、问题与展望..... 李 锋,王如松,赵 丹 (190)

北京城区道路系统路网空间特征及其与 LST 和 NDVI 的相关性 郭 振,胡 聃,李元征,等 (201)

基于复合生态功能的城市土地共轭生态管理 尹 科,王如松,姚 亮,等 (210)

重庆市森林生态系统服务功能价值评估 肖 强,肖 洋,欧阳志云,等 (216)

渤海湾港口生态风险评估 彭士涛,覃雪波,周 然,等 (224)

达标污水离岸排海末端处置技术研究综述 彭士涛,王心海 (231)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 238 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 28 * 2014-01



封面图说: 北京奥林匹克公园——在高楼林立的大城市中,办公楼、居民区、学校、路网系统、公园以及各种水泥、沥青硬路面和树木、绿草地、土面、水面等等组成了复杂多样的城市生态景观,居住着密集的人口并由于人们不断的、强烈的干预,使这个城市生态系统显得尤其复杂而又多变。因此,系统复杂性及灵敏度是困扰城市生态系统研究和管理的的重要因素,建立灵敏度模型是致力于解决城市规划管理中的复杂性问题的有效方法,网状思维与生物控制论观是其核心,也是灵敏度模型的思想基础。图为北京中轴线北端被高楼簇拥着的奥林匹克公园的仰山和龙型水系。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201306261782

肖强,肖洋,欧阳志云,徐卫华,向轼,李勇志.重庆市森林生态系统服务功能价值评估.生态学报,2014,34(1):216-223.

Xiao Q, Xiao Y, Ouyang Z Y, Xu W H, Xiang S, Li Y Z. Value assessment of the function of the forest ecosystem services in Chongqing. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 216-223.

重庆市森林生态系统服务功能价值评估

肖 强^{1,2}, 肖 洋¹, 欧阳志云^{1,*}, 徐卫华¹, 向 轼², 李勇志³

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 重庆文理学院非物质文化遗产研究中心, 重庆 402160;

3. 中国科学院重庆绿色智能技术研究院水库水环境重点实验室, 重庆 400714)

摘要:评价了重庆市近几年来森林生态系统服务功能价值,将重庆市森林生态系统服务功能划分为提供产品功能、调节功能、支持功能及文化服务功能 4 大类,以 2006 年为基准年,利用市场价值法和生产成本法等,定量评价重庆市森林生态系统服务功能的经济价值。结果表明:从 2006 年至 2011 年,森林产品提供功能由 35.14 亿元增加至 51.24 亿元,提高了 45.82%。森林碳储量增长了近 100 万 t。重庆市森林生态系统涵养水源价值增加了 59.21 亿元。森林生态系统的土壤保持能力与保持总量都有所提高。气候调节价值净增加了 45.86 亿元。2011 年森林工程引发旅游业收入增加 68.34 亿元。从不同的服务功能类型来看,其价值量大小依次为:水源涵养>气候调节>景观旅游>生物多样性>土壤保持>碳固定。从研究结果来看,重庆市森林生态系统服务功能价值巨大,该结果有利于加强人们对森林生态系统的认识,可以为生态系统管理、生态保护和生态补偿提供依据。

关键词:重庆市;森林生态系统;生态系统服务;InVEST 模型

Value assessment of the function of the forest ecosystem services in Chongqing

XIAO Qiang^{1,2}, XIAO Yang¹, OUYANG Zhiyun^{1,*}, XU Weihua¹, XIANG Shi², LI Yongzhi³

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Institute of Intangible Cultural Heritage, Chongqing College of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China

3 Key Laboratory of Reservoir Aquatic Environment, Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Science, Chongqing 400714, China

Abstract: Forest ecosystem provides mankind with many important products and services. However, man is not fully aware of the significance its services. Consequently, man has exploited the forest resources predatorily and managed them extensively, which in turn leads to the decrease of the size of forest and the weakening of the various services provided by the forest ecosystem. According to the characteristics and structure of the forest ecosystem of Chongqing, this paper divides the forest ecosystem services into four categories—provisioning services, regulating services, supporting services and cultural services. Taking the year of 2006 as the base year, this paper assesses seven ecosystem services provide by Chongqing forest ecosystem and evaluates qualitatively their economic values with recourse to market value method and production cost method. The research findings are as follows: the provisioning services of forest products have increased 45.82%, from 3.514 billion yuan in 2006 to 5.124 billion yuan in 2011. Forest carbon storage totals 62902000 tons, nearly an increase of 1million tons from the year of 2006. The water conservation value of the forest ecosystem in Chongqing is 97.711 billion yuan in 2006, whereas it reaches 103.632 billion yuan in 2011, an increase of 5.921 billion yuan. The

基金项目:国家 973 资助项目(2009CB421105); 国家科技支撑计划课题资助项目(2007BAC28B04); 国家自然科学基金资助项目(70873121)

收稿日期:2013-06-26; 修订日期:2013-09-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Ouyanzzy@cees.ac.cn

erosion control capacity and quantity have also increased. The climate regulation value has increased to 91.344 billion yuan in 2011 from 95.930 billion yuan in 2006, a net increase of 4.586 billion yuan. The total value of landscape tourism was 45.06 billion yuan in 2006, whereas it has increased to 70.2 billion yuan in 2011. the net increase was 6.834 billion yuan. Therefore, it is safe to say that the Project of Forest Chongqing has brought limited direct economic value, but it has contributed tremendous to the development of tourism in Chongqing. In terms of types of services, the value order goes as follows: Water Conservation>climate regulation>Landscape Tourism >Biodiversity Conservation> Soil Conservation>Carbon Sequestration. Since the forest ecosystem of Chongqing is highly valuable, more effort should be made to make people aware of the significance of the forest ecosystem. The research findings of the paper can provide scientific basis for the management, protection and compensation of ecosystem.

Key Words: Chongqing City; forest ecosystem; ecosystem services; InVEST model

自 1997 年 Costanza 等对全球生态系统服务价值进行定量评价以来,生态系统服务价值评估已经成为生态学、生态经济学等学科研究的热点和前沿^[1]。20 世纪 90 年代以后,一些学者将生态系统服务的概念、内涵和价值评价方法介绍到国内,探讨了生态系统服务及其与可持续发展研究的关系^[2-3]。近年来国内外学者围绕生态系统服务国内该领域的研究在以下 5 个方面蓬勃发展:(1)生态系统服务价值评估方法比较,如对条件价值法、费用支出法与市场价值法的比较等^[4-5]。(2)对不同区域和不同自然地理区的生态系统服务价值的评估^[6-7]。(3)对森林、海洋、森林、草地、湖泊等不同类型生态系统服务价值的评估^[8]。(4)对生物多样性保护、土壤保持、环境净化等生态系统的单项服务价值评估^[9]。(5)对生态系统服务价值响应区域土地利用或景观格局变化的研究^[10-11]。国内生态系统服务价值研究已从对国外研究的简单模仿逐渐转向对评估模型参数的修正、对技术方法的适应性集成与发展,研究对象从大尺度和单一生态系统逐渐转向中尺度区域,并开始关注生态系统服务价值的动态变化及其驱动机制^[12]。

森林作为地球上最重要的陆地生态系统类型之一,为人类的生产和生活提供各种产品和服务。长期以来,由于人们对森林资源的重要性认识不够,对森林资源采取了大量掠夺式的开采和粗放型的管理方式,导致了森林面积逐渐减少,森林质量随之下降,森林生态系统提供的各种服务功能减弱^[13-14]。随着对环境资源可持续性发展机制研究的深入,人们逐渐意识到维持和保育生态系统的重要性,尤其是森林生态系统服务功能是实现社会经济可持续发

展的基础之一,但是,由于对生态系统的大部分服务功能缺乏深入的生态学理解,致使能够为决策提供依据的生态学信息非常少,直接影响森林生态系统服务功能的保育和管理^[15]。本文对重庆市森林生态系统服务功能进行定量评价,评价重庆市近几年来森林生态系统服务功能价值,旨在使人们清楚认识到重庆市森林生态系统的重要价值,这不仅有助于生态环境保护,也有利于政府部门进行产业规划和政策制定,促进经济和环境的和谐发展有着重要意义。

1 研究区简介

重庆地形地貌复杂,地形大势由南北向长江河谷倾斜,地貌明显受地质构造控制,背斜成山,向斜成谷,山脉走向大致与地质构造线一致。属湿润亚热带季风气候,具有夏热冬暖、无霜期长、雨量充沛、湿润多阴、雨热同季等特点,但辐射、光照不足,灾害气候频繁。重庆具有大城市、大农村的特殊市情,随着城乡统筹力度的不断加大,城镇化率逐年提高,城镇人口数量激增,带来环境污染加剧、热岛效应增强、大气颗粒物污染、水土流失严重,生态承载力降低等一系列生态环境问题。近年来,重庆市开展了大量的生态修复工程,而定量评估这项生态工程显得十分必要。

2 数据来源与评估方法

2.1 数据来源

根据模型需要,一部分数据从 2006 年和 2011 年重庆市统计年鉴获取,其他数据分别从环保局等相关部门购买。本研究采用野外调查和遥感影像处

理相结合方式进行数据处理。基础地理信息采用重庆 1:50000 基础地理信息数据库信息,主要利用边界层、居民层和水系层等。野外调查的主要目的是了解评价区内不同的土地利用和植被覆盖状况,并将分类系统中各生态系统类型的实际情况与遥感影像作对照,研究实际各类型在图像上的成像规律和影像特征,包括颜色、形状、结构、阴影等。在实地调查的基础上,根据项目区遥感影像的特点,在面向对象

分类软件的平台上对项目区两个时期的 8 景遥感影像进行土地利用分类,拟采用了监督分类法、专家知识决策分类系统、光谱响应特征阈值计算方法进行分类。

2.2 评价方法

生态效益评价主要通过生态服务功能价值化的方法来进行评估,包括产品提供、支持功能、调节功能和文化功能四个方面评估内容(表 1)。

表 1 森林生态系统服务功能价值评价指标体系
Table 1 Indexes System of Forest Ecosystem Services

功能 Function	提供产品 Provision		调节功能 Regulation			文化功能 Culture	支持功能 Support	
	木材	林副产品	气候调节	水源涵养	土壤保持	文化旅游	固碳	维持生物多样性
评价内容 Content	√	√	√	√	√	√	√	√
评价方法 Method	市场价值法	市场价值法	替代成本法	替代成本法	机会成本法	产业关联法	造林成本法	支付意愿法

√:具备该类生态效益并可以进行价值评估

(1) 产品提供

森林生态系统服务功能的直接经济价值主要是林产品、林副产品,包括木材、药材、水(干)果、笋竹、花椒、桑蚕等方面的产品。采用市场价值法^[16],用如下公式进行评价:

$$V_p = \sum S_j \cdot V_j \cdot P_j \quad (1)$$

式中, V_p 为森林生态系统提供产品总价值; S_j 为第 j 种森林类型或果品的分布面积; V_j 为第 j 种森林类型单位面积净生长量或产量; P_j 为第 j 种森林类型木材或果品的市场价格; j 表示不同的森林类型。

(2) 碳固定

基于森林生态系统生物量估算碳库,进而评价生态系统碳固定功能^[17]:

$$V_q = \sum_{j=1}^m NPP_j \cdot 1.62P_c \quad (2)$$

式中, V_q 是碳固定的价值量; NPP_j 为第 j 类森林类型的净初级生产力; P_c 为市场固定 CO_2 的价格。

(3) 水源涵养

采用 InVEST 产水量模型,通过径流调节量的大小进行评估。InVEST 产水量模型是基于 Budyko 曲线和年均降雨量的数学模型,其中,水径流量等于降水量减去蒸散量,公式如下:

$$Y_{xj} = \left(1 - \frac{AET_{xj}}{P_x}\right) \cdot P_x \quad (3)$$

式中, AET_{xj} 是 j 类土地利用类型中像元 x 的年实际

蒸散量, P_x 为像元 x 的年降雨量。 AET_{xj}/P_x 是 Budyko 曲线的一个近似值。

调节径流为潜在径流量与实际径流量之差。通过 InVEST 产水量模型,估算不同植被覆盖程度的流域年度产水量(径流量)及其空间分布特征。

(4) 土壤保持

采用通用水土流失方程 USLE 进行评价^[18-19],包括自然因子和管理因子两类,降雨、坡度坡长、植被、土壤和土地管理等 5 个因素:

$$USLE_x = R_x \cdot K_x \cdot LS_x \cdot C_x \cdot P_x \quad (4)$$

式中, $USLE_x$ 表示栅格 x 的土壤侵蚀量; R_x 为降雨侵蚀力; K_x 为土壤可蚀性; LS_x 为坡度-坡长因子; C_x 为植被覆盖因子; P_x 为管理因子。

保持土壤养分价值

$$V_a = T_h \cdot \sum C_i \cdot P_i \quad (5)$$

式中, V_a 为保持土壤养分价值; T_h 为土壤保持量; i 为土壤中养分种类; C_i 为土壤中第 i 类养分含量; P_i 为第 i 类养分的市场价格。

(5) 生物多样性保护

采用 InVEST 模型中的生境质量指数来进行评价,计算公式如下:

$$Q_{xj} = H_j \left(1 - \left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + K^z}\right)\right) \quad (6)$$

式中, Q_{xj} 是土地利用与土地覆盖 j 中栅格 x 的生境质量; H_j 为土地利用与土地覆盖 j 的生境适合性; D_{xj} 是

土地利用与土地覆盖或生境类型 j 栅格 x 的生境胁迫水平, K 是为半饱和常数^[20]。

(6) 气候调节

气候价值计算公式为^[21]:

$$V = E \cdot L \cdot P / \alpha \quad (7)$$

式中, V 为森林生态系统调节气候价值; E 为森林蒸腾量, L 为蒸发耗热系数, P 为现行电价, α 为空调能效比。

(7) 文化旅游

按照投入产出原理, 游客在重庆市的消费支出, 可被视为最终消费增量的一部分。在既定产业关联的格局下, 最终需求的变动将引起国民经济各产业部门产值的变动。则由产业间的波及效果所激发的全部生产额可由公式求得:

$$U = (I - A)^{-1} H \quad (8)$$

式中, $H = (H_1, H_2, \dots, H_n)^T$, H 为最终旅游需求向量, $(I - A)^{-1}$ 是列昂惕夫逆矩阵, A 为经济系统的直接消耗系数矩阵, I 为单位矩阵, U 为由最终旅游需求所激发的生产额: 旅游经济产值。

(8) 森林生态系统总服务功能

$$V_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_{ij} \quad (9)$$

式中, V_{ij} 为第 j 类森林类型的第 i 中服务功能价值。

3 重庆市主要生态服务功能变化评估

3.1 产品提供

重庆森林提供产品的价值主要是森林活立木的价值和林果、药材等林副产品的价值, 各种森林产品如表 2 所示。

从各地统计年鉴查得森林产品提供年产量, 从

2006 年至 2011 年, 森林产品提供功能由 35.14 亿元增加至 51.24 亿元, 提高了 45.82%, 其中中药与干果类产品所占比重较大。

表 2 重庆市森林生态系统的产品提供/亿元

Table 2 Products provided by the forest ecosystem of Chongqing

年份 Year	木材 Timber	药材 Drug	花椒 Pepper	水(干)果 (Dried) Fruits
2006	10.24	7.12	7.2	4.34
2011	12.37	11.23	9.2	9.07

采用市场价值法估算, 重庆市 2006 年提供的木材收入达到 10.24 亿元, 2011 年提供的木材收入达到 12.37 亿元, 在这 5a 累计增加 2.13 亿元。重庆市 2006 年中药材年产量 4130 吨, 中药的收入为 7.12 亿元, 2011 年产量达 5207t, 收入为 11.23 亿元, 增加收入 4.11 亿元。2006 年水(干)果、花椒产量 91.1 万 t, 价值是 11.54 亿元。2011 年水(干)果、花椒的产量为 110.4 万 t, 价值为 18.27 亿元, 5 年间, 水(干)果、花椒累计增加 6.73 亿元。从产品提供的大小来看, 水(干)果的增幅最大, 其次为药材的增幅, 木材增长最少。

3.2 碳固定

根据 2011 年重庆市林业局地面观测数据计算获得 158 个森林样地生物量数据, 利用 70% 的样点数据构建生物量模型, 其余的用于检验模型精度。本研究选择 5 个常用植被指数, 利用 SPSS 17.0 软件, 将植被指数作为因变量, 与对应的地面调查点生物量数据进行相关分析。利用 70% 的样点数据构建生物量模型, 其余的用于检验模型精度, 选择方法为随机抽取, 最后确定 110 个建模样点, 48 个验证样点。各类植被指数进行回归分析结果见表 3。

表 3 植被指数与地面调查生物量相关结果分析

Table 3 The correlation coefficients between aboveground forest biomass and vegetation indexes

参数 Parameter	大气阻抗植被指数 Atmospheric resistanced vegetation index ARVI	增强型植被指数 Enhanced vegetation index EVI	改进型调整植被指数 Modified soil adjusted vegetation index MSAVI	归一化植被指数 Normalized difference vegetation index NDVI	比值植被指数 Ratio vegetation index RVI
Pearson 相关系数 Pearson correlation coefficient	0.323	-0.337	0.847 **	0.558 **	0.524 **
显著性水平 Significance level	0.546	0.574	0.000	0.002	0.022
样本数 Sample number	110	110	110	110	110

** 表示 0.01 的显著度水平

根据分析结果,选择相关性最高的指数 MSAVI 构建经验模型。经验模型包括线性、指数函数、对数函数、幂函数、双曲线函数、多项式等多种模型形式。本研究按照“相关系数最大,标准差最小,兼顾 F 检验最优”的原则挑选最佳回归方程,得到重庆市森林地上生物量遥感估算模型。

2011 年重庆市的碳储量总量为 6290.2 万 t,平均单位面积碳储量为 22.65 t/hm²。与 2006 年相比,重庆市 2011 年森林碳储量增长了近 100 万 t。最后评价引用 Fankhauser 等人的研究成果进行估算^[22],得到森林碳累积的总生态经济价值为 72.3 亿元。

表 4 重庆市森林生态系统水源涵养价值

Table 4 Water regulating values of forest ecosystem of Chongqing

年份 Year	生态系统调节径流量/(万 m ³) Runoff of ecosystem regulation	单位面积调节径流量/(万 m ³) Regulating runoff per unit area	森林生态系统调节径流量/(万 m ³) Runoff of forest ecosystem regulation
2006 年	394.82×10 ⁴	50.49	159.92×10 ⁴
2011 年	412.89×10 ⁴	52.8	169.61×10 ⁴

与 2006 年相比,2011 年生态系统径流调节量提高了 18.07 亿 m³,森林生态系统的调节量由 159.92 亿 m³ 增加至 169.61 亿 m³,提高了 9.69 亿 m³。利用替代成本法,以水库建造成本来进行功能价值量评价,取单位库容造价 6.11 元/m³ 估算,重庆市 2006 年森林生态系统涵养水源价值为 977.11 亿元,2011 年价值为 1036.32 亿元,2006 至 2011 年增加了 59.21 亿元。

3.4 土壤保持

土壤保持量即潜在土壤侵蚀量和实际土壤侵蚀量的差值就是因植被覆盖和实施土地管理措施而减少的土壤侵蚀量。本研究从减少土壤肥力损失方面评价森林土壤保持的价值。森林各种类型土壤保持量利用通用水土流失方程进行估算。

与 2006 年相比,森林生态系统的土壤保持能力与保持总量都有所提高,2011 年森林生态系统土壤能力增加了 33.94 t km⁻² a⁻¹,总土壤保持量由 14.36 亿 t/a 增加至 14.69 亿 t/a。根据近年来国产化肥平均价格,以尿素为 2000 元/t,过磷酸钙为 500 元/t,氯化钾为 2000 元/t 计算,2006 年重庆市森林生态系统土壤肥力保持价值为 63.70 亿元,2011 年增至 64.33 亿元。

3.5 生物多样性保护

基于土地利用图、与土地利用相关的生境可持

3.3 水源涵养

潜在产水量与实际产水量之差为调节径流量,基于前述方法得到 2006 年径流量,2006 年重庆生态系统调节径流量为 394.82 亿 m³,平均单位面积调节径流量为 50.49 万 m³ km⁻² a⁻¹)。森林生态系统类型 2006 年调节径流量为 159.92 亿 m³,占年径流调节量的 38.73%。同理得到重庆市 2011 年调节径流量为 412.89 亿 m³,平均单位面积调节径流量为 52.8 万 m³ km⁻² a⁻¹,其中森林生态系统的总调节径流量为 169.61 亿 m³,占年径流调节量的 41.08%。

续性和生境受威胁密度,用 Invest 生物多样性模型模拟了重庆 2006 年和 2011 年的生境质量空间分布。基于 Natural Breaks 法将重庆市生境质量等级空间分布划分为 10 等级。对比分析结果,2011 年相对 2006 年重庆生境质量有所提高,生境质量整体呈现变好趋势,最高生境质量面积(等级 10)从 2006 年的 59290.21 km² 增加到 60722.67 km²。参照 Costanza 等人的研究成果,2006 年生物多样性服务功能的生态价值为 72.4 亿元,2011 年价值为 99.8 亿元,生物多样性服务功能的生态效益增加了 27.4 亿元。

3.6 气候调节

由蒸散量遥感反演结果可知重庆市森林蒸腾耗水量 290.24 亿 t/a,蒸腾吸热 7.11×10¹⁶ kJ/a。用空调降温来换算森林生态系统的吸热降温效果,根据热当量换算公式,则蒸腾吸热为 1.98×10¹³ kWh/a。如果按 0.4 元/(kW/h),夏季长达约 100d,空调每天连续工作 6 h,空调效率为 2.8,那么重庆市 2011 年森林生态系统降温的年经济效益为 959.30 亿元。

基于同样的方法计算得出重庆市 2006 年森林蒸腾耗水量 273.65 亿 t/a,蒸腾吸热 6.70×10¹⁶ kJ/a。则蒸腾吸热为 1.86×10¹³ kWh/a,估算得到重庆市 2006 年森林生态系统降温的年经济效益为 913.44 亿元。从 2006 年至 2011 年,重庆市森林生态系统

气候调节价值由 913.44 亿元增加至 959.30 亿元,净增加了 45.86 亿元。

3.7 景观旅游

本研究采用产业关联来判断森林重庆工程对旅游业的收入带来多大的影响。2006 年重庆景观旅游总价值为 450.6 亿元,2011 年重庆景观旅游总价值为 702.0 亿元,同比增长了 251.4 亿元。其中,2006 年森林工程本身引发旅游业收入增加 2.53 亿元,占旅游业总产值的 0.56%,2011 年森林工程引发旅游业收入增加 68.34 亿元,占旅游业总产值的 9.74%,可见,森林重庆工程自身直接创造的直接经济价值有限,但森林重庆工程对旅游业的发展起到了良好的促进作用

3.8 服务功能总价值及其特征

由上述分析可以得出,2006 年重庆市森林生态系统服务功能总价值是 2579.91 亿元。从具体的服务功能指标来看,如图 1 所示,其中提供林产品价值为 35.14 亿元(占 1%),气候调节功能价值为 913.44 亿元(占 35%),水源涵养价值为 977.11 亿元(占 38%),生物多样性 72.4 亿元(占 3%),碳固定价值为 59.2 亿元(占 2%)。所占比例最大的是水源涵养功能,其次是气候调节功能,最小的是林产品供给功能。从不同森林服务功能类型增长变化来看,如图 2 所示,服务功能价值大小顺序依次景观旅游功能、水源涵养功能、气候调节功能、生物多样性、林产品提供、碳固定和土壤保持功能,增长最快的是文化旅游功能,其次为水源涵养,增长最小的是土壤保持功能。

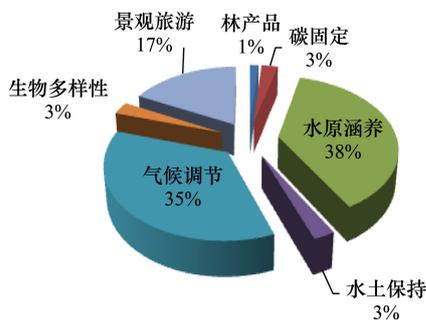


图 1 2006 年生态系统服务价格构成
Fig.1 Composition of value of ecosystem service in 2006

4 结论与讨论

本研究参照千年生态系统评估框架,建立了重

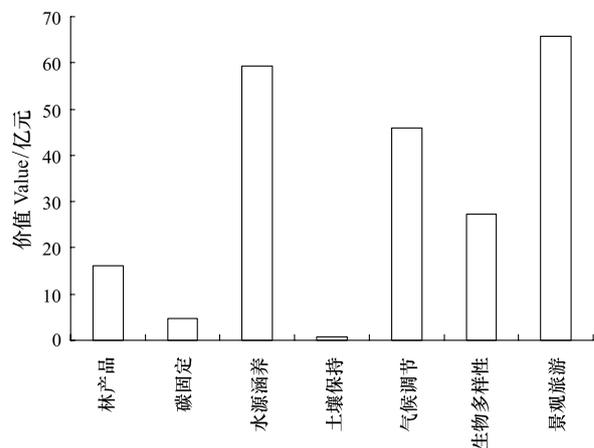


图 2 2006—2011 年生态系统服务变化价值构成
Fig.2 Composition of changed value of ecosystem services from 2006 to 2011

林产品 Forest products; 碳固定 Carbon sequestration; 水源涵养 Water conservation; 土壤保持 Soil conservation; 气候调节 Climate regulation; 生物多样性 Biodiversity conservation; 景观旅游 Landscape tourism

庆市森林生态系统服务功能价值评价指标体系,在分析重庆市森林生态系统提供的各项服务功能价值的基础上,计算了重庆市森林生态系统各项服务功能价值并对其总价值进行了分析。从提供的各种服务功能经济价值来看,重庆市森林生态系统以气候调节、水源涵养、景观旅游和生物多样性的价值为主,分别占总价值的 35%、38%、17%和 3%,说明它们提供主要的服务功能。以气候调节、水源涵养和土壤保持为主要服务功能类型,说明森林生态系统不仅提供各种林产品和林副产品,而且在气候调节、水源涵养等间接服务方面具有更重要的经济价值,因此,在资源开发和管理过程中要注意合理的利用森林资源。

因资料的限制,本研究对于重庆市森林生态系统服务功能价值的评价也不全面,但从评价结果中还是可以看出:重庆市森林生态系统具有巨大的生态系统服务功能价值。2006 年至 2011 年重庆市森林面积增加了为 2305.9km²,仅占重庆市总面积的 2.79%,但森林生态系统所提供的产品和服务的价值增量相当于 GDP 的 3.13%,这充分表明了森林生态系统对于人类财富的重要贡献及人类社会对于森林生态系统的依赖性,这给政策管理者和决策者提供了森林保护的经济依据,对于森林的保护和有效的管理起到了重要的作用。

本文评估了重庆市森林生态系统服务功能,但依然存在一些弱项。与国内进行的大多数森林服务功能评价一样,本研究仅对森林服务功能进行了两个时期的评价,并没有反映出服务功能价值动态变化和时空分布的差异性。首先,本文通过几项常见且影响较大的指标来进行比较,事实上生态系统服务功能还远不止这些。其次,遥感数据、气象数据、其他地理底图和统计数据的获取与处理过程中不可避免存在误差,比如遥感数据处理、气象数据插值、地理底图数字化和生态参数反演等。最后,土地利用变化通过改变生态系统的结构,而这些影响是非线性的,因而对生态系统服务功能会造成影响也无法评估,因此,为了更好地反映重庆市森林生态系统服务功能的价值,以便更好地为重庆市森林资源的可持续有效利用、管理提供科学依据,构建合理的生态系统服务功能评估模型,揭示生态系统服务功能的空间异质性,模拟、预测生态系统服务功能的变化应是下一步研究的重点。

References:

- [1] Ouyang Z Y, Zheng H. Ecological mechanism s of ecosystem services. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, (11):6183-6188.
- [2] Lu Y H, Ma Z M, Fu B J, Gao G Y. Diversity of ecosystem services and landscape multi-functionality: from scientific concepts to integrative assessment. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, (4): 1153-1159.
- [3] Chen N W, Li H C, Wang L H. A GIS-based approach for mapping direct use value of ecosystem services at a county scale: Management implications. *Ecological Economics*, 2009, 68 (11):2768-2776.
- [4] Braat L C, de Groot R. The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, 2012, 1 (1):4-15.
- [5] Shi L Y, Cui S H, Yin K, Liu J. The Impact of Land Use/Cover Change on Ecosystem Service in Xiamen. *Acta Geographica Sinica*, 2011, (6):708-714.
- [6] Li F, Ye Y P, Song B W, Wang R S. Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China. *Acta Ecologica Sinica* 2011, (19):5623-5631.
- [7] Costanza R, d' Arge R, de Groot R. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [8] Liu X Y, Long R J, Shang Z H. Evaluation method of ecological services function and their value for grassland ecosystems. *Acta Prataculturae sinica*, 2011, (1):167-174.
- [9] Chen X D, Lu F, He G M, OuYang Z Y, Liu J G. Factors affecting land reconversion plans following a payment for ecosystem service program. *Biological Conservation*, 2009, 142 (8):1740-1747.
- [10] Cheng S K, YU G R. Approaches to evaluate the effects of hydraulic engineering on river ecosystem services. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, (5):803-807.
- [11] Christie M, Rayment M. An economic assessment of the ecosystem service benefits derived from the SSSI biodiversity conservation policy in England and Wales. *Ecosystem Services*, 2012, 1 (1): 70-84.
- [12] Zhao T Q, OuYang Z Y, Zheng H, Wang X K, Miao H. Forest ecosystem services and their valuation in China. *Journal of Natural Resources*, 2004, (4):480-491.
- [13] Xiao Y, Chen S B, Zhang L, Yue P, OuYang Z Y, Liu X C. Designing nature reserve systems based on ecosystem services in Hainan Island. *Acta Ecologica Sinica* 2011, (24):7357-7369.
- [14] Xiao J W, Kang W X, Yin S H, Yao L H, Guo Q H, Wang W W. Evaluation for Service Functions of Urban Forest Ecosystem in Guangzhou. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, (31): 27-35.
- [15] Muradian R, Rival L. Between markets and hierarchies: The challenge of governing ecosystem services. *Ecosystem Services*, 2012, 1 (1):93-100.
- [16] Primmer E, Furman E. Operationalising ecosystem service approaches for governance: Do measuring, mapping and valuing integrate sector-specific knowledge systems? *Ecosystem Services*, 2012, 1 (1):85-92.
- [17] Salles J M. Valuing biodiversity and ecosystem services: Why put economic values on Nature?. *Comptes Rendus Biologies*, 2011, 334 (5):469-482.
- [18] Sandhu H S, Crossman N D, Smith F P. Ecosystem services and Australian agricultural enterprises. *Ecological Economics*, 2012, 74 (1):19-26.
- [19] Swift M J, Izac A M N, van Noordwijk M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 104 (1):113-134.
- [20] Swinton S M, Lupi F, Robertson G P, Hamilton S K. Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. *Ecological Economics*, 2007, 64 (2):245-252.
- [21] Tengberg A, Fredholm S, Eliasson I, Knez I, Saltzman K, Wetterberg O. Cultural ecosystem services provided by landscapes:

Assessment of heritage values and identity. *Ecosystem Services*, 2012, 2 (2):14-26.

- [22] Fankhauser S, Pearce D W. The social costs of greenhouse gas emissions, In: Organisation for Economic Cooperation and Development International Energy Agency, *The Economics of Climate Change*, Paris, 1994.

参考文献:

- [1] 欧阳志云,郑华. 生态系统服务的生态学机制研究进展. *生态学报*, 2009, (11):6183-6188.
- [2] 吕一河,马志敏,傅伯杰,高光耀. 生态系统服务多样性与景观多功能性——从科学理念到综合评估. *生态学报*, 2013, (4):1153-1159.
- [5] 石龙宇,崔胜辉,尹锴,刘江. 厦门市土地利用/覆被变化对生态系统服务的影响. *地理学报*, 2011, (6):708-714.
- [6] 李锋,叶亚平,宋博文,王如松. 城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例. *生态学报*, 2011, (19):5623-5631.
- [8] 刘兴元,龙瑞军,尚占环. 草地生态系统服务功能及其价值评估方法研究. *草业学报*, 2011, (1):167-174.
- [12] 赵同谦,欧阳志云,郑华,王效科,苗鸿. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. *自然资源学报*, 2004, (4):480-491.
- [13] 肖焱,陈圣宾,张路,岳平,欧阳志云,刘贤词. 基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划. *生态学报*, 2011, (24):7357-7369.
- [14] 肖建武,康文星,尹少华,姚利辉,郭清和,王卫文. 广州市城市森林生态系统服务功能价值评估. *中国农学通报*, 2011, (31):27-35.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.1 Jan. ,2014(Semimonthly)
CONTENTS

Foreword: Complexity and Sustainability	(I)
Frontiers and Comprehensive Review	
Urban eco-complex and eco-space management	WANG Rusong, LI Feng, HAN Baolong, et al (1)
Review of carbon sequestration assessment method in the marine ecosystem .....	.....
.....	SHI Honghua, WANG Xiaoli, ZHENG Wei, et al (12)
A review of sensitivity model for urban ecosystems	YAO Liang, WANG Rusong, YIN Ke, et al (23)
Urban ecological metabolism of municipal solid waste; a review	ZHOU Chuanbin, XU Wanying, CAO Aixin (33)
Autecology & Fundamentals	
Parameter sensitivity analysis of a coupled biological-physical model in Jiaozhou Bay .....	.....
.....	SHI Honghua, SHEN Chengcheng, LI Fen, et al (41)
Macroinvertebrate investigation and their relation to environmental factors in Bohai Bay .....	.....
.....	ZHOU Ran, QIN Xuebo, PENG Shitao, et al (50)
Review of the impacts of bioturbation on the environmental behavior of contaminant in sediment .....	.....
.....	QIN Xuebo, SUN Hongwen, PENG Shitao, et al (59)
Population, Community and Ecosystem	
Ecosystem services' spatial characteristics and their relationships with residents' well-being in Miyun Reservoir watershed .....	.....
.....	WANG Dashang, LI Yifeng, ZHENG Hua, et al (70)
Contingent valuation of preserving ecosystem of Changdao Island Nature Reserve .....	.....
.....	ZHENG Wei, SHEN Chengcheng, QIAO Mingyang, et al (82)
Discussion of carbon sequestration estimates in the island terrestrial ecosystems .....	.....
.....	WANG Xiaoli, WANG Ai, SHI Honghua, et al (88)
Landscape, Regional and Global Ecology	
An integrated indicator on regional ecological civilization construction	LIU Moucheng, SU Ning, LUN Fei, et al (97)
The eco-environmental evaluation based on habitat quality and ecological response of Laizhou Bay .....	.....
.....	YANG Jianqiang, ZHU Yonggui, SONG Wenpeng, et al (105)
Analysis of the evolution and value of coastal ecosystem services at Gudong Coast in the Yellow River Delta since 1985 .....	.....
.....	LIU Dahai, CHEN Xiaoying, XU Wei, et al (115)
Research of index system framework in marine ecology monitoring & regulation areas division based on complex ecosystem of nature-human-society .....	.....
.....	XU Huimin, DING Dewen, SHI Honghua, et al (122)
The environmental function assessment and zoning scheme in China	WANG Jinnan, XU Kaipeng, CHI Yanyan, et al (129)
Resource and Industrial Ecology	
Definition and evaluation indicators of ecological industrial park's complex eco-efficiency .....	.....
.....	LIU Jingru, LÜ Bin, ZHANG Na, et al (136)
Spatial-temporal distribution of agricultural eco-efficiency in China	CHENG Cuiyun, REN Jingming, WANG Rusong (142)
The coupling mechanism and industrialization mode of ecological restoration in the weak semi arid mining area of Inner Mongolia .....	.....
.....	CHEN Yubi, HUANG Jinlou, XU Huaqing, et al (149)
Evaluation of ecological marine islands construction based on material flow analysis: a case study of Changhai County .....	.....
.....	CHEN Dongjing, ZHENG Wei, GUO Huili, et al (154)
Ecological risks and sustainable utilization of reclaimed water and wastewater irrigation .....	.....
.....	CHEN Weiping, LÜ Sidan, ZHANG Weiling, et al (163)

Estimation of agricultural non-point source pollution based on watershed unit: a case study of Laizhou Bay	MA Deming, SHI Honghua, FENG Aiping (173)
The evaluation method in the impact of intensive sea use on the marine ecological environment	LUO Xianxiang, ZHU Yonggui, ZHANG Longjun, et al (182)
Urban, Rural and Social Ecology	
Urban ecological infrastructure based on ecosystem services; status, problems and perspectives	LI Feng, WANG Rusong, ZHAO Dan (190)
Spatial features of road network in Beijing built up area and its relations with LST and NDVI	GUO Zhen, HU Dan, LI Yuanzheng, et al (201)
The conjugate ecological management model for urban land administration based on the land complex ecological function	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (210)
Value assessment of the function of the forest ecosystem services in Chongqing	XIAO Qiang, XIAO Yang, OUYANG Zhiyun, et al (216)
Ecological risk evaluation of port in Bohai Bay	PENG Shitao, QIN Xuebo, ZHOU Ran, et al (224)
Research review of the tail disposal technology of the standard sewage offshore outfall	PENG Shitao, WANG Xinhai (231)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 1 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 1 (January, 2014)

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 王如松

主 管 中国科学技术协会

主 办 中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel: (010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief WANG Rusong

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元